

Fotogrametria e Detecção Remota Aplicada à Prospecção Mineira

José Manuel Martins Sousa Anjos Lopes

Mestrado em Engenharia Geográfica

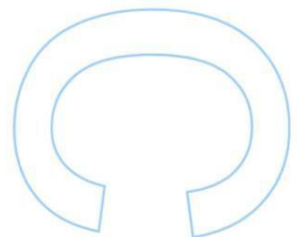
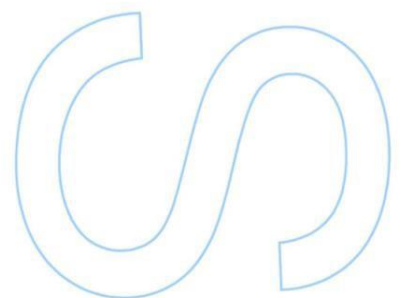
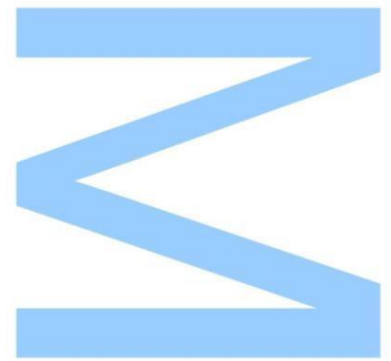
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território
2015

Orientador

Professor Doutor José Alberto Álvares Pereira Gonçalves, Professor
Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Orientador Empresarial

Bruno Sameiro Pereira, sócio-gerente da empresa Sinergeo

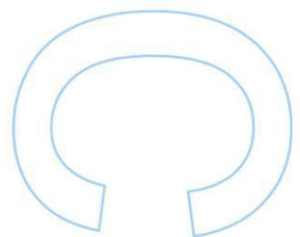
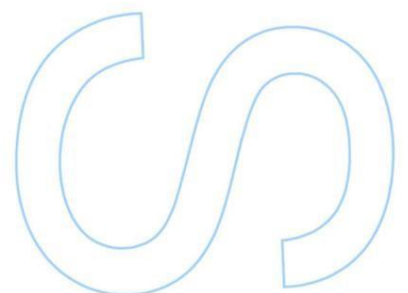
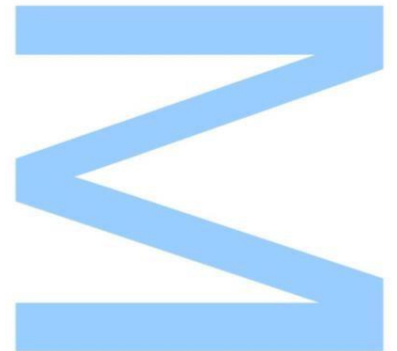




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

Houve colaboração por parte de determinadas pessoas que foi fundamental para a elaboração deste trabalho, pelo que gostaria de lhes agradecer o apoio e paciência que tiveram comigo.

Ao meu orientador, professor José Alberto Gonçalves, por todo o tempo despendido para me ajudar na elaboração deste trabalho, definindo o melhor caminho a seguir e a transmissão de conhecimentos sobre novos softwares.

Ao meu orientador empresarial, Bruno Sameiro Pereira, pelo apoio, colaboração e todas as horas que dedicou a ajudar-me, tal como todo o conhecimento de geologia que me transmitiu.

A todos os meus familiares, com especial agradecimento aos meus pais por suportarem os custos do curso, tal como todo o apoio e consideração que me deram ao longo do mesmo.

À minha namorada Ana Lia Moreira pela enorme paciência que teve comigo, apoiando-me nos piores momentos e partilhando os bons, bem como a ajuda no que diz respeito aos conhecimentos que me transmitiu sobre diversas áreas. Foi fundamental para o meu percurso académico.

A todos os outros elementos da empresa SINERGEO, Jorge Dinis Oliveira, João Paulo Azevedo e Celso Miguel Silva, pelo acolhimento na empresa, tal como o ótimo ambiente de trabalho que me proporcionaram e ajuda nos mais variados aspetos geológicos.

A todos os meus amigos e colegas de curso por todo o apoio e ajuda que me deram ao longo destes anos (e por toda a ajuda), e à paciência para me aturarem nos momentos mais nervosos da minha parte.

A todos os professores de Engenharia Geográfica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto que contribuíram para o meu sucesso neste mestrado, com especial agradecimento para a professora Maria Clara Lázaro pois muito possivelmente teria desistido do mestrado se não fosse o seu apoio e tempo perdido comigo em determinados momentos do curso.

Resumo

A Fotogrametria e Deteção Remota têm uma importância fundamental para o conhecimento da estrutura da superfície terrestre. As fotografias aéreas captadas com recurso a aviões e/ou satélites são de extrema importância uma vez que constituem testemunhos visuais da superfície terrestre num determinado instante temporal.

Com o objetivo específico de detetar possíveis locais para a realização de atividades de prospeção mineira, foram requeridas ao IGeoE fotografias aéreas antigas, com ausência de vegetação. Assim que os mosaicos das fotografias foram obtidos com êxito, passou-se a um estudo de processamento de imagem, com recurso à componente geométrica das estruturas geológicas, para detetar os possíveis locais para prospeção geológica. Este método poupa vários recursos como mão-de-obra, custos e vários meses de trabalho a reconhecer no terreno áreas de prospeção.

As fotografias utilizadas neste trabalho têm origem em voos realizados entre 1958 e 1960, em território português, pela Força Aérea Americana (*United States Air Force, USAF*). A utilização destas fotografias tem como vantagem permitir a visualização do terreno num estado anterior ao encobrimento da sua superfície.

Nos últimos cinquenta anos verificou-se em Portugal um despovoamento das zonas interiores ocorrendo migrações para as zonas costeiras mais urbanizadas ou emigração para outros países. Com este fenómeno, as zonas rurais foram abandonadas, ocorrendo uma grande arborização do território. A deteção de estruturas geológicas como falhas, limites geológicos e discordâncias torna-se então bastante mais complicada uma vez que fotografias aéreas atuais estão essencialmente cobertas por vegetação.

A deteção de falhas, por exemplo, é uma tarefa essencial na prospeção mineira pois são estruturas nas quais existe circulação de fluidos que por vezes se encontram mineralizados. Estando as falhas cobertas por vegetação, tornar-se-ia impossível a sua deteção direta através da fotografia aérea.

O principal objetivo prático deste trabalho foi a geração de modelos tridimensionais a partir de fotografias aéreas antigas para, através de processamento de imagem, detetar possíveis estruturas geológicas com aplicação na prospeção mineira e sua confirmação no terreno. Processaram-se conjuntos de várias dezenas de fotografias desses voos, em três regiões de Portugal. Utilizou-se o programa *Agisoft PhotoScan®* para desenvolver um procedimento essencialmente automático de extração de nuvens de pontos, geração de modelos digitais de superfície e montagem de mosaicos de fotografias ortorretificadas. Fez-se uso de pontos de controlo para o procedimento de georreferenciação, que garantiram um rigor posicional compatível pelo menos com a escala 1/25.000. Os resultados satisfazem os objetivos propostos.

Palavras-chave: Deteção Remota, Estruturas Geológicas, Fotogrametria, Mapa de Relevo Sombreado, Modelo Digital de Terreno, Mosaico, Prospeção Geológica.

Abstract

Photogrammetry and Remote detection have a fundamental importance for knowledge about the structure of the Earth's surface. The aerial photographs and images that are captured with planes and satellites are very important, since they are visual testimonies of the Earth's surface in a specific time.

With the specific purpose of detecting possible locations for the realization of mining exploration activities, old aerial photographs were requested to IGeoE, with no vegetation. When the photo mosaics were obtained with success we did an image processing study, using the geometrical component of the geological structures, to detect possible sites for geological exploration. This method saves many resources as hand labor, costs and several months of work on the ground to recognize areas of exploration.

The photographs used in this dissertation are from a flight made between 1958 and 1960, in the Portuguese territory, by the US Air Force. The use of these photos has the advantage of allowing the visualization of the land in a previous state of the surface cover up.

The last fifty years there was in Portugal a depopulation of the interior areas, occurring migration to coastal regions, more urbanized or other country emigration. With this phenomenon, the rural areas have been abandoned, causing a large greening of the territory. The detection of geological structures such as faults, geological boundaries and disagreement then becomes more complicated since current aerial photographs are mainly covered by vegetation.

The detection of flaws, for example, is an essential task in a mining exploration because there are structures in which movement of fluid which sometimes are mineralized. Being the flaws covered by vegetation, would become impossible to detect them directly between aerial photography

The main practical objective of this work was the generation of three dimensional models from old aerial photographs, and through image processing, detect possible geological structures with application in mining exploration and confirmation on the ground. Several dozen photographs of these flights, from three regions of Portugal were processed. We used the Agisoft PhotoScan® program to develop an essentially automatic procedure for point cloud extracting, generating digital surface models and mounting mosaics of orthorectified photographs. There was use of control points for geo-referencing procedure, which ensured a positional accuracy at least compatible with 1/25,000 scale. The results meet the proposed objectives.

Keywords: Remote Detection, Geological Structures, Photogrammetry, Hillshade Map, Digital Terrain Model, Mosaic, Geological Prospecting.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice.....	vii
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Lista de Acrónimos	xii
Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1. Enquadramento Empresarial	1
1.2. Motivação	1
1.3. Objetivos	1
1.4. Estrutura da Dissertação	2
Capítulo 2 – Conceitos sobre Detecção Remota e Fotogrametria.....	3
2.1. Definição de Fotografia aérea.....	3
2.2. Fotogrametria vs. Detecção Remota	3
2.3. Fotografia Aérea.....	5
2.3.1. História.....	5
2.3.2. História em Portugal.....	7
2.3.3. Operações Fotogramétricas Preliminares	8
2.3.4. Marcas Fiduciais	9
2.4. Construção do Modelo Estereoscópico 10	
2.4.1. Orientação Interna.....	10
2.4.2. Orientação Relativa.....	11
2.4.3. Orientação Absoluta.....	11
2.4.4. Triangulação Aérea	12
2.4.5. Restituição Fotogramétrica.....	12
2.5. Fotografia Aérea em Território Português.....	13
Capítulo 3 – Aspetos Geológicos. Generalidades.....	14
3.1. Carta Geológica.....	14
3.2. Evolução da Carta Geológica	14
3.3. Evolução da Detecção Remota na Prospecção Geológica.....	15
3.4. Cartografia Geológica em Portugal.....	16
3.5. Prospecção Mineira.....	18
3.6. Interpretação Fotogeológica	19
3.7. Análise Estrutural.....	19
3.7.1. Atitudes das Camadas Geológicas.....	19
3.7.2. Discordâncias.....	21
3.7.3. Ordem e Grau das Estruturas.....	21

3.7.4. Contexto Geológico.....	21
3.7.5. Estruturas Circulares.....	22
3.7.6. Fraturas.....	23
3.7.7. Falhas	23
3.7.8. Cisalhamento	24
3.8. Fotointerpretação Aplicada à Geologia Económica.....	24
Capítulo 4 – Processos e Softwares	25
4.1. Agisoft PhotoScan®.....	25
4.2. Quantum Gis®.....	27
4.2.1. Caraterísticas do Qgis®	28
4.3. Spring®	28
4.3.1. Objetivos Principais.....	29
4.3.2. Contraste de Imagem.....	29
4.4. Processos Utilizados	31
4.4.1. Conversão de Formato.....	31
4.4.2. Localização das Fotografias.....	32
4.4.3. Normalização do Tamanho das Fotografias	35
4.4.4. Equalizar Tamanho e Recortar as Fotografias	36
4.4.5. Construção do Mosaico.....	38
4.4.5.1. Importação dos Dados.....	38
4.4.5.2. Alinhamento das Fotografias	39
4.4.5.3. Construção da Nuvem de Pontos Densa	41
4.4.5.4. Construção da Malha Triangular.....	42
4.4.5.5. Atribuição dos GCPs	43
4.5. Geração de Mapas de Relevo Sombreado	48
4.6. Zonas de Interesse	50
4.7. Combinação dos Mapas de Relevo Sombreado	52
Capítulo 5 – Conclusão.....	57
Referências Bibliografia	58
Anexos	60

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Gaspar Felix Tournachon	5
Figura 2.2 – Cidade de Boston, 1860.....	6
Figura 2.3 – Primeira fotografia de foguete, 1887	6
Figura 2.4 – Primeiro mosaico de fotografias, cidade de Manhattan	7
Figura 2.5 – Avião e equipamento fotográfico utilizado pela ARTOP, déc. 1950.....	8
Figura 2.6 – Operações fotogramétricas preliminares.....	8
Figura 2.7 – Marca fiducial.....	10
Figura 2.8 – Parâmetros de orientação das fotografias.....	11
Figura 2.9 – Fotografia aérea número 296 do voo USAF 1958	13
Figura 3.1 – Evolução da cartografia geológica, escala 1/500000 dos anos 1899, 1972 e 1992 respetivamente	15
Figura 3.2 – Primeira carta geológica de Lisboa, 1841	17
Figura 3.3 – Primeira Carta Geológica Portuguesa, escala 1/500000, 1876	18
Figura 3.4 – Banda do espectro visível.....	19
Figura 3.5 – Camadas Horizontais A e B	20
Figura 3.6 – Assimetria do relevo das camadas horizontais.....	20
Figura 3.7 – Camadas dobradas e forças que atuam nas mesmas.....	20
Figura 3.8 – Diferenciação de dobra e falha	21
Figura 3.9 – (A) Limite conforme, (B) Limite progressivo, (C) Limite envoltório	22
Figura 3.10 – Estruturas Circulares (A) Interrelacionadas, (B) Composta por núcleo homogéneo.....	22
Figura 3.11 – (A) Falha com nível guia deslocado, (B) Zona de falhas, (C) Zona de cisalhamento dúctil.....	23
Figura 3.12 – Zona de cisalhamento, (A) Lineações contidas numa faixa linear, (B) núcleo de granito, (C) Lineações descontínuas.....	24
Figura 4.1 – Captura das Fotografias.....	25
Figura 4.2 – Variação do histograma	30
Figura 4.3 – Imagem original	30
Figura 4.4 – Imagem de falsa cor.....	30
Figura 4.5 – Áreas geográficas em estudo evidenciadas	31
Figura 4.6 – Coincidir centro das fotografias aéreas com Google Earth®	32
Figura 4.7 – Fotografia de 2006.....	35
Figura 4.8 – Fotografia de 2007	35
Figura 4.9 – Fotografia de 2012.....	35
Figura 4.10 – Marca fiducial de Marrancos	36
Figura 4.11 – Marca fiducial de Melgaço e Sepeda	36
Figura 4.12 – Janela de georreferenciação do Qgis®	36
Figura 4.13 – Verificação do tamanho do pixel	37
Figura 4.14 – Recorte da fotografia aérea.....	38
Figura 4.15 – Medição no Google Earth® em metros	39
Figura 4.16 – Medição em pixéis	39

Figura 4.17 – Opção Align Photos do Agisoft PhotoScan®.....	40
Figura 4.18 – Alinhamento das fotografias de Melgaço.....	40
Figura 4.19 – Opção Build Dense Cloud do Agisoft PhotoScan®	41
Figura 4.20 – Nuvem densa de pontos	42
Figura 4.21 – Opção Build Mesh do Agisoft PhotoScan®	42
Figura 4.22 – Obtenção do mosaico com georreferenciação aproximada.....	43
Figura 4.23 – Atribuição dos GCPs no mosaico.....	44
Figura 4.24 – Mosaico de Sepeda	45
Figura 4.25 – Mosaico de Marrancos.....	45
Figura 4.26 – Erro do mosaico	48
Figura 4.27 – Hillshade de ângulo azimutal 45°	49
Figura 4.28 – Hillshade de ângulo azimutal 135°	49
Figura 4.29 – Hillshade de ângulo azimutal 225°	49
Figura 4.30 – Hillshade de ângulo azimutal 315°	49
Figura 4.31 – Recorte da primeira zona de interesse de Marrancos	50
Figura 4.32 – Recorte da segunda zona de interesse de Marrancos	50
Figura 4.33 – Recorte da terceira zona de interesse de Marrancos	51
Figura 4.34 – Recorte da zona de interesse de Melgaço	51
Figura 4.35 – Recorte da zona de interesse de Sepeda	52
Figura 4.36 – Combinação de três hillshades no Spring®.....	53
Figura 4.37 – Combinação de nove hillshades três a três.....	55
Figura 4.38 – Delineação de possíveis estruturas geológicas.....	55
Figura 4.39 – Quartzo brechificado	56
Figura 4.40 – Estrutura afetada por uma falha.....	56

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 – Coordenadas dos centros das fotografias de Marrancos em WGS84	33
Tabela 4.2 – Coordenadas dos centros das fotografias de Melgaço em WGS84.....	34
Tabela 4.4 – Erros dos GCPs do mosaico de Melgaço	44
Tabela 4.5 – Erros dos GCPs das fiadas 1 e 2 do mosaico de Sepeda	46
Tabela 4.6 – Erros dos GCPs das fiadas 3 e 4 do mosaico de Sepeda	46
Tabela 4.7 – Erros dos GCPs das fiadas 1 e 2 do mosaico de Marrancos.....	46
Tabela 4.8 – Erros dos GCPs da fiada 3 do mosaico de Marrancos	47
Tabela 4.9 – Erros dos GCPs da fiada 4 do mosaico de Marrancos	47
Tabela 4.10 – Média dos erros de todos os pontos de controlo	47
Tabela 4.11 – Desvio Padrão de todos os pontos de controlo	48
Tabela 4.12 – Conjunto de combinações de 3 hillshades	54
Tabela 4.13 – Conjunto de combinações de 9 hillshades, 3 a 3.....	54

Lista de Acrónimos

ARTOP – Aero-Topografia Lda.

ASP – American Society of Photogrametry

ASPRS – American Society of Photogrametry and Remote Sensing

DPI – Pontos Por Polegada

GCP – Ground Control Points

GDAL – Geospatial Data Abstraction Library

GNU / GPL – General Public License

IGeoE – Instituto Geográfico do Exército

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

JPG – Joint Photographic Experts Group

MDT – Modelo Digital de Terreno / Modelo Digital de Elevação

OSGeo – Open Source Geospatial Foundation

QGIS – Quantum Gis

RAF – Royal Air Force

RGB – Red, Green, Blue

SCE – Serviços Cartográficos do Exército

SPLAL – Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos Limitada

TIFF – Tagged Image File Format

USAF – United States Air Force

WMS – Web Map Service

Capítulo 1 – Introdução

1.1. Enquadramento Empresarial

Este trabalho foi realizado num contexto de estágio para conclusão de mestrado na empresa Sinergeo – Soluções Aplicadas em Geologia, Hidrologia e Ambiente Lda. Foi fundada em 2006 e é constituída por profissionais licenciados em Geologia. Dedicam-se à prestação de serviços, consultoria e execução de projetos nas áreas da geologia, hidrogeologia, geofísica e geotecnia.

Sendo uma empresa que aposta na melhoria das capacidades técnicas e inovadoras, atestados pelos projetos de I&D já realizados, surgiu a proposta de estágio. A empresa está ligada a projetos de prospeção e pesquisa de minerais metálicos.

1.2. Motivação

Decidi realizar este estágio pois os trabalhos com fotografia aérea sempre me despertaram bastante interesse. Geologia também é uma área que me desperta interesse e achei que a combinação das duas áreas poderia resultar num trabalho bastante interessante.

O facto de a empresa ter inspirado confiança e relevar um ambiente de trabalho acolhedor aquando da minha deslocação à mesma também foram fatores determinantes para a minha motivação.

1.3. Objetivos

O trabalho elaborado durante este estágio surge no contexto do escasso aproveitamento dos recursos geológicos que Portugal proporciona. A falta de investimento nesta área deve-se ao facto de ser necessário investir muitos recursos económicos para se iniciar a prospeção que a maior parte das vezes acaba por não resultar. A exploração mineira encontra-se praticamente estagnada sendo esse fator bastante negativo para a economia do país. O setor mineiro pode criar uma elevada riqueza associada ao próprio negócio, transação comercial do minério que tem impostos e royalties para o estado português.

O objetivo prático do trabalho foi realizar mosaicos de três zonas específicas de Portugal Continental com recurso a fotografia aérea de 1958 fornecida pelo IGeoE para posterior análise. Tendo os mosaicos concluídos, extraíram-se os modelos digitais de superfície (MDTs) dos mesmos com o intuito de detetar possíveis estruturas geológicas com aplicação na prospeção. Em caso afirmativo, é necessário ir ao terreno verificar os resultados.

Um processo dito “normal” para avaliação de estudos do terreno demoraria meses e seria necessário ter despesas com contratação de trabalhadores e idas constantes ao terreno com os custos inerentes. Através da utilização da deteção remota e fotogrametria é pretendida uma otimização do processo de prospeção mineira, particularmente na vertente geológica. Pretende-se então dar contributos que permitam facilitar e acelerar o processo de quantificação de novos depósitos minerais.

1.4. Estrutura da dissertação

Para além do resumo e deste capítulo 1 introdutório, esta dissertação apresenta outros quatro capítulos.

No capítulo 2, são abordados os conceitos de suporte de trabalho sobre Deteção Remota e Fotogrametria. Além da descrição de algumas metodologias fotogramétricas como a construção de um modelo estereoscópico e de operações preliminares a esse processo, inclui também alguma história sobre a fotografia aérea. Alguns dos passos mais marcantes da evolução, a História em Portugal, entre outros pontos.

O capítulo 3, assim como acontece no anterior, é um capítulo onde são abordados suportes de trabalho. Abordam-se generalidades sobre aspetos geológicos como a cartografia geológica, a sua evolução e os passos necessários para a elaboração da mesma, evolução da Deteção Remota em exploração geológica e sobre a cartografia geológica em Portugal. Aborda igualmente os aspetos da prospeção mineira e a análise estrutural dos corpos geológicos.

No capítulo 4 são explicados os processos utilizados durante a fase prática do estágio tal como os softwares utilizados. Dá-se uma perceção da potencialidade dos *softwares Qgis®*, *Agisoft®*, *PhotoScan®* e *Spring®* e como foram utilizados nesta dissertação. Também é feita a análise dos dados obtidos neste capítulo.

O capítulo 5 é o capítulo que conclui esta dissertação. Está escrita a conclusão e as perspetivas futuras do mesmo.

Capítulo 2 – Conceitos sobre Detecção Remota e Fotogrametria

2.1. Definição de Fotografia Aérea

Atualmente, uma fotografia aérea é uma fotografia obtida por meio de uma câmara instalada numa plataforma aerotransportadora devidamente preparada e homologada para receber este sistema. Com vista aérea vertical rigorosamente controlada e montada com o eixo ótico da câmara próximo da vertical dessa mesma plataforma.

Um par estereoscópico de fotografias aéreas é nome dado a um par de fotografias aéreas consecutivas, capturadas a uma distância constante entre as estações de exposição e capazes de reproduzir o modelo espacial do terreno fotografado. Para conseguirmos formar este par, temos de fazer a orientação interna, relativa e absoluta do par de fotografias.

2.2. Fotogrametria vs. Detecção Remota

O termo fotogrametria deriva das palavras gregas *photon*, *graphos* e *metron*. *Photon* tem como significado luz, *graphos* significa algo escrito ou desenhado enquanto *metron* significa medir. Então, de acordo com as palavras de origem, fotogrametria tem como significado “medir graficamente usando luz” [1].

Muitas abordagens e discussões para o tema foram desenvolvidas ao longo do último século, tornando tal assunto confuso e complicado para aqueles que têm o primeiro contacto com o mesmo. A definição de fotogrametria, até à década de 60, consistia na “Ciência e arte de obter medidas confiáveis por meio de fotografias” (*American Society of Photogrammetry – ASP*). Com o desenvolvimento de novos tipos de sensores surgiu uma nova definição de fotogrametria, igualmente proposta pela ASP, em 1979, que consiste na “Fotogrametria como a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes”. Tendo em conta as atualizações da definição, pode-se entender a fotogrametria como uma técnica de medição das propriedades geométricas de um objeto sem ter contacto com o mesmo. A medição pode ser executada em duas ou três dimensões, explorando as imagens analógicas adquiridas por processos tradicionais de câmaras e imagens digitais. Embora tenha nascido para a execução de levantamentos arquitetónicos, pode ser considerada a primeira tecnologia de deteção remota, que teve como base a aquisição de propriedades geométricas de objetos a partir de imagens fotográficas. Hoje em dia é amplamente utilizado no levantamento aéreo topográfico e mapeamento, e para fins militares [1].

O termo detecção remota é frequentemente utilizado em vez de fotogrametria. É um termo que foi originalmente confinado a trabalhar com imagens de satélites. No entanto, inicialmente, as imagens de satélites tinham baixa resolução geométrica, ou seja, tornava-se difícil distinguir inúmeros objectos; verificava-se uma real falta de nitidez [2]. Tal facto verificava-se devido à fraca qualidade das lentes para grandes distâncias, o que levava à impossibilidade de adaptação de tais imagens à estrutura já montada para processos fotogramétricos. No princípio, verificou-se uma dicotomia entre detecção remota e fotogrametria, o que não impediu a ASP de atualizar o seu nome para American Society of Photogrammetry and Remote Sensing – ASPRS. Este facto permite-nos concluir que não era coerente haver uma divisão tão expressiva entre os mesmos.

O objetivo principal da fotogrametria pode ser entendido como a reconstrução de um espaço tridimensional a partir de imagens bidimensionais, fotografias. Utiliza-se um sistema bidimensional próprio de cada câmara, usando como origem as coordenadas do centro da captação da mesma. O sistema tridimensional representa o sistema de coordenadas do terreno sobre o qual se obtêm as fotografias. Pode representar-se em coordenadas geodésicas (longitude, latitude, altitude) ou cartesianas (X, Y, Z). Para que a transformação seja realizada com sucesso, é necessário um conjunto de pontos de controlo. Os pontos de controlo são pontos com coordenadas de terreno conhecidas. Estabelecem uma relação precisa entre as fotografias e o terreno.

A Detecção Remota centra-se na determinação dos objetos e das condições da superfície baseando-se nas suas propriedades de radiação eletromagnética refletida proveniente do Sol. É possível inferir características físicas e químicas dos objetos através da sua refletância. Além da radiação refletida, os objetos emitem radiação própria, com intensidade e composição espectral dependente da temperatura.

A radiação eletromagnética que incide sobre os objetos interage com a matéria através da absorção, reflexão e transmissão. A absorção concretiza as trocas de energia entre os fótons e os átomos que constituem o corpo, a reflexão consiste no reenvio para o espaço envolvente de parte da radiação eletromagnética, na transmissão a radiação eletromagnética transmitida atravessa o objeto sem interagir com as suas partículas e é recuperada na face oposta à face de incidência.

O principal objetivo da Detecção Remota é a produção de mapas, principalmente temáticos mas também topográficos. As suas características fundamentais consistem na visão global de todas as condições da superfície do solo que não podem ser obtidas por métodos tradicionais e na repetição cíclica, ou seja, observações periódicas permitindo comparações temporais e atualizadas do local [3].

A aquisição de informações com técnicas de Detecção Remota é desenvolvida em três fases:

- Recolha dos dados a partir do solo, estações e/ou satélites;
- Processamento dos dados recolhidos;
- Interpretação dos dados, seguida da restituição, em papel ou digital, dos mesmos.

2.3. Fotografia Aérea

2.3.1. História

A primeira fotografia aérea conhecida foi captada em 1858 pelo fotógrafo francês Gaspar Felix Tournachon, mais conhecido como “Nadar” (Figura 2.1). Em 1855, *Nadar* patenteou a ideia de utilizar fotografia aérea em cartografia e topografia embora tenha estado três anos em experiências até obter com sucesso a primeira fotografia aérea. A fotografia foi captada num balão de ar quente a 80metros do solo e abrangia a aldeia francesa *Petit-Becetre* [4].



Figura 2.1 – Gaspar Felix Tournachon [4]

As fotografias tiradas por *Nadar* não resistiram ao tempo não havendo qualquer vestígio das mesmas. A fotografia aérea conhecida mais antiga pertence a *James Wallace Black*. Data de 1860 e capta a cidade de Boston a preto e branco (Figura 2.2)

Aos poucos, com as melhorias na tecnologia fotográfica, tornou-se mais fácil a colocação das câmaras fotográficas no céu para captação de fotografias. Além dos balões de ar quente, foram também usados papagaios de papel, pombos e foguetes para elevar as câmaras fotográficas.

O meteorologista inglês *E. D. Archibald* esteve entre os primeiros pioneiros a tirar com sucesso fotografias com recurso a papagaios de papel. Data o ano de 1882. A primeira fotografia aérea de sucesso com recurso a uma câmara montada num foguete foi captada pelo sueco *Alfred Nobel* em 1887 (Figura 2.3). A sua câmara captou uma fotografia aérea com uma altitude aproximada de 790metros.



Figura 2.2 – Cidade de Boston, 1860 [5]



Figura 2.3 – Primeira fotografia de foguete, 1887 [5]

A primeira fotografia aérea captada com recurso a um avião data de 1909, sendo o avião pilotado por *Wilbur Wright*. Encontrava-se em Itália e transportou um passageiro que tirou fotografias ao campo militar de *Centocelli* em Roma. Na primeira guerra mundial, a fotografia aérea teve o primeiro momento de auge. Os mapas de batalhas usados por ambos os lados foram produzidos a partir de fotografias aéreas e as frentes das batalhas eram diariamente monitorizadas por fotografia aérea. Câmaras especificamente projetadas para uso em aviões estavam a ser produzidas, incluindo detetores infravermelhos térmicos. No entanto, havia problemas relacionados com a estabilidade e velocidade do obturador sendo desenvolvida uma câmara com obturador situado no interior da lente. Este projeto melhorou significativamente a qualidade das fotografias e tornou-se padrão da fotografia aérea durante 50 anos.

No fim da primeira guerra mundial, as fotografias aéreas foram transformadas para fins não militares. *Sherman Fairchild* pegou num conjunto de fotografias de Manhattan, localizou o local de sobreposição das mesmas criando o primeiro mosaico de fotografias (Figura 2.4). Este englobava parte da cidade sendo composto por cem fotografias aéreas a uma altitude de cem mil pés, equivalente a aproximadamente 30500metros [5].

Tendo-se tornado num enorme sucesso em termos comerciais, foi usado por várias agências. Outras cidades se seguiram uma vez que estes levantamentos aéreos são mais rápidos e baratos de obter. Mostrou ter usos civis e poderia ser um empreendimento comercial bem-sucedido.



Figura 2.4 – Primeiro mosaico de fotografias, cidade de Manhattan [5]

2.3.2. História em Portugal

Em 1937 os Serviços Cartográficos do Exército (SCE) introduziram os processos fotogramétricos na cadeia de produção com o sistema *Multiplex Bausch&Lomb*. Foi o começo da substituição nos SCE dos métodos clássicos de levantamento pelos fotogramétrico, sendo este concluído em 1940. A partir de 1940 os métodos clássicos de levantamento de produção são substituídos nos SCE pelos processos fotogramétricos *Wild A5* e *A6* [6].

A primeira cobertura nacional foi realizada pela força aérea do Reino Unido (RAF) em 1948. O voo foi realizado na escala 1:30000 sendo destinado a apoiar um série cartográfica 1:25000 do SCE. A força aérea dos Estados Unidos (USAF) realizou, em 1958, um voo que engloba todo o território nacional destinado à produção de cartografia à escala 1:50000. As fotografias utilizadas neste trabalho têm como origem este voo em específico.

A fotogrametria aérea, como técnica de produção cartográfica no setor empresarial, foi iniciada em 1937 pela Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos Limitada (SPLAL). Esta empresa aplicou processos fotogramétricos no levantamento à escala 1:2000 e 1:5000 da Costa do Sol e colaborou até 1946 na execução da cartografia 1:25000 dos SCE. Esta empresa funcionou até 1949, sendo a partir dela criada a empresa ARTOP (Aero – Topográfica Lda). A ARTOP manteve a atividade na fotogrametria aérea. Por razões da instabilidade política que se viveu logo após o 25 de Abril de 1974, abandonou a realização de cobertura aérea, passando a trabalhar, exclusivamente, para a força aérea portuguesa [6]. Por uma questão de curiosidade, segue a Figura 2.5 que representa o avião e equipamento fotográfico aéreo utilizados pela ARTOP na década de 1950.



Figura 2.5 – Avião e equipamento fotográfico utilizado pela ARTOP na década de 1950 [6]

2.3.3. Operações fotogramétricas preliminares

A base para todas as técnicas fotogramétricas para a produção de cartografia é composta por duas grandes fases, o voo fotográfico e a determinação de pontos de apoio. São necessárias condições ótimas tanto numa fase como na outra para obter resultados significativos e fiáveis. Um simples descuido numa destas operações é suficiente para o trabalho não se realizar com sucesso. Um projeto de aquisição de informação geográfica por via fotogramétrica requer uma cuidadosa aquisição das imagens.

O esquema geral das operações preliminares consiste na Figura 2.6:

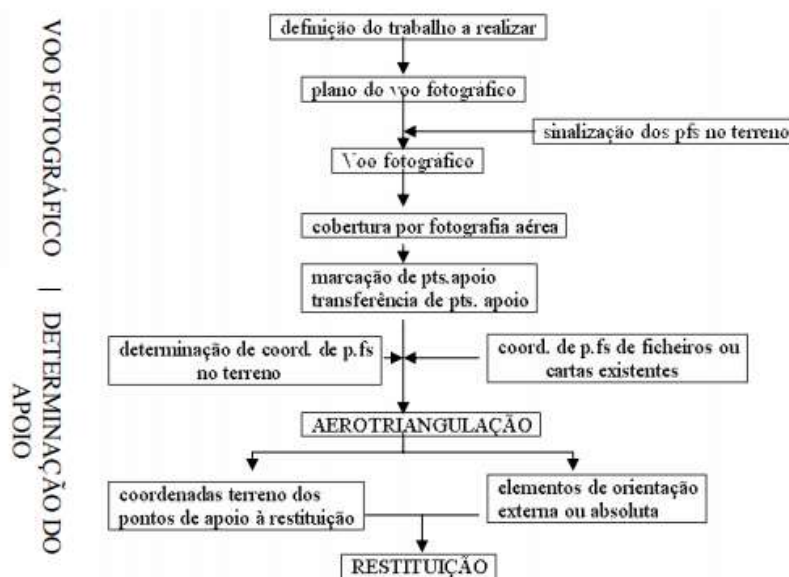


Figura 2.6 – Operações fotogramétricas preliminares [7]

- **Definição do trabalho a realizar**

Este ponto é o primeiro das operações fotogramétricas preliminares. Visa analisar e fornecer a área a levantar com a sua localização e dimensões, a escala da representação pois condiciona a escala da fotografia inicial e o tipo de pormenor a apresentar e o tipo de representação que se pretende (carta topográfica, ortofoto digital ou em papel, etc). Também é necessário saber a precisão pretendida, tanto planimétrica como altimétrica e as restrições do voo (vegetação, luminosidade, tempo atmosférico, entre outros).

- **Plano do voo fotográfico**

Para planear o voo, há vários aspetos a serem considerados: distância focal das lentes, escala desejada para as fotografias, sobreposição longitudinal e lateral, velocidade do avião, altitude de voo, número de fiadas com respetivas fotografias e custos para a execução do plano do voo.

No que diz respeito à escala, tem-se de ponderar dois fatores: O pormenor com que se quer representar os objetos, pois quanto maior for a escala, melhor se identificam os pormenores no terreno e os custos pois quanto menor for a escala, mais terreno será abrangido e menos fiadas e, conseqüentemente, fotografias serão necessárias. São dois aspetos opostos mas com igual importância.

A escala, por norma, é estabelecida segundo a regra de *Von Gruber* em que $mf = c\sqrt{mc}$, sendo mf o módulo da escala da fotografia, mc o módulo da escala da carta e c a constante da câmara utilizada em milímetros [7]

Segundo os artigos 7 e 8 do regulamento técnico das coberturas aerofotográficas para fins civis da Direção-Geral do Território, na sobreposição longitudinal é obrigatória uma cobertura estereoscópica entre o intervalo de 55% e 65% apenas se admitindo desvios a este intervalo quando existe uma acentuada variação dos desníveis altimétricos da zona. No que diz respeito à sobreposição lateral, tem de se situar entre os 15% e os 35%, salvo especificações contrárias nas condições técnicas do projeto.

As fiadas são voadas norte-sul ou este-oeste sendo os rumos médios das fiadas adjacentes paralelos, devendo os eixos das fiadas manter-se rectilíneos e paralelos. O objetivo da sobreposição longitudinal é permitir a visualização tridimensional e a restituição estereoscópica, enquanto a sobreposição lateral tem a função de ser uma margem de segurança para evitar erros nas fiadas [7].

2.3.4. Marcas fiduciais

As fotografias aéreas possuem quatro marcas, precisamente definidas, denominadas marcas fiduciais. São referências coordenadas, de acordo com o relatório de calibração da câmara e servem para localização do ponto principal de cada fotografia (normalmente o centro da mesma) e para fazer correspondência entre o ambiente real e a imagem capturada.

Há dois grupos de marcas fiduciais: as pontuais e as planares [8]. As pontuais garantem apenas um ponto de correspondência entre o ambiente real e a imagem

capturada enquanto as marcas planares há mais pontos de correspondência. São necessárias um mínimo de três marcas pontuais não colineares para determinar a calibração de uma câmara.

A Figura 2.7 exemplifica uma marca fiducial de uma fotografia aérea.



Figura 2.7 – Marca fiducial [8]

2.4. Construção do Modelo Estereoscópico

A fotografia aérea pode ser definida como uma projeção central do espaço objeto na superfície fotográfica. O centro de perspectiva das lentes da câmara e as imagens expostas na superfície fotográfica formam um feixe de raios que, por sua vez, é utilizado na reconstrução do modelo objeto. A esta reconstrução, a qual poderá ser realizada em várias etapas, chama-se orientação [9].

2.4.1. Orientação Interna

Entende-se como orientação interna a referenciação da imagem em relação à câmara. Por outras palavras, consiste em fazer coincidir as marcas fiduciais das fotografias. É feita individualmente a cada fotografia de um mosaico. O objetivo desta fase é a reconstrução de um feixe de raios geometricamente idênticos ao feixe produzido pela câmara no momento de exposição [9].

Os parâmetros que definem estas relações são chamados elementos de orientação interna e englobam:

- A distância focal da câmara;
- A posição do ponto principal relativamente às marcas fiduciais;
- Parâmetros de distorção do sistema de lentes fotográfico.

2.4.2. Orientação Relativa

Com a orientação relativa pretende-se a determinação da posição angular de duas fotografias sucessivas e sobrepostas, uma em relação à outra. Isto é, reconstruir as condições reais no momento em que é tirada a fotografia de tal modo que os raios de projeção de todos os pontos conjugados se intersectem no espaço objeto [9]. Como o próprio nome diz determina-se a posição relativa de uma fotografia em relação a outra. Para tal acontecimento, fixa-se uma imagem e “roda-se e arrasta-se” a outra até ficarem coincidentes nesse ponto. Essa operação é repetida em vários pontos da fotografia de acordo com as áreas de *Von Grubber*. Este processo consiste em alterar os parâmetros de orientação das fotografias, ou seja, X , Y , Z , Ω , ϕ e κ (Figura 2.8). Os pontos de Von Grubber consistem em pontos aos quais foram aplicados uma equação de colineariedade de modo a eliminar a paralaxe em torno do eixo YY [9].

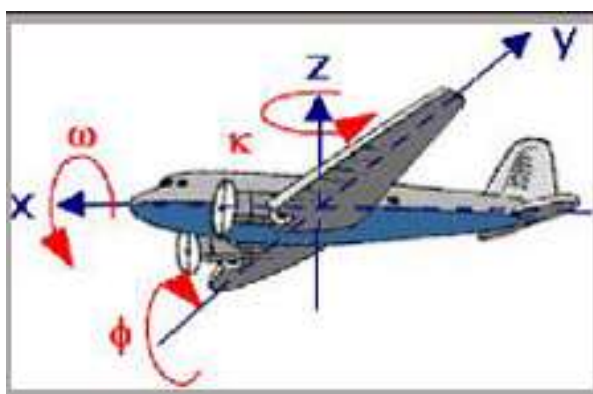


Figura 2.8 – Parâmetros de orientação das fotografias [9]

2.4.3. Orientação Absoluta

A orientação absoluta consiste no estabelecimento da relação entre o espaço do modelo e o sistema de coordenadas do espaço do objeto. Requer a utilização de coordenadas de pontos identificáveis na fotografia (pontos de controlo). O número de pontos cujas coordenadas são determinadas no terreno é reduzido através do processo de aerotriangulação. Os pontos de controlo devem ser três ou mais, sendo desejável um mínimo de seis pontos. Quanto maior for o número de pontos, melhores resultados são obtidos.

Após este procedimento sempre que nos deslocamos dentro do modelo de fotografias é como se o fizéssemos no terreno, ou seja, as coordenadas extraídas são as do terreno [9].

2.4.4. Triangulação Aérea

Como referido anteriormente, a orientação absoluta requer o conhecimento das coordenadas cartográficas de pelo menos três pontos. Essas coordenadas podem ser determinadas por métodos terrestres de posicionamento como taqueometria. A fotogrametria desenvolveu a sua própria técnica de posicionamento designada por triangulação aérea. Assim sendo, a partir de pontos bem distribuídos, faz-se a interpolação de outros pontos por métodos fotogramétricos, conseguindo obter novos pontos de apoio. Representa um grande avanço nas técnicas de fotogrametria pois permite um maior número de pontos no terreno a partir da interpolação com menor tempo de trabalho e custos.

Assim, no que diz respeito às coordenadas dos pontos obtidos, para além de métodos terrestres, a triangulação aérea é um método bem mais eficaz para extrair as coordenadas verdadeiras dos pontos. No entanto, por se tratar de um processo de interpolação, não é isento de erros. Porém, se forem respeitadas as precisões adequadas a cada escala, chega-se a resultados aceitáveis tanto para mapeamento topográfico (escala 1:25000) como para mapeamento cadastral (escala 1:2000). Os parâmetros obtidos são essenciais nas práticas posteriores de restituição [9].

2.4.5. Restituição Fotogramétrica

Ambas as orientações referidas até agora têm como destino preparar o modelo estereoscópico das fotografias para a restituição fotogramétrica. Esta tem como objetivo a interpretação das diversas feições do terreno, extraindo-as geograficamente referenciadas, de modo a construir um conjunto de dados geográficos. Por outras palavras, trata-se de descrever a forma da Terra por meio das coordenadas de pontos ao longo da sua geometria no sistema do espaço-objeto [10].

O sistema de coordenadas do espaço-objeto é tridimensional enquanto o espaço-imagem apenas tem duas dimensões, bidimensional. Para que se possa reconstruir um espaço 3D através das imagens, é necessário conhecer o conceito de visão estereoscópica.

O ser humano vive num mundo de três dimensões (altura, largura e profundidade). No entanto, os olhos do ser humano, individualmente, apenas retêm duas dimensões perdendo a noção de profundidade.

Cada um dos olhos comporta-se como um câmara fotográfica em que perde a percepção da profundidade. Com duas fotografias diferentes do mesmo local e focando cada olho numa e outra respetivamente, as imagens de cada olho são fundidas no cérebro proporcionando a percepção da profundidade. Pode-se então enunciar o conceito de visão estereoscópica como “maneira pela qual o espaço-objeto pode ser reconstruído no cérebro humano, a partir do espaço-imagem” [10].

2.5. Fotografias Aéreas no Território Português

Os principais utilizadores de fotografias aéreas sempre foram as agências militares e de mapeamento, não sendo de estranhar que o maior repositório de fotografias aéreas do país seja o IGeoE. O seu repositório de fotografias aéreas antigas inclui cerca de 60000 fotografias preservadas em duas salas.

O IGeoE tem em sua posse fotografias aéreas com cobertura total do continente de três entidades distintas:

- SPLAL que decorreu entre 1938-1948, com escala variada.
- RAF que decorreu em 1947 na escala 1/30000.
- USAF que decorreu entre 1958 e 1960 na escala 1/26000.

Este trabalho foi realizado com as fotografias aéreas do voo da USAF. Foram requeridas ao IGeoE 58 fotografias deste voo. Estas fotografias agrupam-se em três conjuntos de três zonas distintas de Portugal Continental. A Figura 2.9 é um exemplo de uma destas fotografias.

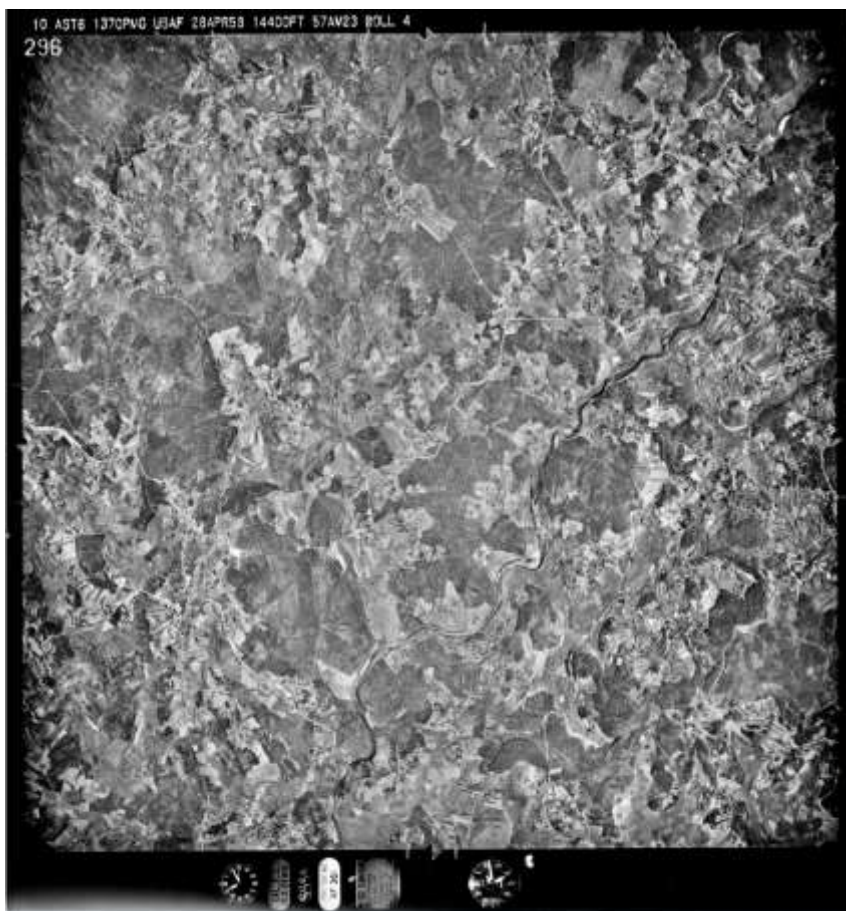


Figura 2.9 – Fotografia aérea número 296 do voo USAF 1958

Capítulo 3 – Aspetos Geológicos. Generalidades

3.1. Carta Geológica

Uma carta geológica é um documento científico e técnico onde se sintetiza, sobre um fundo topográfico adequado, informação sobre os materiais rochosos que afloram à superfície na região, tal como os fenómenos que os afetam.

Esta informação está relacionada com a natureza e distribuição espacial das diferentes rochas, quer à superfície, quer em profundidade, idade relativa e absoluta dessas formações rochosas, ocorrência de minerais com interesse económico, localização de poços e nascentes naturais e estações arqueológicas importantes.

Esta informação é traduzida em cores e símbolos discriminados na respetiva legenda. As cartas mais recentes incluem colunas estratigráficas e cortes geológico, destinados a facilitar a sua leitura e interpretação [11].

As cartas geológicas são um instrumento durável e indispensável para um desenvolvimento sustentável, sob ponto de vista económico e ambiental de um País pois permite apoiar políticas de gestão de recursos, ambiente e ordenamento de território, bem como prevenir riscos associados a catástrofes naturais [12].

A elaboração de cartas geológicas de base, como a grande maioria das cartas, compreende três grandes fases [11]:

1. Levantamentos de campo;
2. Estudos de gabinete e laboratório;
3. Desenho e impressão.

3.2. Evolução da Cartografia Geológica

A cartografia geológica constitui a base para qualquer programa de prospeção. Tem evoluído consideravelmente ao longo dos últimos sessenta anos através de sucessivas etapas, como ilustra a Figura 3.1.

Antes da difusão das fotografias aéreas, o planeamento de uma missão de cartografia geológica era revestido de maiores dificuldades logísticas, pois não era possível uma visão total da área a cartografar. Assim era necessário estabelecer uma rede sistemática (malha regular) que era modificada durante o curso das observações geológicas, o que implica forçosamente um aumento de custos.

A partir de 1950, com o surgimento das fotografias aéreas, a cartografia geológica tem sido guiada por métodos de fotointerpretação. A cobertura por fotografia aérea foi gradualmente sistematizada em todo o mundo o que permitiu um estudo prévio de gabinete das áreas a cartografar. Em paralelo, novas ferramentas de exploração surgiram, tendo-se tornado igualmente ferramentas de mapeamento geológico.

Por volta de 1972, dá-se o surgimento das técnicas de multibandas, representando um avanço enorme no estudo da superfície terrestre. A sua integração

nas investigações geológicas foi facilitada em 1984 com o lançamento da segunda geração de satélites como o *Landsat TM* e *Spot HRG*.

Em 1984 o mapeamento geológico passou por uma transformação dramática, entrando na era da tecnologia digital. As técnicas convencionais têm vindo a ser substituídas por análise com multi-critério e representações tridimensionais em suporte informático. Um novo método de mapeamento surgiu em que o uso de observações feitas por várias ferramentas, pesquisa sinérgica e formulação de acordo com as necessidades de gestão e controlo do ambiente tornaram-se indispensáveis [13].



Figura 3.1 – Evolução da cartografia geológica, escala 1/500000 dos anos 1899, 1972 e 1992 respetivamente [11]

Numa conceção mais tradicional, a carta geológica era apresentada em suporte de papel, acompanhada da respetiva notícia explicativa. As cartas mais modernas evoluíram para um conjunto de base de dados gráficos e alfanuméricos, georreferenciados e trabalhados num sistema de informação geográfico [12].

3.3. Evolução da Detecção Remota na Prospecção Geológica

Na tentativa de otimizar o rendimento da cartografia, surge a necessidade de utilizar, com eficácia, técnicas sofisticadas com recuso a imagens ópticas e de radar, radiometria espectral, geofísica aerotransportada e sistemas de informação geográfica [14]. Estas técnicas possibilitam um melhoramento significativo dos produtos cartográficos finais e permitem reduzir a necessidade de trabalho de rotina no campo, disponibilizando-se tempo para resolução de outros problemas-chave.

As fotografias aéreas (tanto de avião como de satélite) possibilitaram uma evolução da cartografia temática com maior precisão. Os geólogos sempre estiveram entre os grandes utilizadores das fotografias aéreas pois, muitas vezes, exploram zonas remotas sendo que um conhecimento prévio das mesmas otimiza os resultados esperados.

A maior parte do trabalho era em vão uma vez que o tempo despendido era enorme e muitas vezes sem resultados. Com o surgimento das fotografias aéreas verificaram que muitas vezes andavam próximos dos locais e se a informação das mesmas tivesse surgido anteriormente, os resultados seriam mais satisfatórios.

Um dos grandes exemplos dos benefícios das fotografias está relacionado com o petróleo. Na Califórnia, geólogos recorreram às primeiras fotografias aéreas do país para detetar jazigos de petróleo. Na Península Arábica foi igualmente utilizado o mesmo processo entre outros países.

As primeiras imagens fornecidas por satélite são caracterizadas pela especificidade do relatório de resolução espacial – área coberta. Revelaram aos geólogos um enorme potencial na deteção do tipo de estruturas nas áreas para prospeção mineira e recursos hídricos. Entre 1972 e 1984, a deteção remota preencheu várias lacunas que havia até à altura nas cartas geológicas, necessários para o desenvolvimento de um país [13].

Os testes de validação de objetos geológicos observados por deteção remota mostraram que nem sempre era fácil, por métodos tradicionais, fazer a classificação da superfície terrestre. Existiam também objetos lineares que não eram possível classificar no sentido de pertencerem a estruturas geológicas ou não.

Desenvolveu-se então um processo de classificação para todos os objetos geológicos. O método, desenvolvido por físicos, consistia na análise espectral das fotografias.

As imagens de satélite, obtidas e tratadas com a mais variada tecnologia, permitem pôr em evidência aspectos geomorfológicos e alinhamentos tectónicos susceptíveis de interpretações diversas. A partir do estudo pormenorizado de setores relativamente localizados da superfície terrestre, é possível reconhecerem-se e avaliarem-se aspectos estruturais, em particular os padrões de fraturação, e fazerem-se interpretações tectono-estruturais e cinemáticas para domínios mais amplos, tanto continentais como oceânicos. Estas novas metodologias permitem ultrapassar os elevados custos e a morosidade associada às técnicas clássicas de reconhecimento geológico. Permitem também a aquisição de informação sobre as regiões inóspitas e/ou de acesso físico difícil.

3.4. Cartografia Geológica em Portugal

O desenvolvimento da cartografia geológica em Portugal iniciou-se nos meados do século XIX, sendo Portugal dos primeiros países do mundo a produzir cartografia geológica.

As primeiras cartas geológicas, embora com nível de erro bastante grande, complementavam estudos mineiros ou regionais. O geólogo Daniel Sharpe, em 1841, publicou a primeira carta geológica dos arredores de Lisboa (Figura 3.2) e, em 1849, a primeira carta geológica dos arredores do Porto [11].



Figura 3.2 – Primeira carta geológica de Lisboa, 1841 [11]

Daniel Sharpe e Carlos Ribeiro são considerados os fundadores da geologia portuguesa ao traçarem os limites de formações geológicas conhecidas até à data. Deram uma visão global dos diferentes conjuntos rochosos em que o país assentava. Esta carta nunca foi impressa, mas serviu de base para a “Carte Géologique de l’Espagne et du Portugal” na escala 1/500000, da autoria de Verneuil e Collomb.

Com a criação, em 1857, da Comissão Geológica do Reino, foi possível desenvolver um trabalho de alta qualidade, para a altura. Foi desenvolvida a primeira carta geológica portuguesa, datada de 1876, levantada na escala 1/500000 (Figura 3.3).

Em 1935 publicou-se a primeira carta geológica à escala 1/50000 (Folha 34C Cascais), baseada em levantamento geológicos à escala de 1/20000.

Em 1951 têm início os levantamentos sistemáticos da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50000, baseados em levantamentos executados sobre a Carta Militar de Portugal na escala 1/25000. Este projeto foi alargado para os arquipélagos dos Açores e Madeira.

Para colmatar a falta de uma carta geral do país foi publicada, em 1952, a Carta Geológica de Portugal na escala 1/100000. Embora com poucos pormenores, teve uma grande procura na área do ensino [11].

Portugal continental tem 75% do território cartografado à escala 1/50000. O território insular tem uma cobertura de 100% de cartografia geológica nas escalas 1/25000 e 1/50000.

A autoridade nacional que produz a cartografia geológica é, atualmente, o Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG. Toda a cartografia geológica produzida pelos mesmos encontra-se em formato *ArcGis* e *CAD*.



Figura 3.3 – Primeira Carta Geológica Portuguesa, escala 1/500000, 1876 [11]

3.5. Prospeção Mineira

A prospeção mineira visa a descoberta e valorização de depósitos minerais (metálicos, não metálicos e energéticos). É desenvolvida em formações geológicas propícias à ocorrência dos minerais que são procurados sendo desenvolvida com o objetivo de determinar a extensão, geometria e teor dos minerais alvo [15].

Uma vez que não existe garantia que a zona prospectada seja economicamente viável, é necessário que a prospeção seja feita pelo menor custo possível.

As técnicas a incluir na metodologia da prospeção mineira, de um modo geral, são:

1. Técnicas de Detecção Remota e Análise Distanciada;
2. Cartografia Geológica Mineira;
3. Amostragem de Sedimentos de linhas de água, solos e rochas, para estudos geoquímicos e mineralógicos;
4. Técnicas de Prospeção Geofísica gravimétricas, sísmicas, elétricas e eletromagnéticas;
5. Realização de sondagens e abertura de trincheiras e poços.

3.6. Interpretação Fotogeológica

A interpretação geológica de imagens provenientes de satélites e avião tem vindo a ser aplicada em diversos campos científicos e técnicos. Consiste na identificação das diversas estruturas geológicas expostas nas imagens. Acompanha todas as fases de mapeamento e quase todas as feições observadas nas imagens têm correspondência em afloramentos. A interpretação tem de ser fidedigna sem influências externas provenientes de modelos preconcebidos. É importante considerar a geometria, aspetos espectrais e radiométricos para uma perfeita interpretação [16].

A organização de bandas espectrais (intervalo de comprimento de onda) denomina-se por espectro eletromagnético.

Na Detecção Remota utiliza-se essencialmente a banda do espectro visível compreendida entre 0.4 e 0.7 μm ., infravermelho próximo 0.7 e 1.3 μm ., infravermelho médio 1.3 e 8 μm ., infravermelho térmico 8 e 14 μm e micro-ondas superiores a 1mm (Figura 3.4).

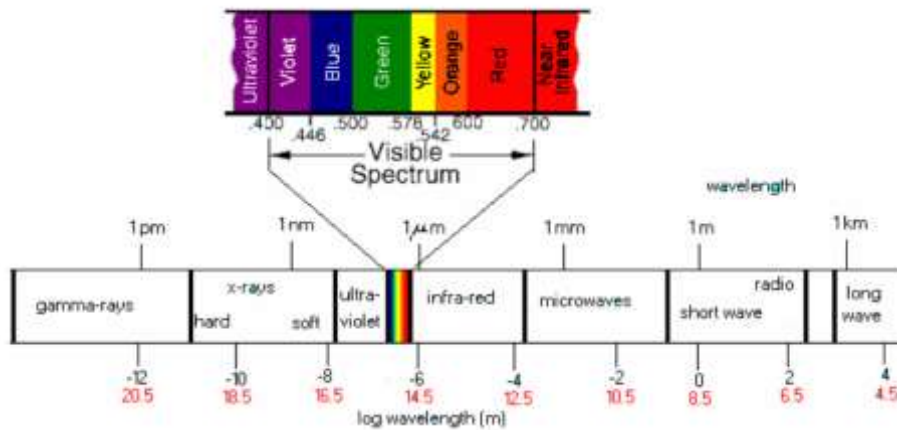


Figura 3.4 – Banda do espectro visível [16]

3.7. Análise Estrutural

A utilização de técnicas de deteção remota e análise distanciada permite uma primeira abordagem à caracterização de uma dada região. A fotogeologia permite a observação macroscópica que proporciona a aquisição de informação sobre atitudes de camadas, discordâncias, ordem e grau das estruturas, contactos, estruturas dobradas, estruturas circulares, fraturas, falhas, zonas de cisalhamento, sinclinais e anticlinais [13].

3.7.1. Atitude das Camadas Geológicas

A atitude das camadas está diretamente relacionada com a direção e mergulho. Distinguem-se em horizontais, inclinadas e dobradas.

As camadas horizontais, como exemplifica a Figura 3.5, sobrepõem-se umas às outras com o passar do tempo mantendo-se paralelas. Por serem horizontais acompanham ou são paralelas a curvas de nível.



Figura 3.5 – Camadas Horizontais A e B [13]

As camadas inclinadas têm como característica principal a assimetria do relevo (Figura 3.6). Os movimentos das placas tectônicas são os principais responsáveis por este acontecimento pois a quando da formação da camada, a mesma encontra-se na horizontal e só posteriormente inclina – Princípio da horizontalidade original.

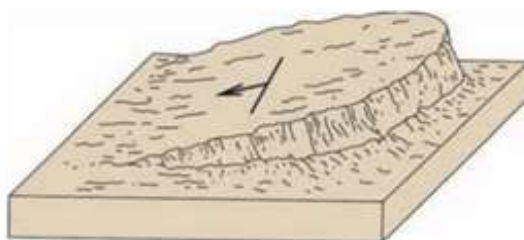


Figura 3.6 – Assimetria do relevo das camadas horizontais [13]

As camadas dobradas, normalmente associadas a falhas, podem ser formadas pela repetição de camadas com mergulhos opostos (Figura 3.7). Este tipo de dobras é perceptível nas fotografias aéreas pela diferença de áreas aflorantes dos dois flancos. No caso de dobras isoclinais é o “nariz” da dobra que pode indicar a sua natureza. Estas estruturas são difíceis de evidenciar nas fotografias aéreas [13].

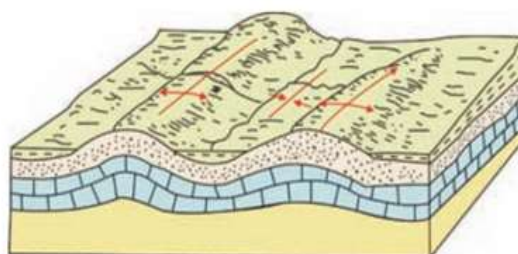


Figura 3.7 – Camadas dobradas e forças que atuam nas mesmas [13]

3.7.2. Discordâncias

A discordância existente entre duas formações distintas não é fácil de identificar em fotogeologia. Está caracterizada pela presença de uma sequência litológica discordante sobre outra, diferença de mergulho entre duas formações litológicas ou convergência da direção das camadas de duas formações.

É importante não confundir discordância com dobra ou falha. A dúvida em relação à dobra, por exemplo, requer uma comprovação de campo, para saber se as camadas situadas em ambos os lados da discordância pertencem ou não à mesma formação. A Figura 3.8 exemplifica bem a dúvida. A similaridade fotogeológica entre as camadas 1 e 2, com a 4 e 5 respectivamente, pode deixar transparecer uma dobra quando se trata de uma discordância.

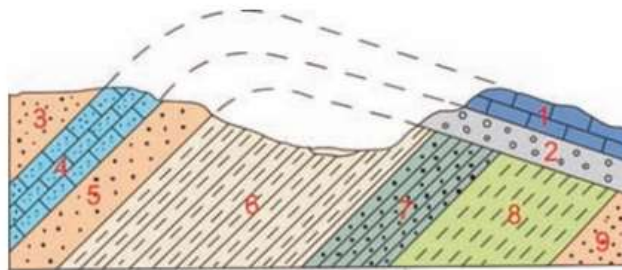


Figura 3.8 – Diferenciação de dobra e falha [13]

3.7.3. Ordem e Grau das Estruturas

Entende-se por estrutura, um conjunto ordenado de elementos texturais e/ou estruturais, no qual se englobam as drenagens, relevos e lineações. Estas estruturas podem ser analisadas segundo a sua ordem e grau.

A ordem qualifica a complexidade da organização dos elementos. Tem-se uma estrutura de primeira ordem quando apenas uma lei define o padrão de ordenamento, de segunda ordem quando há duas leis e assim sucessivamente.

O grau refere-se à regularidade da organização dos elementos texturais e/ou estruturais. Considera-se fortemente estruturada no caso de disposição regular. Por sua vez, a estrutura é apenas francamente estruturada quando os elementos estão mal definidos [13].

3.7.4. Contatos Geológicos

Zonas homólogas de relevo são áreas formadas pela repetição dos mesmos elementos texturais e mesma estrutura. Com a fotointerpretação, as zonas da imagem onde diferem as texturas são separadas por limites definidos. O limite dessas estruturas pode coincidir com uma lineação positiva, negativa ou quebra de relevo.

Quando um limite coincide com uma forma linear estruturada, tem-se um limite definido conforme a Figura 3.9, zona A. Quando as propriedades de uma zona são substituídas progressivamente pelas de outra, o limite é progressivo (Figura 3.9, zona B). O limite envoltório (Figura 3.9, zona C), quando separamos dois conjuntos de propriedades texturais, sem que estas propriedades estejam bem delineadas na zona de contato [13].

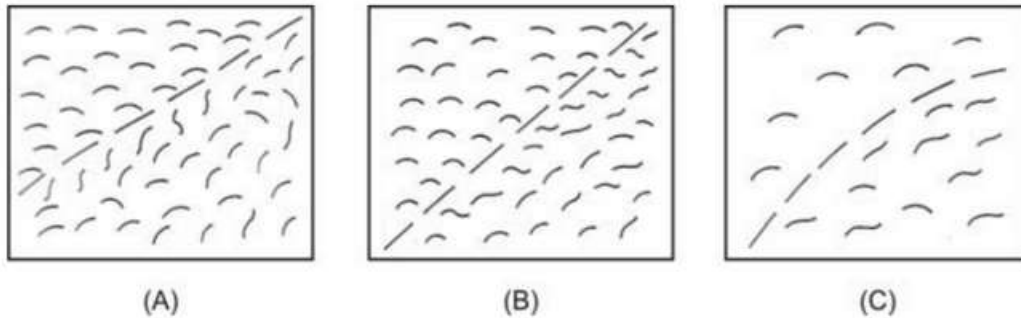


Figura 3.9 – (A) Limite conforme, (B) Limite progressivo, (C) Limite envoltório [13]

3.7.5. Estruturas Circulares

As estruturas circulares podem apresentar-se com ou sem aspecto topográfico ou assinaladas pela rede de drenagem. As que não possuem relevo são realçadas por apenas pelas lineações concêntricas, indicando dobras ou intrusões.

Em rochas graníticas pouco deformadas, os lineamentos mostram-se espaçadas e descontínuas, enquanto, por exemplo, nos migmatitos, existe uma certa continuidade e espaçamento menor. A Figura 3.10 demonstra dois exemplos de estruturas circulares. Em A estruturas circulares interrelacionadas, em B estrutura circular composta por um núcleo homogêneo [13].

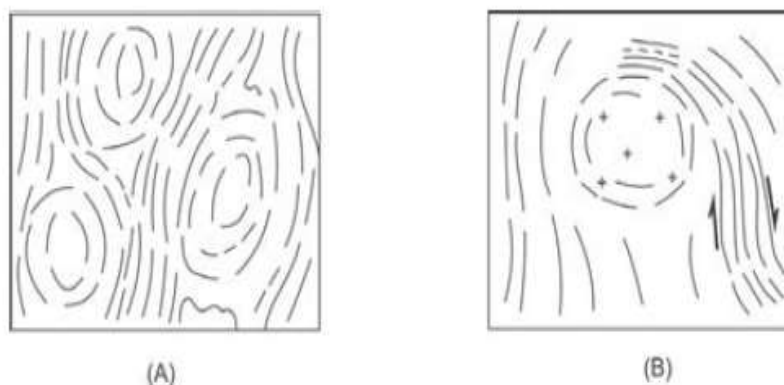


Figura 3.10 – Estruturas Circulares (A) Interrelacionadas, (B) Composta por núcleo homogêneo [13]

3.7.6. Fraturas

As fraturas são superfícies que dividem rochas ao longo dos quais não houve deslocamento das paredes rochosas. Têm tendência a ocorrer com maior abundância em rochas como arenitos, quartzos, granitos.

Alguns dos critérios para o reconhecimento de fraturas em fotogeologia são:

- Rios alinhados;
- Vegetação alinhadas;
- Angularidade no padrão de drenagem;
- Rio com traçado reto em certos locais;
- (...)

A análise de fraturas tem por objetivo estudar os aspectos tectônicos da região e caracterizar o grau de ruptilidade das rochas [13].

3.7.7. Falhas

As falhas são fraturas ao longo das quais existem deslocamentos mensuráveis a olho nu [4], observados principalmente quando existe um nível guia deslocado como está representado na parte A da Figura 3.11.

Considera-se uma zona de falha uma área linear que contém muitas falhas paralelas (Figura 3.11, parte B). Uma zona de cisalhamento dúctil, como representado na parte C da Figura 3.11, é uma região linear na qual as rochas foram submetidas a fortes forças, não ocorrendo a quebra das rochas [13].

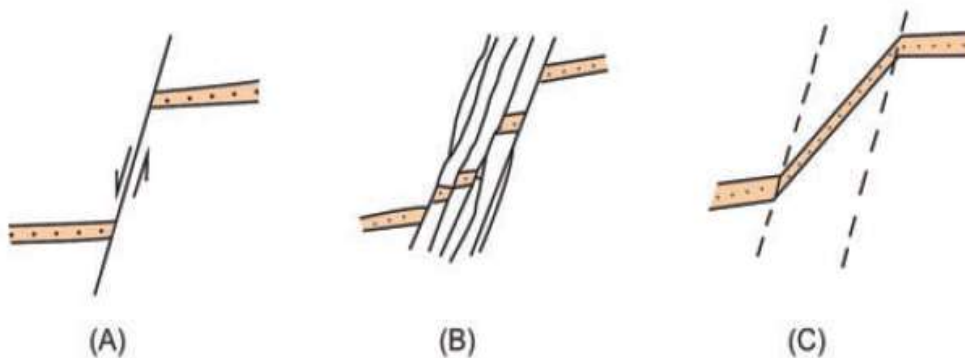


Figura 3.11 – (A) Falha com nível guia deslocado, (B) Zona de falhas, (C) Zona cisalhamento dúctil [13]

Os principais critérios para interpretação de falhas nos sensores remotos são:

- Deslocação de marcadores ao longo da falha;
- Súbita interrupção da camada;
- Deslocamento de fraturas ao longo de um lineamento;
- Contato brusco, linear e anormal entre rochas distintas;
- (...)

3.7.8. Cisalhamento

Zonas de cisalhamento são zonas de grande deformação não coaxial com intrusão de outras rochas com infinidade e planos. Geralmente, apresentam faixas lineares com larguras que podem atingir quilómetros. Uma grande quantidade de lineações, contidas numa faixa linear é uma possível característica de uma zona de cisalhamento como mostra a Figura 3.12, parte A. Outras zonas de cisalhamento contêm núcleos de granito como exemplifica a parte B da Figura 3.12 e ainda há zonas que apenas contêm lineações descontínuas presentes na parte C da Figura 3.12.

Podem ainda ser detetadas nas fotografias aéreas, dobras, corpos rochosos deformados e rodados específicos destas zonas.

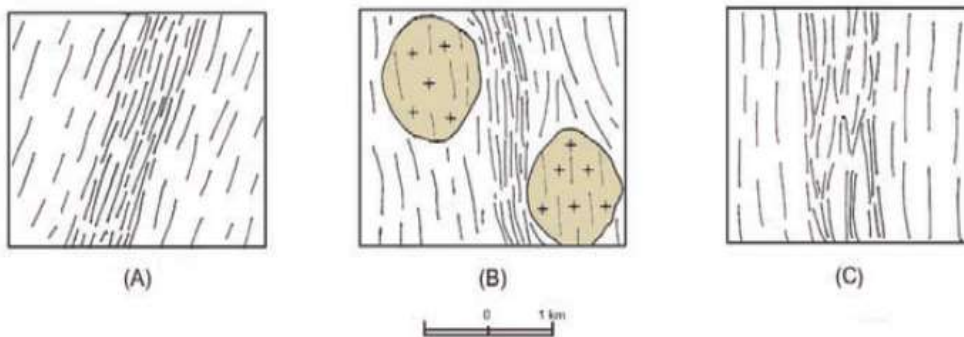


Figura 3.12 – Zona de cisalhamento, (A) Lineações contidas numa faixa linear, (B) núcleo de granito, (C) Lineações descontínuas [13]

3.8. Fotointerpretação Aplicada à Geologia Económica

A interpretação fotogeológica pode auxiliar na seleção de áreas para prospeção mineira.

Uma fotointerpretação preliminar pode fornecer dados sobre determinada mineralização. O estudo da correlação entre as mineralizações conhecidas com os respetivos ambientes geológicos pode indicar as áreas para investigação detalhada.

Um jazigo mineral não deve ser tratado como um fenómeno isolado pois as mineralizações surgem associadas diretamente à geologia. Deve-se, então, definir os controlos litológicos e/ou estruturais das mineralizações, como reconhecer a relação no tempo e no espaço com o desenvolvimento orogénico.

As feições geológicas relacionadas com as mineralizações que podem ser reconhecidas na fotogeologia tais como falhas, dobras, cisalhamentos, discordâncias, entre outros, que poderiam ser difíceis ou impossíveis de observar em campo. Como exemplo um jazigo de pegmatitos ou quartzo tem a presença de feições lineares, falhas e fraturação que controlam a mineralização. Podem igualmente condicionar a drenagem [16].

Capítulo 4 – Processos e Softwares Utilizados

4.1. Agisoft PhotoScan®

O *Agisoft PhotoScan®* é um *software* de modelação 3D que visa criar mosaicos de alto nível com base em fotografias obtidas por processos de Detecção Remota ou Fotogrametria. Opera com fotografias arbitrárias sendo bastante eficiente na obtenção de mosaicos tanto no caso em que as mesmas foram captadas em condições controladas como em condições não controladas. A eficiência deve-se ao facto da obtenção do mosaico e extração do MDT serem obtidos de modo quase automático. As imagens podem ser captadas a partir de qualquer posição, desde que o objeto a ser reconstruído seja visível em pelo menos duas delas. Para a obtenção de mosaicos as fotografias devem ter pelo menos 60% de sobreposição para maximizar os resultados do *software*. Tanto o alinhamento das imagens como o modelo de reconstrução 3D são automatizados.

Cuidados a ter na obtenção das fotografias

Antes de carregar as fotografias no *Agisoft PhotoScan®*, há alguns cuidados a ter com as mesmas. As fotografias podem ser obtidas por qualquer câmara digital padrão, desde que sigam algumas diretrizes. A câmara digital deve ter uma resolução razoável, mínimo 5Mpix, evitar objetos brilhantes e transparentes, captar o conteúdo do local de vários pontos de vista (três ou mais), fotografias com no mínimo 60% de sobreposição e sempre com a mesma orientação (Figura 4.1) [17].

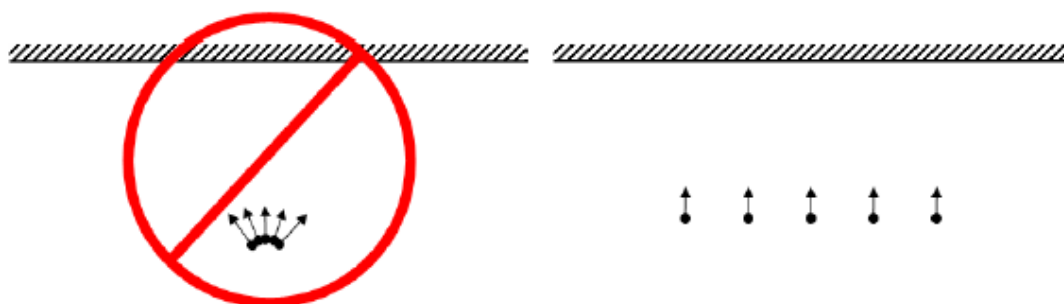


Figura 4.1 – Captura das Fotografias [17]

O procedimento de processamento de fotografias e modelo de construção 3D compreende três etapas:

1. Alinhamento das fotografias;
2. Construção da nuvem de pontos densa;
3. Construção da malha poligonal.

1- Alinhamento das fotografias

Uma vez carregadas no *software*, as fotografias necessitam de ser alinhadas. Nesta fase, o *Agisoft PhotoScan®* procura pontos em comum sobre as fotografias e combina-os. Para que esta operação seja possível, é necessário fornecer as coordenadas aproximadas do centro das fotografias e deve ser definido o sistema de coordenadas a ser utilizado. Tendo fornecido estes parâmetros, são detetadas as posições da câmara para cada fotografia e construído um modelo de nuvem de pontos. Concluído o processo de alinhamento, a posição e os parâmetros de calibração da câmara são calculados e uma nuvem de pontos esparsos será exibida.

Embora o alinhamento seja automático, os parâmetros de alinhamento (exatidão e par de pré-seleção) são definidos pelo utilizador. Quanto à exatidão do alinhamento, esta pode ser definida como alta, média ou baixa. Definindo-se como alta, o programa obtém a posição da câmara com maior precisão. O processo de alinhamento de grandes conjuntos de fotografias pode levar bastante tempo, sendo que uma parte significativa deste tempo é utilizada na correspondência das zonas sobreposição das fotografias. Definindo-se o par de pré-seleção, o processo pode ser acelerado devido à seleção de um subconjunto de pares de imagens a ser correspondido. As opções possíveis na pré-seleção do par são *generic* e *ground control*. Também se tem a hipótese de manter inativa esta opção. Se for selecionada a opção *generic*, os pares sobrepostos de fotografias são selecionados por fotografias correspondentes, utilizando menor precisão. No modo *ground control* os pares sobrepostos de fotografias são selecionados baseando-se sobre as localizações das câmaras [17].

2- Construção da nuvem de pontos densa

Após ter sido feito o devido alinhamento das fotografias, passa-se para a construção da nuvem de pontos densa. Uma nuvem de pontos densa corresponde às posições 3D que podem ser consideradas uma amostra da superfície. A construção de um modelo 3D é uma operação intensiva e de longa duração. Recomenda-se construir um modelo de menor qualidade para estimar a aplicabilidade do método escolhido e, em seguida, para recalcular os resultados utilizar uma configuração de maior qualidade. Para que o *Agisoft PhotoScan®* construa a nuvem de pontos, o utilizador apenas necessita de definir a qualidade da nuvem (*ultra high, high, medium, low, lowest*) e o tipo de filtro a utilizar (*mild, moderate* ou *agressive*). Para optimização de resultados, para qualquer tipo de processamento, deve-se escolher a opção *ultra high* com um filtro *agressive* [17].

3- Construção da malha poligonal

Após construída a nuvem de pontos densa, é possível gerar um modelo de malha poligonal com base nos dados da mesma. O *Agisoft PhotoScan®* gera essa malha sendo apenas necessária a definição de três parâmetros da mesma. Esses três parâmetros consistem no tipo de superfície, dados de origem e contagem de polígonos. Quanto ao tipo de superfície pode-se escolher entre *arbitrary* e *height field*. O tipo *arbitrary* pode ser usado para a modelagem de qualquer tipo de objeto, sendo aconselhado para objetos fechados tal como estátuas, edifícios, etc. Por sua vez, o *height field* é otimizado para a modelagem de superfícies planas como terrenos de baixo relevo. Deve ser seleccionado para processamento de fotografia aérea pois requer menor quantidade de memória. Para os dados de origem têm-se as opções das nuvens de pontos esparsos ou densa, sendo que a nuvem de pontos densa, como tem uma quantidade bastante superior de pontos, deve ser a utilizada para se obter um resultado mais fiável. Em relação à contagem de polígonos pode-se escolher entre *high*, *medium* e *low*. Sendo de referir que quantos mais polígonos, maior será a precisão do resultado [17].

4.2. Quantum Gis

O *Quantum Gis® (QGIS)* é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto licenciado segundo a licença pública geral GNU (GPL). É um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)*. Funciona em Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android, disponibilizando um vasto conjunto de funcionalidades e suporta inúmeros formatos de vetores, rasters, bases de dados e geo-serviços. Com interface simples e atraente, é escrito em C++ e Python, sendo baseado nas bibliotecas Qt4.

O *QGIS* fornece um número continuamente crescente de recursos fornecidos por funções e plugins. Permite a visualização, geração, edição e análise de dados e, caso necessário, gerar mapas para impressão [18].

O projeto *QGIS* teve início em fevereiro de 2002 sendo lançada a primeira versão no mês de junho desse mesmo ano. A quando da sua criação, tinha como objetivo criar um visualizador gratuito para base de dados geográfica PostGIS que funcionasse em Linux. Com o tempo passou a funcionar em todas as versões do Unix, Linux, Mac OsX e MS Windows [19].

O facto de possuir uma interface gráfica baseada nas bibliotecas Qt4, bastante moderna e intuitiva, faz do *QGIS* um *software* simples e intuitivo, sendo todas as funções claramente separadas.

Possui uma barra de menu que permite o acesso às funções de *QGIS* de modo mais rápido, com ícones que aparecem na barra de ferramentas, totalmente configurável conforme as preferências do utilizador. A representação do mapa é fundamental no *QGIS*, sobre o qual é possível executar as operações necessárias ao mesmo, desde a georreferenciação, a inserção de legenda, construção de mosaicos, etc.

4.2.1. Caraterísticas do QGIS®

O *software* possui um grande e crescente número de funções:

- Visualização e reprojeção “*on the fly*” de camadas vetórias e raster em diferentes formatos. Esta reprojeção permite a mudança de datum a ser utilizado tal como as transformações referentes ao mesmo;
- Exploração interativa de dados, identificando seleção de geometrias, pesquisa, seleção por atributos, etiquetas, criação de simbologia, etc;
- Uma forma mais fácil e eficaz de fazer *joins* entre tabelas;
- Composição de *layouts* de impressão, com mapa, legenda, barra de escala, grelhas de referência, texto e tabelas de atributos.
- Criação, gestão e edição de camadas vetoriais e *raster*.
- Geoprocessamento das camadas incluindo *overlay*, *clip*, *buffer*, amostragem, interpolação, análise de parâmetros morfológicos, etc.

O QGIS foi projetado de maneira a aguentar novas extensões/*plugins* que otimizam o *software*, de forma às novas funcionalidades criadas poderem ser facilmente adicionadas ao mesmo. Os *plugins* essenciais são o que integra as funções do SIG GRASS, o georreferenciador *raster*, a ferramenta para a gestão de unidades GPS, editor de mapas *OpenStreetMap* e “eVis” ferramenta para associar imagens a dados vetoriais [19].

4.3. Spring®

O *software* *Spring*® (Sistema para Processamento de Informação Georreferenciada) é um banco de dados geográfico, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para ambientes *UNIX* e *Windows*.

Tem como principais caraterísticas:

- Operar como um banco de dados geográficos mantendo a identidade dos objetos geográficos;
- Administrar tanto dados vetoriais como dados matriciais (imagens *raster*) realizando a integração dos dados de deteção remota em SIG;
- Combinar menus e janelas com linguagem espacial facilmente programável pelo utilizador;
- Operar em distintos ambientes quer sejam microcomputadores, quer sejam supercomputadores de alto desempenho [20].

4.3.1. Objetivos principais

O software Spring® tem como objetivos:

- Construir um sistema de informações geográficas para aplicações em agricultura, floresta, geologia, entre outros.
- Fornecer um ambiente unificado de Geoprocessamento e Detecção Remota Remoto para aplicações urbanas e ambientais.
- Ser um mecanismo de difusão do conhecimento desenvolvido pelo INPE e seus parceiros, sob forma de novos algoritmos e metodologias [20].

Embora tenha muitas funcionalidades e potencialidades, para este trabalho, o Spring® apenas foi utilizado para a realização de realce e combinação de imagens, gerando-se imagens de falsa cor contrastadas, com o objetivo de evidenciar possíveis estruturas geológicas do terreno em estudo.

O realce de imagens tem por objetivo modificar, através de funções matemáticas, os níveis de cinza ou os valores digitais de uma imagem de modo a destacar certas informações da mesma.

Uma imagem em falsa cor (*false color*) é uma imagem que mostra um objeto ou sujeito com cores diferentes do que a visão humana mostraria. Uma imagem deste tipo é uma imagem de verdadeira cor (*true color*). Imagens em falsa cor são primariamente feitas para facilitar e revelar dados que não poderiam ser obtidos em comprimentos de onda para lá do visível. A aplicação de bandas a imagens que não pertencem às mesmas ou alterar o contraste das mesmas são exemplos de imagens de falsa cor.

A utilização do *Spring* neste trabalho foi, essencialmente, a geração de imagens de falsa cor e aplicação de contraste de imagem.

4.3.2. Contraste de Imagem

A técnica de contraste linear tem por objetivo melhorar a qualidade visual das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano. Aumenta a interpretação e a quantidade de informação. É normalmente utilizada como uma etapa de pré-processamento para sistemas de reconhecimento de padrões.

A manipulação de contraste consiste numa transferência radiométrica em cada *pixel* com o objetivo de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem. Realiza-se ponto a ponto, não dependendo dos valores da vizinhança. Na prática modifica a escala cinza de cada *pixel*.

Pode ser realizado recorrendo ao mapeamento das variações dentro do intervalo de tons de cinze [V_{\min} - V_{\max}] da imagem original para a variação máxima do dispositivo de visualização, normalmente variando entre 0 e 255. V_{\min} e V_{\max} são os valores de níveis de cinza mínimos e máximos, respetivamente, presentes na imagem original [20]. A função de transferência da imagem pode ser definida pela equação:

- $y = f(x)$

Sendo y o novo valor correspondente e x o nível original de cinza.

O Spring® disponibiliza os métodos de contraste linear, mínimo e máximo, raiz quadrada, logaritmo e negativo. Para este trabalho foi utilizado o contraste linear pois apresentou resultados bastante satisfatórios.

O histograma de uma imagem descreve a distribuição estatística dos níveis de cinza em termos do número de amostras com cada nível. Na Figura 4.2 exemplifica a variação do histograma da imagem original para a contrastada. A preto verifica-se o histograma da imagem original e aplicando-se o contraste linear, obtém-se a imagem com o histograma a rosa. Nas Figuras 4.3 e 4.4 verifica-se, respetivamente, a imagem original a imagem de falsa cor. Estas imagens são apenas uma ilustração de imagem de falsa cor.

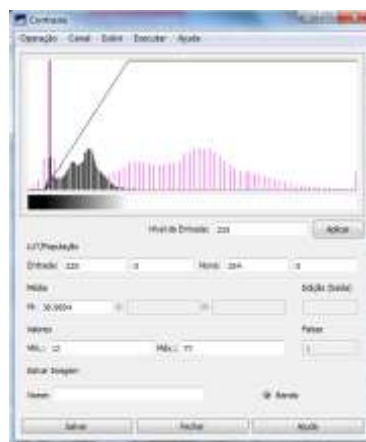


Figura 4.2 – Variação do histograma



Figura 4.3 – Imagem original



Figura 4.4 – Imagem de falsa cor

4.4. Processos Utilizados

Como referido anteriormente, este trabalho foi realizado com recurso a fotografias aéreas do voo USAF realizado entre 1958-1960, fornecidas pelo IGeoE. As áreas geográficas em estudo “Marrancos”, “Sepeda” e “Melgaço” estão evidenciadas na Figura 4.5 com marcadores locais. Da área de “Melgaço” foram requeridas catorze fotografias divididas em duas fiadas, de “Marrancos” vinte e três fotografias divididas em quatro fiadas e de “Sepeda” vinte e uma fotografias divididas em quatro fiadas.

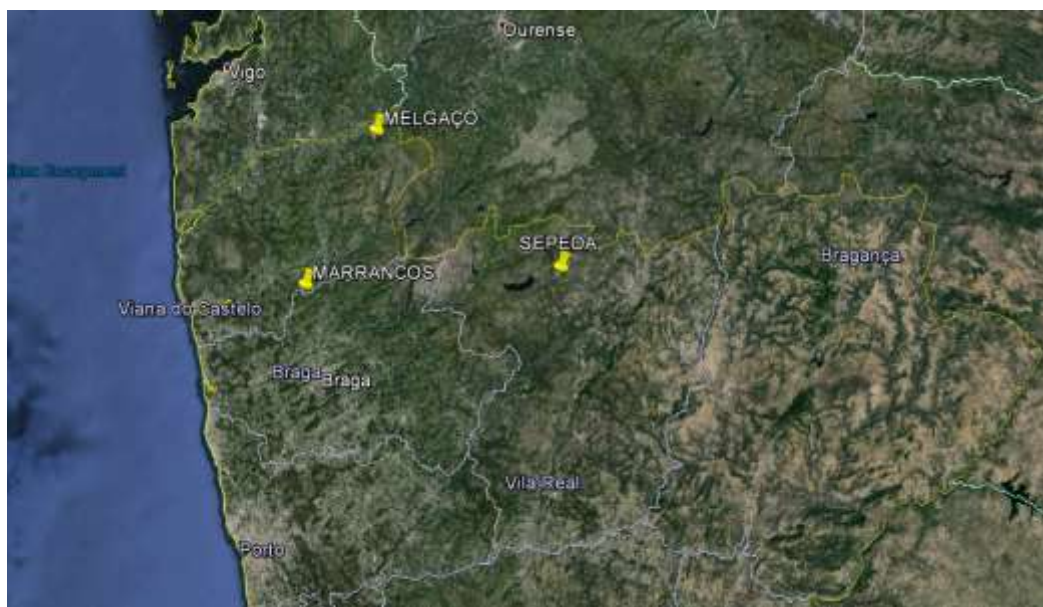


Figura 4.5 – Áreas geográficas em estudo evidenciadas

4.4.1. Conversão de Formato

As fotografias aéreas foram fornecidas digitalizadas, no formato “Tiff” que é um formato de arquivo *raster* para imagens digitais controlado pela Adobe® [22]. Este formato é usado em programas de manipulação de imagem como o Photoshop®. No entanto a manipulação e tratamento de imagens neste formato é geralmente exigente, a nível de *hardware*, pelo facto de ser “muito pesado”. Nestas fotografias, especificamente, o tamanho varia entre 300 e 400Megabytes, o que é revelador relativamente à exigência de *hardware* necessário. Também é necessário ter em conta que um dos passos pretendidos neste trabalho é a realização de mosaicos através do programa *Agisoft PhotoScan*® e a junção de fotografias com esse tamanho ia resultar num processo muito demorado inviável para o *hardware* utilizado neste trabalho.

Assim, foi necessário proceder à diminuição do tamanho das imagens. Para isso foi feita a conversão das fotografias para formato JPG® através do programa *Corel Photo-Paint X5*®. O formato JPG® é o formato de imagem mais comum usado para comprimir imagens fotográficas. O tamanho original pode ser ajustado, sendo possível uma compressão de tamanho sem perda significativa de qualidade de informação, se não existirem fortes contrastes entre *pixels* adjacentes [22]. Há outras formas de compressão sem perda, como por exemplo *winzip*, mas com taxas de

compressão muito menores. Tendo em conta que as fotografias utilizadas são a preto e branco e sem grandes contrastes, é possível a sua conversão sem perda de qualidade. Após a conversão, as fotografias passaram a ter cerca de um terço do tamanho das originais, em formato *Tiff*.

4.4.2. Localização das fotografias

Após conversão dos formatos das fotografias foi necessário proceder à sua localização, para desse modo extrair a latitude e longitude aproximada do centro. Uma vez que não se teve acesso às ortofotos georreferenciadas do país, foi necessário utilizar uma ferramenta de suporte alternativa – o *Google Earth®*.

Uma a uma, todas as fotografias foram carregadas no *Google Earth®* e com o controlo do operador, fez-se coincidir, de uma maneira aproximada, o centro das fotografias com o local geográfico real (Figura 4.6).

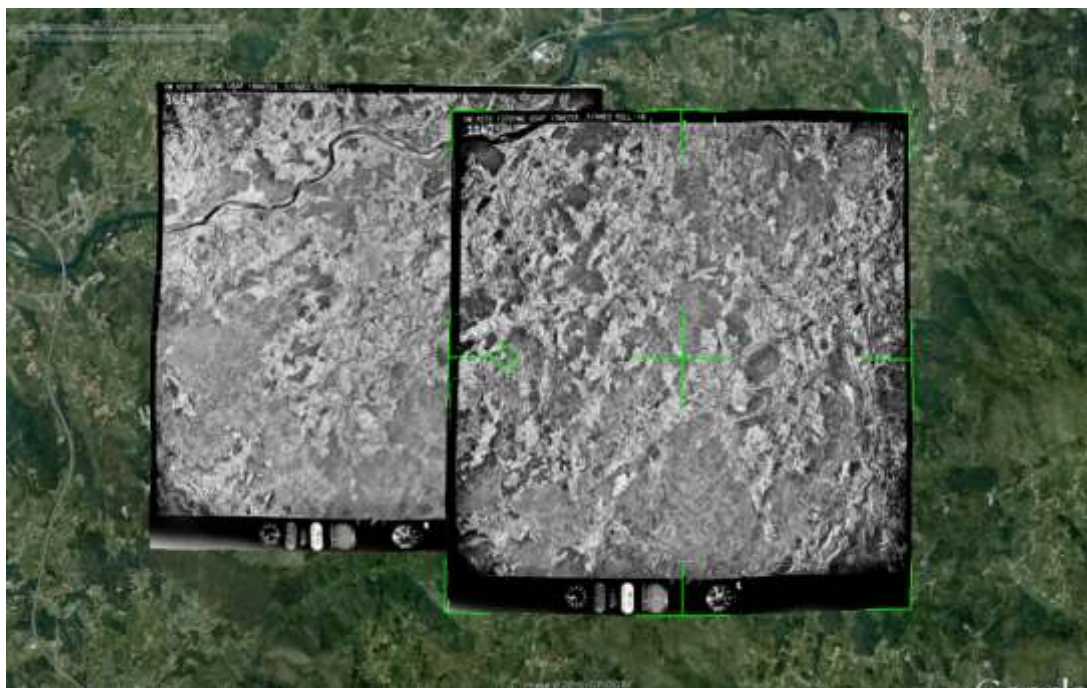


Figura 4.6 – Coincidir centro das fotografias aéreas com Google Earth®

Os valores obtidos foram registados nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 para as fotografias das áreas de “Marrancos”, “Melgaço” e “Sepeda”, respetivamente, encontrando-se também as coordenadas no Datum *WGS84* em graus decimais.

Tabela 4.1 – Coordenadas Centrais das fotografias de Marrancos, Datum WGS 84

Fotografia	Fiada	Longitude	Latitude
296	3	-8°.411078	41°.660590
297	3	-8°.410539	41°.685525
298	3	-8°.410389	41°.709557
299	3	-8°.410063	41°.734070
300	3	-8°.409623	41°.757999
1137	2	-8°.455715	41°.647535
1138	2	-8°.455715	41°.671176
1139	2	-8°.456124	41°.693725
1140	2	-8°.456349	41°.717300
1141	2	-8°.456478	41°.740830
1142	2	-8°.456249	41°.763680
1659	1	-8°.508831	41°.656176
1660	1	-8°.508455	41°.678960
1661	1	-8°.507679	41°.702664
1662	1	-8°.507066	41°.725180
1663	1	-8°.506333	41°.748016
1664	1	-8°.506077	41°.768614
8216	4	-8°.364270	41°.655570
8217	4	-8°.364166	41°.679800
8218	4	-8°.363986	41°.704864
8219	4	-8°.363544	41°.728107
8220	4	-8°.362472	41°.750944
8221	4	-8°.362255	41°.773143

Tabela 4.2 – Coordenadas Centrais das fotografias de Melgaço, Datum WGS 84

Fotografia	Fiada	Longitude	Latitude
10981	1	-8°.265072	42°.019014
10982	1	-8°.264123	42°.040276
10983	1	-8°.263975	42°.061521
10984	1	-8°.263350	42°.083557
10985	1	-8°.262843	42°.106952
10986	1	-8°.261365	42°.129887
10993	2	-8°.219704	42°.145612
10994	2	-8°.218111	42°.124497
10995	2	-8°.216117	42°.103828
10996	2	-8°.215376	42°.084465
10997	2	-8°.214952	42°.065711
10998	2	-8°.214473	42°.045908
10999	2	-8°.214156	42°.024940
11000	2	-8°.213174	42°.006239

Tabela 4.3 – Coordenadas Centrais das fotografias de Sepeda, Datum WGS 84

Fotografia	Fiada	Longitude	Latitude
4596	2	-7°.704624	41°.811834
4597	2	-7°.705412	41°.791804
4598	2	-7°.705178	41°.771095
4599	2	-7°.705352	41°.749990
4600	2	-7°.705650	41°.729550
7339	3	-7°.651395	41°.733719
7340	3	-7°.651410	41°.753309
7341	3	-7°.652616	41°.773911
7342	3	-7°.653255	41°.794284
7343	3	-7°.653901	41°.813783
9334	4	-7°.606609	41°.728077
9335	4	-7°.605860	41°.751470
9336	4	-7°.604525	41°.773371
9337	4	-7°.604920	41°.794001
9338	4	-7°.604781	41°.814084
11153	1	-7°.740071	41°.825256
11154	1	-7°.740234	41°.805081
11155	1	-7°.739945	41°.783560
11156	1	-7°.740637	41°.763501
11157	1	-7°.742063	41°.742063
11158	1	-7°.741012	41°.720121

Não obstante a utilização do *software*, é necessário ter em atenção o ano das fotografias do *Google Earth*® utilizadas.

Como exemplificam as Figuras 4.7, 4.8 e 4.9, o mesmo marcador aponta para locais diferentes conforme o ano da fotografia. Existe uma incongruência no que à precisão geográfica das imagens diz respeito. Devem ser utilizadas as do ano de 2006, que correspondem a fotografia aérea digital do voo IGP/DGRF 2004-2006. Embora a qualidade da imagem não seja a melhor, em termo de localização é a que mais se aproxima da realidade (apresenta maior precisão posicional). Recentemente, foram inseridas no *Google Earth*® fotografias aéreas de agosto de 2013 de muito boa resolução e qualidade posicional, ficando apenas por resolver o problema das cotas, que são de precisão não tão boa. No entanto ainda não estavam disponíveis na data da resolução do trabalho.

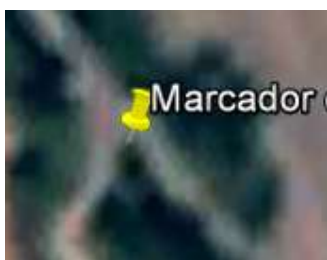


Figura 4.7 – Fotografia de 2006



Figura 4.8 – Fotografia de 2007



Figura 4.9 – Fotografia de 2012

4.4.3. Normalização do tamanho das fotografias

As fotografias aéreas, apesar de estarem em formato digital, não possuem qualquer georreferenciação, tabela de atributos, apenas sendo indicada a distância focal relativa à câmara que tirou cada uma das fotografias e a hora a que foi captada.

Pretende-se tratar estas fotografias com programas pensados para fotografias obtidas por câmaras digitais. Estas fotografias foram digitalizadas num *scanner*, não sendo possível garantir uma localização constante da imagem em relação ao sistema fotográfico da câmara. Assim é necessário fazer coincidir todas as fotografias de cada grupo entre si, tornando-as imagens com número constante de pixel e alinhadas de forma que o centro de projeção esteja sempre na mesma posição. Deste modo, é escolhida arbitrariamente uma das fotografias e feita a orientação das restantes em relação a essa. Esse processo é facilitado pela presença das marcas fiduciais presentes nas fotografias. Apesar de não conhecermos as coordenadas fotográficas das marcas, por não estar disponível um relatório de calibração, pelo menos sabemos que elas deverão estar na mesma posição em todas as fotografias.

No caso de Marrancos, as marcas fiduciais são pontos situados no centro de cada lado da fotografia (Figura 4.10). Por sua vez, em Melgaço e Sepeda as marcas fiduciais encontram-se no mesmo local mas são dois “quadrados” brancos unidos por um vértice (Figura 4.11), esse vértice é um possível local para fazer a georreferenciação relativa das fotografias. Está-se a designar este processo como uma georreferenciação porque usamos uma ferramenta SIG de georreferenciação, mas na verdade o processo é um registo geométrico.

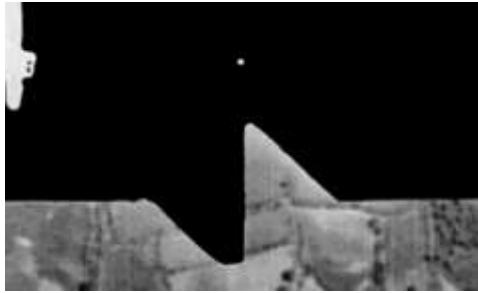


Figura 4.10 – Marca fiducial de Marrancos

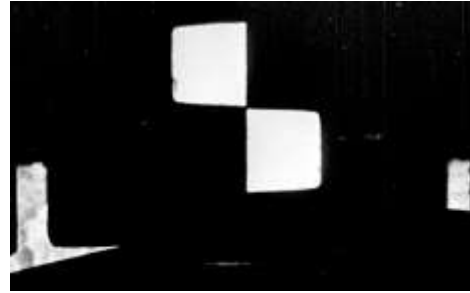


Figura 4.11 – Marca fiducial de Melgaço e Sepeda

A georreferenciação foi realizada através do software *Qgis*® que permite fazer a mesma fornecendo manualmente as coordenadas desejadas ou, como neste caso em específico, a partir da janela do mapa (Figura 4.12). Esta segunda opção efetua-se selecionando o ponto correspondente ao selecionado no mapa do ecrã *Qgis*®.



Figura 4.12 – Janela de georreferenciação do Qgis

Verifica-se que a orientação relativa das fotografias foi efetuada com sucesso se quando abertas no *Qgis*® as marcas fiduciais coincidirem na perfeição umas com as outras, havendo sobreposição total.

4.4.4. Equalizar tamanho e recortar as fotografias

Para que o *Agisoft PhotoScan*® aceite as fotografias e efetue o mosaico com sucesso, é necessário que todas as fotografias tenham o mesmo tamanho de *pixel* e cubram exatamente a mesma área. Estes dois parâmetros são indispensáveis, pois se algum não se verificar, o *software* não vai assumir que as fotografias correspondem ao mesmo voo e adota escalas diferentes de fotografia para fotografia o que ia causar erros grosseiros na execução do mesmo. Para que tal não se verificasse foi feito o recorte e equalização de tamanho. Existem várias maneiras para efetuar o recorte e igualar os valores dos pixels das fotografias. Dentre essas maneiras, a mais eficiente e rápida é através dos comandos da GDAL.

O valor do pixel foi igualado a 1 (Figura 4.13) através do comando 1:

- `gdalwarp -overwrite -s_srs "EPSG:4326" -t_srs "EPSG:4326" -r bilinear -of Gtiff -tr 1 1 nome_da_imagem.jpg novo_nome_imagem.tif (1)`

Este comando mantém o Datum utilizado, *WGS84*, cujo código EPSG é 4326 (poderia ficar sem sistema atribuído) e através de uma interpolação bilinear transforma a imagem escolhida que está no formato “JPG” para o formato “Tiff”. O valor do *pixel* é transformado em 1 através da expressão “-tr 1 1”. Verifica-se se a nova imagem foi transformada corretamente, através do comando 2:

- **gdalinfo novo_nome_imagem.tif (2)**

Verificando:

```
C:\Lusorecursos\IGEOE\1_Mel_jpg>gdalinfo 10982_geo11.tif
Driver: GTiff/GeoTIFF
Files: 10982_geo11.tif
Size is 11511, 11510
Coordinate System is:
GEOGCS["WGS 84",
  DATUM["WGS_1984",
    SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,
      AUTHORITY["EPSG","7030"]],
    AUTHORITY["EPSG","6326"]],
  PRIMEM["Greenwich",0],
  UNIT["meter",1],
  AUTHORITY["EPSG","4326"]]
Origin = (-84.045908808498098,55.422898316791354)
Pixel Size = (1.000000000000000,-1.000000000000000)
Metadata:
  AREA_OR_POINT=Area
Image Structure metadata:
  INTERLEAVE=PIXEL
Corner Coordinates:
Upper Left ( -84.0459088, 55.4228983)
Lower Left ( -84.046, -11454.577)
Upper Right ( 11426.954, 55.423)
Lower Right ( 11426.954, -11454.577)
Center ( 5671.454, -5699.577)
Band 1 Block=11511x1 Type=Byte, ColorInterp=Red
Band 2 Block=11511x1 Type=Byte, ColorInterp=Green
Band 3 Block=11511x1 Type=Byte, ColorInterp=Blue
```

Figura 4.13 – Verificação do tamanho do pixel

Uma vez equalizado o tamanho do *pixel* em todas as fotografias, pode-se passar para o recorte das mesmas. O recorte deve ser efetuado de igual maneira em todas as fotografias, ou seja, pelo mesmo valor de (X1, Y1), (X2, Y2). (X1, Y1) corresponde às coordenadas do canto superior esquerdo da fotografia e, por sua vez, (X2, Y2) corresponde ao canto inferior direito. Se o recorte for bem realizado, as fotografias, quando abertas no Qgis vão sobrepor-se totalmente umas às outras.

O comando GDAL utilizado para este processo:

- **gdal_translate -projwin X1 Y1 X2 Y2 -of Gtiff nome_imagem.tif nome_nova_imagem.tif (3)**

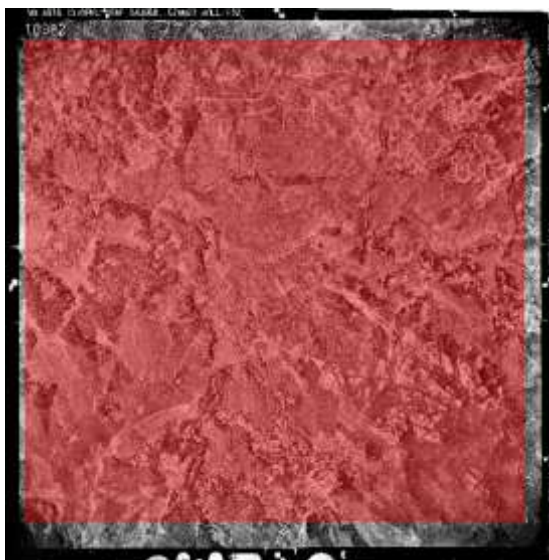


Figura 4.14 – Recorte da fotografia aérea

Na Figura 4.14 está exemplificada uma fotografia onde se verifica um quadrado vermelho que corresponde ao local por onde a mesma vai ser recortada. O recorte foi efetuado a olho. A principal razão do recorte, para além de todas as imagens ficarem com o mesmo tamanho, reside no fato que para a realização do mosaico, as bordas pretas das fotografias e o número da fotografia não devem aparecer tanto para minimizar erros, como também por uma questão de apresentação.

Uma vez concluídos estes processos, pode-se passar para o *Agisoft PhotoScan®* para a realização dos três mosaicos.

4.4.5. Construção dos Mosaicos

Como já foi referido, o objetivo foi criar mosaicos para três zonas distintas do norte de Portugal. As imagens ilustrativas deste capítulo dizem respeito ao mosaico da área de Melgaço.

4.4.5.1. Importação dos Dados

O primeiro passo a realizar no *Agisoft PhotoScan®* é importar as fotografias e um documento de texto no qual conste o nome das fotografias e as coordenadas da posição do avião no momento da captura das mesmas.

Nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 podem consulta-se a longitude e latitude das fotografias e, conseqüentemente, do avião no momento da captura. No entanto, é necessário calcular a altura do voo. Através da fórmula 1 é possível realizar o cálculo:

$$\bullet \text{ altura voo} = \text{distância focal} * \text{escala}^{-1} \quad (1)$$

Sendo a distância focal fornecida nas fotografias e a escala no site da IGeoE (neste caso 1/26000), é assim possível calcular a altura do voo. No entanto, aquando da realização dos mosaicos, não se reparou que a escala estava referenciada no site pelo que foi calculada.

A resolução da digitalização é de 21microns por pixel (corresponde a 1209dpi). Mediu-se no *Google Earth®* uma distância entre dois pontos (Figura 4.15) e a correspondente distância na imagem, em pixéis (Figura 4.16). Multiplicou-se pelos 0.021mm do pixel para ter o resultado em milímetros. O quociente entre as duas medidas resulta na escala aproximada da fotografia. Devido a erros de cálculos, a escala foi mal calculada só se tendo reparado nesse erro bastante posteriormente à realização dos mosaicos. Como foi detetado bastante tarde e não é crítico uma vez que apenas serve para dar uma aproximação inicial, optou-se por manter este valor. O único risco seria a aproximação inicial ser muito afastada mas tal não se sucedeu.



Figura 4.15 – Medição no *Google Earth®* em metros

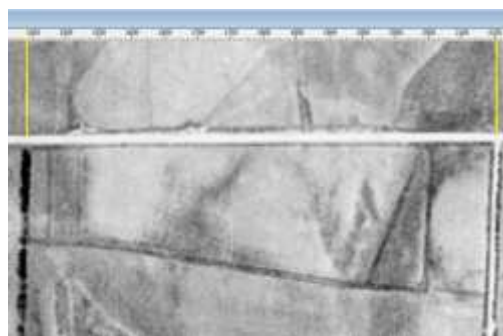


Figura 4.16 – Medição em pixéis

4.4.5.2. Alinhamentos das Fotografias

Uma vez importadas as fotografias e as coordenadas, deve definir-se o datum utilizado, neste caso *WGS84*, para facilitar o alinhamento das fotografias. Também se podia fornecer a distância focal da câmara, mas no entanto esta é calculada automaticamente pelo que não foi necessário. Para confirmar a não necessidade deste parâmetro, num teste feito à parte foi realizado um mosaico em que foi fornecido este parâmetro, em que se verificou a não alteração significativa dos resultados (menos de um metro), pelo que se optou por não fornecer estes dados. O processo de orientação das imagens em bloco faz o que se designa por uma “auto-calibração”, ou seja, os parâmetros da câmara vão também ser ajustados. Assim, o valor da distância focal fornecido será uma aproximação inicial que será sempre sujeita a correção para o valor ótimo. Esta “auto-calibração” funciona bem porque há muitos pontos de ligação e muitas sobreposições.

Na opção *Workflow* do *Agisoft PhotoScan®*, selecionou-se a opção *Align Photos* com os parâmetros representados na Figura 4.17.



Figura 4.17 – Opção *Align Photos* do Agisoft PhotoScan®

A opção *Ground Control* significa que na escolha de pares de imagens para a pesquisa dos pontos homólogos são consideradas em primeiro lugar fotografias com localização próxima. Isto é possível porque são conhecidas as coordenadas aproximadas dos centros de projeção. Fotografias muito separadas não deverão provavelmente ter pontos comuns.

Num caso geral em que a informação de localização das fotografias não é fornecida, todas são candidatas a ter pontos comuns com qualquer outra fotografia do projeto. Isto aumentaria muito o tempo de execução desta parte do processamento, pelo que houve vantagem em conhecer as coordenadas aproximadas dos centros de projeção.

Obteve-se um correto alinhamento das fotografias e a nuvem de pontos esparsa foi criada com sucesso (Figura 4.18). Verifica-se que a nuvem tem 60745 pontos. Tendo em conta que foram fornecidos vários parâmetros para otimizar o alinhamento, este processo é relativamente rápido não demorando mais de cinco minutos. Obviamente que também depende do número de fotografias que se quer alinhar e do tamanho das mesmas.

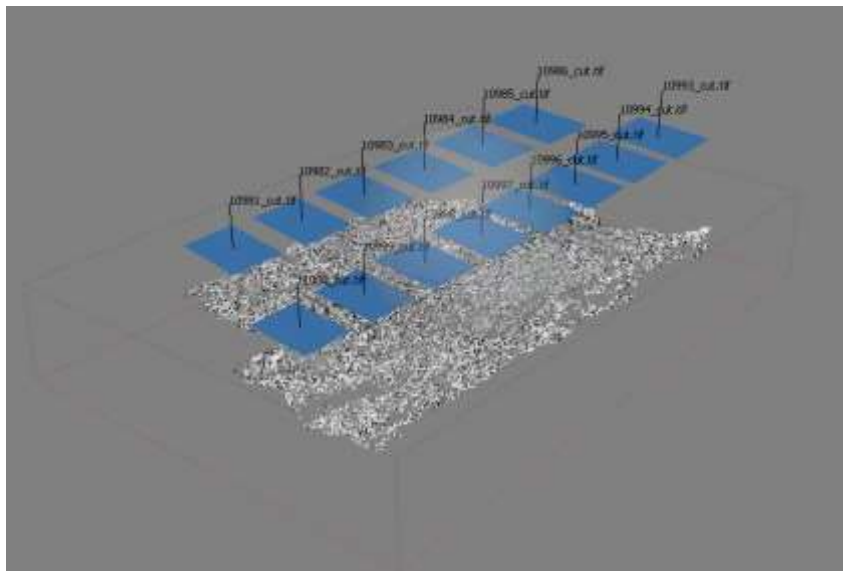


Figura 4.18 – Alinhamento das fotografias de Melgaço

A construção da nuvem de pontos densa é o passo seguinte a realizar uma vez que o alinhamento teve sucesso.

4.4.5.3. Construção da Nuvem de Pontos Densa

Este processo, embora automático, é bastante complexo e exigente do ponto de vista computacional, pelo que o mesmo é demorado. O tamanho da memória RAM do computador e o número de fotografias influencia o tempo do processo, mas independentemente desses pormenores, é o processo mais demorado da construção dos mosaicos.

Era possível escolher a qualidade da nuvem como *ultra high*, no entanto o computador onde foi realizado previa uma demora superior a doze horas para gerar a nuvem com essa definição, então foi escolhida a opção *high* que apresenta uma qualidade bastante aceitável e o tempo de execução é muito mais reduzido. No que diz respeito à profundidade do filtro, optou-se por *moderate* pois a geometria do terreno é complexa querendo-se detetar pequenos detalhes que poderiam desaparecer se o filtro da profundidade fosse maior (Figura 4.19).

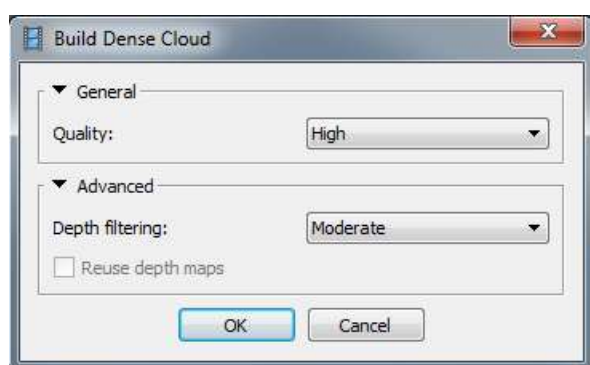


Figura 4.19 – Opção *Build Dense Cloud* do Agisoft PhotoScan®

Verificam-se 123500464 pontos na nuvem, o que é um aumento a considerar em relação à nuvem de pontos esparsa. Também se começa a denotar alguns dos pormenores do terreno presentes nas fotografias pelo que se pode concluir que foi realizada com sucesso (Figura 4.20).

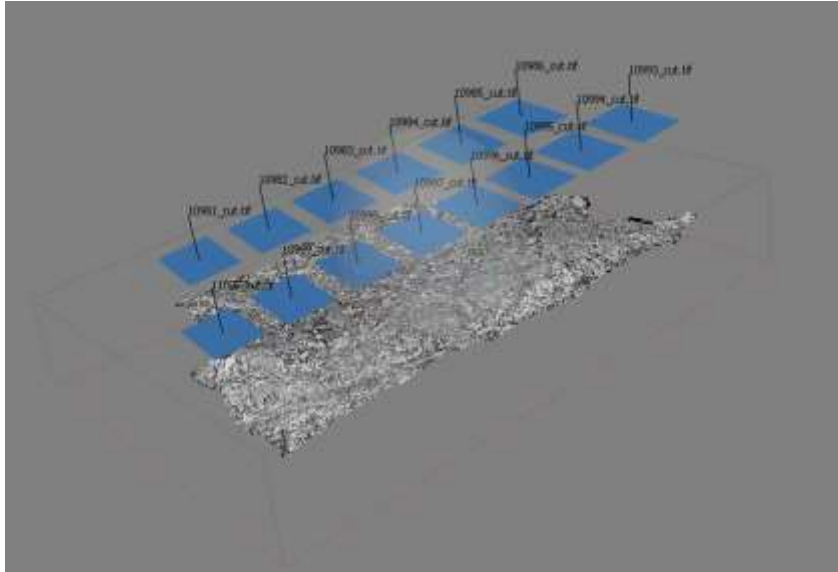


Figura 4.20 – Nuvem densa de pontos

4.4.5.4. Construção da Malha Triangular

O último passo para a construção do mosaico consiste na malha triangular. Tendo por base a nuvem de pontos densa pode-se passar para a construção dessa mesma malha. Os parâmetros definidos foram *height field* no que diz respeito ao tipo de superfície, nuvem de pontos densa no *source data* e definindo a contagem de polígonos com *high*. No que diz respeito à interpolação dos dados, optou-se pelo *extrapolated* (Figura 4.21).

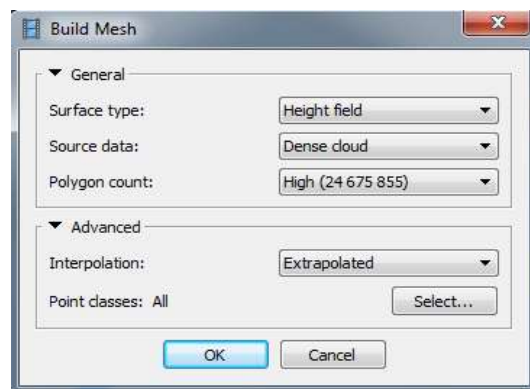


Figura 4.21 – Opção *Build Mesh* do Agisoft PhotoScan®

O *height field* foi escolhido pois é a opção mais viável para fotografias aéreas otimizando o modelo de superfície planar. Nuvem de pontos densa tem muitos mais pontos e pormenor que a nuvem esparsa pelo que foi a escolhida. A contagem de polígonos *high* especifica a contagem máxima de polígonos. Nas opções avançadas, e interpolação via *extrapolated* é própria para mosaicos com área elevada como é o caso deste trabalho.

Obteve-se um mosaico com todo o pormenor necessário e sem nenhuma falha detetável como representa a Figura 4.22.

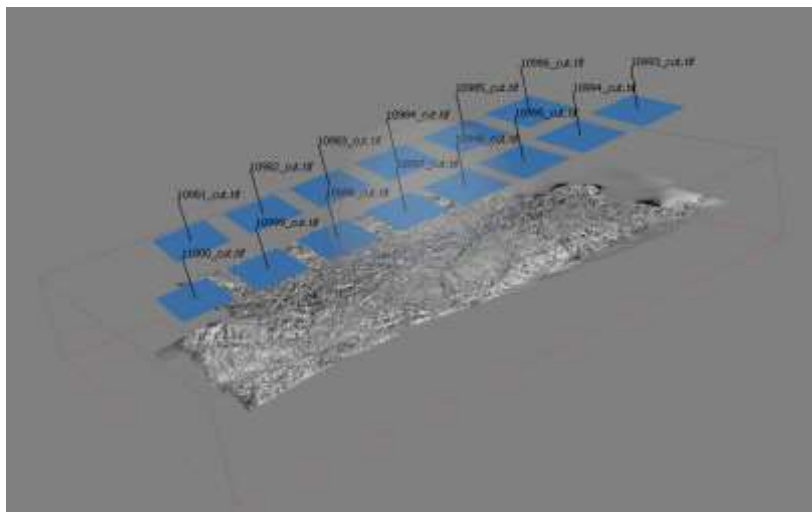


Figura 4.22 – Obtenção do mosaico com georreferenciação aproximada

Foram contadas 24620657 vértices e 12316384 faces, o que demonstra o tamanho elevado da área do mosaico.

Tendo o mosaico concluído, exporta-se o mesmo em formato *Google KMZ* para que seja possível abrir no *Google Earth®*. Após a exportação e abrir verifica-se, como seria de esperar, que o mosaico não se encontra no local correto. Este fenómeno acontece pois o mosaico extraído do *Agisoft PhotoScan®* é apenas uma aproximação. É necessário então fazer uma correta georreferenciação do mesmo.

4.4.5.5. Atribuição dos GCPs

Com recurso ao *Google Earth®* são identificados GCPs. A dificuldade em encontrar os GCPs é bastante elevada pois as fotografias são de 1958. Denotam-se várias alterações no terreno, onde havia campos agrícolas, agora há floresta. Muitos terrenos arditos, construção de casas e urbanizações, entre outros alteraram bastante a paisagem. No entanto foram marcados onze GCPs no mosaico de Melgaço (Figura 4.23) cujos erros aparecem evidenciados na tabela 4. Após a inserção dos pontos no projeto eles terão de ser fornecidos em todas as imagens em que aparecem. Depois da otimização do ajuste é que surgem os resíduos dos GCPs.

Sendo os GCPs retirados do *Google Earth®*, são esperados alguns erros nas coordenadas dos mesmos, com principal destaque para as cotas uma vez que as coordenadas do mesmo não são as verdadeiras. Tendo em conta que os mosaicos têm como objetivo a descoberta de possíveis locais para prospeção mineira, erros de poucos metros são mais que aceitáveis a quando da realização do mesmo.

Tendo localizado os GCPs, elaborou-se uma tabela no bloco de notas com as coordenadas do mesmo para ser exportada para o *Agisoft PhotoScan®*. Ao exportar a mesma para o software, volta-se a gerar o mosaico em formato *KMZ*. Com a

introdução dos GCPs é esperado que o mosaico aproximado se converta para um mosaico bem georreferenciado. Esperam-se erros na cota superiores aos planimétricos devido às cotas que o *Google Earth®* apresenta. Exporta-se também o *DEM* do mosaico pois o interesse do estudo é essencialmente feito através desse modelo.

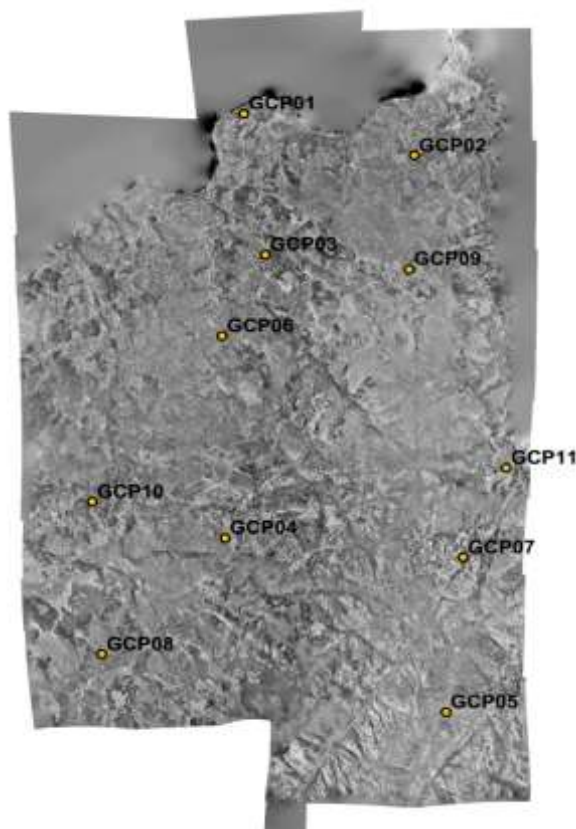


Figura 4.23 – Atribuição dos GCPs no mosaico

Tabela 4.4 – Erros dos GCPs de Melgaço

GCP	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro (pix)
01	5.267	-0.429	4.877	0.550
02	-1.884	-3.489	-5.048	2.472
03	2.325	-0.079	9.962	2.322
04	-6.843	5.037	-20.833	0.509
05	10.522	1.628	-13.290	0.405
06	4.430	3.229	1.167	0.425
07	-1.978	0.827	-6.564	0.486
08	2.107	-7.929	10.415	0.488
09	0.951	-0.571	-23.990	0.561
10	0.746	1.487	-2.214	0.798
11	-4.728	1.701	11.545	0.576
RMSE	4.729	3.300	12.157	1.363

Tendo em conta que são três grupos de fotografias, seria de esperar a realização de três mosaicos. No entanto, foram realizados seis grupos de mosaicos, um para a zona de Melgaço, dois para a zona de Sepeda e três para a zona de Marrancos. Sepeda foi dividida em dois pares de duas fiadas, ou seja, um mosaico para as duas primeiras fiadas e outro para as duas últimas. Marrancos realizou-se um mosaico para as duas primeiras fiadas, um segundo para a terceira fiada e um terceiro mosaico para a última fiada.

A razão para ser necessário dividir a zona de Sepeda e Marrancos em dois e três grupos reside no fato das fiadas terem sido realizadas em voos diferentes. Reparou-se nesse pormenor analisando a distância focal da câmara do voo. Sendo a distância focal diferente, o *PhotoScan Agisoft®* assume que são voos diferentes e não faz a junção das fotografias. Para contornar este problema, realizaram-se os mosaicos separadamente. Para análise dos mesmos ao importar para o *Google Earth®* (Figuras 4.24 e 4.25) a sobreposição dos mosaicos realizados separadamente ocorrem com sucesso, apenas com um pequeno erro associado.

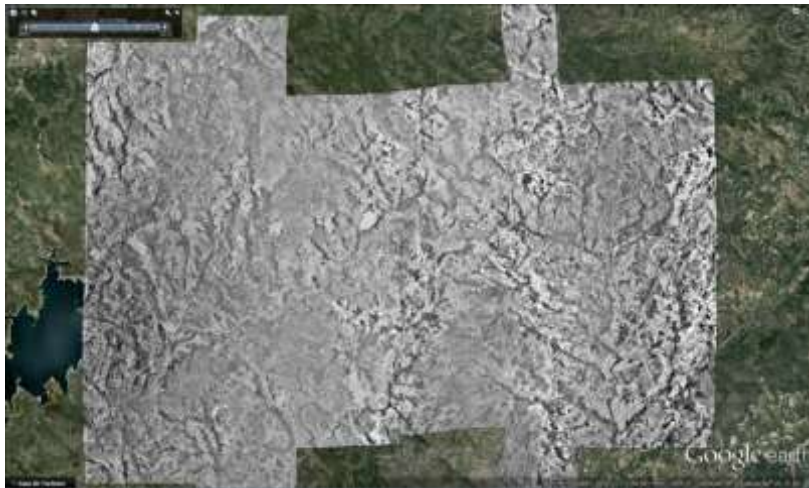


Figura 4.24 – Mosaico de Sepeda



Figura 4.25 – Mosaico de Marrancos

Nas tabelas 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9 estão representados os GCPs das fiadas um e dois de Sepeda, três e quatro de Sepeda, um e dois de Marrancos, três de Marrancos e quatro de Marrancos respectivamente com os respectivos erros associados.

Tabela 4.5 – Erros dos GCPs das fiadas um e dois de Sepeda

GCP	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro (pix)
01	2.722	-1.931	-5.640	0.481
02	5.695	-9.313	21.937	1.069
03	1.319	-3.232	22.484	0.516
04	6.853	-4.369	-26.478	0.398
05	2.805	3.535	-27.785	1.235
06	1.023	16.199	8.329	0.189
07	1.103	-7.806	-12.339	1.087
08	11.417	8.629	15.289	0.766
Total	5.350585	8.142	18.921	0.787

Tabela 4.6 – Erros dos GCPs das fiadas três e quatro de Sepeda

GCP	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro (pix)
01	-1.789	0.655	0.948	1.027
02	-3.435	4.362	-13.604	0.236
03	-4.269	3.296	-1.077	0.682
04	0.269	0.079	-14.187	0.436
05	2.070	-1.169	15.211	0.148
06	-3.898	-8.084	-4.001	0.198
07	2.658	2.119	3.174	7.726
08	1.223	1.134	4.824	0.725
09	1.373	-1.178	6.101	3.334
Total	2.612	3.403	8.859	3.172

Tabela 4.7 – Erros dos GCPs das fiadas um e dois de Marrancos

GCP	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro (pix)
01	2.205	1.359	-1.969	1.158
02	-1.878	5.190	-7.905	0.253
03	1.057	-5.749	-1.650	0.901
04	-4.151	-1.522	-13.121	0.839
05	2.985	-0.690	5.844	1.073
06	-2.382	0.282	-6.594	0.096
Total	2.624	3.284	7.290	0.865

Tabela 4.8 – Erros dos GCPs da fiada três de Marrancos

GCP	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro (pix)
01	1.440	1.117	0.379	0.026
03	0.724	5.925	-1.071	0.698
04	-3.389	-3.519	-3.053	0.949
05	-0.611	-5.732	6.829	0.326
Total	1.901	4.516	3.783	0.662

Tabela 4.9 – Erros dos GCPs da fiada quatro de Marrancos

GCP	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro (pix)
01	-6.235	1.184	-3.984	0.045
02	-4.921	-2.132	11.916	0.577
03	7.126	-2.992	1.126	1.122
Total	6.161	2.229	7.283	0.729

Denota-se no ponto 07 da tabela 4.6, um resíduo bastante alto que indica algum possível problema com o mesmo. Uma abordagem possível para a correção do mesmo seria suspender do processo este ponto, avaliando os erros novamente. Este é o processo de despistagem dos “outliers”. No entanto, não foi necessário pois os outros pontos permitem uma boa aproximação do mosaico.

Para uma posterior análise mais detalhada, calculou-se a média e o desvio padrão dos erros. No entanto, não é possível calcular o erro médio quadrático pois não há dados suficientes para o mesmo. Para o cálculo do erro médio quadrático seria necessário as coordenadas de terreno e as coordenadas em cartografia. Neste trabalho utilizaram-se as coordenadas do *Google Earth®* como coordenadas cartográficas, no entanto não foi possível levantar coordenadas no terreno. Encontram-se nas tabelas 4.10 e 4.11 a média e o desvio padrão dos erros respetivamente.

Tabela 4.10 – Média dos Erros dos GCPs

	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro (pix)
Melgaço	0.992	0.128	-3.088	0.872
Sepeda (Fiadas 1/2)	4.117	0.214	-0.525	0.718
Sepeda (Fiadas 3/4)	-0.644	0.135	-0.290	1.612
Marrancos (Fiadas 1/2)	-0.361	-0.188	-3.087	0.720
Marrancos (Fiada 3)	-0.459	-0.552	0.771	0.496
Marrancos (Fiada 4)	-1.343	-1.314	3.019	0.581

Tabela 4.11 – Desvio Padrão dos GCPs

	Desv Pad X (m)	Desv Pad Y (m)	Desv Pad Z (m)	Desv Pad (pix)
Melgaço	4.850	3.459	12.332	0.762
Sepeda (Fiadas 1/2)	3.653	8.700	20.511	0.379
Sepeda (Fiadas 3/4)	2.727	3.606	9.392	2.494
Marrancos (Fiadas 1/2)	2.847	3.592	6.608	0.441
Marrancos (Fiada 3)	2.130	5.176	4.277	0.538
Marrancos (Fiada 4)	7.364	2.205	8.117	0.539

Denota-se um erro bastante evidente no mosaico das fiadas um e dois de Marrancos, na geração do mesmo ficaram a descoberto dois buracos (Figura 4.26). Este erro deve-se ao fato de uma das fotografias fornecidas, no momento de captura estar ligeiramente rodada, devido a movimentos do avião. Não tendo a mesma orientação, é impossível para o *Agisoft PhotoScan*® realizar o mosaico sem erro. Podia ter-se preenchido o espaço deixado em branco através de uma suavização de imagem mas esse processo resultaria numa perda acentuada da qualidade do mosaico.

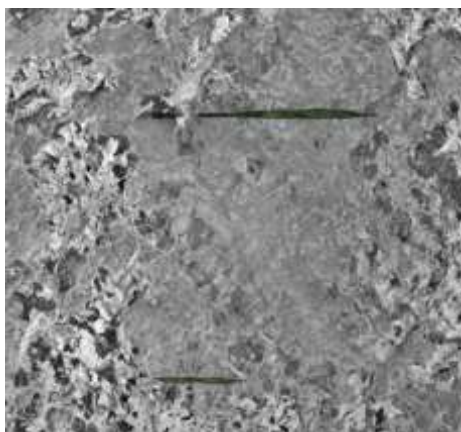


Figura 4.26 – Erro do mosaico

4.5. Geração de Mapas de Relevo Sombreado

Tendo os mosaicos todos concluídos, foram realizados mapas de relevo sombreado sobre os vários MDTs obtidos no *Agisoft PhotoScan*®. Para melhor análise visual, foram feitos quatro modelos de relevo sombreado da mesma zona, variando apenas o ângulo azimutal para fazer a luz incidir por ângulos diferentes sobre o mapa.

O comando GDAL utilizado para este processo:

- **gdaldem hillshade dem.tif mapa_revelo_sombreado.tif (4)**

Por defeito, o comando quatro realiza o mapa de relevo sombreado com o valor do ângulo azimutal igual a 315° (Figura 4.30). Os outros três mapas de relevo

sombreado foram realizados variando esse valor em 90°, ou seja, com valores de 45°, 135° e 225° (Figuras 4.27, 4.28 e 4.29 respetivamente). O valor por defeito 315° não é realista porque aqui o sol nunca estará nessa posição. Contudo, usa-se uma iluminação de nordeste porque se sabe que isso dá ao utilizador uma melhor percepção do relevo.

A modificação consiste em introduzir *-az (valor do ângulo)* nesse mesmo comando.

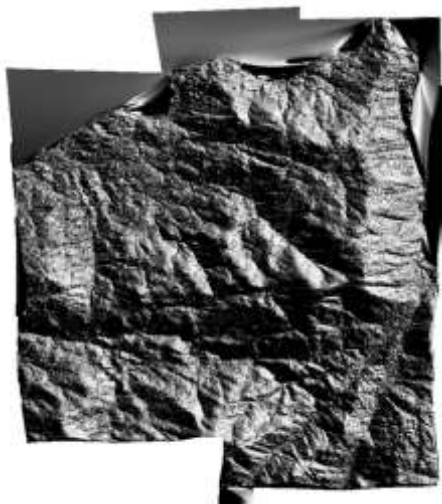


Figura 4.27 - Hillshade de ângulo azimutal 45°



Figura 4.28 – Hillshade de ângulo azimutal 135°

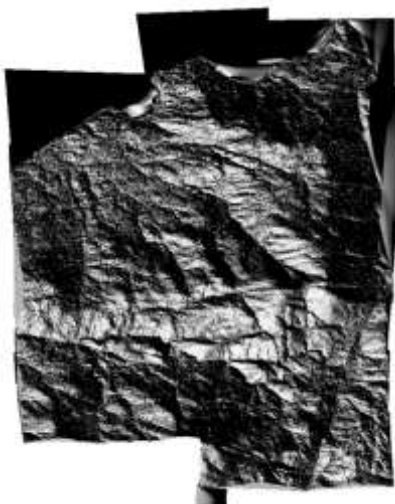


Figura 4.29 – Hillshade de ângulo azimutal 225°



Figura 4.30 – Hillshade de ângulo azimutal 315°

Evidenciam-se bem as diferenças do mesmo mapa de relevo sombreado onde apenas varia o angulo azimutal da luz. Há várias estruturas geológicas evidenciadas num que não se verificam em outro. Tudo depende da orientação do terreno. O facto de as fotografias serem a preto e branco também ajuda na percepção do utilizador. Também se denota algum ruído nos mapas de relevo sombreado, no entanto, este não pode ser eliminado ou reduzido uma vez que é esse mesmo ruído que pode evidenciar

zonas de falha ou filões de quartzo, que são duas das principais estruturas em estudo neste trabalho.

4.6. Zonas de Interesse

Concluídos os mapas de relevo sombreado e uma vez que o peso do mosaicos (superiores a 1gigabyte) torna difícil trabalhar com os mesmos, foram recortadas zonas de interesse para a empresa Sinergeo. O recorte por estas zonas foi feito com conhecimentos prévios da possibilidade de deteção de estruturas de interesse geológico. O recorte foi efetuado no MDT para ser possível realizar novos mapas de relevo sombreado com novos valores de ângulo azimutal.

Foram recortadas três zonas de Marrancos representadas nas Figuras 4.31, 4.32 e 4.33, uma zona de Melgaço e uma de Sepeda representadas pelas Figuras 4.34 e 4.35, respetivamente.

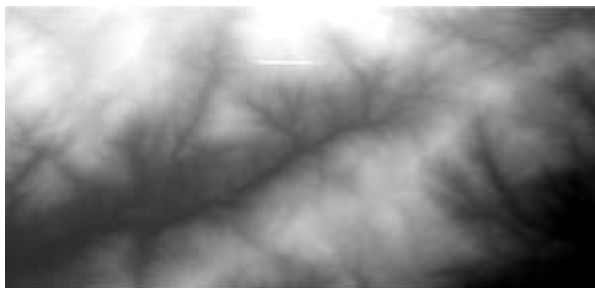


Figura 4.31 – Recorte da primeira zona de interesse de Marrancos

Coordenadas de recorte:

- $X1 = -8.508981^\circ$; $Y1 = 41.727505^\circ$
- $X2 = -8.421876^\circ$; $Y2 = 41.681491^\circ$



Figura 4.32 – Recorte da segunda zona de interesse de Marrancos

Coordenadas de recorte:

- $X1 = -8.541157^{\circ}$; $Y1 = 41.694275^{\circ}$
- $X2 = -8.431314^{\circ}$; $Y2 = 41.656012^{\circ}$



Figura 4.33 – Recorte da terceira zona de interesse de Marrancos

Coordenadas de recorte:

- $X1 = -8.446491^{\circ}$; $Y1 = 41.759241^{\circ}$
- $X2 = -8.398416^{\circ}$; $Y2 = 41.736560^{\circ}$



Figura 4.34 – Recorte da zona de interesse de Melgaço

Coordenadas de recorte:

- $X1 = -8.252099^{\circ}$; $Y1 = 42.131179^{\circ}$
- $X2 = -8.188697^{\circ}$; $Y2 = 42.095967^{\circ}$

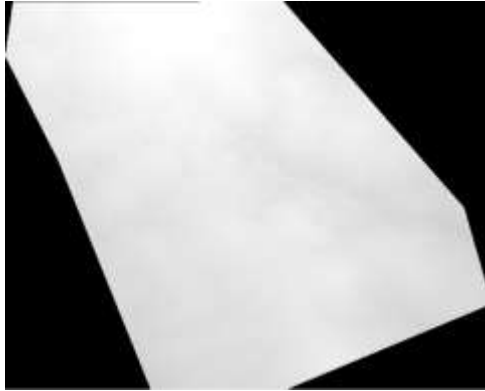


Figura 4.35 – Recorte da zona de interesse de Sepeda

Todas as zonas de interesse foram recortadas com recurso ao comando três com as coordenadas (X1, Y1), (X2,Y2) excetuando Sepeda que foi recortada através de uma camada. Para o recorte utilizou-se o comando GDAL 4:

- **Gdalwarp -q -cutline "nome_da_camada.tif" -crop_to_cutline -of GTiff recorte.tif (4)**

Pela irregularidade dos MDTs das várias zonas, pode-se desconfiar que as estruturas geológicas se encontram nos locais, no entanto, para melhor perceção dos mesmos, foram realizados trinta e seis mapas de relevo sombreado de cada zona variando o ângulo azimutal em 10° para posteriormente serem combinadas no *software Spring*.

4.7. Combinação dos Mapas de Relevo Sombreado

Foram importadas para o *software Spring* os trinta e seis mapas de relevo sombreado (*hillshades*) com objetivo de fazer combinações de bandas RGB gerando mapas de falsa cor. Cruzando mapas de relevo sombreado com valores de azimute diferente com as bandas RGB, espera-se evidenciar de forma conclusiva as estruturas geológicas presentes no local. O cruzamento fez-se, por exemplo, aplicando a banda R ao mapa de relevo sombreado de azimute 0°, a banda G ao de azimute 30° e a banda B ao 60°. A essa combinação aplicou-se ainda o contraste de maneira a otimizar a perceção visual obtendo-se (Figura 4.36):

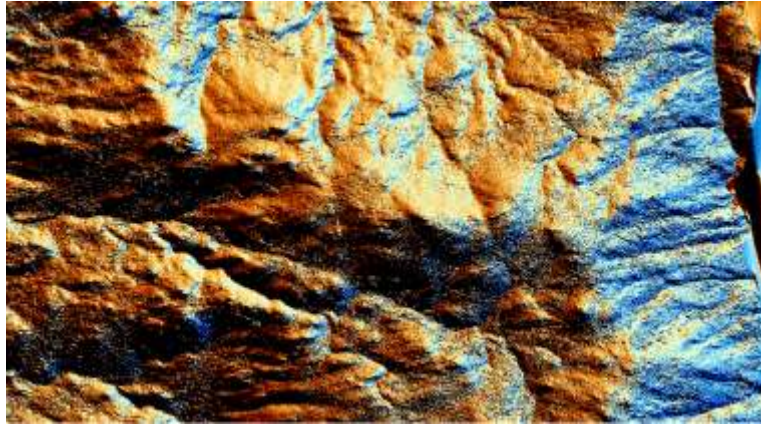


Figura 4.36 – Combinação de três *hillshades* no Spring®

Este processo de combinação de mapas de relevo três a três foi continuado conforme mostra a tabela 4.12. Gerou-se combinações para todos os mapas de relevo sombreado em intervalos de 10°, 20° e 30° para posteriormente voltar a combinar os mesmos.

Tendo as trinta e seis combinações representadas na tabela 4.12, exportaram-se as mesmas para posterior importação. Com este processo foi possível gerar combinações de nove mapas de falsa cor de relevo sombreado como demonstra a tabela 4.13. Atribuiu-se a banda R para a combinação azimutal de 0°, 30° e 60°, a banda G à combinação azimutal 10°, 40°, 70° e B à combinação 20°, 50° e 80° obtendo-se a Figura 37. As restantes combinações estão presentes na tabela 13.

Tabela 4.12 – Combinação de três *hillshades*

Combinação	Azimute
1	0-30-60
2	10-40-70
3	20-50-80
4	90-120-150
5	100-130-160
6	110-140-170
7	180-210-240
8	190-220-250
9	200-230-260
10	270-300-330
11	310-340-10
12	320-350-20
13	0-10-20
14	30-40-50
15	60-70-80
16	90-100-110
17	120-130-140
18	150-160-170
19	180-190-200
20	210-220-230
21	240-250-260
22	270-280-290
23	300-310-320
24	330-340-350
25	0-20-40
26	10-30-50
27	60-80-100
28	70-90-110
29	120-140-160
30	130-150-170
31	180-200-220
32	190-210-230
33	240-260-280
34	250-270-290
35	300-320-340
36	310-330-350

Tabela 4.13 – Combinação de nove *hillshades*, três a três

R	G	B	Combinação
1	2	3	a
2	3	4	b
3	4	5	c
4	5	6	d
5	6	7	e
6	7	8	f
7	8	9	g
8	9	10	h
9	10	11	i
10	11	12	j
11	12	13	k
12	13	14	l
13	14	15	m
14	15	16	n
15	16	17	o
16	17	18	p
17	18	19	k
18	19	20	r
19	20	21	s
20	21	22	t
21	22	23	u
22	23	24	v
23	24	25	w
24	25	26	x
25	26	27	y
26	27	28	z
27	28	29	za
28	29	30	zb
29	30	31	zc
30	31	32	zd
31	32	33	ze
32	33	34	zf
33	34	35	zg
34	35	36	zh
35	36	1	zi
36	1	2	zj



Figura 4.37 – Combinação de nove *hillshades* três a três

Após análise bastante cuidada das combinações, delinearam-se no mapa as possíveis estruturas geológicas, assim como compartimentos delimitados pelas mesmas (Figura 4.38). As falhas com direção Norte-Sul foram marcadas a amarelo, as detetadas na figura representada a laranja e as restantes, Este-Oeste, Sudoeste-Nordeste e Noroeste-Sudeste a azul claro. Os compartimentos foram marcados a vermelho.

Uma vez concluído esse processo, foram comparados os resultados obtidos com a informação contida na folha 1-B (Monção) da carta geológica de Portugal dos serviços geológicos de Portugal.

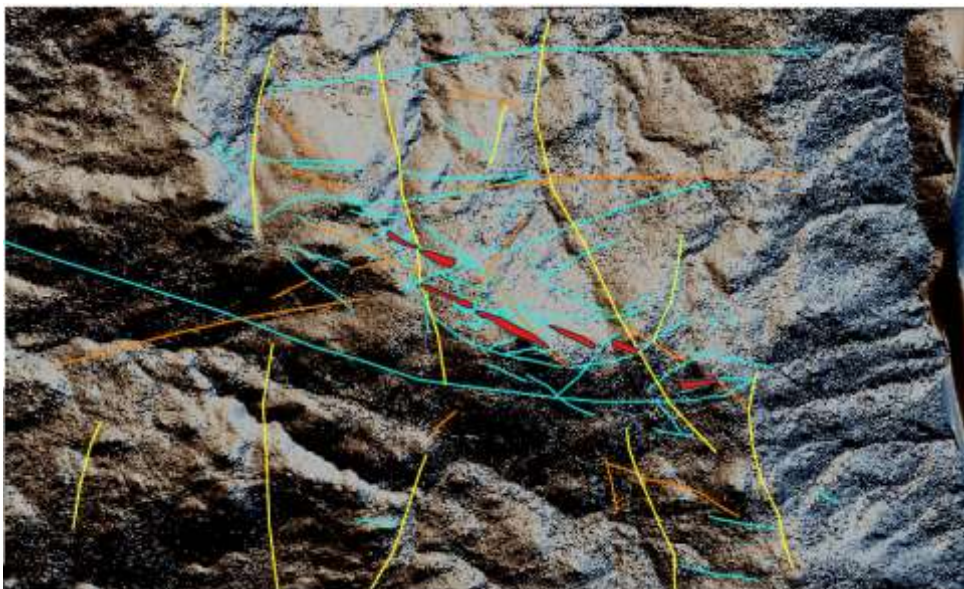


Figura 4.38 – Delineação de possíveis estruturas geológicas

Foi obtida correspondência entre as principais falhas que constam na carta geológica referida e lineamentos bem expressos nas imagens compostas obtidas. Da mesma forma foi possível a definição de lineamentos atributáveis à presença de possíveis falhas e, da mesma forma, compartimentos favoráveis à presença de filões de quartzo mineralizados não assinalados na carta geológica.

A confirmação de resultados foi feita no campo, tendo todas as possíveis falhas e filões sido confirmados no campo. Esta detecção verifica-se devido a alguns fatores geológicos que ocorrem no local. Como exemplo desses fatores, tem-se as Figuras 4.39 e 4.40. Na primeira evidencia-se quartzo brechificado mineralizado com um tamanho considerável, característico de zonas de cisalhamento de falhas enquanto na segunda evidencia-se uma estrutura rochosa afetada por uma falha.



Figura 4.39 – Quartzo brechificado



Figura 4.40 – Estrutura afetada por uma falha

Capítulo 5 – Conclusão

Os resultados obtidos permitem concluir que a aplicação de métodos fotogramétricos desenvolvidos quando conjugados com técnicas de deteção remota e análise distanciada são adequados à deteção de estruturas geológicas que a olho nu poderiam ser quase impossíveis de detetar. O processamento fotogramétrico de imagens possibilita a visualização tridimensional com bastante qualidade e o processamento de imagem permite uma melhor visualização de estruturas.

Os mosaicos obtidos através do *Agisoft Photoscan®* tornam possível concluir também que, de um modo geral, as fotografias possuem boa qualidade geométrica e que a captação das mesmas foi um sucesso. Demonstram, quase na totalidade, uma boa orientação geométrica com a sobreposição adequada. Tendo em conta que as fotografias têm mais de 65 anos, estas possuem uma enorme importância para o mais variado tipo de aplicações.

O facto de se utilizar fotografias da pré-florestação portuguesa mostrou ser uma mais-valia para a deteção das estruturas geológicas, pois foi possibilitada uma mais clara observação da superfície rochosa.

A geração automática de modelos digitais de terreno demonstrou ser uma operação bastante demorada mas ao mesmo tempo bastante eficiente. A geração de mapas de relevo sombreado através dos mesmos mostrou ser um sucesso evidenciando aspetos de geologia que de outra forma passariam despercebidos.

Pode concluir-se que o trabalho foi realizado com sucesso pois os mosaicos apresentam erros baixos relativamente ao fim dos mesmos e, embora não tenha sido possível confirmar os resultados a Marrancos e Sepeda, em Melgaço as possíveis estruturas geológicas detetadas em escritório foram todas confirmadas com sucesso no campo.

Vislumram-se possibilidades da continuação desta linha de trabalho, particularmente com a inclusão do tratamento de imagem e eventual aquisição de dados espaciais complementares aos dados já existentes.

Referências Bibliográficas

1. Tommaselli, A. (2009) – “Fotogrametria Básica”. Notas de aula de Fotogrametria. UNESP. Presidente Prudente.
2. Fonseca, A., Fernandes, J. C. (2004) – Detecção Remota. Lidel Editora.
3. Mário A. Gomarasca (2004) – Basics of Geomatics. Springer.
4. Roger Arrazcaeta (1998) – Director del Gabinete de Arqueología - Tomado de *Opus Habana*, Vol. II, No. 4, pp.44-45
5. PAPA International – Professional Aerial Photographers Association http://professionalaerialphotographers.com/content.aspx?page_id=22&club_id=808138&module_id=158950 [visitado em 1 de Maio de 2015]
6. Matos, J. (2011) – Engenharia Geográfica nos Séculos XIX e XX, <http://pt.scribd.com>
7. Redweik, P (2007) – “Fotogrametria Aérea”, Documentos de apoio a aulas do Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia FCUL
8. Hofmam, M. Carvalho, F. G. Szenberg, F. Raposo, A. B. Gattass (2006) – Um Estudo sobre Marcas Fiduciais em Realidade Aumentada: Combinando Detecção de Linhas com Calibração de Câmera. VIII Symposium on Virtual Reality – SVR pp. 337-348
9. Gonçalves, G. R. (2012) – Elementos de Fotogrametria Analítica. Documentação de apoio a aulas da Universidade de Coimbra
10. Bastos L., Wanderley A. Maurício, J. (2009) – “Fotogrametria Digital”. Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
11. Rebelo, J. A. (1999) – As Cartas Geológicas ao Serviço do Desenvolvimento. Instituto Geológico e Mineiro. Versão Online no site do LNEG: http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/cartas
12. Romão J.M, Cunha T. A. (2012) – Cartografia geológica, Uma mais-valia para o desenvolvimento sustentável. *Geonovas*, n.º 25: pp. 3-7.
13. Scanvic, JY (1995)- Teledetection Aerospatale et Informations Geologiques, BRGM- Manuels et methodes nº24-Editions BRGM, Orleans Cedex, France
14. Redweik, P., Roque, D., Marques, A., Matildes, R., Marques, F. (2010) – Triangulating the Past – Recovering Portugal's Aerial Images Repository. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 76, No. 9 pp. 1007-1018
15. LNEG (2015) – Páginas web do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, <http://www.lneg.pt>. [visitado em 2 de Junho de 2015]
16. Arcanjo J. B. Alves (2011) – Fotogeologia: conceitos, métodos e aplicações. Edição da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil, CPRM/SGB
17. Agisoft (2015) – <http://www.agisoft.com/index.php?id=31> [visitado em 8 de Junho de 2015]
18. Qgis (2015)– <http://www.qgis.org> [visitado em 8 de Junho de 2015]
19. Manghi G., Cavallini P., Neves V. (2011) - Quantum GIS: Um desktop potente e amigável, FOSSGIS Brasil
20. Santos A. R., Peluzio T. M., Saito N. S. (2010) – “SPRING 5.1.2 Passo a Passo – Aplicações Práticas” Edição electrónica Mundo da Geomática (<http://www.mundogeomatica.com.br>)

21. Manghi G., Cavallini P., Neves V. (2011) – Quantum GIS: Um desktop potente e amigável. Revista FOSSGIS Brasil, Ano 1, Ed. nº 2, pp. 10-15.
22. Miano, J., (1999) – Compressed Image File Formats. Addison Wesley Longman, Inc.

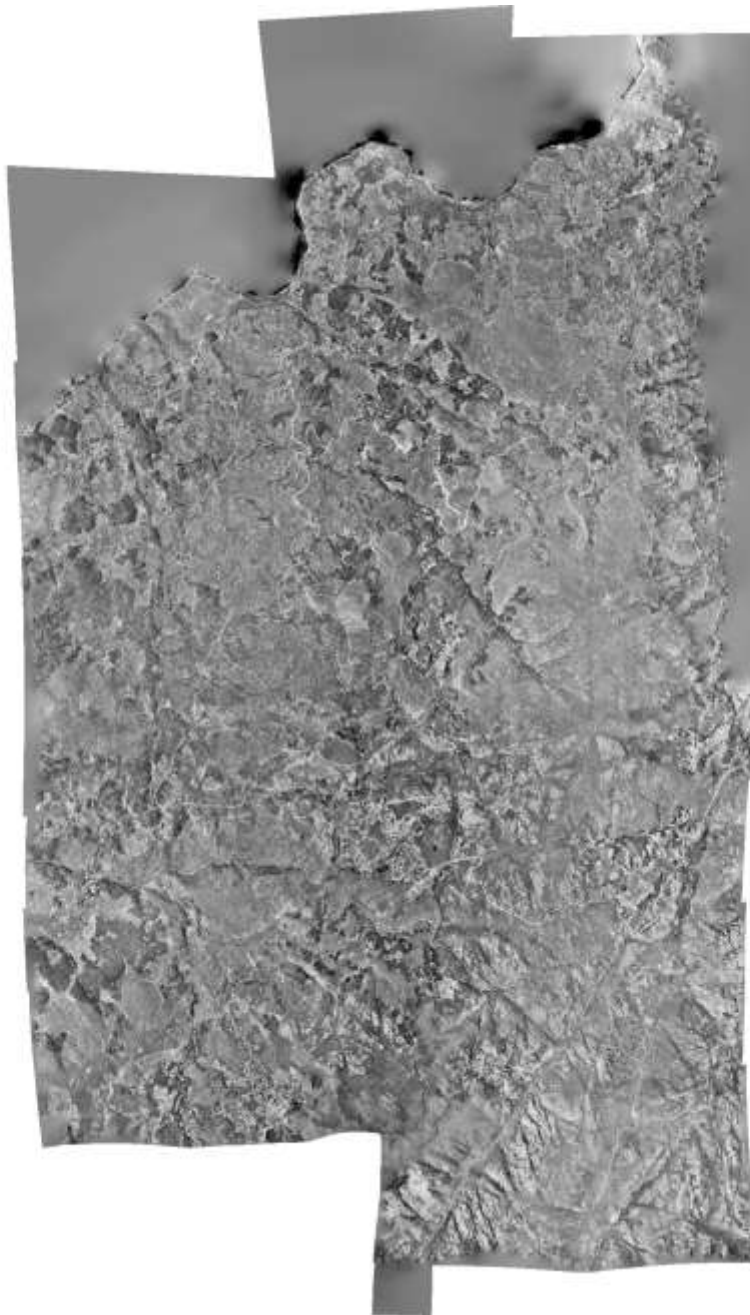
Anexos

Anexo 1 – Relatório do <i>Agisoft PhotoScan®</i> do mosaico de Melgaço.....	61
Anexo 2 – Relatório do <i>Agisoft PhotoScan®</i> do mosaico de Sepeda das fiadas um e dois.....	67
Anexo 3 – Relatório do <i>Agisoft PhotoScan®</i> do mosaico de Sepeda das fiadas três e quatro.....	72
Anexo 4 – Relatório do <i>Agisoft PhotoScan®</i> do mosaico de Marrancos das fiadas um e dois.....	77
Anexo 5 – Relatório do <i>Agisoft PhotoScan®</i> do mosaico de Marrancos da fiada três.....	82
Anexo 6 – Relatório do <i>Agisoft PhotoScan®</i> do mosaico de Marrancos da fiada quatro.....	87

Anexo 1

Agisoft PhotoScan

Processing Report
25 March 2015



Survey Data

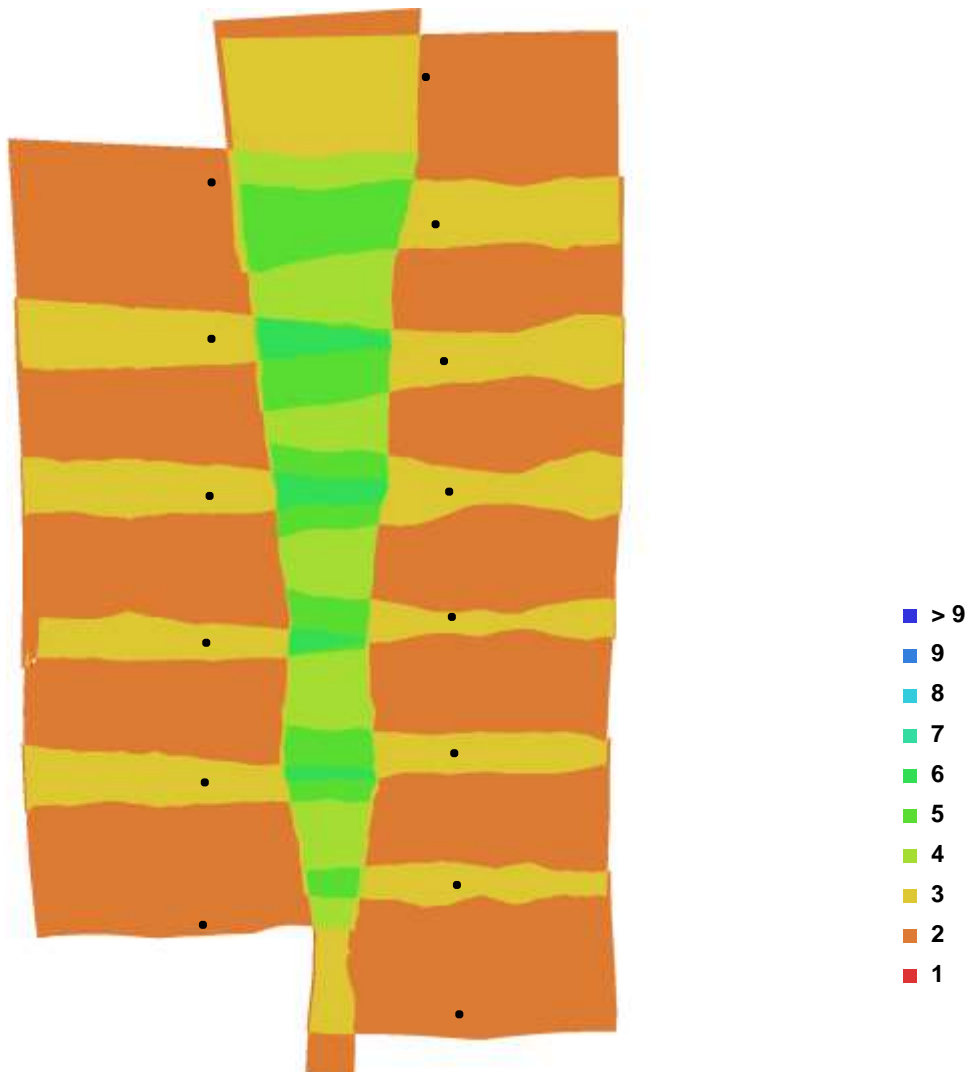


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	14	Camera stations:	14
Flying altitude:	4435.02 m	Tie-points:	60745
Ground resolution:	0.526139 m/pix	Projections:	129308
Coverage area:	152.559 sq km	Error:	1.00225 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
unknown	10780 x 10230	unknown	unknown	No

Table. 1. Cameras.

Camera Locations

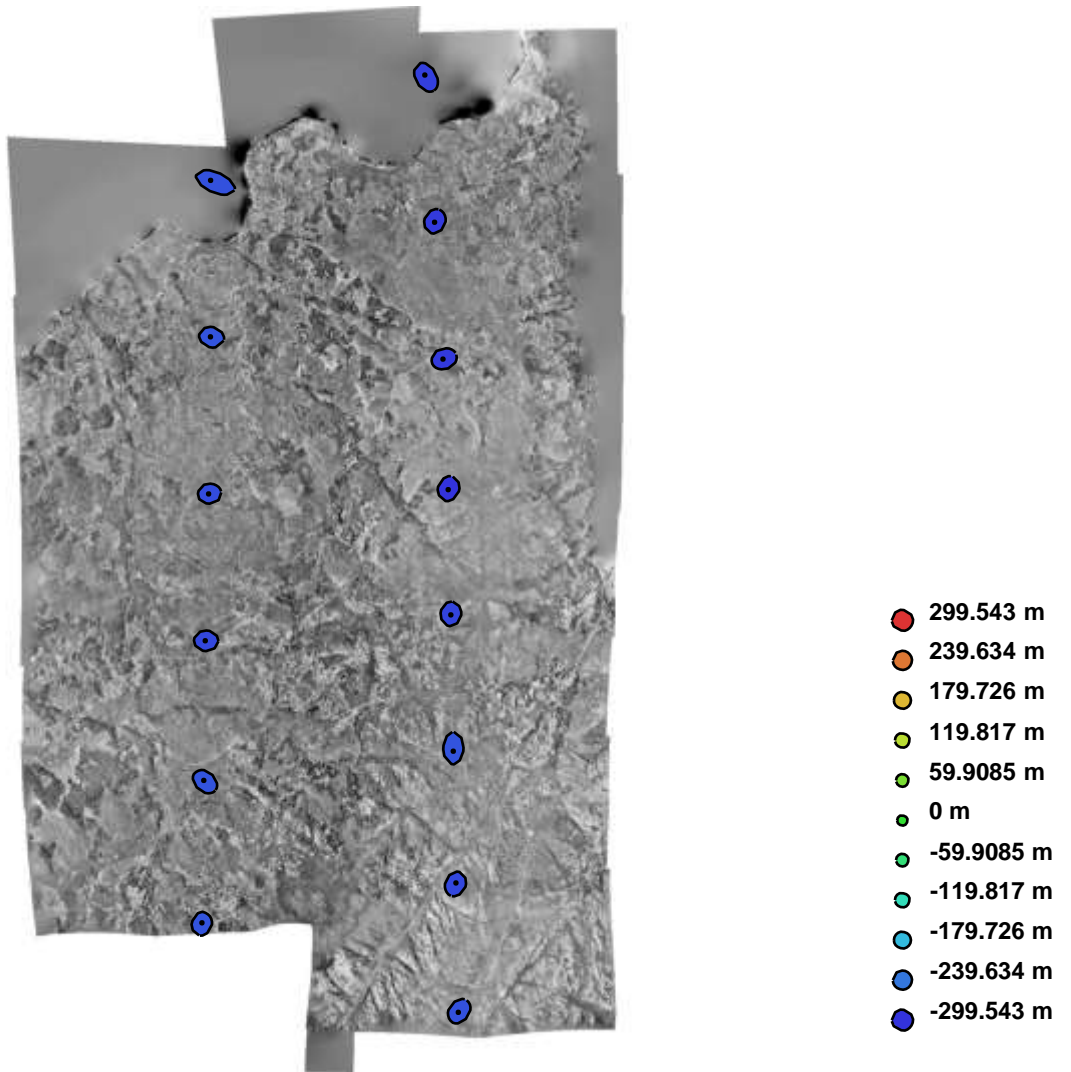


Fig. 2. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total error (m)
50.169085	45.308015	282.016288	290.005069

Table. 2. Average camera location error.

Ground Control Points

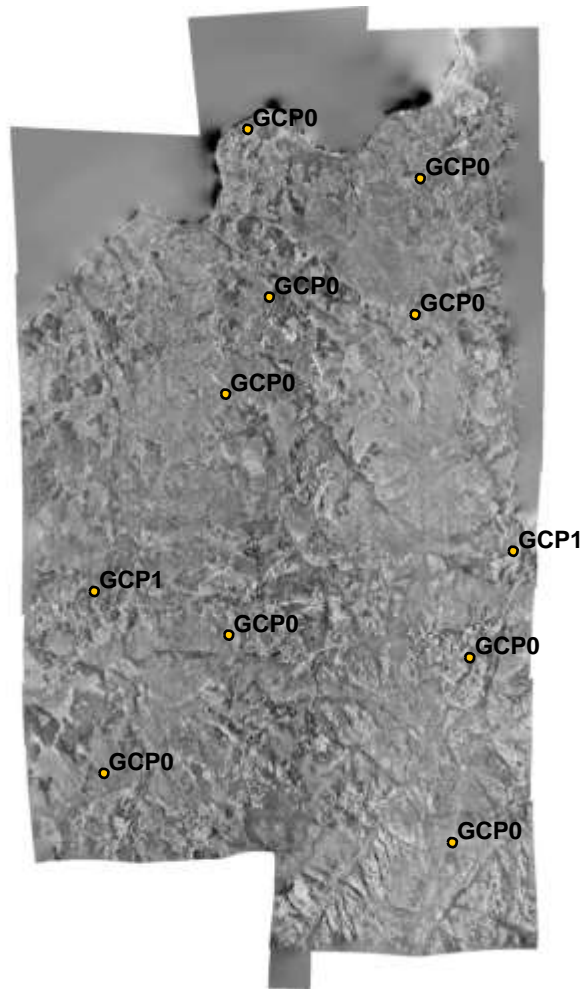


Fig. 3. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
GCP01	5.267450	-0.429635	4.876990	7.191359	3	0.550431
GCP02	-1.884101	-3.489285	-5.047662	6.419022	3	2.472790
GCP03	2.324897	-0.079178	9.961601	10.229609	6	2.321742
GCP04	-6.843408	5.036897	-20.833418	22.499642	2	0.509770
GCP05	10.522091	1.627978	-13.289935	17.029007	2	0.404717
GCP06	4.430321	3.229059	1.166829	5.605003	2	0.425142
GCP07	-1.977509	0.826578	-6.564138	6.905192	2	0.485739
GCP08	2.107221	-7.929676	10.414646	13.258394	2	0.488290
GCP09	0.951960	-0.571000	-23.989522	24.015192	3	0.561650
GCP10	0.745521	1.487360	-2.213507	2.769053	3	0.798395
GCP11	-4.728160	1.700983	11.544912	12.591022	3	0.575514

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
Total	4.729442	3.300249	12.157105	13.455648	31	1.363177

Table. 3. Control points.

Digital Elevation Model

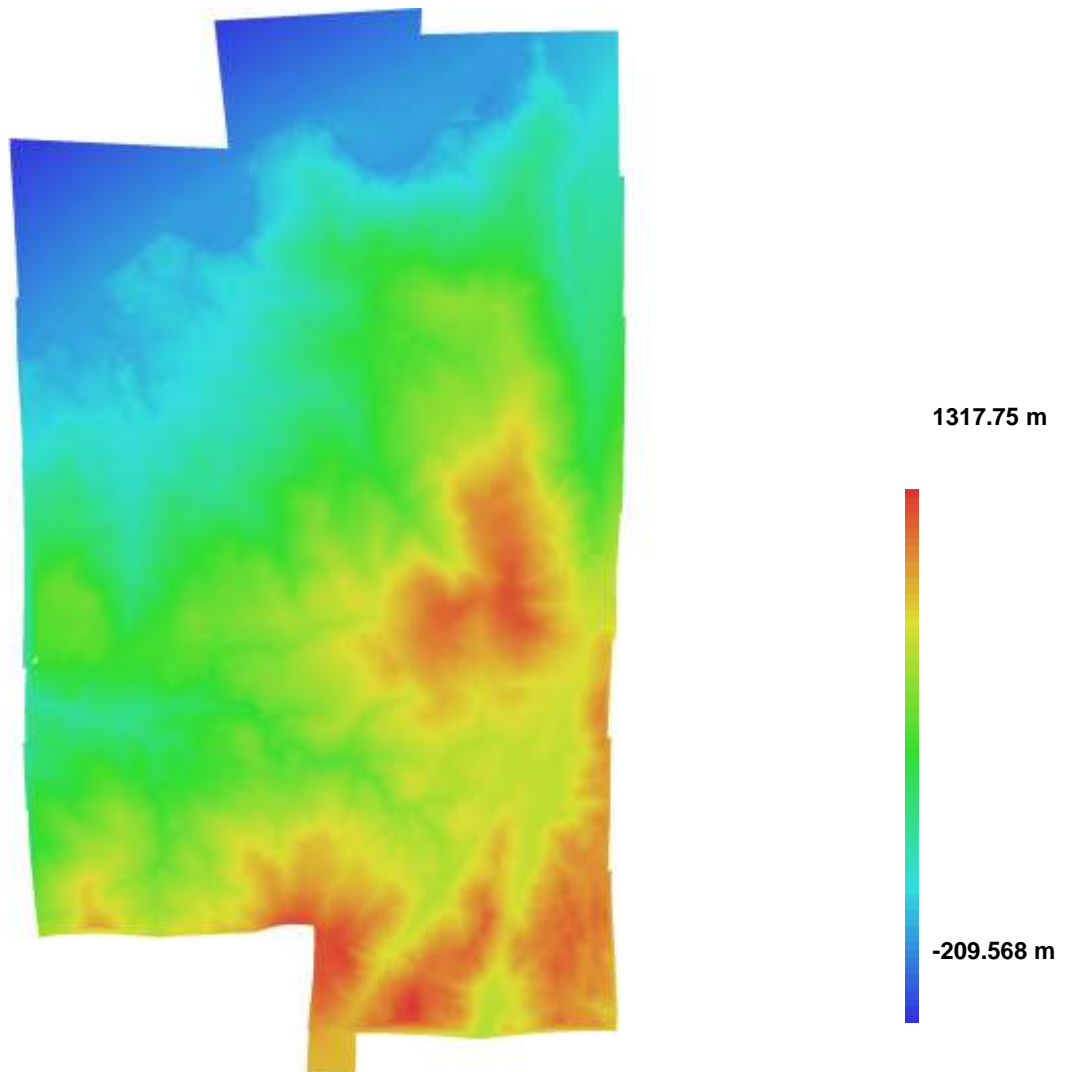


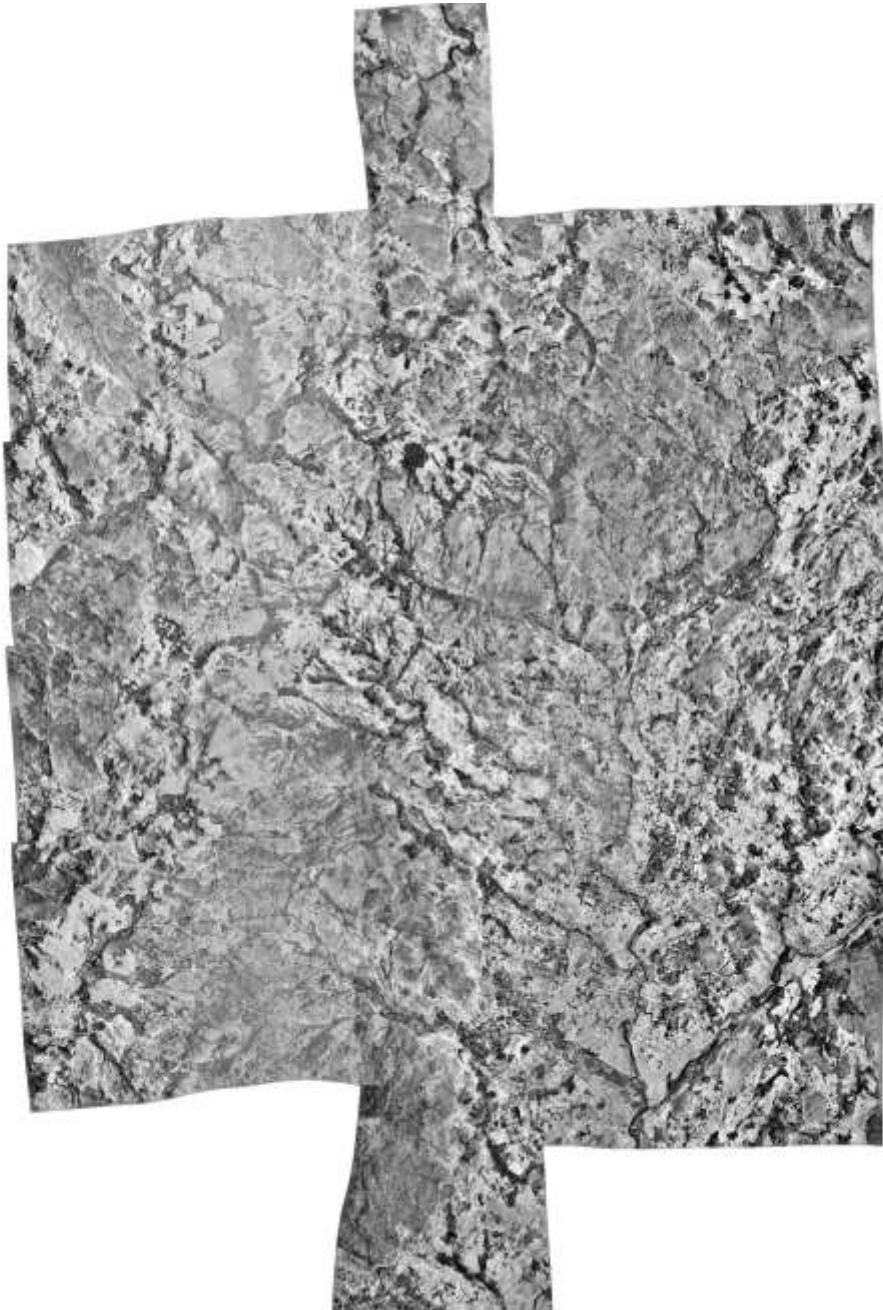
Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 1.05228 m/pix
Point density: 0.903106 points per sq m

Anexo 2

Agisoft PhotoScan

Processing Report
25 March 2015



Survey Data

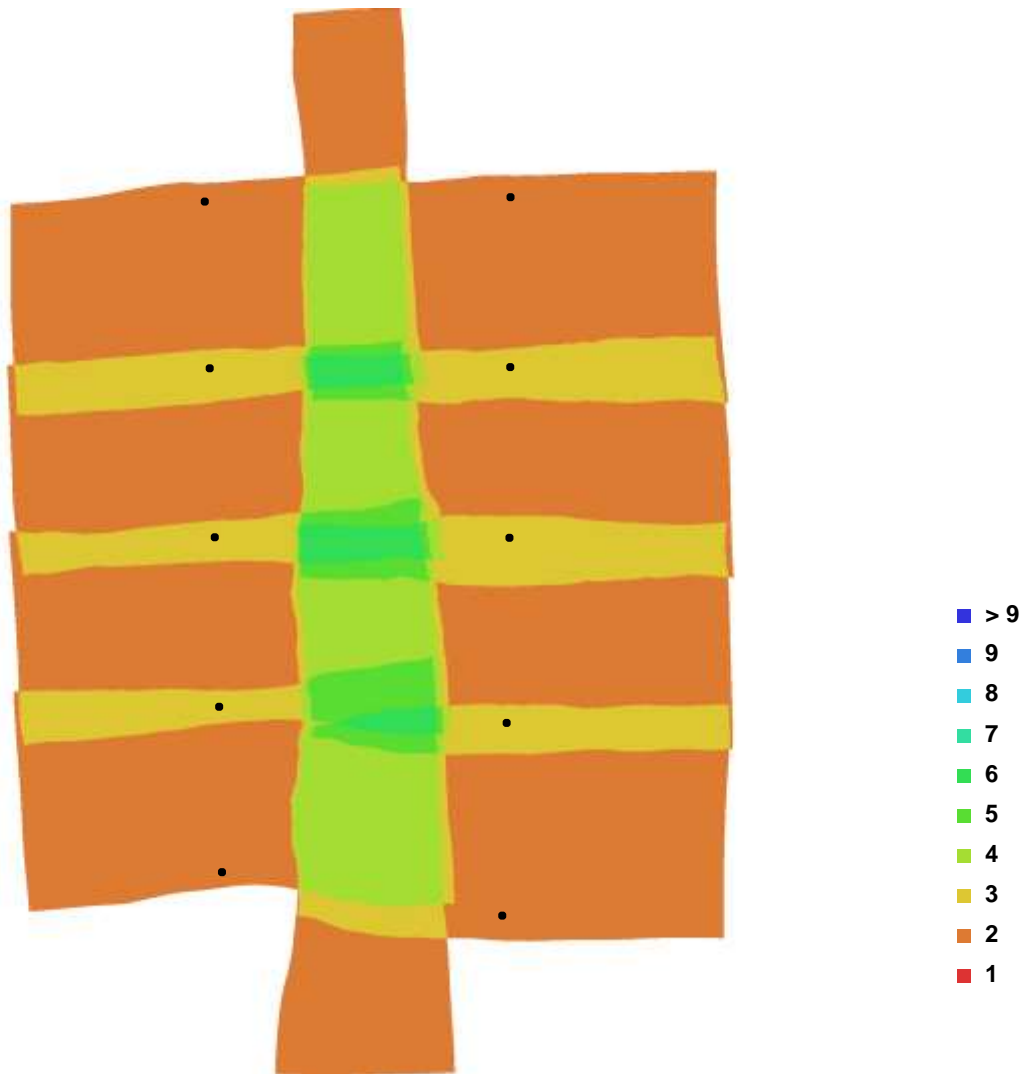


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	10	Camera stations:	10
Flying altitude:	4341.94 m	Tie-points:	70145
Ground resolution:	0.522442 m/pix	Projections:	150712
Coverage area:	101.977 sq km	Error:	0.972908 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
unknown	10780 x 10110	unknown	unknown	No

Table. 1. Cameras.

Camera Locations

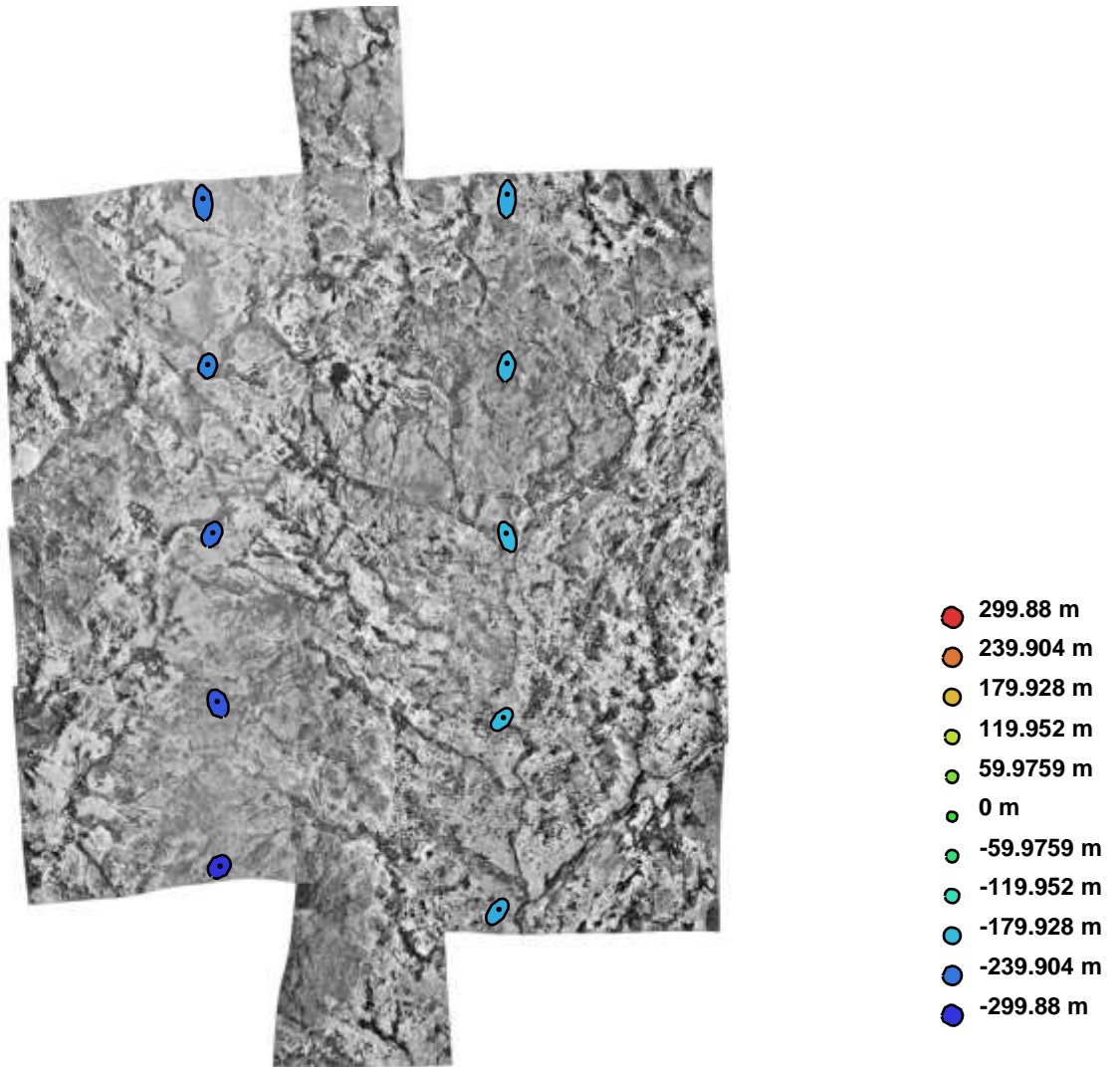


Fig. 2. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total error (m)
25.411656	82.010305	226.216387	241.961353

Table. 2. Average camera location error.

Ground Control Points

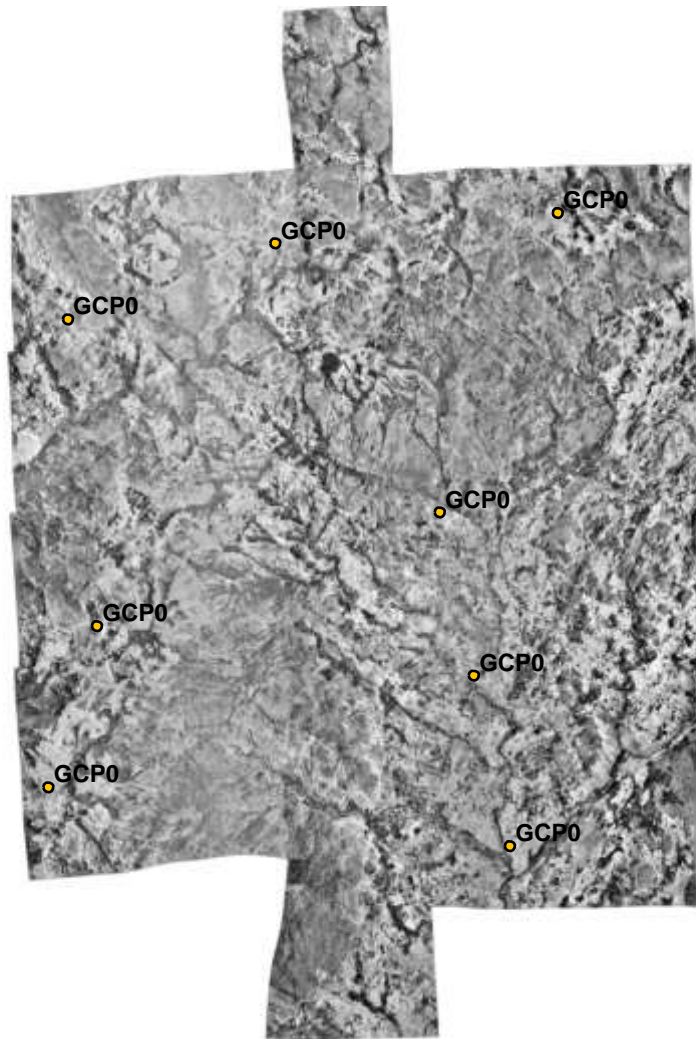


Fig. 3. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
GCP01	2.722274	-1.931606	-5.640442	6.554118	2	0.481083
GCP02	5.695107	-9.313171	21.936674	24.502797	2	1.069709
GCP03	1.319366	-3.232543	22.483599	22.753072	3	0.515826
GCP04	6.853375	-4.368734	-26.478349	27.697609	2	0.397854
GCP05	2.805488	3.534782	-27.785024	28.149121	2	1.235374
GCP06	1.023717	16.198624	8.329471	18.243451	2	0.189724
GCP07	1.103192	-7.805928	-12.339373	14.642734	2	1.087024
GCP08	11.416645	8.629523	5.381979	15.289675	2	0.765810
Total	5.350585	8.141658	18.514389	20.921232	17	0.786904

Table. 3. Control points.

Digital Elevation Model

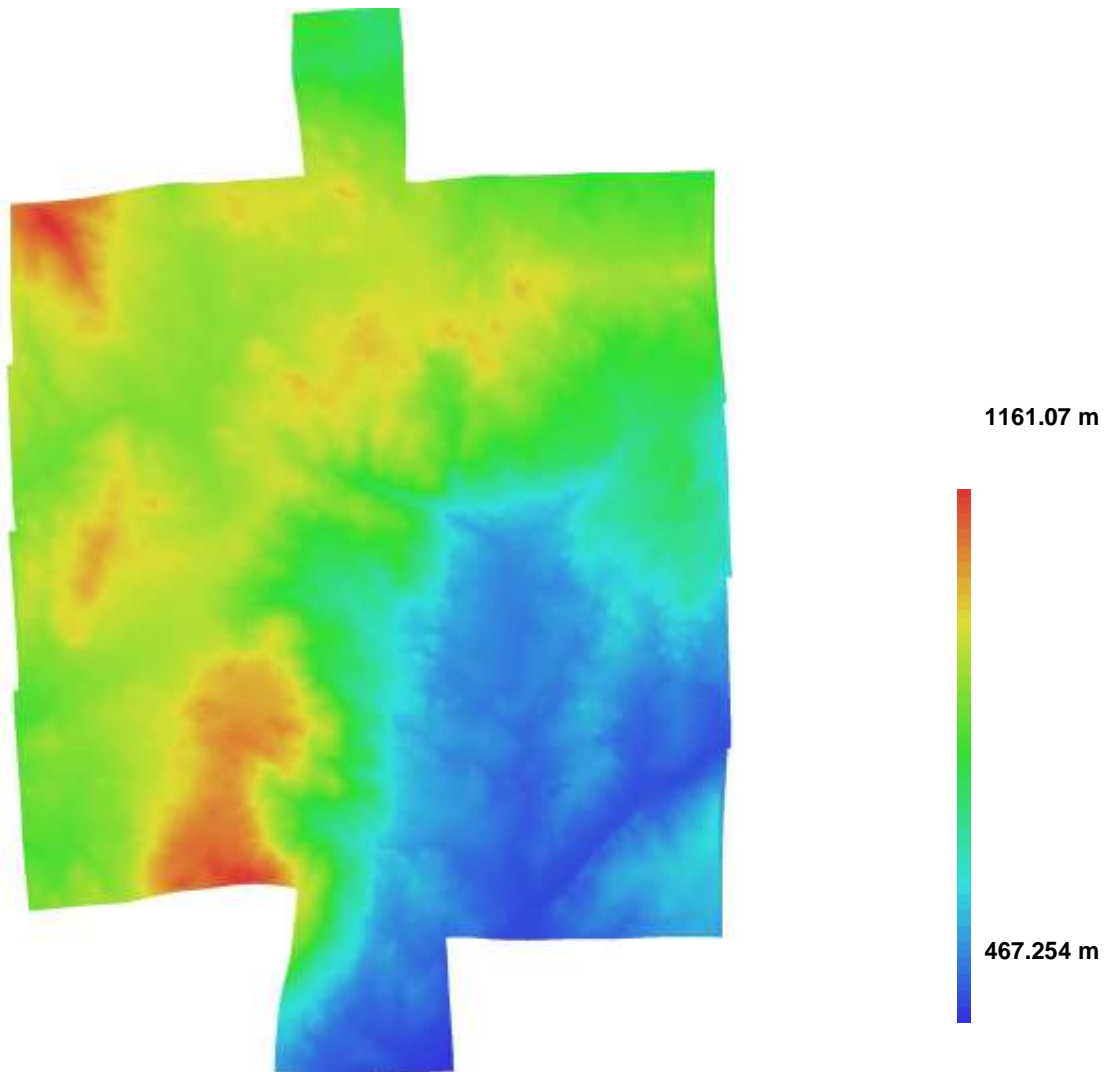


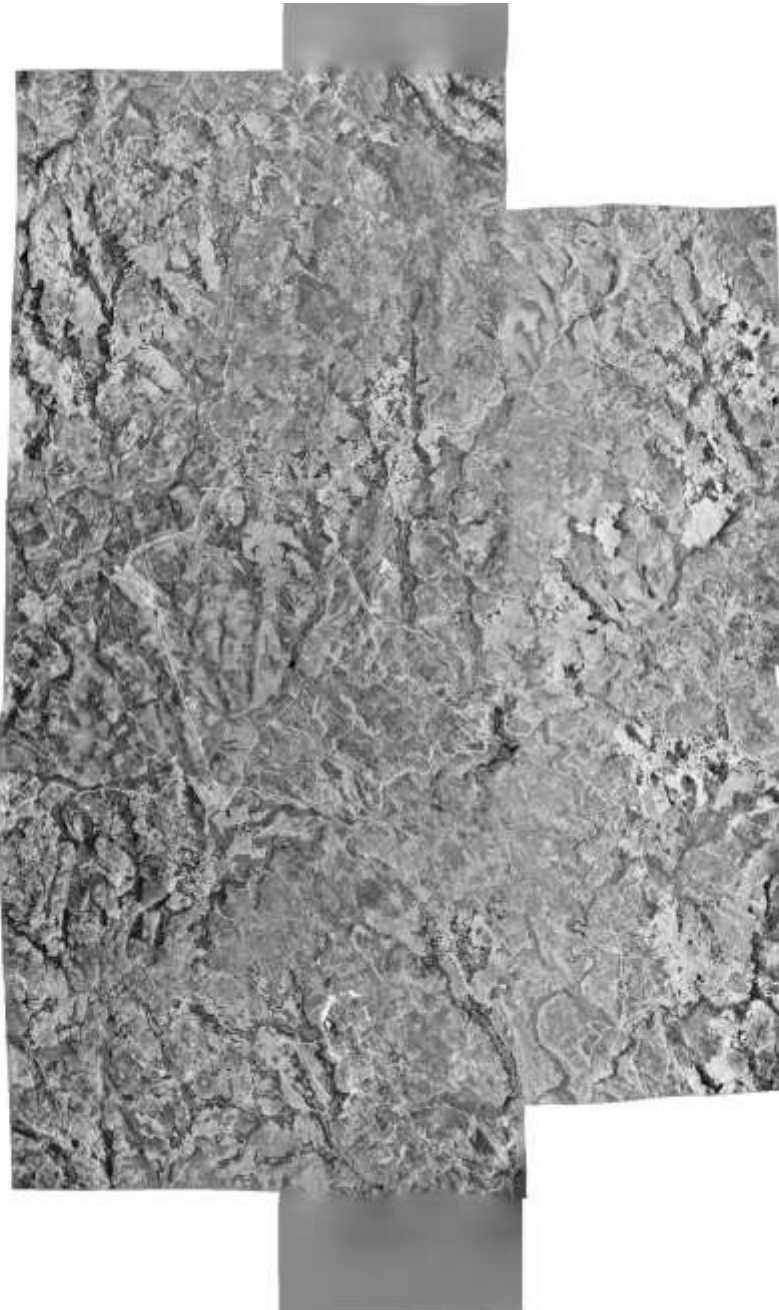
Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 1.04488 m/pix
Point density: 0.915935 points per sq m

Anexo 3

Agisoft PhotoScan

Processing Report
25 March 2015



Survey Data

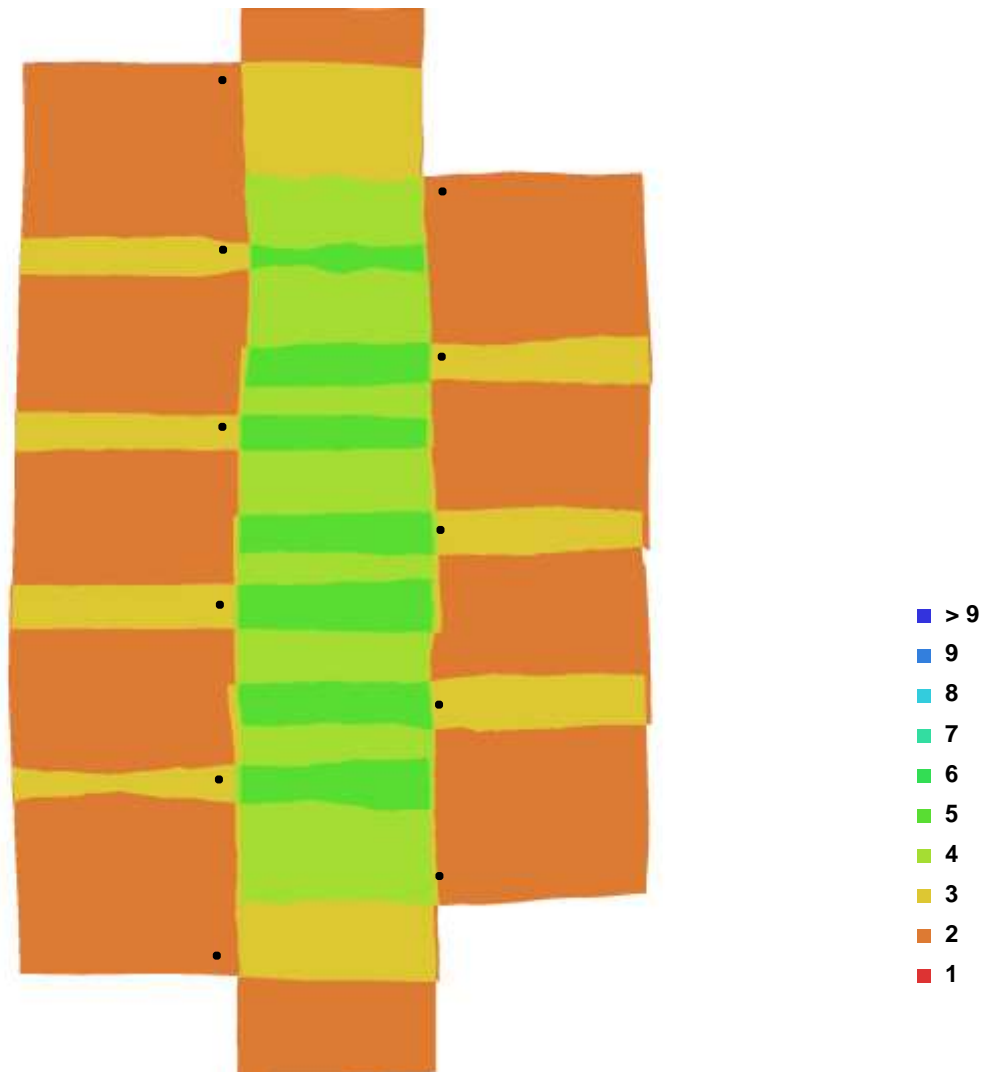


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	11	Camera stations:	11
Flying altitude:	4487.81 m	Tie-points:	77643
Ground resolution:	0.510007 m/pix	Projections:	160885
Coverage area:	100.781 sq km	Error:	0.854171 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
unknown	10780 x 10110	unknown	unknown	No

Table. 1. Cameras.

Camera Locations

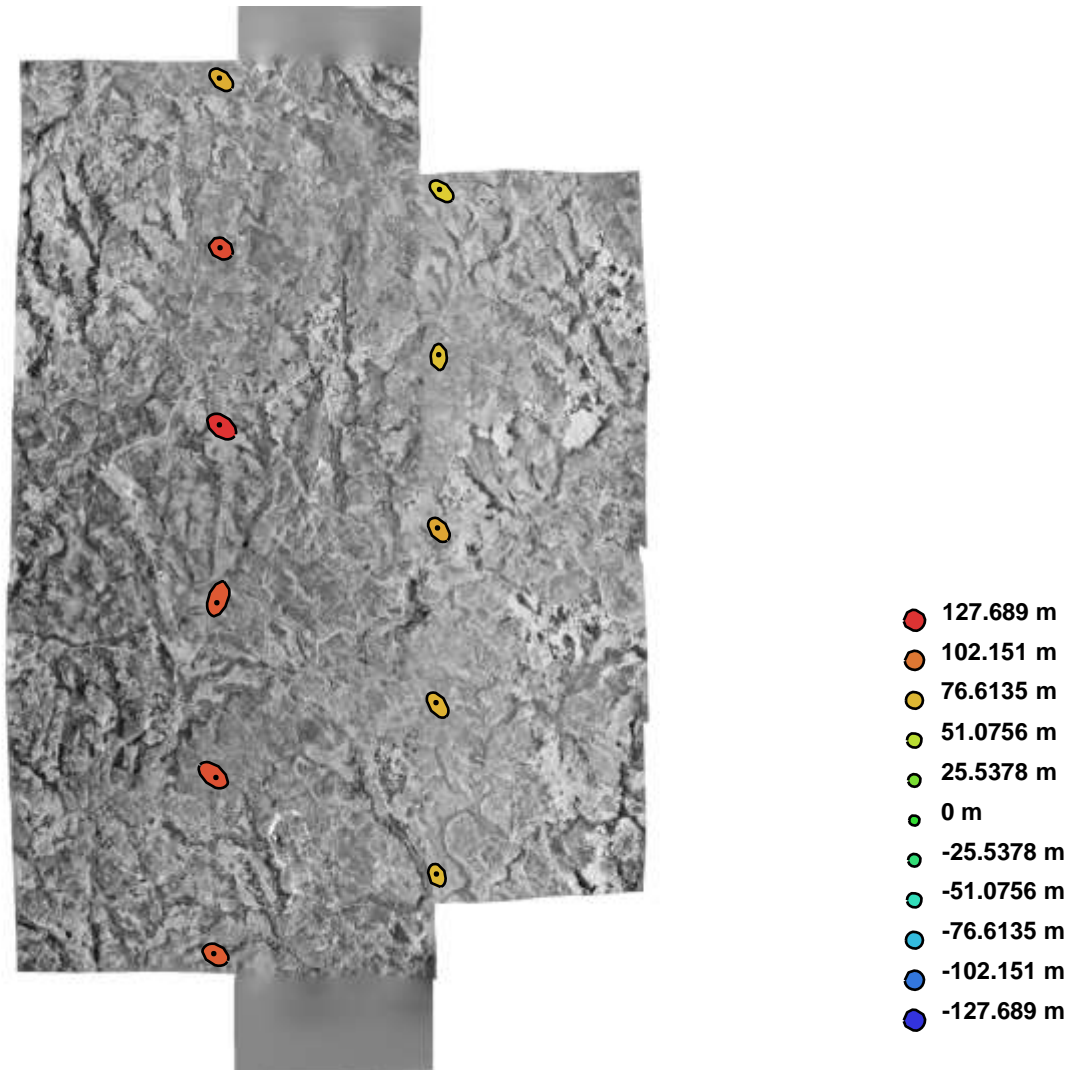


Fig. 2. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total error (m)
44.908249	55.741691	97.628974	121.059091

Table. 2. Average camera location error.

Ground Control Points

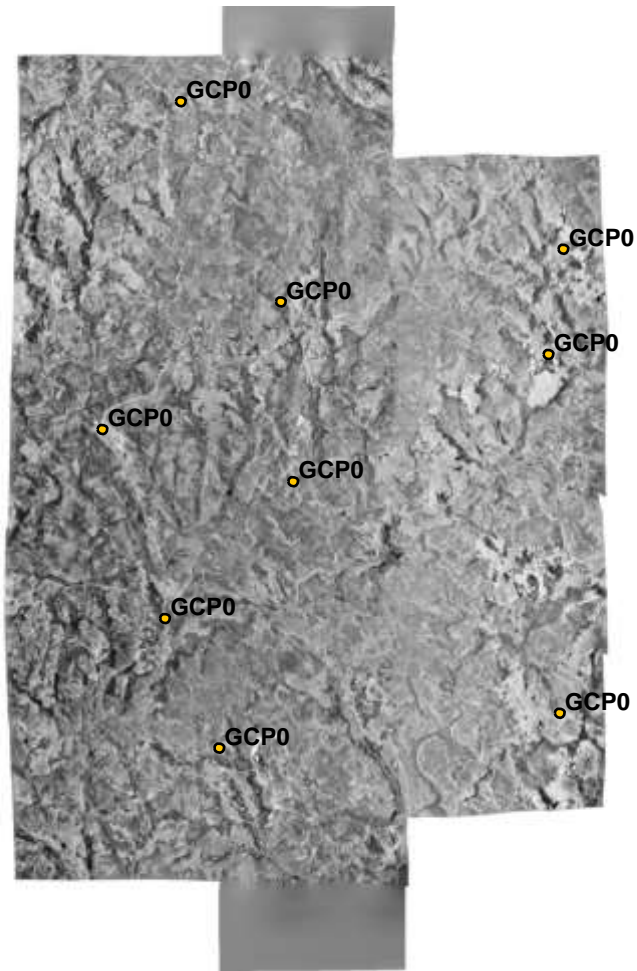


Fig. 3. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
GCP01	-1.178708	0.655276	0.948459	1.648730	4	1.027115
GCP02	-3.435472	4.362200	-13.604265	14.693784	2	0.236481
GCP03	-4.269945	3.295942	-1.077105	5.500529	2	0.681803
GCP04	0.269709	0.079811	-14.187430	14.190218	2	0.435781
GCP05	-2.070488	-1.169601	15.211486	15.396240	2	0.147687
GCP06	-3.898293	-8.084286	-4.001727	9.826810	2	0.198420
GCP07	2.657667	2.119145	3.173966	4.650595	3	7.726483
GCP08	1.223024	1.134065	4.824045	5.104244	2	0.724943
GCP09	1.373429	-1.177972	6.100574	6.363248	5	3.333741
Total	2.612489	3.402873	8.859298	9.843364	24	3.172009

Table. 3. Control points.

Digital Elevation Model

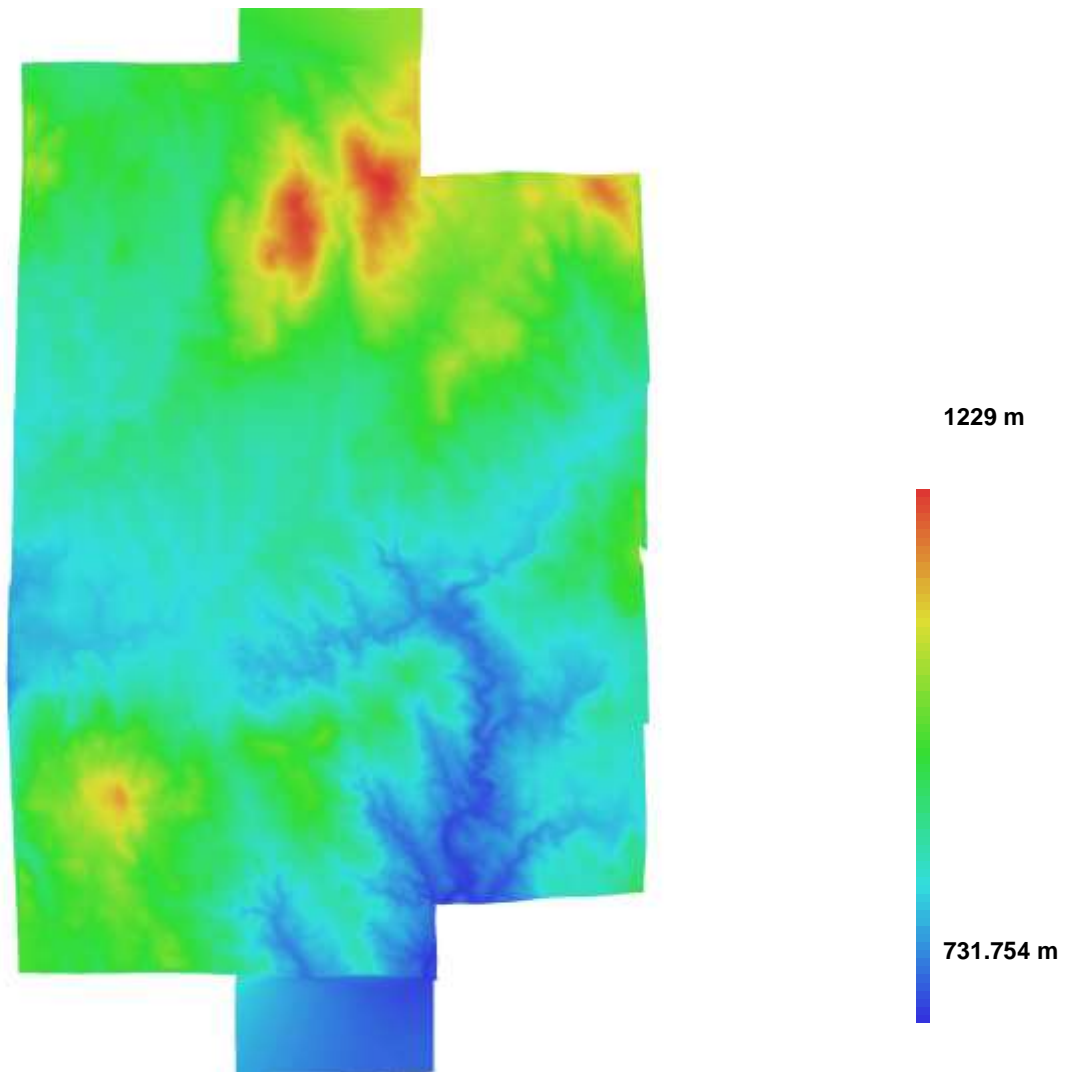


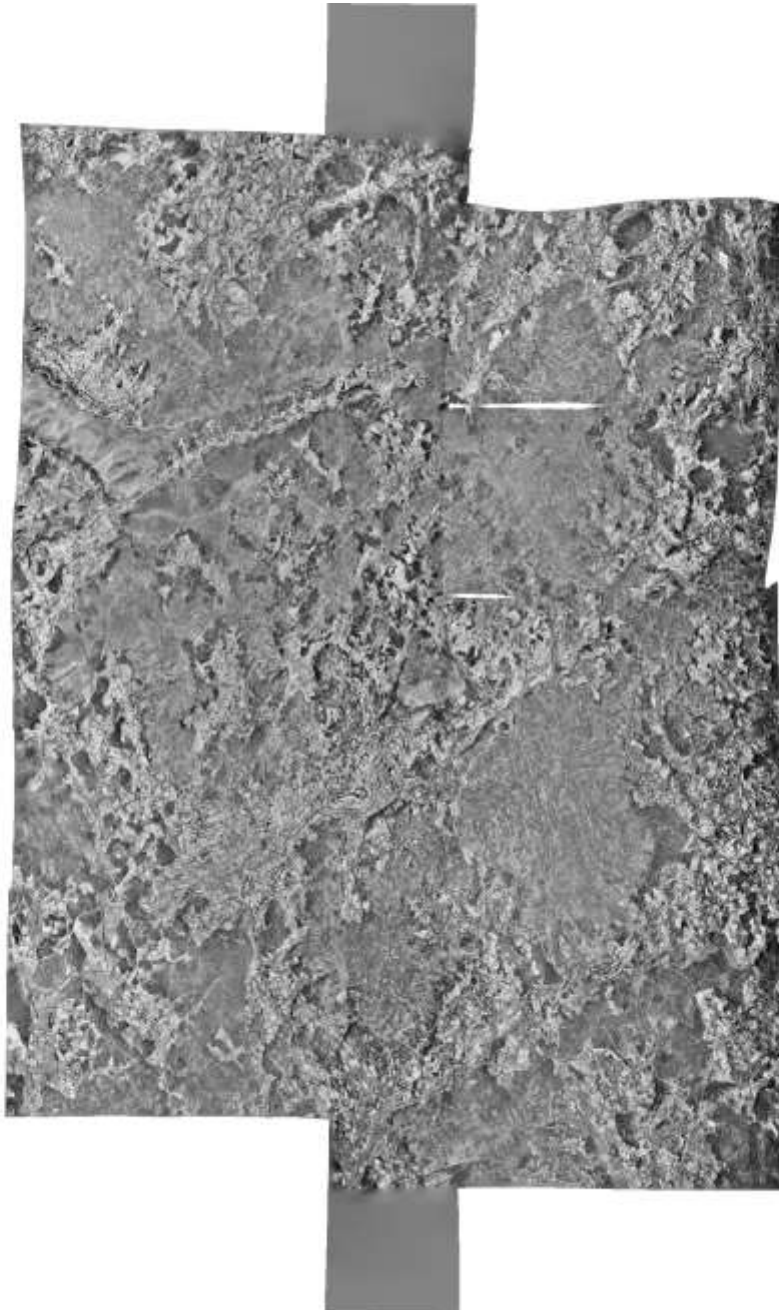
Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 1.02001 m/pix
Point density: 0.961142 points per sq m

Anexo 4

Agisoft PhotoScan

Processing Report
25 March 2015



Survey Data

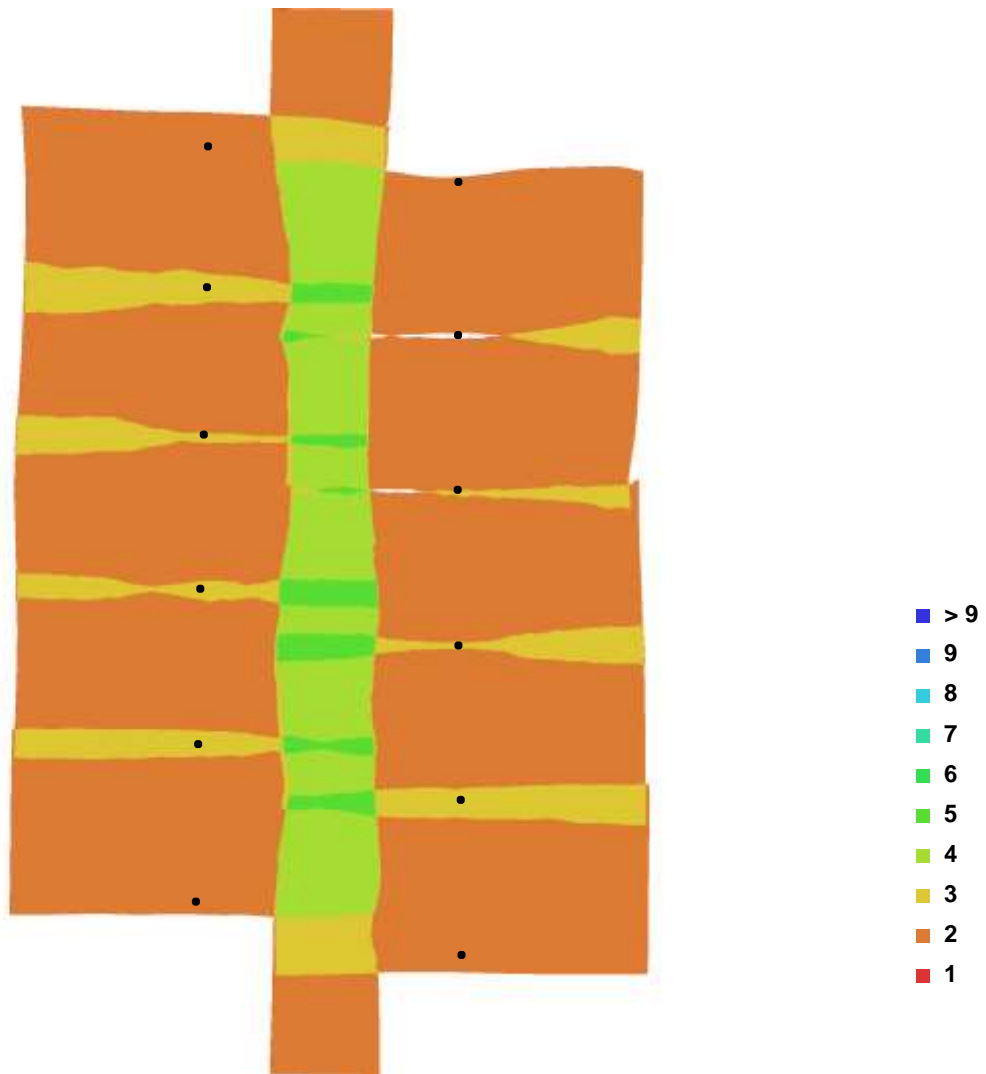


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	12	Camera stations:	12
Flying altitude:	4683.1 m	Tie-points:	66558
Ground resolution:	0.54695 m/pix	Projections:	136735
Coverage area:	147.315 sq km	Error:	0.982972 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
unknown	10780 x 10010	unknown	unknown	No

Table. 1. Cameras.

Camera Locations

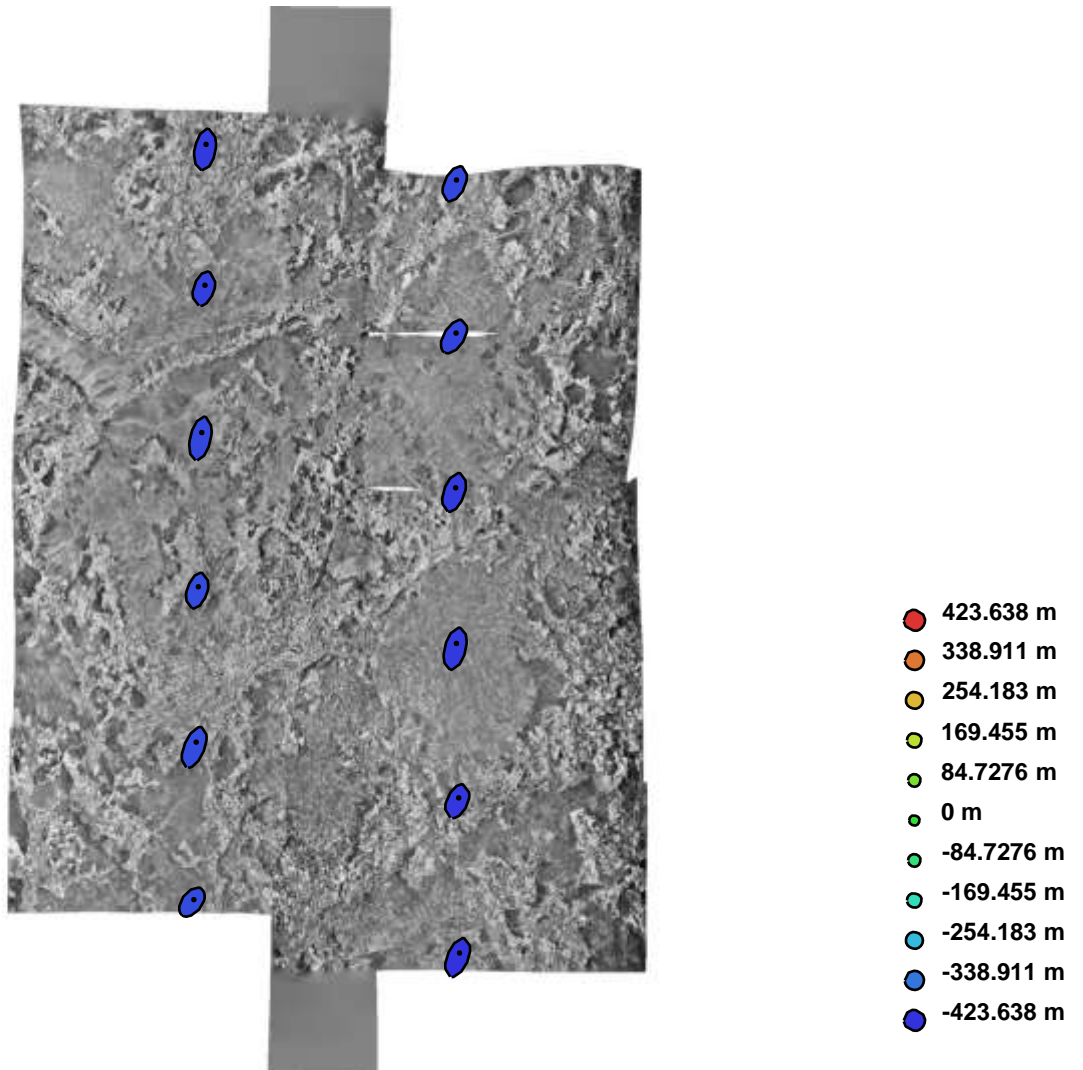


Fig. 2. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total error (m)
51.698759	145.821125	407.678555	436.048582

Table. 2. Average camera location error.

Ground Control Points

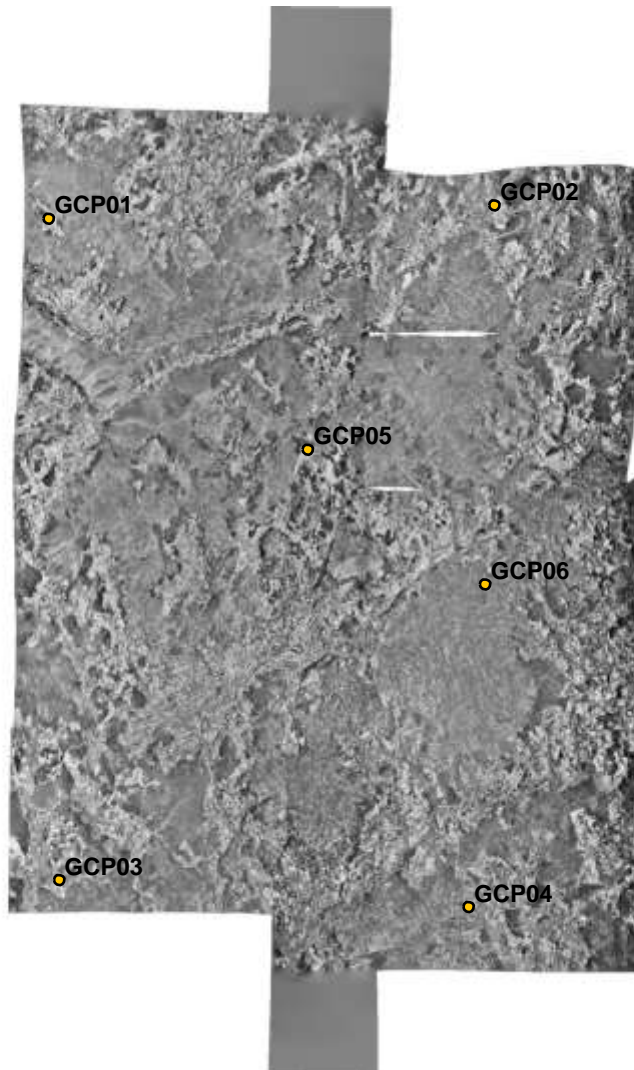


Fig. 3. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
GCP01	2.204536	1.358964	-1.969416	3.253515	2	1.158321
GCP02	-1.878078	5.190191	-7.905426	9.641629	2	0.253133
GCP03	1.056609	-5.749425	-1.650418	6.074224	2	0.901776
GCP04	-4.151420	-1.522265	-13.120561	13.845602	2	0.839427
GCP05	2.984914	-0.690140	5.844159	6.598500	4	1.072866
GCP06	-2.381769	0.282143	-6.594480	7.017093	2	0.095726
Total	2.624259	3.284152	7.290276	8.415492	14	0.864776

Table. 3. Control points.

Digital Elevation Model

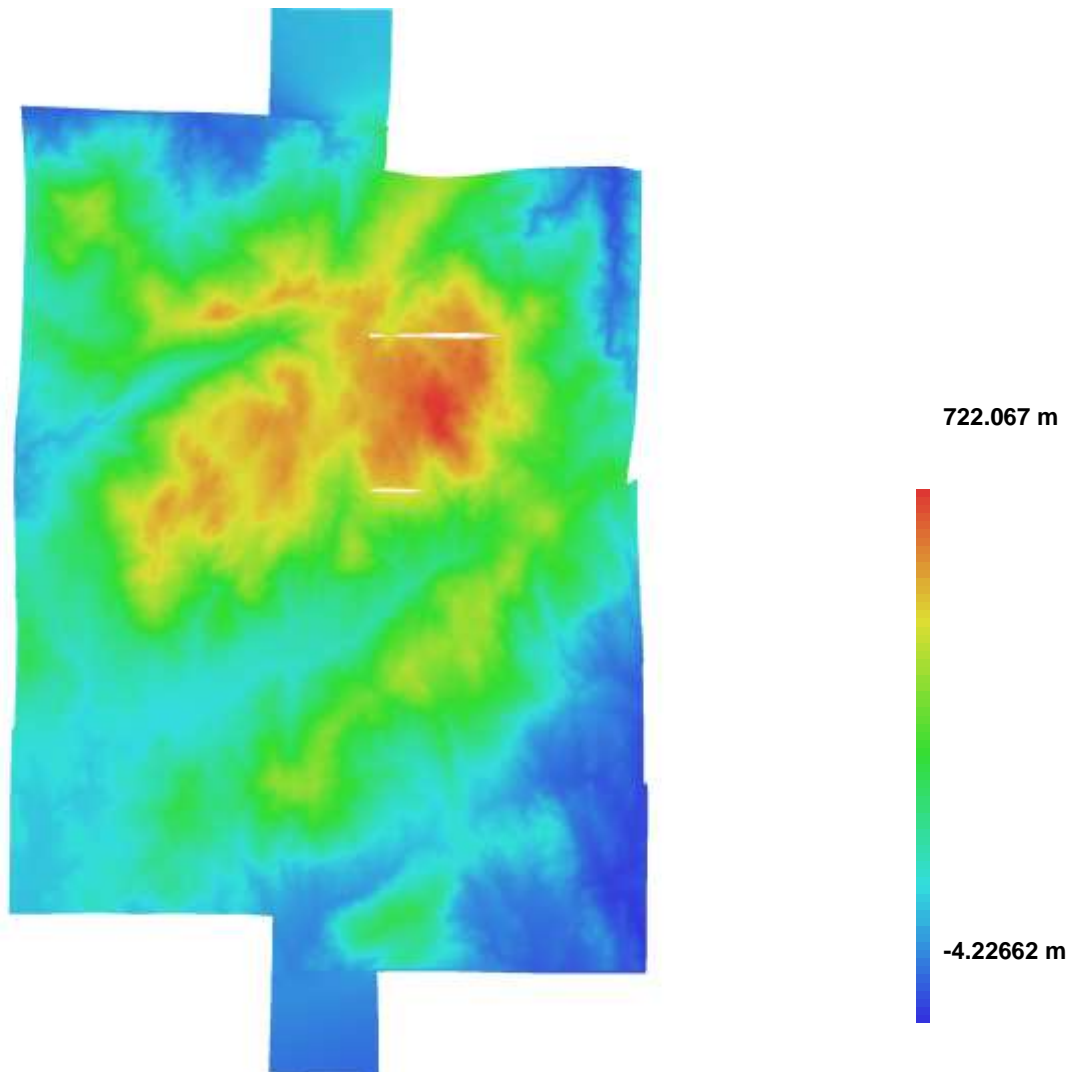


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 1.0939 m/pix
Point density: 0.835689 points per sq m

Anexo 5

Agisoft PhotoScan

Processing Report
25 March 2015



Survey Data

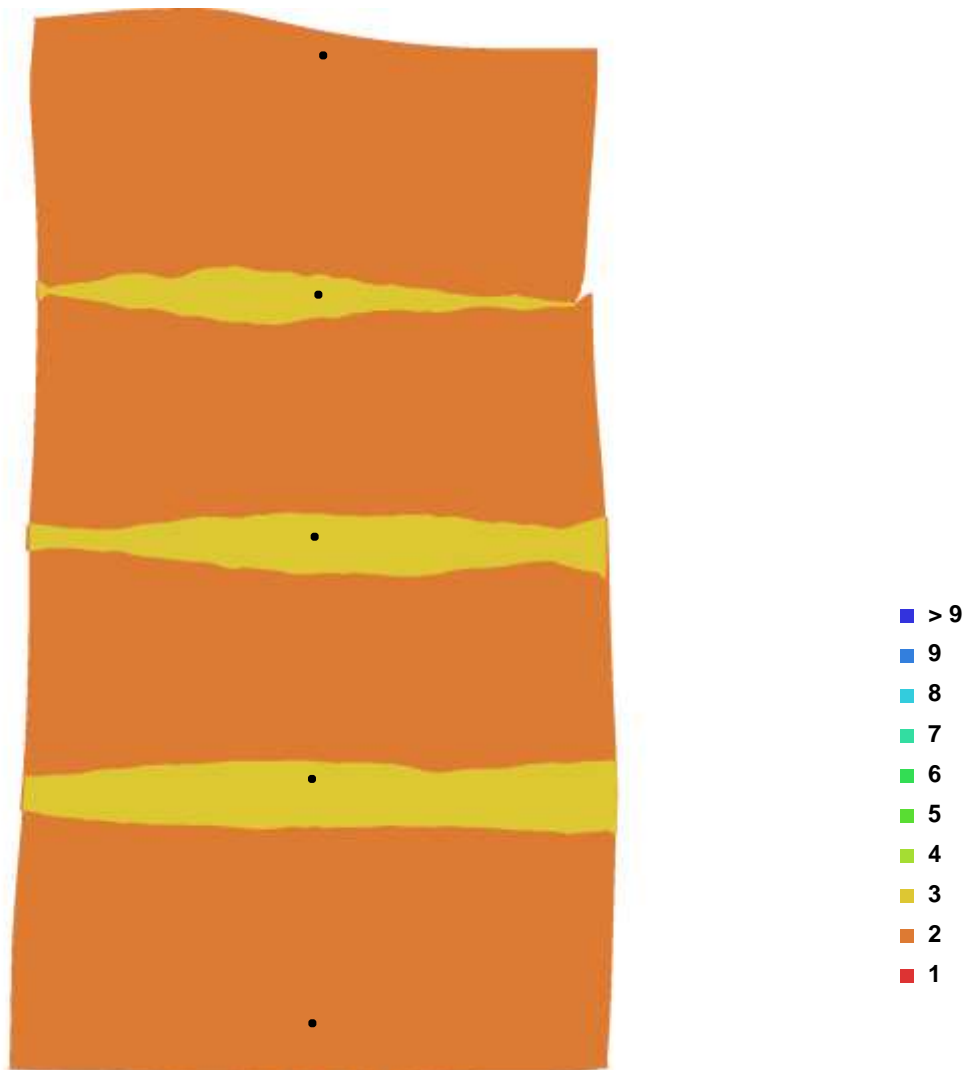


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	5	Camera stations:	5
Flying altitude:	4912.59 m	Tie-points:	24589
Ground resolution:	0.589955 m/pix	Projections:	50153
Coverage area:	71.8888 sq km	Error:	0.952666 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
unknown	10780 x 10010	unknown	unknown	No

Table. 1. Cameras.

Camera Locations

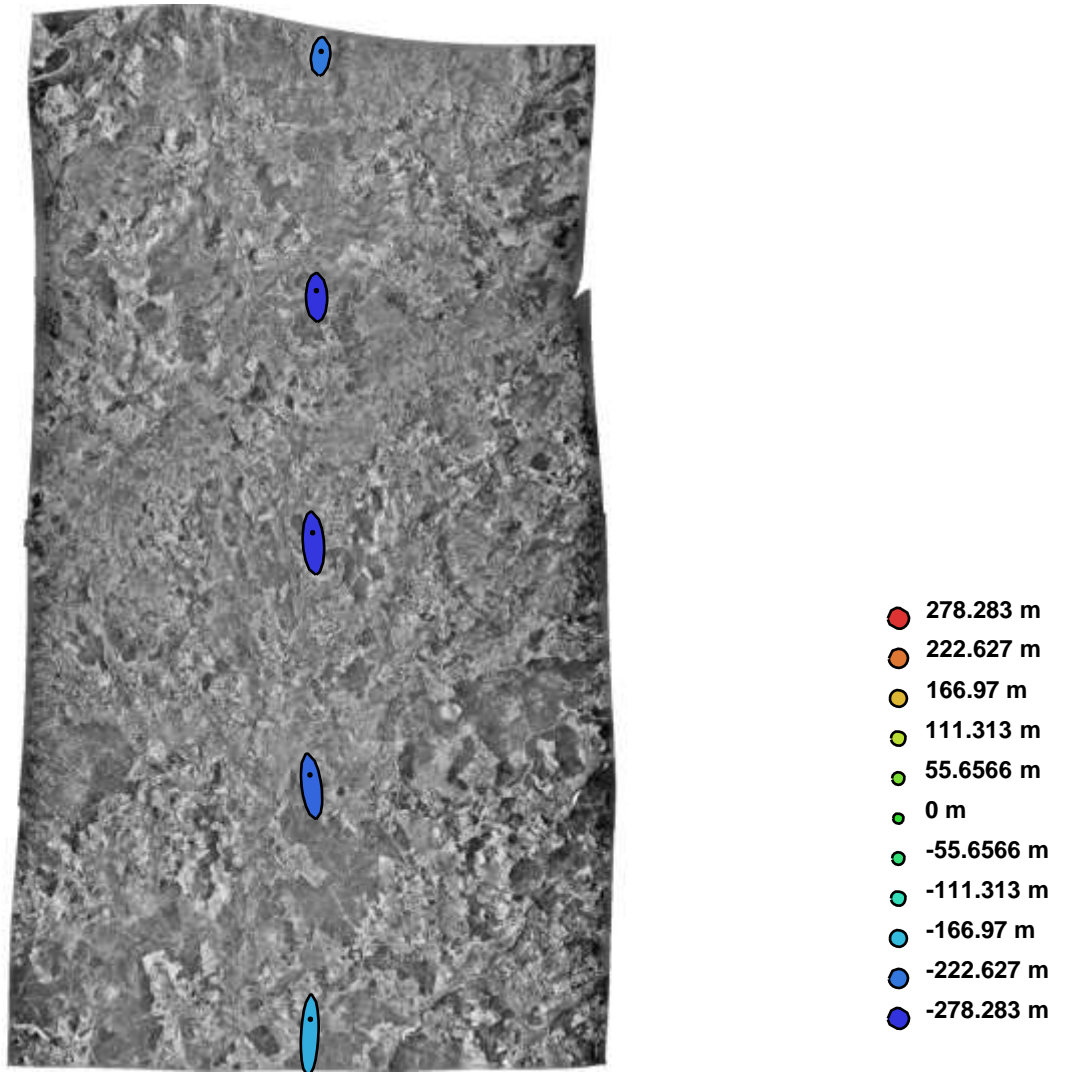


Fig. 2. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total error (m)
19.455491	234.352517	241.940500	337.394167

Table. 2. Average camera location error.

Ground Control Points

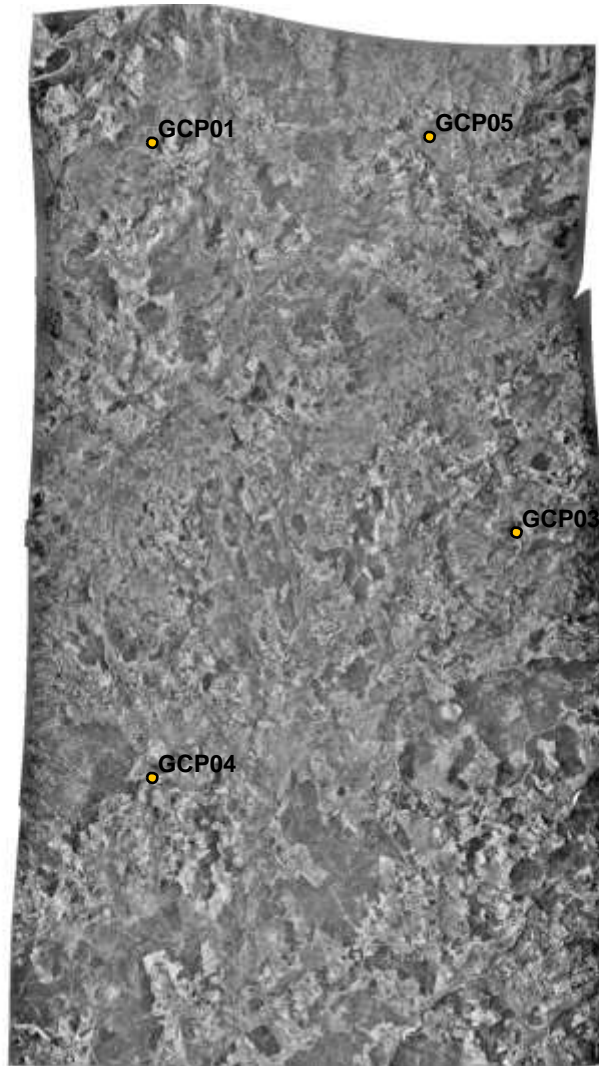


Fig. 3. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
GCP01	1.440062	1.116971	0.379486	1.861562	2	0.025698
GCP03	0.724037	5.924862	-1.070837	6.064232	3	0.698496
GCP04	-3.389244	-3.519514	-3.053221	5.761606	3	0.949068
GCP05	-0.611229	-5.731669	6.828647	8.936221	2	0.325903
Total	1.901222	4.516376	3.782964	6.190567	10	0.661788

Table. 3. Control points.

Digital Elevation Model

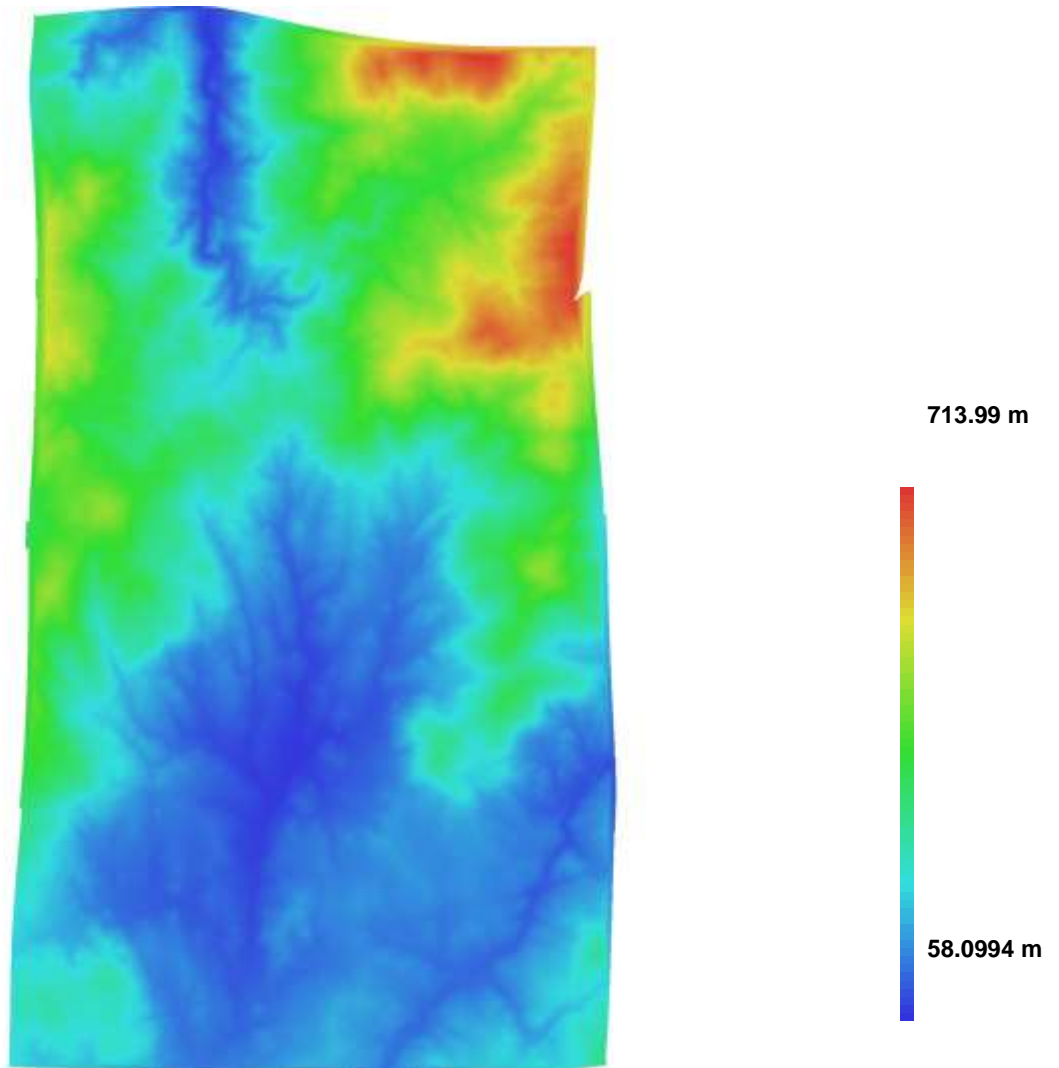


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 1.17991 m/pix
Point density: 0.718295 points per sq m

Anexo 6

Agisoft PhotoScan

Processing Report
25 March 2015



Survey Data

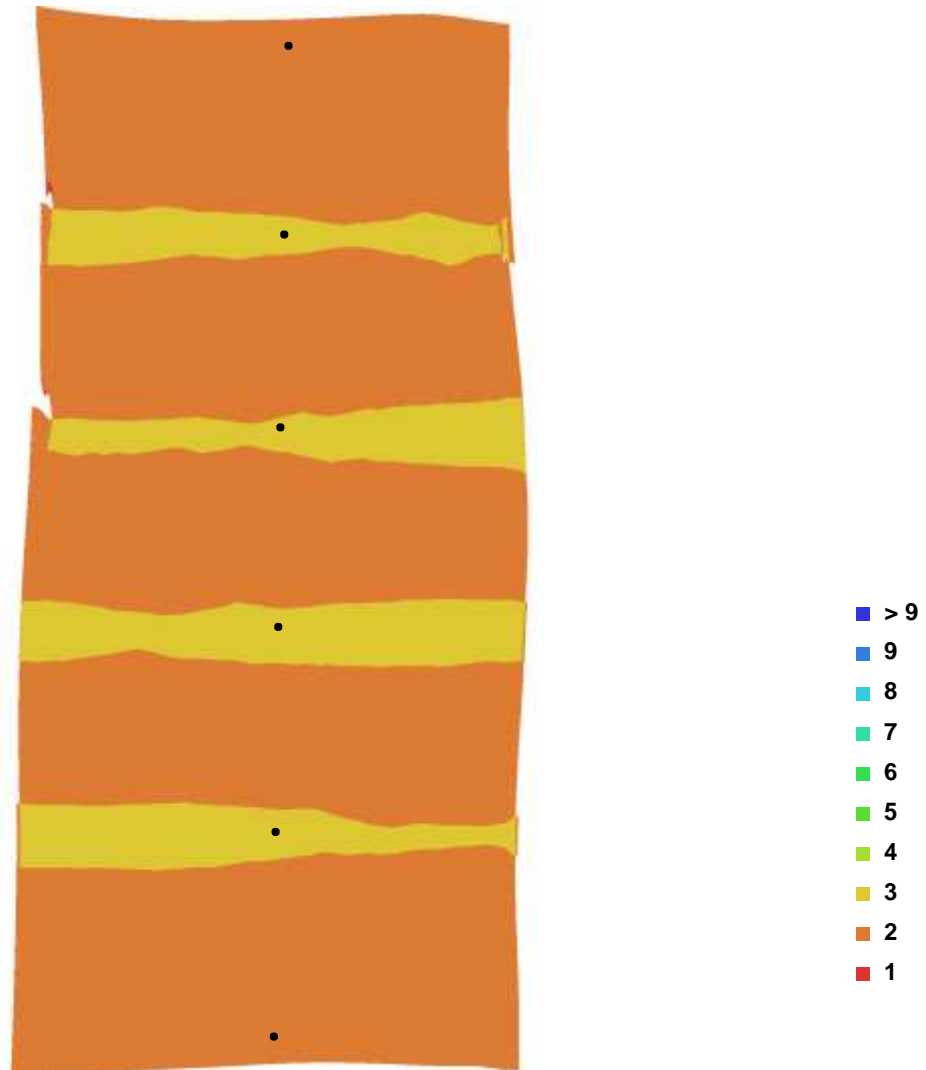


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	6	Camera stations:	6
Flying altitude:	4755.7 m	Tie-points:	29644
Ground resolution:	0.581917 m/pix	Projections:	60952
Coverage area:	88.4655 sq km	Error:	0.998301 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
unknown	10780 x 10010	unknown	unknown	No

Table. 1. Cameras.

Camera Locations

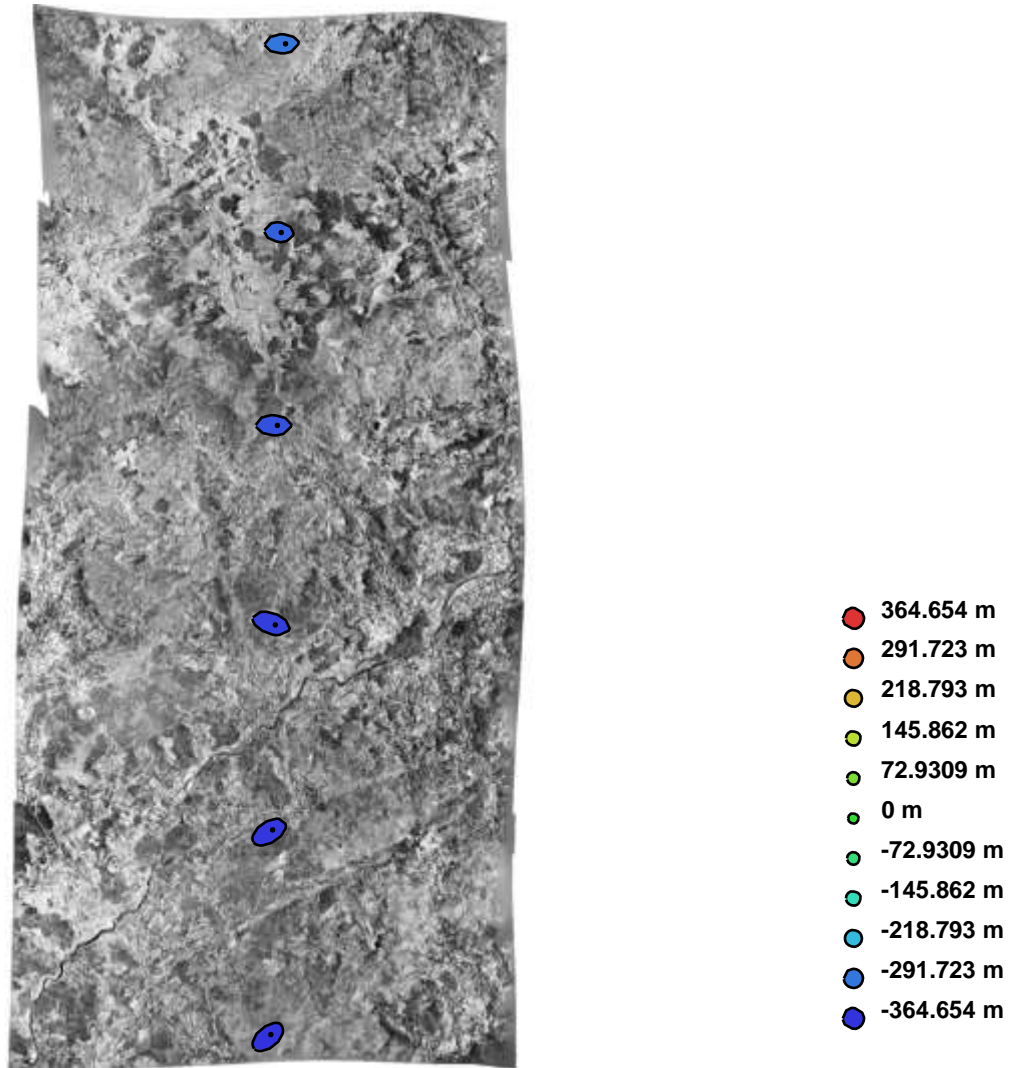


Fig. 2. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total error (m)
90.241198	37.927373	339.235300	353.075839

Table. 2. Average camera location error.

Ground Control Points

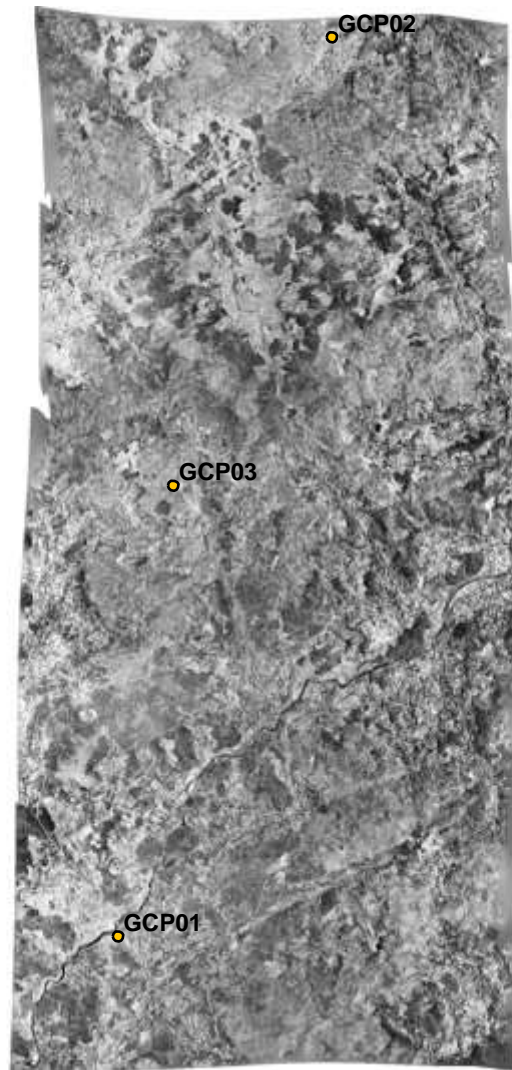


Fig. 3. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
GCP01	-6.234977	1.183866	-3.983978	7.493234	2	0.044992
GCP02	-4.921007	-2.132571	11.915823	13.067173	2	0.576833
GCP03	7.125617	-2.992282	1.126003	7.809997	2	1.122115
Total	6.160781	2.228838	7.283012	9.796183	6	0.728904

Table. 3. Control points.

Digital Elevation Model

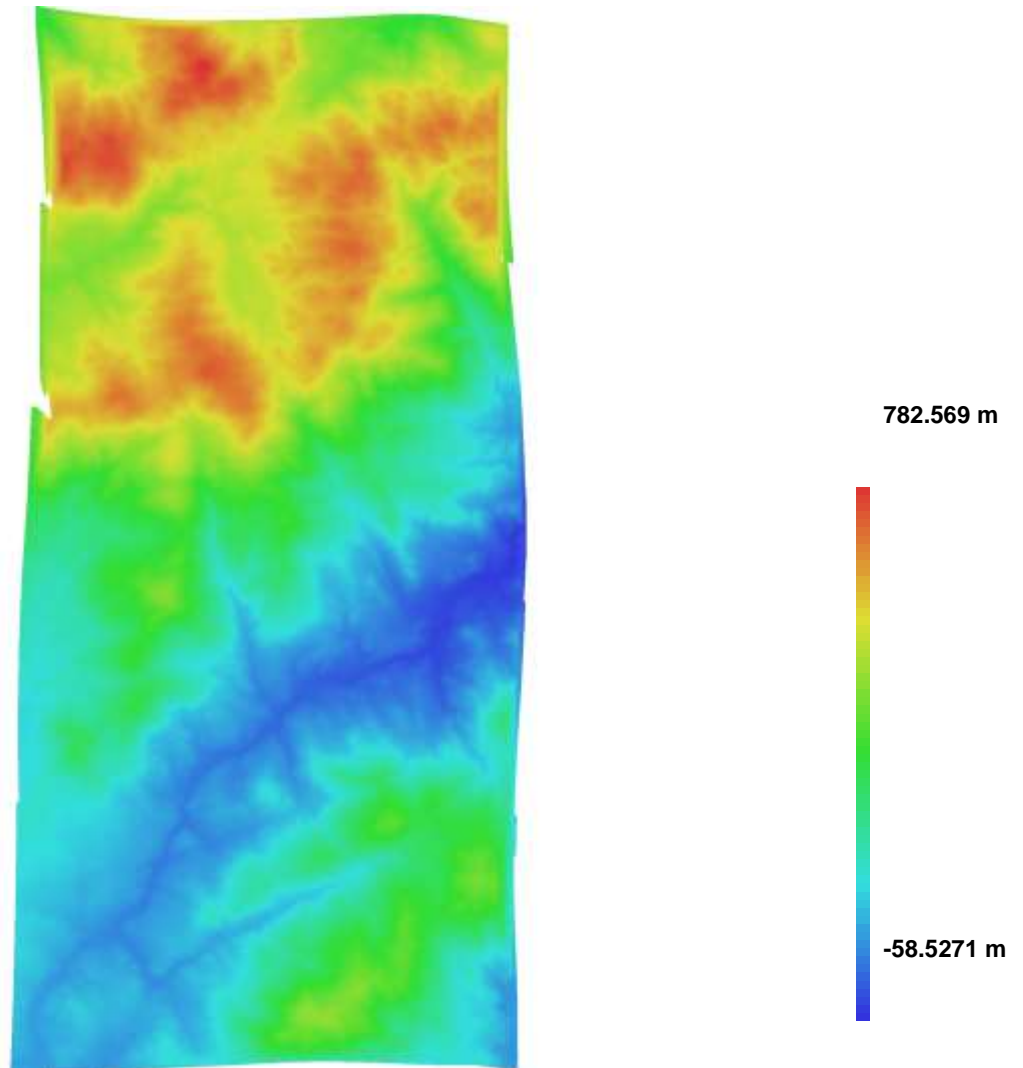


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 1.16383 m/pix
Point density: 0.738275 points per sq m