

Produção de Ortofotomapas digitais com sensores de médio e grande formato

Bruno Miguel Bezerra de Freitas



Mestrado em Engenharia Geográfica

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Setembro de 2012

Produção de Ortofotomapas digitais com sensores de médio e grande formato

Bruno Miguel Bezerra de Freitas



Relatório de estágio submetido à Universidade do Porto para
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geográfica

Aluno

- Bruno Miguel Bezerra de Freitas

Orientador

- Professor Doutor José Alberto Gonçalves

Faculdade de Ciências – Universidade do Porto

Co-orientador

- Engenheiro Alexandre Gomes

InfoPortugal, S.A.

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Setembro de 2012

Agradecimentos

A realização deste estágio deve-se a um conjunto de pessoas que sem a sua disponibilidade e orientação não poderia ser desenvolvido, como tal gostaria de deixar aqui os meus sinceros agradecimentos:

Ao Professor Doutor José Alberto Gonçalves que se disponibilizou prontamente para encontrar um estágio que fosse de encontro com meus objetivos.

À InfoPortugal, S.A. que me deu a oportunidade de estagiar possibilitando-me aprofundar os conhecimentos na área de fotografia aérea e de integrar uma equipa de profissionais. Em especial, agradeço aos engenheiros Alexandre Gomes e Edgar Pereira que durante todo o meu percurso me apoiaram e ajudaram na minha evolução académica e profissional.

Aos meu pais que se esforçaram para que eu pudesse realizar o curso com todas as condições necessárias, à minha família e amigos mais íntimos.

A todos o meu obrigado e os meus mais sinceros agradecimentos.

Resumo

A produção de ortofotomapas exige diversas etapas que ocorrem tanto no exterior, obtenção de fotografias aéreas, como em gabinete, produção de ortofotomapas.

O objetivo deste trabalho consistiu, assim, na produção de ortofotomapas, referentes ao concelho de Ponte da Barca, utilizando a câmara fotogramétrica DigiCam H39 (médio formato). Posteriormente foi elaborada uma comparação entre câmaras fotogramétricas de médio e grande formato: DigiCam H39, DMC e UltraCam XP.

O presente trabalho ocorreu em ambiente empresarial na sede da empresa InfoPortugal, Lda (Grupo IMPRESA), na direção de informação geográfica no departamento de fotografia aérea. Para a produção de ortofotomapas, realizaram-se as diversas etapas necessárias: o planeamento e voo fotogramétrico realizado sobre o concelho de Ponte da Barca, a correção e mudança das fotografias aéreas com o *software* Flexcolor, a recolha de pontos de apoio, obtidos no sistema de coordenadas geográficas ETRS89 usando Sistema RTK, apoiado na rede RENEPA, a orientação externa, com o processamento sendo efetuado com o *software* GrafNav (Novatel), a aerotriangulação, pelo recurso a vários módulos do *software* Application Master e, desta forma observando se as ortofotos apresentavam a precisão necessária (precisões apresentadas pelo IGP) para a produção de cartografia. A geração e edição do MDT, foi feita recorrendo ao módulo MATCH T do *software* Application Master. A produção de ortofotos, foi feita através do módulo OrthoMaster do Application Master. O último processo foi a produção e correção de ortofotomapas utilizando-se o *software* OrthoVista. Posteriormente, procedeu-se à comparação do custo do voo e do custo total entre as câmaras fotogramétricas em estudo para a área de 3 840km², 103 680km² e 126 720km².

Relativamente à produção de ortofotomapas foram encontrados alguns erros como erros altimétricos acima do esperado após o processamento da aerotriangulação e má edição do MDT (eliminação de pontos da grelha, desenho de linhas de apoio sobre edifícios e a falta de edição em zonas sobre-elevadas ou profundas do MDT).

Relativamente à comparação entre as câmaras fotogramétricas observou-se que para a área de voo de 3 840 km² a DigiCam H39 é a que apresenta menor custo total. Para a área de 103 680 km² a DMC passa a ser a mais vantajosa (das três é a que apresenta menor custo total) e que para a área de 126 720 km² a UltraCam Xp é mais rentável que a DigiCam H39.

Em suma, para áreas superiores ou iguais a 126 720 km² as câmaras de grande formato são mais rentáveis que a de médio formato.

Palavras-chave: Câmaras fotogramétricas, Fotografia digital, Modelo digital do terreno, Ortofotomapas.

Abstract

The production of orthophoto maps requires several stages that occur both in the outdoors, when obtaining air photographs, and in an office environment, when producing orthophoto maps.

Thus, the aim of this project has consisted in the production of orthophoto maps of the municipality of Ponte da Barca by using the photogrammetric camera DigiCam H39 (medium-format). At a later stage, a comparison has been made between medium and large-format photogrammetric cameras: DigiCam H39, DMC and UltraCamXP.

The present work has taken place in a business environment, in the headquarters of the company InfoPortugal Lda (IMPRESA group), in the aerial photography department of the geographic information management. Several necessary steps have been put into practice in the production of orthophoto maps: Photogrammetric planning and flight made over the municipality of Ponte da Barca; Correction and transformation of the air photographs by means of Flexcolor software. Gathering of support points obtained through the ETRS89 geographic coordinate system using RTK System, by applying the NNPS (National Network of Permanent Stations) network; External orientation, with the processing being performed with GrafNav software (Novatel); Aerial triangulation, resorting to several modules of the Application Master software and observing, in this way, whether the orthophotos presented the necessary precision (precisions presented by the PGI -Portuguese Geographic Institute) for the production of cartography; Creation and editing of the FDM (Field Digital Model), having the latter been generated by the MATCH T module of the Application Master software; Production of orthophotos through the Application Master's OrthoMaster module. The last process consisted in the production and correction of orthophoto maps making use of the OrthoVista software. Afterwards, a comparison of the flight cost and of the total cost was carried out between the photogrammetric cameras under study for the area of 3 840 km², 103 680 km² and 126 720 km².

As far as the production of orthophoto maps is concerned, a few errors have been found, such as higher than expected altimetric errors after the aerial triangulation's processing, and bad FDM editing (elimination of points from the chart, drawing of breaklines over buildings and the lack of editing in elevated or deep FDM areas). Regarding the comparison between the photogrammetric cameras, it has been observed that for the 3 840 km² flight area, DigiCam H39 is the one that presents the lowest total cost. Respecting the area of 103 680 km², DMC becomes the most favourable (lowest

total cost) and for the area of 126 720 km² UltraCam XP is more profitable than DigiCam H39.

In conclusion, for areas larger than or equal to 126 720 km² large-format cameras are more profitable than the medium-format one.

Keywords: Photogrammetric cameras, Digital Photogrammetry, Orthophoto maps, Digital Terrain Model.

Índice

Agradecimentos	3
Resumo	4
Abstract	5
Índice de figuras	9
Índice de tabelas	11
Glossário	12
1. Introdução	14
1.1 Estrutura do relatório	14
1.2 Enquadramento empresarial	14
1.3 Objetivo	15
1.4 Enquadramento do estudo no mercado	15
1.4.1 Fotogrametria digital <i>versus</i> LiDAR	15
2. Operações fotogramétricas	19
2.1 Introdução	19
2.2 Planeamento de Voo	19
2.3 Recolha de pontos de apoio	23
2.4 Orientação externa	25
2.5 Aerotriangulação	26
2.6 Modelo digital do terreno	27
2.7 Produção de ortofotos	29
2.8 Produção e correção de ortofotomapas	30
3. Câmaras fotogramétricas	32
3.1 Introdução	32
3.2 Especificações das três câmaras fotogramétricas em estudo	34
3.2.1 DigiCam H39	34
3.2.2 Digital Mapping Camera (DMC)	35
3.2.3 UltraCam Xp	35
4. Componente prática	37
4.1 Introdução	37
4.2 Planeamento de Voo	37
4.3 Voo fotogramétrico	39
4.4 Correção e mudança das fotografias aéreas	39
4.5 Recolha de pontos de apoio	40
4.6 Orientação externa	42

4.7 Aerotriangulação	45
4.8 Geração e edição do modelo digital do terreno	47
4.9 Produção de ortofotos	49
4.10 Produção dos ortofotomapas.....	51
5. Comparação de câmaras fotogramétricas de médio e grande formato	53
5.1 Introdução	53
5.2 Comparação das câmaras fotogramétricas DigiCam H39, DMC e UltraCam Xp	53
6. Conclusões	59
Bibliografia	60
Anexos	I
Anexo A	II
Anexo B	III
Anexo C	V
Anexo D	IX
Anexo E	XII

Índice de figuras

Fig. 1.1 - Organograma da InfoPortugal [1].	15
Fig. 1.2 - Fotografia digital <i>versus</i> LiDAR.	17
Fig. 2.1 - Esquema geral das operações fotogramétricas [5].	19
Fig. 2.2 - Fotografia aérea vertical [6].	20
Fig. 2.3 - Influência da altitude de voo na cobertura fotográfica.	20
Fig. 2.4 - Sobreposição longitudinal e lateral.	21
Fig. 2.5 - Traçado de voo em faixa estreitas de terreno [9].	22
Fig. 2.6 - Exemplo do esquema de voo com dados complementares [11].	22
Fig. 2.7 - Localização de PF's num bloco [14].	24
Fig. 2.8 - Exemplos de PF's bem definidos. (Fonte: InfoPortugal).	24
Fig. 2.9 - Elementos de orientação externa X, Y, Z, ω , Φ , K [16].	25
Fig. 2.10 - Bloco de fotografias aerotriangulado [18].	26
Fig. 2.11 - Modelo Digital do Terreno – Arcos de Valdevez. (Fonte: InfoPortugal).	28
Fig. 2.12 - Zona de sombra – Matosinhos Sul. (Fonte: InfoPortugal).	29
Fig. 2.13 - Zona de vegetação densa – Zona da Tocha/Cantanhede. (Fonte: InfoPortugal).	29
Fig. 2.14 - Ortofoto – Matosinhos. (Fonte: InfoPortugal).	30
Fig. 2.15 - Ortofotomapa – Arcos de Valdevez. (Fonte: InfoPortugal).	31
Fig. 2.16 - Ortofotomapas com diferença radiométrica acentuada – Arcos de Valdevez. (Fonte: InfoPortugal).	31
Fig. 3.1 - Conceito do sensor linear CCD (Leica ADS40) [23].	33
Fig. 3.2 - Câmara de pequeno formato – DIMAC [25].	33
Fig. 3.3 - Câmara de grande formato – UltraCam XP [26].	34
Fig. 3.4 - Câmara fotogramétrica Digicam H39 [1].	35
Fig. 3.5 - Câmara fotogramétrica DMC [29].	35
Fig. 3.6 - Câmara fotogramétrica UltraCamXp [30].	36
Fig. 4.1 - Mapa de Portugal e área de estudo.	38
Fig. 4.2 - Ajustamento das fiadas ao MDT.	38
Fig. 4.3 - Lista de parâmetros obtida através do planeamento de voo.	39
Fig. 4.4 - Edição das propriedades da fotografia.	40
Fig. 4.5 - Locais de recolha de PF's.	40
Fig. 4.6 - Localização dos PF's e da Base.	41
Fig. 4.7 - Receção dos dados RINEX da base.	42
Fig. 4.8 - Estimativas posicionais do primeiro processamento.	43
Fig. 4.9 - Estimativas posicionais do segundo processamento.	43
Fig. 4.10 - Elementos de Orientação externa – X,Y,Z.	44
Fig. 4.11 - Criação de um novo projeto.	45
Fig. 4.12 - Visualização do projeto.	45
Fig. 4.13 - Introdução dos PF's.	46
Fig. 4.14 - Resíduos da aerotriangulação.	46
Fig. 4.15 - Fotografia sem e com efeito de arrastamento.	47
Fig. 4.16 - Modelos Digitais do terreno.	47
Fig. 4.17- Linhas de quebra genérica – Ponte da Barca.	48
Fig. 4.18 - Edição MDT – Ponte da Barca.	49
Fig. 4.19 - MDT introduzido no OrthoMaster para a produção de ortofotos.	49
Fig. 4.20 - Ortofoto com erro – Falta de pontos.	50

Fig. 4.21 - Ortofoto com erro – Pontos elevados.....	50
Fig. 4.22 - Cuvas de nível – 2 metros, antes da edição (imagem da esquerda) e após edição (imagem da direita).....	51
Fig. 4.23 - Excerto de um ortofomapa – Ponte da Barca.....	51
Fig. 4.24 - Seam's antes da edição (imagem da esquerda) e após edição (imagem da direita).	52

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Tabela técnica de exatidão e precisão posicional para cartografia [19].	27
Tabela 3.1 - Principais especificações da câmara fotogramétrica DigiCam H39 [27].	34
Tabela 3.2 - Principais especificações da câmara fotogramétrica DMC [28].	35
Tabela 3.3 - Principais especificações da câmara fotogramétrica UltraCam Xp [30].	36
Tabela 5.1 - Resultados dos planeamentos de voo correspondentes a DigiCam H39 e DMC.	53
Tabela 5.2 - Resultados dos planeamentos de voo correspondentes a DigiCam H39 e UltraCam Xp.	54
Tabela 5.3 - Resultados dos planeamentos de voo correspondentes a DMC e UltraCam Xp.	54
Tabela 5.4 - Comparação do custo de voo entre a câmara DigiCam H39 e a DMC.	55
Tabela 5.5 - Comparação do custo de voo entre a câmara DigiCam H39 e a UltraCam Xp.	55
Tabela 5.6 - Comparação do custo de voo entre a câmara DMC e a UltraCam Xp.	55
Tabela 5.7 - Custo total de voo para uma área correspondente a 3 840 km ² .	56
Tabela 5.8 - Custo total de voo para uma área correspondente a 103 680 km ² .	57
Tabela 5.9 - Custo total de voo para uma área correspondente a 126 720 km ² .	57
Tabela 5.10 - Custo total de voo para uma área correspondente a 165 120 km ² .	58

Glossário

Charge Coupled Device (CCD): Sensor mais comum para registar a quantidade de luz refletida numa superfície.

Estereoscopia: É a propriedade que estuda os métodos e técnicas que permitem a visão em perspetiva.

Global Positioning System (GPS): Sistema global de posicionamento permite-nos conhecer com exactidão a localização de um ponto, através da informação proveniente dos satélites.

Imagem multi-espectral: Imagens obtidas em diferentes comprimentos do espectro eletromagnético, normalmente no visível e infra vermelho próximo.

Imagem Pancromática (PAN): Tipo de filme a preto-e-branco sensível a todos os comprimentos de onda da luz visível.

Instituto Geográfico Português (IGP): É o organismo responsável pela execução da política de informação geográfica nomeadamente a Geodesia, Cartografia e Cadastro.

LiDAR (*Light Detection And Ranging*): É uma tecnologia de deteção remota que consiste na emissão de pulsos laser. O tempo de retorno do pulso laser emitido entre o alvo e plataforma é medido pelo sensor.

Linhas de quebra (*Breaklines*): São linhas de continuidade da forma do terreno. Estas linhas auxiliares facilitam a edição do modelo digital do terreno.

Modelo digital do terreno (MDT): É a representação de uma superfície terrestre baseada num sistema de coordenadas X, Y e Z. Em que a coordenadas Z representa a altitude e profundidade num modelo tridimensional.

Ortofotos: Fornecem representações visuais geograficamente precisas da terra, é uma fotografia geometricamente corrigida.

RENEP: É um serviço público de geo-posicionamento prestado pelo IGP (Instituto Geográfico Português), que tem como objetivo disponibilizar aos utilizadores de recetores GPS dados que possibilitam determinar coordenadas geográficas com precisão melhor que 10 cm.

Shapfile: É um ficheiro de formato vetorial que contem dados geoespaciais usados por Sistemas de Informações Geográficas também conhecidos como SIG.

Unidade de medida inercial (IMU): Sistema eletrónico que efetua medições específicas da velocidade, orientação e forças gravitacionais utilizando a combinação de giroscópios e acelerómetros. Sistema utilizado para reduzir os efeitos introduzidos pela atitude do avião – *roll*, *pitch* e *yaw*.

Sistemas de informação geográfica (SIG): É conjunto de técnicas e ferramentas específicas para a aquisição manipulação e representação georreferenciada.

1. Introdução

1.1 Estrutura do relatório

O presente relatório está dividido em 6 capítulos.

O primeiro capítulo é um capítulo introdutório. Neste capítulo descreve-se a estrutura do relatório, há uma breve apresentação do mercado de trabalho e da própria estrutura da empresa em que o estágio foi realizado. É descrito também o objetivo do trabalho realizado ao longo de cinco meses e, uma breve abordagem à fotografia aérea e ao mercado do setor aero-fotogramétrico.

O segundo e o terceiro capítulos são índole teórica. O segundo explica todo o processo fotogramétrico que vai desde o planeamento de voo à produção de ortofotomapas. O terceiro inclui uma breve abordagem às câmaras fotogramétricas digitais e às especificações das três câmaras fotogramétricas que estão envolvidas neste estudo.

O quarto capítulo contém as explicações práticas de todo o processo fotogramétrico (capítulo 2) utilizando a câmara fotogramétrica da InfoPortugal (DigiCAM H39).

Os dois últimos capítulos tratam, respetivamente, da comparação de três câmaras fotogramétricas de médio e grande formato e da explanação das conclusões do trabalho desenvolvido.

1.2 Enquadramento empresarial

A InfoPortugal - Sistemas de Informação e Conteúdos, S. A. é uma empresa de conteúdos digitais e soluções tecnológicas de *geo-location*, dedicada aos mercados de SIG e da mobilidade.

É uma empresa com 11 anos de experiência, sediada em Matosinhos e com uma delegação em Lisboa. A empresa divide a sua atividade em quatro grandes áreas, Fotografia aérea, Cartografia, Editorial e Investigação & Desenvolvimento. As suas competências são desenvolvidas de forma transversal desde a fotografia aérea, cartografia, cadastro, produção de conteúdos editoriais georreferenciados, desenvolvimento de aplicações para a web e mobile e consultoria em sistemas SIG, respondendo assim a diversos desafios e procura do mercado. É pioneira na área do SIG e nos mercados de soluções de mobilidade. Em 2005 desenvolveu a marca e *software* NDrive, que posteriormente deu origem a uma nova empresa, a *NDrive Navigation Systems, S.A.*, nesse mesmo período deu-se mais uma mudança e a InfoPortugal passou para os comandos do grupo IMPRESA [1].

O estágio curricular ocorreu na direção de informação geográfica no departamento de fotografia aérea.

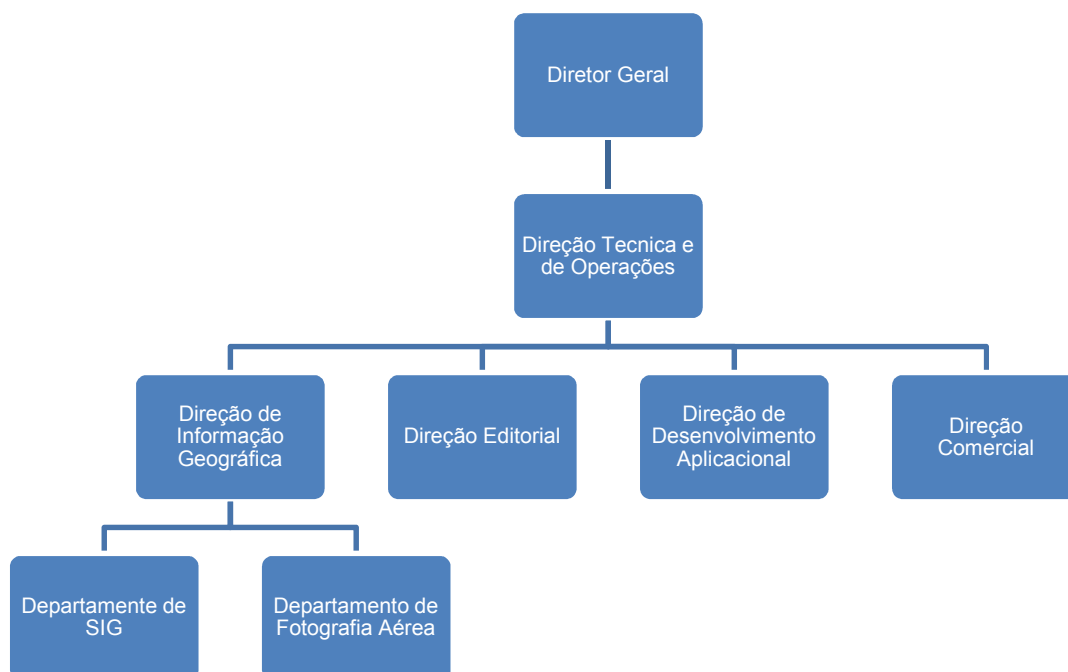


Fig. 1.1 - Organograma da InfoPortugal [1].

1.3 Objetivo

O principal objetivo proposto para o estágio de âmbito curricular consiste na produção de ortofotomapas utilizando a câmara fotogramétrica DigiCam H39 (*Digital Mapping Camara*) propriedade da InfoPortugal. Para além deste objetivo realizou-se também a comparação entre três câmaras fotogramétricas, concluindo de forma empírica o desempenho e custos que estas acarretam aos utilizadores.

A produção de ortofotomapas exige um conjunto de trabalhos de campo e de gabinete que foram realizados durante o período de estágio. A área de estudo em que foi desenvolvido o projeto de estudo foi o concelho de Ponte da Barca. Foi sobre o projeto de Ponte da Barca que foi delineado o plano de voo.

1.4 Enquadramento do estudo no mercado

1.4.1 Fotogrametria digital versus LiDAR

A fotogrametria digital propriamente dita surgiu nos finais século XX com o lançamento da primeira câmara fotogramétrica digital, passando a ser possível efetuar todos os processos fotogramétricos em suporte digital.

A fotogrametria tornou-se efetivamente mais poderosa com o aparecimento do formato digital. O facto de o processamento ser todo em suporte digital demonstra desde logo uma grande vantagem sobre a fotografia analógica. Contudo, a principal distinção

reside no suporte da imagem, que permitiu a substituição da visão humana pela visão automática, permitindo assim a manipulação e edição dos modelos digitais do terreno. Este avanço permitiu aos operadores fotogramétricos transformar imagens raster em vetores e atributos de uma forma muito mais rápida e eficiente.

De uma forma geral, a fotogrametria digital consiste em obter as fotografias aéreas em suporte digital o que permite realizar as operações fotogramétricas de forma automática. Operações, estas, que necessitam de um processamento computacional mais complexo como por exemplo: a produção de modelos digitais do terreno, produção de ortofotos e de ortofotomapas.

As vantagens mais significativas da fotogrametria digital são: redução do número de calibrações a efetuar à câmara fotogramétrica; acesso ao conteúdo radiométrico, podendo assim manipular em pós processamento a qualidade da foto; redução da fadiga e, conseqüente aumento da produção. Contudo e, como toda a tecnologia, a fotogrametria digital não trouxe só vantagens. A maior desvantagem e a mais difícil de contornar é o custo de um equipamento completo, o que obriga a aquisição de sistemas computacionais de alta qualidade. A qualidade da imagem também é um dos fatores que coloca alguns entraves à introdução da fotogrametria digital no mercado, devido à menor resolução geométrica que as fotografias apresentam face à fotogrametria tradicional. O aumento da qualidade de resolução das imagens para tentar combater esta lacuna adiciona um problema, a capacidade de armazenamento [2].

O LiDAR surge neste mercado emergente, que é a aquisição de dados para a produção de modelos digitais do terreno. A necessidade de desenvolver um sistema que colmate as lacunas da fotogrametria aérea (sendo as principais, as limitação horárias de voo, pós-processamento demorado e erros provocados por sombras) o LiDAR surge, então, como tecnologia de futuro alternativa e complementar. O LiDAR é um sistema ativo de varrimento laser que se baseia na medição direta de distâncias do sensor laser aos pontos no terreno. Este sistema basicamente é constituído por um *scanner* laser, um equipamento de navegação inercial (IMU), um sistema de posicionamento GPS e um computador de bordo para registo de dados [3]. O sistema é transportado por um avião e combina elevações de superfície com coordenadas planimétricas de grande precisão para extrair várias medidas na sua representação tridimensional [4]. A radiação laser utilizada neste tipo de aplicação, geralmente, tem comprimentos de onda variando entre os 1 064 e os 1 540 nm na região do infravermelho [3].

O laser na região do verde-azul (532 nm) é usado, principalmente, em levantamentos batimétricos para explorar as capacidades de penetração deste comprimento de onda [3].

A tecnologia laser é recente e está em constante desenvolvimento com o objetivo de se tornar mais competitiva no mercado emergente. Na atualidade esta tecnologia ainda apresenta algumas lacunas, entre estas destacam-se: equipamentos de custo elevado (para áreas inferiores a 5 km²); difícil identificação de pontos sobre a água e linhas de costa; má percepção entre diferentes tipos de superfícies (recurso a ortofotos) e precisões altimétricas e planimétricas, ainda abaixo dos valores conseguidos por técnicas semelhantes. É de registar também algumas das vantagens que o LiDAR trouxe: rápida aquisição e processamento dos dados; recolha de dados independentemente da fase do dia (dia, noite); penetração na cobertura florestal e; menos trabalho especializado visto que grande parte do pós-processamento é automático.

Com estes avanços tecnológicos surgem cada vez mais dúvidas sobre qual a técnica a que se deve recorrer. Estas recaem sobre fatores como os custos de operação, precisões, tipo de dados adquiridos e aproveitamento destes mesmos dados para utilizações diversas. O esquema seguinte (figura 1.2) sintetiza as características fundamentais na escolha da técnica mais adequada na aérea de estudo.

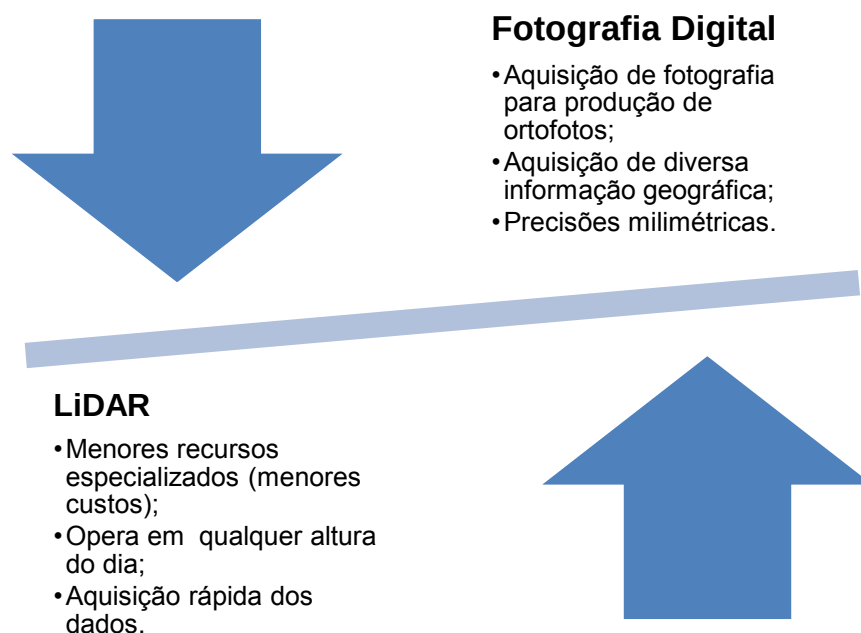


Fig. 1.2 - Fotografia digital versus LiDAR.

Com estes avanços tecnológicos surgem cada vez mais dúvidas sobre qual a técnica a que se deve recorrer no caso da obtenção de MDT. Como se pode verificar pelas principais vantagens e desvantagens, as diferenças encontradas evidenciam qualidades distintas entre estes dois métodos de aquisição de dados embora estejam inseridos na mesma área técnica. Com isto, pode-se concluir que a fotografia digital é

indicada para trabalhos em que o objetivo seja a produção de ortofotomapas e modelos digitais do terreno. Por sua vez a tecnologia LiDAR adequa-se mais a trabalhos para produção de modelos digitais de superfície e recolha de dados topográficos, é de destacar também a grande vantagem de ser menos limitativo em questões horárias.

2. Operações fotogramétricas

2.1 Introdução

A atividade fotogramétrica para a produção de ortofotomapas é desenrolada em dois processos distintos: o voo fotográfico, que começa no estudo da proposta de trabalho e termina na cobertura por fotografia aérea e; a determinação de apoio, que vai desde a marcação de pontos de apoio até a restituição (figura 2.1).

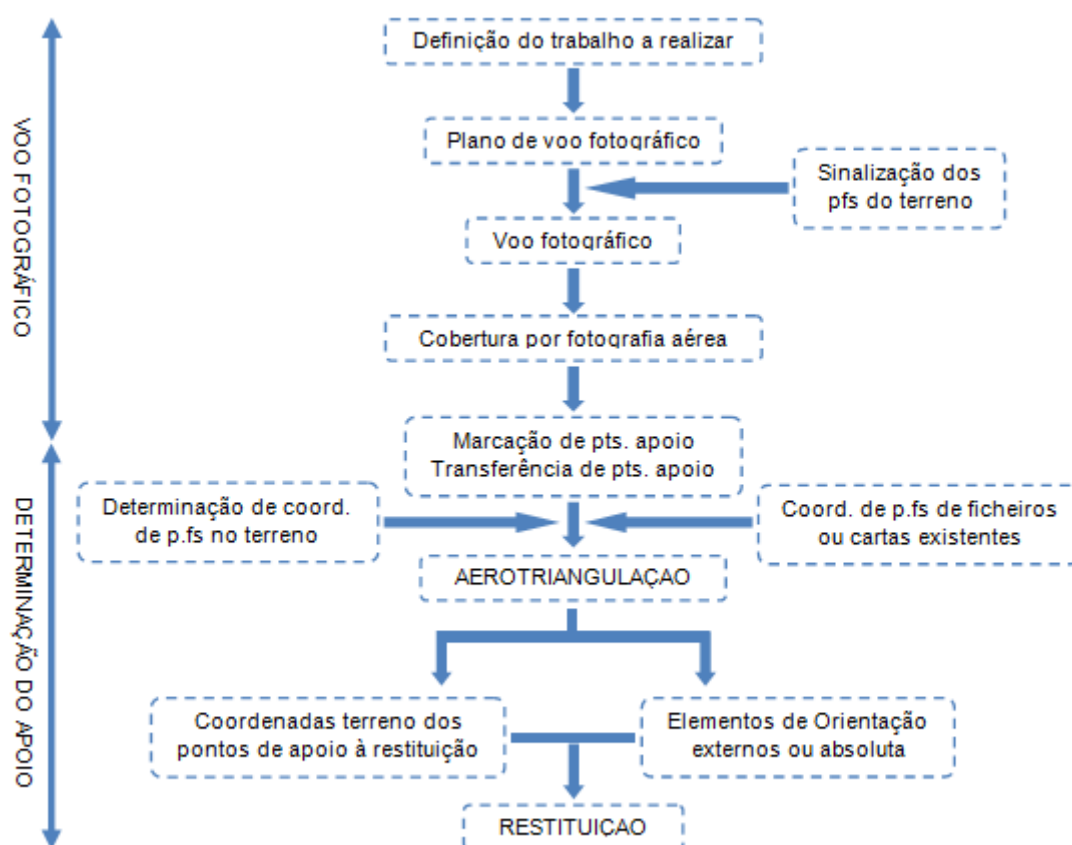


Fig. 2.1 - Esquema geral das operações fotogramétricas [5].

2.2 Planeamento de Voo

O planeamento de voo é a primeira operação no processo fotogramétrico. O sucesso da cobertura fotográfica vai ser refletida nos custos das operações que se seguem e na qualidade do produto final. Na maior parte das coberturas fotográficas recorre-se a fotografias verticais (referindo-se, a verticalidade, à posição do eixo ótico da câmara na tomada de vista). Entendem-se por fotografias aéreas verticais aquelas em que o ângulo entre o eixo ótico e a vertical de lugar é inferior a 5 graus.

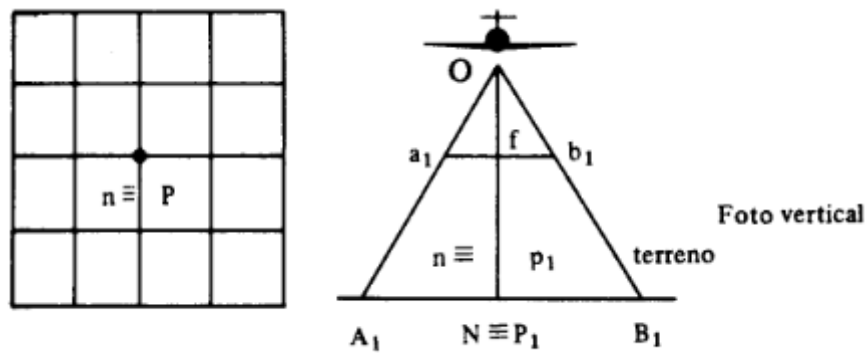


Fig. 2.2 - Fotografia aérea vertical [6].

O plano de voo começa com o estudo prévio das especificações técnicas da proposta de trabalho, nomeadamente a área a levantar, escala, precisão, tipo de representação (carta gráfica ou numérica), ortofoto em suporte digital ou papel. Estes são os principais requisitos do cliente que condicionam todos os parâmetros do planeamento de voo [7].

Conhecidos os requisitos do cliente é definido o tamanho do pixel em função do detalhe exigido e, posteriormente, calculada a altitude de voo (tendo como sistema de referência o WGS84) e a escala. A figura seguinte mostra como a altitude de voo influencia a cobertura de uma fotografia.

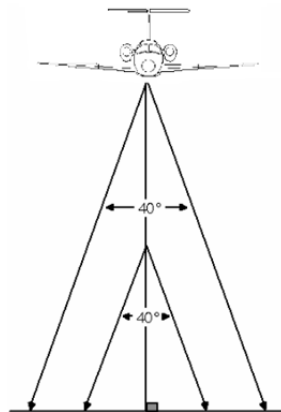


Fig. 2.3 - Influência da altitude de voo na cobertura fotográfica.

A escolha da escala irá influenciar os custos do projeto tanto no trabalho de campo como em gabinete. No caso de grandes escalas, que são pretendidas para trabalhos muito exigentes onde todos os detalhes são fundamentais, estas obrigam ao aumento do número de fotografias capturadas, menor área coberta (implicitamente maior número de fiadas a percorrer), mais pontos de apoio e um trabalho de gabinete mais

demorado a nível de restituição e de processamento, consequentemente custos maiores e projetos longos.

Estabelecidas as dimensões da foto, é necessário planear a área de cobertura estabelecendo as sobreposições laterais e longitudinais adequadas às exigências do terreno. As fotografias aéreas verticais são capturadas normalmente com uma sobreposição de 60% entre fotos consecutivas (sobreposição longitudinal) para garantir a estereoscopia. A sobreposição lateral varia entre os 15 a 30%. No entanto estas condições são favoráveis apenas a áreas maioritariamente planas, não se verificando os mesmos valores para áreas de relevo mais acidentado. Em terreno acidentado o procedimento normal consiste em aumentar as margens de sobreposição com o objetivo de compensar possíveis diminuições de sobreposição devido ao deslocamento originado pelo relevo. O deslocamento e as oscilações altimétricas do avião também são fatores que podem levar à necessidade de alterar os valores normais de sobreposição de forma a evitar lacunas (figura 2.4).

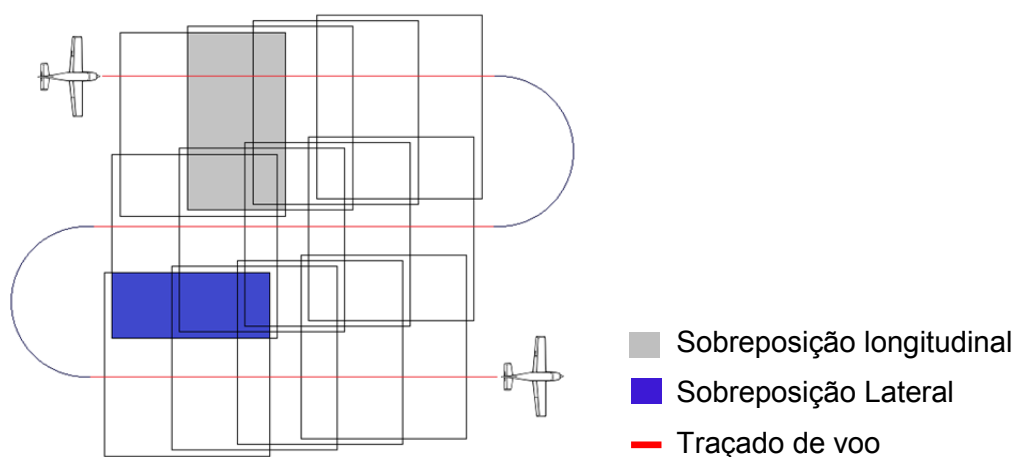


Fig. 2.4 - Sobreposição longitudinal e lateral.

O traçado de voo é delineado tendo em conta fatores como: o tipo de relevo, a área e a geometria do terreno. O número de fiadas necessário a percorrer pelo avião durante a cobertura fotogramétrica será determinante no tipo de traçado de voo. As áreas mais extensas e de geometria retangular são as mais fáceis de abordar, sendo também as mais comuns. Neste caso a avião deverá seguir uma rota que permita sobrevoar a área em traçados paralelos (figura 2.4.). Em áreas de extensão semelhante mas com relevo acidentado a abordagem é ligeiramente diferente. O princípio para estabelecer o tipo de rota a percorrer pelo avião é exatamente igual ao caso anterior, a diferença depreende-se com a área a levantar. É que, neste último caso, a área será subdividida em novos retângulos e com orientações diferentes para que se consiga estabelecer pares

estereoscópicos em toda a cobertura programada. Para o caso em que a área a levantar é reduzida e com apenas uma faixa estreita (linhas de costa, rios, caminhos de ferro) o voo terá de ser efetuado por vários troços retilíneos e de diversas direções (figura 2.5) de forma a garantir a sobreposição fotogramétrica predefinida entre si [8].

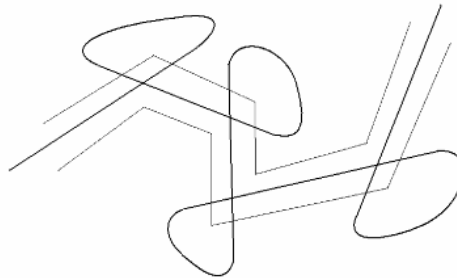


Fig. 2.5 - Traçado de voo em faixa estreitas de terreno [9].

Para ficarem concluídas todas as especificações técnicas de um plano de voo resta elaborar o mapa de voo. Este é delineado sobre cartografia já existente preferencialmente de menor escala. O mapa tem informação respeitante aos limites da área de voo, à rota que o avião deve seguir sobre as fiadas e à mudança de fiadas. Juntamente com esta informação é necessário elaborar uma carta de campo que deve conter a informação seguinte: Nome do projeto, data da realização do voo, escala da foto, constante da câmara a utilizar, altura absoluta do avião, sobreposição longitudinal e lateral e tipo de filme ou imagem [10] (figura 2.6.).

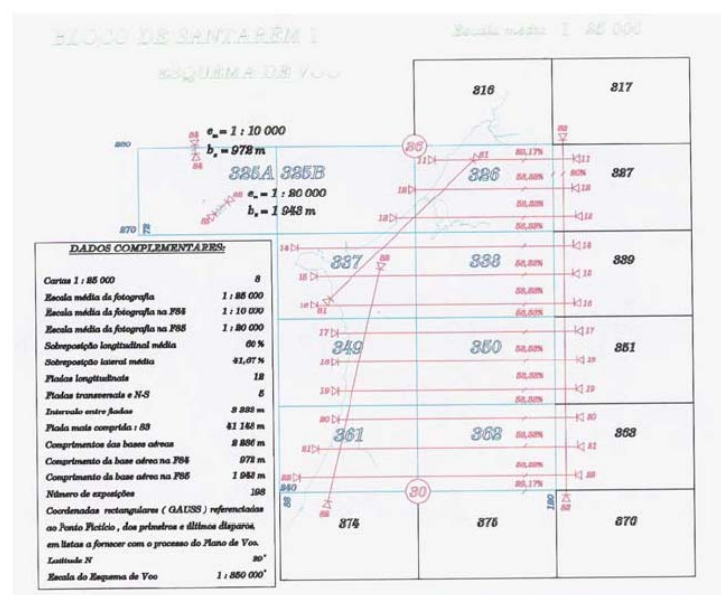


Fig. 2.6 - Exemplo do esquema de voo com dados complementares [11].

Concluído o planeamento de voo é necessário estimar uma data para a realização do mesmo. Para tal é necessário ter em conta os diversos fatores climatéricos, altura do dia e época do ano.

Começando pelas características climatéricas quando se decide voar é necessário que a cobertura de nuvens nunca seja superior a 10%. Este fator é preciso ter em conta independentemente da altitude de voo, visto que, mesmo a baixa altitude as sombras provocadas pelas nuvens podem trazer efeitos indesejados nas fotografias em pós-processamento. É importante também que a altura do sol seja superior a 30 graus, para que haja ainda uma maior ausência de sombras e uma boa distribuição da luminosidade. O voo normalmente é efetuado a meio do dia quando o sol está na sua altitude máxima acima do horizonte. O uso de máquinas fotográficas digitais podem melhorar a imagem nas áreas mais obscurecidas. Por fim, e não menos importante, é ter em conta a época do ano. Preferencialmente os voos devem ser efetuados no início da primavera ou então no fim do outono, para que a visibilidade da ocupação do solo não seja obstruída pela vegetação densa que se faz sentir noutras estações do ano [12]. No entanto para latitudes elevadas (a partir dos 40 graus) é de considerar períodos de início de primavera de forma a ter alturas máximas do Sol acima dos 30 graus.

2.3 Recolha de pontos de apoio

Pontos de apoio ou pontos fotogramétricos (PF's) constituem uma pré sinalização de marcas bem identificadas nas fotografias e no terreno que servirão, posteriormente, de apoio a triangulação aérea, permitindo, assim, medições mais precisas das coordenadas das fotografias. A correspondência entre o ponto imagem e o ponto objeto nos PF's é essencial para a precisão da determinação da orientação externa da foto ou orientação absoluta do modelo estereoscópico [13]. O número de pontos a levantar depende em grande parte do tipo de restituição a efetuar contudo, existe um mínimo teórico para efetuar a orientação de um par estereoscópico, três pontos não colineares.

Em coberturas fotogramétricas em que a sobreposição longitudinal seja de 60% e a sobreposição lateral de 30% os pontos fotogramétricos devem ser apoiados em mais que uma fotografia simultânea para que seja garantida a ligação de modelos e de bloco de pontos homólogos favorecendo assim a estabilidade da geometria do bloco (figura 2.7).

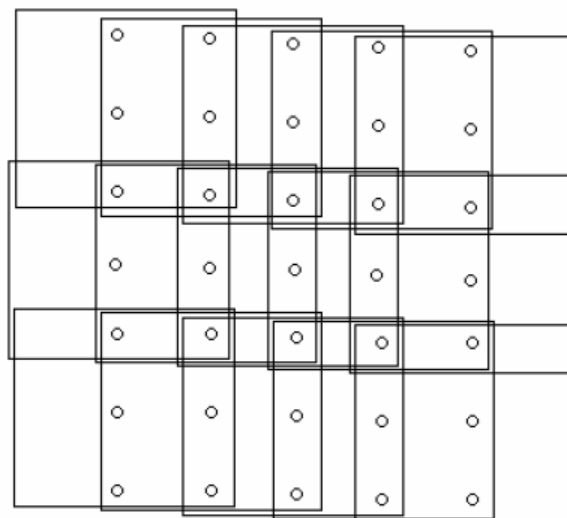


Fig. 2.7 - Localização de PF's num bloco [14].

Quando se programa o levantamento dos PF's é importante ter em conta dois aspetos: a boa identificação do ponto a levantar e, a sua acessibilidade. Este fator vai fazer com que o trabalho de campo na recolha de PF's seja um sucesso e não traga despesas extra. Isto porque um ponto mal identificado pode fazer com esse mesmo ponto não possa ser levantado, levando o operador de campo a ter que repensar num novo ponto. Os melhores locais para a recolha de PF's são pormenores no solo de preferência geometricamente bem definidos (figura 2.8.) como por exemplo, esquinas de passeios, zebras para peões, cruzamento de eixos de via, objetos isolados.



Fig. 2.8 - Exemplos de PF's bem definidos. (Fonte: InfoPortugal).

O trabalho de gabinete mesmo sendo rigoroso e de boa qualidade obriga a que o operador de campo, por vezes, tenha de fazer alterações no programa de levantamento de PF's. O operador, por norma, leva uma folha de campo com as coordenadas aproximadas do ponto a levantar, fotografia do local entre outras informações (também importantes). Contudo, e porque surgem sempre imprevistos, o operador deve estar

preparado para alterações no local a levantar o PF, por exemplo um PF que esteja obstruído por obras ou por um carro mal estacionado, leva a que o operador seja obrigado a planejar outro PF.

2.4 Orientação externa

Por orientação externa de uma câmara entende-se a operação que se executa para determinar os parâmetros que posicionam, no espaço objeto, terrestre ou cartográfico a referida câmara [15]. São seis os elementos de orientação externa, três coordenadas retangulares (X, Y, Z) do centro de projeção da câmara e os três ângulos de rotação da avião (ω , Φ , K) $\rightarrow$ (Roll, Pitch, Yaw) (figura 2.9.). O cálculo dos elementos de orientação externa podem ser determinados através das equações de colinearidade.

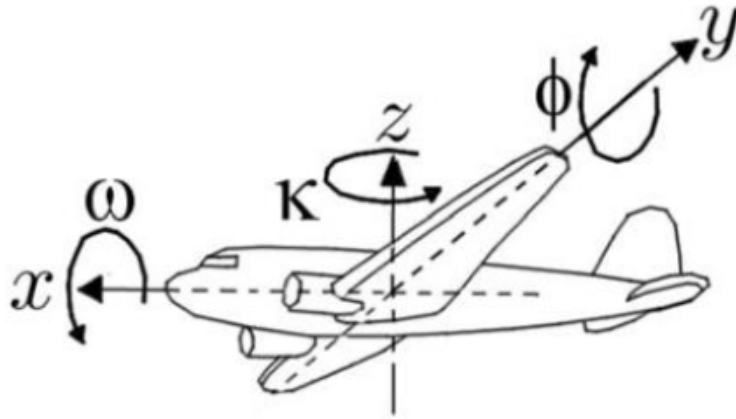


Fig. 2.9 - Elementos de orientação externa X, Y, Z, ω , Φ , K [16].

Conhecidos os elementos de orientação interna pode-se, então, construir as duas equações de colinearidade (equação 2.2 / 2.3), que estabelecem a relação entre coordenadas objeto (num dado sistema de coordenadas retangulares) e o sistema de coordenadas fotográficas [17]. O cálculo dos elementos de orientação externa pode ser determinado da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon - \varepsilon_0 \\ \eta - \eta_0 \\ c \end{bmatrix} = \lambda R \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad \text{Equação 2.1}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - c \frac{r_{11}(X-X_0)r_{12}(Y-Y_0)r_{13}(Z-Z_0)}{r_{31}(X-X_0)r_{32}(Y-Y_0)r_{33}(Z-Z_0)} \quad \text{Equação 2.2}$$

$$\eta = \eta_0 - c \frac{r_{21}(X-X_0)r_{22}(Y-Y_0)r_{23}(Z-Z_0)}{r_{31}(X-X_0)r_{32}(Y-Y_0)r_{33}(Z-Z_0)} \quad \text{Equação 2.3}$$

Em que c (distância focal), ε_0 e η_0 (coordenadas do ponto principal) são os elementos de orientação interna conhecidos. X_0, Y_0 e Z_0 são as coordenadas do centro de projeção da câmara e X, Y, Z são as coordenadas tridimensionais do terreno. R é a Matriz de rotação utilizada nas equações de colinearidade. Os seus coeficientes são determinados da seguinte forma:

$$r_{11} = \cos \varphi \cos k$$

$$r_{12} = \sin w \sin \varphi \cos k + \cos w \sin k$$

$$r_{13} = -\cos w \sin \varphi \cos k + \sin w \sin k$$

$$r_{21} = -\cos w \sin k$$

$$r_{22} = -\sin w \sin \varphi \sin k + \cos w \cos k$$

$$r_{23} = \cos w \sin \varphi \sin k + \sin w \cos k$$

$$r_{31} = \sin \varphi$$

$$r_{32} = -\sin w \cos \varphi$$

$$r_{33} = \cos w \cos \varphi$$

2.5 Aerotriangulação

A aerotriangulação é a técnica utilizada para densificar o apoio fotogramétrico da área de estudo, a partir dos pontos fotogramétricos. Este processo é feito através de um conjunto de algoritmos matemáticos e estatísticos que pesquisam pontos de apoio em áreas comuns entre as fotografias. Estes pontos servem de ligação entre as fotografias e as fiadas adjacentes, designados por *Tie Points* (figura 2.10).

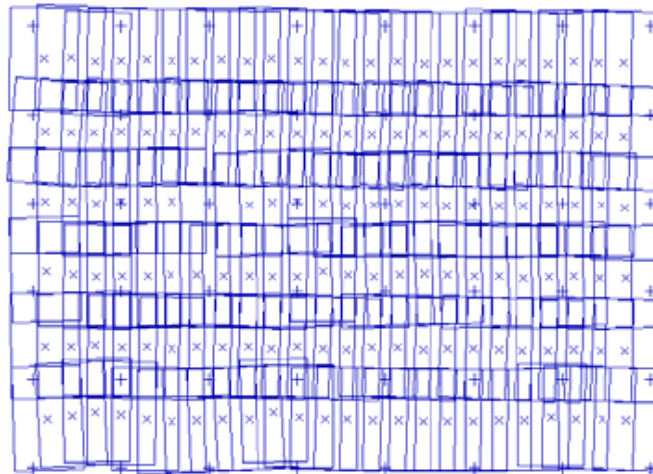


Fig. 2.10 - Bloco de fotografias aerotriangulado [18].

O objetivo da aerotriangulação é orientar e ajustar as fotografias para que qualquer ponto encontrado nessa imagem possua uma coordenada num sistema de referência. Neste processo são introduzidos os PF's recolhidos pelo operador e os elementos de orientação externa. A aerotriangulação é feita ao longo das faixas e sempre no mínimo com três fotografias.

A precisão da aerotriangulação depende de diversos fatores: dimensão do bloco de fotografias, densidade de apoio, tipo de apoio, tipo de equipamento, sobreposição longitudinal e lateral, distância focal da câmara fotogramétrica, qualidade da fotografia, experiência dos operadores, método de triangulação e qualidade no apoio topográfico. Os valores resultantes da aerotriangulação devem estar em conformidade com a tabela de critérios definida pelo Instituto Geográfico Português (IGP) (tabela 2.1 – anexo A).

	Escalada carta	1:1 000	1:2 000	1:5 000	1:10 000
	Escala de voo	1:4 500	1:7 500	1:15 500	1:22 500
	Equidistância das curvas de nível	1.00	2.00	2.50	5.00
	EMQ _M ≤	0.06	0.10	0.25	0.40
	O valor do desvio padrão em cada ponto ≤	0.15	0.26	0.60	1.00
	EMQ _P ≤	0.06	0.10	0.25	0.40
	O valor do desvio padrão em cada ponto ≤	0.15	0.26	0.60	1.00
	O valor à posteriori do desvio padrão da unidade de peso em M e P <	0.10	0.15	0.30	0.40
	EM _Z ≤	0.10	0.17	0.35	0.60
	O valor do desvio padrão em cada ponto ≤	0.26	0.36	0.95	1.55
	O valor à posteriori do desvio padrão da unidade de peso em Z <	0.15	0.20	0.40	0.55
	Diferença entre pontos da TA e pontos de verificação				
	Desvio planimétrico ≤	0.18	0.30	0.65	1.00
	Desvio altimétrico ≤	0.20	0.35	0.95	1.50

Valores em metros

Tabela 2.1 - Tabela técnica de exatidão e precisão posicional para cartografia [19].

2.6 Modelo digital do terreno

O modelo digital de terreno (MDT) é a representação de uma superfície baseada num conjunto de coordenadas retangulares. As coordenadas Z representam os valores da altitude e profundidade num modelo tridimensional que contenha o atributo elevação.

Este processo está dividido em duas componentes, a componente automática e a manual. A automática remete-se à geração do MDT (figura 2.11.) baseando-se na combinação de fotografias. A componente manual e a mais demorada tecnicamente deve-se ao facto de o MDT gerado não ser o esperado, obrigando assim a um processo de edição manual. O modelo gerado, teoricamente é uma representação de altitudes do terreno num determinado espaço cartográfico mas, as zonas de vegetação densa, pontes, edifícios entre muitos outros fatores contribuem para que as altitudes nestas áreas não sejam a real representação do terreno. Este processo de edição pode ser mais ou menos demorado dependendo principalmente de dois fatores: o detalhe exigido e a zona geográfica (filtros não funcionam em áreas mistas) [20].

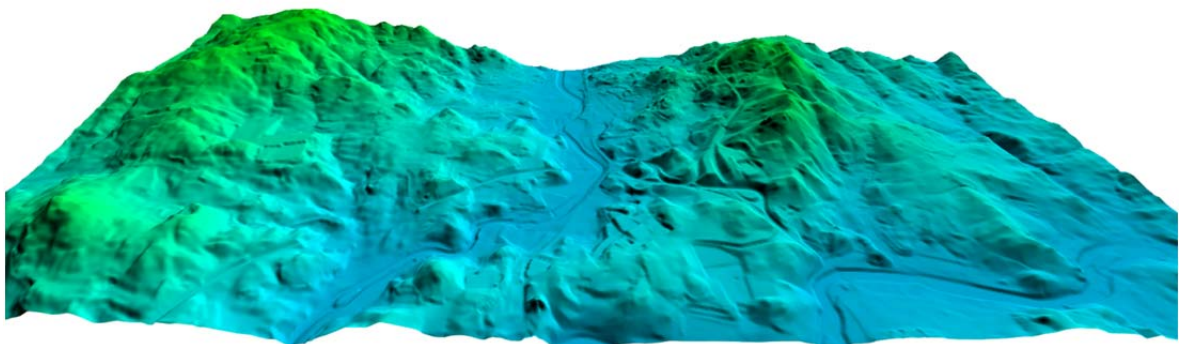


Fig. 2.11 - Modelo Digital do Terreno – Arcos de Valdevez. (Fonte: InfoPortugal).

A edição do MDT propriamente dita está longe de ser uma tarefa simples e são vários os fatores que contribuem para a dificuldade da edição em ambiente 3D. Os pontos mais críticos da edição desenrolam-se em volta de zonas de vegetação muito densa e nas grandes cidades. Os problemas nas grandes cidades acentuam-se à medida que a malha urbana fica mais densa, uma vez que os edifícios, as sombras e os carros obrigam a um trabalho mais detalhado por parte do operador em ambiente 3D. Uma das primeiras técnicas a recorrer é o aumento da sobreposição entre as fotografias, podendo encontrar uma nova perspetiva da zona de edição. Este método funciona bem principalmente nas zonas de sombra (figura 2.12.). No caso de o aumento da sobreposição não resolver o problema, que se baseia essencialmente na falta de perceção da altitude do terreno, a boa edição do MDT vai depender da experiência do operador e da sensibilidade do mesmo na interpretação do comportamento do terreno. Para tal deve ter em conta dados adicionais sobre o comportamento do terreno. Estes podem ser adquiridos recorrendo a ferramentas como o *Google Earth* ou, em último recurso, com uma visita ao terreno.



Fig. 2.12 - Zona de sombra – Matosinhos Sul. (Fonte: InfoPortugal).

Nas zonas de vegetação “fechada” (figura 2.13.) em muitos dos casos há pouco a fazer, principalmente nas zonas montanhosas em que a perceção do comportamento é extremamente difícil. A edição nestes casos específicos passa pela suavização do MDT em ambiente 3D. A edição do MDT é efetuada manualmente através da interpolação dos pontos gerados recorrendo ao auxílio de linhas da quebra (*Breaklines*).



Fig. 2.13 - Zona de vegetação densa – Zona da Tocha/Cantanhede. (Fonte: InfoPortugal).

2.7 Produção de ortofotos

As ortofotografias (ortofotos) são fotografias aéreas retificadas, com escala uniforme, nas quais os deslocamentos de paralaxe devido ao relevo e inclinação foram removidos das fotografias. Os objetos passam a estar representados numa projeção

ortogonal e têm as características geométricas de um mapa, com toda a informação contida na foto original (figura 2.14).



Fig. 2.14 - Ortofoto – Matosinhos. (Fonte: InfoPortugal).

Para a elaboração dos ortofotos é necessário conhecer os dados da aquisição da imagem e a posição da câmara fotogramétrica (orientação da imagem, posição espacial da câmara) e o MDT. Após a introdução destes dados no *software* os ortofotos são gerados automaticamente.

A qualidade dos ortofotos depende exclusivamente dos parâmetros que são exigidos pelo cliente. Nesse caso o voo é programado em função do detalhe pretendido.

O produto final é uma fotografia geo-referenciada no sistema de coordenadas cartográficas que estiver a ser utilizado.

2.8 Produção e correção de ortofotomapas

A produção e correção dos ortofotomapas é o último passo de toda a operação fotogramétrica. Os ortofotomapas são gerados automaticamente contudo a sua correção é feita manualmente. O ortofotomapa é criado a partir da junção de todos os ortofotos num só plano para que seja possível ter uma visão de toda a área de estudo (figura 2.15).



Fig. 2.15 - Ortofotomapa – Arcos de Valdevez. (Fonte: InfoPortugal).

Após a correção dos ortofotomapas é necessário ajustar o equilíbrio radiométrico (processo automático) para evitar a discrepância das cores entre os ortofotos (figura 2.16). Esta diferença de cores deve-se principalmente ao facto de os voos serem realizados em dias diferentes e também pela diferença da luminosidade e inclinação solar que se vai registando ao longo do dia.



Fig. 2.16 - Ortofotomapas com diferença radiométrica acentuada – Arcos de Valdevez. (Fonte: InfoPortugal).

Os ortofotomapas são corrigidos com a manipulação das linhas de cosedura que são geradas automaticamente por um *software* específico. No entanto o cálculo automático das linhas de cosedura pode não corresponder as características reais do terreno. Nesses casos a manipulação destas será fundamental para qualidade do

resultado final. O operador deve, então, fazer a edição para que os ortofotomapas mantenham as características da área representada manipulando o local de passagem da linha de cosedura [20].

3. Câmaras fotogramétricas

3.1 Introdução

As primeiras câmaras aéreas digitais com capacidade para recolha de informação de alta resolução começaram a ser comercializadas em 2000. Só a partir deste momento é que foi possível obter imagens comerciais com resolução equiparáveis às tradicionais câmaras métricas aéreas. A comercialização das câmaras de formato digital é um processo que tem vindo a ganhar força desde os anos 80. Nesta altura já o processo fotogramétrico era feito, em grande parte, em suporte digital à exceção do levantamento fotogramétrico que ainda era feito em suporte analógico [21].

As câmaras fotogramétricas têm como componentes gerais o módulo do sensor, unidades de armazenamento e um sistema de GPS/IMU.

O sensor mais comum para registar a quantidade de luz refletindo numa superfície é conhecido por *Charge Coupled Device* (CCD). O *modus operandi* destes sensores consiste na conversão dos fotões, que incidem na sua superfície de sílica, em eletrões que darão origem a uma carga. Esta carga é transformada em sinal digital que posteriormente dará origem a uma medida. Os sensores podem organizar-se de forma linear ou matricial [22].

As câmaras de sensores lineares baseiam-se na exposição simultânea de três linhas de sensores CCD orientados de forma diferente, uma no plano vertical (nadir), outra direcionada para frente da avião e outra para trás (figura 3.1), sendo todos sensíveis no domínio pancromático do espectro. O terreno é coberto triplamente por imagens contínuas à medida que a avião progride.

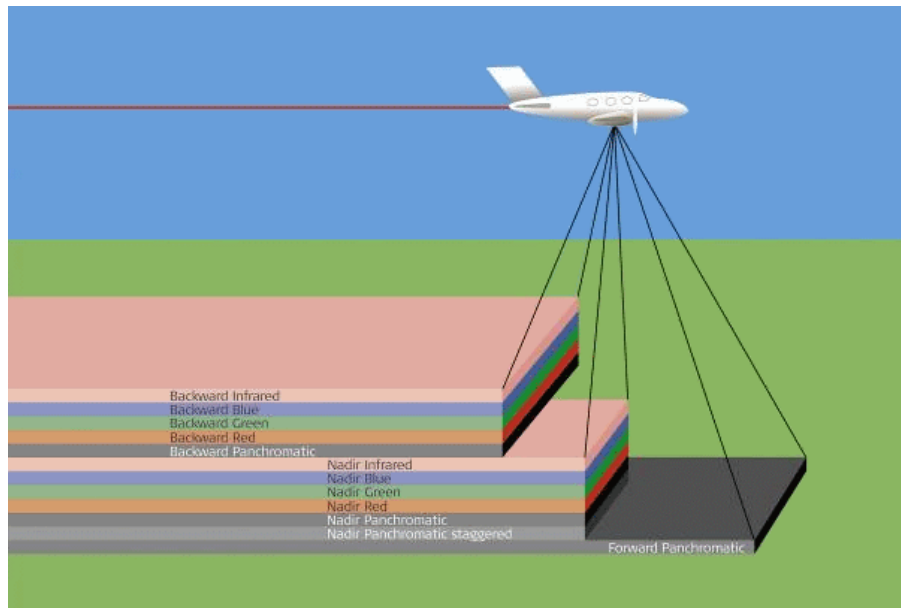


Fig. 3.1 - Conceito do sensor linear CCD (Leica ADS40) [23].

As câmaras de sensores matriciais também são compostas por vários sensores CCD. No entanto a disposição composta por módulos e a sincronização entre estes no momento da captura dos diferentes tipos de imagem é que os diferenciam em relação aos sensores lineares. O momento de captura e sincronização é programada de acordo com a aplicação que terá a informação. As câmaras aéreas digitais com sensores matriciais são, na realidade, várias câmaras, cada uma com o seu sensor, uma objetiva e um obturador, as quais se encontram rigidamente montadas num módulo [24].

As câmaras matriciais CCD agrupam-se em dois tipos de formatos: as de pequeno formato (figura 3.2) e as de grande formato (figura 3.3). As câmaras de pequeno formato são mais económicas, pois não têm tantas câmaras integradas com o sistema GPS/IMU, contudo este número varia de uma a quatro câmaras por sistema. A aplicação destas câmaras só é viável quando integradas com sistema GPS/IMU, que permite a determinação direta da orientação externa das fotografias.



Fig. 3.2 - Câmara de pequeno formato – DIMAC [25].

Nas câmaras fotogramétricas de grande formato o módulo do sensor é constituído normalmente por 8 câmaras. A disposição entre os módulos é que varia consoante a finalidade do projeto. Neste tipo de câmaras a captura de imagens é independente de qualquer sistema de navegação [24].



Fig. 3.3 - Câmara de grande formato – UltraCam XP [26].

3.2 Especificações das três câmaras fotogramétricas em estudo

Tal como já referenciado no objetivo do trabalho, pretende-se a produção de ortofotomapas utilizando a câmara fotogramétrica DigiCam H39, com posterior comparação com as câmaras fotogramétricas, Digital Mapping Camera (DMC) e UltraCam Xp. O estudo comparativo entre as três câmaras referenciadas deve-se ao facto de a empresa onde decorreu o estágio possuir imagens obtidas por estas. Procedese assim às especificações técnicas das mesmas.

3.2.1 DigiCam H39

A câmara fotogramétrica DigiCam H39 é uma camara de médio formato, que permite capturar imagens georreferenciadas de uma forma rápida e económica. A câmara é constituída por um único sensor, que permite a aquisição de imagens no formato RGB.

As principais características são as seguintes [27] (tabela 3.1):

Dimensão do pixel (μm)	Resolução radiométrica (bits)	Distancia Focal (mm)	Dimensão do sensor (pixéis)	Tamanho das fotografias (KB)
6.8	8	80.000	7 216 x 5 412	166,774

Tabela 3.1 - Principais especificações da câmara fotogramétrica DigiCam H39 [27].



Fig. 3.4 - Câmera fotogramétrica DigiCam H39 [1].

3.2.2 Digital Mapping Camera (DMC)

A DMC Intergraph (Figura 3.5) foi a primeira câmara aérea matricial de grande formato que apareceu no mercado, surgindo ao público em 2000. Esta câmara fotogramétrica é constituída por oito câmaras, quatro centrais e quatro periféricas. As quatro câmaras centrais são as de maior resolução e destinam-se à captura de imagens pancromáticas, as restantes captam separadamente as três cores fundamentais e o infravermelho próximo. As principais características são as seguintes [28] (tabela 3.2):

Dimensão do pixel (μm)	Resolução radiométrica (bits)	Distancia Focal (mm)	Dimensão do sensor (pixéis)	Tamanho das fotografias (KB)
12	12	120.000	13 824 x 7 680	417,823

Tabela 3.2 - Principais especificações da câmara fotogramétrica DMC [28].



Fig. 3.5 - Câmera fotogramétrica DMC [29].

3.2.3 UltraCam Xp

A UltraCamXp (figura 3.6) é uma câmara digital matricial de grande formato que surgiu no mercado em 2009. É um *upgrade* da UltraCam X surgindo com duas principais evoluções: um sensor com formato de imagem maior e um tamanho de pixel mais pequeno. O módulo de sensor à semelhança da DMC é constituído por oito câmaras. Quatro câmaras centrais - imagem pancromática e as restantes são responsáveis pelos canais multi-espectrais, RGB e NIR [30]. As principais características são as seguintes (tabela 3.3):

Dimensão do pixel (μm)	Resolução radiométrica (bits)	Distancia Focal (mm)	Dimensão do sensor (pixéis)	Tamanho das fotografias (KB)
6	12	100,500	17 310 x 11 310	774,750

Tabela 3.3 - Principais especificações da câmara fotogramétrica UltraCam Xp [30].



Fig. 3.6 - Câmera fotogramétrica UltraCam Xp [30].

4. Componente prática

4.1 Introdução

A componente prática teve como objetivo efetuar na íntegra todo o processo fotogramétrico com o objetivo de produzir um ortofotomapa.

A área de estudo escolhida para desenvolver este trabalho foi o concelho de Ponte da Barca.

O planeamento de voo foi efetuado no *software* IGI (*Ingenieur-Gesellschaft fur Interfaces*) WinMP e com o apoio da ferramenta online Google Earth. A câmara fotogramétrica utilizada na componente prática foi a DigiCAM H39 (câmara fotogramétrica da InfoPortugal S.A.) e o voo foi realizado por forma a obter-se uma resolução de 12 cm. A altura média de voo foi de aproximadamente 4 900 pés, tendo em consideração que a altitude é em relação ao sistema de referência (WGS84).

4.2 Planeamento de Voo

O plano de voo foi iniciado com a definição da área de estudo (Google Earth). Após a definição da área e, conseqüente gravação do polígono no formato KML ou KMZ, o mesmo é convertido para *shapfile* através do FWTools/ogr2ogr:

```
ogr2ogr -f "ESRI Shapefile" area_estudo.shp area_pbarca.kml
```

Contudo o WinMP só lê ficheiros com formato dxf, para tal foi necessário recorrer a uma nova conversão, do formato *shapfile* para dxf, o *software* usado foi o ArcMap. Posto isto, estão reunidos todos os dados necessários à realização do planeamento de voo.

Inicialmente foi configurado nas propriedades do *software* a sobreposição lateral e longitudinal, 30% e 60% respetivamente. Foi definida a câmara fotogramétrica (DigiCam H39) que automaticamente define a distância focal da lente e o tamanho do pixel do sensor 6,8 µm. Nessa mesma configuração foi necessário introduzir apenas o tamanho do pixel da fotografia com que se pretende a resolução. Configuradas as características do voo e da câmara fotogramétrica, foi introduzida a área de estudo, um mapa de Portugal e um MDT (figura 4.1). A área de estudo introduzida é o polígono criado no Google Earth que posteriormente foi convertido para o formato dxf para que pudesse ser lido pelo *software* sendo aqui definido o sistema de coordenadas (WGS84). O mapa introduzido é a carta militar de 1/500 000 de Portugal continental. O MDT utilizado (*Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM) é um modelo genérico que contém dados de

elevação média a uma escala global que permite que a altura de voo seja ajustada ao terreno para que possa ser garantida a escala do trabalho definida.

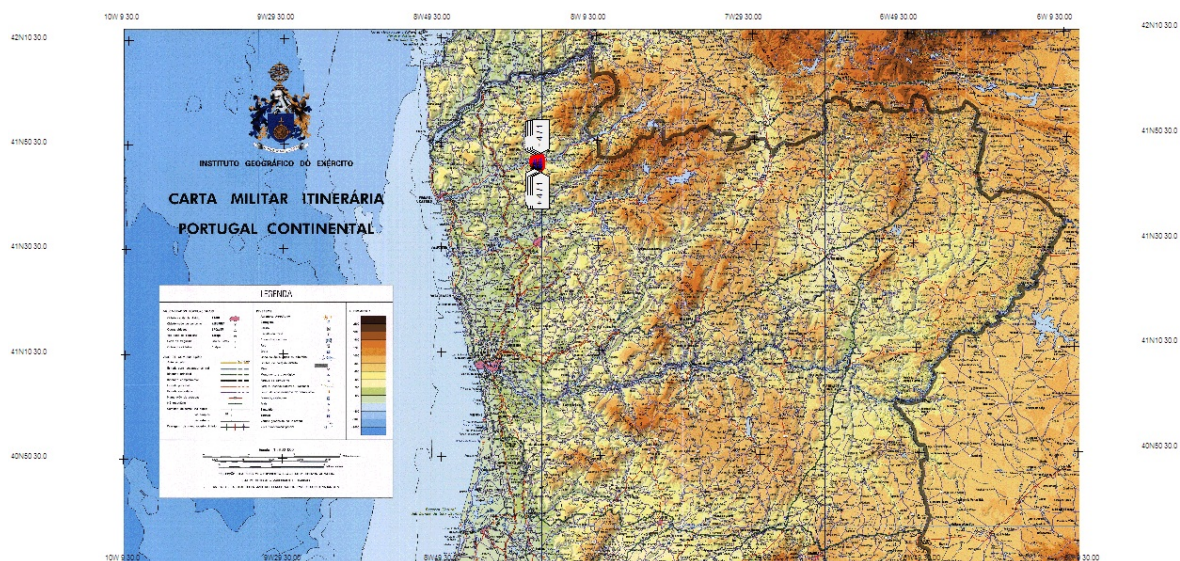


Fig. 4.1 - Mapa de Portugal e área de estudo.

O planeamento de voo foi finalizado definindo a orientação das fiadas, Norte - Sul e a verificação do ajustamento do MDT à sobreposição das fiadas (figura 4.2).



Fig. 4.2 - Ajustamento das fiadas ao MDT.

Na orientação das fiadas foi sempre tido em conta o aspeto económico para que o plano fosse o mais competitivo possível. Esta orientação reflete-se no número de fiadas e, consequentemente, no tempo de voo estimado. A introdução do MDT pode obrigar a alterações do plano, nomeadamente nas sobreposições laterais e longitudinais. Isto porque, após a introdução do MDT as fiadas vão se ajustar ao modelo e, nesse momento

é preciso ter em atenção a garantia de que as fiadas continuam com a sobreposição desejada.

De seguida, o *software* elaborou um relatório (anexo B) com todos os dados e características do voo. A lista de parâmetros obtidos foi a seguinte:

Lin	Seg	MSL	AGL	GL	Scale	Forelap [%]	Base	DTK [°]	No of Photo	Length [km]
1	1	4837	4632	205	17647	60	260		6	1.299
2	1	4810	4632	178	17647	60	260	360	13	3.117
3	1	4866	4632	235	17647	60	260	360	13	3.117
4	1	5131	4632	499	17647	60	260		13	3.117

Total number of lines / segments: 4 / 4

Total number of photos: 45

Total line length [km]: 10.65

Estimated project time [hh:mm]: 00:20 (120.0 kts, 06:00 min per turn)

Fig. 4.3 - Lista de parâmetros obtida através do planeamento de voo.

4.3 Voo fotogramétrico

O levantamento fotogramétrico ocorreu a 29 de julho de 2011 sobre o concelho de Ponte da Barca. O plano de voo foi estudado pelo comandante para que este fizesse uma apreciação da área de voo, planeando uma coordenação com as entidades responsáveis.

O avião utilizado foi o Cessna T210L Centurion II. O equipamento fotogramétrico utilizado no levantamento foi a placa giro-estabilizadora GSM3000 para compensar os movimentos do avião e manter a verticalidade da câmara. A câmara fotogramétrica utilizada foi a DigiCam H39 e um sistema inercial de medição. O *software* de navegação utilizado foi o *Computer Controlled Navigation System, 4th generation* (CCNS4).

O *software* foi ligado antes do voo, ainda em terra, para que o giroscópio do IMU fosse calibrado e definisse o zero e fosse definida também a abertura da câmara. Após a descolagem foi definido no *software* a primeira fiada. Quando o avião se encontrou no local o *software* iniciou automaticamente a recolha das fotografias.

4.4 Correção e mudança das fotografias aéreas

Concluído o voo e, já em gabinete, efetuou-se uma conversão do formato das fotografias aéreas no *software* Flexcolor. As fotografias estavam no formato RAW, com a extensão .3fr e foram convertidas para a extensão .fff, que são formatos específicos do *software* Flexcolor.

Foi com esta extensão que se efetuou a edição das fotografias. Este foi um tratamento simples que serviu para tornar as fotografias mais definidas e com umas cores mais próximas da realidade. O processo foi feito através da manipulação das propriedades da fotografia, histogramas, brilho, contraste, textura (figura 4.4). O filtro foi gravado e aplicado a todas as fotografias. Após o tratamento das fotografias a exportação das mesmas veio no formato .tif.

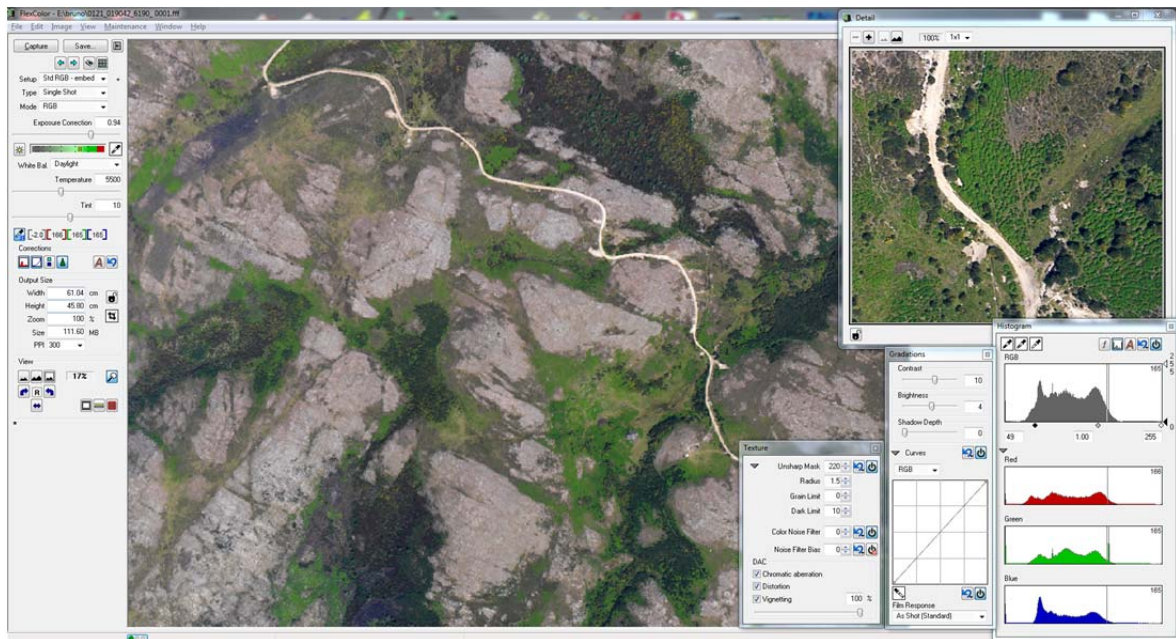


Fig. 4.4 - Edição das propriedades da fotografia.

4.5 Recolha de pontos de apoio

O último trabalho de campo consistiu na recolha de pontos que irão servir de apoio à aerotriangulação. A recolha de PF's (figura 4.5) foi projetada em gabinete para que a mesma se tornasse eficiente e económica. Para além dos pontos necessários foram programados mais alguns pontos para a eventualidade de alguns deles não poderem ser levantados, como explicado no subcapítulo 2.3.



Fig. 4.5 - Locais de recolha de PF's.

Os materiais necessários para a recolha foram a caderneta Trimble R4, o recetor 5800 da Trimble e um telemóvel com ligação GPRS. Para além do material específico de recolha, levou-se um sistema de navegação com a localização dos pontos fotogramétricos a recolher, assim como uma folha de campo com uma foto do local. A recolha dos PF's decorreu no dia 16 de agosto de 2011. Os pontos foram levantados no sistema de coordenadas geográficas ETRS89 usando o modo diferencial em tempo real (Sistema RTK - *Real Time Kinematic*) apoiado na rede RENE (Rede Nacional de Estações Permanentes). A informação foi recolhida da base de Paredes de Coura. Foram seis os pontos levantados (figura 4.6).

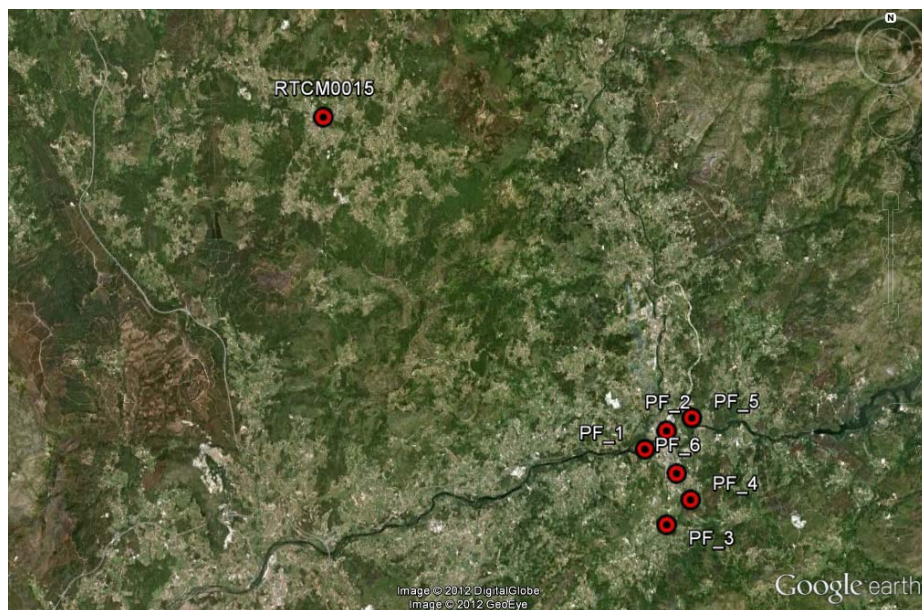


Fig. 4.6 - Localização dos PF's e da Base.

Em cada projeto foi criado um novo ficheiro na caderneta. Quando se inicia o levantamento a caderneta estabelece ligação com a antena e esta com a base. Ao mesmo tempo é visível no monitor da caderneta a precisão horizontal e vertical do levantamento. Os principais pontos de referência a ter em conta no levantamento, e que garantem o bom posicionamento, são o número de satélites visíveis e o PDOP (*Position Dilution of Precision*). O PDOP define a qualidade da geometria dos satélites. Neste levantamento o PDOP nunca foi superior a 1,7 e, 13 foi o número mínimo de satélites no momento do levantamento. Estes valores demonstram a boa capacidade de receção do sinal. O levantamento dos pontos foi do tipo “ponto rápido”. No fim do levantamento foram reportados dois relatórios, um de qualidade de controlo e outro de levantamento.

4.6 Orientação externa

Para se proceder à orientação externa foi necessário primeiro processar os dados do *DataCard* que contêm as informações GPS do voo. O *software* utilizado no processamento foi o GrafNav (Novatel). Este processamento requereu os ficheiros RINEX da base da rede RENEP (Rede Nacional de Estações Permanentes) do dia em que foi feito o voo fotogramétrico.

Concluída a receção dos dados RINEX foi efetuada a conversão de todos os ficheiros para GPB, por fim estes ficheiros foram todos concatenados num só. Os dados GPS do avião também foram convertidos do formato novatel para GPB.

Foi criado um novo projeto com os dados da base e do *DataCard* no *software* para o processamento dos dados GPS. A figura 4.7 confirma a receção sem falhas de todos os dados da base.

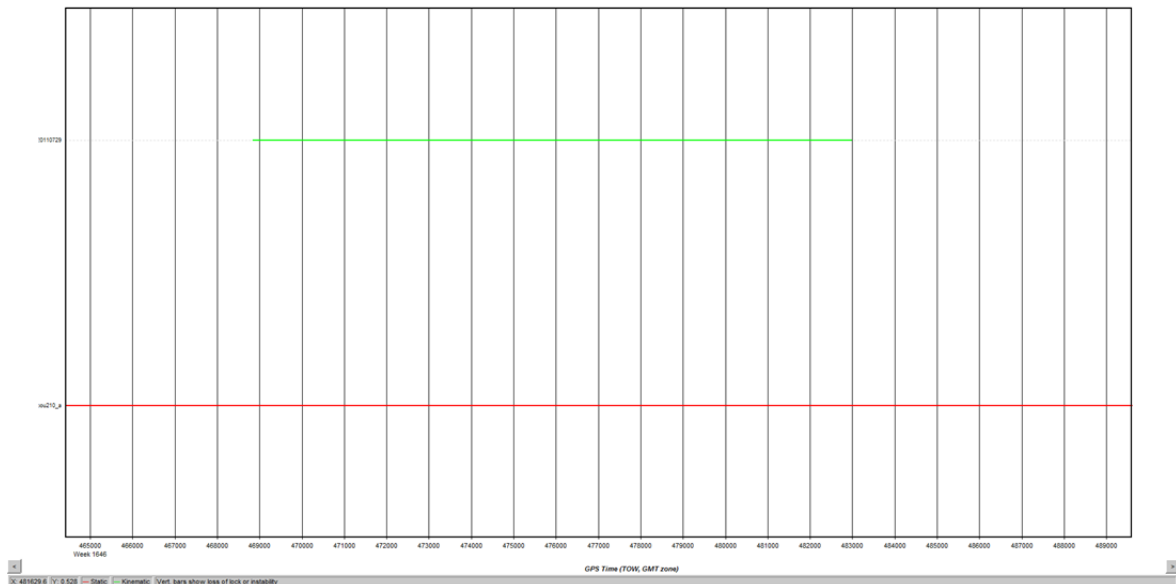


Fig. 4.7 - Receção dos dados RINEX da base.

Após o primeiro processamento foram analisados alguns gráficos, como por exemplo o das estimativas da posição da fotografia (figura 4.8).

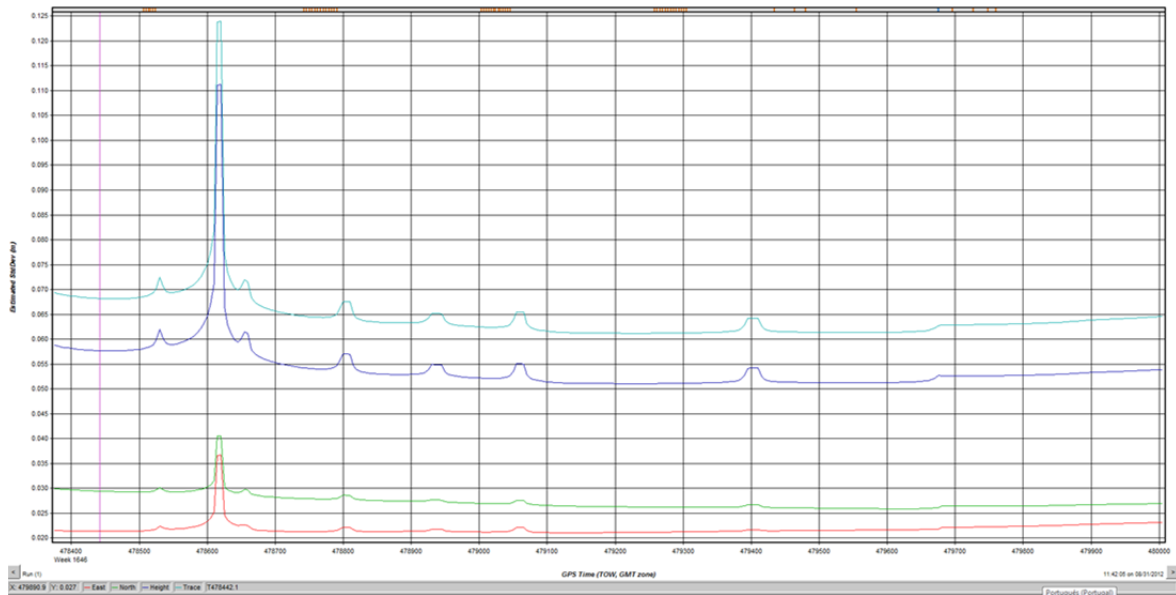


Fig. 4.8 - Estimativas posicionais do primeiro processamento.

Com base nesses dados foi feita uma manipulação nas características do processamento com vista a melhorar o mesmo. Neste caso foi necessário alterar o desvio padrão do código e da fase para 0,8 e 0,03, respetivamente, e desativado o filtro da ionosfera. Foi efetuado um novo processamento obtendo os seguintes posicionamentos (figura 4.9).

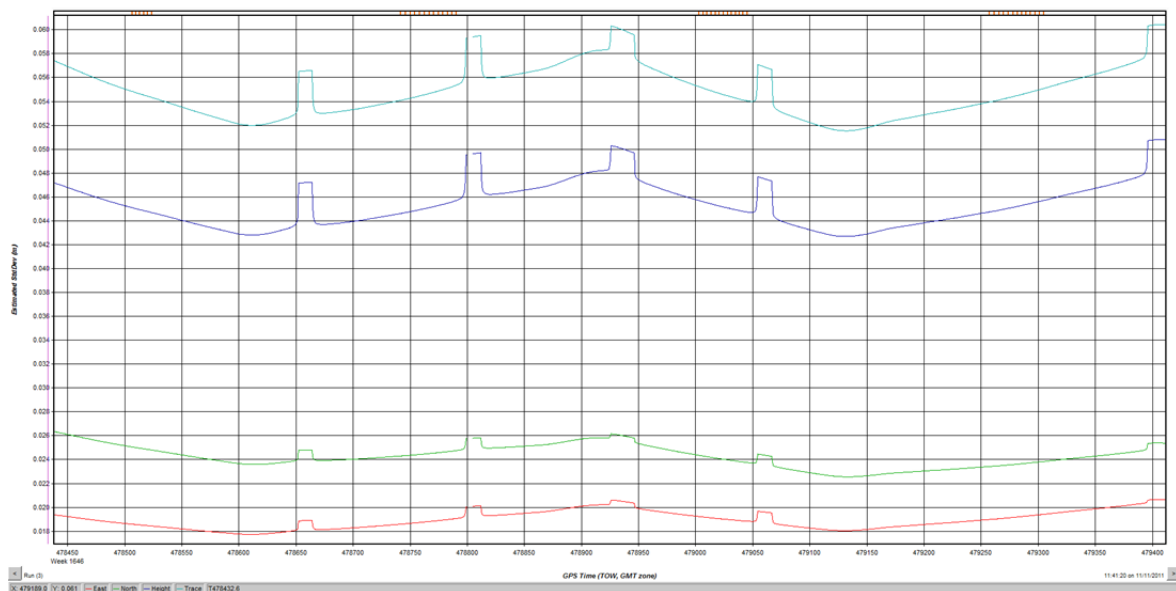


Fig. 4.9 - Estimativas posicionais do segundo processamento.

No primeiro processamento (figura 4.8) o maior erro está associado à coordenada z com aproximadamente 5,5 cm. As coordenadas X, Y apresentam erros menores, 2 e 2,5 cm respetivamente. Com o segundo processamento (figura 4.9) as coordenadas

planimétricas reduziram em aproximadamente 0,3 cm e a coordenada altimétrica em quase 1 cm verificando-se nesta última a redução mais significativa. Os erros planimétricos situaram-se na casa dos 2 cm (pouca alteração face ao primeiro processamento) e as coordenadas altimétricas na casa dos 4,5 cm.

Concluído o processamento, os dados GPS foram exportados no formato .txt e carregados num novo *software* AeroOffice. O projeto neste *software* foi criado quando foram descarregados os dados brutos do *DataCard*, bastando apenas a introdução dos ficheiros processados anteriormente. Foi efetuado o processamento e o respetivo relatório. A orientação externa foi dada como finalizada após a visualização gráfica de alguns resultados. Como por exemplo a variação dos elementos X,Y,Z da orientação externa (figura 4.10).

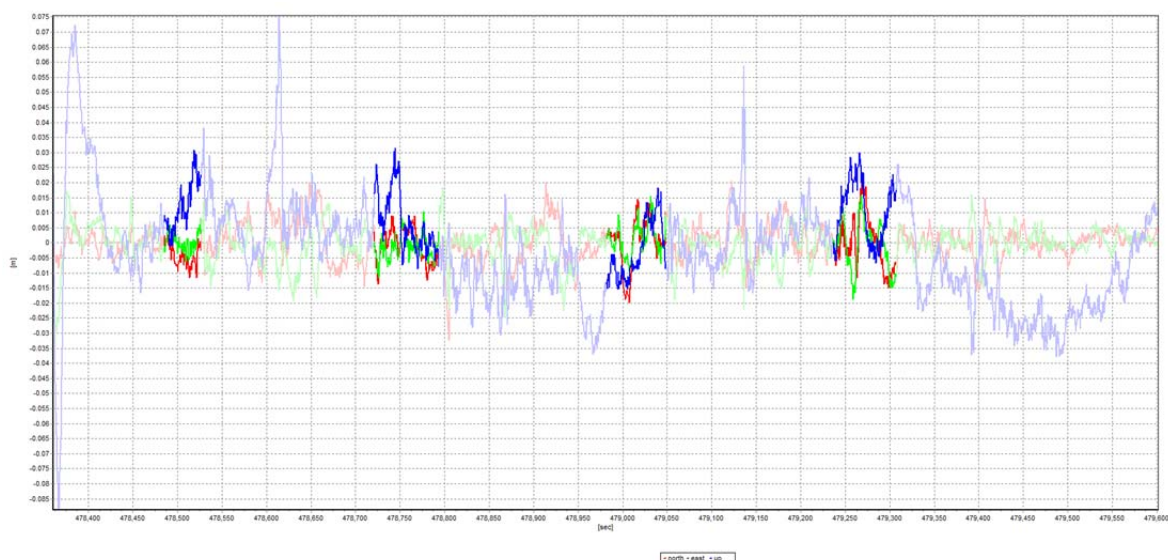


Fig. 4.10 - Elementos de Orientação externa – X,Y,Z.

O gráfico (figura 4.10) explica parte do erro associado às coordenadas altimétricas das fotografias. Como se pode verificar o sistema IMU mostrou-se mais instável na coordenada Z (linha azul).

A orientação externa foi finalizada com a exportação dos elementos X, Y, Z, Ω , Φ , K no sistema de coordenadas pretendido. Este foi exportado no sistema de referência ETRS89.

4.7 Aerotriangulação

Para a realização da aerotriangulação recorreu-se a vários módulos do *software* Application Master.

Inicialmente foi criado no Application Master o projeto, onde foram introduzidos os parâmetros da câmara, os tiff's (imagens tratadas no Flexcolor), o ficheiro com os elementos de orientação externa e os pontos fotogramétricos (figura 4.11).

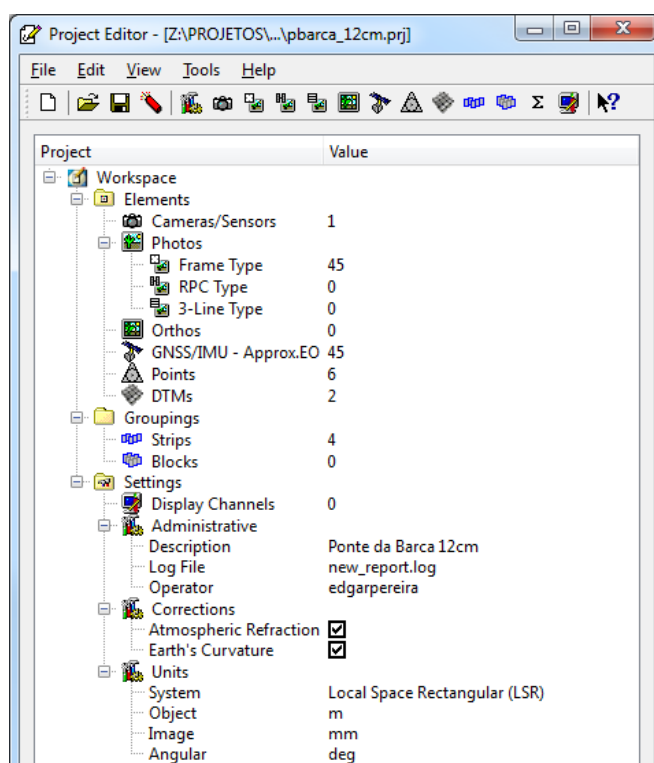


Fig. 4.11 - Criação de um novo projeto.

De seguida foram geradas as *Strips* com a direção do voo, estas são a combinação dos tiffs e dos elementos de orientação externa. Os *overviews* são gerados através do módulo Image Commander. A finalização do projeto pode ser verificada no módulo Multi Photo Measurement (figura 4.12).



Fig. 4.12 - Visualização do projeto.

Concluída a fase de preparação do projeto procedeu-se à aerotriangulação. Esta foi feita no módulo MATCH AT. Para este processo foram alteradas as características do *software* para que o processo pudesse efetuar o ajustamento utilizando os dados GPS/IMU processados anteriormente.

Após o primeiro processamento da aerotriangulação foram marcados os pontos fotogramétricos no módulo MultiPhoto Measurement (figura 4.13) e, posteriormente, foi efetuado um pós processamento em que foram considerados os PF's levantados. Foi gerado um relatório com os resíduos dos processamentos efetuados.

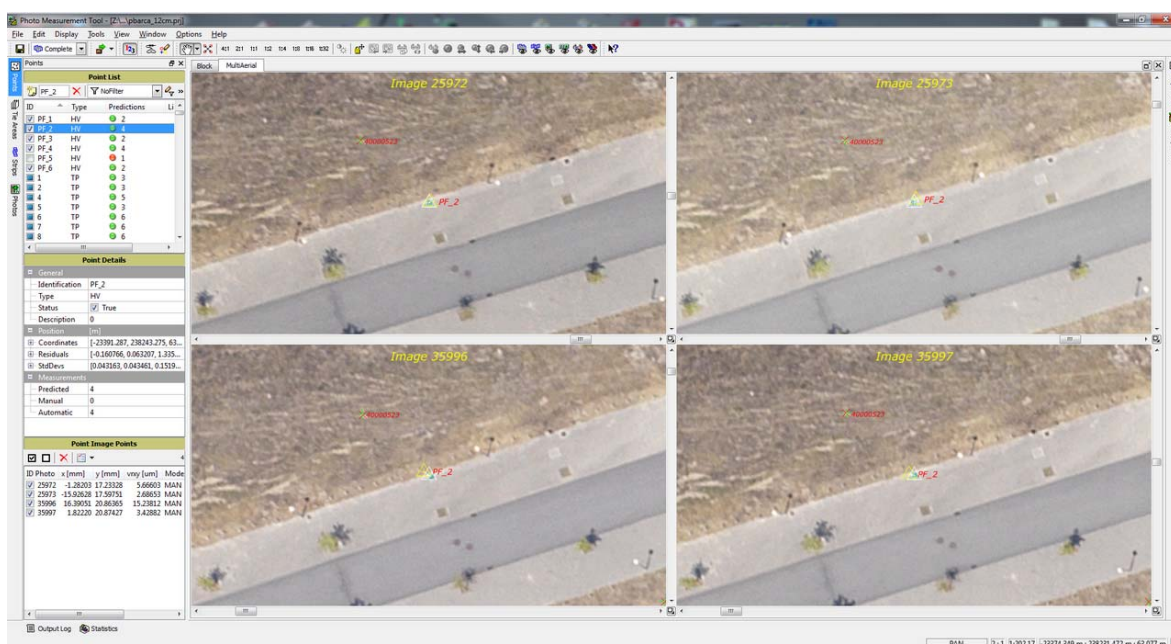


Fig. 4.13 - Introdução dos PF's.

Foi encontrada uma discrepância de valores acima do esperado dentro dos valores estipulados na tabela técnicas de exatidão e precisão posicionais para cartografia disponibilizada pelo IGP (figura 4.14) no qual a causa principal é, como se pode visualizar na figura 4.15, o efeito de arrastamento. Este efeito deve-se a aceleração ocasional provocada por uma oscilação compensatória da placa inercial (no ângulo de rotação *roll*) no momento do disparo da câmara. Como as altitudes são determinadas pela correlação de imagens, estas como não estão bem definidas vão introduz um erro na coordenada altimétrica Z.

Standard deviations			
	X	Y	Z
mean	0.076 [m]	0.066 [m]	0.330 [m]
max	0.202 [m]	0.149 [m]	0.683 [m]
min	0.041 [m]	0.041 [m]	0.125 [m]
# points:	3833		

Fig. 4.14 - Resíduos da aerotriangulação.

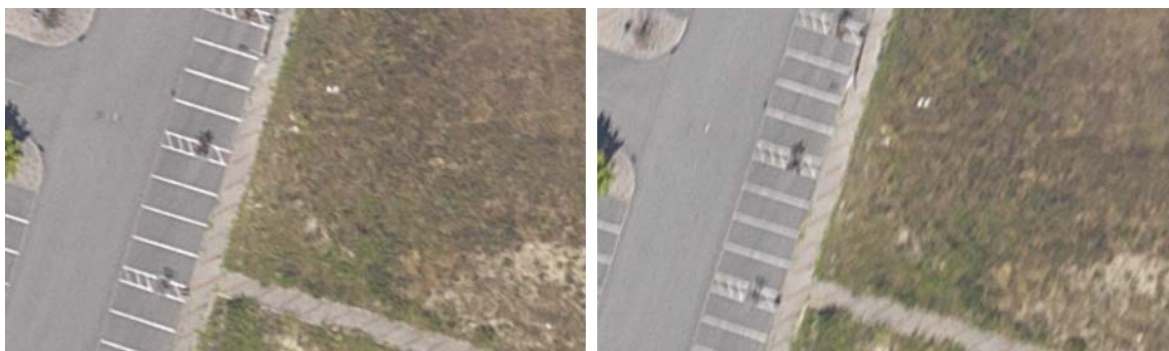


Fig. 4.15 - Fotografia sem e com efeito de arrastamento.

4.8 Geração e edição do modelo digital do terreno

O MDT foi gerado pelo módulo MATCH T do *software* Application Master onde previamente foi definido o tipo de terreno e o espaçamento da grelha. No projeto de Ponte de Barca o terreno foi definido como do tipo ondulado e o espaçamento da grelha criado foi de 4 metros. Este espaçamento foi definido recorrendo à tabela de exatidão e precisão posicional para a cartografia nas escalas disponibilizadas pelo IGP. Neste processo foram extraídos modelos de 41 pares estereoscópicos.

Como descrito nos capítulos teóricos, o MDT apresentou erros relativamente elevados por toda a área. Estes erros surgiram maioritariamente em zonas de vegetação densa, zonas edificadas, pontes, entre outros. Nestas zonas foi feita uma edição manual do projeto. A edição consistiu em ajustar as coordenadas Z em ambiente 3D. A figura 4.16 (perfil de uma área – junto ao rio) demonstra as diferenças entre uma zona em bruto (imagem do lado esquerdo) e a mesma zona editada (imagem do lado direito).

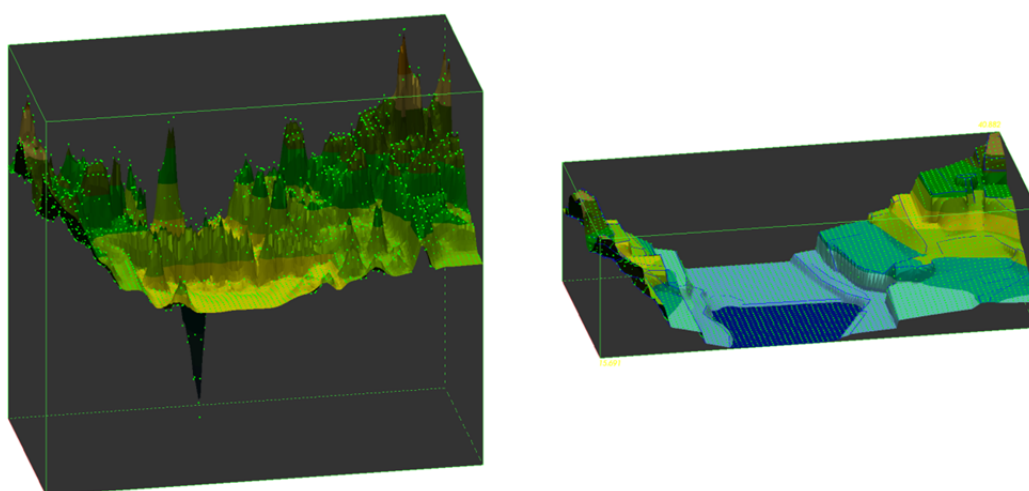


Fig. 4.16 - Modelos Digitais do terreno.

A edição dos pontos é efetuada através de uma interpolação automática dos mesmos, em que são feitas seleções de pequenas áreas e de seguida interpoladas. Por

vezes, só a interpolação de pequenas áreas é insuficiente para a edição do MDT. O recurso às linhas de quebra é constante e o método mais eficaz para edição rápida, pois, a interpolação sobre estas mesmas linhas reduz o número de reinterpolações. O desenho das linhas de quebras são efetuadas em ambiente 3D sobre o terreno. A quantidade de linhas de quebra vai-se acentuando à medida que se progride para zonas urbanas (figura 4.17). O detalhe do produto final também condiciona a quantidade de linhas de quebra.

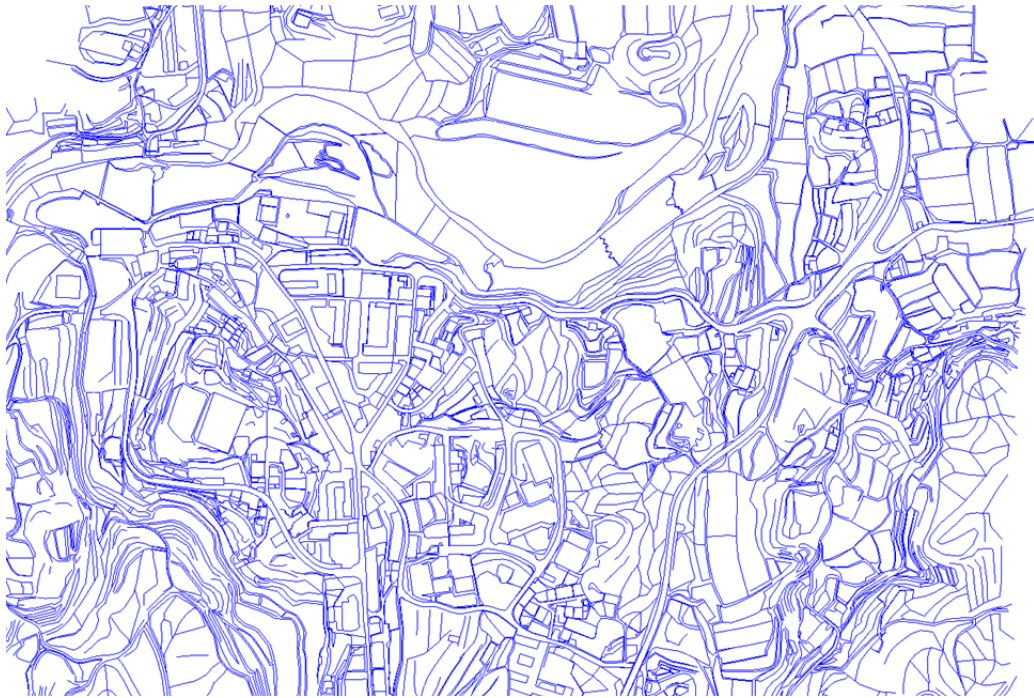


Fig. 4.17- Linhas de quebra genérica – Ponte da Barca.

O facto de a zona de edição não ter desníveis acentuados e grandes edifícios facilita a edição tornando o trabalho mais rentável e preciso, pois o operador está menos vulnerável ao erro por parte da imagem e também da fadiga mental que o trabalho provoca. A figura seguinte (figura 4.18) demonstra duas áreas distintas na exigência de edição. A figura do lado esquerdo corresponde a uma área urbanizada sendo necessário desenhar mais linhas de quebra devido à má produção do MDT. Juntamente a este fator é necessário ter em conta a digitalização das linhas de quebra, a digitalização destas sobre casas e edifícios pode gerar erros na produção dos ortofotos. Por sua vez a imagem do lado direito apresenta um menor volume de linhas de quebra. A vegetação rasteira e a pouca urbanização são o motivo para uma edição mais rápida e menos suscetível a erros.

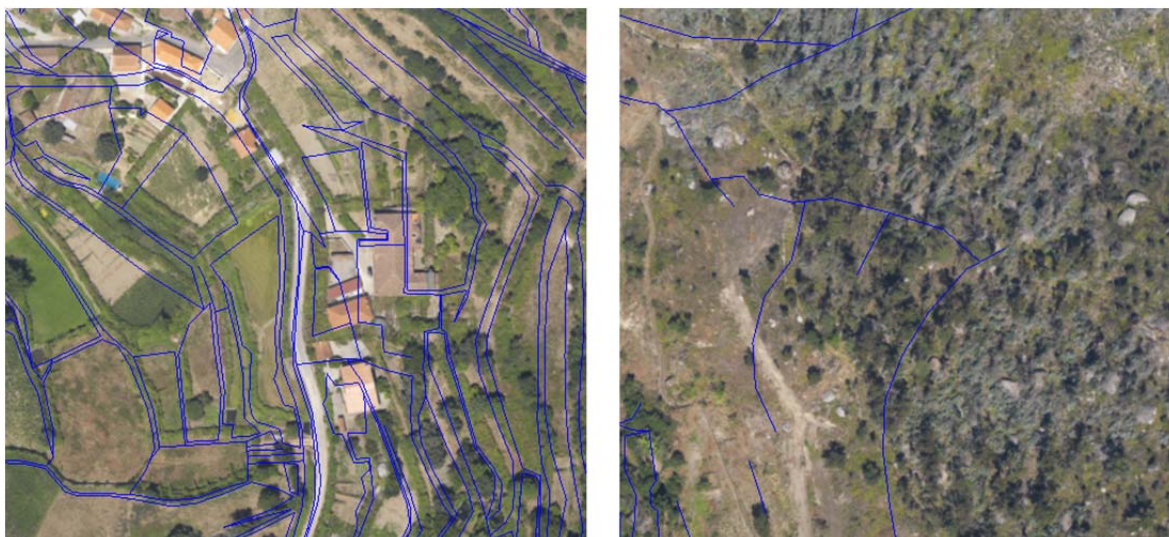


Fig. 4.18 - Edição MDT – Ponte da Barca.

4.9 Produção de ortofotos

Os ortofotos foram produzidos através do módulo OrthoMaster do Application Master. A produção, na prática, consiste em “adaptar” a fotografia aérea do formato 2D (X, Y) para 3D (X, Y, Z). É mais um processo automático, que requer apenas o MDT já editado, o tamanho do pixel da fotografia e o método de reamostragem (vizinho mais próximo, bilinear ou *cubic convolution*) (figura 4.19). O tamanho do pixel introduzido foi de 12 cm e o método de reamostragem utilizado foi o bilinear.

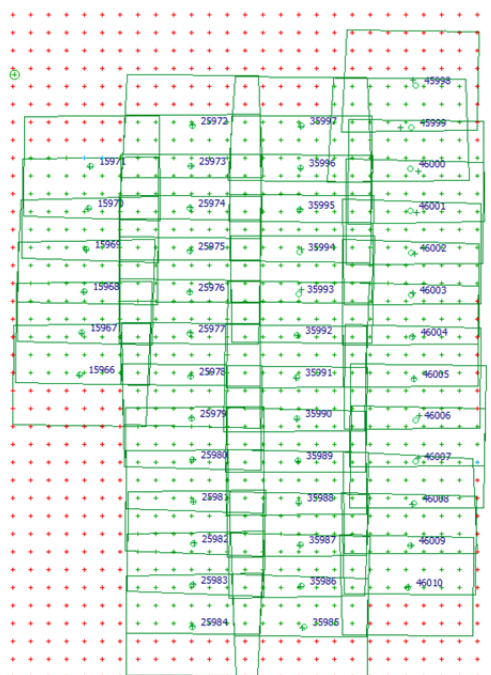


Fig. 4.19 - MDT introduzido no OrthoMaster para a produção de ortofotos.

Após a produção dos ortofotos ocasionalmente surgem erros que se devem ao descuido ou falta de experiência por parte do operador. Esses erros são detetados após uma análise aos ortofotos finais. O erro mais frequente é a eliminação de pontos da grelha. Este erro leva a que os ortofotos apareçam com buracos (figura 4.20).



Fig. 4.20 - Ortofoto com erro – Falta de pontos.

A zona em branco corresponde à área de pontos que foi eliminada. Este erro apenas é corrigido com a recriação da grelha de pontos. Para tal é necessário exportar o MDT para o formato .wnp e, após a conversão no módulo *toolkit* do Application Master é feita automaticamente a nova grelha, sendo apenas necessário introduzir as coordenadas onde iniciam a grelha e o espaçamento da mesma. É confirmado no DT Master a área correspondente ao erro para garantir o restabelecimento dos pontos em falta. Outro erro comum é a falta de edição em algumas zonas por lapso ou má visibilidade em ambiente 3D, ou seja, deixando o MDT seguir para a produção de ortofotos com pontos demasiadamente rebatidos ou elevados como foi o caso (figura 4.21). Este erro provocou distorções no ortofoto.



Fig. 4.21 - Ortofoto com erro – Pontos elevados.

A digitalização de linhas de quebra sobre edifícios e casas provocam em alguns casos o mesmo erro de distorção apresentada na figura anterior. Para combater estes erros a edição do modelo digital do terreno deve ser feita sobre as curvas de nível geradas automaticamente (figura 4.22).

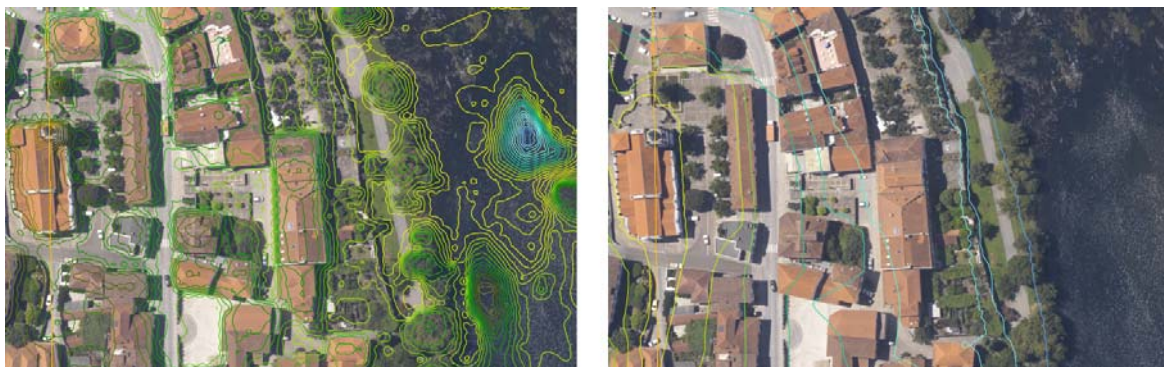


Fig. 4.22 - Cuvas de nível – 2 metros, antes da edição (imagem da esquerda) e após edição (imagem da direita).

4.10 Produção dos ortofotomapas

O último processo foi a produção e correção de ortofotomapas. Para este processo é utilizado o *software* OrthoVista.

Neste processo foi necessário introduzir uma nova grelha para uma nova divisão dos ortofotomapas sobre a qual foi feita uma seleção da área a gerar.

Ultrapassado o processo de “cosedura” dos ortofotos foi necessário proceder à edição dos ortofotomapas gerados (figura 4.23).

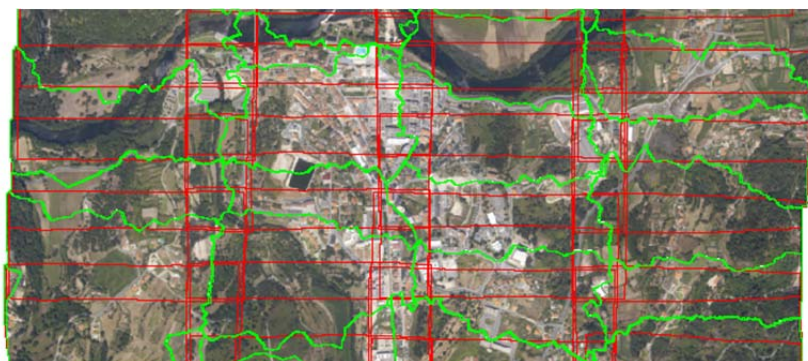


Fig. 4.23 - Excerto de um ortofomapa – Ponte da Barca.

Este passo requer sempre uma edição manual visto que mesmo em projetos de menor dimensão há sempre diferenças significativas nas coseduras dos ortofotos. Estes problemas normalmente surgem e, têm de ser retificados nas zonas urbanas, onde aparecem com rebatimentos diferentes e entre fiadas que apresentam significativas alterações de cor (figura 4.24).



Fig. 4.24 - Seam's antes da edição (imagem da esquerda) e após edição (imagem da direita).

A edição consistiu em alterar a zona por onde foi feita a cosedura, minimizando assim as diferenças nas uniões dos ortofotos. Os problemas com as diferenças de cor resolveram-se recorrendo a um editor de imagem, *software* Photoshop.

5. Comparação de câmaras fotogramétricas de médio e grande formato

5.1 Introdução

Neste último capítulo vão ser comparados e discutidos os pormenores técnicos essenciais que influenciam uma entidade na escolha de uma câmara fotogramétrica de médio ou grande formato.

Inicialmente nos cálculos do estudo foram tidas em conta algumas considerações cuja interferência financeira e técnica é imputada no processo fotogramétrico em igual escala na aquisição de qualquer formato ou câmaras fotogramétrica. Sempre que é feita uma comparação entre as câmaras tem-se em conta que são tripuladas pelo mesmo avião e pelo mesmo sistema GPS/IMU. Supondo assim que o aluguer do avião (valores médios praticados no mercado para uma avião bimotor) e interação do sistema inercial e de posicionamento são os mesmos, criando-se desta forma uma constante nos custos finais. Os valores associados à câmara são a única variável no cálculo dos custos.

5.2 Comparação das câmaras fotogramétricas DigiCam H39, DMC e UltraCamXp

Foram elaborados três planos de voo fotogramétricos (anexos C, D e E) numa área correspondente a 24 cartas militares representantes de 3 840 km², 3,8% da área de Portugal Continental. Nos planeamentos de voo foram tidas em conta as características das câmaras fotogramétricas descritas no capítulo 3.2 com vista a produzir ortofotomapas com uma resolução de 25 cm.

O objetivo da comparação consiste em verificar qual a câmara fotogramétrica mais rentável para a aquisição de fotografias aéreas. Em primeiro lugar será feita a comparação do custo de voo entre as três câmaras em estudo para a área sobre a qual foi feito o planeamento de voo. Os principais dados recolhidos dos planeamentos dos voos para as câmaras são os seguintes (tabelas 5.1, 5.2 e 5.3):

Câmaras fotogramétricas	Distância linear total (km)	Número de fotos	Tempo estimado (hh:mm)	Número de dias
DigiCam H39	3 160,50	5 880	18:07	6
DMC	1 707,21	2 243	09:40	3
Diferença numérica	1 453,29	3 637	08:27	3
Redução percentual	45 %	62 %	47 %	50 %

Tabela 5.1 - Resultados dos planeamentos de voo correspondentes a DigiCam H39 e DMC.

Câmaras fotogramétricas	Distância linear total (km)	Número de fotos	Tempo estimado (hh:mm)	Número de dias
DigiCam H39	3 160,50	5 880	18:07	6
UltraCam Xp	912,79	795	05:06	2
Diferença numérica	2 247,71	5 085	12:59	4
Redução percentual	71 %	86 %	72 %	67 %

Tabela 5.2 - Resultados dos planeamentos de voo correspondentes a DigiCam H39 e UltraCam Xp.

Câmaras fotogramétricas	Distância linear total (km)	Número de fotos	Tempo estimado (hh:mm)	Número de dias
DMC	1 707,21	2 243	09:40	3
UltraCam Xp	912,79	795	05:06	2
Diferença numérica	794,42	1 448	04:34	1
Redução percentual	47 %	65 %	48%	33 %

Tabela 5.3 - Resultados dos planeamentos de voo correspondentes a DMC e UltraCam Xp.

Numa primeira análise técnica verifica-se uma diferença significativa nas principais características obtidas no plano de voo. Constata-se desde logo que as câmaras de grande formato apresentam uma melhor performance no voo (tabelas 5, 6). Verificando-se reduções superiores ou iguais a 45 % das diversas características do voo. Já relativamente à comparação entre as duas câmaras de grande formato observa-se que a UltraCam Xp é a consegue obter melhor performance conseguindo obter reduções que variam entre os 33 % e os 65 %.

Assim conclui-se que para o plano de voo (resultante das características das câmaras) a câmara que apresenta melhores resultados é a UltraCam Xp. Esta permite a aquisição de imagens pancromáticas, RGB e infravermelho próximo, o qual não se sucede na de pequeno formato. Além disso, tem uma resolução radiométrica de 12 bits (8 bits nas câmaras de médio formato) e possui um dispositivo de compensação de arrastamento - *Forward Motion Compensation* (FMC), acabando assim com os problemas de efeito de arrastamento associado às câmaras de pequeno e médio formato. Com estas características a qualidade das imagens capturadas pela UltraCam Xp é bastante superior assim como a quantidade de informação recolhida pela foto.

Tendo em conta o ponto de vista empresarial a opção de compra de uma câmara não recai apenas pela questão técnica mas também pela financeira. Efetuou-se uma simulação tendo em conta os preços médios do aluguer do avião e o preço das câmaras fotogramétricas, em momentos diferentes do estudo. Inicialmente apenas se considerou a variável custos do voo, eliminando-se o valor das câmaras fotogramétricas. Posteriormente, calculou-se o custo total efetivo (custo real), ou seja, englobando o custo do voo e o custo do investimento em câmaras fotogramétricas. O avião considerado nos cálculos efetuados foi o CESSNA 402B. Este possui uma autonomia de 4,5 horas e tem um preço médio de aluguer à hora de 1 200 €. Deve-se ter em consideração que os valores utilizados nas variáveis custo do voo, valor das câmaras e preço médio de aluguer à hora do avião, são valores estimados podendo, por isso existir flutuação dos mesmos.

As tabelas 5.4, 5.5 e 5.6 apresentam os valores estimados do custo de voo para a área correspondente ao plano de voo efetuado.

Câmaras fotogramétricas	Tempo Voo (hh:mm)	Paragens	Tempo Voo + Trânsitos	Custo do Voo
DigiCam H39	18:07	6	22:00	26 400,00 €
DMC	09:40	3	11:28	13 746,00 €
Ganho				190 %

Tabela 5.4 - Comparação do custo de voo entre a câmara DigiCam H39 e a DMC.

Câmaras fotogramétricas	Tempo Voo (hh:mm)	Paragens	Tempo Voo + Trânsitos	Custo do Voo
DigiCam H39	18:07	6	22:00	26 400,00 €
UltraCam Xp	05:06	2	06:52	8 239,00 €
Ganho				320 %

Tabela 5.5 - Comparação do custo de voo entre a câmara DigiCam H39 e a UltraCam Xp.

Câmaras fotogramétricas	Tempo Voo (hh:mm)	Paragens	Tempo Voo + Trânsitos	Custo do Voo
DMC	09:40	3	11:28	13 746,00 €
UltraCam Xp	05:06	2	06:52	8 239,00 €
Ganho				170 %

Tabela 5.6 - Comparação do custo de voo entre a câmara DMC e a UltraCam Xp.

As tabelas acima (tabela 5.4, 5.5 e 5.6) resumem os principais dados para o cálculo financeiro de um voo. Para este é tido em conta o tempo de voo necessário para efetuar o levantamento fotogramétrico e o tempo de voo efetivo (Tempo Voo + Trânsitos). Por trânsitos entende-se o tempo de voo necessário para atingir a altitude para o levantamento e o tempo de descida. De uma forma geral o tempo de subida calcula-se a uma razão de 500 pés por minuto e o tempo de descida à razão de 800 pés por minuto (Fonte: InfoPortugal). Este tempo é multiplicado pelo número de paragens (arredondado por excesso). Assim sendo verifica-se que a câmara fotogramétrica que apresenta um menor custo de voo é a UltraCam Xp, com um ganho de 300 % sobre a que apresenta os valores mais elevados, a DigiCam H39.

As tabelas 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10 apresentam os valores estimados para o custo total efetivo portanto, englobando o custo do voo e o custo das câmaras fotogramétricas:

Câmaras fotogramétricas	Tempo Voo (hh:mm)	Custo do voo	Custo das câmaras	Custo total
DigiCam H39	18:07	26 400,00 €	150 000,00 €	176 400,00 €
DMC	09:40	13 746,00 €	500 000,00 €	513 746,00 €
UltraCam Xp	05:06	8 239,00 €	800 000,00 €	808 239,00 €

Tabela 5.7 - Custo total de voo para uma área correspondente a 3 840 km².

Para o voo realizado para este estudo a DigiCam H39 é a câmara que apresenta o menor custo total. Observa-se também, que em relação ao custo de voo é a que apresenta valores mais elevados, pelo contrário, relativamente ao custo da câmara apresenta o valor mais baixo. Verifica-se, também, que quanto mais baixo for o custo do voo, maior é o custo da câmara. Ressalva-se que o custo de voo mais baixo associado às câmaras mais caras se deve à dimensão do sensor. Assim, para áreas de dimensões diferentes da do voo realizado a DigiCam H39 pode não ser a mais vantajosa. O valor a partir do qual esta hipótese é verdadeira obteve-se por tentativa erro, tendo sido este o de 27 ou mais vezes superior à do voo realizado.

Desta forma a tabela 5.8 apresenta o custo total de um voo virtual para uma área 27 vezes superior à do voo realizado.

Câmaras fotogramétricas	Tempo Voo (hh:mm)	Custo do voo	Custo das câmaras	Custo total
DigiCam H39	488:42	754 440,00 €	150 000,00 €	904 440,00 €
DMC	261:54	404 280,00 €	500 000,00 €	904 280,00 €
UltraCam Xp	137:42	213 240,00 €	800 000,00 €	1 013 240,00 €

Tabela 5.8 - Custo total de voo para uma área correspondente a 103 680 km².

Verifica-se que para uma área 27 vezes superior à área de estudo (103 680 km²) a câmara fotogramétrica DMC passa a ser mais vantajosa em relação à DigiCam H39. No entanto a UltraCam Xp ainda apresenta valores superiores aos da DigiCam H39. Seguidamente, pelo mesmo método utilizado anteriormente, obteve-se o valor a partir do qual a UltraCam Xp passasse a ser mais rentável em relação à câmara DigiCam H39, tendo sido este de 33 vezes superior à do voo realizado (tabela 5.9).

Câmaras fotogramétricas	Tempo Voo (hh:mm)	Custo do voo	Custo das câmaras	Custo total
DigiCam H39	597:18	921 960,00 €	150 000,00 €	1 071 960,00 €
DMC	168:18	494 520,00 €	500 000,00 €	994 520,00 €
UltraCam Xp	320:06	260 760,00 €	800 000,00 €	1 060 760,00 €

Tabela 5.9 - Custo total de voo para uma área correspondente a 126 720 km².

Nesta tabela verifica-se que para valores superiores ou iguais a 33 vezes a área de estudo (126 720 km²) a UltraCam Xp passa a ser mais rentável que a DigiCam H39. Constatase, assim, que a partir da área de 126 720 km², as duas câmaras de grande formato são mais vantajosas que a de médio formato.

Por fim e, dando seguimento ao raciocínio anterior, encontrou-se o valor (43 vezes a área de estudo - 165120 km²) a partir do qual a UltraCam Xp passa a ser mais favorável em relação às outras duas câmaras (tabela 5.10).

Câmaras fotogramétricas	Tempo Voo (hh:mm)	Custo do voo	Custo das câmaras	Custo total
DigiCam H39	778:18	1 201 560,00 €	150 000,00 €	1 351 560,00 €
DMC	219:18	644 520,00 €	500 000,00 €	1 144 520,00 €
UltraCam Xp	417:06	338 760,00 €	800 000,00 €	1 138 760,00 €

Tabela 5.10 - Custo total de voo para uma área correspondente a 165 120 km².

Para uma compreensão visual mais facilitada, o seguinte gráfico (gráfico 5.1) demonstra a evolução dos custos totais associados a cada câmara em função da área de estudo.

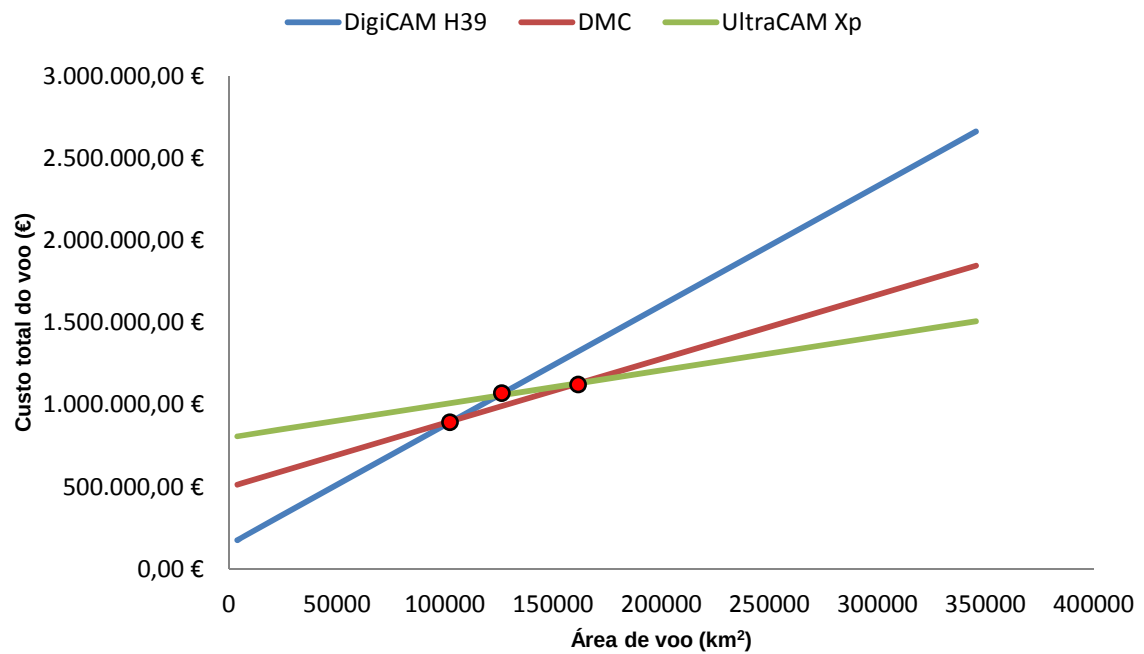


Gráfico 5.1 - Evolução do custo total das câmaras em função da área.

6. Conclusões

Este trabalho permitiu a produção de ortofotomapas e a comparação de custos entre as três câmaras em estudo. De seguida explanam-se as conclusões que se retiram do mesmo.

Ao longo da execução prática do processamento não foram obtidos os resultados esperados em alguns dos procedimentos, nomeadamente na aerotriangulação e na edição do MDT. Na aerotriangulação após o processamento foram encontrados erros altimétricos acima do esperado, não estando assim em conformidade com a tabela de especificações técnicas de exatidão e precisão posicionais para cartografia na escala 1:2 000. Estes erros altimétricos devem-se ao facto de algumas das imagens do voo fotogramétrico apresentarem efeito de arrastamento. Outros dos erros encontrados devem-se à má edição do MDT (capítulo 4.8). Estes erros são: a eliminação de pontos da grelha, desenho de linhas de apoio sobre edifícios e a falta de edição em zonas sobre-elevadas ou profundas do MDT. Estes erros de uma forma geral são detetados após a produção de ortofotos. A resolução destes passa por efetuar uma nova edição das zonas do DTM em questão e nova produção de ortofotos.

A escolha da câmara fotogramétrica mais adequada para uma empresa é um processo que deve ser pensado e concluído com tempo, visto obrigar a um investimento avultado. Tal como verificado neste estudo para as três câmaras fotogramétricas, estas são vantajosas para áreas de voo diferentes. Tendo em conta esta observação, conclui-se que para que a compra da câmara fotogramétrica seja considerada um bom investimento, esta deverá cumprir os objetivos da empresa. Isto é, se pretender efetuar áreas até 103 680 km² e que nunca ultrapassem este valor, a DigiCam H39 será a melhor escolha. Já se pretender efetuar áreas superiores ou iguais a 103 680 km² até 165 120 km² a DMC será a escolha mais vantajosa. Relativamente à UltraCam Xp, esta deverá ser escolhida pela empresa se esta efetuar áreas superiores a 165 120 km². Além disso, deverá ter em conta o tempo útil de utilização do equipamento.

No entanto neste estudo não foi tido em conta o número de dias efetivos para a realização do voo, apesar da sua importância para a execução do projeto. Assim deixa-se em aberto a colocação desta nova variável para estudos futuros.

Neste estágio em âmbito empresarial foi-me possibilitado adquirir e aprofundar conhecimentos na área de fotografia aérea, além de experiência no seio de uma equipa profissional exposta a objetivos rigorosos e obrigada a cumprir prazos estipulados.

Bibliografia

- [1] InfoPortugal S.A. Última visita 28 de agosto de 2012 – www.infoportugal.pt.
- [2] A fotogrametria é definitivamente digital. (2 de agosto de 1998). Por *MundoGeo*, 10h de 2 de julho 2012 - <http://mundogeo.com/blog/1998/12/15/a-fotogrametria-e-definitivamente-digital/>.
- [3] Berberan, A. (2003). Aquisição e processamento de imagens digitais: Lidar – Laser scanning. In *Elementos de Fotogrametria: Aplicada a aquisição de informação geográfica*. Gráfica Europam, Lda., Mem Martins. Pág. 80-81.
- [4] Popescu, S., Wynne, R., Nelson, R. (2003). Measuring individual tree crown diameter with lidar and assessing its influence on estimating forest volume and biomass. In: *Canadian journal of remote sensing*. Pág. 564-577.
- [5] Redweik, P. (2007). Fotogrametria Aérea. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág. 3.
- [6] Fotogeologia - Fotointerpretação. Por *ebah*, 15h de 23 de julho 2012 - <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABJVQAE/fotogeologia-fotointerpretacao>.
- [7] Redweik, P. (2007). Fotogrametria Aérea. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág. 4-5.
- [8] Redweik, P. (2007). Fotogrametria Aérea. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág. 9-11.
- [9] Redweik, P. (2007). Fotogrametria Aérea. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág. 10.
- [10] Redweik, P. (2007). Fotogrametria Aérea. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág. 14-15.

- [11] Redweik, P. (2007). Fotogrametria Aérea. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág. 14.
- [12] Berberan, A. (2003). Operações Complementares: Introdução. *In* Elementos de Fotogrametria: Aplicada a aquisição de informação geográfica. Gráfica Europam, Lda., Mem Martins. Pág. 119.
- [13] Redweik, P. (2007). Fotogrametria Aérea. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág. 18-21.
- [14] Redweik, P. (2007). Fotogrametria Aérea. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág. 27.
- [15] Berberan, A. (2003). Operações elementares: Orientação externa. *In* Elementos de Fotogrametria: Aplicada a aquisição de informação geográfica. Gráfica Europam, Lda., Mem Martins. Pág. 111.
- [16] Coelho, L., Brito, (2007). *Fotogrametria Digital* (2ª Edição ed.). Rio de Janeiro: EdUERJ. Pag. 109.
- [17] Gonçalves, J. (2010). Orientação interna, relativa e absoluta. Fotogrametria, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.
- [18] Redweik, P. (2007). Fotogrametria Aérea. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág. 36.
- [19] Instituto Geográfico Português. Última visita 03 de setembro de 2012 - <http://www.igeo.pt/>.
- [20] Egels, Y., Kasser, M. (2002). *Digital Photogrammetry*. Taylor & Francis Inc, Londres e Nova Iorque.
- [21] Berberan, A. (2003). Câmaras aéreas e geometria da fotografia aérea: Câmaras digitais. *In* Elementos de Fotogrametria: Aplicada a aquisição de informação geográfica. Gráfica Europam, Lda., Mem Martins. Pág. 62-66.

- [22] Berberan, A. (2003). Aquisição e processamento de imagens digitais: Princípio de funcionamento de um sensor CCD . *In* Elementos de Fotogrametria: Aplicada a aquisição de informação geográfica. Gráfica Europam, Lda., Mem Martins. Pág. 75.
- [23] Optical Sensors. Por e-education, 14h do dia de 26 de agosto de 2012 - Fonte: <https://www.e-education.psu.edu/geog883kls/node/434>.
- [24] Redweik, P. (2007). Fotogrametria Aérea. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág. 46-59.
- [25] Redweik, P. (2007). Fotogrametria Aérea. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág. 53.
- [26] technewsbr. Obtido as 12h o dia 03 de setembro de 2012 - Fonte: <http://www.technewsbr.com/2009/04/14/microsoft-lanca-camera-de-196-mpixels/>
- [27] Ingenieur-Gessellschaft fur Interfaces mbH. Obtido as 14h do dia 03 de setembro de 2012 - <http://www.igi.eu/digicam.html>.
- [28] Intergraph. Obtido as 14h do dia de 03 de setembro de 2012 - <http://www.intergraph.com/cgi/products/default.aspx>.
- [29] Aerial Cameras. Por Imaging Notes., 14h do dia de 03 de setembro de 2012 - http://www.imagingnotes.com/go/article_freeJ.php?mp_id=243#9.
- [30] Microsoft. Obtido as 14h do dia de 03 de setembro de 2012 - <http://www.microsoft.com/ultracam/en-us/UltraCamXp.aspx>.
- [31] Gonçalves, G. (2005). Capítulo 8: Planeamento e Execução de Projectos Fotogramétricos. *In*: Elementos de Fotogrametria Analítica. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Coimbra, Coimbra, pág. 65-73.
- [32] Ortofotocarta: Mapa e Fotografia. (02 de agosto de 1998). Por *MundoGeo*, 16h de 6 de setembro 2012 - <http://mundogeo.com/blog/1998/08/02/ortofotocarta-mapa-e-fotografia/>.
- [33] Glossário de Fotogrametria. Obtido a 20 de setembro de 2012. <http://200.132.36.199/elodio/downloads/ftd/Glossario.pdf>.

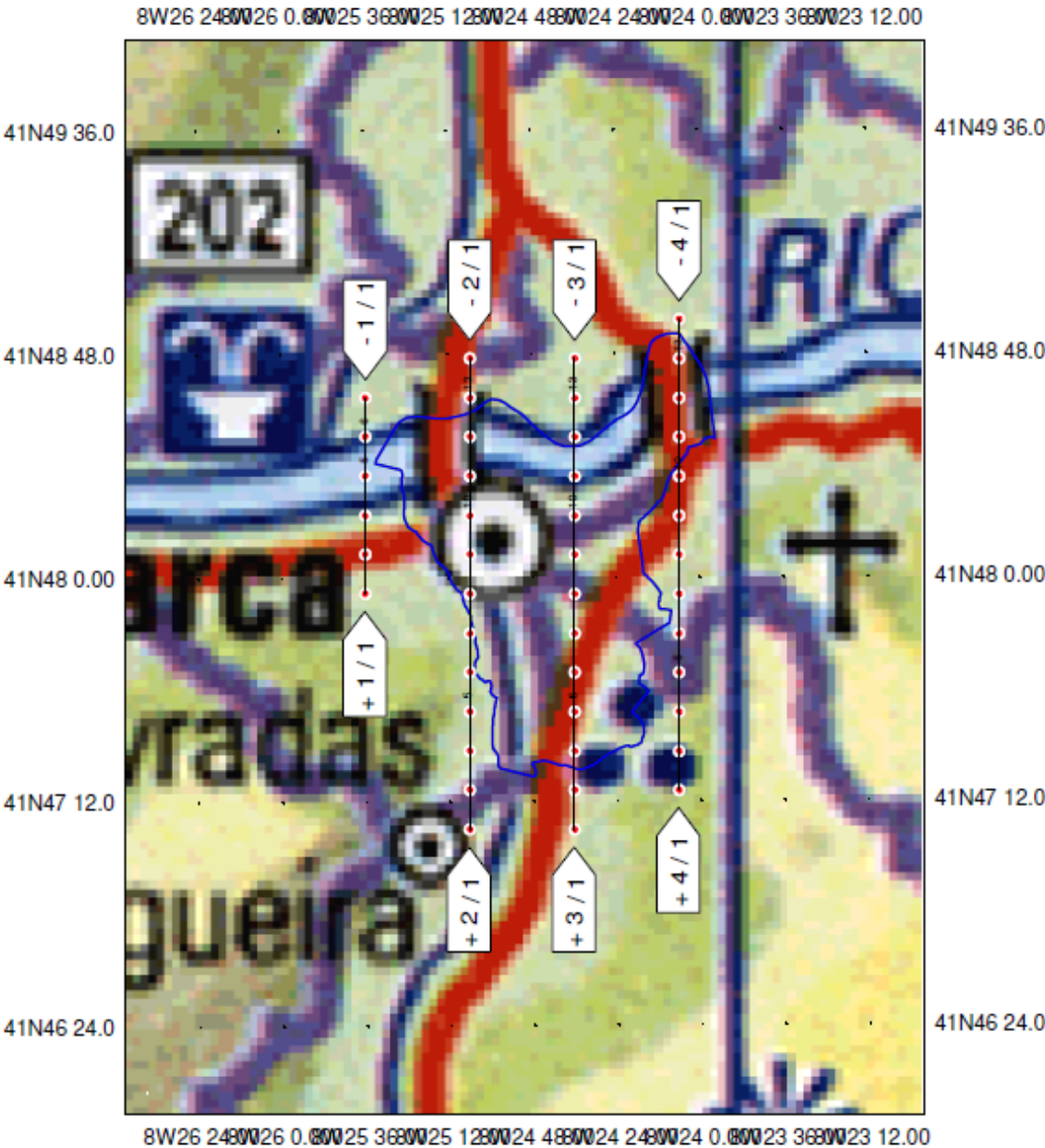
Anexos

- Anexo A - Especificações técnicas de exatidão e precisão posicionais para cartografia nas escalas 1:1 000, 1:2 000, 1:5 000 e 1:10 000.
- Anexo B - Relatório do pano de voo efetuado a 12 cm utilizando a câmara fotogramétrica DigiCam H39.
- Anexo C - Relatório do pano de voo efetuado a 25 cm utilizando a câmara fotogramétrica DigiCam H39.
- Anexo D - Relatório do pano de voo efetuado a 25 cm utilizando a câmara fotogramétrica DMC.
- Anexo E - Relatório do pano de voo efetuado a 25 cm utilizando a câmara fotogramétrica UltraCamXp.

Anexo A

		Escala da Carta / Escala do Voo	1:1 000 / 1:4 500	1:2 000 / 1:7 500	1:5 000 / 1:15 000	1:10 000 / 1:22 500
		Equidistância das curvas de nível	1,00	2,00	2,50	5,00
Apoio Fotogramétrico	Planimetria	EMQ _M ≤	0.05	0.08	0.25	0.40
		99% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em M < 2.576* EMQ _M	0.13	0.21	0.60	1.25
		EMQ _P ≤	0.05	0.08	0.25	0.40
		99% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em P < 2.576* EMQ _P	0.13	0.21	0.60	1.25
		Se $r = \sqrt{EMQ_M^2 + EMQ_P^2}$, então EMQ _r ≤	0.07	0.11	0.30	0.60
		99% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em $r < (3.035/\sqrt{2}) * EMQ_r$	0.15	0.24	0.70	1.50
	Altimetria	EMQ _Z ≤	0.10	0.14	0.35	0.60
		99% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em Z < 2.576* EMQ _Z	0.26	0.36	0.95	1.50
Triangulação Aérea	Planimetria	EMQ _M ≤	0.06	0.10	0.25	0.40
		O valor do desvio padrão em cada ponto ≤	0.15	0.26	0.60	1.00
		EMQ _P ≤	0.06	0.10	0.25	0.40
		O valor do desvio padrão em cada ponto ≤	0.15	0.26	0.60	1.00
	Altimetria	O valor à posteriori do desvio padrão da unidade de peso em M e P <	0.10	0.15	0.30	0.40
		EMQ _Z ≤	0.10	0.17	0.35	0.60
		O valor do desvio padrão em cada ponto ≤	0.26	0.36	0.95	1.55
		O valor à posteriori do desvio padrão da unidade de peso em Z <	0.15	0.20	0.40	0.55
Orientação absoluta dos Modelos	Diferença entre pontos da TA e pontos de verificação	Desvio planimétrico ≤	0.18	0.30	0.65	1.00
		Desvio altimétrico ≤	0.20	0.35	0.95	1.50
Orientação absoluta dos Modelos	Planimetria	Desvio máximo ≤	0.15	0.25	0.50	0.75
	Altimetria	Desvio máximo ≤	0.18	0.30	0.75	1.30
Restituição Tridimensional	Curvas de nível e elementos da hidrografia 3D	EMQ _Z ≤	0.25	0.40	1.00	1.70
		90% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em Z < 1.645* EMQ _Z	0.41	0.65	1.65	2.75
	Pontos cotados	EMQ _Z ≤	0.15	0.25	0.40	0.65
		90% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em Z < 1.645* EMQ _Z	0.25	0.40	0.70	1.10
MNA	Faixa envolvente		100.00	200.00	500.00	1000.00
	Cotas dos pontos da grid	EMQ _Z ≤	0.30	0.45	1.10	1.80
		90% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em Z < 1.649* EMQ _Z	0.49	0.75	1.80	3.00
	Espaçamento da grid		2.00	4.00	7.50	10.00
ORTOS	Planimetria Digital	Desvio planimétrico ≤	0.18	0.30	0.75	1.50
		90% dos desvios da amostra têm de apresentar um desvio $r < 1.517 * EMQ_r$	0.27	0.45	1.25	2.30
	Planimetria - Saídas Gráficas	Desvio planimétrico ≤	0.20	0.40	1.20	2.00
		90% dos desvios da amostra têm de apresentar um desvio ≤	0.35	0.70	2.10	3.50
MNT (Nas escalas 1:1000, 1:2000 e 1:5000 tem a designação de MNTC)	Planimetria Digital	Grupo A - Desvio Planimétrico	0.00	0.00	0.00	0.00
		Grupo B - Desvio planimétrico ≤	0.18	0.30	0.75	1.50
		Grupo B - 90% dos desvios da amostra têm de apresentar um desvio $r < 1.517 * EMQ_r$	0.27	0.45	1.25	2.30
	Planimetria - Saídas Gráficas	Grupo A - Desvio Planimétrico	0.30	0.60	1.05	1.50
		Grupo A - 90% dos desvios da amostra têm de apresentar um desvio ≤	0.45	0.90	1.60	2.30
		Grupo B - Desvio planimétrico ≤	0.40	0.80	1.40	2.00
		Grupo B - 90% dos desvios da amostra têm de apresentar um desvio ≤	0.60	1.20	2.35	3.50

Valores em Metros



Estrada da Circunvalacao 10415
4250- 151 Porto
PORTUGAL

Project: orcam11
Area: pbarca2k
Co-ordinate System: UTM NORTH, WGS 84 SPH
Camera: DigiCamH39_Across
Focal Length [mm]: 80
Film Format [mm²]: 36.8 x 49.1
Magnetic Variation: 0
Data Annotation #1: WGS84
Data Annotation #2: True Altitude [ft]
Gap Limit [m]: 300.0

Line Parameter Listing:

Lin	Seg	MSL	AGL	GL	Scale	Forelap [%]	Base	DTK [°]	No of Photo	Length [km]
1	1	4837	4632	205	17647	60	260		6	1.299
2	1	4810	4632	178	17647	60	260	360	13	3.117
3	1	4866	4632	235	17647	60	260	360	13	3.117
4	1	5131	4632	499	17647	60	260		13	3.117

Total number of lines / segments: 4 / 4

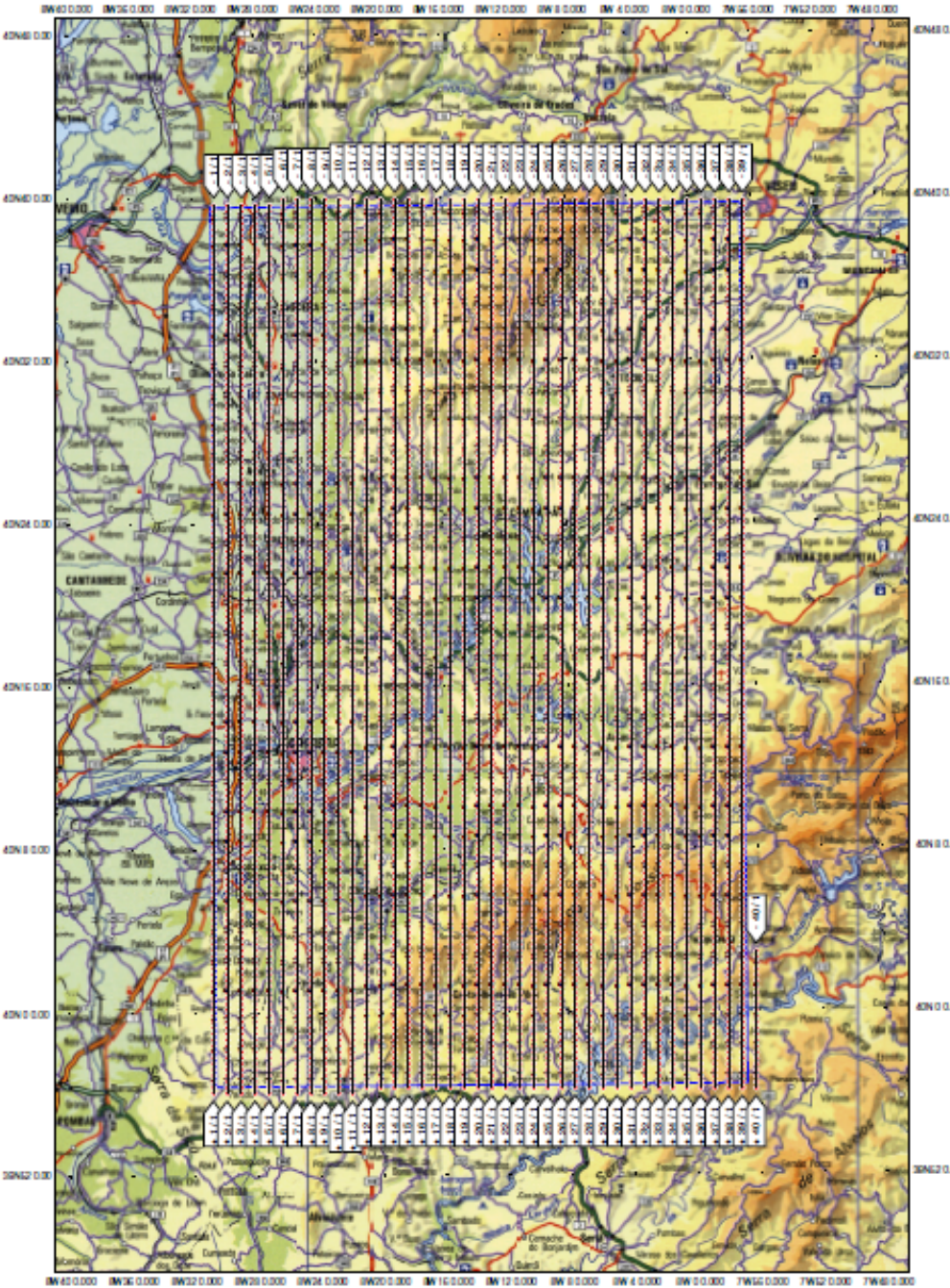
Total number of photos: 45

Total line length [km]: 10.65

Estimated project time [hh:mm]: 00:20 (120.0 kts, 06:00 min per turn)

CREATED BY

CHECKED BY



Project: bruno
 Area: digicam
 Co-ordinate System: UTM NORTH, WGS 84 SPH
 Camera: DigiCamH39_Across
 Focal Length [mm]: 80
 Film Format [mm²]: 36.8 x 49.1
 Magnetic Variation: 0
 Data Annotation #1: WGS84
 Data Annotation #2: True Altitude [ft]
 Gap Limit [m]: 300.0

Line Parameter Listing:

Lin	Seg	MSL	AGL	GL	Scale	Forelap [%]	Base	DTK [°]	No of Photo	Length [km]
1	1	10982	9650	1333	36765	60	541		150	80.636
2	1	11111	9650	1461	36765	60	541		150	80.636
3	1	11033	9650	1384	36765	60	541		150	80.636
4	1	10708	9650	1059	36765	60	541		150	80.636
5	1	10612	9650	963	36765	60	541		150	80.636
6	1	10672	9650	1022	36765	60	541		151	81.177
7	1	10659	9650	1010	36765	60	541		151	81.177
8	1	10856	9650	1206	36765	60	541	360	151	81.177
9	1	11088	9650	1439	36765	60	541		151	81.177
10	1	10675	9650	1025	36765	60	541	360	151	81.177
11	1	11315	9650	1666	36765	60	541		151	81.177
12	1	11236	9650	1586	36765	60	541		150	80.636
13	1	11602	9650	1952	36765	60	541		150	80.636
14	1	12013	9650	2363	36765	60	541		150	80.636

Lin	Seg	MSL	AGL	GL	Scale	Forelap [%]	Base	DTK [°]	No of Photo	Length [km]
15	1	12126	9650	2477	36765	60	541	360	150	80.636
16	1	12159	9650	2509	36765	60	541		150	80.636
17	1	12470	9650	2820	36765	60	541		150	80.636
18	1	12099	9650	2449	36765	60	541	360	150	80.636
19	1	12361	9650	2712	36765	60	541		150	80.636
20	1	12557	9650	2907	36765	60	541		150	80.636
21	1	12663	9650	3013	36765	60	541		150	80.636
22	1	12876	9650	3226	36765	60	541		150	80.636
23	1	12817	9650	3168	36765	60	541		150	80.636
24	1	12768	9650	3119	36765	60	541		150	80.636
25	1	13191	9650	3541	36765	60	541		150	80.636
26	1	12994	9650	3345	36765	60	541		150	80.636
27	1	12799	9650	3150	36765	60	541		150	80.636
28	1	12297	9650	2648	36765	60	541		150	80.636
29	1	12152	9650	2502	36765	60	541		150	80.636
30	1	12125	9650	2476	36765	60	541		150	80.636
31	1	12212	9650	2563	36765	60	541		150	80.636
32	1	12630	9650	2980	36765	60	541		150	80.636
33	1	12625	9650	2975	36765	60	541		150	80.636
34	1	12334	9650	2684	36765	60	541		150	80.636
35	1	12640	9650	2991	36765	60	541		150	80.636
36	1	12691	9650	3042	36765	60	541		150	80.636
37	1	12587	9650	2938	36765	60	541		150	80.636
38	1	12492	9650	2842	36765	60	541		150	80.636

Lin	Seg	MSL	AGL	GL	Scale	Forelap [%]	Base	DTK [°]	No of Photo	Length [km]
39	1	12570	9650	2921	36765	60	541		150	80.636
40	1	12082	9650	2433	36765	60	541		24	12.447

Total number of lines / segments: / 40

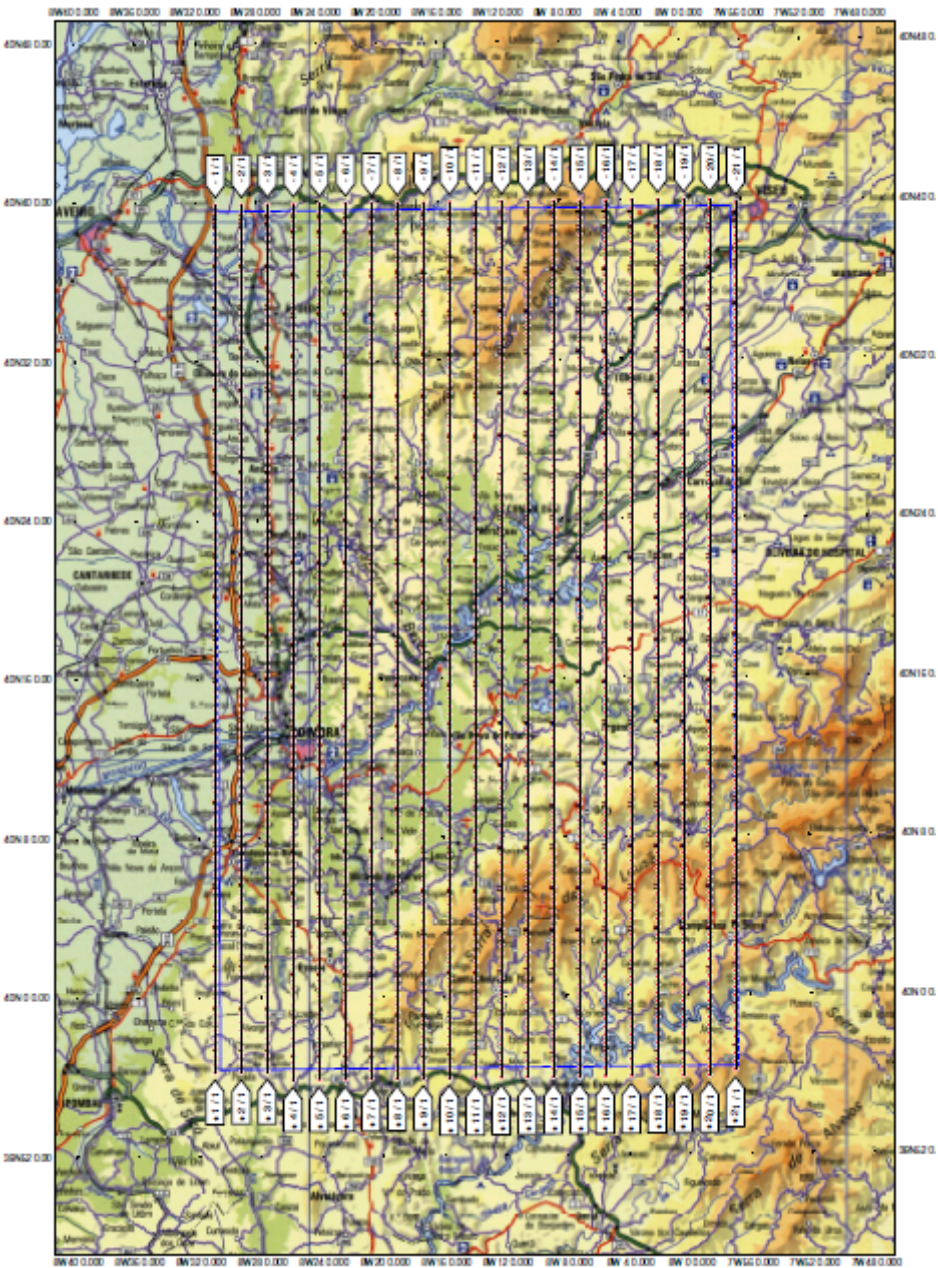
Total number of photos:

Total line length [km]:

Estimated project time [hh:mm]: (120.0 kts, 06:00 min per turn)

CREATED BY

CHECKED BY



Project: bruno
 Area: dmc
 Co-ordinate System: UTM NORTH, WGS 84 SPH
 Camera: DMC
 Focal Length [mm]: 120
 Film Format [mm²]: 92.2 x 165.9
 Magnetic Variation: 0
 Data Annotation #1: WGS84
 Data Annotation #2: True Altitude [ft]
 Gap Limit [m]: 300.0

Line Parameter Listing:

Lin	Seg	MSL	AGL	GL	Scale	Forelap [%]	Base	DTK [°]	No of Photo	Length [km]
1	1	9474	8202	1272	20833	60	768	360	106	80.674
2	1	9586	8202	1384	20833	60	768	360	106	80.674
3	1	9112	8202	910	20833	60	768		106	80.674
4	1	9258	8202	1056	20833	60	768		107	81.442
5	1	9669	8202	1467	20833	60	768		107	81.442
6	1	9373	8202	1171	20833	60	768	360	107	81.442
7	1	9824	8202	1622	20833	60	768		107	81.442
8	1	10622	8202	2420	20833	60	768		107	81.442
9	1	10779	8202	2577	20833	60	768		107	81.442
10	1	10608	8202	2406	20833	60	768	360	107	81.442
11	1	11072	8202	2870	20833	60	768		107	81.442
12	1	11387	8202	3185	20833	60	768		107	81.442
13	1	11539	8202	3337	20833	60	768		107	81.442
14	1	11427	8202	3225	20833	60	768		107	81.442

Lin	Seg	MSL	AGL	GL	Scale	Forelap [%]	Base	DTK [°]	No of Photo	Length [km]
15	1	11026	8202	2824	20833	60	768		107	81.442
16	1	10789	8202	2587	20833	60	768		107	81.442
17	1	11025	8202	2823	20833	60	768		107	81.442
18	1	10856	8202	2654	20833	60	768		107	81.442
19	1	11315	8202	3113	20833	60	768		107	81.442
20	1	11095	8202	2893	20833	60	768		107	81.442
21	1	11097	8202	2895	20833	60	768		106	80.674

Total number of lines / segments: 21 / 21

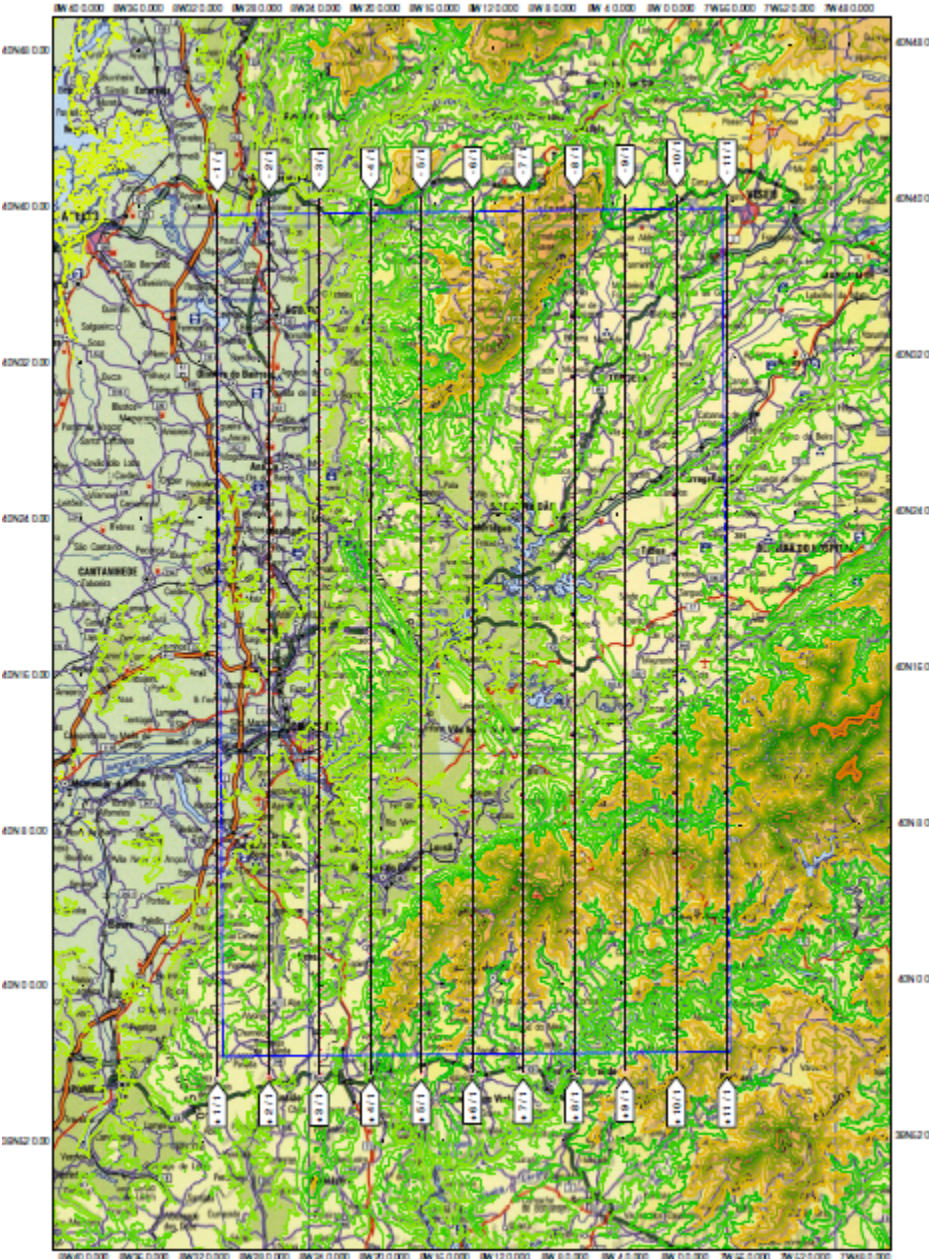
Total number of photos: 2243

Total line length [km]: 1707.21

Estimated project time [hh:mm]: 09:40 (120.0 kts, 06:00 min per turn)

CREATED BY

CHECKED BY



Project: bruno
 Area: ultracamxp_v2
 Co-ordinate System: UTM NORTH, WGS 84 SPH
 Camera: UltracamXP
 Focal Length [mm]: 100.5
 Film Format [mm²]: 67.9 x 103.9
 Magnetic Variation: 0
 Data Annotation #1: WGS84
 Data Annotation #2: True Altitude [ft]
 Gap Limit [m]: 300.0

Line Parameter Listing:

Lin	Seg	MSL	AGL	GL	Scale	Forelap [%]	Base	DTK [°]	No of Photo	Length [km]
1	1	17726	16404	1322	41667	60	1537		55	82.981
2	1	14688	13739	949	41667	60	1132		74	82.981
3	1	15270	13739	1532	41667	60	1132		74	82.981
4	1	15369	13739	1631	41667	60	1132		74	82.981
5	1	16192	13739	2454	41667	60	1132		74	82.981
6	1	16714	13739	2975	41667	60	1132		74	82.981
7	1	17078	13739	3339	41667	60	1132		74	82.981
8	1	16642	13739	2903	41667	60	1132		74	82.981
9	1	16636	13739	2897	41667	60	1132		74	82.981
10	1	16626	13739	2888	41667	60	1132		74	82.981
11	1	16713	13739	2974	41667	60	1132		74	82.981

Total number of lines / segments: 11 / 11

Total number of photos: 795

Total line length [km]: 912.79

Estimated project time [hh:mm]: 05:06 (120.0 kts, 06:00 min per turn)

CREATED BY

CHECKED BY