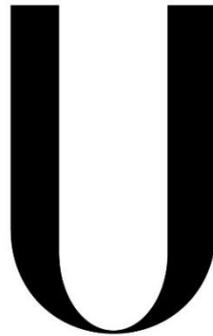


Universidade de Lisboa  
Faculdade de Ciências  
Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia



**LISBOA**

---

UNIVERSIDADE  
DE LISBOA

# **Estudo dos requisitos mínimos para a elaboração de ortoimagens com exatidão de 1.25 m**

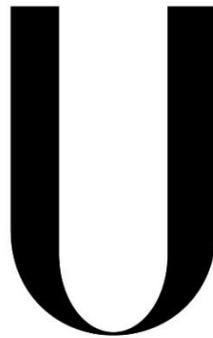
**Sara Raquel Ferreira Tomaz**

Projeto

Mestrado em Engenharia Geográfica

**2014**

Universidade de Lisboa  
Faculdade de Ciências  
Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia



**LISBOA**

---

UNIVERSIDADE  
DE LISBOA

## **Estudo dos requisitos mínimos para a elaboração de ortoimagens com exatidão de 1.25 m**

**Sara Raquel Ferreira Tomaz**

Projeto  
Mestrado em Engenharia Geográfica

Orientadores: Prof. Dr. João Catalão Fernandes  
Eng<sup>a</sup> Célia Marise Ferreira de Sousa

**2014**

## Resumo

---

Este documento descreve o projeto desenvolvido ao longo do estágio concretizado no Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas (IFAP), que decorreu ao longo do 2º semestre do ano letivo 2013/2014.

O IFAP tem como objetivo proceder à validação e ao pagamento decorrente do financiamento da aplicação de diversas medidas definidas a nível nacional e comunitário, no âmbito da agricultura e desenvolvimento rural. Para uma gestão controlada das ajudas no âmbito da Política Agrícola Comum (PAC) é utilizado um sistema de informação geográfica chamado Sistema de Identificação de Parcelas (SIP) que deve ser mantido atualizado e de acordo com as exigências da regulamentação comunitária.

No âmbito da PAC foram publicados no passado dia 20 de Dezembro de 2013 novos critérios referentes ao SIP, incluindo a necessidade da atualização das ortoimagens de modo a garantirem um nível de exatidão que seja pelo menos equivalente ao da cartografia à escala de 1:10000 e, a partir de 2016, à escala de 1:5000. A exatidão planimétrica relativa à escala 1:5000 é definida pelo Joint Research Centre (JRC) e corresponde a 1.25 metros.

O objetivo deste projeto é compreender quais os requisitos mínimos necessários para garantir os novos valores de exatidão. Para atender a esse objetivo foram realizadas duas tarefas: uma simulação MATLAB, para testar a influência da exatidão altimétrica dos DEM's utilizados durante o ortoprocessamento na exatidão planimétrica final das ortoimagens, e a ortorretificação digital de vários blocos de imagens, com dois GSD's distintos (0.50m e 0.24m) e em zonas com diferentes relevos (urbano, serra e floresta). Para o efeito foi utilizado o DTM com espaçamento de 20 metros usado atualmente pelo IFAP para verificar a possibilidade do seu reaproveitamento e vários outros DSM's gerados a partir de correlação automática de imagens com espaçamentos de 10, 5 e 2.5 metros.

Face aos requisitos da JRC para o espaçamento máximo recomendado, de 20 vezes o GSD (10 metros) do DEM utilizado, a hipótese de reutilização do DTM de 20 metros fica automaticamente anulada, mesmo que em alguns casos consiga gerar ortoimagens com precisões inferiores a 1.25 metros.

Os resultados do processo de ortorretificação com os modelos digitais de superfície, mostraram que apenas o DSM com espaçamento de 5 metros está apto a responder às exigências da PAC em todos os casos de estudo.

Posto isto, a solução de requisitos mínimos apresentada para a elaboração de ortoimagens de acordo com as exigências da nova PAC para 2016, passa pelo reaproveitamento das imagens originais de 2012 com um GSD de 0.50 metros, a partir das quais se deve gerar um novo DSM com espaçamento igual ou inferior a 5 metros e ortorretificar as imagens com esse mesmo modelo digital de superfície.

## Abstract

---

This document describes the project developed over the internship at Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas (IFAP), which took place over the 2nd half of the school year 2013/2014.

The IFAP aims to proceed with the validation and payment resulting from financing the implementation of various measures, defined at national and community level, in the agriculture and rural development. A geographic information system called Sistema de Identificação de Parcelas (SIP) is used to assure a controlled management of the aids provided under the Common Agricultural Policy (CAP), that must be maintained and updated in accordance with the requirements of community rules.

On 20th December of 2013, under the CAP, new criteria was published regarding SIP, including the need to update the orthoimagery to guarantee an accuracy that is at least equivalent to the cartography at scale 1:10000, and in 2016, at scale 1:5000. The planimetric accuracy of the scale 1:5000 is defined by the Joint Research Centre (JRC) and corresponds to 1.25m.

The objective of this project is to understand what are the minimum requirements to ensure the new values of accuracy. To meet this goal two tasks were performed. The first was a MATLAB simulation to test the influence of altimetric accuracy of the DEMs used during the orthorectification in the final orthoimagery planimetric accuracy; and the second was a digital orthorectification of several blocks of images, with two distinct GSDs (0.50m and 0.24m) and in areas with different landscapes (urban, mountain and forest). For this purpose a DSM with spacing of 20m was used, which is currently used by IFAP, in order to verify the possibility of their reuse, and several other DSMs generated from automatic correlation of images with spacings of 10m, 5m and 2.5m.

The requirement of the JRC of the maximum recommended spacing is 20 times the GSD (10m) of the DEM used, so the hypothesis of reusing the 20m DTM is automatically rejected, even if in some cases it can generate orthoimages with lower accuracies than 1.25m.

The results of the orthorectification process with digital surface models, showed that only the DSM with a spacing of 5 meters is responsive to the requirements of the CAP in all case studies.

It was found that the minimum requirements solution presented for the preparation of orthoimages in accordance with the requirements of the new CAP in 2016, is the one that reuses the original images of 2012 with a GSD of 0.50m. From this, it must generate a new DSM with a spacing equal or less than 5m and orthorectify images with the same digital surface model.

## Agradecimentos

---

Este trabalho marca o final da minha vida académica, foram seis anos de experiências, de aprendizagens, de preparação para o futuro, anos que não teriam sido possíveis sem o apoio incondicional dos meus pais, por isso o meu primeiro e maior agradecimento vai para eles, que sempre tornaram tudo possível.

Um enorme obrigada à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, nomeadamente a todos os docentes de Engenharia Geográfica que fizeram parte da minha formação. Um apreço especial ao Prof. Doutor João Catalão, por tornar o estágio no IFAP possível, pela sua orientação, apoio e empenho ao longo de todo o processo.

Ao IFAP e a todos com quem tive possibilidade de interagir durante o estágio, quero agradecer pela simpatia com que me receberam e me integraram. Em particular à Eng<sup>a</sup> Célia Sousa pela coorientação dentro do IFAP e ao João Correia pela permanente disponibilidade em ajudar, foi uma ajuda essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos que me acompanharam ao longo de todos estes anos, que me ajudaram, motivaram, àqueles com quem partilhei incontáveis gargalhadas, Quintela, Dário, Secundino, Dida, Ana, Patrícia, obrigada!

## Índice

---

1. Introdução.....	13
1.1. Enquadramento.....	13
1.2. Objetivos .....	14
1.3. Organização do trabalho .....	15
2. Fundamentos Teóricos.....	16
2.1. Aquisição de imagens.....	16
2.2. Orientações Fotogramétricas.....	17
2.2.1. Orientação Interna .....	17
2.2.2. Orientação Externa.....	18
2.2.2.1. Matriz de rotação espacial (R).....	19
2.2.2.2. Equações de colinearidade.....	19
2.2.2.3. Sistema GPS/IMU .....	20
2.3. Aerotriangulação.....	21
2.4. Modelo Digital de Elevação (DEM).....	21
2.4.1. Geração do DEM .....	22
2.4.1.1. Recolha da amostra primária .....	22
2.4.1.2. Estruturação dos dados.....	23
2.4.1.3. Interpolação de cotas.....	24
2.5. Ortoretificação.....	24
2.6. Tolerâncias para o orto processamento de imagens .....	25
3. Metodologia .....	27
3.1. Software utilizado .....	27
3.2. Área de estudo .....	27
3.3. Fonte de dados.....	29
3.3.1. Bloco 1.....	29
3.3.2. Bloco 2.....	30
3.3.3. Bloco 3 – Bloco de serra .....	31
3.3.4. Bloco 4 – Bloco de floresta.....	32
3.4. Sistema de coordenadas .....	33
3.5. Modelo digital de superfície (DSM).....	33
3.6. Procedimentos .....	34
3.6.1. Reescalamento radiométrico.....	35
3.6.2. Definição do projeto.....	35

3.6.3.	Orientação Interna .....	37
3.6.4.	Orientação Externa.....	37
3.6.5.	Recolha de Tie Points .....	38
3.6.6.	Aerotriangulação.....	39
3.6.6.1.	Relatório de aerotriangulação.....	40
3.6.7.	Modelos Digitais de Superfície (DSM's) .....	41
3.6.8.	Ortoimagens.....	43
3.6.8.	Junção de ortimagens .....	43
4.	Resultados e análise de resultados .....	45
4.1.	Simulação da influência do DEM na exatidão final das ortimagens .....	45
4.2.	Avaliação da exatidão altimétrica dos DEM's .....	47
4.3.	Avaliação da exatidão planimétrica das ortimagens .....	51
5.	Conclusões.....	55
6.	Referências Bibliográficas .....	57

## **Lista de Anexos**

---

Anexo A - Esquemas de voo .....	60
Anexo B – Orientações externas dos blocos de imagens.....	64
Anexo C – Script Matlab.....	68
Anexo D – Ficheiro de entrada e resultados da simulação .....	70
Anexo E – DEMS .....	72
Anexo F – Ortoimagens.....	87

## Lista de figuras

---

Figura 1 - Exemplo de esquema de voo .....	16
Figura 2 – Elementos da orientação interna .....	17
Figura 3 - Elementos da orientação externa .....	18
Figura 4 - Diferença entre DTM e DSM .....	22
Figura 5 - Modelo TIN.....	23
Figura 6 - Modelo Grid .....	23
Figura 7 - Enquadramento a nível nacional do concelho de Paredes (a vermelho) .....	27
Figura 8 - Enquadramento da zona de estudo (retângulo vermelho) no concelho de Paredes.	27
Figura 9 - Enquadramento da carta 224.....	28
Figura 10 - Enquadramento da carta 273 .....	28
Figura 11 - Direções fotográficas.....	36
Figura 12- Projeto LPS .....	36
Figura 13 - Bloco de imagens, OE em stand-by.....	37
Figura 14 - Resultado gráfico da aerotriangulação .....	41
Figura 15 - Detalhe dos DEM's de Paredes (GSD 0.50m). Espaçamentos de 20, 10, 5 e 2,5 metros, por esta ordem, da esquerda para a direita. ....	48
Figura 16 - Detalhe dos DEM's de Paredes (GSD 0.24m). Espaçamentos de 20, 10, 5 e 2,5 metros, por esta ordem, da esquerda para a direita. ....	49
Figura 17 - Detalhe dos DEM's de serra (GSD 0.50m). Espaçamentos de 20, 10, 5 e 2,5 metros, por esta ordem, da esquerda para a direita .....	49
Figura 18 - Detalhe dos DEM's de floresta (GSD 0.50m). Espaçamentos de 20, 10, 5 e 2,5 metros, por esta ordem, da esquerda para a direita .....	50

## Lista de tabelas

---

Tabela 1 - Tolerâncias recomendadas para o orto processamento.....	25
Tabela 2 - Especificações de voo do bloco 1 .....	29
Tabela 3 - Fotos utilizadas no bloco 1 .....	30
Tabela 4 - Câmara utilizada no bloco 1 .....	30
Tabela 5 - Especificações de voo do bloco 2 .....	30
Tabela 6 - Fotos utilizadas no bloco 2 .....	31
Tabela 7 - Câmara utilizada no bloco 2 .....	31
Tabela 8 - Especificações de voo do bloco 3 .....	31
Tabela 9 - Fotos utilizadas no bloco 3 .....	32
Tabela 10 - Especificações de voo do bloco 4 .....	32
Tabela 11 - Fotos utilizadas no bloco 4 .....	32
Tabela 12 - Parâmetros do sistema PT-TM06/ETRS89.....	33
Tabela 13 - Espaçamento dos DSM .....	33
Tabela 14 - Parâmetros utilizados na recolha automática de Tie Points .....	39
Tabela 15 - EMQ total da aerotriangulação .....	40
Tabela 16 - Estratégias usadas para cada DSM.....	43
Tabela 17 - Avaliação da exatidão altimétrica dos DEM's.....	47
Tabela 18 - Avaliação da exatidão planimétrica das ortoimagens.....	51

## Lista de Gráficos

---

Gráfico 1 – Evolução da exatidão planimétrica da ortoimagem (eixo EMQ <sub>T</sub> ) com o incremento de erros no DEM.. .....	46
Gráfico 2 - EMQ, zona de Paredes, GSD 0.50m.....	52
Gráfico 3 - EMQ, zona de Paredes, GSD 0.24m.....	53
Gráfico 4 - EMQ, zona de Serra, GSD 0.50m .....	53
Gráfico 5 - EMQ, zona de floresta, GSD 0.50m .....	54

## Lista de abreviaturas

---

<b>ASPRS</b>	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
<b>DEM/DEM</b>	Modelo Digital de Elevação
<b>DSM/DSM</b>	Modelo Digital de Superfície
<b>DTM/DTM</b>	Modelo Digital de Terreno
<b>ECOL</b>	Equações de colinearidade
<b>EU/UE</b>	União Europeia
<b>FEADER</b>	Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural
<b>FEAGA</b>	Fundo Europeu Agrícola de Garantia
<b>FEP</b>	Fundo Europeu das Pescas
<b>GB</b>	Gigabyte
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GSD</b>	Ground Sample Distance
<b>IES</b>	Institute for Environment and Sustainability
<b>IFADAP</b>	Instituto de Financiamento e Apoio ao Desenvolvimento da Agricultura e Pescas
<b>IFAP</b>	Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas
<b>IMU</b>	Inertial Measurement Unit
<b>INGA</b>	Instituto Nacional de Intervenção e Garantia Agrícola
<b>ISPRS</b>	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
<b>JRC</b>	Joint Research Centre
<b>LPS</b>	Leica Photogrammetry Suite
<b>OE</b>	Orientação Externa
<b>OI</b>	Orientação Interna
<b>PAC</b>	Política Agrícola Comum
<b>MARS</b>	Monitoring Agricultural Resources
<b>MMQ</b>	Método Mínimos Quadrados
<b>NIR</b>	Número inteiro relativo
<b>EMQ/EMQ</b>	Erro médio quadrático
<b>SIGC</b>	Sistema Integrado de Gestão e Controlo
<b>SIP</b>	Sistema de Identificação de Parcelas

## 1. Introdução

---

### 1.1. Enquadramento

Este documento descreve o trabalho desenvolvido ao longo do estágio concretizado no Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas (IFAP), que decorreu ao longo do 2º semestre do ano letivo 2013/2014.

O IFAP é um instituto público de regime especial, integrado na administração indireta do Estado, com autonomia administrativa, financeira e com património próprio e nasce com a extinção do Instituto de Financiamento e Apoio ao Desenvolvimento da Agricultura e Pescas (IFADAP) e do Instituto Nacional de Intervenção e Garantia Agrícola (INGA).

A missão do instituto é proceder à validação e ao pagamento decorrente do financiamento da aplicação de diversas medidas definidas a nível nacional e comunitário, no âmbito da agricultura, desenvolvimento rural, pescas e setores conexos, bem como propor as políticas e estratégias de tecnologias de informação e comunicação no âmbito da agricultura e pescas. Para o cumprimento da sua missão o IFAP encarrega-se de: garantir o funcionamento dos sistemas de apoio e de ajudas diretas nacionais e comunitárias e a aplicação a nível nacional, das regras comuns para os regimes de apoio direto no âmbito da política agrícola comum (PAC); garantir o cumprimento da função de organismo pagador do Fundo Europeu Agrícola de Garantia (FEAGA) e do Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural (FEADER); garantir o cumprimento da função de autoridade de certificação no âmbito do Fundo Europeu das Pescas (FEP), bem como de organismo intermédio na aceção do Reg. (CE) n.º 1198/2006, de 27 de julho de 2006; executar a política estratégica na área das tecnologias de informação e comunicação, para o setor da agricultura e pescas, assegurando a construção, gestão e operação das infraestruturas na respetiva área de atuação; apoiar o desenvolvimento da agricultura e das pescas, bem como do setor agroalimentar, através de sistemas de financiamento direto e indireto.

Para assegurar a execução eficaz de todas as suas atribuições existe o Sistema Integrado de Gestão e Controlo (SIGC), que atualmente inclui uma base de dados informatizada, um sistema de identificação de parcelas (SIP), um sistema de identificação e registo dos direitos ao pagamento, pedido único, um sistema integrado de controlo e um sistema único de registo de identidade dos agricultores.

O Sistema de Identificação de Parcelas (SIP), é um sistema de informação geográfica que constitui uma componente fundamental na gestão das ajudas no âmbito da Política Agrícola Comum e é baseado num número único associado a cada elemento da exploração agrícola (parcela, prédio, grupo de parcelas e/ou prédios), de modo a permitir a referenciação geográfica das explorações agrícolas de forma unificada e coerente e a identificação dos elementos gráficos necessários ao cálculo das Ajudas Comunitárias e para as ações de controlo. Para o seu bom funcionamento toda a informação registada no sistema deve ser correta, atualizada e deve responder às exigências da regulamentação comunitária. [IFAP, I.P., 2014].

No âmbito da Reforma da Política Agrícola Comum (PAC), foram publicados, no passado dia 20 de Dezembro de 2013, os quatro regulamentos base que refletem o acordo político entre a Comissão Europeia, os ministros da agricultura dos Estados Membros da União Europeia e o Parlamento Europeu. No regulamento (EU) N° 1306/2013, relativo ao financiamento, à gestão e ao acompanhamento da Política Agrícola Comum, artigo 70° referente ao Sistema de Identificação de Parcelas, ponto 1, vem que: “O sistema de identificação de parcelas agrícolas é estabelecido com base em mapas, documentos cadastrais ou outras referências cartográficas. São utilizadas técnicas empregadas nos sistemas informatizados de informação geográfica, incluindo orto-imagens aéreas ou espaciais, com um padrão homogéneo que garante um nível de exatidão que seja pelo menos equivalente ao da cartografia à escala de 1:10000 e, a partir de 2016, à escala de 1:5000, tendo em conta o formato e a condição da parcela. Tal é estabelecido em conformidade com os padrões existentes da União” [Regulamento (EU) N° 1306/2013 de 17 de dezembro de 2013. Jornal Oficial da União Europeia - L 347/549].

As exatidões das ortoimagens a serem utilizadas no SIP estão estabelecidas pela unidade MARS (Monitoring Agricultural Resources), do IES (Institute for Environment and Sustainability) que é um dos sete institutos do European Commission’s Joint Research Centre (JRC) tendo como objetivo prestar apoio técnico e científico a políticas da união europeia para a proteção do ambiente europeu e mundial, e podem ser consultadas no documento *Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy*, tabela 4, sendo de 2.50m EMQ para a escala 1/10000 e de 1.25m EMQ para a escala 1/5000.

Atualmente o IFAP utiliza ortoimagens com exatidão de 2.5 metros, correspondentes a ortoimagens com um GSD (Ground Sample Distance) de 50 centímetros (associado à escala 1/10000), sendo portanto necessário planear a atualização das ortoimagens utilizadas no SIP, de modo a garantir as exigências da nova PAC.

## **1.2. Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo fazer um estudo dos requisitos mínimos para a elaboração de ortoimagens com exatidão de 1.25 metros, exatidão essa exigida pela nova Política Agrícola Comum e definida pela JRC.

Para compreender quais os requisitos mínimos necessários, vão ser analisados dois parâmetros diretamente relacionados com a exatidão planimétrica das ortoimagens: o GSD das imagens digitais originais e o modelo digital de elevação (DEM) utilizado durante o processo de ortorretificação.

Os GSD’s sujeitos a teste vão ser dois, o de 0.50 metros que está a ser atualmente utilizado e um de 0.24 metros, de modo a concluir se existe necessidade de realizar novo voo para adquirir novas imagens.

A exatidão altimétrica do DEM utilizado no processo de ortorretificação das imagens digitais, está diretamente relacionada com a exatidão planimétrica das ortoimagens, assim sendo vai ser testado o DTM do IGP com espaçamento de 20 m atualmente utilizado, bem

como outros DSM's gerados automaticamente e com espaçamento de acordo com as recomendações da JRC.

Com a análise de todas as combinações de GSD/DEM pretende-se achar a solução mais eficaz para a atualização da informação exigida na nova PAC para 2016.

### **1.3. Organização do trabalho**

Este documento está dividido em cinco capítulos e anexos, os capítulos são referentes a: introdução, fundamentos teóricos, metodologia, resultados e análise de resultados e conclusão.

No primeiro capítulo, referente à introdução, é feito o enquadramento do trabalho, descritos os seus objetivos finais e intermédios e como está estruturado o documento.

Nos fundamentos teóricos, capítulo dois, são descritos os conceitos fundamentais inerentes a todo o processo de ortorretificação digital, desde a aquisição das imagens iniciais, passando pelas orientações fotogramétricas, aerotriangulação, modelos digitais de elevação e os aspetos teóricos da ortorretificação propriamente dita. São ainda apresentados os requisitos e tolerâncias para o ortoprocessamento estabelecidos nos documentos da JRC.

No capítulo três é apresentado o software utilizado para o processamento das ortoimagens bem como todos os passos da componente prática dessa tarefa, incluindo: reescalonamento radiométrico das imagens, definição do projeto, orientação interna (OI) e orientação externa (OE), recolha de Tie Points, processo de aerotriangulação, aquisição automática de modelos digitais de superfície, processo de ortorretificação de imagens e junção de ortoimagens. É ainda definida a área de estudo, fiadas e imagens a utilizar, sistema de coordenadas utilizado e definidos quais os espaçamentos dos DSM's a gerar.

No quarto capítulo são apresentados os resultados e feita a sua análise. A discussão de resultados é feita segundo o parâmetro escolhido, descrito neste mesmo ponto. É também apresentada uma simulação da influência da exatidão altimétrica do DEM na exatidão planimétrica das ortoimagens.

O último capítulo é dedicado às conclusões acerca do trabalho realizado e propostas soluções ao problema apresentado.

Nos anexos são apresentados todos os valores utilizados ao longo do trabalho, bem como todos os valores inerentes à análise da componente prática.

## 2. Fundamentos Teóricos

---

### 2.1. Aquisição de imagens

A aquisição de imagens, mais especificamente, de fotografias aéreas exige um planeamento detalhado e rigoroso, de modo a que se obtenha uma cobertura da zona a levantar que cumpra os requisitos pretendidos. A cobertura aérea é na maioria dos casos composta por um bloco de fotografias, formado por um conjunto de fiadas paralelas com vários pontos de tomada de foto.

Para cada ponto de tomada de foto são encontradas as coordenadas X, Y e altura de voo (acima do terreno). Neste trabalho o sistema de referência coordenado cartográfico (M,P,H) é referido genericamente por (X,Y,Z), em que X,Y correspondem às coordenadas cartográficas e Z à altitude ortométrica H.

A altura de voo (que deve ser mantida ao longo de todo o levantamento) é determinada tendo em conta a distância focal da câmara a ser utilizada e a escala da fotografia, que, por sua vez, deve ser ponderada tendo em conta a relação técnico económica, já que quanto maior a escala, maior o nível de pormenor mas mais caro e moroso se torna todo o processo, desde o levantamento à ortorretificação.

Para achar as coordenadas do ponto de tomada de foto é necessário ter em conta as sobreposições requeridas. Quanto à sobreposição na direção de voo, sobreposição longitudinal, é recomendado o valor percentual mínimo de 60%, ou seja, fotos sucessivas devem ter no mínimo essa percentagem de área em comum. A sobreposição entre fiadas sucessivas, sobreposição lateral, deve ser de 20 a 30% da dimensão da foto na direção perpendicular à do voo.

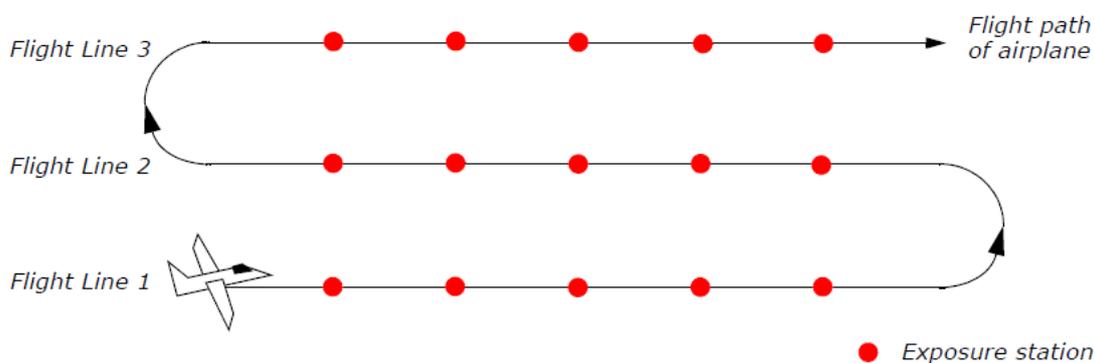


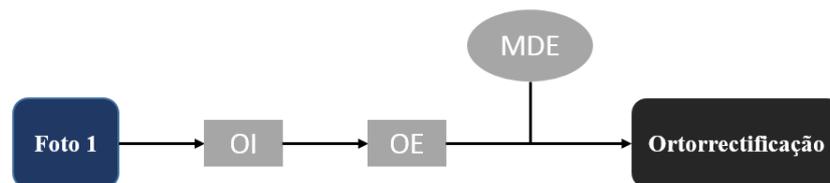
Figura 1 - Exemplo de esquema de voo

Fonte: [IMAGINE OrthoBASE User's Guide, 2002]

## 2.2. Orientações Fotogramétricas

As orientações fotogramétricas definem a relação espacial entre a foto, que se encontra no plano imagem dentro da câmara, e o objeto terreno que está a ser fotografado. São definidas por um dado conjunto de parâmetros que, quando conhecidos, tornam possível recuperar em qualquer altura essa relação espacial possibilitando operações sobre as mesmas imagens.

Para fazer a ortorretificação, o processo usado passa por conhecer a orientação interna e externa de cada fotografia, determinando depois o modelo digital de elevação e gerando por último a ortoimagem pretendida em coordenadas terreno (esquema 1).



Esquema 1 - Processo de ortorretificação

### 2.2.1. Orientação Interna

A orientação interna refere-se à posição do plano imagem dentro da câmara e à definição do feixe perspetivo de raios luminosos que originou a imagem. Os parâmetros que definem estas relações englobam principalmente:

- **Constante da câmara (distância focal -  $f$ ):** distância do nodo posterior ao plano imagem;
- **Coordenadas foto do ponto principal ( $x_0, y_0$ ):** ponto de interseção da linha perpendicular ao centro de perspetiva com o plano imagem;
- **Marcas fiduciais** – câmaras analógicas
- **Distorções do sistema de lentes:** As duas principais distorções a considerar são a distorção radial ( $\Delta r$ ) e a distorção tangencial ( $\Delta t$ ).

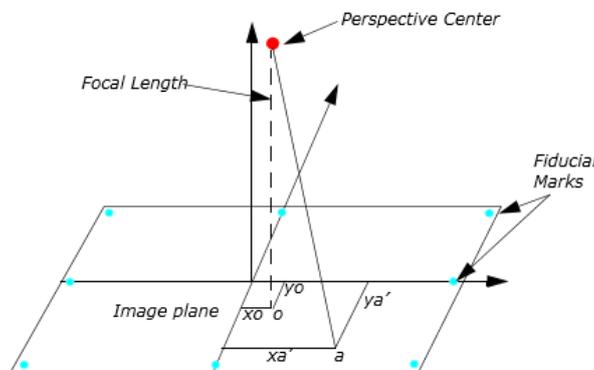


Figura 2 – Elementos da orientação interna  
Fonte: [IMAGINE OrthoBASE User's Guide, 2002]

Estes parâmetros são obtidos através de um processo de calibração e fornecidos em forma de relatório juntamente com as fotografias.

### 2.2.2. Orientação Externa

A orientação externa (OE) refere-se à posição da câmara e à orientação do eixo fotográfico no sistema de referência coordenado (espaço objeto), no momento em que foi obtida a fotografia. A OE engloba dois conjuntos de parâmetros:

- **Coordenadas objeto do centro de projeção da foto ( $X_0, Y_0, Z_0$ );**
- **Orientação do eixo fotográfico ( $\omega, \varphi, \kappa$ ):**  $\omega$  é a rotação no eixo fotográfico  $x$ ,  $\varphi$  no eixo fotográfico  $y$  e  $\kappa$  no eixo fotográfico  $z$ . Existem diferentes convenções definidoras da ordem e direção dos ângulos de rotação [Wang, 1990], a recomendada pelo ISPRS é a  $\omega, \varphi, \kappa$ .

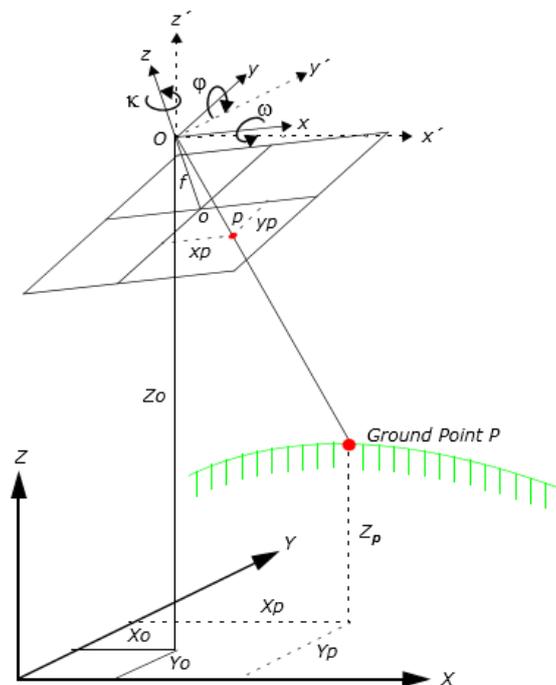


Figura 3 - Elementos da orientação externa  
Fonte: Fonte: [IMAGINE OrthoBASE User's Guide, 2002]

Estes parâmetros podem ser obtidos de método direto ou indireto. São obtidos diretamente em voo através de um sistema GPS/IMU (Global Positioning System/Inertial Measurement Unit) ou indiretamente através das equações de colinearidade.

### 2.2.2.1. Matriz de rotação espacial (R)

A matriz de rotação espacial é uma matriz 3x3 que define a relação entre dois sistemas de coordenadas. Assim sendo, através dos ângulos de rotação  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$  é possível estabelecer a ligação entre o sistema de coordenadas foto e o sistema de coordenadas objeto.

Para a constituição da matriz são efetuadas três rotações sequenciais: uma primeira rotação de magnitude  $\omega$  em torno do eixo x, seguida de uma rotação de magnitude  $\varphi$  em torno do eixo y e por último uma terceira rotação de magnitude  $\kappa$  em torno do eixo z. Cada rotação dá origem a uma matriz distinta, resultando assim três matrizes que, através da sua multiplicação sucessiva, dão origem à matriz de rotação  $R_{\omega\varphi\kappa}$  que equivale aos três movimentos em simultâneo [Redweik, 2012].

$$R_{\omega} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$R_{\varphi} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$R_{\kappa} = \begin{bmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$R_{\omega\varphi\kappa} = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & -\cos \varphi \sin \kappa & \sin \varphi \\ \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa & -\sin \omega \cos \varphi \\ \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \varphi \cos \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa & \cos \omega \cos \varphi \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

### 2.2.2.2. Equações de colinearidade

As equações de colinearidade seguem o princípio de colinearidade que diz que, no momento da tomada da fotografia, o ponto-objeto P, o centro de projeção O e o ponto-imagem p formam uma linha reta. [Coelho, 2007].

Um sistema de coordenadas imagem e um sistema de coordenadas objeto só são colineares se um é um múltiplo escalar do outro, é portanto necessário aplicar um fator de escala (k) ao primeiro sistema. Para tornar os dois sistemas coincidentes, é ainda necessário rodar o sistema de coordenadas imagem conforme a matriz de rotação espacial ( $R_{\omega\varphi\kappa}$ ). Após estas duas transformações vem que:

$$\begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = k R_{\omega\varphi\kappa} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

A equação acima representada define a relação entre o centro de projeção  $(X_0, Y_0, Z_0 / x_0, y_0, -f)$ , o ponto imagem  $(x, y, 0)$  e o ponto objeto  $(X, Y, Z)$ . Desenvolvendo a equação (2.5) podem ser formulado o conjunto de equações que se segue:

$$\begin{cases} X - X_0 = k(r_{11}(x - x_0) + r_{12}(y - y_0) - r_{13} \cdot f) \\ Y - Y_0 = k(r_{21}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) - r_{23} \cdot f) \\ Z - Z_0 = k(r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) - r_{33} \cdot f) \end{cases} \quad (2.6)$$

Onde  $r_{ij}$  representam os elementos da matriz rotação por linha, coluna. Sabendo que o fator de escala é função das coordenadas foto e da cota do ponto [Redweik, 2012], a terceira equação do conjunto apresentado pode ser expressa em ordem a k, dando origem a uma nova expressão que representa o fator de escala. Substituindo k pela nova expressão encontrada e exprimindo as outras equações em função das coordenadas foto, ficam encontradas as equações de colinearidade em ordem às coordenadas objeto.

$$\begin{cases} X = X_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{11}(x-x_0)+r_{12}(y-y_0)-r_{13} \cdot f}{r_{31}(x-x_0)+r_{32}(y-y_0)-r_{33} \cdot f} \\ Y = Y_0 + (Z - Z_0) \frac{r_{21}(x-x_0)+r_{22}(y-y_0)-r_{23} \cdot f}{r_{31}(x-x_0)+r_{32}(y-y_0)-r_{33} \cdot f} \end{cases} \quad (2.7)$$

Ou seja, conhecidos os parâmetros de orientação externa e interna de uma foto e a altitude do terreno (Z), são calculadas as coordenadas cartográficas X,Y de um dado pixel.

### 2.2.2.3. Sistema GPS/IMU

O sistema GPS/IMU, como o próprio nome indica, integra dois sistemas de posicionamento, o Global Positioning System (GPS) e o Inertial Measuring Unit (IMU). A combinação destes dois sistemas permite determinar a posição espacial dos centros de projeção e atitude da câmara (avião) ao longo de todo o voo, possibilitando a obtenção direta da orientação externa de todas as fotografias da cobertura aérea, minimizando assim as falhas inerentes aos dois sistemas individuais. A correção das falhas pode ser feita de três formas: os dados IMU podem ser comparados com as coordenadas vindas do GPS e corrigidos a pequenos intervalos de tempo diminuindo o efeito de deriva, aquando falha do sistema GPS as coordenadas que proveem desse sistema podem ser substituídas pelas do IMU e o GPS pode ser reinicializado após uma falha a partir das coordenadas IMU, ficando assim resolvidas as ambiguidades.

Tradicionalmente o GPS e o IMU são acoplados através de um filtro de Kalman, a partir do qual é feito o processamento das observáveis de ambos os sistemas, para que se obtenham os dados de posição, velocidade e tempo [Zhao, 2011], e se eliminem dados

considerados outliers. Desta forma, os valores discrepantes são rejeitados de forma a evitar um aumento significativo do desvio padrão das observações, contribuindo para uma georreferenciação direta mais precisa.

### **2.3. Aerotriangulação**

A aerotriangulação é um conjunto de operações matemáticas e estatísticas que permite obter a orientação espacial da cobertura fotográfica de uma zona de terreno usando o mínimo apoio geodésico possível [Redweik, 2012]. Pode ser realizada segundo dois princípios diferentes, por faixa ou por bloco, cada um com diferentes subcategorias. Aqui será apenas abordada a aerotriangulação em bloco por feixes perspetivos já que é o método utilizado neste trabalho.

A aerotriangulação em bloco assenta no facto que cada ponto objeto, qualquer que seja o modelo ou fotografia onde apareça, tem umas únicas coordenadas objeto  $X, Y, Z$ . No caso da triangulação por feixes perspetivos são considerados todos os raios perspetivos com origem num ponto objeto, que passam por vários centro de projeção e interseccionam vários planos imagem nos pontos imagem correspondentes em cada uma das fotos (mínimo duas) onde esse ponto objeto aparece fotografado.

O modelo matemático utilizado no algoritmo de aerotriangulação é o da projeção central, traduzido pelas equações de colinearidade linearizadas. O sistema de equações é resolvido através de um ajustamento por mínimos quadrados, na sua forma paramétrica [GEMAEL, 1994] de modo a que as discordâncias nos pontos homólogos das várias fotografias sejam mínimas. Para garantir a convergência do sistema, é preciso a inclusão de parâmetros iniciais aproximados para todas as incógnitas, ou seja, valores iniciais de orientação externa das fotos envolvidas e coordenadas objeto de todos os pontos medidos, que atualmente são obtidos por GPS/IMU.

Podem também ser incluídos no processo de aerotriangulação por feixes perspetivos parâmetros adicionais, para corrigir erros sistemáticos para além dos causados pela deformação da película, distorção da objetiva e pela refração e curvatura terrestre. Esta alternativa apesar de implicar a formação de mais um conjunto de equações de observação e de aumentar a número de incógnitas torna este método de aerotriangulação no método mais preciso.

### **2.4. Modelo Digital de Elevação (DEM)**

O modelo digital de elevação (DEM) é a representação numérica da forma e relevo da superfície terrestre. Existem vários tipos de DEM's, entre os quais o modelo digital de terreno (DTM) e o modelo digital da superfície (DSM).

O DSM representa a elevação associada à superfície terrestre, incluindo toda a topografia presente, natural ou edificada, enquanto o DTM descreve o relevo ao nível do terreno, desconsiderando áreas edificadas e de floresta. Para o processo de ortorretificação o

modelo digital de superfície é o mais aconselhado, apresentando melhores resultados [Redweik, 2013].

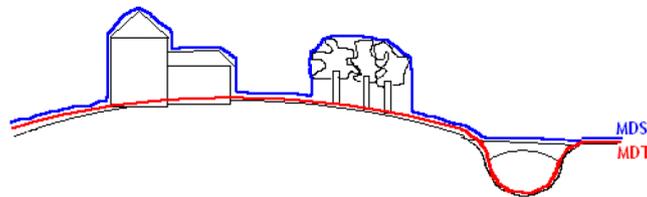


Figura 4 - Diferença entre DTM e DSM  
Fonte: [Redweik, 2013]

#### 2.4.1. Geração do DEM

O DEM é traduzido por uma função contínua que, para cada ponto de coordenadas planimétricas (X,Y), fornece um único valor de cota (Z).

$$Z = f(X, Y) \quad (2.8)$$

O processo de construção do modelo digital de elevação pode ser dividido em duas etapas: a aquisição da amostra primária de pontos cotados e a geração do DEM propriamente dito através de interpolação.

##### 2.4.1.1. Recolha da amostra primária

A exatidão de um DEM depende de características específicas, designadamente da densidade e distribuição dos pontos adquiridos, do terreno e do método utilizado para a construção da superfície digital, como tal, com vista a recolher uma amostra primária representativa, é necessário considerar não só a extensão da área em questão, mas também o próprio comportamento do relevo.

A amostra primária pode ser recolhida através de métodos clássicos, como o levantamento topográfico, a restituição fotogramétrica ou a digitalização de cartas e posterior vectorização, ou mais recentemente, através de correlação automática de imagens aéreas georreferenciadas (processamento digital de imagem), Laser Scanning (LiDAR – Light Detection and Ranging) e Interferometria de Radar (InSAR).

#### 2.4.1.2. Estruturação dos dados

Após adquirida a amostra primária é possível gerar o DEM. Os formatos que são mais frequentemente usados, são o formato TIN e o formato GRID.

O formato TIN consiste em gerar uma rede de triângulos, com os vértices nos pontos cotados da amostra primária (figura 5). A construção desses triângulos segue critérios específicos para uma maior adaptação ao conjunto de pontos, um desses critérios, é o da triangulação de Delaunay. Este critério diz que cada um dos triângulos da rede é definido tendo em conta que o círculo que passa pelos seus três vértices não contém qualquer outro ponto da amostra no seu interior.

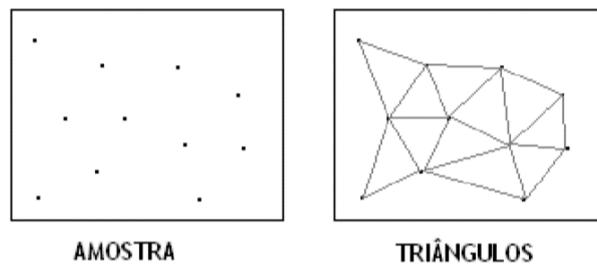


Figura 5 - Modelo TIN  
Fonte: [Redweik, 2013]

Já o formato GRID exige uma amostra regular de pontos. Caso a amostra primária seja irregular é necessário primeiramente criar o modelo TIN e a partir daí, interpolar cotas de pontos regularmente espaçados, com os quais se forma o modelo GRID. Este modelo é então composto ou por células regulares de cota constante no seu interior e igual ao ponto da amostra (caso 1) ou então por uma malha regular onde os nodos são os pontos da amostra com as respectivas cotas (caso 2) [Redweik, 2013] (figura 6).

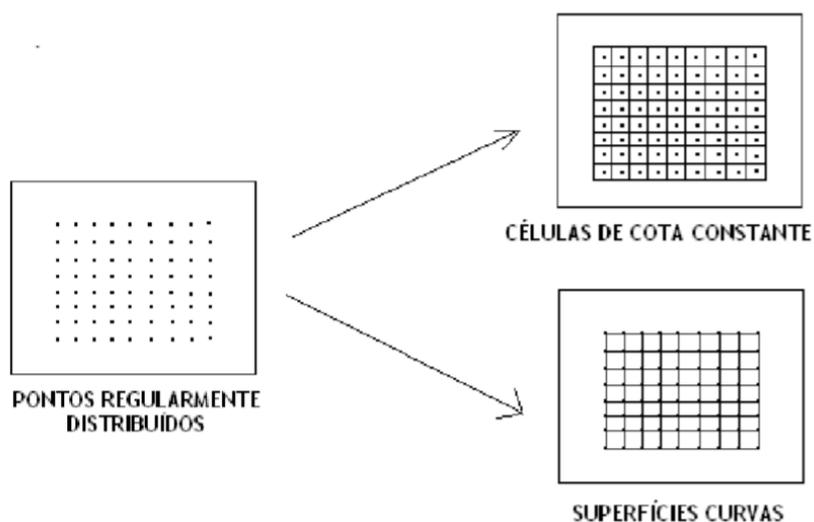


Figura 6 - Modelo Grid  
Fonte: [Redweik, 2013]

### 2.4.1.3. Interpolação de cotas

Interpolação é o processo através do qual é possível obter um novo conjunto de dados a partir de um conjunto discreto de dados pontuais previamente conhecidos.

No modelo TIN, a cota de qualquer novo ponto (X,Y) é interpolada no plano inclinado do triângulo que contém o ponto. No modelo GRID a cota do novo ponto é determinada pela cota da célula que contém o ponto (caso 1), ou por interpolação numa superfície curva que se adapte às cotas dos nodos da malha onde o ponto se encontra (caso 2).

Existem vários métodos de interpolação utilizados no modelo GRID, caso 2, os mais recorrentes são:

- **Vizinho mais próximo** – O valor interpolado é simplesmente o valor do ponto cotado mais próximo. É um procedimento computacionalmente simples e que produz resultados aceitáveis.
- **Interpolação bilinear (polinómio de grau 1)** – A cota do novo ponto é a média ponderada das cotas dos 4 nodos vizinhos, onde a distância do novo ponto a cada nodo é o fator de ponderação. Produz resultados melhores que o vizinho mais próximo apenas com um ligeiro aumento na complexidade e tempo de execução.
- **Interpolação bicúbica (polinómio de grau 3)** – O mesmo que a interpolação bilinear, mas tendo em conta os 16 nodos vizinhos. É o método de interpolação com melhores resultados mas exige muito esforço computacional (tempo e espaço).

## 2.5. Ortorretificação

As imagens adquiridas pelas câmaras aéreas são projeções centrais (ou perspectivas) do terreno, que obedecem ao conceito de feixe perspetivo. Como tal, não podem ser tomadas como uma fonte de informação métrica segura, já que estão sujeitas a distorções projetivas causadas pela inclinação do eixo ótico e a distorções perspetivas advindas do relevo do terreno, o que causa variações de escala ao longo da imagem.

Para tornar a escala da imagem uniforme, é necessário retificar a imagem tornando-a numa projeção ortogonal do terreno eliminando todas as distorções presentes na projeção perspetiva, sendo necessário um modelo digital de elevação e os parâmetros de orientação externa e interna de cada imagem. Este processo é chamado de ortorretificação.

Atualmente utiliza-se o método de ortorretificação digital, que aplica as equações de colinearidade sobre os números digitais dos pixels das imagens origem e ortorretificadas. Este método pode seguir dois procedimentos analíticos, o método direto ou o método indireto.

Neste trabalho é utilizado o método indireto, no qual se parte de cada posição na imagem retificada a ser criada, à qual correspondem determinadas coordenadas terreno (X,Y e Z retirado do modelo digital do terreno) e se calcula a posição correspondente na imagem digitalizada da foto, à qual se vai buscar o valor de cinzento a atribuir à posição XY da

imagem retificada. Este valor de cinzento é normalmente interpolado dos valores dos pixels vizinhos, visto a posição calculada geralmente não coincidir com o centro de qualquer pixel [Redweik, 2013].

## 2.6. Tolerâncias para o orto processamento de imagens

O documento “*Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery*”, elaborado pelo JRC, fornece as tolerâncias para cada etapa da produção da ortoimagem [Kapnias, 2008].

Tabela 1 - Tolerâncias recomendadas para o orto processamento

Etapa	Procedimento prático	Tolerância recomendadas
Exatidão dos GCP's	É recomendado que seja 5 vezes superior ao EMQ pretendido	EMQ/5
Escolha do GSD	Deve ser feita de acordo com a exatidão pretendida	2 * GCP_precision
Tie Points – Triangulação Aérea	Deve ser feito de forma automática	Mínimo de 12 pontos por modelo com boa (Von Gruber) distribuição
Orientação absoluta do bloco	Ajustamento do bloco através dos Tie Points, GCPs e/ou dados GPS/INS	EMQ ≤ 1/3 especificado Sigma0 ≤ 0.5 pixel
Espaçamento do DEM	Especificar de acordo com a escala e a topografia do terreno	De 5 a 20 vezes o GSD, dependendo da topografia do terreno
Exatidão altimétrica do DEM	É recomendada a geração automática do DEM utilizando métodos de stereo-matching	2 x EMQ

Tendo em conta a tabela 1 é possível retirar os seguintes valores:

$$\text{Precisão dos GCP's} \leq \frac{1,25}{5} = 0,25m \quad (2.9)$$

$$GSD = 2 * 0,25 = 0,50 m \quad (2.10)$$

$$5 \times 0.50 = 2.5m < \text{Espaçamento do DEM} < 20 \times 0.50 = 10m \quad (2.11)$$

$$\text{Precisão do DEM} \leq 2 * 1.25 = 2.5m \quad (2.12)$$

Atendendo aos resultados acima descritos, em termos teóricos, para se obterem ortoimagens com exatidão de 1.25m é necessário no mínimo que as imagens originais tenham um GSD de 0.50m e que a exatidão altimétrica do DEM seja menor que 2.5 metros.

O cálculo da exatidão planimétrica das ortoimagens é feito segundo o documento da ASPRS, Accuracy Standards for Digital Geospatial Data [ASPRS, 2013] que diz que a exatidão final,  $EMQ_F$ , é calculada da seguinte forma:

$$EMQ_F = \sqrt{EMQ_x^2 + EMQ_y^2} \quad (2.13)$$

E pode ser dividida segundo N classes, definidas pela multiplicação do GSD pelo número da própria classe (exemplo:  $EMQ$  classe I =  $GSD \times 1.0$ ), sendo que com o  $EMQ$  exigido, os valores têm no mínimo que pertencer à terceira classe no caso do GSD de 0,50.

### 3. Metodologia

#### 3.1. Software utilizado

O software utilizado para realizar todo o processamento das imagens foi o ERDAS IMAGINE® 2013, Intergraph. É um sistema vocacionado para a criação de dados geoespaciais, que incorpora o processamento e análise de imagens, deteção remota e utilidades GIS, permitindo aos utilizadores criar facilmente produtos 2D e 3D, filmes de voo e mapas cartográficos de elevada qualidade.

Mais especificamente, foi utilizada a toolbox LPS (*Leica Photogrammetry Suite*). Esta toolbox, é um conjunto de ferramentas fotogramétricas que possibilitam operações que vão desde a triangulação do bloco de imagens à produção do ortomosaico.

#### 3.2. Área de estudo

O estudo dos requisitos mínimos para a produção de ortoimagens com a exatidão pretendida, foi realizado no concelho de Paredes, pertencente ao distrito do Porto e da Região do Douro Litoral. A escolha deste concelho foi baseada na disponibilidade de várias coberturas fotográficas com diferentes GSD's. Embora as coberturas fotográficas disponíveis se estendessem a todo o concelho, por motivos de desempenho informático e espaço disponível no hardware, a área de estudo foi então restringida à zona norte de Paredes, identificada na figura 8, por um retângulo a vermelho.



Figura 7 - Enquadramento a nível nacional do concelho de Paredes (a vermelho)



Figura 8 - Enquadramento da zona de estudo (retângulo vermelho) no concelho de Paredes.

Fonte: [Cm-Paredes, 2014]

Para controlo e validação da solução de requisitos mínimos encontrada, foram também feitos testes em zonas de diferentes relevos. Foi considerada uma zona de serra e uma zona de pinhal, correspondentes às zonas abrangidas pela carta militar 224 Teixoso (Covilhã) e pela carta 273 Monte-Redondo (Leiria).

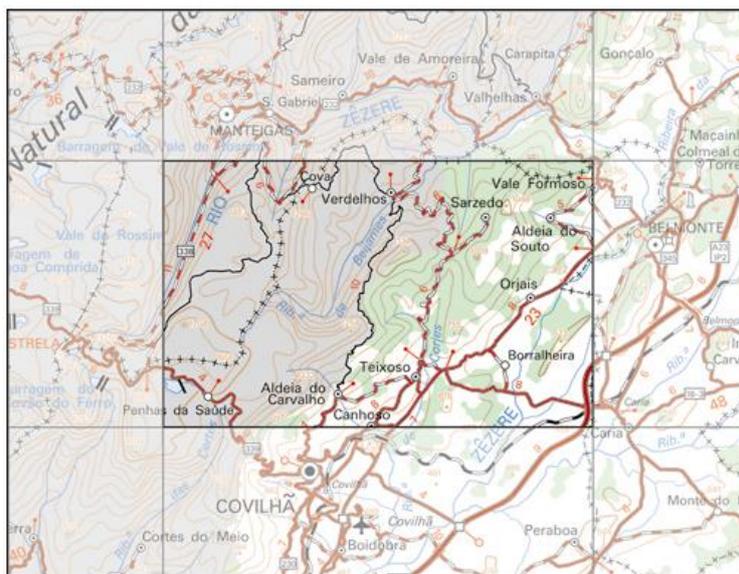


Figura 9 - Enquadramento da carta 224

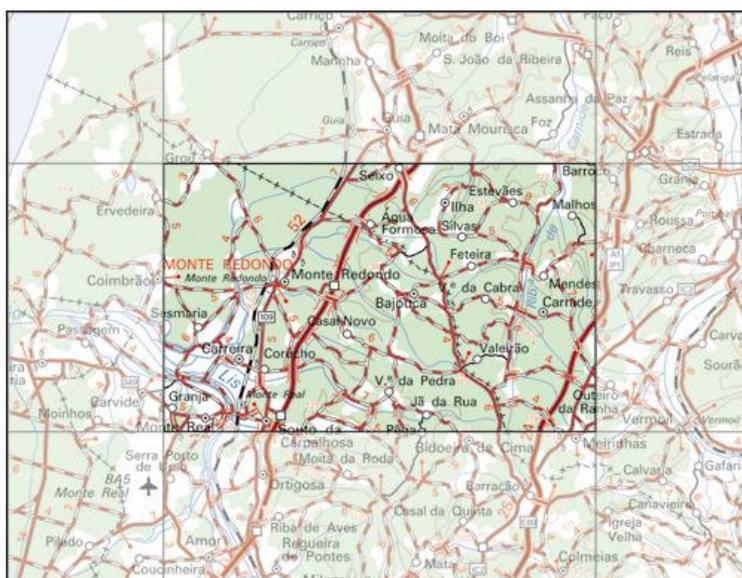


Figura 10 - Enquadramento da carta 273

### 3.3. Fonte de dados

Teoricamente, segundo as recomendações do JRC, presentes na tabela 1, para fazer uma ortoimagem com um determinado EMQ, os GCP's devem ser 5 vezes mais precisos do que o EMQ pretendido. Assim, para um EMQ de 1.25 metros, a exatidão dos GCP's deve ser de 0.25 metros, o que requer um GSD duas vezes maior, ou seja um GSD de 0.50 metros.

Neste estudo, para a área de Paredes, vai ser analisado esse valor teórico bem como um outro GSD de maior precisão, para isso foram utilizados dois blocos diferentes de fotografias aéreas, o bloco 1, que corresponde à zona de paredes com fotografias com um GSD de 0.50 metros, e o bloco 2, que corresponde à mesma zona de levantamento mas com imagens aéreas de 0.24 metros.

Para avaliar o GSD teórico mínimo foram, como dito no ponto 3.2., utilizados outros dois blocos de imagens. O bloco 3 que é composto por fotografias da zona da carta 224 e o bloco 4 que engloba a zona da carta 273.

#### 3.3.1. Bloco 1

Para a cobertura total do bloco 1 existiram 4 dias de voo, um em Junho e três em Julho, esta cobertura foi feita a pedido do próprio IFAP. Foi utilizada a câmara UltraCam Eagle, e foram também recolhidos dados GPS/INS. As especificações do voo podem ser consultadas na tabela 2.

Tabela 2 - Especificações de voo do bloco 1

Especificações	
Formato	Digital
GSD	50 cm
Altitude média	7160 m
Sobreposição Longitudinal / Base	60
Sobreposição Lateral / Espaçamento	40
Nº de Fiadas	40
Nº de Fotos	1866

Para a cobertura da área pretendida apenas foram utilizadas as fotos indicadas na tabela 3, o esquema de voo desta área pode ser visto no anexo A.

Tabela 3 - Fotos utilizadas no bloco 1

Fiadas	Fotos
23	9955-9962
24	10029-10036
25	10074-10081
<b>Total</b>	24
<b>Espaço ocupado</b>	48 GB

Tabela 4 - Câmara utilizada no bloco 1

Câmara	
Nome	UltraCam Eagle
Tamanho da foto (pixels)	7680x13824
Tamanho do pixel ( $\mu\text{m}$ )	5.2
Distância focal (mm)	79.8

### 3.3.2. Bloco 2

O voo do bloco 2 foi feito dia 15 de Maio de 2011, a pedido da Câmara Municipal de Paredes, com a câmara DMC129, onde foram também recolhidos dados GPS/INS. As especificações do voo podem ser consultadas na tabela 5.

Tabela 5 - Especificações de voo do bloco 2

Especificações	
Formato	Digital
GSD	24 cm
Altitude média	2525 m
Sobreposição Longitudinal / Base	60% / 608 m
Sobreposição Lateral / Espaçamento	30 % / 1990 m
Nº de Fiadas	8
Nº de Fotos	209

O esquema completo de voo pode ser visto no anexo A. Para a cobertura da área pretendida apenas foram utilizadas as fotos indicadas na tabela 6.

Tabela 6 - Fotos utilizadas no bloco 2

Fiadas	Fotos
5	111-122
6	127-138
7	169-180
8	185-196
<b>Total</b>	48
<b>Espaço ocupado</b>	48 GB

Tabela 7 - Câmara utilizada no bloco 2

Câmara	
Nome	DMC129
Tamanho da foto (pixels)	7680x13824
Tamanho do pixel ( $\mu\text{m}$ )	12
Distância focal (mm)	120

### 3.3.3. Bloco 3 – Bloco de serra

Para a cobertura total do bloco 3 existiram 5 dias de voo, todos em Junho, esta cobertura foi feita a pedido do próprio IFAP. Foi utilizada a câmara UltraCam Eagle, e foram também recolhidos dados GPS/INS. As especificações do voo podem ser consultadas na tabela 8.

Tabela 8 - Especificações de voo do bloco 3

Especificações	
Formato	Digital
GSD	50 cm
Altitude média	7045,914
Sobreposição Longitudinal / Base	60
Sobreposição Lateral / Espaçamento	40
Nº de Fiadas	32
Nº de Fotos	2142

Para a cobertura da área pretendida apenas foram utilizadas as fotos indicadas na tabela 9, o esquema de voo desta área pode ser visto no anexo A.

Tabela 9 - Fotos utilizadas no bloco 3

<b>Fiadas</b>	<b>Fotos</b>
92	8452-8467
93	8516-8531
94	7123-7138
<b>Total</b>	48
<b>Espaço ocupado</b>	<b>130 GB</b>

### 3.3.4. Bloco 4 – Bloco de floresta

Para a cobertura total do bloco 4 existiram 5 dias de voo, todos em Julho, esta cobertura foi feita a pedido do próprio IFAP. Foi utilizada a câmara UltraCam Eagle, e foram também recolhidos dados GPS/INS. As especificações do voo podem ser consultadas na tabela 10.

Tabela 10 - Especificações de voo do bloco 4

<b>Especificações</b>	
Formato	Digital
GSD	50 cm
Altitude média	7224,104
Sobreposição Longitudinal / Base	60
Sobreposição Lateral / Espaçamento	40
Nº de Fiadas	32
Nº de Fotos	1782

Para a cobertura da área pretendida apenas foram utilizadas as fotos indicadas na tabela 11, o esquema de voo desta área pode ser visto no anexo A.

Tabela 11 - Fotos utilizadas no bloco 4

<b>Fiadas</b>	<b>Fotos</b>
104	12631-12642
105	11262-11273
106	11287-11298
107	11381-11392
<b>Total</b>	48
<b>Espaço ocupado</b>	<b>130 GB</b>

### 3.4. Sistema de coordenadas

O sistema de coordenadas adotado foi o PT-TM06/ETRS89 - European Terrestrial Reference System 1989, definido pelos seguintes parâmetros:

Tabela 12 - Parâmetros do sistema PT-TM06/ETRS89

PT-TM06/ETRS89	
Elipsoide de referência	GRS80
Projeção cartográfica	Transversa de Mercator
Latitude da origem das coordenadas retangulares:	39° 40' 05'',73 N
Longitude da origem das coordenadas retangulares:	08° 07' 59'',19 W
Falsa origem das coordenadas retangulares:	Em M (distância à Meridiana): 0 m Em P (distância à Perpendicular): 0 m
Coefficiente de redução de escala no meridiano central:	1.0

### 3.5. Modelo digital de superfície (DSM)

A exatidão final ( $EMQ_T$ ) do ortofoto considerada neste estudo, é de 1.25 metros. Assim, com o objetivo de verificar a influência da exatidão do DSM na exatidão do produto final, foram gerados vários ortofotos, com diferentes DSM, para cada um dos blocos de fotografias, de acordo com as tolerâncias apresentadas no ponto 2.6.

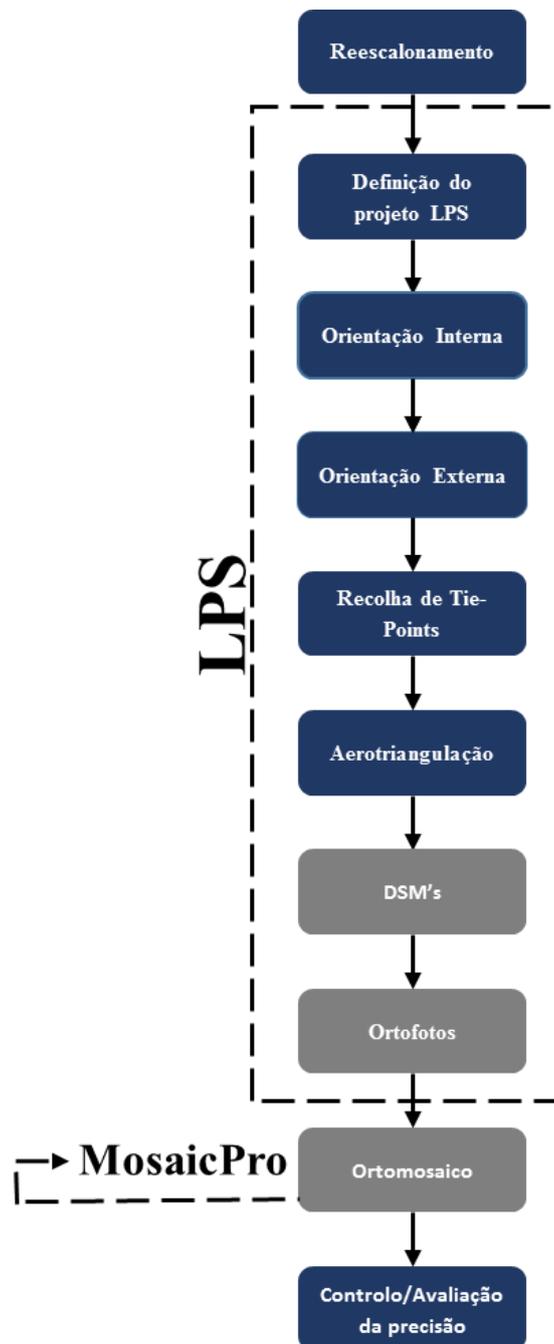
Para além dos espaçamentos recomendados, foram também considerados outros valores que servissem de ligação entre os três blocos e que permitissem fazer a comparação “mesmo DSM diferente GSD”. Foi também utilizado o DTM do IGEO com espaçamento de 20 metros com o intuito de verificar a possibilidade de reaproveitamento.

Tabela 13 - Espaçamento dos DSM

Bloco	Espaçamento recomendado – DSM (5x – 10x – 20x)	Outros espaçamentos - DEM
1	2.5 m – 5 m – 10 m	20 m IGEO
2	<del>1.25 m</del> – 2.5 m – 5 m	10 m, 20m IGEO
3	2.5 m – 5 m – 10 m	20 m IGEO
4	2.5 m – 5 m – 10 m	20 m IGEO

### 3.6. Procedimentos

Para cada par GSD-DEM, foi criado um projeto LPS de onde proveio uma ortoimagem por cada imagem existente, no entanto os procedimentos até à aerotriangulação (inclusive) só foram feitos uma vez para cada bloco de imagens. Foi depois utilizada a extensão MosaicPro para compilar todos os ortos de um dado projeto, gerando assim um só orto.



Esquema 2 – Procedimentos práticos

### 3.6.1. Reescalamento radiométrico

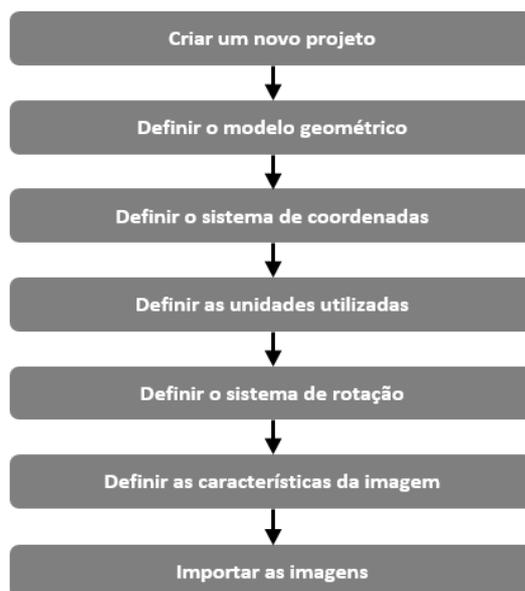
O primeiro passo foi realizar o reescalamento radiométrico das imagens, de modo a alterar a sua resolução radiométrica inicial de 16 bits para 8 bits. Esta operação é recomendada pelo próprio software, uma vez que testes realizados pela Intergraph não mostraram qualquer vantagem em manter o formato de 16 bits face aos 8 bits, que permitem uma redução do espaço necessário para o armazenamento das imagens e uma computação menos exigente. O reescalamento é efetuado tendo em conta os valores máximos e mínimos de cada resolução e o número digital inicial de cada pixel, como explica a fórmula abaixo.

$$ND_{out} = Min_{out} + \frac{(ND_{in} - Min_{in}) \times (Max_{out} - Min_{out})}{(Max_{in} - Min_{in})} \quad (3.1)$$

### 3.6.2. Definição do projeto

Após todas as imagens estarem convertidas em 8 bits é possível definir o projeto para a produção da ortoimagem. A definição do projeto passa por criar um bloco de imagens, que caracteriza toda a informação associada ao projeto fotogramétrico incluindo: informação do sistema de coordenadas, as imagens a incluir no projeto, informação relativa à câmara utilizada para a aquisição das fotografias aéreas e as relações existentes entre as imagens e o terreno (orientação externa).

A toolbox LPS suporta o processamento de vários tipos de blocos, neste processamento foi utilizado um bloco composto por um conjunto de fiadas de imagens, que permite uma melhor exatidão e fidedignidade durante o processo de aerotriangulação, que foi definido seguindo os seguintes passos.



Esquema 3 – Passos para a definição do projeto

Após criado o projeto foram definidos os parâmetros apresentados no esquema 3. Primeiramente, como o software permite a ortorretificação de imagens e fotografias de várias câmaras e satélites, foi selecionado o tipo de câmara utilizada para ficar definida a geometria do sensor, neste caso, para todos os blocos foi utilizada uma câmara digital. Define-se depois o sistema de coordenadas de referência, horizontal e vertical, PT-TM06/ETRS89, com os parâmetros apresentados na tabela 12 e as unidades correspondentes, metros. O sistema de rotação adotado em cada projeto foi o Omega, Phi, Kappa, recomendado pelo ISPRS, apresentados em graus. É também necessário especificar a direção fotográfica, *Z-axis* ou *Y-axis* (figura 11), no caso das imagens aéreas as fotos são capturadas com o eixo fotográfico tendo a direção *Z*. Por último foi introduzida a altura média de voo, a distância focal da câmara e por fim importadas as imagens pertencentes ao bloco.

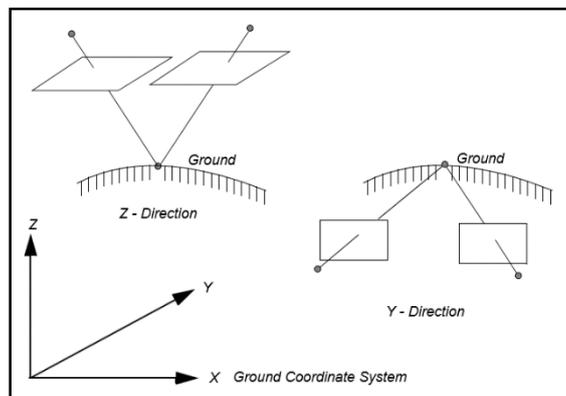


Figura 11 - Direções fotográficas  
 Fonte: [IMAGINE OrthoBASE User's Guide, 2002]

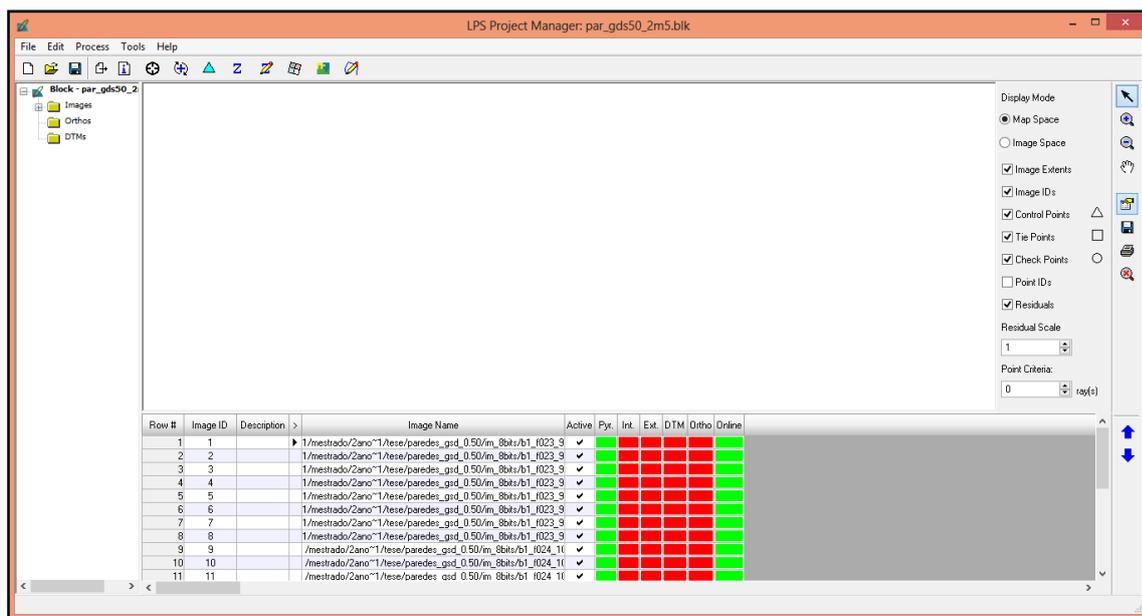


Figura 12- Projeto LPS

### 3.6.3. Orientação Interna

Para além da distância focal introduzida previamente, para definir a orientação interna de cada imagem é também requerido o tamanho do pixel em x e em y, definidos esses valores a OI (orientação interna) fica determinada.

### 3.6.4. Orientação Externa

Como foi esclarecido no ponto 2.2.2. a orientação externa define a posição e orientação do centro perspectivo, assim sendo, cada imagem do bloco vai ter diferentes parâmetros de orientação externa associados. Neste caso esses parâmetros foram obtidos por sistema GPS/IMU e incluem os seis parâmetros de OE ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ ,  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ ) e a incerteza associada a cada um deles. Estes 12 parâmetros podem ser utilizados de diferentes formas durante o processo de aerotriangulação, consoante o estado que lhes é atribuído, que pode variar entre fixo, inicial ou desconhecido. Se se considerarem os parâmetros de orientação externa como fixos, os valores permanecem inalterados durante o processo de aerotriangulação, se foram utilizados como iniciais, os valores durante a aerotriangulação são considerados aproximações iniciais do valor real e são ajustados tendo em conta o seu desvio padrão, se lhes forem atribuídos o estado de desconhecido, os valores são desconhecidos e vão ser estimados durante o processo de aerotriangulação, desprezando os valores do sistema GPS/IMU. Para este estudo os valores obtidos por GPS/IMU foram considerados como iniciais, sendo que a orientação externa fica em stand-by até ser realizada a aerotriangulação.

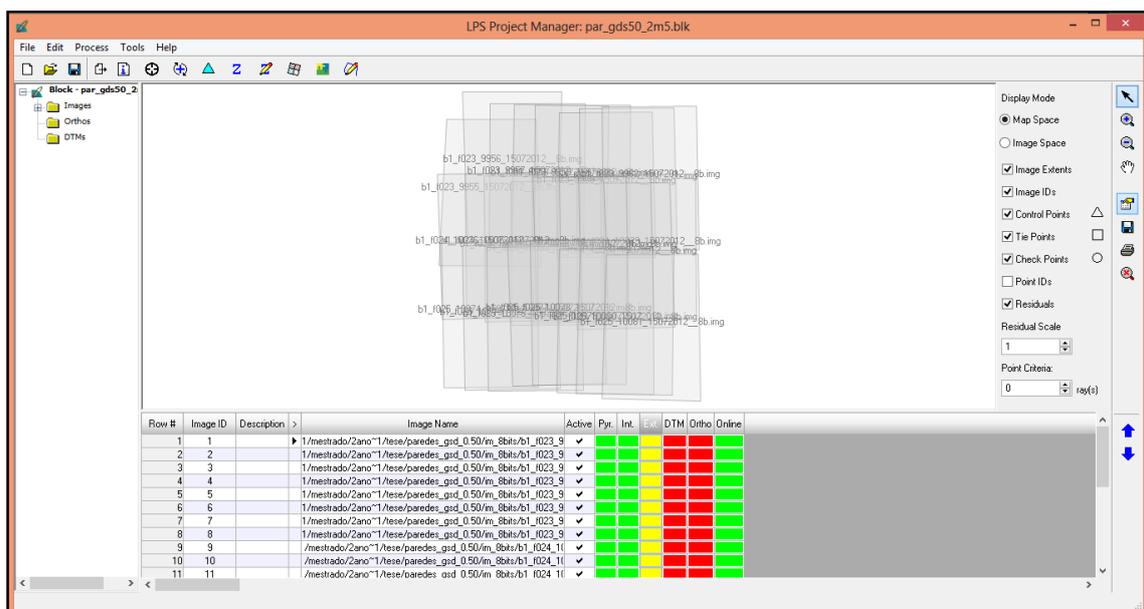


Figura 13 - Bloco de imagens, OE em stand-by

### 3.6.5. Recolha de Tie Points

A recolha de Tie Points foi feita de forma automática, através de correlação automática em zonas de sobreposição de duas ou mais imagens. A qualidade deste procedimento depende da qualidade de imagem, dos elementos presentes na imagem (e.g. água), da topografia do terreno e da qualidade dos dados de entrada iniciais (dados GPS/IMU). Tendo em conta todas as variáveis referidas, foram ajustados sete parâmetros estratégicos de forma a otimizar a performance da operação, sendo eles:

- **Search Size (pixels):** Após serem identificados os pontos de interesse, o software calcula a localização aproximada de cada ponto nas áreas de sobreposição das várias imagens. Uma vez identificada a localização aproximada, é procurado o ponto correspondente dentro de uma janela de procura quadrada, por defeito o tamanho dessa janela é de 21x21 pixels.
- **Correlation Size (pixels):** Define o tamanho da janela a partir da qual vai ser calculada a correlação entre pontos comuns em múltiplas imagens. O valor por defeito é de 7x7 pixels, sendo que para terreno sem grandes variações radiométricas a janela pode ser alargada e vice-versa.
- **Least Squares Size (pixels):** São utilizadas técnicas de mínimos quadrados para garantir que a exatidão dos pontos encontrados seja aproximadamente de 0.1 a 0.2 pixels. O Least Squares Size define o tamanho das janelas que aparecem nas duas imagens, em que o ponto aparece, durante a fase dos mínimos quadrados do processo de correlação, por defeito a janela é de 21x21 pixels.
- **Feature Point Density (10% a 900%):** Os pontos de interesse são identificados quando existe um ponto ou um conjunto de pontos com um nível de cinzento bastante diferente que os da sua vizinhança. A densidade de pontos recolhidos é automaticamente determinada pelo software e o valor por defeito é de 100%. Um valor superior aos 100%, corresponde a um aumento da densidade de pontos, por exemplo, para um valor de 300% o software irá recolher 3 vezes mais pontos que o normal (recomendado para imagens com pouco contraste).
- **Correlation Limit (0 a 0.99):** O correlation limit define o valor de correlação a partir do qual se considera que dois pontos são pontos comuns. Se o valor de correlação entre dois pontos for menor que o valor limite então esses pontos não são considerados como um par. O valor por defeito é de 0.8.
- **Initial accuracy (0% a 150%):** Define a qualidade dos dados de entrada, se forem utilizados os parâmetros de orientação externa deve ser utilizada, segundo o manual Erdas, uma exatidão inicial de 25%.

- **Avoid Shadow:** Uma vez selecionada esta opção, os tie points não são recolhidos em zonas de sombra.

Tabela 14 - Parâmetros utilizados na recolha automática de Tie Points

Parâmetro	Valor
Search Size (pixels)	21x21
Correlation Size (pixels)	7x7
Least Squares Size (pixels)	21x21
Feature Point Density (10% a 900%)	100
Correlation Limit (0 a 0.99)	0.95
Initial accuracy (0% a 150%)	25
Avoid Shadow	Sim

### 3.6.6. Aerotriangulação

Como foi visto no ponto 2.3., a aerotriangulação pode ser realizada por diversos métodos, no entanto o software só suporta a aerotriangulação em bloco por feixes perspetivos com parâmetros adicionais, já que é o método mais fiável.

Como no procedimento anterior, recolha de tie points, é também possível ajustar um conjunto de parâmetros para potencializar o processo de aerotriangulação. Esses parâmetros são valores utilizados no ajustamento por mínimos quadrados e incluem o valor de convergência, a incerteza associada a cada parâmetro a estimar (para a constituição da matriz de pesos) e ainda o modelo de parâmetros adicionais utilizado.

Foi definido o valor de convergência, a partir do qual se estabelece quando deve parar o processo de aerotriangulação. O valor utilizado foi o valor recomendado de 0.001 metros, ou seja, o processo iterativo de estimação dos parâmetros foi dado como concluído quando a incerteza dos parâmetros se apresentou inferior a 1 milímetro.

A incerteza associada às coordenadas foto, x e y, dos tie points foi de 0.33 pixels, um terço do pixel, valor definido como valor por defeito pelo software. Em relação à orientação interna é possível estimar e ajustar os seus parâmetros através do processo SCBA, no entanto essa correção mostrou-se dispensável uma vez que as câmaras

utilizadas se encontravam calibradas, por esse motivo os parâmetros de OI foram considerados fixos para todas as imagens do bloco. Relativamente aos pesos estatísticos da orientação externa, uma vez que o GPS/IMU fornece para além dos parâmetros iniciais de orientação externa de cada foto, as incertezas associadas a cada um deles, os pesos associados à OE foram assumidos como diferentes para cada foto.

O modelo de parâmetros adicionais empregado foi o *Brown's Physical Model*, uma vez que foi o que apresentou melhores resultados, tem 14 parâmetros que foram obtidos através da simplificação efetuada na pesquisa do Dr. D. C. Brown [IMAGINE OrthoBASE User's Guide, 2002].

Durante o processo de aerotriangulação é também usado um modelo de verificação de erros, que analisa os dados de entrada, incluindo as coordenadas imagem dos pontos para localizar dados erróneos que contribuem para a instabilidade dos resultados da aerotriangulação. O modelo aplicado foi o *Advanced Robust Checking*, que tem em conta a redundância de cada observação.

### 3.6.6.1. Relatório de aerotriangulação

Uma vez concluída a aerotriangulação é gerado um relatório que contém informação relativa a: unidades utilizadas, coordenadas foto ajustadas dos tie points e respetivos resíduos, coordenadas terreno ajustadas dos tie points e respetivos resíduos, parâmetros de orientação externa ajustados e respetivos resíduos e erro médio quadrático total do processo de aerotriangulação. O erro médio quadrático total é baseado nos resíduos das coordenadas foto e terreno e por convenção deve ser inferior a um pixel.

Tabela 15 - EMQ total da aerotriangulação

Bloco	EMQ (pixels)	EMQ (metros)
1	0.232	0.116
2	0.159	0.038
3	0.175	0.086
4	0.248	0.124

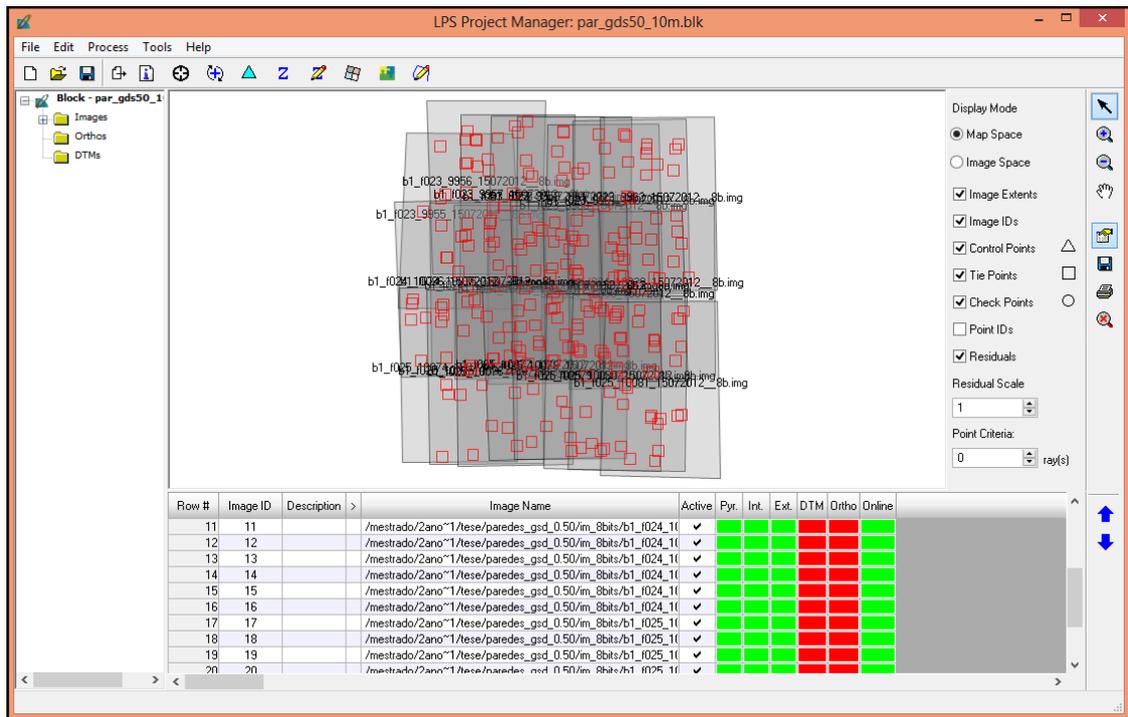


Figura 14 - Resultado gráfico da aerotriangulação

### 3.6.7. Modelos Digitais de Superfície (DSM's)

A concepção de um modelo digital de superfície (DSM) em formato raster a partir do LPS é um processo automático, em formato GRID, que pode ser dividido em 3 passos: recolha da amostra de pontos, determinação das coordenadas tridimensionais dos pontos da amostra e por último a construção do DSM final.

A recolha da amostra de pontos é feita por correlação automática de imagens e utiliza duas abordagens, determinação de pontos de interesse e o *matching* de pontos de interesse. A determinação de pontos de interesse usa um operador de interesse, que procura em todas as imagens pontos que dentro de uma janela de procura sejam o ponto central e apresentem um valor de cinzento e contraste distinto. O *matching* dos pontos de interesse identifica e combina o mesmo ponto de interesse em zonas de sobreposição de imagens onde este ocorra. O número de pontos recolhidos é determinado através da definição do espaçamento da GRID, espaçamentos esses que podem ser vistos na tabela 13.

Como na recolha de tie points, para a recolha da amostra primária do DSM também é possível fazer um arranjo de vários parâmetros estratégicos sendo eles: *Search Window Size (SWS)*, *Correlation Window Size (CWS)*, *Correlation Coefficient Limit (CCL)*, *Topographic Type (TT* - descreve o tipo de terreno presente nas imagens, pode ser plano,

de baixo relevo e de alto relevo), *Object Type* (OT - descreve o tipo de objetos que aparecem na imagem, pode ser zona pouco urbana, zona muito urbana ou floresta), *Use Image Band* (IB) e *DTM Filtering* (F - define o tipo de filtro a ser utilizado para harmonizar o DSM, pode ser baixo, moderado, alto ou pode não ser utilizado qualquer tipo de filtro). São fornecidos vários conjuntos pré-definidos de parâmetros (estratégias), tendo em conta a superfície encontrada em cada imagem, para cada bloco de imagens foi selecionado o mais adequado como se pode ver na tabela 16, as estratégias disponíveis são:

- **High Mountains:** Tem uma janela de procura de 27x3 pixels, o número de pixels na direção x é maior porque o terreno com grandes diferenças altimétricas causa maiores distorções em x, o que torna necessário uma área maior de procura para aumentar a possibilidade de matching.
- **Middle Mountains:** Tem uma janela de procura de 21x3 pixels, pelos mesmos motivos que na estratégia anterior.
- **Rolling Hills:** Tem uma janela de procura de 15x3 pixels, o número de pixels na direção x é mais reduzido porque menores elevações causam menos paralaxe em x.
- **Flat Areas:** Tem uma janela de procura de 7x3 pixels, a pequena área de procura é justificada pela ausência de erros que seriam causados por grandes diferenças altimétricas.
- **High Urban:** Tem uma janela de procura de 19x3 pixels, como na estratégia *High Mountains* o valor em x é alto porque elevações/prédios extremamente altas são fontes de erros elevados.
- **Low Urban:** Tem uma janela de procura de 11x3 pixels.
- **Forest:** Tem uma janela de procura de 17x3 pixels, no caso particular das florestas o valor em x é alto não só pela altura das árvores mas também por serem áreas difíceis de correlacionar e/ou diferenciar.

Tabela 16 - Estratégias usadas para cada DSM

Bloco	Estratégia	SWS	CWS	CCL	TT	OT	IB	F
1	High Urban	19x3	7x7	0.95	Rolling Hills	High Urban	1	Low
2	High Urban	19x3	7x7	0.95	Rolling Hills	High Urban	1	Low
3	High Mountains	27x3	7x7	0.95	Mountainous	Open Area	1	Moderate
4	Forest	17x3	7x7	0.95	Mountainous	Low Urban	1	High

Para além de terem sido definidos os parâmetros estratégicos, a área onde é feita a recolha da amostra, zona de sobreposição de imagem, foi ainda reduzida em 10%, para impossibilitar a recolha de pontos em zonas fronteiriças. Após coletada a amostra de pontos, foram então calculadas as coordenadas tridimensionais de cada um dos deles através de interseção direta espacial.

### 3.6.8. Ortoimagens

O processo de ortorretificação é executado pelo método indireto descrito anteriormente. São selecionadas as imagens a serem ortorretificadas, bem com a área a ser utilizada durante o processo, neste caso optou-se por manter o valor padrão de 100%, é também especificado o modelo digital de elevação a ser utilizado durante o processo, que deve cobrir toda a área coberta pelas imagens.

Para além dos elementos base do processo, DEM e imagens com orientações associadas, são definidos ainda três parâmetros adicionais: o tamanho do pixel no terreno na ortoimagem, que se manteve igual ao das imagens originais, o método de interpolação a ser empregado, por recomendação do software foi utilizada a interpolação bilinear, já que é a que apresenta a melhor relação qualidade/tempo de computação, por último é ainda definido o limite de sobreposição entre o DEM e a imagem original a partir do qual a imagem é ortorretificada, foi mantido o valor por defeito de 30%.

Definidos todos os parâmetros dá-se início ao processo de ortorretificação, que origina tantas imagens ortorretificadas quantas imagens originais que estejam dentro do limite de sobreposição especificado.

### 3.6.8. Junção de ortoimagens

Para gerar uma única ortoimagem é necessário fazer a junção das várias imagens ortorretificadas, para isso através da toolbox LPS é chamada a toolbox MosaicPro.

Esta toolbox permite unir um conjunto de imagens de modo a gerar uma única imagem coesa, permitindo equilibrar a cor e ajustar os histogramas de cada imagem.

Para dar início ao processo do mosaico é apenas necessário incluir todas as imagens individuais, definir o sistema de coordenadas e gerar as seamlines, para este estudo foi desprezada a correção radiométrica das imagens uma vez que apenas se pretende avaliar a exatidão altimétrica da ortoimagem resultante.

As seamlines são as linhas de junção entre as imagens. Estas linhas definem que de um lado da seamline os pixels têm o valor de uma das imagens sobrepostas, enquanto os pixels do outro lado da linha ficam com os valores dos pixels da outra imagem. Estes limites entre imagens podem ser gerados manualmente ou automaticamente, neste caso foram geradas de forma automática, pelo método *Weighted Seamline*, e sempre que necessário foi feita a sua edição manual.

O método *Weighted Seamline* gera primeiramente seamlines provisórias, que são depois divididas em várias seções onde cada seção é constituída por um conjunto de segmentos contínuos compartilhados pelas duas imagens. O ponto inicial e final de cada seção são os nós, que estão ligados pelas seamlines refinadas com base numa função de custo (que é uma combinação ponderada da direção, do desvio padrão e da diferença do valor de cinzento), em que o ponto com menor custo será escolhido como novo vértice da seamline (segmento).

Concebidas todas as seamlines e confirmada a coesão entre imagens para que não hajam buracos no produto final, dá-se início ao processo de mosaico.

## 4. Resultados e análise de resultados

---

Neste capítulo vão ser apresentados e avaliados os resultados obtidos, modelos digitais de elevação e ortoimagens.

A análise de resultados vai ser dividida em três pontos: simulação da influência dos erros altimétricos do DEM na exatidão planimétrica das ortoimagens, avaliação da exatidão altimétrica dos DEM's e avaliação da exatidão planimétrica das ortoimagens.

Para a simulação, primeiro tópico da análise de resultados, foi criada uma rotina em linguagem Matlab baseada nos conceitos teóricos e matemáticos apresentados no capítulo dois.

Na avaliação direta das exatidões, altimétrica dos DEM's e planimétrica das ortoimagens, foram utilizados pontos fotogramétricos e vértices geodésicos da rede geodésica nacional (RGN), a partir dos quais foram calculadas um conjunto de medidas matemáticas, incluindo erro mínimo, erro máximo, erro médio, desvio padrão e erro médio quadrático (EMQ). Para a avaliação final da exatidão destes dois produtos, foi comparado o erro médio quadrático com as diretrizes recomendadas pelo JRC e instituídas no documento da ASPRS, apresentadas anteriormente.

### 4.1. Simulação da influência do DEM na exatidão final das ortoimagens

Esta simulação foi criada com o objetivo de fazer uma análise primária de como evolui a exatidão final de uma ortofotografia com a deterioração da qualidade do DEM. Para tal foi criada uma rotina no software MATLAB, que simula o processo de ortorretificação usando as equações de colinearidade apresentadas no capítulo 2 e onde ao valor altimétrico real é incrementado um dado erro.

O software é um software interativo de alta performance voltado para o cálculo numérico e que possui a sua própria linguagem, a linguagem MATLAB ou simplesmente m. Permite a resolução de muitos problemas numéricos em muito menos tempo do que se gastaria para escrever um programa semelhante em linguagem Fortran, Basic ou C, uma vez que as soluções dos problemas são expressas quase exatamente como são escritas matematicamente.

A rotina criada (Anexo C) recebe um ficheiro de entrada de extensão .xls (Anexo D) que inclui para cada ponto: as coordenadas fotos medidas, coordenadas terreno (X,Y) e cota (Z) reais e os seis parâmetros de orientação externa. Guardados os dados nos respetivos vetores, inicia-se um ciclo onde são aplicadas diretamente as equações de colinearidade em ordem às coordenadas objeto a cada um dos pontos, sendo calculado o valor de X, Y ortorretificado, com um erro no DEM de 0 metros. Dentro desse mesmo ciclo são também calculadas as coordenadas planimétricas X,Y mas utilizando um valor de cota com um erro incrementado que vai de um até aos 10 metros. Concluído o processamento das ECOL é gerado um ficheiro com as diferenças entre as coordenadas reais e as coordenadas calculadas.

Foram considerados os PFS da zona de Paredes e foram utilizadas as fotografias do bloco 1 para medir as coordenadas foto dos mesmos. Para a análise de resultados da simulação foi calculado o  $EMQ_T$  e gerado o gráfico 1, onde se pode ver a progressão da exatidão planimétrica das ortoimagens face ao erro encontrado no DEM.

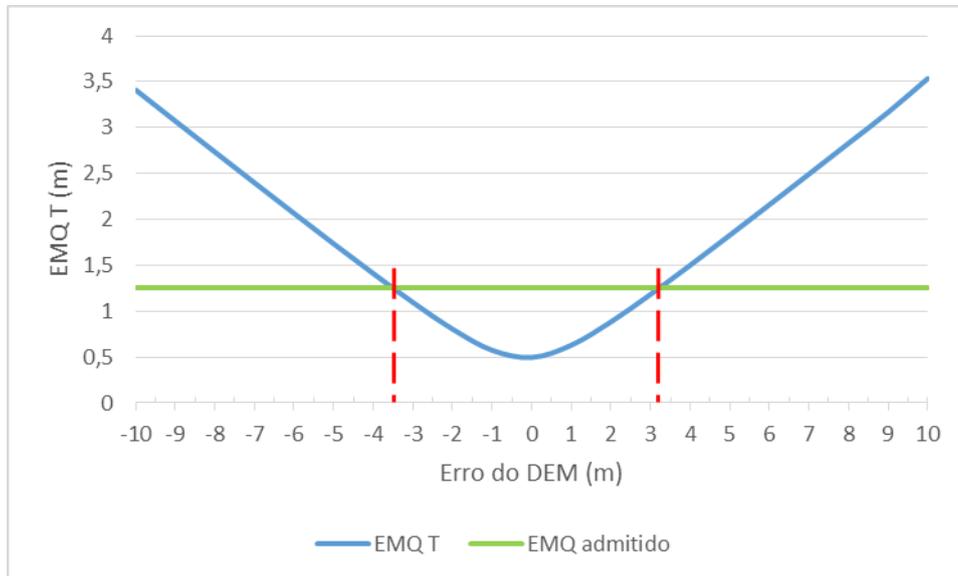


Gráfico 1 – Evolução da exatidão planimétrica da ortoimagem (eixo  $EMQ_T$ ) com o incremento de erros no DEM. A linha azul corresponde aos valores encontrados através da simulação, a linha a verde representa a exatidão planimétrica requerida para as ortosimagens e as linhas a vermelho são os erro limite que o DEM pode apresentar para a exatidão exigida.

Na análise do gráfico é possível ver que a evolução da exatidão planimétrica tem um eixo de simetria no erro do DEM igual a 0, ou seja, a evolução da exatidão tem igual comportamento quer o erro do DEM seja positivo ou negativo.

Com seria de esperar, o valor mais baixo de EMQ aparece quando o DEM é fiel à realidade (erro = 0), neste caso é apresentado um erro de 0,5 metros, que corresponde ao próprio GSD das fotos onde os pontos foram medidos. Independentemente do erro do DEM progredir para o lado positivo ou negativo, quanto maior o erro, maior vai ser o  $EMQ_T$  encontrado nas ortoimagens, por outras palavras, quanto pior for a exatidão altimétrica do DEM utilizado no processo de ortorretificação, pior a exatidão planimétrica das ortoimagens geradas.

Os pontos de interseção do EMQ admitido (linha verde) com o EMQ calculado (linha azul), permitem identificar qual o erro máximo admitido no DEM que permite gerar ortoimagens com a exatidão de 1,25 m exigida, essa interseção mostra que o DEM pode apresentar erros no intervalo aproximado de [-3,5,3,2].

## 4.2. Avaliação da exatidão altimétrica dos DEM's

A avaliação da exatidão altimétrica dos DEM's foi feita recorrendo ao software ArcGIS. Foi utilizada a função Extract Values to Points que extrai o valor do pixel (altimetria) do DEM. Extraídos esses valores, foi calculada a diferença entre o valor altimétrico do DEM e o valor altimétrico real e avaliados os valores mínimos, máximos, médios, desvio padrão e erros médios quadráticos, que podem ser vistos na tabela 17. No anexo E é possível ver as diferenças altimétricas para todos os pontos analisados, bem como os DEMS gerados na sua totalidade.

Tabela 17 - Avaliação da exatidão altimétrica dos DEM's

Bloco	DEM (espaçamento m)	Mínimo (m)	Máximo (m)	Média (m)	Desvio Padrão (m)	EMQ (m)
1 – Par50	20	0.095	7.940	2.303	1.900	2.986
	10	-1.634	4.156	1.438	1.433	2.030
	5	-0.080	3.002	1.422	0.744	1.605
	2.5	-0.116	3.073	1.407	0.846	1.642
2 – Par24	20	0.095	7.940	2.303	1.900	2.986
	10	-4.119	1.369	-0.387	1.380	1.433
	5	-2.991	1.916	-0.306	1.143	1.183
	2.5	-1.340	1.076	-0.321	0.735	0.802
3 - Serra	20	-4.296	3.564	-1.292	1.886	2.286
	10	-7.552	2.644	-2.488	2.318	3.400
	5	-3.322	1.332	-1.086	1.128	1.566
	2.5	-3.868	0.925	-1.429	1.185	1.856
4 - Flor	20	-4.468	0.152	-1.005	1.298	1.642
	10	-7.642	2.982	-0.081	2.707	2.708
	5	-1.113	1.973	0.737	0.927	1.184
	2.5	-1.197	2.711	1.747	1.179	2.108

O valor de referência para o EMQ do modelo digital de elevação a utilizar no processo de ortorretificação, estabelecido pelo JRC, é de duas vezes o EMQ admitido na exatidão planimétrica final das ortoimagens, ou seja de 2.5 m.

O modelo digital de terreno atualmente utilizado pelo IFAP no processo de ortorretificação, com espaçamento de 20 metros, apesar de estar dentro dos limites aceitáveis para áreas de serra e floresta, com um GSD de 0.50 m, não se mostrou capaz de satisfazer as recomendações do JRC em áreas mais urbanas, como se vê no bloco 1 e 2, correspondente à zona de Paredes.

A utilização de um modelo digital de superfície resulta logo a partir dos 10 metros de espaçamento em áreas urbanas, mas essa mesma métrica é ineficaz em zonas mais rurais,

sendo que, só gerando um DSM de 5 metros e face à exatidão altimétrica aconselhada, se pode continuar com o processo de ortorretificação.

Nenhum dos casos analisados mostra ser necessário recorrer ao DSM com o espaçamento mínimo sugerido (5 vezes o GSD), não apresentando mesmo melhorias em termos de exatidão no bloco de floresta e no bloco de Paredes com maior GSD.

A passagem de um GSD de 50 para 24 centímetros, com um DSM de 10 metros mostra uma melhoria em relação ao erro médio quadrático na ordem dos 42 %. Extrapolando essa diferença para os modelos digitais de superfície com espaçamento de 10 metros das outras duas áreas, ficaríamos com a conjectura de que, com o GSD reduzido à sua metade, teríamos um EMQ no DSM de serra de 2,394 m e no DSM na zona de floresta de 1,907 m, ambos abaixo do recomendado e por isso aceitáveis.

Através dos DSM's gerados é possível verificar que em todos os casos estudados quanto menor o espaçamento, maior o detalhe apresentado, sendo o DSM com maior espaçamento, 10 metros, o mais semelhante com o DTM de 20 metros atualmente utilizado.

No primeiro bloco (figura 15), correspondente ao levantamento fotográfico de Paredes com um GSD de 50 centímetros, os DEM de 20 e 10 metros são bastante semelhantes se excluirmos as vias que aparecem no modelo digital de superfície. Com o estreitamento do espaçamento confirma-se o anteriormente descrito, sendo notável o crescente aparecimento de edificações, de figura para figura. A redução do GSD (figura 16) aparentemente não resulta num maior nível de pormenor, no entanto, o valor máximo encontrado nos DSM's passa dos 302 para os 244 metros, valor consideravelmente mais próximo à cota máxima encontrada no DTM (245 metros).

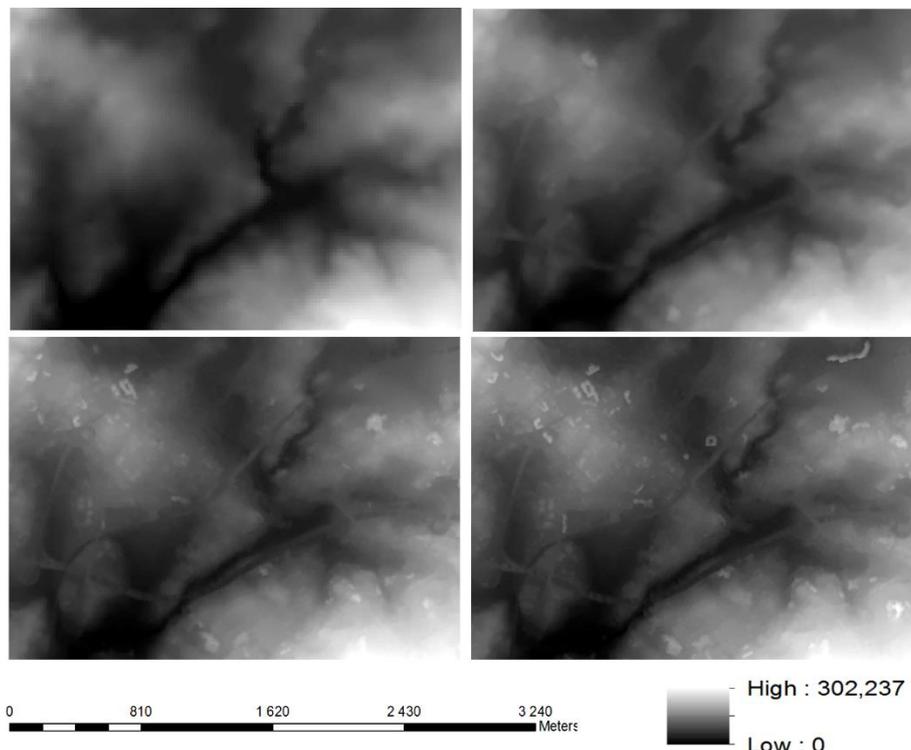


Figura 15 - Detalhe dos DEM's de Paredes (GSD 0.50m). Espaçamentos de 20, 10, 5 e 2,5 metros, por esta ordem, da esquerda para a direita.

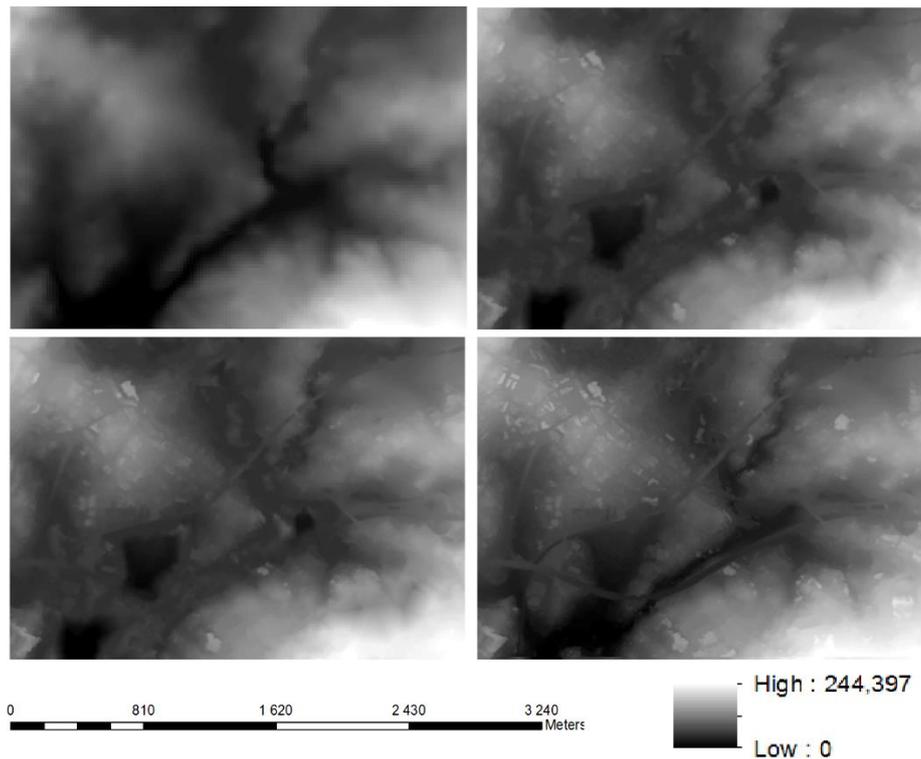


Figura 16 - Detalhe dos DEM's de Paredes (GSD 0.24m). Espaçamentos de 20, 10, 5 e 2,5 metros, por esta ordem, da esquerda para a direita.

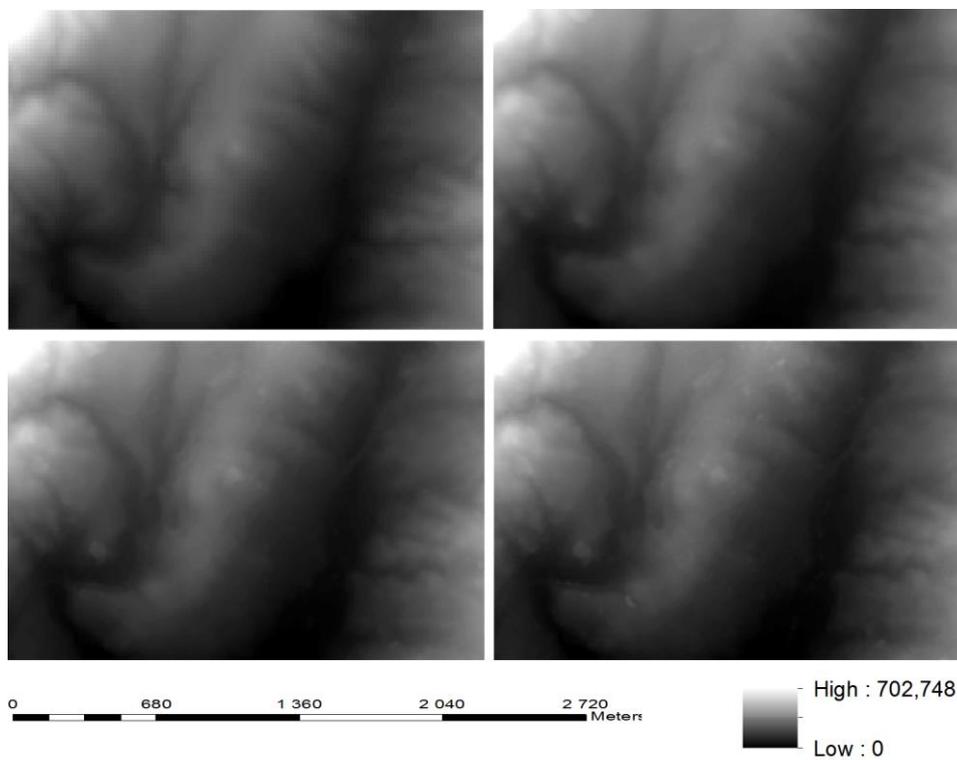


Figura 17 - Detalhe dos DEM's de serra (GSD 0.50m). Espaçamentos de 20, 10, 5 e 2,5 metros, por esta ordem, da esquerda para a direita

Na zona da Serra da Estrela (figura 17), em que o modelo digital de superfície com espaçamento de 10 metros foi insuficiente para garantir a exatidão recomendada, a observação dos DEM's rasterizados não se mostra conclusiva, já que as diferenças para o modelo digital de terreno são ténues. Como no caso de estudo de Paredes os DSM's da área de serra analisada, mesmo sendo uma zona consideravelmente menos urbanizada, mostram tantas mais edificações quanto mais densa a malha de pontos do modelo. No exemplo da figura 17 na primeira imagem é possível ver o modelo digital de terreno, onde, como expectável, não existe qualquer tipo de edificado, passando para a segunda imagem (DSM com espaçamento de 10 metros) nota-se o aparecimento de uma linha mais clara no 1º quadrante da imagem, que corresponde a um viaduto. Nas duas últimas imagens acentuam-se os edificados existentes e aparecem outros que não tinham sido capturados com o espaçamento de 10 metros, no último quadrante das imagens em questão, é ainda possível ver, na zona mais escura, uns pontos de cota mais alta que correspondem a uma zona de proteção/conservação por ali passar uma linha de água.

Por fim, através da análise da figura 18, correspondente ao exemplo da área de floresta, as diferenças entre o DTM e o primeiro DSM são facilmente detetáveis, já que, mesmo com um maior espaçamento o DTM aparenta uma maior definição. Neste exemplo é possível destacar duas áreas, uma de alta altitude no canto superior esquerdo e outra de baixa altitude no canto inferior direito, que são respetivamente um monte arborizado e um lago localizado numa antiga pedreira, estas áreas mantêm-se estáveis em todos os DEM's. Como nos casos anteriores, com o adensamento da malha maior o número de edificações notado no DSM e menos homogéneo se apresenta.

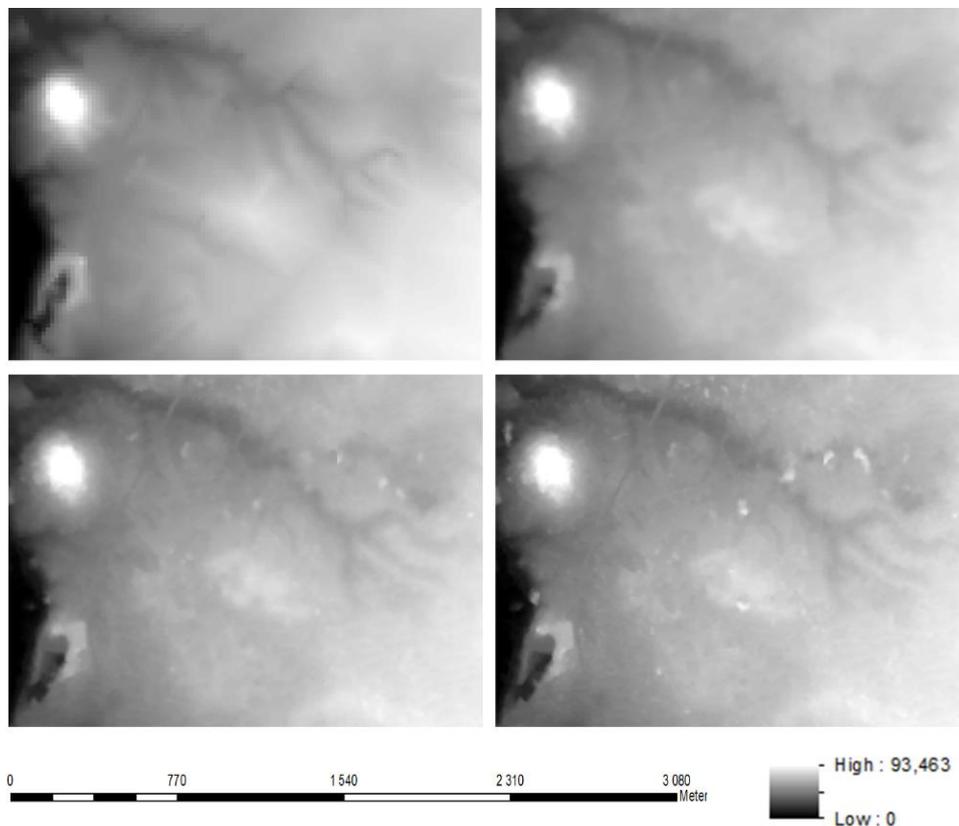


Figura 18 - Detalhe dos DEM's de floresta (GSD 0.50m). Espaçamentos de 20, 10, 5 e 2,5 metros, por esta ordem, da esquerda para a direita

### 4.3. Avaliação da exatidão planimétrica das ortoimagens

A avaliação da exatidão planimétrica das ortoimagens foi realizada seguindo os mesmos procedimentos que a avaliação da exatidão altimétrica dos DEM's. As tabelas com os valores calculados para todos os pontos e todas as ortoimagens podem ser vistas no anexo F.

Como foi dito no início deste documento, o valor limite para a exatidão planimétrica das ortoimagens estabelecido pela Política Agrícola Comum da União Europeia (PAC) irá passar de dois metros e meio para um metro e vinte e cinco centímetros. Foi por isso calculado o erro médio quadrático em X e em Y e depois o  $EMQ_F$  para cada uma das ortos geradas e comparado com o valor de referência.

Tabela 18 - Avaliação da exatidão planimétrica das ortoimagens

Bloco	DEM (espaçamento m)	$EMQ_F$ (m)
1 – Par50	20	17.968
	10	0.953
	5	0.842
	2.5	0.754
2 – Par24	20	1.681
	10	0.636
	5	0.517
	2.5	0.447
3 - Serra	20	1.123
	10	1.173
	5	0.869
	2.5	0.760
4 - Flor	20	1.663
	10	1.350
	5	1.110
	2.5	1.091

Na zona de Paredes, as ortoimagens processadas com o modelo digital de terreno com espaçamento de 20 metros ficaram aquém da exatidão planimétrica exigida de 1.25 metros, que vai de acordo com a não-aceitação desse mesmo DTM vista anteriormente.

Qualquer um dos DSM's gerados automaticamente conseguem garantir ortoimagens com a exatidão exigida, apresentando melhorias com a mudança de GSD na ordem dos 38%. O valor máximo do  $EMQ_T$  esperado era de 2.5 metros, já que as condições atuais coincidem com os requisitos mínimos adotados para este estudo (GSD de 0,50 metros e DEM com espaçamento de 20 metros), no entanto no caso de Paredes com GSD de 50 cm acoplado com o DTM a exatidão ultrapassa em 7 vezes esse valor. Para despistar a possibilidade de qualquer erro durante o processamento da ortoimagem foi refeita a orto, (de lembrar que tanto na produção dos DEM's como das ortoimagens, dentro da mesma zona e do mesmo GSD, é utilizado sempre o mesmo bloco de imagens georreferenciado), concluído o processo e avaliando novamente a exatidão desta ortoimagem descartou-se a hipótese de erro já que os resultados se mantiveram.

No bloco de Serra todas as ortoimagens geradas apresentam uma exatidão planimétrica superior a 1.25 metros, mesmo a gerada com o modelo digital de superfície com espaçamento de 10 metros que não tinha a exatidão altimétrica exigida (tabela 17).

No último bloco de imagens, zona de floresta, tanto o DTM de 20m como o DSM de 10m não se mostraram suficientes para atender às exigências da nova PAC, comparando os resultados das ortoimagens com a avaliação da exatidão altimétrica repara-se que mesmo o DTM de 20 metros estar de acordo com as recomendações da JRC, não conseguiu gerar uma ortoimagem com qualidade suficiente.

Nos gráficos que se seguem é possível ver não só o  $EMQ_T$ , como a progressão individual do erro médio quadrático tanto em X como em Y. Foi também adicionada uma linha de tendência, incluindo os valores de  $EMQ_T$  das ortoimagens que utilizaram os modelos digitais de superfície criados automaticamente, com o objetivo de perceber qual a propensão desta variável com o estreitamento do espaçamento do DEM. Acoplado a essa linha aparece também o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que é a medida da proporção da variabilidade numa variável que é explicada pela variabilidade da outra, este coeficiente varia de 0 a 1, sendo 0 nenhuma correlação entre as variações das variáveis em questão e 1 a correlação perfeita [Catita, 2013].

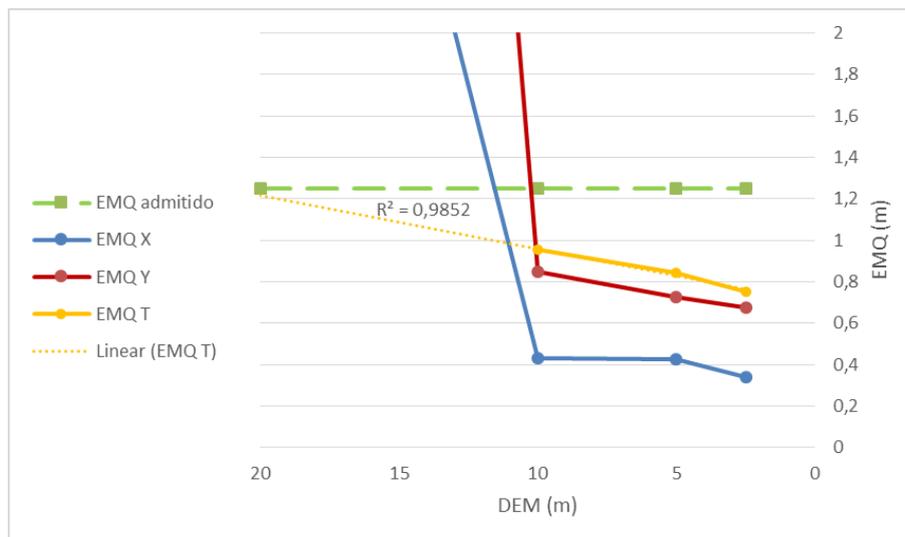


Gráfico 2 - EMQ, zona de Paredes, GSD 0.50m

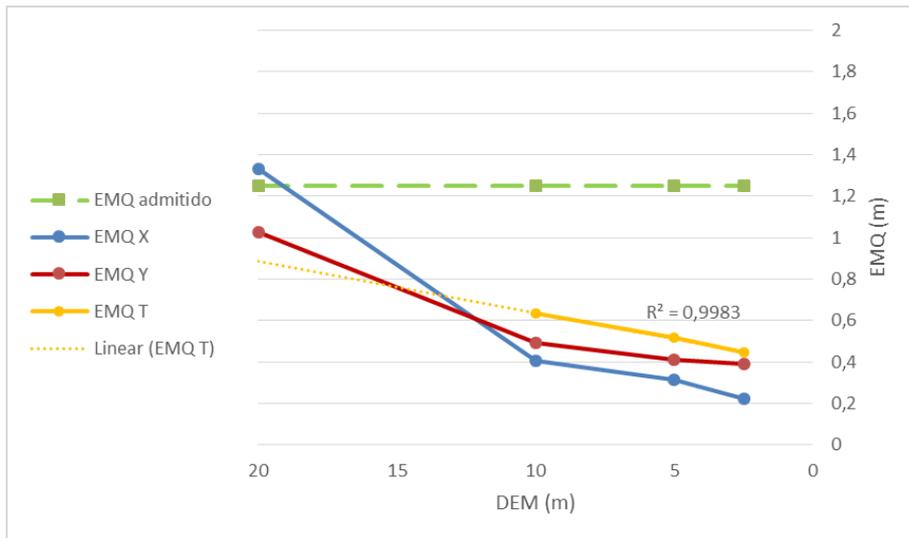


Gráfico 3 - EMQ, zona de Paredes, GSD 0.24m

No gráfico 2 e 3 (área urbana) é possível ver que, com os DMS's, o deslocamento em Y é sempre maior que o deslocamento em X e que a diferença/distância entre eles se mantém quase inalterável. A progressão do EMQ a partir do espaçamento de 10 metros mostra-se lenta, apesar de se notar uma melhoria na exatidão planimétrica das ortoimagens não é significativa, ou seja, para este tipo de terreno não mostra haver vantagem em adotar um DSM com espaçamento inferior a 10 metros. Quanto ao valor do  $R^2$  este mostra-se muito próximo da unidade em ambos os casos, o que quer dizer que a exatidão planimétrica das ortoimagens depende diretamente e quase exclusivamente do espaçamento dos DEM's e consequentemente da sua exatidão altimétrica.

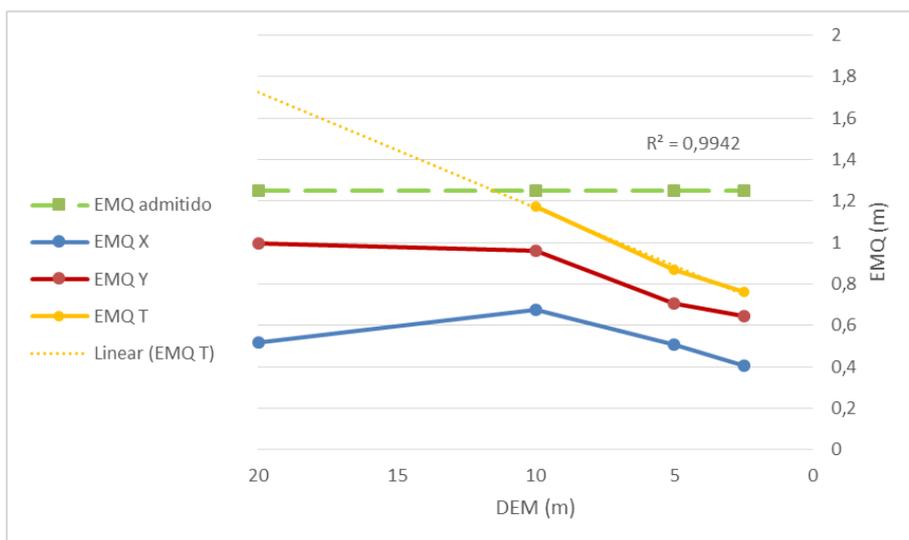


Gráfico 4 - EMQ, zona de Serra, GSD 0.50m

No gráfico 4 podem ser vistos os dados relativos à carta 224, correspondente à zona de serra, como no caso de Paredes também aqui os erros na direção Y se mostram maiores que em direção a X e também a distância entre as duas linhas se mantém aproximadamente estável. Da passagem do DTM para o DSM com espaçamento de 10 metros, nota-se uma diminuição da exatidão em X que o DSM só consegue repor com o espaçamento a partir dos 5 metros. Mais uma vez não há indícios de ser necessário adotar um DSM com espaçamento inferior a 10 metros, sendo mesmo possível para este caso manter, sem quaisquer alterações, as condições atuais de ortorretificação. O coeficiente de determinação volta-se a aproximar da unidade, mostrando uma correlação praticamente perfeita entre as duas variáveis.

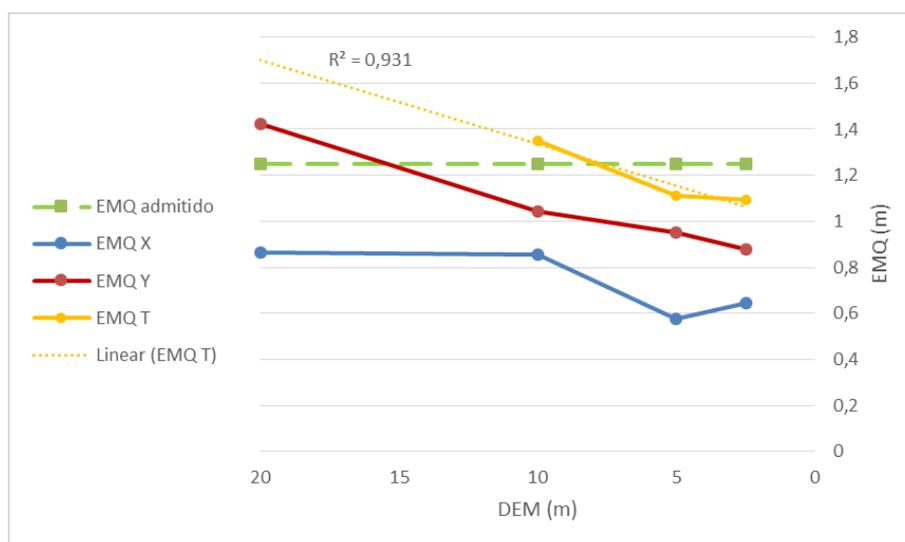


Gráfico 5 - EMQ, zona de floresta, GSD 0.50m

No gráfico 5 estão os dados da área de floresta, neste caso a evolução da exatidão em X e em Y é distinta. Em Y, na passagem do DTM para o DSM, há uma queda considerável no valor do EMQ cruzando o valor limite admitido, com a melhoria dos DSM's nota-se também uma melhoria da exatidão, no entanto mais suave que a primeira. A progressão do erro médio quadrático em X é bastante irregular, é estável na passagem de DTM para DSM, depois com o espaçamento do DSM diminuído de 10 para 5 metros, a exatidão planimétrica em X das ortoimagens melhora mas com a passagem para o espaçamento mínimo volta a deteriorar-se. Apesar da ortoimagem processada com o modelo digital de superfície com espaçamento de 10 metros apresentar um EMQ em X e em Y abaixo do admitido, o EMQ<sub>T</sub> ainda se encontra acima do esperado sendo portanto necessário utilizar um DSM com espaçamento de 5 metros. Este caso apresenta um coeficiente de determinação mais baixo em relação aos outros, no entanto continua a ser suficientemente expressivo para explicar a correlação espaçamento do DSM versus exatidão planimétrica da ortoimagem.

## 5. Conclusões

---

Todos os procedimentos práticos efetuados e análises efetuadas durante este trabalho tiveram o objetivo de assegurar uma solução de requisitos mínimos fiável e segura, para a produção de ortoimagens que respeitassem as exatidões impostas pela nova Política Agrícola Comum, para o Sistema de Identificação Parcelar descritas no regulamento (EU) N° 1306/2013.

Como esperado, através da simulação gerada pela rotina MATLAB, ficou provada a relação direta entre a exatidão altimétrica dos DEM's utilizados no processo de ortorretificação, com a exatidão planimétrica das ortoimagens geradas. Essa relação traduz-se em quanto maior for o erro do DEM, menor irá ser a exatidão das ortoimagens. Foi visto também que o valor de  $EMQ_T$  mais baixo aparece quando o DEM é o mais próximo possível da realidade, ou seja, quando a diferença do valor do DEM para o valor de elevação real é igual a zero e que a evolução do erro médio quadrático é simétrica face ao incremento ou decréscimo de erros no modelo digital de elevação. Concluiu-se ainda que para se obter uma ortomagem com exatidão de 1.25 metros, o DEM não pode apresentar altitudes com um erro superior a 3.2 metros, valor aproximado ao recomendado pela JRC.

Para um GSD de 0.50 m, em zonas mais urbanas, bloco 1, o DTM de 20 metros atualmente usado no SIP não se mostrou capaz de satisfazer a tolerância de 2.5 metros recomendada pela JRC, por outro lado, o DSM mostrou-se eficaz mesmo com o maior espaçamento admitido. Em zonas mais rurais, como a zona de serra e de floresta, o DTM mesmo tendo espaçamento maior que o máximo recomendado conseguiu ficar dentro dos limites de exatidão, no entanto para estas áreas o DSM de 10 metros mostrou-se ineficaz, sendo necessário diminuir o espaçamento para os 5 metros para os resultados serem aceitáveis de modo a poder-se prosseguir com o processo de ortorretificação.

Em relação às ortoimagens geradas com o GSD atual, na zona de Paredes os resultados da exatidão altimétrica dos DEM's foram concordantes com os resultados da exatidão planimétrica, rejeitando o processamento com o DTM e aceitando os resultados com qualquer um dos DSM's utilizados. No caso da zona de Serra todas as ortoimagens geradas podem ser dadas como aceites, já que todas apresentam  $EMQ_T$  inferior a 1.25 metros, para a zona de floresta os resultados só se mostraram aceitáveis ao usar o DSM com espaçamento igual ou inferior a 5m. Apenas o DSM de 5 metros consegue atingir a exatidão pretendida em todos os blocos de imagens.

A passagem de um GSD de 50 para 24 centímetros, com um DSM de 10 metros mostra uma melhoria em relação à exatidão altimétrica de aproximadamente 42% e de 38% para a exatidão planimétrica das ortoimagens. Extrapolando essa diferença para os modelos digitais de superfície com espaçamento de 10 metros das áreas de floresta e de serra, fica a conjectura de que, com o GSD reduzido à sua metade, teríamos um  $EMQ$  de 2.394 e de 1.907 para os DSM's de serra e floresta respetivamente, e o  $EMQ_T$  planimétrico da zona de floresta passaria a ser de 0.978, valores abaixo do recomendado e por isso aceitáveis. No entanto o valor limite para o espaçamento dos DSM's aquando a utilização de imagens

com GSD de 0.24 cm é de 5 metros, não podendo o espaçamento de 10 metros ser considerado como apto.

A hipótese de reaproveitamento do DTM com espaçamento de 20 metros, atualmente utilizado, no processo de ortorretificação é desde logo excluída, já que não cumpre com os requisitos da JRC, mesmo que nalguns casos tenha mostrado conseguir cumprir com a exatidão planimétrica exigida.

Face aos resultados obtidos a solução de requisitos mínimos a ser considerada para a elaboração de ortoimagens de acordo com as exigências da nova PAC para 2016, deve passar pelo reaproveitamento das imagens originais de 2012 com um GSD de 0.50 metros, a partir das quais se deve gerar um novo DSM com espaçamento igual ou inferior a 5 metros e ortorretificar as imagens com esse mesmo modelo digital de superfície.

A necessidade de realizar novo voo pode ser descartada, uma vez que em nenhum dos casos de análise mostra ser necessário recorrer a um GSD menor e de mesmo com um GSD de 0.24 centímetros não ser possível reutilizar o DTM atual.

## 6. Referências Bibliográficas

---

Andresen, H. (2004) “Efficient and Well-documented Digital Orthophoto Production from Airborne Photogrammetry” *3rd FIG Regional Conference*, Jakarta, Indonesia, October 3-7, 2004

Available: [https://www.fig.net/pub/jakarta/papers/ts\\_22/ts\\_22\\_7\\_andresen.pdf](https://www.fig.net/pub/jakarta/papers/ts_22/ts_22_7_andresen.pdf)

ASPRS (2013) “Accuracy Standards for Digital Geospatial Data” [Online]. Available: [http://c.ymcdn.com/sites/www.mapps.org/resource/collection/DC6E171F-93D8-41FD-AF6E-AEDBB829867A/December\\_HLA\\_v3.pdf](http://c.ymcdn.com/sites/www.mapps.org/resource/collection/DC6E171F-93D8-41FD-AF6E-AEDBB829867A/December_HLA_v3.pdf)

Astrand, P. J., E. Gervasini, B. Vajsova, I. San-Miguel (2012) “VHR Image Acquisition Specifications for the CAP checks (CwRS and LPIS QA)” *EC-DG-JRC-IES – Digital Earth and Reference Data Unit*

Available: <http://cidportal.jrc.ec.europa.eu/home/sites/default/files/user/16082.pdf>

Ayhan, E., O. Erden, G. Atay, E. Tunç (2006) “Digital Orthophoto Generation with Aerial Photos and Satellite Images and Analyzing of Factors which Affect Accuracy” *Shaping the Change XXIII FIG Congress*, Munich, Germany, 8-13 October 2006  
Available: [https://www.fig.net/pub/fig2006/papers/ps05\\_08/ps05\\_08\\_02\\_ayhan\\_et\\_al\\_05\\_52.pdf](https://www.fig.net/pub/fig2006/papers/ps05_08/ps05_08_02_ayhan_et_al_05_52.pdf)

Bosio, V., L.C. Zuim (2007) “Utilização de dados altimétricos na cartografia do IBGE e avaliação de metodologias de comparações entre modelos digitais de terreno” *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26 Abril 2007, INPE, pp. 1257-126

Catita, C. (2013) “Regressão Espacial”, apontamentos das aulas Análise Espacial da Informação Geográfica, texto não publicado, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Coelho, L., J. N. Brito (2007) “Fotogrametria Digital” Available: [http://www.geosenso.com/arquivos/fotogrametria\\_digital\\_revisado.pdf](http://www.geosenso.com/arquivos/fotogrametria_digital_revisado.pdf)

El-sheimy, N. (2008) “Land mobile mapping systems” *Advances in Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences: 2008 ISPRS Congress Book*, pp. 85-97

Gemael, C. (1994) “Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas.” 1.ed. Curitiba: Editora da UFPR, 1994.

Gonçalves, G. R. (2005) “Elementos de Fotogrametria Analítica” Available: <http://www.mat.uc.pt/~gil/downloads/fotogrametria0506>

Greenfeld, J. (2001) “Evaluating the accuracy of Digital Orthophoto Quadrangles (DOQ) in the Context of Parcel-Based GIS” *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 67, No. 2, February 2001, pp. 199-205

Hohle, J. (2011) “DEM Generation By Means of New Digital Aerial Cameras” *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-3/W22, pp. 185-190

Kapnias, D., P. Milenov, S. Kay (2008) “Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery” *JRC Scientific and Technical Reports* Available: <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/Bulletins-Publications/Guidelines-for-Best-Practice-and-Quality-Checking-of-Ortho-Imagery-v-3.0>

Kraus, K. (2007) “Photogrammetry – Geometry from Images and Laser Scans”, Vol. 1, 2<sup>a</sup>, Walter de Gruyter, Berlin, Germany

Nakahori, A. A. G., S. F. Souza (2012) “Avaliação da qualidade de ortoimagens do sensor PRISM/ALOS-2: estudo de caso para São Gabriel, RS, Brasil” *Journal of Geoscience*, Vol. 8, No. 1, Jan/June 2012, pp. 6-17

Nazareno, N. R. X., N. C. Ferreira, F. C. Macedo (2007) “Avaliação da Exatidão Cartográfica da Ortofoto Digital do Município de Goiânia – GO” *Presidente Prudente – SP*, 24-27 de Julho de 2007, pp. 889-896

Okida, R., S. Luiz, C. G. Oliveira (2003) “Avaliação da Exatidão de Orto-Imagens IKONOS” *Anais XI SBSR*, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 Abril de 2003, INPE, pp. 285-292

Oliveira, C. G., W. R. Paradella, A. R. Santos, A. Q. Silva, R. R. Marinho (2011) “Geração de DSMs e ortoimagens RADARSAT-2 Ultra-Fine utilizando a modelagem Rational Polynomial Coefficients (RPCs)” *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, Curitiba, Brasil, 30 de Abril a 05 de Maio de 2011, pp. 8129-8136

Oliveira, R. A., A. M. G. Tommasseli, (2012) “Geração Automática de Modelo Digital de Superfície Utilizando Múltiplas Imagens” *Anais III Simpósio Brasileiro de Geomática*, Presidente Prudente, Brasil, 26 Julho a 28 de Julho de 2012, pp.193-198

Passini, R., K. Jacobsen (2012) “Accuracy Analysis of Digital Orthophotos from Very High Resolution Imagery” Available: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm4/papers/437.pdf>

Redweik, P. (2012) “Fotogrametria Analítica”, apontamentos das aulas de Fotogrametria Analítica, texto não publicado, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Redweik, P. (2013) “Produção Cartográfica”, apontamentos das aulas de Produção Cartográfica, texto não publicado, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Regulamento (EU) N° 1306/2013 do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Dezembro de 2013.

Available: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:347:0549:0607:pt:PDF>

Sheng, Y., P. Gong, G. S. Biging (2003) “ True Orthoimage Production for Forested Areas from Large-Scale Aerial Photographs” *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 69, No. 3, March 2003, pp. 259-266

Zhu, L. H. Umakawa, F. Guan, K. Tachibana, H. Shimamura (2008) “Accuracy Investigation of Orthoimages Obtained from High Resoluition Satellite Stereo Pairs” *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B1, pp. 1145-1148

Wang, Z. (1990) Principles of photogrammetry (with Remote Sensing). Beijing, China: Press of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, and Publishing House of Surveying and Mapping

Weng, Q. (2002) “Quantifying Uncertainty of Digital Elevation Models Derived from Topographic Maps”, Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa, 2002

Available: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/part4/pdfpapers/050.pdf>

# ANEXOS

## Anexo A - Esquemas de voo

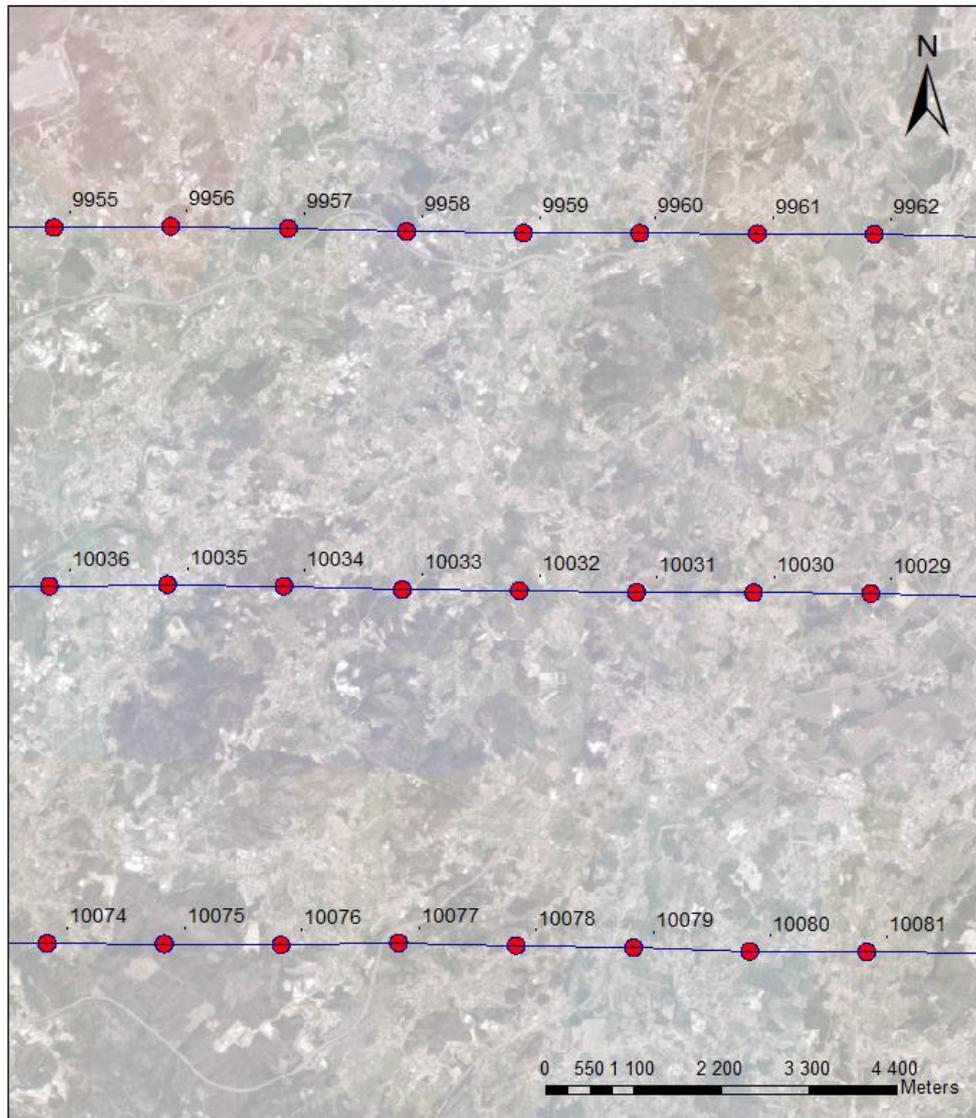


Fig. Anexo 1 - Esquema de voo do bloco 1

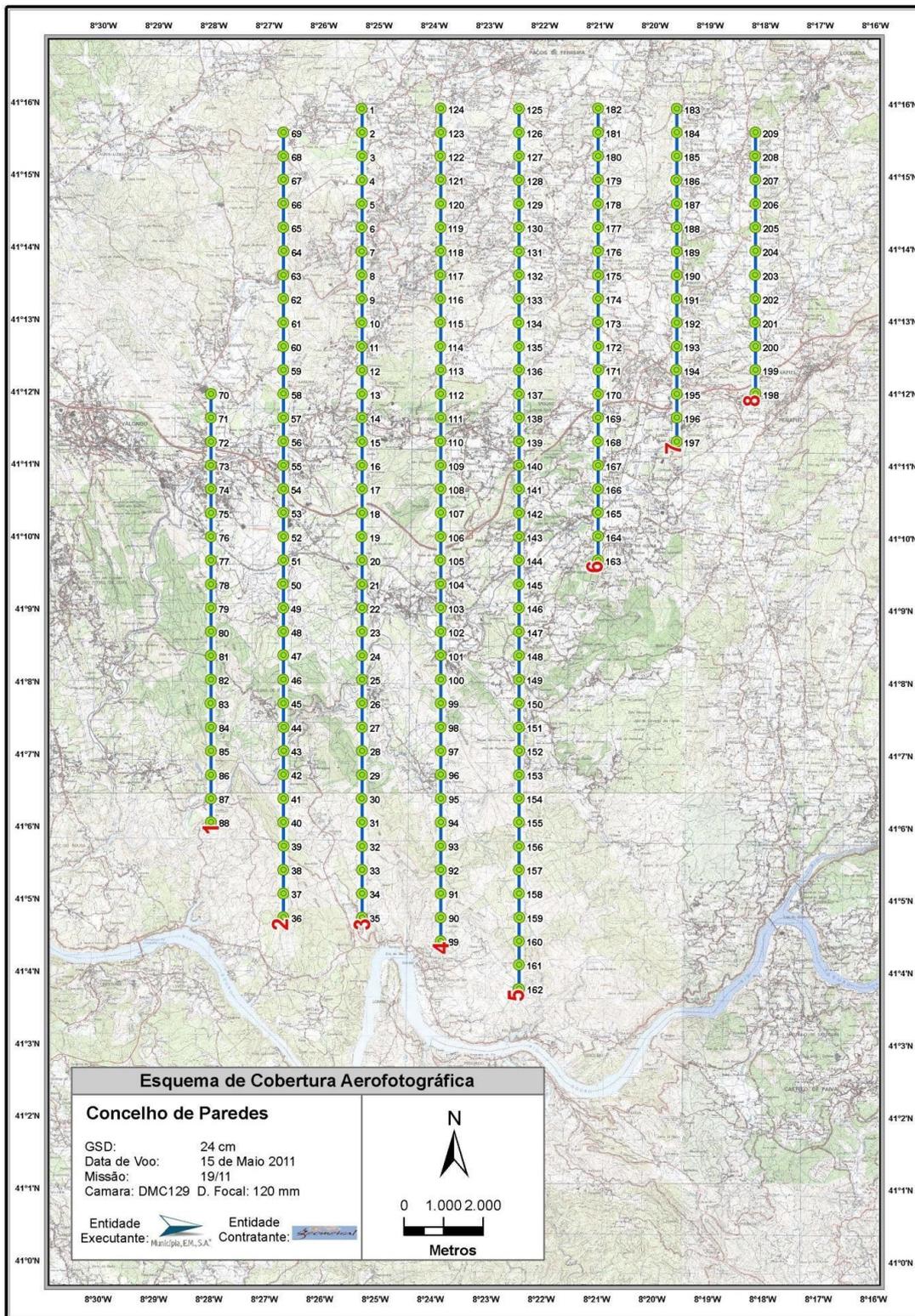


Fig. Anexo 2 - Esquema de voo do bloco 2

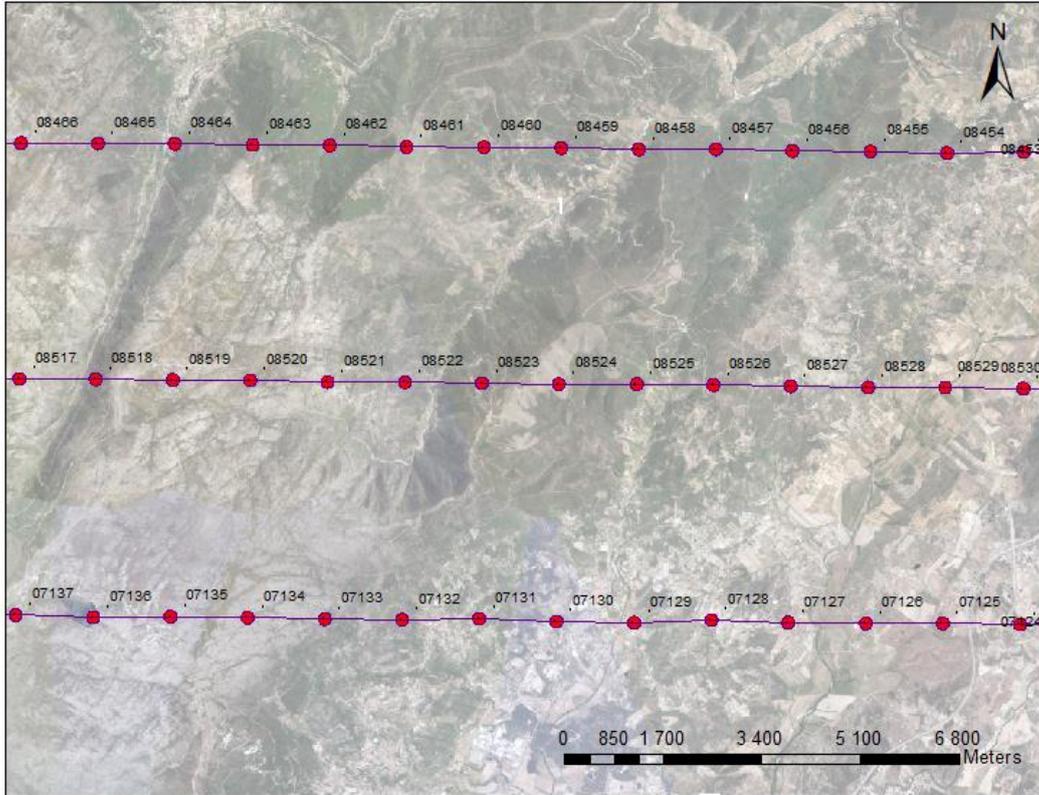


Fig. Anexo 3 - Esquema de voo do bloco 3

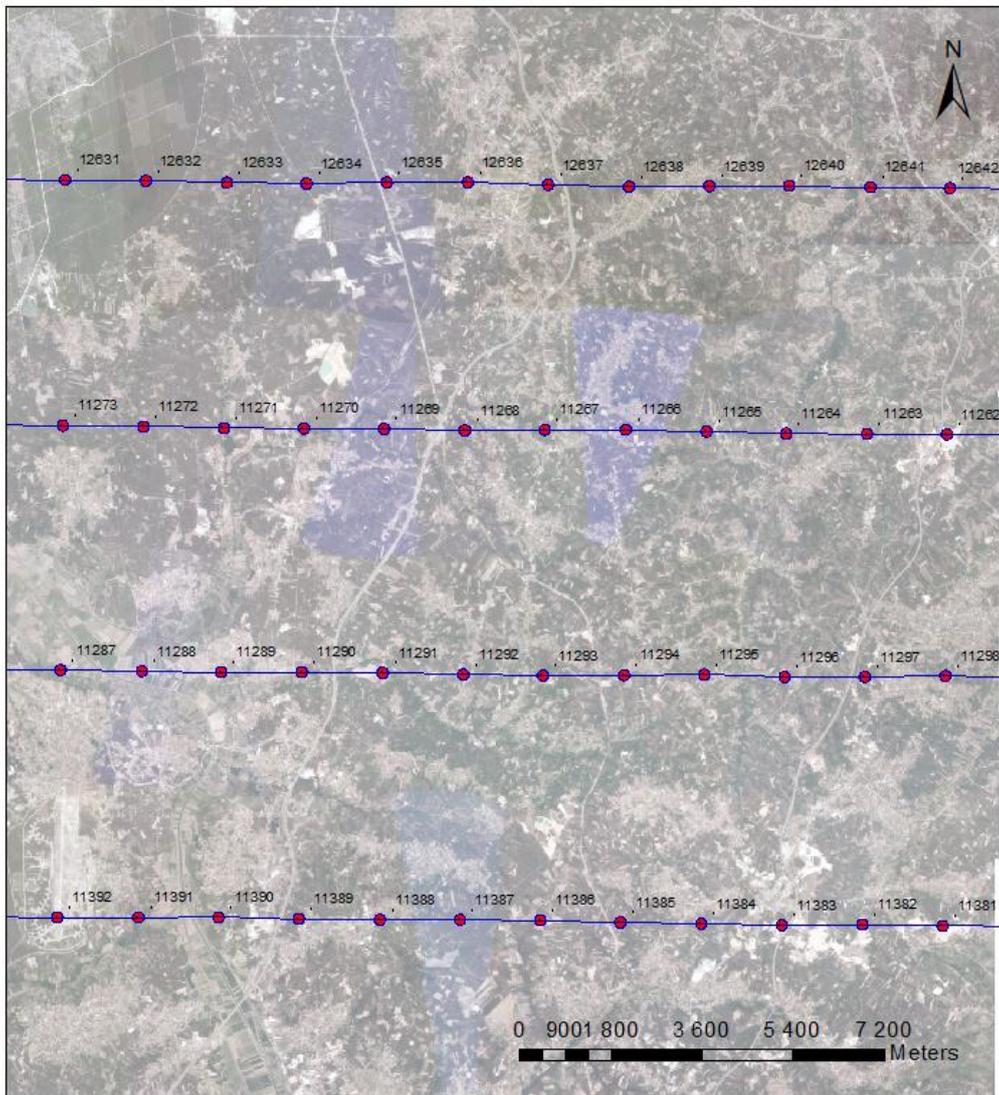


Fig. Anexo 4 - Esquema de voo do bloco 4

## Anexo B – Orientações externas dos blocos de imagens

Tab. Anexo 1 - Orientações externas das fotos do bloco 1

Foto	Fi	X(m)	Y(m)	Z(m)	Om	Phi	Kappa	SE	SN	SH	SOSP	SK
9955	23	-24562,056	177128,742	7214,553	-5,723	-0,292	-0,336	0,019	0,023	0,041	0,003	0,008
9956	23	-23095,189	177143,588	7210,205	4,252	0,185	0,150	0,019	0,023	0,041	0,003	0,008
9957	23	-21619,694	177116,478	7210,021	0,361	-0,496	-0,710	0,019	0,023	0,041	0,003	0,008
9958	23	-20133,839	177075,589	7220,272	-0,049	-0,588	-0,932	0,019	0,024	0,041	0,003	0,008
9959	23	-18665,510	177057,070	7217,424	0,055	-0,268	-0,340	0,019	0,024	0,041	0,003	0,008
9960	23	-17206,015	177056,542	7222,677	-2,556	-0,659	0,054	0,019	0,024	0,041	0,003	0,008
9961	23	-15728,597	177052,707	7220,397	-1,040	-0,084	0,752	0,019	0,024	0,041	0,003	0,008
9962	23	-14260,174	177044,057	7212,907	-0,323	0,089	0,937	0,019	0,024	0,041	0,003	0,008
10029	24	-14304,833	172496,743	7220,818	0,649	0,455	-179,529	0,018	0,029	0,043	0,003	0,009
10030	24	-15777,317	172506,229	7236,973	-2,673	0,890	-179,036	0,018	0,029	0,043	0,003	0,009
10031	24	-17246,738	172511,316	7220,595	-0,255	-0,414	-178,799	0,018	0,029	0,043	0,003	0,009
10032	24	-18717,417	172531,970	7224,264	-0,585	0,463	-179,146	0,018	0,029	0,043	0,003	0,009
10033	24	-20188,921	172544,510	7209,327	-1,916	-0,326	-179,012	0,018	0,029	0,043	0,003	0,009
10034	24	-21674,435	172590,643	7221,792	-0,700	1,255	-179,422	0,018	0,029	0,043	0,003	0,009
10035	24	-23136,115	172610,387	7206,741	0,260	-0,362	-179,350	0,018	0,029	0,044	0,003	0,009
10036	24	-24619,716	172590,345	7221,894	0,419	0,777	-178,088	0,018	0,029	0,044	0,003	0,009
10074	25	-24648,988	168067,198	7227,554	0,728	-0,707	0,731	0,018	0,033	0,048	0,003	0,008
10075	25	-23176,688	168061,516	7222,743	-0,023	0,094	0,772	0,018	0,033	0,048	0,003	0,008
10076	25	-21711,773	168047,737	7219,736	-0,461	-0,167	0,853	0,018	0,033	0,048	0,003	0,008
10077	25	-20233,717	168073,055	7226,291	1,518	-0,138	1,605	0,018	0,033	0,048	0,003	0,008
10078	25	-18758,387	168041,493	7200,869	1,606	0,581	0,274	0,018	0,033	0,048	0,003	0,008
10079	25	-17284,302	168013,823	7223,096	-1,320	-1,065	-0,508	0,018	0,033	0,048	0,003	0,008
10080	25	-15825,372	167967,734	7209,564	-1,229	0,183	-1,186	0,018	0,033	0,049	0,003	0,008
10081	25	-14353,950	167958,194	7228,301	-3,146	-1,295	-0,485	0,018	0,032	0,049	0,003	0,008

Tab. Anexo 2 - Orientações externas das fotos do bloco 2

Foto	Fi	X(m)	Y(m)	Z(m)	Om	Phi	Kappa	SE	SN	SH	SOSP	SK
111	4	-22111,834	169593,004	2592,505	-0,265	0,062	89,794	0,027	0,027	0,029	0,003	0,006
112	4	-22110,812	170200,026	2590,614	-0,322	-0,257	90,015	0,027	0,027	0,029	0,003	0,006
113	4	-22112,327	170809,500	2590,647	-0,141	-0,822	90,492	0,027	0,027	0,029	0,003	0,006
114	4	-22116,908	171418,509	2592,300	0,115	0,591	90,085	0,027	0,027	0,029	0,003	0,006
115	4	-22116,356	172026,300	2591,074	-0,086	-0,221	90,170	0,027	0,027	0,029	0,003	0,006
116	4	-22117,927	172634,133	2589,045	-0,046	0,391	89,953	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
117	4	-22115,376	173243,351	2593,358	0,022	-0,225	89,982	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
118	4	-22113,361	173851,049	2593,596	-0,085	-0,129	89,844	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
119	4	-22113,629	174460,309	2593,003	-0,027	0,108	89,866	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
120	4	-22111,855	175066,553	2588,999	0,039	-0,500	90,127	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
121	4	-22114,033	175673,949	2588,809	0,279	-0,346	90,314	0,026	0,026	0,029	0,003	0,005
122	4	-22115,689	176282,933	2587,734	0,389	0,211	90,051	0,026	0,026	0,029	0,003	0,005
127	5	-20123,995	176276,546	2538,947	-0,044	-1,003	-89,855	0,026	0,026	0,029	0,003	0,005
128	5	-20125,303	175669,607	2537,891	-0,234	0,094	-89,576	0,026	0,026	0,029	0,003	0,005

129	5	-20126,026	175060,601	2536,062	-0,128	-0,186	-89,986	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
130	5	-20126,651	174453,537	2537,924	-0,335	-1,167	-90,533	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
131	5	-20124,255	173844,215	2538,746	-0,178	0,249	-89,221	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
132	5	-20123,917	173237,199	2537,777	-0,129	-0,285	-90,072	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
133	5	-20127,871	172628,264	2538,457	-0,142	-1,052	-90,980	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
134	5	-20137,900	172020,486	2534,036	-0,080	1,222	-90,047	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
135	5	-20128,783	171412,771	2535,706	-0,564	0,210	-89,325	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
136	5	-20128,562	170804,282	2536,960	-0,548	0,671	-89,526	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
137	5	-20126,897	170195,198	2537,933	-0,524	0,244	-89,788	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
138	5	-20129,706	169587,815	2540,755	-0,591	0,340	-90,241	0,026	0,026	0,029	0,003	0,006
169	6	-18134,821	169592,998	2549,770	0,383	0,615	89,782	0,027	0,027	0,029	0,003	0,007
170	6	-18132,872	170200,646	2550,670	0,285	0,203	89,824	0,027	0,027	0,029	0,003	0,007
171	6	-18128,084	170808,862	2551,327	0,235	0,331	89,505	0,027	0,027	0,029	0,003	0,007
172	6	-18128,717	171417,301	2551,856	0,212	-1,384	90,813	0,027	0,027	0,029	0,003	0,007
173	6	-18134,711	172024,824	2553,324	0,353	0,090	90,357	0,027	0,027	0,029	0,003	0,007
174	6	-18129,671	172633,364	2553,066	0,374	-0,066	89,781	0,027	0,027	0,029	0,003	0,007
175	6	-18131,213	173241,613	2554,189	0,305	-0,536	90,378	0,027	0,027	0,029	0,003	0,007
176	6	-18133,848	173849,931	2551,334	0,046	0,189	90,226	0,027	0,027	0,029	0,003	0,007
177	6	-18133,248	174458,380	2550,149	0,058	-0,280	90,202	0,027	0,027	0,030	0,003	0,007
178	6	-18135,337	175065,937	2555,232	0,526	0,600	89,925	0,027	0,027	0,030	0,003	0,007
179	6	-18129,938	175674,682	2552,795	0,089	-0,412	89,924	0,027	0,027	0,030	0,003	0,007
180	6	-18133,966	176282,751	2551,953	0,148	-0,351	90,618	0,027	0,027	0,030	0,003	0,007
185	7	-16146,442	176277,019	2542,990	0,006	0,448	-89,646	0,027	0,027	0,030	0,003	0,006
186	7	-16147,386	175668,752	2542,981	-0,198	0,140	-89,927	0,027	0,027	0,030	0,003	0,006
187	7	-16140,671	175061,135	2545,724	-0,354	-0,545	-89,492	0,027	0,027	0,030	0,003	0,006
188	7	-16145,495	174452,024	2546,810	-0,633	-0,403	-90,289	0,027	0,027	0,030	0,003	0,006
189	7	-16146,980	173844,654	2548,289	-0,638	-0,141	-89,965	0,027	0,027	0,030	0,003	0,006
190	7	-16140,597	173235,980	2547,324	-0,354	0,128	-89,197	0,027	0,027	0,030	0,003	0,006
191	7	-16143,730	172628,596	2552,670	-0,648	-0,096	-90,280	0,027	0,027	0,030	0,003	0,006
192	7	-16139,763	172019,526	2557,388	-0,364	0,492	-89,254	0,027	0,027	0,030	0,003	0,006
193	7	-16144,216	171411,056	2548,583	0,425	-0,739	-90,710	0,027	0,027	0,030	0,003	0,006
194	7	-16148,413	170803,737	2547,672	-0,122	0,741	-89,867	0,027	0,027	0,030	0,003	0,005
195	7	-16139,703	170194,828	2552,290	-0,435	0,932	-88,832	0,027	0,027	0,030	0,003	0,005
196	7	-16140,864	169586,960	2549,548	0,067	-1,184	-90,765	0,027	0,027	0,030	0,003	0,005

Tab. Anexo 3 - Orientações externas das fotos do bloco 3

Foto	Fi	X(m)	Y(m)	Z(m)	Om	Phi	Kappa	SE	SN	SH	SOSP	SK
7123	94	65958,416	71362,171	6969,637	2,660	0,087	178,934	0,027	0,032	0,049	0,003	0,008
7124	94	64628,275	71358,566	6990,261	-2,590	1,213	-179,946	0,020	0,024	0,042	0,003	0,008
7125	94	63293,783	71376,273	6974,247	-6,676	0,038	179,882	0,020	0,024	0,041	0,003	0,008
7126	94	61960,775	71376,790	6981,302	0,429	0,260	-179,410	0,020	0,024	0,041	0,003	0,008
7127	94	60621,865	71390,920	6984,554	2,439	0,700	179,436	0,020	0,024	0,041	0,003	0,008
7128	94	59291,159	71434,018	6976,629	6,330	0,814	178,956	0,021	0,024	0,041	0,003	0,008
7129	94	57958,524	71390,465	6977,998	4,279	-0,538	-178,793	0,020	0,024	0,041	0,003	0,008
7130	94	56615,669	71410,274	6967,797	-0,811	0,946	179,376	0,020	0,024	0,041	0,003	0,008
7131	94	55279,533	71459,705	6967,535	0,597	1,025	178,857	0,020	0,024	0,041	0,003	0,008
7132	94	53950,034	71438,974	6970,634	-1,544	-0,194	-179,904	0,020	0,024	0,041	0,003	0,008
7133	94	52613,409	71452,656	6977,516	0,174	0,567	179,207	0,020	0,024	0,041	0,003	0,008
7134	94	51278,491	71474,252	6975,996	-3,230	0,921	179,742	0,020	0,024	0,041	0,003	0,008

7135	94	49945,366	71494,470	6972,450	1,083	-0,086	179,521	0,020	0,024	0,041	0,003	0,008
7136	94	48612,308	71482,850	6982,091	-0,465	0,054	179,892	0,020	0,024	0,041	0,003	0,008
7137	94	47271,490	71522,333	6970,379	-2,166	0,619	179,280	0,020	0,024	0,041	0,003	0,008
7138	94	45949,055	71554,312	6968,456	0,547	0,160	179,080	0,020	0,024	0,041	0,003	0,008
8452	92	66045,371	79542,778	6983,273	-1,030	0,557	-179,692	0,024	0,033	0,048	0,003	0,010
8453	92	64693,319	79578,804	6972,523	-0,107	-0,112	179,744	0,026	0,034	0,049	0,003	0,010
8454	92	63367,602	79558,105	6972,015	-4,517	0,026	-179,232	0,024	0,033	0,048	0,003	0,010
8455	92	62043,781	79585,443	6980,157	-0,336	0,838	179,456	0,024	0,033	0,047	0,003	0,009
8456	92	60692,410	79597,379	6969,655	0,712	0,372	179,690	0,024	0,033	0,047	0,003	0,009
8457	92	59369,455	79624,775	6967,435	1,496	0,504	179,324	0,024	0,032	0,047	0,003	0,009
8458	92	58038,113	79622,802	6966,698	-1,080	0,199	179,618	0,024	0,032	0,047	0,003	0,009
8459	92	56697,957	79647,069	6974,778	-2,094	0,502	179,276	0,024	0,032	0,047	0,003	0,009
8460	92	55362,693	79661,193	6977,416	1,623	0,027	179,494	0,024	0,032	0,047	0,003	0,009
8461	92	54025,097	79666,164	6984,614	-1,256	0,248	-179,660	0,024	0,032	0,047	0,003	0,009
8462	92	52697,383	79691,962	6970,814	-1,644	-0,098	-179,997	0,024	0,032	0,047	0,003	0,009
8463	92	51367,519	79701,106	6980,806	2,788	0,631	-179,897	0,024	0,032	0,047	0,003	0,009
8464	92	50020,737	79721,218	6977,800	-1,721	0,347	-179,811	0,024	0,032	0,047	0,003	0,009
8465	92	48692,074	79724,299	6971,150	1,700	-0,097	-179,768	0,024	0,032	0,047	0,003	0,009
8466	92	47362,341	79731,622	6973,409	-1,041	0,577	-179,404	0,024	0,032	0,047	0,003	0,009
8467	92	46012,023	79753,728	6967,482	0,235	-0,150	-179,753	0,024	0,032	0,047	0,003	0,009
8516	93	45981,581	75635,030	6961,732	-1,804	0,037	0,203	0,024	0,030	0,050	0,003	0,009
8517	93	47336,310	75631,639	6968,794	3,434	-0,796	0,649	0,024	0,030	0,050	0,003	0,009
8518	93	48653,916	75625,141	6967,442	-1,709	-0,264	0,306	0,024	0,030	0,050	0,003	0,009
8519	93	49985,676	75610,602	6967,905	-0,027	-0,309	0,318	0,024	0,030	0,050	0,003	0,009
8520	93	51323,971	75604,428	6976,128	-1,000	-0,572	0,410	0,024	0,030	0,050	0,003	0,009
8521	93	52661,083	75578,420	6973,787	1,093	0,038	0,177	0,024	0,030	0,050	0,003	0,009
8522	93	53999,173	75572,023	6965,714	-1,532	0,512	0,398	0,024	0,030	0,050	0,003	0,009
8523	93	55327,416	75556,182	6966,574	1,338	-0,336	0,197	0,024	0,030	0,050	0,003	0,009
8524	93	56658,841	75540,233	6969,556	-2,795	-0,146	0,193	0,024	0,030	0,050	0,003	0,009
8525	93	58004,131	75537,850	6967,779	1,675	-0,471	0,516	0,024	0,030	0,050	0,003	0,009
8526	93	59328,019	75525,464	6975,085	-2,832	-0,459	0,425	0,024	0,031	0,050	0,003	0,009
8527	93	60662,898	75502,501	6968,422	3,024	-0,510	0,043	0,024	0,031	0,050	0,003	0,009
8528	93	61999,387	75483,243	6971,383	-5,314	-0,256	0,183	0,024	0,031	0,050	0,003	0,009
8529	93	63333,822	75481,367	6971,471	2,471	-0,288	0,519	0,024	0,031	0,050	0,003	0,009
8530	93	64684,337	75461,575	6971,067	-0,897	-0,411	0,544	0,024	0,031	0,050	0,003	0,009
8531	93	66005,522	75452,675	6978,907	-0,299	-0,315	0,704	0,024	0,031	0,050	0,003	0,009

Tab. Anexo 4 - Orientações externas das fotos do bloco 4

Foto	Fi	X(m)	Y(m)	Z(m)	Om	Phi	Kappa	SE	SN	SH	SOSP	SK
11262	105	-47156,513	26818,240	7229,833	-1,102	0,355	-178,999	0,020	0,026	0,037	0,003	0,008
11263	105	-48735,605	26828,370	7231,208	0,639	0,023	-178,899	0,020	0,026	0,037	0,003	0,008
11264	105	-50333,483	26836,801	7237,109	-0,511	0,313	-179,032	0,020	0,026	0,037	0,003	0,008
11265	105	-51908,933	26874,511	7227,716	-1,611	0,368	-179,910	0,020	0,026	0,037	0,003	0,008
11266	105	-53504,575	26910,200	7224,211	1,729	-0,196	179,625	0,020	0,026	0,037	0,003	0,008
11267	105	-55104,712	26907,978	7226,354	1,100	0,648	-179,808	0,020	0,026	0,037	0,003	0,008
11268	105	-56684,344	26897,775	7225,727	0,007	-0,028	-179,385	0,020	0,026	0,037	0,003	0,008
11269	105	-58281,695	26926,124	7231,129	-0,397	0,518	-179,606	0,020	0,026	0,037	0,003	0,008
11270	105	-59864,333	26935,013	7225,683	1,930	-0,150	-179,576	0,020	0,026	0,037	0,003	0,008

11271	105	-61445,760	26942,156	7229,761	-0,028	0,236	-179,614	0,020	0,026	0,037	0,003	0,007
11272	105	-63035,692	26970,468	7222,407	-0,610	-0,237	179,985	0,020	0,026	0,037	0,003	0,007
11273	105	-64627,645	26992,298	7230,369	-0,232	0,625	-179,805	0,020	0,026	0,037	0,003	0,007
11287	106	-64676,788	22121,082	7235,156	2,244	-0,574	0,056	0,019	0,022	0,036	0,003	0,008
11288	106	-63068,907	22101,470	7228,343	1,248	-0,039	-0,424	0,019	0,021	0,035	0,003	0,008
11289	106	-61499,267	22080,671	7240,474	-0,303	-0,819	-0,364	0,019	0,021	0,035	0,003	0,008
11290	106	-59905,270	22081,501	7232,221	0,363	0,272	0,096	0,019	0,021	0,035	0,003	0,008
11291	106	-58309,163	22066,910	7223,139	0,031	0,057	-0,248	0,019	0,022	0,036	0,003	0,008
11292	106	-56716,398	22033,513	7230,086	-0,552	-0,155	-0,587	0,019	0,022	0,037	0,003	0,008
11293	106	-55141,384	22012,679	7237,921	-3,047	-0,734	-0,489	0,019	0,022	0,037	0,003	0,008
11294	106	-53536,119	22021,093	7230,977	0,895	0,470	0,287	0,019	0,022	0,037	0,003	0,008
11295	106	-51953,096	22033,022	7221,903	1,115	-0,272	0,663	0,019	0,022	0,037	0,003	0,008
11296	106	-50365,686	21986,269	7235,119	0,615	-0,423	-0,285	0,019	0,022	0,037	0,003	0,008
11297	106	-48777,301	21987,393	7230,082	-1,122	-0,320	0,383	0,019	0,022	0,037	0,003	0,008
11298	106	-47186,461	22003,184	7237,683	2,002	-0,626	0,597	0,019	0,022	0,037	0,003	0,008
11381	107	-47242,574	17025,429	7229,121	-0,683	0,593	179,938	0,019	0,022	0,036	0,003	0,009
11382	107	-48831,036	17050,927	7219,228	2,387	0,020	-179,951	0,019	0,022	0,036	0,003	0,009
11383	107	-50421,472	17039,794	7215,995	-0,810	-0,516	-179,595	0,019	0,022	0,036	0,003	0,009
11384	107	-52011,762	17068,439	7222,765	-0,189	0,719	179,555	0,019	0,022	0,036	0,003	0,009
11385	107	-53612,907	17094,172	7224,804	1,199	0,703	179,731	0,019	0,022	0,036	0,003	0,009
11386	107	-55190,756	17135,660	7216,756	0,408	-0,120	179,305	0,019	0,022	0,036	0,003	0,009
11387	107	-56779,400	17149,675	7216,452	2,040	0,050	179,869	0,019	0,022	0,036	0,003	0,008
11388	107	-58363,058	17147,861	7232,242	-1,016	0,792	-179,269	0,019	0,022	0,036	0,003	0,008
11389	107	-59961,430	17164,164	7224,019	-1,508	0,317	-179,428	0,019	0,022	0,036	0,003	0,008
11390	107	-61550,494	17195,442	7232,542	0,193	0,157	-179,674	0,019	0,022	0,036	0,003	0,008
11391	107	-63133,894	17193,801	7237,253	0,353	0,799	-179,256	0,019	0,022	0,037	0,003	0,008
11392	107	-64736,668	17194,122	7224,528	-0,352	-0,338	-179,301	0,026	0,029	0,044	0,003	0,008
12631	104	-64587,153	31885,713	7225,198	-1,143	-0,647	-0,811	0,018	0,030	0,044	0,003	0,006
12632	104	-62989,362	31868,760	7221,726	-0,705	-0,480	-0,074	0,017	0,028	0,042	0,003	0,006
12633	104	-61391,336	31833,458	7220,619	1,845	-0,242	-0,267	0,016	0,026	0,040	0,003	0,007
12634	104	-59814,119	31813,611	7223,396	-0,677	-0,788	-0,207	0,016	0,026	0,040	0,003	0,007
12635	104	-58226,360	31836,737	7215,102	-1,184	0,187	0,831	0,016	0,026	0,040	0,003	0,007
12636	104	-56626,882	31840,408	7215,100	1,898	-0,862	0,715	0,016	0,026	0,040	0,003	0,007
12637	104	-55039,180	31790,456	7212,739	1,541	0,322	-0,559	0,016	0,026	0,040	0,003	0,007
12638	104	-53441,649	31751,195	7234,458	-0,773	-1,817	-0,629	0,016	0,026	0,040	0,003	0,007
12639	104	-51850,627	31765,325	7220,929	-0,772	0,728	0,048	0,016	0,026	0,040	0,003	0,007
12640	104	-50273,417	31769,330	7210,826	3,225	0,058	0,459	0,016	0,027	0,041	0,003	0,007
12641	104	-48669,046	31741,755	7233,405	-0,041	-0,633	0,003	0,016	0,026	0,041	0,003	0,007
12642	104	-47098,213	31724,354	7217,583	-0,213	0,259	0,357	0,017	0,026	0,042	0,003	0,008

## Anexo C – Script Matlab

```
clc
clear all
close all
format long

% leitura do ficheiro
[PFS]=xlsread('PFSimul.xls');

% número dos PFS
nm = PFS(:,1);

% ponto 1 - coord. objeto
X = PFS(:,11);
Y = PFS(:,12);
Z = PFS(:,4);

% Orientação Externa
X0 = PFS(:,5);
Y0 = PFS(:,6);
Z0 = PFS(:,7)-55;259; %55,259 m - ondulação do geóide
om = PFS(:,8)*pi/180;
fi = PFS(:,9)*pi/180;
kp = PFS(:,10)*pi/180;

% Orientação interna
xi = 0;
yi = 0;
c = 0.0798;
pix = 5.2*10^-6;

% ponto 1 - coord. foto
x = PFS(:,2)*pix;
y = PFS(:,3)*pix;

fid = fopen('simul.txt','w');

for j=1:11
    % parametros da matriz de rotação da foto
    f1_r11 = cos(fi(j))*cos(kp(j))+sin(fi(j))*sin(om(j))*sin(kp(j));
    f1_r12 = -cos(fi(j))*sin(kp(j))+sin(fi(j))*sin(om(j))*cos(kp(j));
    f1_r13 = sin(fi(j))*cos(om(j));
    f1_r21 = cos(om(j))*sin(kp(j));
    f1_r22 = cos(om(j))*cos(kp(j));
    f1_r23 = -sin(om(j));
    f1_r31 = -sin(fi(j))*cos(kp(j))+cos(fi(j))*sin(om(j))*sin(kp(j));
    f1_r32 = sin(fi(j))*sin(kp(j))+cos(fi(j))*sin(om(j))*cos(kp(j));
    f1_r33 = cos(fi(j))*cos(om(j));

    % Eq. Colinearidade - coordenadas objeto

    D = f1_r31*(x(j)-xi)+f1_r32*(y(j)-yi)-f1_r33*c;

    Nx = f1_r11*(x(j)-xi)+f1_r12*(y(j)-yi)-f1_r13*c;

    Ny = f1_r21*(x(j)-xi)+f1_r22*(y(j)-yi)-f1_r23*c;
```

```

XF = X0(j) + (Z(j)-Z0(j))*Nx/D;

YF = Y0(j) + (Z(j)-Z0(j))*Ny/D;

% diferenças
dif_X = XF-X(j);
dif_Y = YF-Y(j);

fprintf(fid, '%i\n', nm(j));

fprintf(fid, '0      ');
fprintf(fid, 'X = %f      ', dif_X);
fprintf(fid, 'Y = %f\n', dif_Y);

for i=1:10
    XF = X0(j) + (Z(j)-i-Z0(j))*Nx/D;

    YF = Y0(j) + (Z(j)-i-Z0(j))*Ny/D;

    % diferenças
    dif_X = XF-X(j);
    dif_Y = YF-Y(j);

    fprintf(fid, '-%i      ', i);
    fprintf(fid, 'X = %f      ', dif_X);
    fprintf(fid, 'Y = %f\n', dif_Y);
end

for i=1:10
    XF = X0(j) + (Z(j)+i-Z0(j))*Nx/D;

    YF = Y0(j) + (Z(j)+i-Z0(j))*Ny/D;

    % diferenças
    dif_X = XF-X(j);
    dif_Y = YF-Y(j);

    fprintf(fid, '+%i      ', i);
    fprintf(fid, 'X = %f      ', dif_X);
    fprintf(fid, 'Y = %f\n', dif_Y);

end

end

fclose(fid);

```

## Anexo D – Ficheiro de entrada e resultados da simulação

Tab. Anexo 5 - Ficheiro de entrada

PF	x	y	Z	X0	Y0	Z0	om	fi	kp	X	Y
30821	374,500	-1806,500	220,925	-23136,115	172610,387	7206,741	0,260	-0,362	-179,350	-23270,947	173455,878
411621	-4883,600	544,000	417,785	-23136,115	172610,387	7206,741	0,260	-0,362	-179,350	-20944,363	172426,115
411921	-4831,220	-4412,280	275,063	-23136,115	172610,387	7206,741	0,260	-0,362	-179,350	-20942,839	174649,332
513021	210,090	-4003,040	322,701	-18717,417	172531,970	7224,264	-0,585	0,463	-179,146	-18892,723	174242,151
513721	190,500	4678,740	203,346	-18717,417	172531,970	7224,264	-0,585	0,463	-179,146	-18829,117	170328,938
718901	-4874,580	-3258,640	167,382	-18717,417	172531,970	7224,264	-0,585	0,463	-179,146	-16582,481	173972,764
31421	148,360	7056,680	296,898	-23136,115	172610,387	7206,741	0,260	-0,362	-179,350	-23123,626	169495,756
820801	-897,280	-8882,180	193,837	-15777,317	172506,220	7236,973	-2,673	0,890	-179,036	-15553,577	176129,887
718921	-1463,140	-3797,770	184,948	-15777,317	172506,220	7236,973	-2,673	0,890	-179,036	-15255,052	173903,643
820001	-689,690	3180,400	156,559	-15777,317	172506,220	7236,973	-2,673	0,890	-179,036	-15543,339	170711,846
719421	-2665,020	3176,840	198,528	-15777,317	172506,220	7236,973	-2,673	0,890	-179,036	-14639,528	170742,954

Tab. Anexo 6 - Resultados da simulação

ERRO (m)	30821	31421	411621	411921	513021	513721	718901	718921	719421	820001	820801	DP	Média	EMQ	
X	-10	0,037	0,446	3,414	2,583	-0,256	0,324	2,793	0,171	2,118	0,815	-0,339	1,296	1,100	1,700
	-9	0,056	0,444	3,088	2,264	-0,230	0,340	2,488	0,096	1,955	0,782	-0,371	1,167	0,992	1,531
	-8	0,075	0,442	2,763	1,945	-0,205	0,356	2,183	0,021	1,792	0,748	-0,403	1,040	0,883	1,365
	-7	0,095	0,440	2,437	1,626	-0,179	0,372	1,878	-0,053	1,629	0,715	-0,434	0,916	0,775	1,200
	-6	0,114	0,438	2,112	1,307	-0,153	0,388	1,573	-0,128	1,466	0,681	-0,466	0,797	0,667	1,039
	-5	0,134	0,437	1,786	0,989	-0,128	0,404	1,268	-0,202	1,303	0,648	-0,498	0,684	0,558	0,883
	-4	0,153	0,435	1,461	0,670	-0,102	0,420	0,963	-0,277	1,140	0,615	-0,530	0,581	0,450	0,735
	-3	0,173	0,433	1,135	0,351	-0,077	0,436	0,658	-0,351	0,977	0,581	-0,562	0,496	0,341	0,602
	-2	0,192	0,431	0,809	0,032	-0,051	0,452	0,353	-0,426	0,814	0,548	-0,594	0,438	0,233	0,496
	-1	0,211	0,429	0,484	-0,287	-0,025	0,468	0,048	-0,501	0,650	0,514	-0,626	0,419	0,124	0,437
	0	0,231	0,427	0,158	-0,606	0,000	0,484	-0,257	-0,575	0,487	0,481	-0,658	0,443	0,016	0,443
	1	0,250	0,425	-0,167	-0,925	0,026	0,500	-0,562	-0,650	0,324	0,448	-0,690	0,505	-0,093	0,513
	2	0,270	0,423	-0,493	-1,244	0,051	0,516	-0,866	-0,724	0,161	0,414	-0,722	0,592	-0,201	0,626
	3	0,289	0,421	-0,818	-1,563	0,077	0,532	-1,171	-0,799	-0,002	0,381	-0,754	0,696	-0,310	0,762
	4	0,308	0,420	-1,144	-1,882	0,103	0,548	-1,476	-0,873	-0,165	0,348	-0,786	0,810	-0,418	0,911
	5	0,328	0,418	-1,469	-2,201	0,128	0,564	-1,781	-0,948	-0,328	0,314	-0,818	0,930	-0,527	1,069
	6	0,347	0,416	-1,795	-2,519	0,154	0,580	-2,086	-1,023	-0,491	0,281	-0,850	1,054	-0,635	1,231
7	0,367	0,414	-2,121	-2,838	0,179	0,596	-2,391	-1,097	-0,654	0,247	-0,881	1,181	-0,744	1,396	
8	0,386	0,412	-2,446	-3,157	0,205	0,612	-2,696	-1,172	-0,817	0,214	-0,913	1,310	-0,852	1,563	
9	0,406	0,410	-2,772	-3,476	0,231	0,627	-3,001	-1,246	-0,980	0,181	-0,945	1,441	-0,960	1,732	

	10	0,517	0,448	-3,739	-3,502	0,282	0,708	-3,097	-1,245	-1,281	0,848	-1,007	1,670	-1,006	1,950
Y	-10	1,229	-4,535	-0,203	3,216	2,229	-2,845	2,533	2,155	-2,291	-2,582	5,264	2,933	0,379	2,957
	-9	1,107	-4,081	-0,175	2,920	1,979	-2,529	2,327	1,955	-2,038	-2,327	4,745	2,641	0,353	2,664
	-8	0,985	-3,626	-0,148	2,623	1,729	-2,213	2,121	1,756	-1,786	-2,072	4,227	2,348	0,327	2,371
	-7	0,863	-3,172	-0,120	2,327	1,479	-1,896	1,916	1,556	-1,533	-1,816	3,708	2,056	0,301	2,078
	-6	0,741	-2,717	-0,093	2,030	1,230	-1,580	1,710	1,356	-1,281	-1,561	3,189	1,765	0,275	1,786
	-5	0,619	-2,263	-0,066	1,733	0,980	-1,264	1,504	1,156	-1,028	-1,305	2,671	1,473	0,249	1,494
	-4	0,497	-1,808	-0,038	1,437	0,730	-0,948	1,298	0,957	-0,776	-1,050	2,152	1,183	0,223	1,204
	-3	0,375	-1,354	-0,011	1,140	0,480	-0,631	1,092	0,757	-0,523	-0,794	1,633	0,895	0,197	0,917
	-2	0,253	-0,900	0,016	0,844	0,231	-0,315	0,886	0,557	-0,271	-0,539	1,115	0,612	0,171	0,635
	-1	0,131	-0,445	0,044	0,547	-0,019	0,001	0,680	0,357	-0,018	-0,283	0,596	0,346	0,145	0,375
	0	0,009	0,009	0,071	0,251	-0,269	0,317	0,474	0,157	0,234	-0,028	0,077	0,190	0,119	0,224
	1	-0,113	0,464	0,098	-0,046	-0,519	0,634	0,269	-0,042	0,487	0,228	-0,441	0,353	0,092	0,365
	2	-0,235	0,918	0,126	-0,343	-0,769	0,950	0,063	-0,242	0,739	0,483	-0,960	0,621	0,066	0,624
	3	-0,357	1,373	0,153	-0,639	-1,018	1,266	-0,143	-0,442	0,992	0,738	-1,478	0,904	0,040	0,905
	4	-0,479	1,827	0,180	-0,936	-1,268	1,582	-0,349	-0,642	1,244	0,994	-1,997	1,193	0,014	1,193
	5	-0,601	2,281	0,208	-1,232	-1,518	1,899	-0,555	-0,841	1,497	1,249	-2,516	1,483	-0,012	1,483
	6	-0,723	2,736	0,235	-1,529	-1,768	2,215	-0,761	-1,041	1,749	1,505	-3,034	1,774	-0,038	1,774
	7	-0,845	3,190	0,263	-1,826	-2,018	2,531	-0,967	-1,241	2,002	1,760	-3,553	2,066	-0,064	2,066
	8	-0,967	3,645	0,290	-2,122	-2,267	2,848	-1,172	-1,441	2,254	2,016	-4,072	2,358	-0,090	2,359
	9	-1,089	4,099	0,317	-2,419	-2,517	3,164	-1,378	-1,640	2,507	2,271	-4,590	2,650	-0,116	2,652
	10	-1,351	4,989	0,230	-2,513	-2,579	3,161	-1,739	-2,355	2,543	2,838	-4,782	2,946	-0,142	2,949

## Anexo E – DEMS

Neste anexo é possível consultar todos os DEMS utilizados bem como a tabela detalhada do controlo de exatidão altimétrica feito a cada um deles.

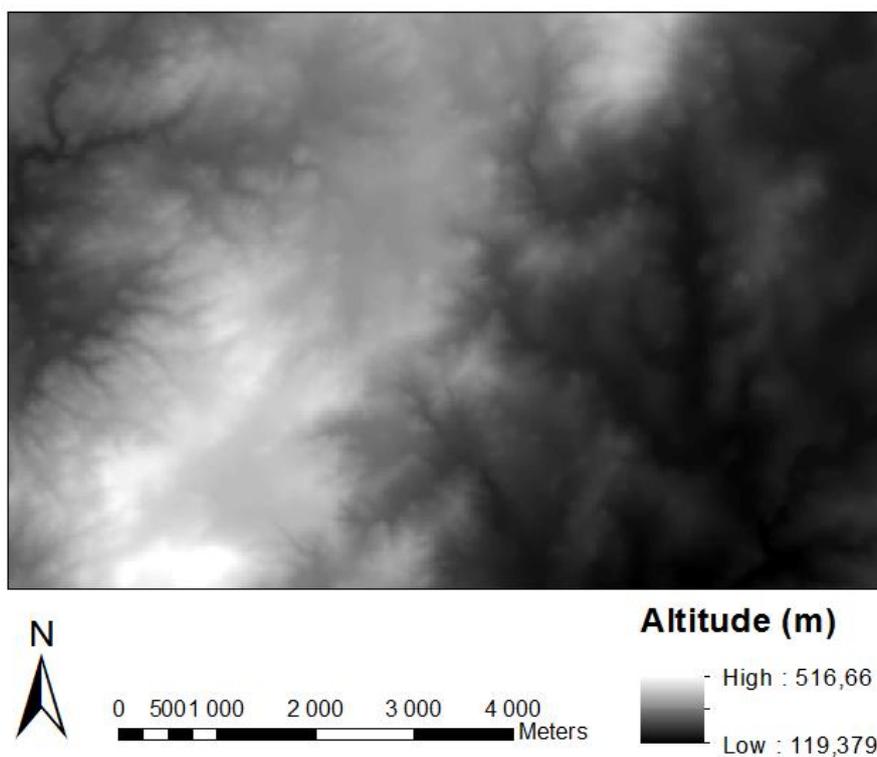


Fig. Anexo 5 - DTM com espaçamento de 20m, bloco 1

Tab. Anexo 7 - Controlo altimétrico do DTM com espaçamento de 20m, bloco 1.

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
30821	220,925	228,865	7,940
31421	297,310	295,912	1,398
411621	417,790	415,770	2,020
411921	275,060	273,205	1,855
513021	322,701	320,475	2,226
513721	203,350	203,445	0,095
617021	149,833	151,371	1,538
718901	167,380	169,228	1,848
718921	184,950	183,446	1,504
719421	198,530	197,716	0,814
820001	156,559	153,750	2,809
820801	193,837	190,249	3,588

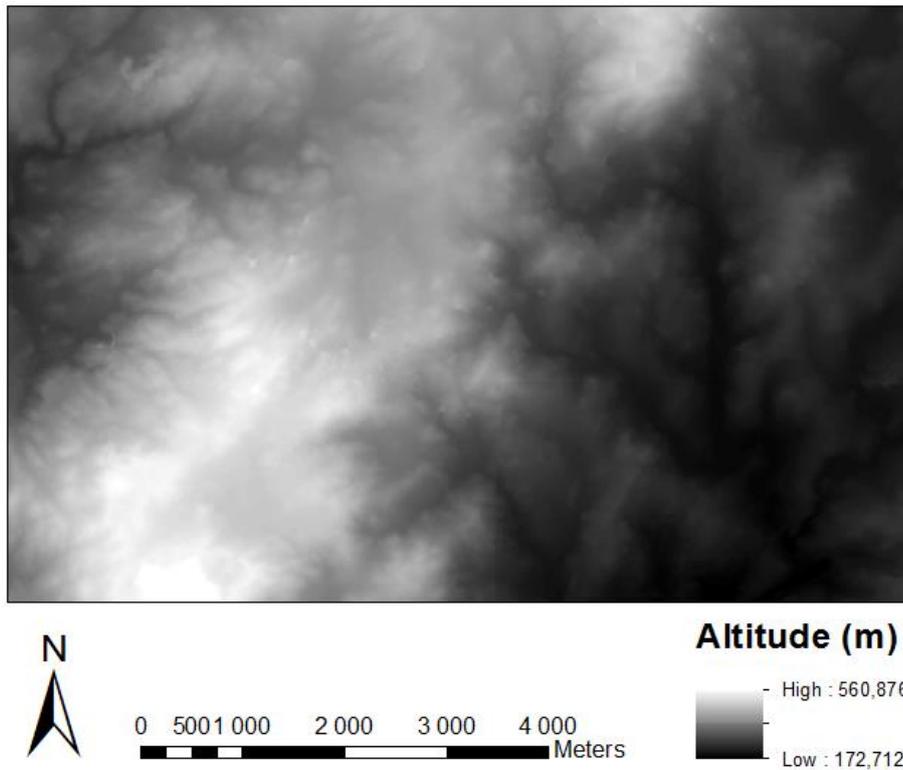


Fig. Anexo 6- DSM com espaçamento de 10 m, bloco 1

Tab. Anexo 8 - Controlo altimétrico do DSM com espaçamento de 10m, bloco 1.

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
30821	220,925	279,299	3,114
31421	297,310	354,501	1,879
411621	417,790	472,999	-0,061
411921	275,060	330,910	0,607
513021	322,701	379,891	1,969
513721	203,350	262,773	4,156
617021	149,833	206,368	1,277
718901	167,380	223,503	0,916
718921	184,950	242,540	2,363
719421	198,530	252,201	-1,634
820001	156,559	212,711	0,877
820801	193,837	250,863	1,796

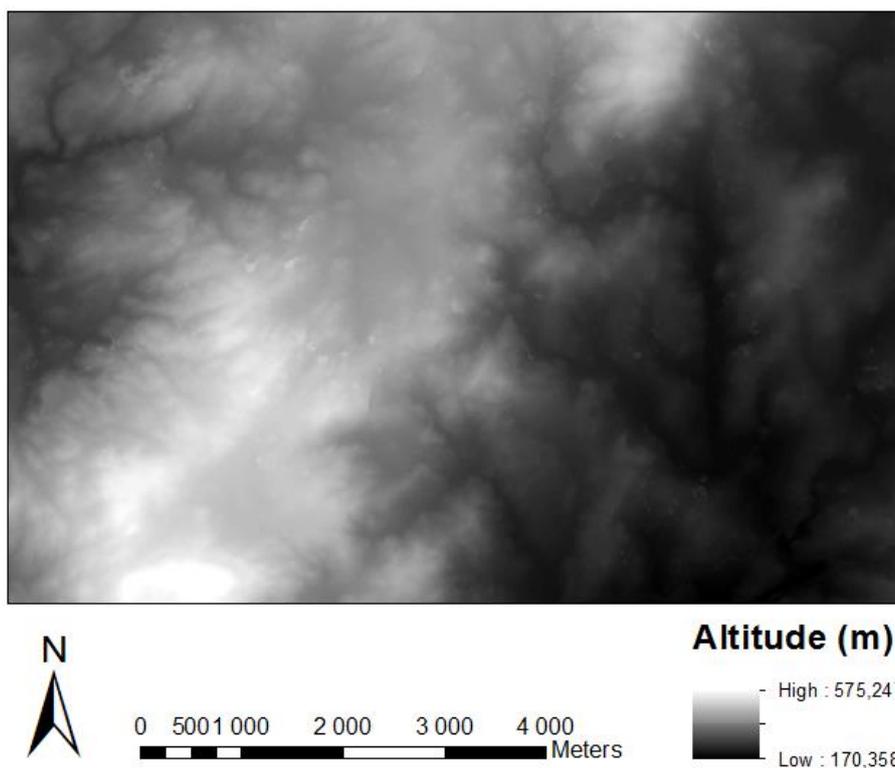


Fig. Anexo 7 - DSM com espaçamento de 5 m, bloco 1

Tab. Anexo 9 - Controlo altimétrico do DSM com espaçamento de 5m, bloco 1.

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
30821	220,925	279,186	3,002
31421	297,310	354,169	1,547
411621	417,790	473,560	0,501
411921	275,060	331,330	1,026
513021	322,701	379,350	1,428
513721	203,350	260,637	2,019
617021	149,833	207,234	2,142
718901	167,380	223,942	1,356
718921	184,950	241,874	1,697
719421	198,530	253,755	0,080
820001	156,559	212,650	0,816
820801	193,837	250,515	1,447

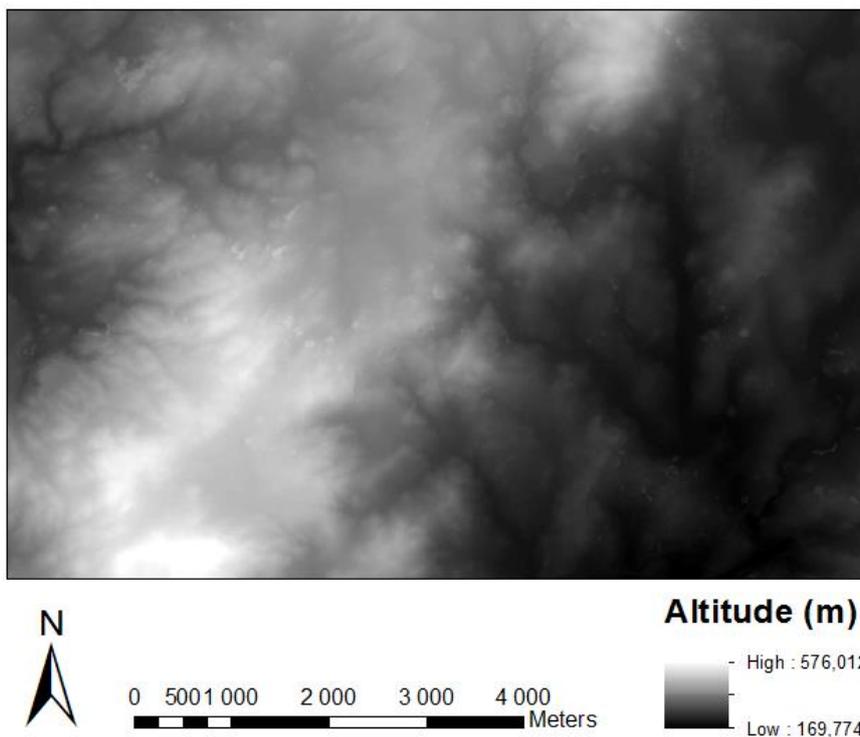


Fig. Anexo 8 - DSM com espaçamento de 2m5, bloco 1

Tab. Anexo 10 - Controle altimétrico do DSM com espaçamento de 2m5, bloco 1.

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
30821	220,925	279,258	3,073
31421	297,310	354,629	2,008
411621	417,790	473,563	0,504
411921	275,060	331,422	1,118
513021	322,701	379,089	1,167
513721	203,350	261,051	2,434
617021	149,833	206,831	1,740
718901	167,380	223,312	0,726
718921	184,950	241,177	1,000
719421	198,530	253,720	-0,116
820001	156,559	212,620	0,786
820801	193,837	251,285	2,217

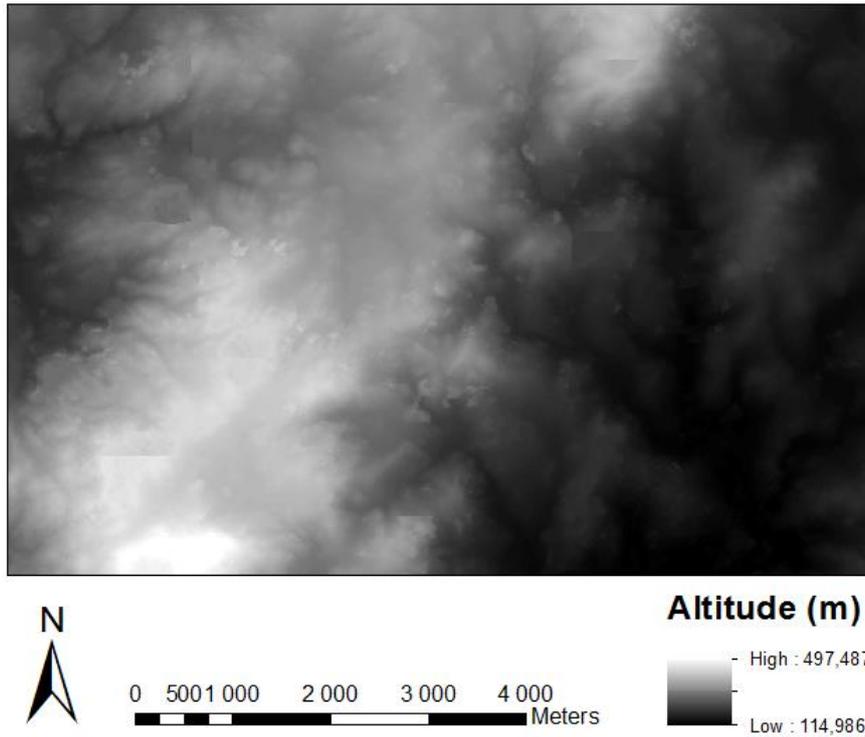


Fig. Anexo 9 - DSM com espaçamento de 10m, bloco 2

Tab. Anexo 11 - Controlo altimétrico do DSM com espaçamento de 10m, bloco 2

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
30821	220,925	221,378	0,453
31421	297,310	298,679	1,369
411621	417,790	413,671	-4,119
411921	275,060	274,847	-0,213
513021	322,701	321,605	-1,096
513721	203,350	204,097	0,747
617021	149,833	150,808	0,975
718901	167,380	167,814	0,434
718921	184,950	184,290	-0,660
719421	198,530	197,514	-1,016
820001	156,559	155,961	-0,598
820801	193,837	192,913	-0,924

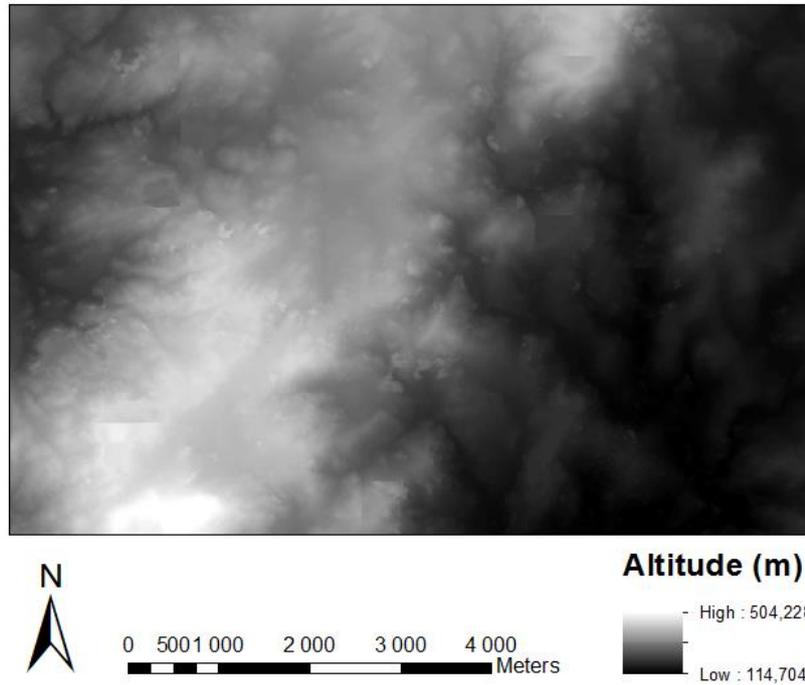


Fig. Anexo 10 - DSM com espaçamento de 5m, bloco 2

Tab. Anexo 12 - Controlo altimétrico do DSM com espaçamento de 5m, bloco 2

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
30821	220,925	221,396	0,471
31421	297,310	297,893	0,583
411621	417,790	414,799	-2,991
411921	275,060	274,667	-0,393
513021	322,701	321,851	-0,850
513721	203,350	202,890	-0,460
617021	149,833	151,749	1,916
718901	167,380	167,837	0,457
718921	184,950	183,653	-1,297
719421	198,530	198,552	0,022
820001	156,559	155,995	-0,564
820801	193,837	193,272	-0,565

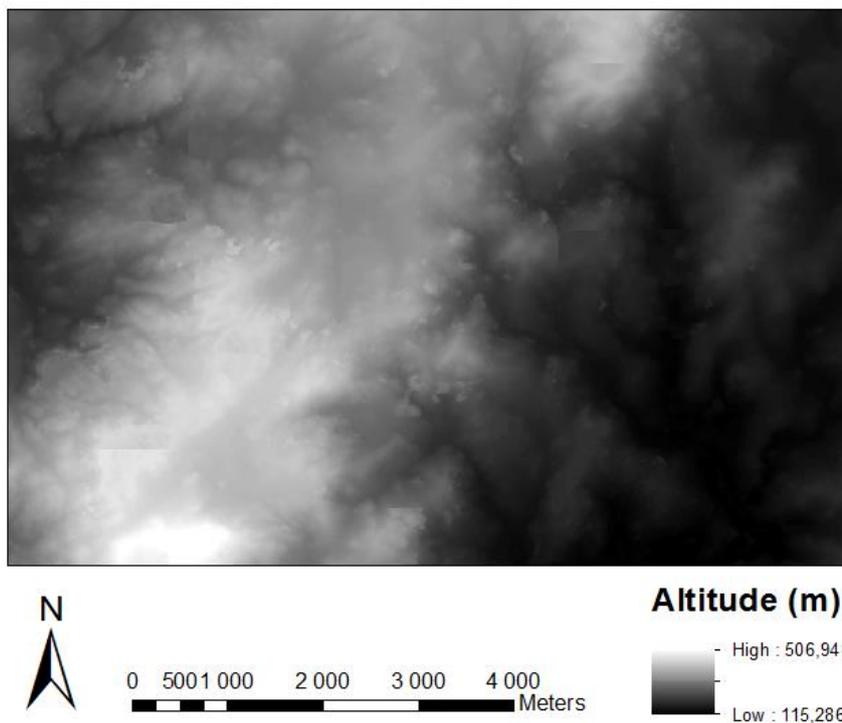


Fig. Anexo 11 - DSM com espaçamento de 2m5, bloco 2

Tab. Anexo 13 - Controlo altimétrico do DSM com espaçamento de 2m5, bloco 2

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
30821	220,925	221,409	0,484
31421	297,310	298,075	0,765
411621	417,790	416,450	-1,340
411921	275,060	274,849	-0,211
513021	322,701	321,986	-0,715
513721	203,350	202,097	-1,253
617021	149,833	150,909	1,076
718901	167,380	166,889	-0,491
718921	184,950	184,011	-0,939
719421	198,530	198,308	-0,222
820001	156,559	156,319	-0,240
820801	193,837	193,075	-0,762

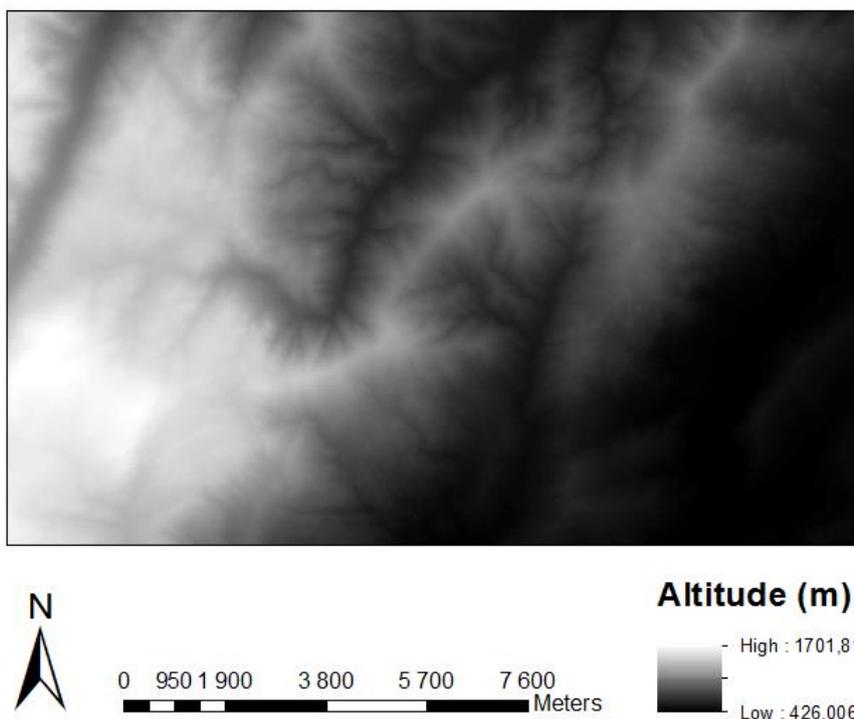


Fig. Anexo 12 - DTM com espaçamento de 20m, bloco 3

Tab. Anexo 14 - Controlo altimétrico do DTM com espaçamento de 20m, bloco 3

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
BONECA	755,370	753,066	-2,304
CABEÇO DO SOUTO	1285,730	1285,134	-0,596
CASTANHEIRA	498,690	496,893	-1,797
CURGEIRA	1134,490	1132,088	-2,402
CURRAL DO VENTO	1457,490	1453,194	-4,296
LAMAÇAIS	523,280	522,579	-0,701
MATA DA ATALAIA	1048,160	1044,509	-3,651
PICOTO	1332,870	1330,844	-2,026
PINHEIROS LUSOS	614,790	612,847	-1,943
RAFEIRO	1008,550	1006,599	-1,951
RARO	471,820	471,464	-0,356
VILA DE MOUROS	1254,340	1251,790	-2,550
P1	679,890	679,793	-0,097
P1	810,510	814,074	3,564
P3	680,080	682,257	2,177
P4	1184,290	1184,319	0,029
P5	1314,800	1315,207	0,407



0 950 1900 3800 5700 7600 Meters

**Altitude (m)**



Fig. Anexo 13 - DSM com espaçamento de 10m, bloco 3

Tab. Anexo 15 - Controlo altimétrico do DSM com espaçamento de 10m, bloco 3

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
BONECA	755,370	753,720	-1,650
CABEÇO DO SOUTO	1285,730	1283,204	-2,526
CASTANHEIRA	498,690	496,391	-2,299
CURGEIRA	1134,490	1133,007	-1,483
CURRAL DO VENTO	1457,490	1648,778	-7,552
LAMAÇAIS	523,280	521,647	-1,633
MATA DA ATALAIA	1048,160	1044,738	-3,422
PICOTO	1332,870	1327,533	-5,337
PINHEIROS LUSOS	614,790	609,867	-4,923
RAFEIRO	1008,550	1007,486	-1,064
RARO	471,820	470,426	-1,394
VILA DE MOUROS	1254,340	1248,489	-5,851
P1	679,890	678,317	-1,573
P1	810,510	810,027	-0,483
P3	680,080	682,724	2,644
P4	1184,290	1183,358	-0,932
P5	1314,800	1311,978	-2,822



0 950 1 900 3 800 5 700 7 600 Meters

**Altitude (m)**



Fig. Anexo 14 - DSM com espaçamento de 5m, bloco 3

Tab. Anexo 16 - Controlo altimétrico do DSM com espaçamento de 5m, bloco 3

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
BONECA	755,370	754,088	-1,282
CABEÇO DO SOUTO	1285,730	1285,021	-0,709
CASTANHEIRA	498,690	498,078	-0,612
CURGEIRA	1134,490	1133,113	-1,377
CURRAL DO VENTO	1457,490	1654,412	-1,918
LAMAÇAIS	523,280	522,599	-0,681
MATA DA ATALAIA	1048,160	1046,917	-1,243
PICOTO	1332,870	1329,548	-3,322
PINHEIROS LUSOS	614,790	613,162	-1,628
RAFEIRO	1008,550	1008,203	-0,347
RARO	471,820	471,004	-0,816
VILA DE MOUROS	1254,340	1252,134	-2,206
P1	679,890	679,433	-0,457
P1	810,510	811,412	0,902
P3	680,080	681,412	1,332
P4	1184,290	1182,953	-1,337
P5	1314,800	1312,035	-2,765

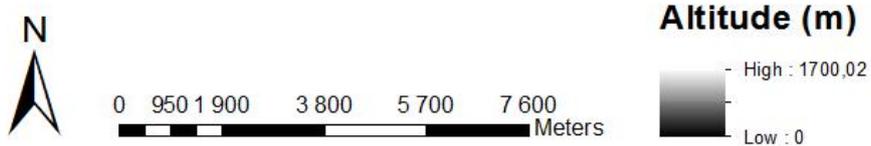


Fig. Anexo 15 - DSM com espaçamento de 2m5, bloco 3

Tab. Anexo 17 - Controlo altimétrico do DSM com espaçamento de 2m5, bloco 3

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
BONECA	755,370	753,083	-2,287
CABEÇO DO SOUTO	1285,730	1285,232	-0,498
CASTANHEIRA	498,690	498,036	-0,654
CURGEIRA	1134,490	1133,613	-0,877
CURRAL DO VENTO	1457,490	1654,199	-2,131
LAMAÇAIS	523,280	521,426	-1,854
MATA DA ATALAIA	1048,160	1044,884	-3,276
PICOTO	1332,870	1329,002	-3,868
PINHEIROS LUSOS	614,790	611,995	-2,795
RAFEIRO	1008,550	1007,845	-0,705
RARO	471,820	471,084	-0,736
VILA DE MOUROS	1254,340	1252,733	-1,607
P1	679,890	678,461	-1,429
P1	810,510	809,505	-1,005
P3	680,080	681,005	0,925
P4	1184,290	1184,485	0,195
P5	1314,800	1313,109	-1,691

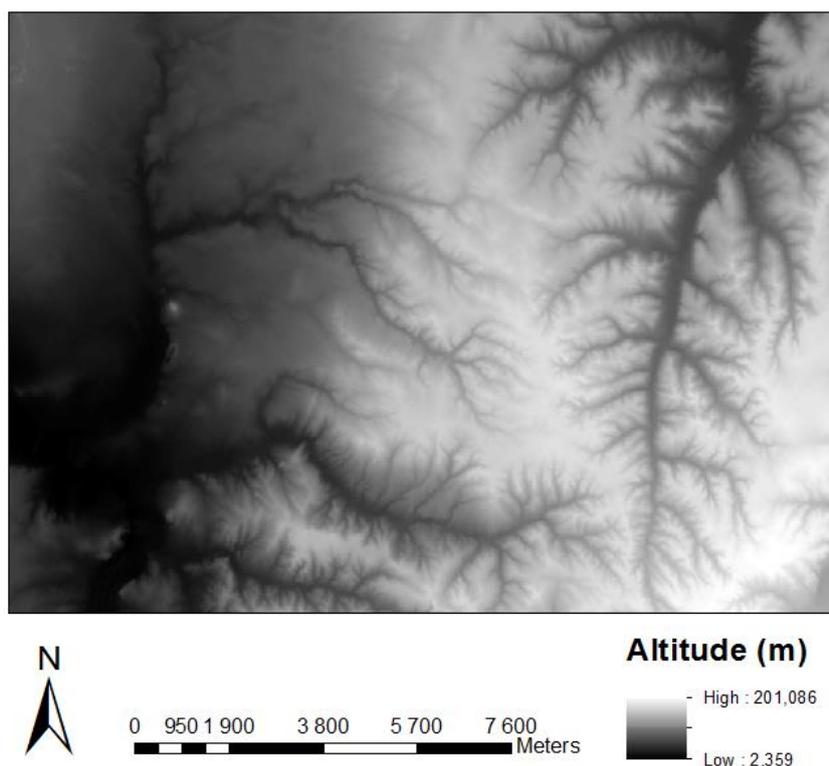


Fig. Anexo 16 - DTM com espaçamento de 20m, bloco 4

Tab. Anexo 18 - Controlo altimétrico do DTM com espaçamento de 20m, bloco 4

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
ALTO DOS CRESPOS	152,720	152,746	0,026
BAJOUCA	137,810	137,562	-0,248
CASAL FORMOSO	164,520	164,398	-0,122
COIMBRÃO	36,560	36,712	0,152
CONQUEIROS	128,480	128,256	-0,224
ERVEDEIRA	67,430	67,473	0,043
ESTEVEENS	136,390	136,392	0,002
FONTAINHAS	65,420	60,952	-4,468
GUIA	127,080	127,080	0,000
MENDES	152,190	149,983	-2,207
MOITINHA	163,400	161,945	-1,455
MONTE REAL	49,910	48,416	-1,494
MONTE REDONDO-ES	90,040	87,989	-2,051
PEDREIRA	121,830	121,217	-0,613
STA ISABEL	58,420	55,420	-3,000
STO ANTÓNIO	127,060	126,643	-0,417

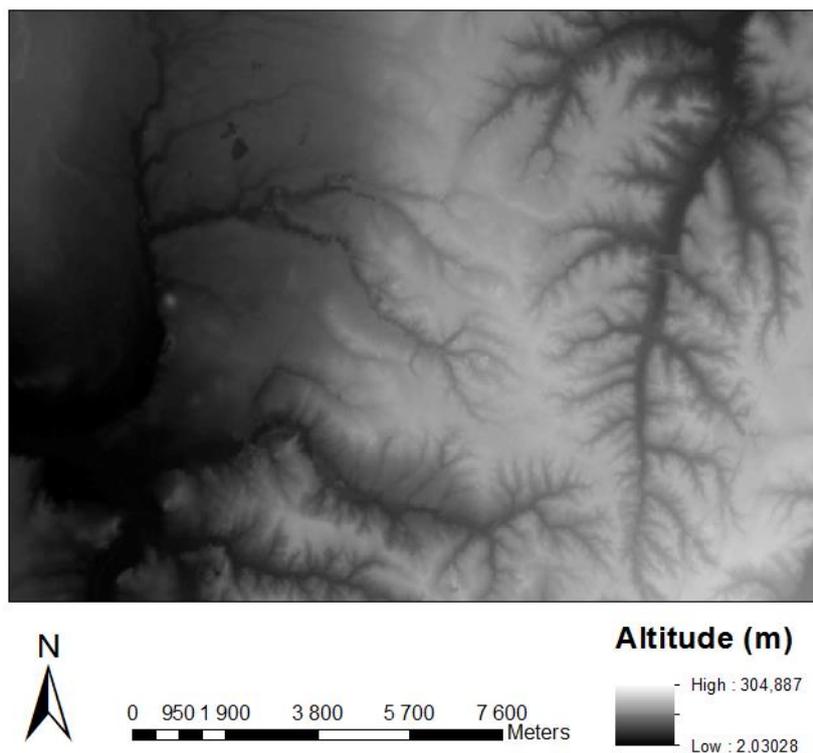


Fig. Anexo 17 - DSM com espaçamento de 10m, bloco 4

Tab. Anexo 19 - Controlo altimétrico do DSM com espaçamento de 10m, bloco 4

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
ALTO DOS CRESPOS	152,720	154,077	1,357
BAJOUCA	137,810	139,427	1,617
CASAL FORMOSO	164,520	166,687	2,167
COIMBRÃO	36,560	39,281	2,721
CONQUEIROS	128,480	128,889	0,409
ERVEDEIRA	67,430	69,784	2,354
ESTEVEENS	136,390	138,464	2,074
FONTAINHAS	65,420	64,348	-1,072
GUIA	127,080	126,671	-0,409
MENDES	152,190	148,791	-3,399
MOITINHA	163,400	161,599	-1,801
MONTE REAL	49,910	47,954	-1,956
MONTE REDONDO-ES	90,040	82,398	-7,642
PEDREIRA	121,830	124,812	2,982
STA ISABEL	58,420	56,786	-1,634
STO ANTÓNIO	127,060	128,004	0,944

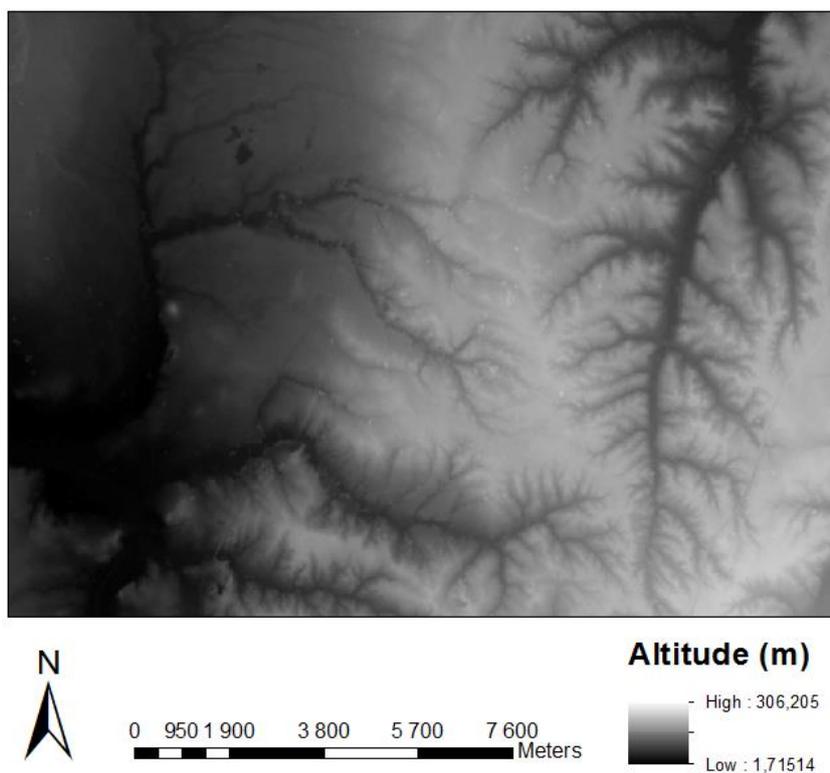


Fig. Anexo 18 - DSM com espaçamento de 5m, bloco 4

Tab. Anexo 20 - Controlo altimétrico do DSM com espaçamento de 5m, bloco 4

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
ALTO DOS CRESPOS	152,720	154,170	1,450
BAJOUCA	137,810	139,348	1,538
CASAL FORMOSO	164,520	164,802	0,282
COIMBRÃO	36,560	38,436	1,876
CONQUEIROS	128,480	129,400	0,920
ERVEDEIRA	67,430	68,600	1,170
ESTEVENS	136,390	138,363	1,973
FONTAINHAS	65,420	64,650	-0,770
GUIA	127,080	127,698	0,618
MENDES	152,190	151,469	-0,721
MOITINHA	163,400	164,418	1,018
MONTE REAL	49,910	48,807	-1,103
MONTE REDONDO-ES	90,040	90,502	0,462
PEDREIRA	121,830	122,526	0,696
STA ISABEL	58,420	58,912	0,492
STO ANTÓNIO	127,060	128,950	1,890

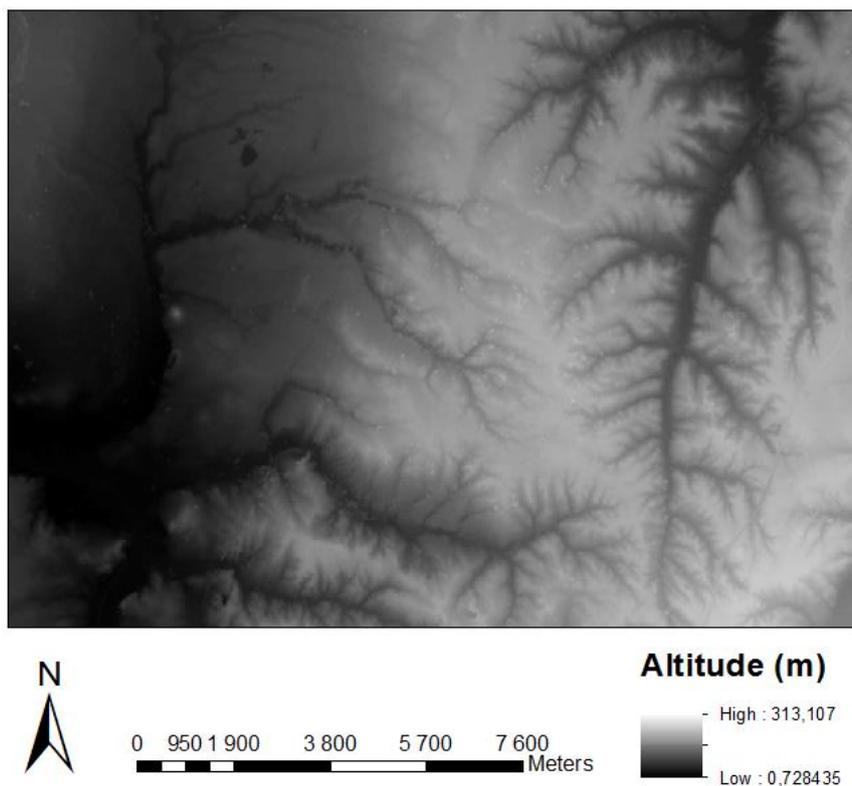


Fig. Anexo 19 - DSM com espaçamento de 2m5, bloco 4

Tab. Anexo 21 - Controlo altimétrico do DSM com espaçamento de 2m5, bloco 4

PF	Z real (m)	Z DEM (m)	Erro (m)
ALTO DOS CRESPOS	152,720	154,185	1,465
BAJOUCA	137,810	139,766	1,956
CASAL FORMOSO	164,520	164,938	0,418
COIMBRÃO	36,560	38,692	2,132
CONQUEIROS	128,480	129,333	0,853
ERVEDEIRA	67,430	68,650	1,220
ESTEVENS	136,390	138,711	2,321
FONTAINHAS	65,420	64,720	-0,700
GUIA	127,080	128,637	1,558
MENDES	152,190	150,993	-1,197
MOITINHA	163,400	164,434	1,034
MONTE REAL	49,910	49,084	-0,826
MONTE REDONDO-ES	90,040	92,605	2,565
PEDREIRA	121,830	122,932	1,102
STA ISABEL	58,420	60,603	2,183
STO ANTÓNIO	127,060	129,771	2,711

## Anexo F – Ortoimagens

Neste anexo é possível consultar as tabelas detalhadas do controlo de exatidão planimétrica de cada uma das ortoimagens.

Tab. Anexo 22 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DTM 20m, bloco 1

PFs	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
30821	-23270,947	173455,878	-23271,980	173462,580	-1,033	6,702
31421	-23123,626	169495,756	-23123,120	169469,720	0,506	-26,036
411621	-20944,363	172426,115	-20938,09	172425,91	6,273	-0,205
411921	-20942,839	174649,332	-20937,630	174666,830	5,209	17,498
513021	-18892,723	174242,151	-18895,120	174257,640	-2,397	15,489
513721	-18829,117	170328,938	-18830,180	170311,290	-1,063	-17,648
718901	-16582,481	173972,764	-16578,000	173984,460	4,481	11,696
718921	-15255,052	173903,643	-15263,200	173914,970	-8,148	11,327
719421	-14639,528	170742,954	-14630,910	170728,940	8,618	-14,014
820001	-15543,339	170711,846	-15541,540	170697,000	1,799	-14,846
820801	-15553,577	176129,887	-15564,410	176160,430	-10,833	30,543

Tab. Anexo 23 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DSM 10m, bloco 1

PFs	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
30821	-23270,947	173455,878	-23271,100	173456,390	-0,153	0,512
31421	-23123,626	169495,756	-23124,130	169496,970	-0,504	1,214
411621	-20944,363	172426,115	-20944,050	172427,400	0,313	1,285
411921	-20942,839	174649,332	-20943,130	174650,090	-0,291	0,758
513021	-18892,723	174242,151	-18893,420	174242,520	-0,697	0,369
513721	-18829,117	170328,938	-18828,820	170327,320	0,297	-1,618
718901	-16582,481	173972,764	-16582,730	173973,250	-0,249	0,486
718921	-15255,052	173903,643	-15255,500	173903,920	-0,448	0,277
719421	-14639,528	170742,954	-14640,020	170743,880	-0,492	0,926
820001	-15543,339	170711,846	-15543,860	170712,100	-0,521	0,254
820801	-15553,577	176129,887	-15553,110	176130,000	0,467	0,113

Tab. Anexo 24 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DSM 5m, bloco 1

PFs	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
30821	-23270,947	173455,878	-23271,070	173456,030	-0,123	0,152
31421	-23123,626	169495,756	-23123,910	169497,020	-0,284	1,264
411621	-20944,363	172426,115	-20944,470	172426,390	-0,107	0,275
411921	-20942,839	174649,332	-20943,410	174650,440	-0,571	1,108
513021	-18892,723	174242,151	-18893,180	174242,530	-0,457	0,379
513721	-18829,117	170328,938	-18828,660	170327,790	0,457	-1,148
718901	-16582,481	173972,764	-16583,030	173973,370	-0,549	0,606
718921	-15255,052	173903,643	-15255,500	173903,390	-0,448	-0,253
719421	-14639,528	170742,954	-14640,220	170743,910	-0,692	0,956
820001	-15543,339	170711,846	-15543,530	170711,790	-0,191	-0,056
820801	-15553,577	176129,887	-15553,930	176130,150	-0,353	0,263

Tab. Anexo 25 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DSM 2M5, bloco 1

PFs	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
30821	-23270,947	173455,878	-23270,870	173456,170	0,077	0,292
31421	-23123,626	169495,756	-23123,980	169496,900	-0,354	1,144
411621	-20944,363	172426,115	-20944,380	172426,970	-0,017	0,855
411921	-20942,839	174649,332	-20943,220	174649,900	-0,381	0,568
513021	-18892,723	174242,151	-18893,270	174242,450	-0,547	0,299
513721	-18829,117	170328,938	-18828,940	170327,800	0,177	-1,138
718901	-16582,481	173972,764	-16582,700	173973,160	-0,219	0,396
718921	-15255,052	173903,643	-15255,680	173904,010	-0,628	0,367
719421	-14639,528	170742,954	-14639,950	170743,860	-0,422	0,906
820001	-15543,339	170711,846	-15543,520	170712,030	-0,181	0,184
820801	-15553,577	176129,887	-15553,460	176129,820	0,117	-0,067

Tab. Anexo 26 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DTM 20m, bloco 2

PFs	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
30821	-23270,947	173455,878	-23267,080	173455,740	3,867	-0,138
31421	-23123,626	169495,756	-23124,160	169492,820	-0,534	-2,936
411621	-20944,363	172426,115	-20945,170	172426,820	-0,807	0,705
411921	-20942,839	174649,332	-20943,270	174649,290	-0,431	-0,042
513021	-18892,723	174242,151	-18893,890	174242,440	-1,167	0,289
513721	-18829,117	170328,938	-18828,360	170329,610	0,757	0,672
718901	-16582,481	173972,764	-16582,560	173972,890	-0,079	0,126
718921	-15255,052	173903,643	-15255,130	173904,470	-0,078	0,827
719421	-14639,528	170742,954	-14639,610	170743,410	-0,082	0,456
820001	-15543,339	170711,846	-15542,590	170712,320	0,749	0,474
820801	-15553,577	176129,887	-15552,610	176130,750	0,967	0,863

Tab. Anexo 27 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DSM 10m, bloco 2

PFs	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
30821	-23270,947	173455,878	-23270,890	173456,610	0,057	0,732
31421	-23123,626	169495,756	-23123,270	169496,480	0,356	0,724
411621	-20944,363	172426,115	-20943,610	172426,420	0,753	0,305
411921	-20942,839	174649,332	-20943,210	174649,380	-0,371	0,048
513021	-18892,723	174242,151	-18893,480	174242,460	-0,757	0,309
513721	-18829,117	170328,938	-18829,280	170328,950	-0,163	0,012
718901	-16582,481	173972,764	-16582,800	173972,700	-0,319	-0,064
718921	-15255,052	173903,643	-15254,990	173904,210	0,062	0,567
719421	-14639,528	170742,954	-14640,010	170743,370	-0,482	0,416
820001	-15543,339	170711,846	-15543,210	170712,320	0,129	0,474
820801	-15553,577	176129,887	-15553,470	176130,710	0,107	0,823

Tab. Anexo 28 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DSM 5m, bloco 2

PFs	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
30821	-23270,947	173455,878	-23271,000	173456,610	-0,053	0,732
31421	-23123,626	169495,756	-23123,500	169496,280	0,126	0,524
411621	-20944,363	172426,115	-20943,780	172426,280	0,583	0,165
411921	-20942,839	174649,332	-20943,370	174649,270	-0,531	-0,062
513021	-18892,723	174242,151	-18893,110	174242,330	-0,387	0,179
513721	-18829,117	170328,938	-18829,020	170329,290	0,097	0,352
718901	-16582,481	173972,764	-16582,620	173972,850	-0,139	0,086
718921	-15255,052	173903,643	-15254,560	173904,000	0,492	0,357
719421	-14639,528	170742,954	-14639,470	170743,100	0,058	0,146
820001	-15543,339	170711,846	-15543,210	170712,280	0,129	0,434
820801	-15553,577	176129,887	-15553,670	176130,600	-0,093	0,713

Tab. Anexo 29 -Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DSM 2M5, bloco 2

PFs	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
30821	-23270,947	173455,878	-23270,730	173456,380	0,217	0,502
31421	-23123,626	169495,756	-23123,620	169496,280	0,006	0,524
411621	-20944,363	172426,115	-20943,970	172426,230	0,393	0,115
411921	-20942,839	174649,332	-20943,100	174649,520	-0,261	0,188
513021	-18892,723	174242,151	-18893,110	174242,440	-0,387	0,289
513721	-18829,117	170328,938	-18829,300	170329,540	-0,183	0,602
718901	-16582,481	173972,764	-16582,630	173972,720	-0,149	-0,044
718921	-15255,052	173903,643	-15254,820	173903,960	0,232	0,317
719421	-14639,528	170742,954	-14639,470	170743,210	0,058	0,256
820001	-15543,339	170711,846	-15543,300	170712,240	0,039	0,394
820801	-15553,577	176129,887	-15553,640	176130,450	-0,063	0,563

Tab. Anexo 30 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DTM 20m, bloco 3

Nome	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
BONECA	58870,615	73527,476	58870,349	73528,844	-0,266	1,368
CABEÇO DO MOREIRA	53864,870	79685,080	53864,864	79685,983	-0,006	0,903
CABEÇO DO SOUTO	52735,230	78219,500	52735,325	78219,271	0,095	-0,229
CASTANHEIRA	63268,711	69998,803	63268,436	69997,796	-0,275	-1,007
CURGEIRA	57022,120	76587,950	57021,446	76589,420	-0,674	1,470
CURRAL DO VENTO	50567,05	72325,98	50568,258	72327,527	1,208	1,547
MATA DA ATALAIA	60812,98	78313,98	60813,496	78313,110	0,516	-0,870
PICOTO	52936,65	71765,38	52936,909	71765,644	0,259	0,264
PINHEIROS LUSOS	58599,4	70765,62	58599,979	70764,683	0,579	-0,937
RAFEIRO	59725,670	76367,300	59725,299	76368,202	-0,371	0,902
RARO	62856,770	75497,83	62857,082	75498,079	0,312	0,249

Tab. Anexo 31 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DSM 10m, bloco 3

Nome	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
BONECA	58870,615	73527,476	58871,140	73526,967	0,525	-0,509
CABEÇO DO MOREIRA	53864,870	79685,080	53865,484	79685,713	0,614	0,633
CABEÇO DO SOUTO	52735,230	78219,500	52735,006	78220,460	-0,224	0,960
CASTANHEIRA	63268,711	69998,803	63268,520	69999,555	-0,191	0,752
CURGEIRA	57022,120	76587,95	57022,082	76588,229	-0,038	0,279
CURRAL DO VENTO	50567,05	72325,98	50568,438	72327,407	1,388	1,427
MATA DA ATALAIA	60812,98	78313,98	60813,279	78314,314	0,299	0,334
PICOTO	52936,65	71765,38	52937,466	71764,950	0,816	-0,430
PINHEIROS LUSOS	58599,4	70765,62	58599,184	70767,098	-0,216	1,478
RAFEIRO	59725,67	76367,3	59726,879	76366,173	1,209	-1,127
RARO	62856,77	75497,83	62857,075	75496,383	0,305	-1,447

Tab. Anexo 32 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DSM 5m, bloco 3

Nome	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
BONECA	58870,615	73527,476	58871,180	73527,267	0,565	-0,209
CABEÇO DO MOREIRA	53864,870	79685,080	53865,274	79685,593	0,404	0,513
CABEÇO DO SOUTO	52735,230	78219,500	52735,446	78220,210	0,216	0,710
CASTANHEIRA	63268,711	69998,803	63268,610	69999,515	-0,101	0,712
CURGEIRA	57022,120	76587,95	57022,432	76588,209	0,312	0,259
CURRAL DO VENTO	50567,05	72325,98	50567,948	72326,577	0,898	0,597
MATA DA ATALAIA	60812,98	78313,98	60813,739	78313,894	0,759	-0,086
PICOTO	52936,65	71765,38	52936,696	71764,900	0,046	-0,480
PINHEIROS LUSOS	58599,4	70765,62	58599,654	70766,688	0,254	1,068
RAFEIRO	59725,67	76367,3	59726,509	76366,153	0,839	-1,147
RARO	62856,77	75497,83	62856,985	75496,813	0,215	-1,017

Tab. Anexo 33 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DSM 2m5, bloco 3

Nome	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
BONECA	58870,615	73527,476	58870,620	73526,937	0,005	-0,539
CABEÇO DO MOREIRA	53864,870	79685,080	53865,414	79685,493	0,544	0,413
CABEÇO DO SOUTO	52735,230	78219,500	52735,106	78220,130	-0,124	0,630
CASTANHEIRA	63268,711	69998,803	63268,740	69999,365	0,029	0,562
CURGEIRA	57022,120	76587,95	57022,322	76587,819	0,202	-0,131
CURRAL DO VENTO	50567,05	72325,98	50567,818	72326,507	0,768	0,527
MATA DA ATALAIA	60812,98	78313,98	60813,419	78314,074	0,439	0,094
PICOTO	52936,65	71765,38	52937,096	71765,130	0,446	-0,250
PINHEIROS LUSOS	58599,4	70765,62	58599,094	70766,618	-0,306	0,998
RAFEIRO	59725,67	76367,3	59726,129	76366,363	0,459	-0,937
RARO	62856,77	75497,83	62857,175	75496,763	0,405	-1,067

Tab. Anexo 34 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DTM 20m, bloco 4

Nome	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
ALTO DOS CRESPOS	-47641,58	27013,89	-47641,584	27014,112	-0,004	0,222
BAJOUCA	-56034,950	25902,130	-56033,038	25900,123	1,912	-2,007
CASAL FORMOSO	-52894,23	22137,93	-52893,804	22137,911	0,426	-0,019
COIMBRÃO	-64231,690	25768,930	-64230,793	25766,308	0,897	-2,622
CONQUEIROS	-58401,670	18698,730	-58401,667	18700,524	0,003	1,794
ERVEDEIRA	-64308,33	28754,76	-64307,984	28756,434	0,346	1,674
MENDES	-49464,94	25963,6	-49464,116	25962,791	0,824	-0,809
MOITINHA	-50266,27	23315,38	-50266,053	23315,898	0,217	0,518
MONTE REDONDO	-60712,36	25088,870	-60710,771	25089,124	1,589	0,254
SANTA ISABEL	-61886,31	20407,29	-61886,738	20405,378	-0,428	-1,912
SANTO ANTÓNIO	-58425,6	20676,170	-58425,641	20675,379	-0,041	-0,791

Tab. Anexo 35 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DSM 10m, bloco 4

Nome	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
ALTO DOS CRESPOS	-47641,58	27013,89	-47641,454	27013,962	0,126	0,072
BAJOUCA	-56034,950	25902,130	-56033,308	25900,323	1,642	-1,807
CASAL FORMOSO	-52894,23	22137,93	-52894,234	22138,161	-0,004	0,231
COIMBRÃO	-64231,690	25768,930	-64231,223	25769,138	0,467	0,208
CONQUEIROS	-58401,670	18698,730	-58401,737	18700,154	-0,067	1,424
ERVEDEIRA	-64308,33	28754,76	-64308,154	28756,054	0,176	1,294
MENDES	-49464,94	25963,6	-49466,216	25962,961	-1,276	-0,639
MOITINHA	-50266,27	23315,38	-50266,203	23316,598	0,067	1,218
MONTE REDONDO	-60712,36	25088,870	-60710,501	25088,524	1,859	-0,346
SANTA ISABEL	-61886,31	20407,29	-61886,418	20405,628	-0,108	-1,662
SANTO ANTÓNIO	-58425,6	20676,170	-58425,541	20675,809	0,059	-0,361

Tab. Anexo 36 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DSM 5m, bloco 4

Nome	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
ALTO DOS CRESPOS	-47641,58	27013,89	-47641,484	27013,892	0,096	0,002
BAJOUCA	-56034,950	25902,130	-56033,458	25900,703	1,492	-1,427
CASAL FORMOSO	-52894,23	22137,93	-52894,214	22137,911	0,016	-0,019
COIMBRÃO	-64231,690	25768,930	-64231,023	25768,958	0,667	0,028
CONQUEIROS	-58401,670	18698,730	-58401,907	18700,614	-0,237	1,884
ERVEDEIRA	-64308,33	28754,76	-64307,984	28755,604	0,346	0,844
MENDES	-49464,94	25963,6	-49465,466	25963,121	-0,526	-0,479
MOITINHA	-50266,27	23315,38	-50266,173	23315,398	0,097	0,018
MONTE REDONDO	-60712,36	25088,870	-60711,781	25090,244	0,579	1,374
SANTA ISABEL	-61886,31	20407,29	-61886,688	20406,068	-0,378	-1,222
SANTO ANTÓNIO	-58425,6	20676,170	-58425,501	20676,319	0,099	0,149

Tab. Anexo 37 - Controlo da exatidão planimétrica da ortoimagem com DSM 2m5, bloco 4

Nome	X_Real (m)	Y_Real (m)	X_Orto_DEM (m)	Y_Orto_DEM (m)	Dif_X (m)	Dif_Y (m)
ALTO DOS CRESPOS	-47641,58	27013,89	-47641,564	27013,592	0,016	-0,298
BAJOUCA	-56034,950	25902,130	-56033,148	25901,073	1,802	-1,057
CASAL FORMOSO	-52894,23	22137,93	-52894,264	22137,991	-0,034	0,061
COIMBRÃO	-64231,690	25768,930	-64231,453	25768,588	0,237	-0,342
CONQUEIROS	-58401,670	18698,730	-58401,677	18700,134	-0,007	1,404
ERVEDEIRA	-64308,33	28754,76	-64308,014	28755,714	0,316	0,954
MENDES	-49464,94	25963,6	-49465,526	25963,021	-0,586	-0,579
MOITINHA	-50266,27	23315,38	-50266,263	23315,838	0,007	0,458
MONTE REDONDO	-60712,36	25088,870	-60711,601	25090,504	0,759	1,634
SANTA ISABEL	-61886,31	20407,29	-61886,568	20406,258	-0,258	-1,032
SANTO ANTÓNIO	-58425,6	20676,170	-58425,141	20676,199	0,459	0,029