Sandra Silva

Avaliação da exatidão posicional de ortofotografias - caso estudo: Beja - Alqueva

Faculdade de Ciências e Tecnologia
Instituto Superior de Engenharia
2024

Sandra Silva

Avaliação da exatidão posicional de ortofotografias - caso estudo: Beja - Alqueva

Relatório de Projeto

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica

Orientado por:

Professora Doutora Helena Maria Fernandez, Universidade do Algarve

Professor Doutor Fernando Miguel Granja Martins, Universidade do Algarve

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Instituto Superior de Engenharia

2024

Avaliação da exatidão posicional de ortofotografias - caso estudo: Beja - Alqueva

DECLARAÇÃO DE AUTORIA DE TRABALHO

Declaro ser a autora deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Sandra Silva

©**Copyright**: (Sandra Silva)

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

Agradecimentos

O presente trabalho não poderia ter sido realizado sem a colaboração e apoio de várias pessoas, às quais gostaria de expressar os meus agradecimentos:

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus orientadores Professora Doutora Helena Fernandez e ao Professor Doutor Fernando Martins por toda a disponibilidade, conselhos e ensinamentos que ajudaram a desenvolver todo este trabalho.

À EDIA, pela oportunidade que me deram para realizar este projeto. Um agradecimento especial ao Engenheiro Jacinto Franco pela disponibilidade e apoio durante este percurso académico. Agradeço também ao Engenheiro Pedro Cascalheira pela disponibilidade, apoio e sugestões prestados durante o trabalho de campo.

À minha família, em especial ao Luís, que sempre me incentivou a concluir mais esta etapa e aos meus queridos e amados filhos, Luís e André.

Por último, agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

O projeto apresentado foi desenvolvido no Centro de Cartografia da Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva. Tem como objetivo avaliar a exatidão posicional das ortofotografias, utilizando técnicas fotogramétricas para a obtenção das imagens retificadas. Além disso, também foram aplicadas técnicas estatísticas para o controlo de qualidade das ortofotografias.

A qualidade das ortofotografias é uma temática fundamental para o Centro de Cartografia da Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva, uma entidade especializada detentora de alvará próprio na produção de cartografia vetorial e de fotografia. As ortofotografias são de grande utilidade pois oferecem uma representação precisa e exata do terreno, sendo utilizadas por toda a estrutura da empresa, entidades públicas, privadas e por um vasto número de utilizadores em diversas áreas.

A área de estudo está localizada no município de Beja, abrangendo uma extensão de 15.000 ha (equivalente a seis ortofotografias) à escala de 1:5.000. A produção das ortofotografias para o ano de 2022 compreendeu diversas etapas, desde a triangulação aérea até à extração do Modelo Digital de Superfície, passando pela retificação, e por fim, na criação do mosaico final.

Para avaliar a exatidão posicional planimétrica, será utilizado o indicador estatístico denominado Erro Médio Quadrático, em conformidade com as normas e especificações técnicas estabelecidas para a Cartografia Topográfica Vetorial e de Imagem, específicas para o nível de detalhe NdD2 da Direção-Geral do Território. As ortofotografias produzidas cumpriram o critério de exatidão posicional exigida. A análise estatística revelou um Erro Médio Quadrático de 0,334 m, e todos os pontos de controlo analisados situaram-se dentro dos limites estabelecidos pelas especificações técnicas.

Palavras-chave: Ortofotografia, Triangulação Aérea, Modelo Digital de Superfície, Ortorretificação, Fotogrametria

Abstract

The presented project was developed at the Cartography Center of the Alqueva Development and Infrastructure Company. Its objective is to assess the positional accuracy of orthophotos using photogrammetric techniques to obtain rectified images. Additionally, statistical techniques were applied for the quality control of the orthophotos.

The quality of orthophotos is a fundamental topic for the Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva Development and Infrastructure Company, a specialized entity with its own license for producing vector cartography and photography. Orthophotos are highly useful as they provide an accurate and precise representation of the terrain, used across the entire company structure, by public and private entities, and a wide range of users in various fields.

The study area is located in the municipality of Beja, covering an area of 15,000 ha (equivalent to 6 orthophotos) at a scale of 1:5,000. The production of orthophotos for the 2022 involves several stages, from aerial triangulation to the extraction of the Digital Surface Model through rectification and culminating in the creation of the final mosaic.

To assess the planimetric positional accuracy, the statistical indicator known as the Root Mean Square Error will be used by the standards and technical specifications established for Vector and Image Topographic Cartography, specifically for the detail level NdD2 of the Direção Geral do Território. The produced orthophotos met the required positional accuracy criteria. Statistical analysis revealed an RMS of 0.334 meters, and all control points analyzed were within the limits established by the technical specifications.

Keywords: Orthophoto, Aerial Triangulation, Digital Surface Model, Orthorectification, Photogrametry.

Lista de Símbolos

APCER – Associação Portuguesa de Certificação

CartTop – Cartografia Topográfica

CC – Centro de Cartografia

CPU – Central Processing Unit

DGT – Direção-Geral do Território

ECW – Enhanced Compressed Wavelet

EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas de Alqueva

EFMA – Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva

EMQ – Erro Médio Quadrático

GB – GigaByte

GNSS – Global Navigation Satellite System

GPS – Global Positioning System

GSD – Ground Sample Distance

IMU – Inertial Measurement Unit

ISAE –ImageStation Automatic Elevation

ISAT – ImageStation Automatic Triangulation

ISDG – ImageStation DTM for Geomedia

ISO – International Organization for Standardization

ISOP – ImageStation OrthoPro

ISSG – ImageStation Stero for Geomedia

MDS – Modelo Digital de Superfície

NdD2 – Nível de Detalhe 2

NIR – Near Infrared

NP – Norma Portuguesa

PF – Ponto Fotogramétrico

QGIS – Quantum GIS (Geographic Information System)

RGB – Red Green Blue

RMS – Root Mean Square

RTCAP – Regulamento Técnico das Coberturas Aerofotográficas para Fins Civis em Portugal

RTK – Real Time Kinematic

SIG – Sistema de Informação Geográfica

TIFF – Tagged Image File Format

TIN – Triangulated Irregular Network

VRT – Virtual Dataset

Índice

Agradecimentos v

Resumo vi

Abstract vii

Lista de Símbolos viii

1. Introdução 1

1.1 Enquadramento Geral 2

1.2 Objetivo e Motivação 7

1.3 Enquadramento do Projeto 7

2. Revisão Bibliográfica 10

2.1 Fotogrametria 10

2.2 Cobertura Aerofotográfica 11

2.3 Apoio Fotogramétrico 16

2.4 Triangulação Aérea 17

2.4.1 Orientações Fotogramétricas 18

2.5 Restituição Fotogramétrica 20

2.6 Modelo Digital de Superfície 21

2.7 Ortoretificação 21

2.7.1 Geração do Mosaico 23

2.8 Exatidão Posicional Absoluta 23

3. Material e Métodos 26

3.1 Área de estudo 26

3.2 Metodologia 27

3.3 Informação de Base 28

3.4 Cobertura Aerofotográfica 29

3.5 Apoio Fotogramétrico 33

3.6 Triangulação Aérea 37

3.6.1 Criação do Projeto Fotogramétrico 38
3.6.2 Medição 3D dos Pontos Fotogramétricos 43
3.6.3 Orientação Relativa e Absoluta 44
3.6.4 Orientação Externa 47
3.7 Restituição Fotogramétrica 47
3.8 Geração do Modelo Digital de Superfície 48
3.9 Ortoretificação 50
3.9.1 Criação do Projeto *OrthoPro* 51
3.9.2 Ortoretificação das Fotografias 54
3.9.3 Geração de "*Seamlines*" 57
3.9.4 Tone Balance 59
3.9.5 Geração da Ortofotografia 59
3.9.5.1 Formato da Ortofotografia 60
3.9.5.2 "*Tiles*" 61
3.9.5.3 Compressão 61
3.9.5.4 "*Overviews*" 61
4. Análise da Exatidão Posicional das Ortofotografias 62
5. Resultados e Discussão 63
5.1 Triangulação Aérea 63
5.2 Restituição Fotogramétrica 63
5.3 Modelo Digital de Superfície 64
5.4 Ortofotografias 65
5.5 Pontos de Controlo 66
5.6 Exatidão Posicional das Ortofotografias 69
6. Conclusão 75
Bibliografia 76
Anexo 1 – Relatório da Triangulação Aérea 78

Anexo 2 – Apresentação geral do projeto no *OrthoPro* (Fonte: ISOP, 2021). 84

Anexo 3 –Projeto do *"OrthoPro"* (Fonte: ISOP, 2021). 85

Anexo 4 – Imagens retificadas (Fonte: ISOP, 2021 86

Anexo 5 – Tabela de Cálculo do EMQ (Fonte: Autor) 87

Anexo 6 – Fichas dos Pontos de Controlo 88

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EMFA) (Fonte: Anuário Agrícola 2023, EDIA). 2
Figura 1.2 – Ensecadeiras e acessos sobre o rio Guadiana (Fonte: Sanches & Pedro, 2006). 3
Figura 2.1– Cobertura aerofotográfica dos anos 1994 – 1995 (Fonte: Adaptado de CC). 12
Figura 2.2 – Cobertura aerofotográfica do ano 2004 – 2005 (Fonte: Adaptado de CC). 13
Figura 2.3– Cobertura aerofotográfica do ano 2015 (Fonte: Adaptado de CC). 13
Figura 2.4 – Cobertura aerofotográfica do ano 2017 (Fonte: Adaptado de CC). 14
Figura 2.5 – Cobertura aerofotográfica do ano 2019 (Fonte: Adaptado de CC). 14
Figura 2.6 – Cobertura aerofotográfica do ano 2022 (Fonte: Adaptado de CC). 15
Figura 2.7– Sobreposições longitudinal e lateral (Fonte: Autor). 16
Figura 2.8 – Distribuição ótima dos Pontos Fotogramétricos (Fonte: Adaptado de ISAT Help, 2021). 17
Figura 2.9 – Ângulos de rotação ω, ϕ, Κ (Fonte: Adaptado de ISAT Help, 2021). 19
Figura 2.10 – Ajuste por feixes perspetivos *(Bundle Adjustment*) (Adaptado: ISAT Help, 2021). 20
Figura 2.11 – Deslocamento devido ao relevo (Fonte: Adaptado de Berberan, 2003)... 22
Figura 2.12 – Linhas de união *"Seamlines"* (Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2024).... 23
Figura 3.1 – Localização da área de estudo (Fonte: Autor). 26
Figura 3.2 – Fluxo de produção de ortofotografias digitais (Fonte: Adaptado, CC 2023). 27
Figura 3.3 – Estação fotogramétrica (Fonte: CC)..... 28
Figura 3.4 – Cobertura aérea de 2022 (Fonte: Adaptado de CC). 30
Figura 3.5 – Cobertura Aérea de 2022 e Área de estudo (Fonte: Adaptado de CC)..... 31
Figura 3.6 – Sistema Aerofotogramétrico do avião (Fonte: Município, 2022)..... 32
Figura 3.7 – Relatórios de voo da área de estudo dos dias 9 e 10 de julho de 2022 (Fonte: EDIA, 2022). 33
Figura 3.8 – Pontos fotogramétricos do ano 2022 (Fonte: Autor). 34
Figura 3.9 – Estação de referência *SmartNet* "FALE" (Fonte: CC). 35
Figura 3.10 – Ficha de Ponto Fotogramétrico (Fonte: CC, 2022). 36

Figura 3.11 – Fluxo de Produção do ISAT® (Fonte: ISAT Help, 2021). 37
Figura 3.12 – Criação do Projeto ISAT® (Fonte: ISAT, 2021). 38
Figura 3.13 – Altura média de voo e elevação média do terreno (Fonte: ISAT, 2021). . 39
Figura 3.14– Valores do RMS e resíduo máximo admissível (Fonte: ISAT, 2021)..... 39
Figura 3.15 – Configuração da Câmara Aérea Digital (Fonte: ISAT, 2021). 40
Figura 3.16 – Orientação externa da cobertura aérea (Fonte: CC, 2022). 41
Figura 3.17 – Criação do bloco 3 (Fonte: ISAT, 2021). 42
Figura 3.18 – Vista detalhada do projeto fotogramétrico (Fonte: ISAT, 2021). 43
Figura 3.19 – Ponto fotogramétrico identificado em 3 fotografias (Fonte: ISAT,2021). 44
Figura 3.20 – Distribuição dos pontos fotogramétricos (Fonte: ISAT, 2021). 44
Figura 3.21 – *Tie points* (azul) e *Pass Points* (rosa) do bloco (Fonte: ISAT, 2021). 45
Figura 3.22 – Resíduos e EMQ da orientação absoluta (Fonte: ISAT, 2021)..... 46
Figura 3.23– Ambiente de restituição do *ISSG* (Fonte: ISSG, 2021). 48
Figura 3.24 – Estrutura Piramidal das imagens (Fonte: ISAE Help, 2021). 48
Figura 3.25 – Configuração do Projeto *ISAE* (Fonte: ISAE, 2021). 49
Figura 3.26 – Definições dos pontos cotados automáticos (Fonte: ISAE, 2021). 50
Figura 3.27 – Fluxo de Produção do *OrthoPro* (Fonte: ISOP, 2021). 51
Figura 3.28 – Painel de controlo do "*OrthoPro"* (Fonte: ISOP; 2021)..... 52
Figura 3.29 – Seccionamento e nomenclatura da quadrícula (Fonte: Autor). 52
Figura 3.30 – Parâmetros do Projeto *OrthoPro* (Fonte: ISOP, 2021)..... 53
Figura 3.31 – Extrato da apresentação geral do projeto no "*OrthoPro*" (Fonte: ISOP, 2021). 54
Figura 3.32 – Opções de Retificação das fotografias (Fonte: ISOP, 2021). 55
Figura 3.33 – Extrato do Projeto do *"OrthoPro"* (Fonte: ISOP, 2021). 56
Figura 3.34 – Imagens retificadas (Fonte: ISOP, 2021). 57
Figura 3.35 – Imagens retificadas (Fonte: ISOP, 2021). 58
Figura 3.36 – "*Seamlines"* obtidas pelo "*Smart Seams*" (Fonte: ISOP, 2021)..... 58
Figura 3.37 – "*Tone Balance*" para as seis ortofotografias (Fonte: ISOP; 2021). 59
Figura 3.38 – Parâmetros de processamento (Fonte: ISOP, 2021). 60
Figura 3.39 – Formato TIFF e Bits por banda (Fonte: ISOP, 2021). 60
Figura 3.40 – Tamanho de "Tiles" (Fonte: ISOP, 2021). 61
Figura 5.1 – "*Breaklines*" (Fonte: Autor). 64
Figura 5.2 – Modelo Digital de Superfície (Fonte: Autor). 65
Figura 5.3 – Ortofotografias da área de estudo (Fonte: Autor). 66

Figura 5.4 – Localização dos pontos de controlo 2024 (Fonte: Autor). 67
Figura 5.5 – Ponto Fotogramétrico PF_12_2024 (Fonte: CC). 68
Figura 5.6 – Localização dos pontos de controlo (Fonte: Autor). 69
Figura 5.7 – Posição na ortofotografia do PF_14_2024 (Fonte: Adaptado de CC). 71
Figura 5.8 – Detalhe do PF_14_2024 (Fonte: CC)..... 71
Figura 5.9 – Posição na ortofotografia do PF_12_2024 (Fonte: CC)..... 72
Figura 5.10 – Detalhe do PF_12_2024 (Fonte: CC)..... 72

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 – Características da barragem de Alqueva (Fonte: EDIA, 2024). 4
Tabela 1.2 – Resumo do Sistema Global de Rega (Fonte: EDIA, 2024). 5
Tabela 2.1: Características técnicas das coberturas aerofotográficas. 12
Tabela 2.2: Exatidão posicional absoluta das ortofotografias (Fonte: Adaptado de DGT, 2024). 24
Tabela 3.1 – Informação de base (Fonte: Autor). 29
Tabela 3.2 – Parâmetros da Câmara Aérea Digital DMC01-0129 40
Tabela 3.3 – Pontos Fotogramétricos. 41
Tabela 3.4 – Orientação externa inicial e retificada 47
Tabela 4.1. – EMQ NdD2 à escala 1:5.000 (Fonte: Adaptado de CartTopV2.0.1). 62
Tabela 5.1 – Valores de RMS (Fonte: Autor). 63
Tabela 5.2 – Desvios entre as coordenadas (Fonte: Autor). 70
Tabela 5.3– Valor EMQ 73

1. Introdução

O trabalho de projeto apresentado insere-se na unidade curricular "Dissertação, Projeto ou Estágio" do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica. Tem como objetivo avaliar a exatidão posicional das ortofotografias na região de Alqueva-Beja.

O projeto foi desenvolvido no Centro de Cartografia (CC) da Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva, S.A. (EDIA).

O relatório está estruturado em seis capítulos:

No primeiro capítulo, "Introdução", é feito um enquadramento geral do tema do projeto, a motivação para o tema escolhido, o objetivo que se propõe alcançar e o enquadramento do projeto.

No segundo capítulo, "Revisão bibliográfica", são descritos os conceitos prévios com uma breve análise dos temas desenvolvidos.

No terceiro capítulo, "Material e métodos", é apresentada a descrição da área de estudo e a metodologia utilizada no projeto apresentado.

No quarto capítulo, "Análise da exatidão posicional", é realizada a análise estatística e a apresentação dos resultados.

No quinto capítulo, "Resultados e Discussão", é realizada uma análise aos resultados obtidos e discutidos os resultados comparando-os com outros trabalhos publicados.

No sexto capítulo, "Conclusão", é apresentada uma avaliação global do projeto e dos seus resultados.

1.1 Enquadramento Geral

O Centro de Cartografia (CC) foi criado pela EDIA em 2003, com o principal objetivo de desenvolver competências essenciais para a produção de informação geoespacial. Através do envolvimento em projetos nas áreas de cartografia, topografia, geodesia e cadastro predial, o CC posiciona-se como um pilar estratégico no desenvolvimento regional, no contexto do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA) (Figura 1.1).

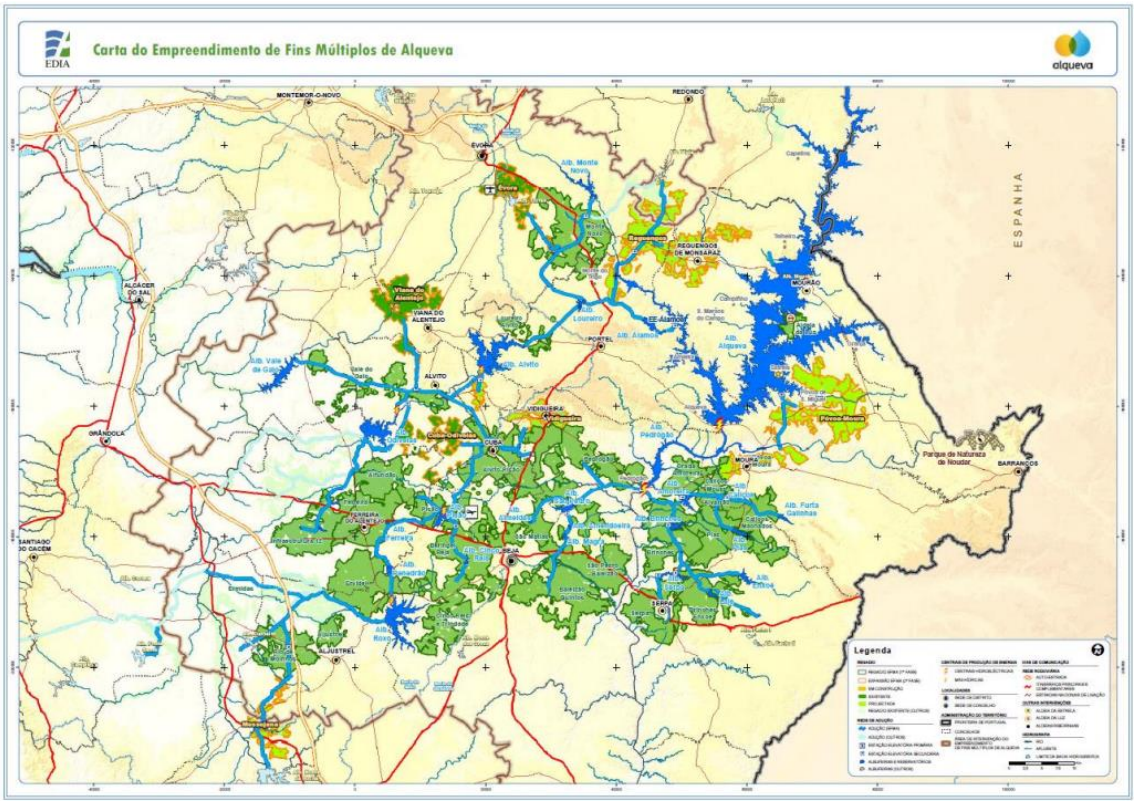


Figura 1.1 – Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EMFA) (Fonte: Anuário Agrícola 2023, EDIA).

O EFMA é um projeto em que as suas primeiras referências surgem em 1957, com a criação do Plano de Rega do Alentejo. Em 1968, a assinatura do Convénio Luso-Espanhol para a utilização de rios internacionais atribuiu a Portugal a responsabilidade pela exploração hidráulica do troço internacional do rio Guadiana, entre as confluências do rio Caia e da ribeira de Cuncos, consolidando o Alqueva como uma prioridade estratégica (Murteira, 2009).

Entre 1976 e 1978 tiveram início as primeiras obras relacionadas com o projeto, que incluíram a construção das ensecadeiras de montante e jusante, o túnel provisório do rio,

infraestruturas de apoio e uma ponte provisória sobre o rio Guadiana (Figura 1.2) (Sanches & Pedro, 2006).

Figura 1.2 – Ensecadeiras e acessos sobre o rio Guadiana (Fonte: Sanches & Pedro, 2006).

O EFMA é hoje um projeto estruturante no sul de Portugal, abrangendo 20 concelhos nos distritos de Beja, Évora, Setúbal e Portalegre, com uma área total de aproximadamente 1.000.000 ha. A albufeira de Alqueva, o maior lago artificial da Europa, estende-se por 83 km e ocupa uma área de 25.000 ha, atravessando os concelhos de Moura, Portel, Mourão, Reguengos de Monsaraz e Alandroal. A construção deste empreendimento permitiu aumentar significativamente a área de regadio, acompanhando o desenvolvimento e a crescente necessidade de informação geoespacial.

Após vários estudos e avaliações, o projeto foi retomado em 1993, e em 1995 foi criada a EDIA, com a missão de conceber, executar, construir e gerir o EFMA. Este empreendimento não só promove o desenvolvimento económico e social da área de influência, como também desempenha um papel fundamental no desenvolvimento do Alentejo e do País (Sanches & Pedro, 2006).

A EDIA, enquanto responsável pela gestão do EFMA, é impulsionadora na dinamização da economia regional e nacional. Este projeto, o maior investimento realizado no Alentejo, tem contribuído para viabilizar o desenvolvimento de uma das regiões mais desfavorecidas da Europa. A barragem de Alqueva, como elemento central do EFMA, é o maior lago artificial da Europa, com uma capacidade total de armazenamento de 4.150

milhões de m³, dos quais 3.150 milhões de m³ são utilizáveis em condições normais de exploração (EDIA, 2024). A Tabela 1.1 apresenta as principais características da barragem de Alqueva.

Tabela 1.1 – Características da barragem de Alqueva (Fonte: EDIA, 2024).

Altura	96 m
Comprimento do coroamento	458 m
Capacidade total	4.150 hm^3
Nível pleno de armazenamento	152 m
Nível mínimo de exploração	130 m
Capacidade útil	3.150 hm^3
Espelho de água	25.000 ha
Comprimento da albufeira	83 km
Margens	1.160 km

Desde o dia 8 de fevereiro de 2002, data em que as obras foram concluídas e as comportas encerradas, o Alqueva tem cumprido o seu conceito de empreendimento de fins múltiplos. A gestão integrada da sua reserva estratégica de água é um dos principais objetivos. O sistema assegura o abastecimento público de água, reforçando o fornecimento a cinco barragens que servem cerca de 200.000 habitantes. Além disso, o Alqueva apoia o regadio, atualmente com 130.000 ha em uso, e prevê uma expansão de mais de 40.000 ha para a indústria, produção de energia limpa e o desenvolvimento do turismo (EDIA, 2023).

O sistema global de rega de Alqueva, divide-se em três subsistemas, de acordo com as diferentes origens da água:

1. Origem na albufeira de Alqueva - Subsistema de Alqueva. A partir da estação elevatória dos Álamos a água é elevada a uma altura de 90 m, através de uma conduta forçada de 850 m de comprimento e 3,2 m de diâmetro, para as albufeiras dos Álamos, as quais garantem a distribuição de água a todo o subsistema num total de área regada de 75.000 ha.

2. Origem na Albufeira de Pedrogão (margem esquerda) - Subsistema do Ardila com início na estação elevatória de Pedrogão, é composto por um conjunto de 15

barragens e reservatórios. Estende-se por mais de 60 km de rede primária e tem cerca de 270 km de condutas na rede secundária, seis estações elevatórias e uma central mini-hídrica. Abrange os concelhos de Moura e Serpa num total de área regada de 30.000 ha.

3. Origem na Albufeira de Pedrogão (margem direita) - Subsistema de Pedrogão, compreende um total de nove barragens e reservatórios, três estações elevatórias mais de 42 km de extensão de rede primária e adduções a desenvolverem-se na região a Este de Beja. A criação de reservatórios de regularização e um sistema adutor que garante o transporte de água para a região, permitiu também, além dos 24.500 ha de área regada, uma alternativa para o reforço de abastecimento público de água, numa região deficitária em recursos hídricos.

A Tabela 1.2 apresenta um resumo do Sistema Global de Rega.

Tabela 1.2 – Resumo do Sistema Global de Rega (Fonte: EDIA, 2024).

Área regada	130.000 ha
Extensão das redes primária e secundária	2.078 km
Barragens, reservatórios e açudes	72
Estações elevatórias	45
Mini hídricas	5

A EDIA enquanto entidade promotora e gestora do EFMA, consciente da importância da sua missão, tem assumido desde o início, uma política ambiental que visa fomentar o desenvolvimento sustentável, bem como aprofundar, mitigar e potenciar os impactes decorrentes do empreendimento. Na sua política de sustentabilidade a EDIA considera estratégicas as seguintes áreas:

1- Gestão da Água;
2- Gestão da Infraestrutura;
3- Promoção do regadio;
4- Desenvolvimento regional.

Estas áreas são complementadas com um conjunto de atividades transversais a toda a atividade da empresa. Entre as quais se destacam:

1- O Parque de Natureza de Noudar, localizado a 8 km da vila de Barrancos, foi criado após a aquisição da Herdade da Coitadinha pela EDIA em 1997. O objetivo principal foi desenvolver um projeto de compensação pela perda de habitats, nomeadamente os ecossistemas de montado, galerias ripícolas e matos mediterrânicos, afetados pela construção do Alqueva. O espaço foi organizado de forma a integrar a conservação da natureza com atividades agroflorestais e turísticas, promovendo a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento local.

2- O Monte Bolor, situado a montante da albufeira do Pisão, na freguesia de Beringel, promove o contacto com a natureza e a valorização dos recursos naturais da região. As atividades, organizadas pela EDIA e direcionadas principalmente para os jovens, incluem jogos e experiências científicas. A temática central dessas atividades é a importância da água para a natureza e a agricultura, contribuindo para a sensibilização ambiental e a educação ecológica.

3- O Museu da Luz, situado em Mourão, surgiu como resultado da submersão da aldeia da Luz e da subsequente relocalização da povoação para um novo local. Este espaço interpretativo documenta e explica as profundas alterações que ocorreram neste território.

A EDIA promove e divulga, também, as melhores práticas agrícolas que garantam a sustentabilidade a prazo da produção agrícola e a preservação dos recursos naturais do território. A modernização e o reforço da competitividade são objetivos estratégicos para o desenvolvimento do setor agrícola e da economia nacional. No entanto, à luz da realidade atual e da evolução dos conhecimentos científicos, a proteção dos recursos naturais e a preservação do ambiente são igualmente imprescindíveis (DIAP, 2020).

Devido ao grande número de projetos e à necessidade de fornecer informação geoespacial, tanto internamente para os departamentos da EDIA envolvidos diretamente no processo — como expropriações, obras, ambiente e património — quanto externamente para as entidades responsáveis pelo planeamento e execução de estudos e

projetos, é imperativo que a informação geoespacial seja articulada e gerida de forma coerente e sincronizada. Isso é fundamental para evitar erros e atrasos, bem como as consequências associadas (Costa, 2011).

1.2 Objetivo e Motivação

O objetivo deste projeto consiste na avaliação da exatidão das ortofotografias produzidas pelo CC. A qualidade das ortofotografias é uma temática fundamental para o CC, sendo este produto utilizado por toda a estrutura da empresa bem como por um vasto número de utilizadores. Por isso, é essencial garantir a sua exatidão posicional. As ortofotografias de todas as coberturas aéreas realizadas pela EDIA, podem ser facilmente obtidas e consultadas a partir da aplicação "Dados Alqueva" no https://sigims.edia.pt/DadosAlqueva/index.html.

Ao longo dos últimos 20 anos, a minha dedicação à fotogrametria foi motivada pelo fascínio pela exatidão e tecnologia envolvida na criação de informação geoespacial do mundo real a partir de fotografias aéreas. Este projeto permite mostrar como obter essa informação de forma precisa e exata.

Neste relatório estão documentadas as tarefas realizadas no projeto para a obtenção do grau de mestre em Sistemas de Informação Geográfica da Universidade do Algarve. O relatório descreve, de forma detalhada, as várias tarefas para a produção das ortofotografias e avaliação da sua exatidão.

1.3 Enquadramento do Projeto

O projeto decorreu no CC integrado na "Direção de Engenharia Ambiente e Planeamento" da EDIA. O CC é composto por oito colaboradores, um diretor e sete colaboradores em três áreas: topografia, cadastro e cartografia.

Ao CC compete produzir:

1- Ortofotografias digitais a cores e a qualquer escala;
2- Cartografia vetorial a qualquer escala;

3- Modelos Digitais de Terreno e de Superfície;
4- Processamento de imagens de satélite;
5- Levantamentos topográficos e piquetagens;
6- Monitorização geodésica de barragens de aterro.

No âmbito da sua política de qualidade o CC tem as seguintes metas:

1- Garantir a plena satisfação dos clientes e outras partes interessadas por meio dos produtos e serviços executados, atendendo a todos os requisitos aplicáveis e legais.

2- Fomentar o desenvolvimento técnico e profissional dos colaboradores, valorizando as suas iniciativas e sugestões por forma a alcançar uma maior motivação e alinhar-se com os objetivos do CC.

3- Melhorar continuamente a eficácia do Sistema de Gestão da Qualidade.

O CC dispõe atualmente de todas as condições técnicas e humanas para o exercício das suas valências, sendo a EDIA detentora de alvarás próprios, adequados ao exercício das atividades de aquisição de informação geoespacial. O CC da EDIA está certificado de acordo com a Norma NP ISO 9001:2015, pela entidade certificadora Associação Portuguesa de Certificação (APCER), desde janeiro de 2010.

O CC da EDIA utiliza o *software* geoespacial da *HexagonAB*® para produzir de forma rápida e precisa informação geoespacial. Estão integrados os softwares da família *Imagestation*® e *Geomedia*®, uma solução que permite ao CC fornecer a informação geoespacial não só aos diversos departamentos da EDIA, mas também à comunidade em geral que utiliza esse tipo de informação.

A informação geoespacial rigorosa e atualizada é um dos objetivos do CC, com as soluções da *Hexagon*, é possível ter acesso ao software geoespacial mais atualizado. A utilização deste conjunto de produtos, incluindo o *Geomedia* e *ImageStation* para recolher, processar, analisar e compreender dados geoespaciais brutos, transformando-os em informações úteis. Esta informação geoespacial é disponibilizada a todos os departamentos da EDIA e também aos intervenientes que colaboram nos projetos. As soluções não só permitem à EDIA criar produtos de informação geoespacial precisos,

como também aumentam a eficiência dos fluxos de trabalho, tanto internos como externos (Hexagon, 2016).

2. Revisão Bibliográfica

No presente capítulo são descritos de forma genérica os conceitos que servem para o enquadramento ao tema abordado neste trabalho de projeto.

2.1 Fotogrametria

A fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia que utiliza fotografias para recolher informação geográfica fiável, quer métrica quer semântica dos objetos fotografados. Esta técnica envolve a captura de imagens com sobreposição e diferentes pontos de vista, permitindo a extração de modelos tridimensionais (Berberan, 2003). A história da fotogrametria remonta ao século XIX, com o aparecimento da fotografia. Em 1850 o Coronel Aimé Laussedat desenvolveu os primeiros equipamentos fotográficos para trabalhos terrestres, sendo considerado o "pai" da fotogrametria. O primeiro livro sobre fotogrametria foi escrito em 1899 onde o seu autor Sebastian Finsterwalder, já abordava temas importantes como a orientação de pares estereoscópicos e o processo de aerotriangulação (Gruner, 1977).

O início do século XX foi crucial para a evolução da fotogrametria. Em 1902, o Dr. Carl Pulfrich projetou o estéreo-restituidor analógico, e a invenção do avião pelos irmãos Wright em 1903 revolucionou a aplicação desta técnica.

Fotografias recolhidas através de aviões foram extensivamente usadas durante a primeira e segunda guerras mundiais para reconhecimento e operações militares. Estas épocas de conflito aceleraram o desenvolvimento de câmaras fotográficas aéreas e de estéreo-restituidores (Gruner, 1977).

A descoberta do computador em meados do século XX e a sua evolução permitiram um aumento da qualidade e da velocidade de aquisição de informação. Os antigos estéreo-restituidores analógicos deram lugar aos digitais, hoje conhecidos por estações fotogramétricas digitais. As primeiras câmaras aéreas digitais foram comercializadas no ano 2000 tendo acoplado no avião um sistema de posicionamento por satélite, que permitiu melhorar a qualidade e reduzir substancialmente o custo e tempo de produção,

quer na automatização de processos fotogramétricos quer nas atividades de campo para a georreferenciação da cobertura aerofotográfica (Berberan, 2003).

A fotogrametria aérea é, já há largas dezenas de anos, uma peça indispensável na produção cartográfica vetorial e de imagem. A possibilidade de mecanizar todo o processo de produção fotogramétrica, a densidade de informação contida numa fotografia e a possibilidade de integrar uma base geográfica em qualquer Sistema de Informação Geográfica (SIG) faz da fotogrametria uma peça fundamental para aquisição de dados, sobre os quais se combinam dados de natureza não geográfica quer para a obtenção de novas cartas temáticas, quer para permitir análises de variadas situações (Redweik, 2007).

Atualmente todo o processo de produção cartográfica é digital, desde a câmara aérea até ao produto final, a cartografia vetorial e as ortofotografias.

2.2 Cobertura Aerofotográfica

A cobertura aerofotográfica tem como objetivo reconstruir a posição e a forma do objeto, a partir de duas fotografias, a que se chama par estereoscópico. Para obter a estereoscopia as fotografias têm que obedecer a duas regras gerais: (i) os eixos óticos da câmara devem ser aproximadamente paralelos entre si e perpendiculares ao plano do objeto e (ii) as imagens devem ter uma sobreposição igual ou superior a 60% (Graham, 2002).

Em Portugal, as coberturas aéreas começaram a surgir no final da década de 1930, sendo a mais antiga conhecida pertencente ao Instituto Geográfico do Exército (IGeoE). Este período coincidiu com o início da produção de cartas militares topográficas à escala 1:25.000, utilizando métodos fotogramétricos que ofereciam grandes vantagens económicas em relação aos métodos clássicos de levantamento topográfico (Redweik *et al*., 2010).

A EDIA realizou a sua primeira cobertura aérea em 1994, através de dois voos realizados em outubro de 1994 e maio de 1995, à escala 1:5.000. A produção dos ortofotomapas foi a cargo de um consórcio externo. Com a criação do CC em 2003 a EDIA tornou-se autónoma na produção de cartografia vetorial e de imagem, tendo realizado coberturas regulares ao longo dos anos, que acompanham a expansão do perímetro de regra.

Até ao ano de 2022 o CC executou as coberturas: 2004/2005; 2015; 2017; 2019 e 2022 num total de 5.600.000 ha e 3030 ortofotografias. Na Tabela 2.1 estão descritas as características de cada cobertura aerofotográfica:

Tabela 2.1: Características técnicas das coberturas aerofotográficas.

Ano Cobertura	Área (ha)	Número de fotografias	Número de ortofotos	Escala	Resolução espacial (cm)
1994-1995	600000	4740	946	1:5.000	120
2004-2005	700000	1660	279	1:10.000	40
2015	800000	1230	347	1:10.000	50
2017	900000	2060	382	1:5.000	35
2019	1200000	4685	512	1:5.000	30
2022	1400000	13765	564	1:5.000	25

As Figuras 2.1 a 2.6 mostram a evolução das coberturas aerofotográficas da EDIA:

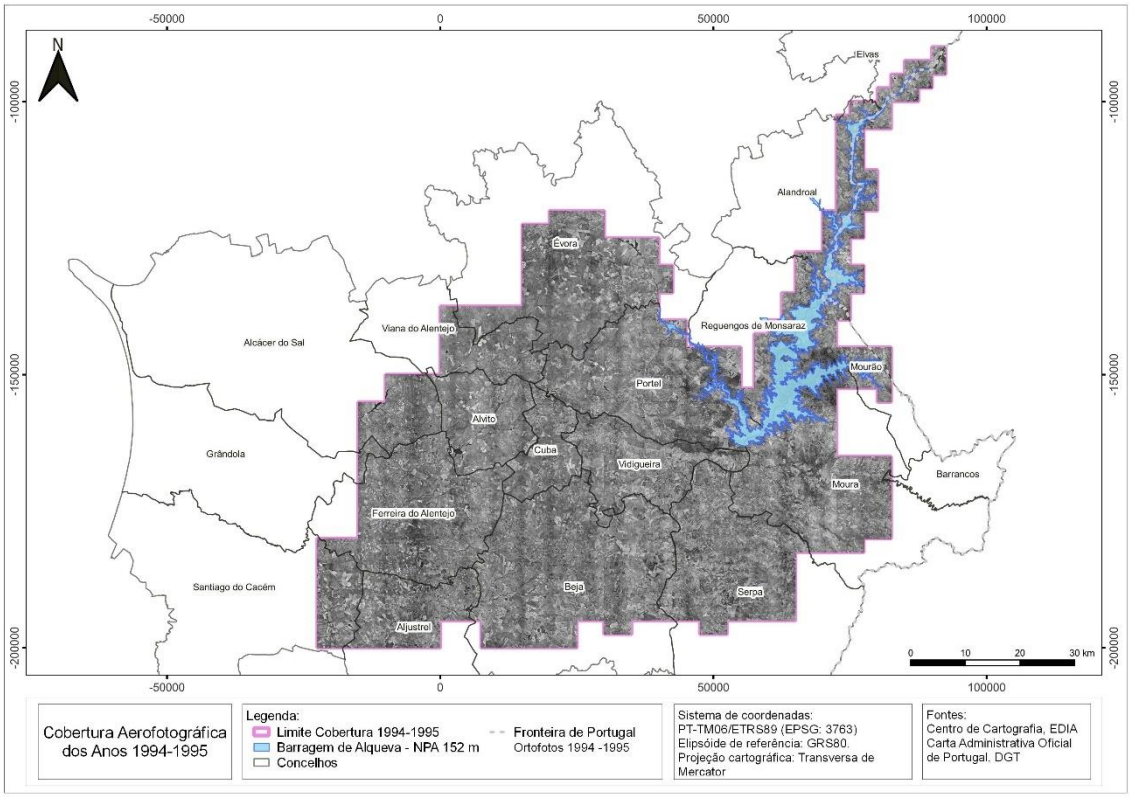


Figura 2.1– Cobertura aerofotográfica dos anos 1994 – 1995 (Fonte: Adaptado de CC).

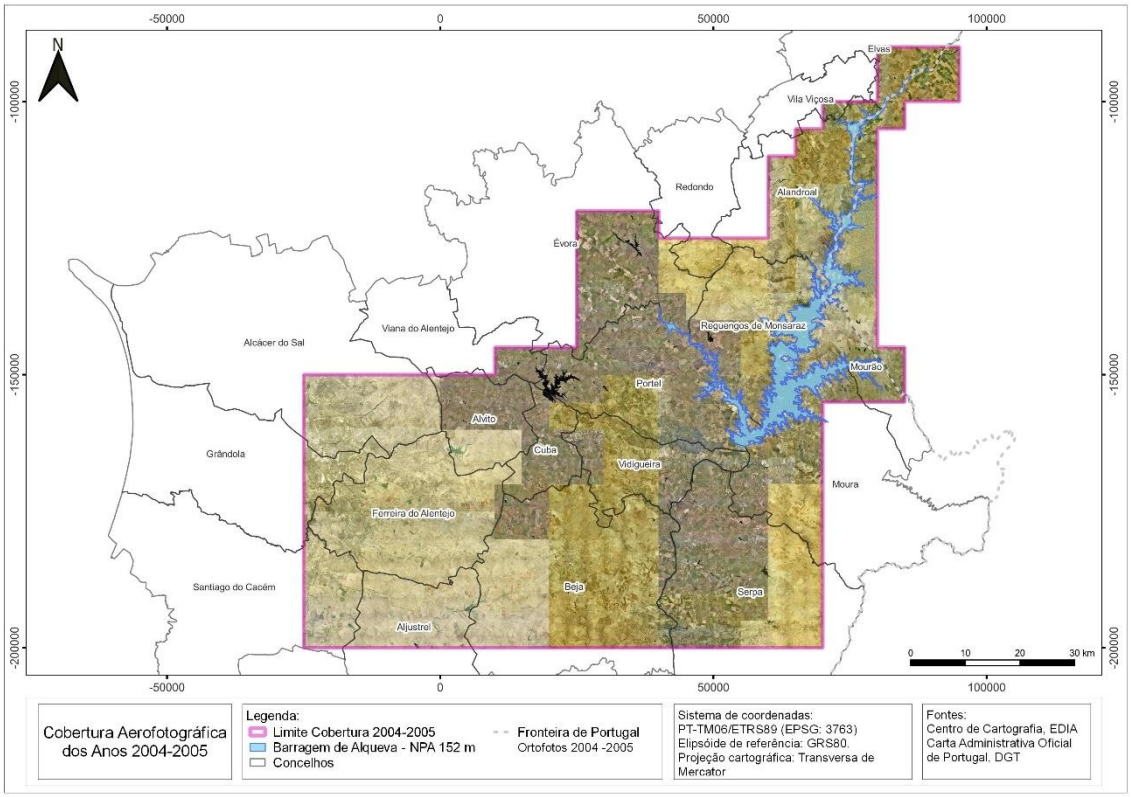


Figura 2.2 – Cobertura aerofotográfica do ano 2004 – 2005 (Fonte: Adaptado de CC).

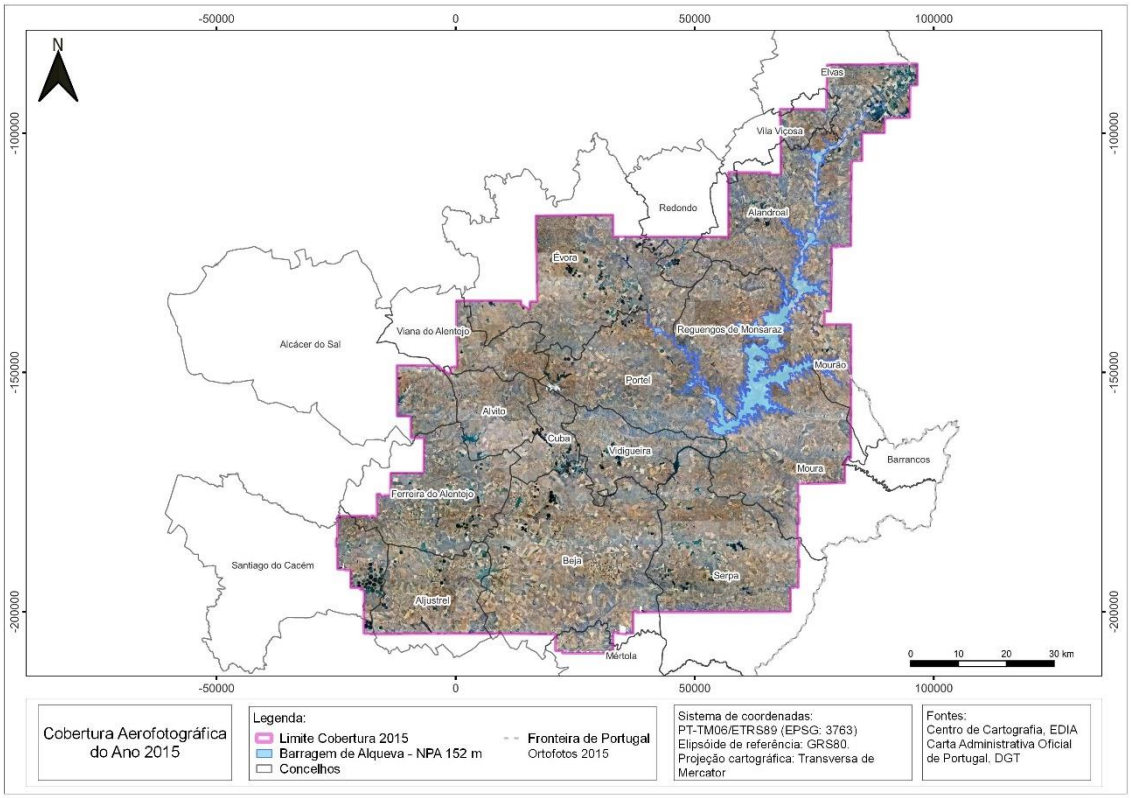


Figura 2.3– Cobertura aerofotográfica do ano 2015 (Fonte: Adaptado de CC).

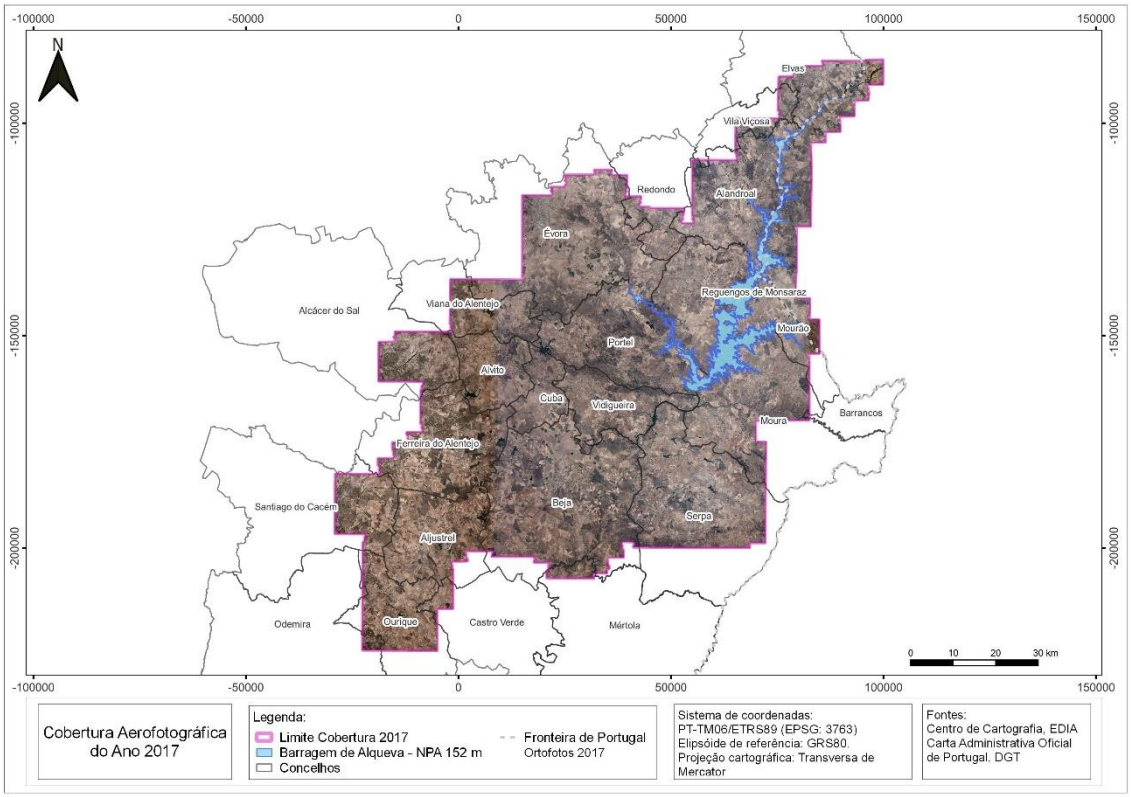


Figura 2.4 – Cobertura aerofotográfica do ano 2017 (Fonte: Adaptado de CC).

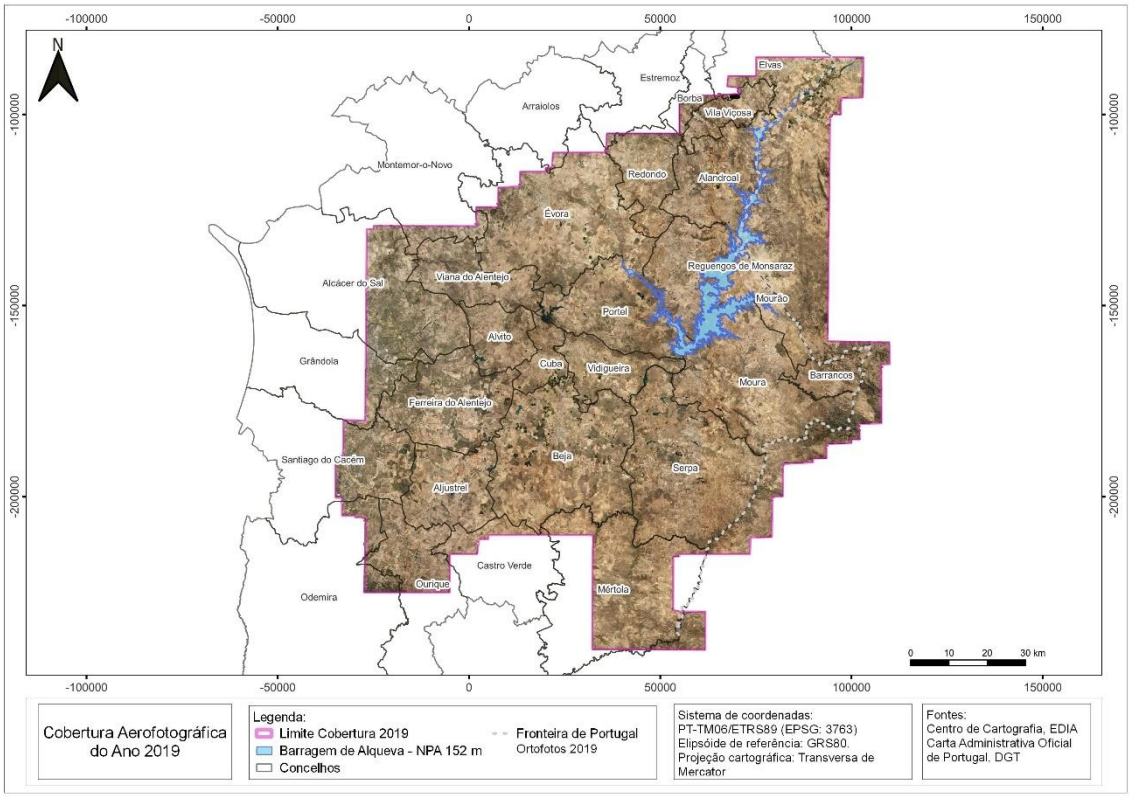


Figura 2.5 – Cobertura aerofotográfica do ano 2019 (Fonte: Adaptado de CC).

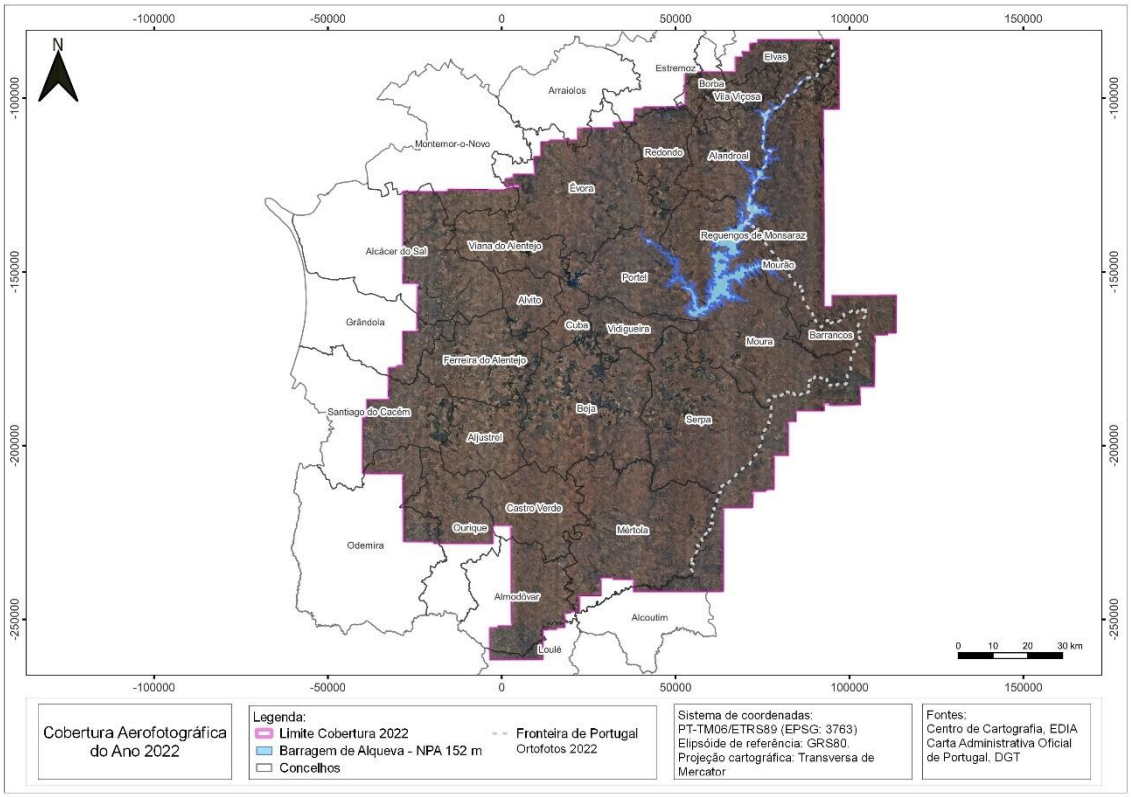


Figura 2.6 – Cobertura aerofotográfica do ano 2022 (Fonte: Adaptado de CC).

A execução da cobertura aerofotográfica da EDIA é realizada conforme o estabelecido no Caderno de Encargos da EDIA e pelo Regulamento Técnico das Coberturas Aerofotográficas para Fins Civis (RTCAP, 2014) da DGT. Estes regulamentos estabelecem as especificações técnicas, características e processos a utilizar na execução da fotografia aérea para fins civis.

Na cadeia de produção da EDIA este processo é o único adquirido externamente, a EDIA não é detentora de aeronave nem de câmara aérea aerofotogramétrica. A cobertura aérea exige um planeamento detalhado e rigoroso por forma a cumprir o caderno de encargos da EDIA e RTCAP. Estas especificações técnicas e o regulamento, incluem de forma genérica, as características da câmara aérea fotográfica, a resolução espacial, a altura do sol sobre o horizonte que deve ser superior a 30º para reduzir a presença de sombras, a exigência de que não pode existir mais do que 5% da fotografia coberta por nuvens ou fumos e a sobreposição longitudinal (direção do voo) de 60%, ou seja, fotografias sucessivas têm que ter no mínimo 60% de área comum e a sobreposição lateral (direção perpendicular à do voo) de 30% da dimensão da foto (RTCAP, 2014). As sobreposições são apresentadas na Figura 2.7.

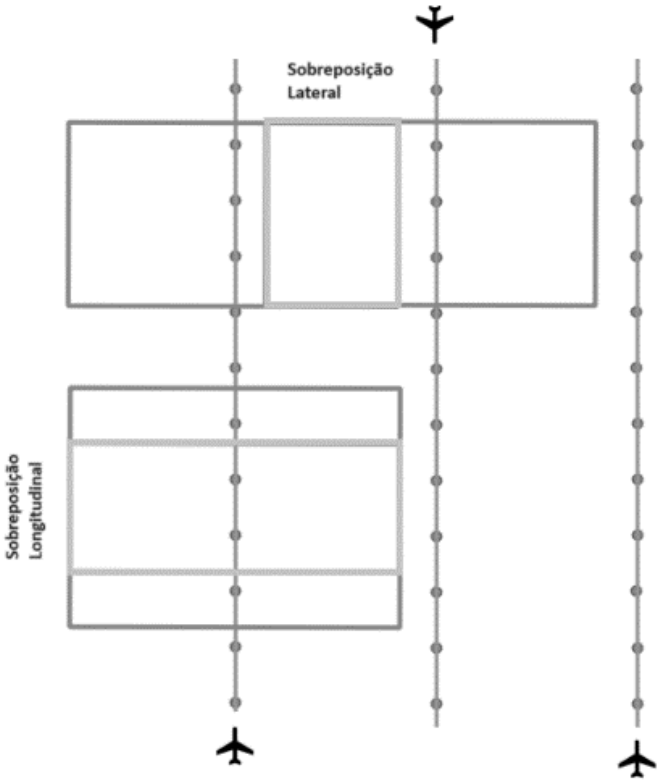


Figura 2.7– Sobreposições longitudinal e lateral (Fonte: Autor).

Além das regras estabelecidas no RTCAP, o caderno de encargos da EDIA especifica, nomeadamente, as cláusulas jurídicas que regulamentam o acordo entre a EDIA e a entidade contratada. O caderno de encargos também define o prazo e o valor de execução da cobertura aérea, além de determinar o tipo de ficheiros a ser entregue pela entidade contratada (Caderno de Encargos, 2022).

2.3 Apoio Fotogramétrico

A coordenação dos pontos fotogramétricos (PFs) e de controlo tem como objetivo principal determinar as coordenadas planimétricas e altimétricas dos pontos indispensáveis à triangulação aérea. Uma correspondência precisa entre o ponto na imagem e o ponto fotogramétrico é essencial para a precisão da orientação absoluta do modelo estereoscópico (Redweik, 2007).

Os PFs são selecionados de forma a serem bem identificáveis nas fotografias, sem sombras, de preferência sobre pormenores artificiais no solo e de carácter permanente. São distribuídos de forma tão uniforme quanto possível ao longo das fiadas do voo, e nos

cantos dos modelos estereoscópicos, deve ser marcado pelo menos um ponto. A Figura 2.8 apresenta a distribuição ótima dos pontos fotogramétricos.

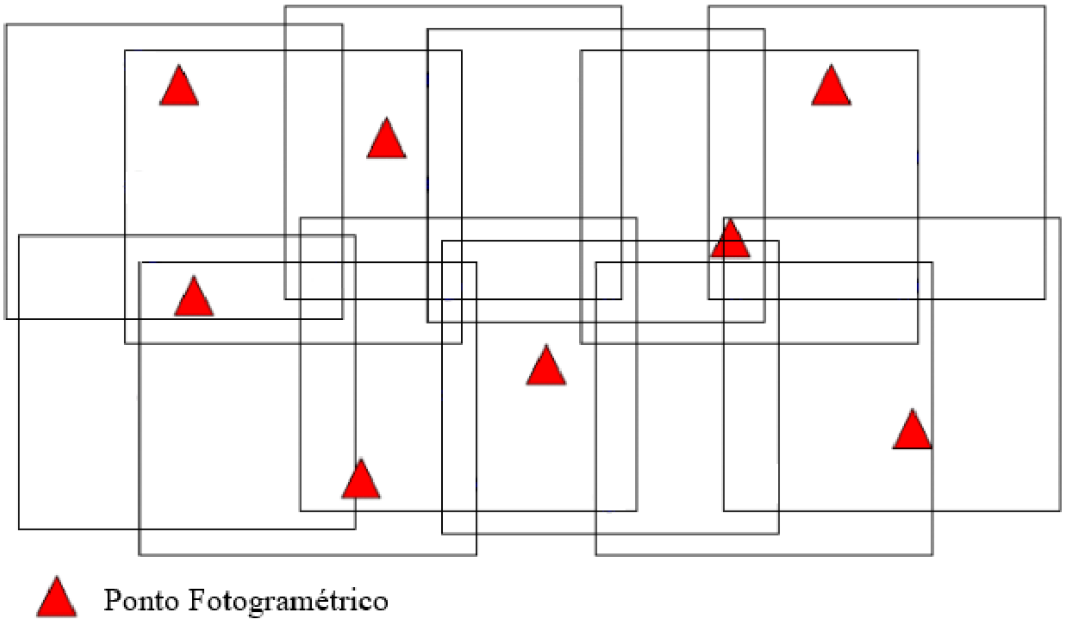


Figura 2.8 – Distribuição ótima dos Pontos Fotogramétricos (Fonte: Adaptado de ISAT Help, 2021).

2.4 Triangulação Aérea

Desenvolvida em 1950, a triangulação aérea é um método fotogramétrico de posicionamento que determina os parâmetros de orientação relativa e absoluta dos modelos estereoscópicos, bem como as coordenadas tridimensionais de pontos. Este método é essencial para orientar a cobertura aerofotográfica e calcular as coordenadas de pontos discretos a partir de pontos fotogramétricos com coordenadas conhecidas. O principal objetivo da triangulação aérea é reduzir o trabalho manual e, consequentemente, diminuir os custos associados à orientação dos modelos estereoscópicos, ao densificar a rede de pontos. Em alguns modelos estereoscópicos, as coordenadas do terreno são conhecidas, enquanto na maioria dos casos, essas coordenadas são calculadas (Berberan, 2003).

A triangulação aérea baseia-se em algoritmos matemáticos e estatísticos que, a partir da geometria das fotografias, permite calcular coordenadas dos pontos de apoio em todas as fotografias e as orientações espaciais das fotografias ou modelos estereoscópicos de um bloco, utilizando apenas alguns pontos fotogramétricos (Redweik, 2007).

2.4.1 Orientações Fotogramétricas

A orientação fotogramétrica determina a posição e atitude (angular) de uma câmara, fotografia ou par estereoscópico, relativamente a um sistema de coordenadas externo (Gonçalves, 2005).

As orientações fotogramétricas relacionam o referencial da imagem com o objeto fotografado no terreno. Existem quatro operações de orientação: interna, relativa, absoluta e externa:

A orientação interna tem a finalidade de reconstruir o feixe perspetivo que deu origem à fotografia. Nas câmaras aéreas digitais esta orientação é dada pela calibração da câmara, cujos parâmetros de orientação são determinados em laboratório e disponibilizados através do certificado de calibração da câmara. Estes parâmetros da orientação interna são a distância focal e o ponto principal, isto é, o ponto de origem das coordenadas (x, y) da fotografia.

A orientação relativa é a operação que determina a posição relativa da câmara no instante em que foram obtidas as fotografias. As fotografias vão formar um par estereoscópico, mas com um sistema de coordenadas tridimensional arbitrário. Este sistema de coordenadas denomina-se por coordenadas modelo.

A orientação absoluta estabelece a relação entre o sistema de coordenadas do modelo e o sistema de coordenadas cartográfico, definindo a posição e a escala do par estereoscópico em relação ao sistema de coordenadas global. Isso permite a integração precisa das imagens aéreas com dados geoespaciais e é essencial para garantir que as imagens obtidas sejam corretamente posicionadas e escaladas dentro do sistema cartográfico utilizado.

A orientação externa de uma fotografia são seis parâmetros que definem a posição e orientação do centro da fotografia no momento do disparo. Estes parâmetros são; (i) as coordenadas (X, Y, Z); (ii) os ângulos de rotação da aeronave medidos em graus (ω, ϕ, κ), sendo ω a rotação no eixo do X, ϕ a rotação no eixo do Y e κ a rotação no eixo do Z. Na Figura 2.9 estão representados os parâmetros.

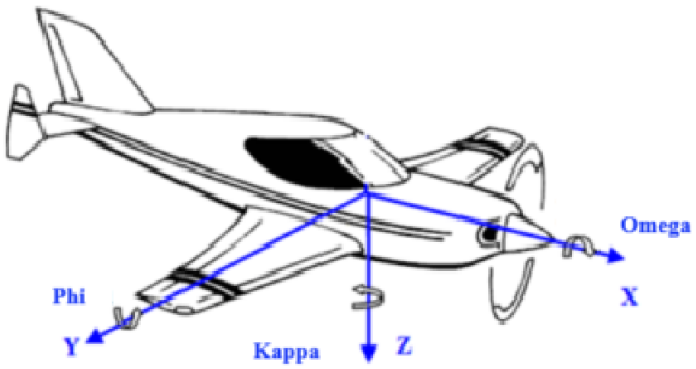


Figura 2.9 – Ângulos de rotação ω, ϕ, Κ (Fonte: Adaptado de ISAT Help, 2021).

A introdução do sistema *GNSS/IMU, Global Navigation Satellite System/Inertial Measurement Unit,* permitiu uma melhoria na qualidade dos resultados em termos de precisão e uma redução substancial dos custos inerentes ao apoio topográfico em comparação com as técnicas clássicas de georreferenciação da fotografia aérea, com necessidade de um grande número de pontos fotogramétricos para a orientação das fotografias.

O sistema *GNSS/IMU* está integrado na câmara aérea digital permitindo registar continuamente as posições geográficas absolutas (X, Y, Z) e os três ângulos rotação da aeronave (ω, ϕ, Κ). Este sistema permite determinar com grande precisão a orientação externa das fotografias, isto é, o posicionamento do centro de projeção da câmara e a orientação do eixo ótico no momento do disparo.

A orientação externa é imprescindível para o ajuste do bloco por feixes perspetivos ou "*Bundle Adjustement*" do software *ImageStation Automatic Triangulation (ISAT®)* inserido na cadeia de produção da EDIA. O *"Bundle Adjustement"* ou método de ajustamento por feixes perspetivos, é realizado num único bloco. Este método utiliza o método dos mínimos quadrados para ajustar todas as fotografias simultaneamente de uma só vez, a partir das coordenadas dos pontos fotogramétricos e pontos automáticos e dos parâmetros da orientação externa (ISAT Help, 2021). A Figura 2.10 mostra o ajuste por feixes perspetivos.

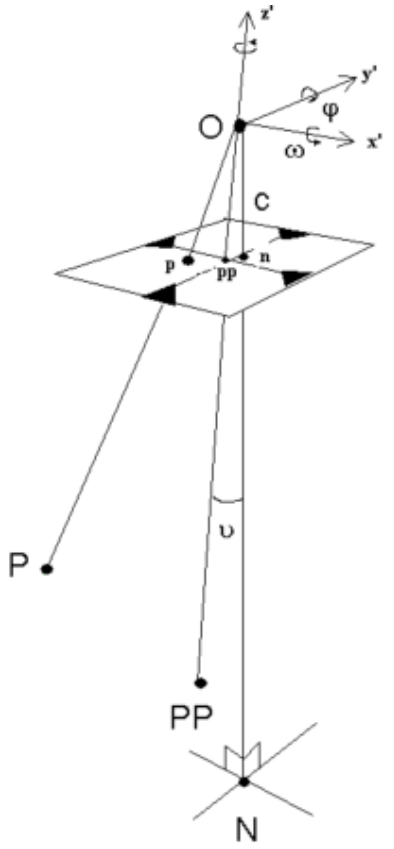


Figura 2.10 – Ajuste por feixes perspetivos *(Bundle Adjustment*) (Adaptado: ISAT Help, 2021).

2.5 Restituição Fotogramétrica

A restituição fotogramétrica é uma operação de desenho tridimensional realizada sobre modelos estereoscópicos tendo como objetivo a representação geométrica de características geográficas (Matos, 2007a).

O método da restituição fotogramétrica baseia-se na utilização simultânea de duas fotografias de um mesmo objeto (modelo estereoscópico), obtidas com centros de perspetiva diferentes, de forma que as direções dos eixos óticos da câmara nos dois posicionamentos sejam paralelas entre si (ou próximas a isso) e perpendiculares ao plano do objeto. É um dos métodos fotogramétricos mais utilizados, por apresentar elevada precisão e permitir o levantamento de qualquer tipo de objeto, sem restrições quanto à sua forma geométrica (Groetelaars & Amorim, 2004).

2.6 Modelo Digital de Superfície

O Modelo Digital de Superfície (MDS) é uma representação tridimensional numérica da superfície do terreno que inclui não apenas o terreno, mas também todos os elementos naturais ou artificiais (vegetação, rios, edifícios e pontes). Cada ponto definido sobre a superfície tem associado um valor correspondente à sua altitude (Matos, 2007b).

O MDS no CC é definido por uma estrutura *Triangulated Irregular Network (*TIN*)*, a qual constitui uma rede de triângulos irregulares representada por um conjunto de triângulos que ligam os pontos da superfície de forma contínua, isto é, cada vértice do triângulo é um ponto cotado da superfície.

2.7 Ortoretificação

De acordo com Casaca *et al*. (2005), a ortoretificação é o processo que transforma uma fotografia numa imagem designada por ortofotografia. As fotografias aéreas do terreno apresentam deformações geométricas causadas essencialmente por: i) a fotografia ser uma perspetiva central; ii) a atitude da plataforma que transporta a câmara; e iii) o relevo do terreno.

Uma fotografia não pode ser utilizada como uma carta topográfica, uma vez que não possui escala constante e representa uma vista em perspetiva do espaço-objeto. Ou seja, o topo e a base dos objetos são projetados para posições diferentes na fotografia. Este efeito é conhecido como deslocamento devido ao relevo (Gonçalves, 2024). A Figura 2.11 ilustra este efeito.

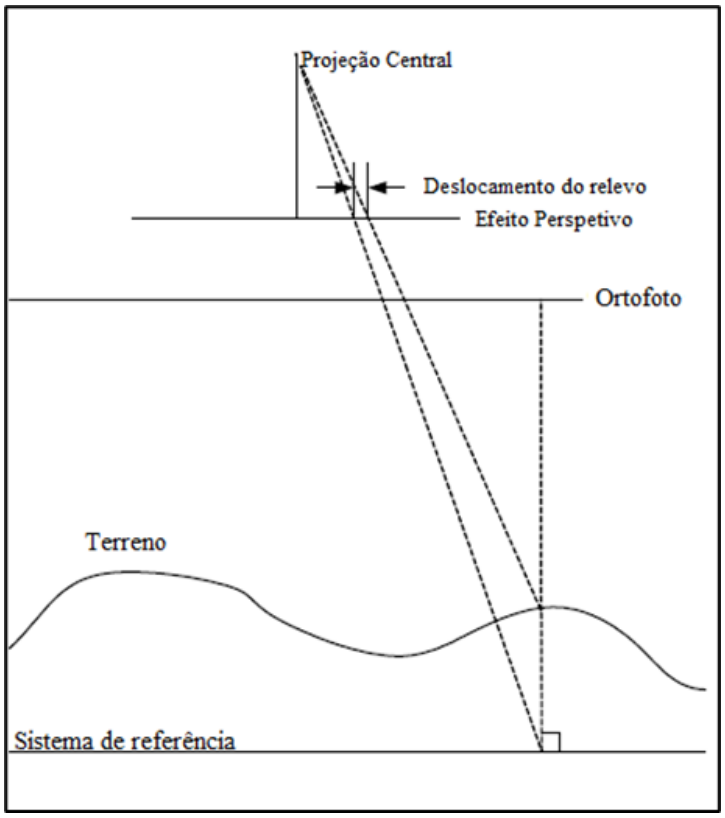


Figura 2.11 – Deslocamento devido ao relevo (Fonte: Adaptado de Berberan, 2003).

A ortoretificação ou retificação diferencial é o processo de correção geométrica aplicado às fotografias para eliminar as distorções causadas pela inclinação da câmara e pelo efeito do relevo. O objetivo da ortoretificação é transformar a fotografia (projeção central) que possui distorções, numa imagem orotoretificada (ortofotografia) onde todos os objetos estão representados na sua posição verdadeira no terreno, como se fossem vistos de cima, perpendicularmente à superfície terrestre (projeção ortogonal) (Graham & Koh, 2002).

A ortoretificação é o método mais utilizado na geração de ortofotografias, sendo necessário um MDS que represente com precisão o terreno e os objetos. Além disso são necessários os seis parâmetros da orientação externa da fotografia (x, y, z, ω, φ, κ) e a geometria interna da câmara (coordenadas do ponto principal e distância focal da câmara) (Gonçalves, 2024).

2.7.1 Geração do Mosaico

O mosaico é o processo de unir todas as imagens ortoretificadas numa única imagem de forma contínua e uniforme, de modo que a união entre as imagens não seja percetível.

As linhas de união, "*Seamlines",* definem as regiões onde as imagens ortorretificadas são unidas. A geração pode ser feita automática ou manualmente (ISOP, 2021). A Figura 2.12 apresenta um exemplo de "*Seamlines".*

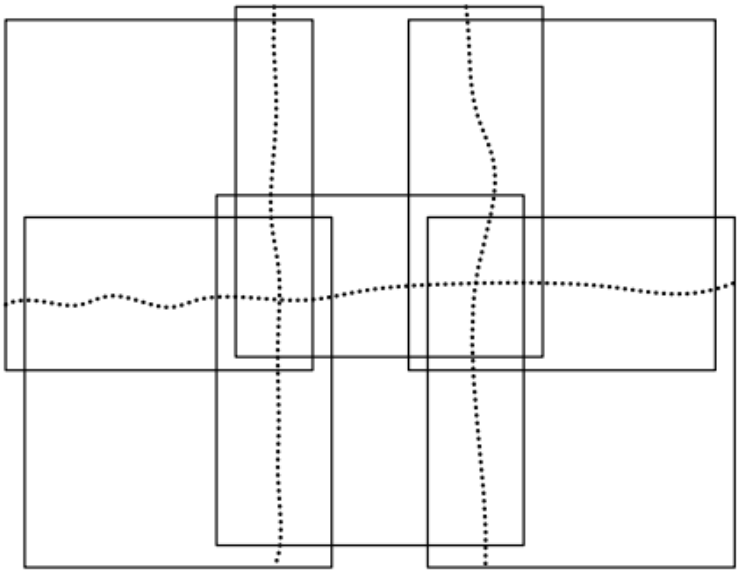


Figura 2.12 – Linhas de união *"Seamlines"* (Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2024).

2.8 Exatidão Posicional Absoluta

A exatidão posicional absoluta das ortofotografias é o valor de concordância entre as coordenadas de um ponto obtidas na ortofotografia e as correspondentes no terreno. Este valor de concordância é obtido pelo Erro Médio Quadrático (EMQ) (DGT, 2013).

Na produção de ortofotografias o objetivo é produzir uma imagem que seja uma representação precisa do terreno, sem distorções que comprometam a localização geográfica dos objetos. No entanto, devido a fatores como erros na triangulação aérea ou no MDS as coordenadas dos objetos na ortofotografia não coincidem exatamente com as coordenadas dos pontos de verificação no terreno, a aplicação do EMQ permite avaliar esta diferença (Tsarovski, 2015)

O EMQ é uma medida estatística que avalia a qualidade das observações. É calculado a partir das diferenças entre os valores observados na ortofotografia e os valores de referência das coordenadas dos pontos de verificação. Essas diferenças que representam os erros ou resíduos, são obtidas pela Equação 1:

$$EMQ_{MP} = \sqrt{\frac{\Sigma_{i=1}^{n}((M_{iT}-M_{iO})^2+(P_{iT}-P_{iO})^2)}{n}} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Em que *MP* são as coordenadas retangulares (*M* a distância à meridiana e *P* a distância à perpendicular), *n:* número de pontos da amostra, ($M_{iT,}$ P_{iT}) as coordenadas planimétricas obtidas no levantamento fotogramétrico e ($M_{iO,}$ P_{iO}) as coordenadas planimétricas medidas na ortofotografia.

Os valores obtidos serão comparados com os valores de referência para o NdD2 (nível de detalhe 2) à escala 1:5000 da DGT publicado nas "Normas e Especificações Técnicas para a Cartografia Topográfica Vetorial e de Imagem V2.0.1". Estas normas determinam que o EMQ dos pormenores topográficos ao nível do terreno ou em estruturas elevadas ortorretificadas devem assumir valores iguais ou melhores 0.75 m para a exatidão posicional planimétrica e 90% dos pontos avaliados devem assumir valores iguais ou melhores que 1.25 m (DGT, 2024). O EMQ é apresentado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Exatidão posicional absoluta das ortofotografias (Fonte: Adaptado de DGT, 2024).

Resolução e Tolerância	NdD1 (1:1.000)	NdD1 (1:2.000)	NdD2 (1:5.000)	NdD2 (1:10.000)
Resolução espacial (m)	0,05	0,10	0,25	0,5
O EMQ dos pormenores topográficos ao nível do terreno ou em estruturas elevadas ortorretificadas deve assumir valores iguais ou superiores a:				
Exatidão posicional planimétrica (m)	0,18	0,3	0,75	1,50
90% dos pontos avaliados devem assumir valores iguais ou superiores a:				
Planimetria (m)	0,27	0,45	1,25	2,30

De acordo ainda com as normas da DGT, os objetos a serem verificados deverão ser coordenados no terreno através de metodologias de posicionamento rigorosas, por métodos diretos como o levantamento fotogramétrico de pontos de controlo efetuado por *Global Navigation Satellite System* (GNSS).

Segundo Henriques *et al*, (2015) são apresentadas duas metodologias de análise para o controlo da qualidade de um ortomosaico e de um MDS de uma zona central de Coimbra. A primeira abordagem, mais comum, fundamenta-se na análise do EMQ, enquanto a segunda, mais complexa, envolve métodos de inferência estatística. O controlo da qualidade pode ser efetuado por aplicação de testes à exatidão e à precisão de dados. Esses dados são as diferenças (desvios) entre as coordenadas GNSS e as coordenadas do ortomosaico dos pontos de controlo.

3. Material e Métodos

Neste capítulo é descrita a metodologia que será seguida nas etapas de execução, que levarão ao resultado final do projeto.

3.1 Área de estudo

A área de estudo, em detalhe na Figura 3.1, situa-se no concelho de Beja, distrito de Beja, no sul de Portugal com uma extensão de 15.000 ha, equivalente a seis ortofotografias, à escala 1:5.000 com resolução espacial de 0,25 m.

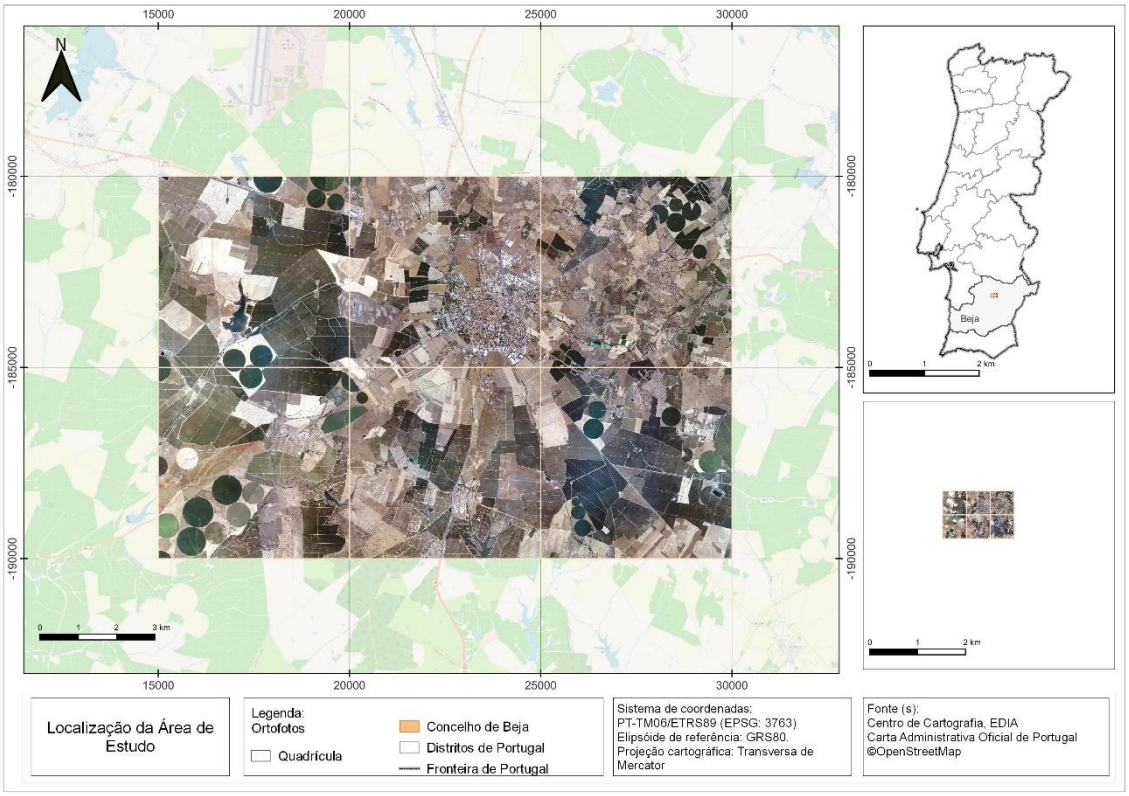


Figura 3.1 – Localização da área de estudo (Fonte: Autor).

A seleção desta área foi motivada pela sua diversidade máxima de ocupação do solo, que inclui a cidade de Beja, com edificações tanto antigas quanto recentes, além de terrenos agrícolas de sequeiro e regadio. O relevo ondulado, com uma altitude média de 200 m, também contribuiu para a escolha, proporcionando uma variação significativa nas características geográficas da região.

3.2 Metodologia

Na primeira fase do trabalho são produzidas as ortofotografias da área de estudo. A produção de ortofotografias do ano de 2022 é constituída por uma sequência de quatro processos fotogramétricos:

1- Aquisição das imagens aéreas
2- Apoio fotogramétrico;
3- Triangulação Aérea;
4- Restituição Fotogramétrica
5- Modelo Digital de Superfície;
6- Ortoretificação

Na Figura 3.2 é apresentado o fluxo de produção de informação geoespacial do CC.

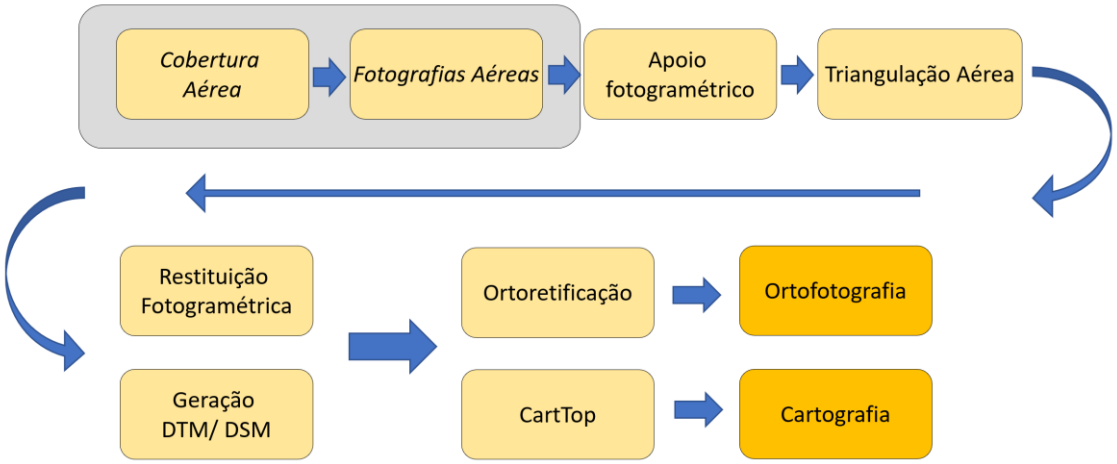


Figura 3.2 – Fluxo de produção de ortofotografias digitais (Fonte: Adaptado, CC 2023).

Toda a cadeia de produção do CC é realizada através do *software* geoespacial da *Hexagon*® com os seguintes produtos:

- Triangulação Aérea – *ImageStation Automatic Triangulation* (ISAT®)
- Restituição Fotogramétrica – *ImageStation Stereo for Geomedia* (ISSG®)
- Modelo Digital de Superfície – *ImageStation Automatic Elevation* (ISAE®)
- Ortoretificação – *ImageStation OrthoPro* (ISOP®)
- ISSG – *ImageStation Stereo for Geomedia* (ISSG®)
- Geomedia Professional® – Sistema de Informação Geográfica

As três estações fotogramétricas digitais existentes no CC utilizam o sistema "*3D PluraView"*. Este sistema permite a visualização tridimensional (3D) e a execução de todos os processos fotogramétricos. A Figura 3.3 mostra a estação fotogramétrica do CC.

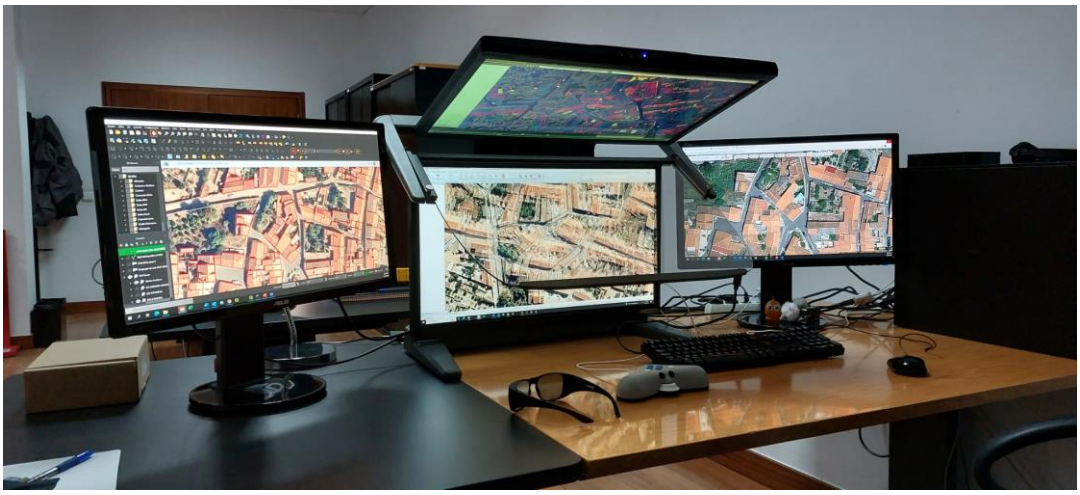


Figura 3.3 – Estação fotogramétrica (Fonte: CC).

A segunda fase do trabalho corresponde à análise estatística da qualidade posicional planimétrica das ortofotografias com base na determinação do EMQ. Nesta análise de exatidão dos dados, serão determinados os desvios entre as coordenadas dos pontos de controlo e as coordenadas dos pontos homólogos coordenados no terreno por GNSS. Os valores obtidos serão comparados com o valor de referência da DGT publicadas nas "Normas e Especificações Técnicas para a Cartografia Topográfica Vetorial e de Imagem".

3.3 Informação de Base

Como já foi referido a produção de ortofotografias envolve diversos processos fotogramétricos essenciais para a obtenção de informação geoespacial fiável e de qualidade.

A informação de base necessária para a produção das ortofotografias de 2022 está identificada na Tabela 3.1 de acordo com o tipo de informação e a fonte de aquisição.

Tabela 3.1 – Informação de base (Fonte: Autor).

Informação de Base	Fonte
Caderno de Encargos	Centro de Cartografia
RTCAP	Direção-Geral do Território
CartTopV2.0.1(Normas e Especificações Técnicas)	Direção-Geral do Território
Relatórios de voo	Munícipia S.A.
Orientação externa das fotografias	Munícipia S.A.
Fotografias digitais	Munícipia S.A.
Pontos Fotogramétricos	Centro de Cartografia
Pontos Controlo	Centro de Cartografia
Quadrícula referente à área a retificar	Centro de Cartografia

Neste projeto foram utilizados dois sistemas de coordenadas, um planimétrico e outro altimétrico.

O sistema de coordenadas planimétrico é o sistema global de referência PT-TM06/ERTS89. Este sistema é definido pelo elipsoide de referência GRS80 e pela projeção Transversa de Mercator com origem das coordenadas no ponto com latitude 39º 40' 05",73 N e longitude 08º 07' 59",19 W.

O sistema de referência vertical foi o sistema Cascais Helmert 1938 sendo o marégrafo de Cascais a referência altimétrica para Portugal Continental.

3.4 Cobertura Aerofotográfica

A cobertura aerofotográfica foi executada pela empresa Município, E.M., S.A., cobrindo uma área de 1.410.000 ha com 85 fiadas e 13.765 fotografias num total de 702 ortofotografias, resolução espacial *Ground Sample Distance* (GSD) de 0,25 m com quatro bandas espetrais, visível e infravermelho próximo (RGB+NIR). Na Figura 3.4 é apresentada uma vista geral da cobertura aérea de 2022.

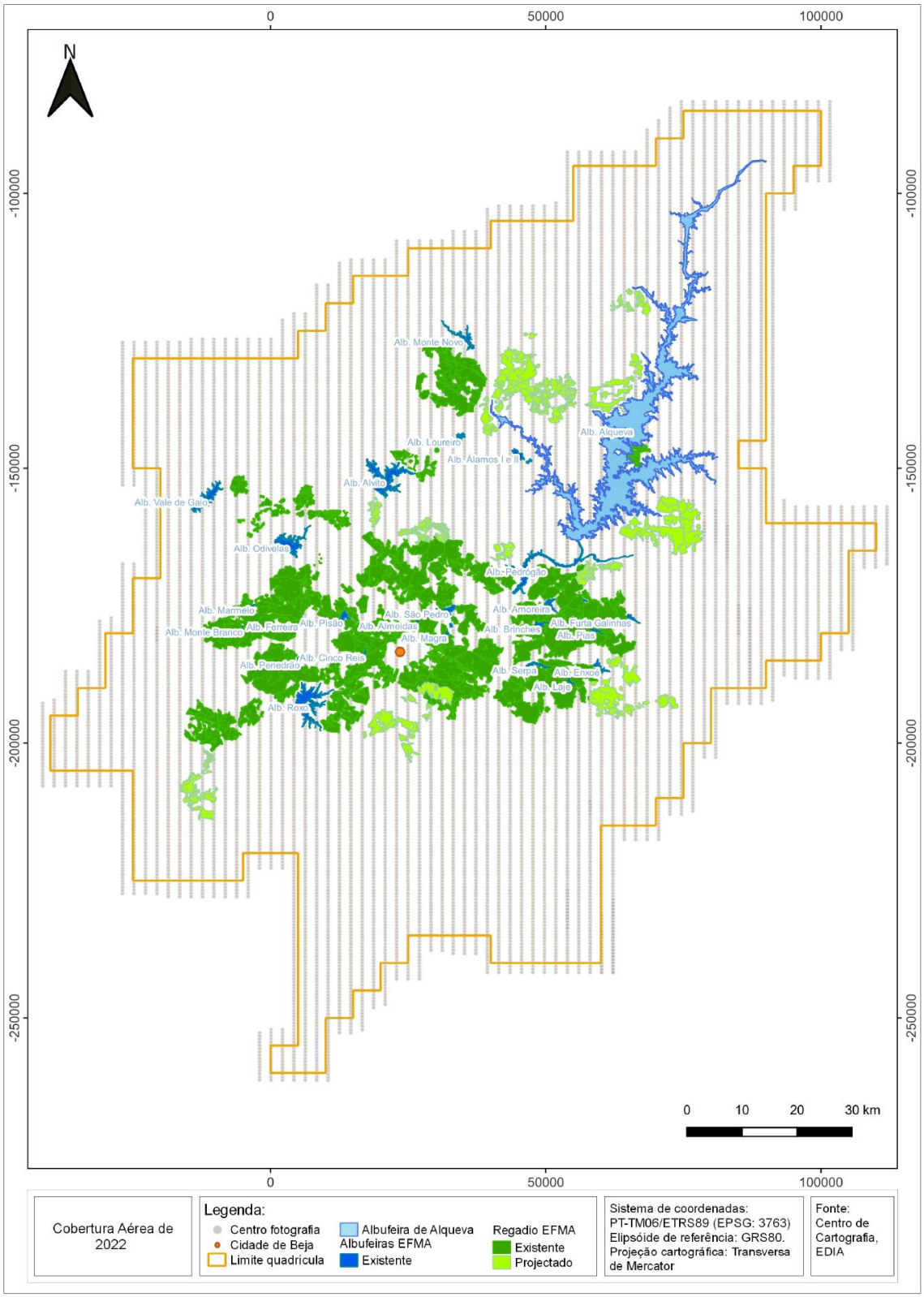


Figura 3.4 – Cobertura aérea de 2022 (Fonte: Adaptado de CC).

A cobertura aérea da área de estudo foi realizada nos dias 9 e 10 de julho de 2022.

A área em questão abrange nove fiadas, numeradas de 033 à 041, e inclui 198 fotografias. Está inserida num bloco maior composto por 2.258 fotografias distribuídas ao longo de 43 fiadas, conforme apresentado na Figura 3.5. A altura média do voo foi de 2.680 m, com uma sobreposição longitudinal de 60% e lateral de 30%, sendo a direção das fiadas norte-sul.

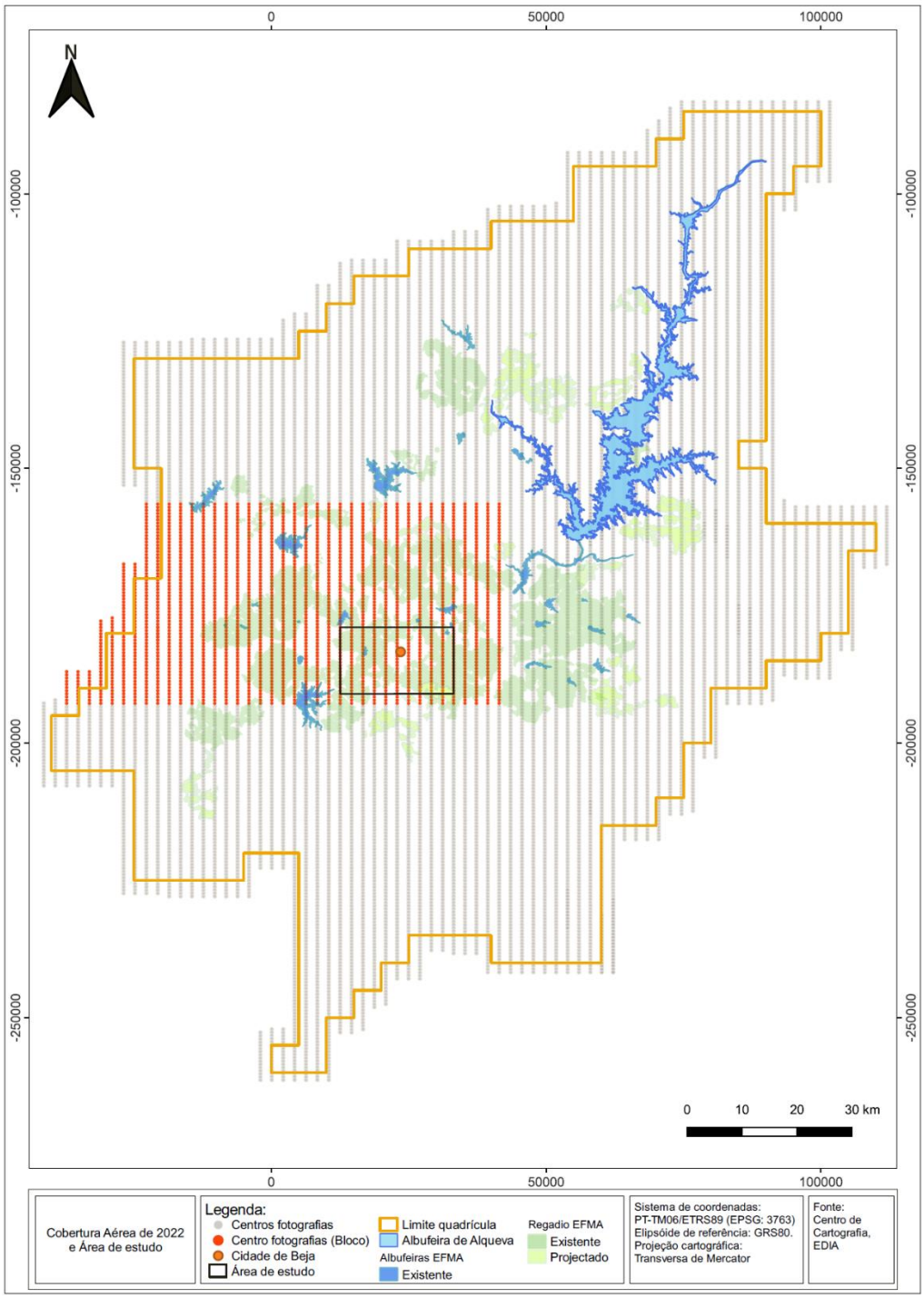


Figura 3.5 – Cobertura Aérea de 2022 e Área de estudo (Fonte: Adaptado de CC).

O sistema aerofotogramétrico do avião utlizado é composto pela câmara aérea e pelo sistema inercial IMU com GPS/GNSS integrado (Figura 3.6).

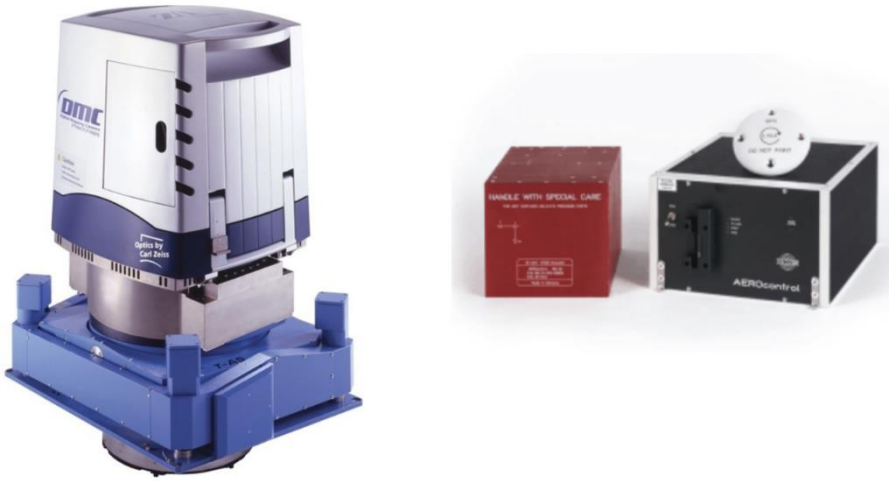


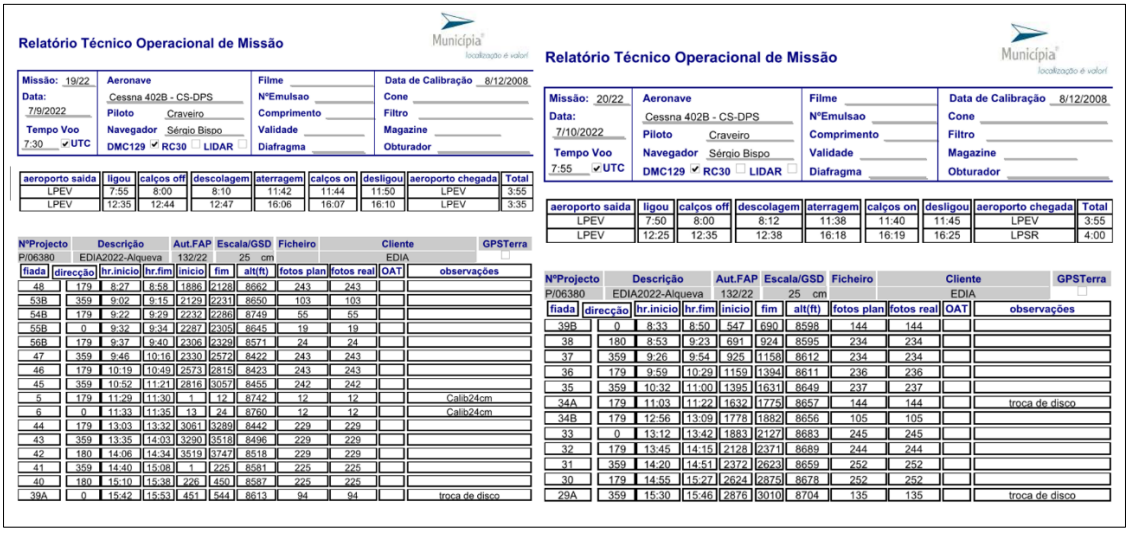
Figura 3.6 – Sistema Aerofotogramétrico do avião (Fonte: Municípia, 2022).

A câmara aerofotogramétrica digital utilizada foi a DMC01-0129 com uma lente de distância focal 120 mm, tamanho de fotografia 7.680 x 13.824 pixels, dimensão do pixel de 12 µm, com bandas espectrais nas componentes vermelho, verde, azul (RGB) e infravermelho próximo (NIR) e resolução radiométrica de 12 bits.

O sistema inercial é constituído por dois módulos, o primeiro, a unidade inercial propriamente dita que se encontra acoplada à câmara aérea. Este módulo contém um conjunto de giroscópios e acelerómetros que permitem realizar as leituras angulares, velocidades e acelerações gravitacionais da plataforma onde se encontra acoplado. O segundo módulo é o Aerocontrol, um *Central Processing Unit* (CPU) que regista as leituras da unidade inercial e do GNSS. O GNSS é um equipamento de dupla frequência onde a antena está montada na parte superior da fuselagem do avião e centrada com o IMU instalado no interior do sistema aerofotogramétrico do avião (Municípia, 2022).

No CC é verificado se foi cumprido o estabelecido no Caderno de Encargos da EDIA e no Regulamento Técnico das Coberturas Aerofotográficas para Fins Civis (RTCAP) versão 2014 da DGT. Esta verificação tem especial atenção às nuvens e fumos pois a sua presença não permite a observação do terreno, à hora do dia e condições meteorológicas, devido às sombras.

À EDIA são entregues os relatórios de voo (Figura 3.7), relatórios técnicos detalhados sobre a calibração da câmara e da aeronave, parâmetros da orientação externa e as fotografias.



Relatório Técnico Operacional de Missão

Missão: 19/22	Aeronave	Filme	Data de Calibração 8/12/2008
Data: 7/9/2022	Cessna 402B - CS-DPS	NºEmulsao	Cone
Tempo Voo 7:30 UTC	Piloto Craveiro	Comprimento	Filtro
	Navegador Sérgio Bispo	Validade	Magazine
	DMC129 RC30 LIDAR	Diafragma	Obturador

aeroporto saida	ligou	calços off	descolagem	aterragem	calços on	desligou	aeroporto chegada	Total
LPEV	7:55	8:00	8:10	11:42	11:44	11:50	LPEV	3:55
LPEV	12:35	12:44	12:47	16:06	16:07	16:10	LPEV	3:35

NºProjecto	Descrição	Aut.FAP	Escala/GSD	Ficheiro	Cliente	GPSTerra
P/06380	EDIA2022-Alqueva	132/22	25 cm		EDIA	

fiada	direcção	hr.inicio	hr.fim	inicio	fim	alt(ft)	fotos plan	fotos real	OAT	observações
48	179	8:27	8:58	1886	2128	8662	243	243		
53B	359	9:02	9:15	2129	2231	8650	103	103		
54B	179	9:22	9:29	2232	2286	8749	55	55		
55B	0	9:32	9:34	2287	2305	8645	19	19		
56B	179	9:37	9:40	2306	2329	8571	24	24		
47	359	9:46	10:16	2330	2572	8422	243	243		
46	179	10:19	10:49	2573	2815	8423	243	243		
45	359	10:52	11:21	2816	3057	8455	242	242		
5	179	11:29	11:30	1	12	8742	12	12		Calib24cm
6	0	11:33	11:35	13	24	8760	12	12		Calib24cm
44	179	13:03	13:32	3051	3289	8442	229	229		
43	359	13:35	14:03	3290	3518	8496	229	229		
42	180	14:06	14:34	3519	3747	8518	229	229		
41	359	14:40	15:08	1	225	8581	225	225		
40	180	15:10	15:38	226	450	8587	225	225		
39A	0	15:42	15:53	451	544	8613	94	94		troca de disco

Relatório Técnico Operacional de Missão

Missão: 20/22	Aeronave	Filme	Data de Calibração 8/12/2008
Data: 7/10/2022	Cessna 402B - CS-DPS	NºEmulsao	Cone
Tempo Voo 7:55 UTC	Piloto Craveiro	Comprimento	Filtro
	Navegador Sérgio Bispo	Validade	Magazine
	DMC129 RC30 LIDAR	Diafragma	Obturador

aeroporto saida	ligou	calços off	descolagem	aterragem	calços on	desligou	aeroporto chegada	Total
LPEV	7:50	8:00	8:12	11:38	11:40	11:45	LPEV	3:55
LPEV	12:25	12:35	12:38	16:18	16:19	16:25	LPSR	4:00

NºProjecto	Descrição	Aut.FAP	Escala/GSD	Ficheiro	Cliente	GPSTerra
P/06380	EDIA2022-Alqueva	132/22	25 cm		EDIA	

fiada	direcção	hr.inicio	hr.fim	inicio	fim	alt(ft)	fotos plan	fotos real	OAT	observações
39B	0	8:33	8:50	547	690	8598	144	144		
38	180	8:53	9:23	691	924	8595	234	234		
37	359	9:26	9:54	925	1158	8612	234	234		
36	179	9:59	10:29	1159	1394	8611	236	236		
35	359	10:32	11:00	1395	1631	8649	237	237		
34A	179	11:03	11:22	1632	1775	8657	144	144		troca de disco
34B	179	12:56	13:09	1778	1882	8656	105	105		
33	0	13:12	13:42	1883	2127	8683	245	245		
32	179	13:45	14:15	2128	2371	8689	244	244		
31	359	14:20	14:51	2372	2623	8659	252	252		
30	179	14:55	15:27	2624	2875	8678	252	252		
29A	359	15:30	15:46	2876	3010	8704	135	135		troca de disco

Figura 3.7 – Relatórios de voo da área de estudo dos dias 9 e 10 de julho de 2022 (Fonte: EDIA, 2022).

3.5 Apoio Fotogramétrico

O apoio fotogramétrico é realizado de forma contínua desde 2004, data em que a EDIA começou a realizar de forma regular coberturas aéreas. No CC existem centenas de pontos fotogramétricos que se vão atualizando à medida que as áreas das coberturas têm aumentado.

Para a cobertura de 2022 foram executados 105 pontos fotogramétricos na nova área abrangida pela cobertura, distribuídos pelos distritos de Portalegre, Évora, Setúbal e Faro e também na área de fronteira espanhola Badajoz, Olivença e Albufeira do Chanza. Os pontos fotogramétricos do ano 2022 podem ser observados na Figura 3.8.

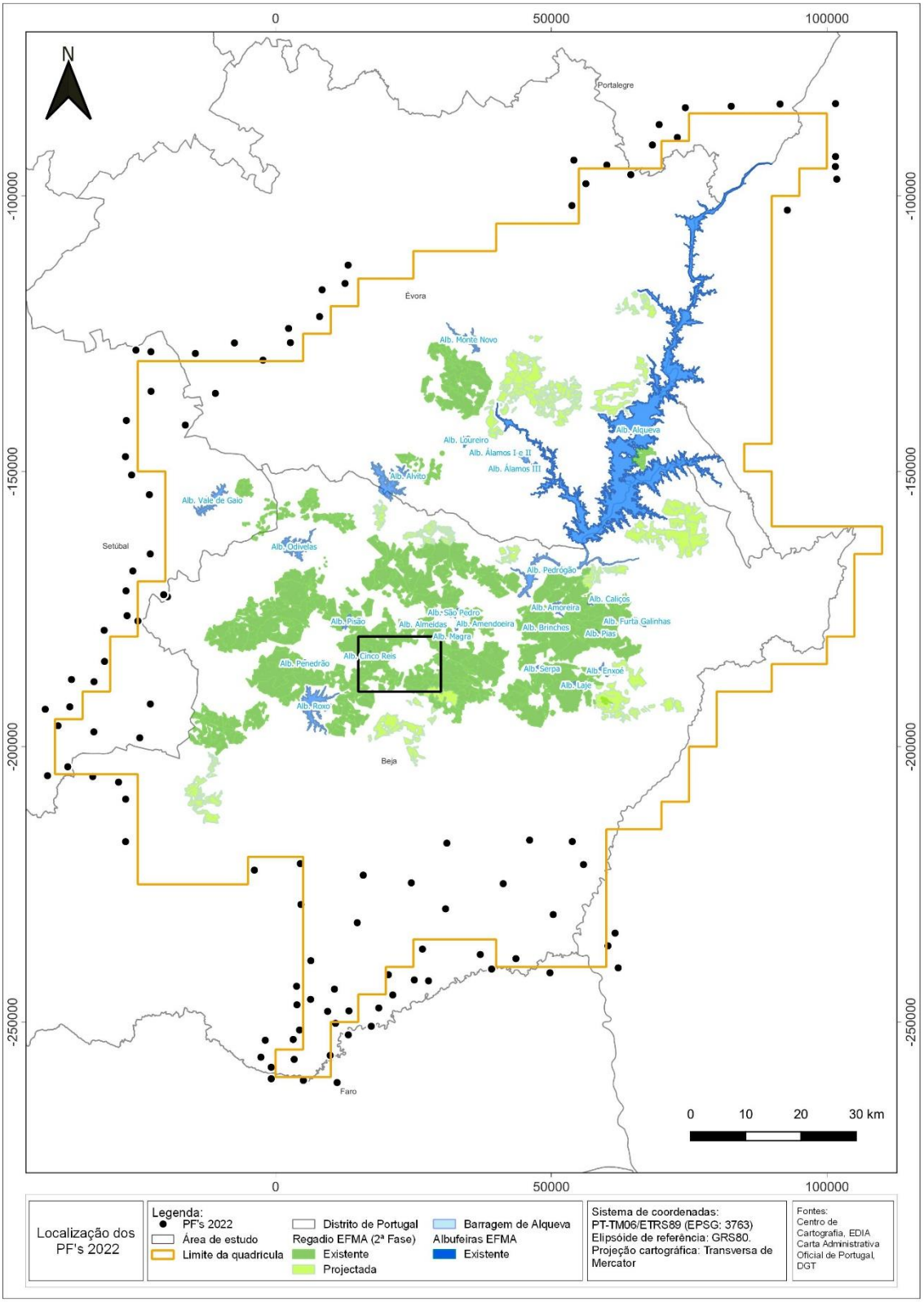


Figura 3.8 – Pontos fotogramétricos do ano 2022 (Fonte: Autor).

Os pontos fotogramétricos são recolhidos no terreno idealmente sobre pormenores artificiais facilmente identificáveis nas fotografias e de caráter permanente, por exemplo, caixas de esgoto, cantos de muros e de habitações. Para este projeto, foi necessário

coordenar 17 pontos de controlo adicionais, além dos 14 pontos fotogramétricos já existentes na área de estudo, para garantir uma cobertura adequada e viabilizar uma análise estatística precisa e rigorosa. A aquisição das coordenadas dos pontos fotogramétricos e de controlo é realizada pela equipa de topografia, com um recetor do GPS *Leica GS18*, ligado à *SmartNet* da *HexagonAB*®. A *SmartNet* é uma rede de estações de referência que recebem sinais contínuos de satélites GNSS que são enviados para o centro de controlo onde os dados em RTK (posicionamento em tempo real) são gerados. Este serviço apresenta uma precisão horizontal de 2,5 cm e vertical de 5 cm. A estação *SmartNet* utilizada foi a *"*FALE*",* situada no reservatório de Ferreira do Alentejo. Na Figura 3.9 é apresentada a estação de referência.

Figura 3.9 – Estação de referência *SmartNet* "FALE" (Fonte: CC).

Em gabinete, é preenchida a ficha detalhada de cada ponto, conforme ilustrado na Figura 3.10. Essa ficha inclui as características que descrevem o ponto: o nome do projeto, o número do Ponto fotogramétrico, a data, o sistema de coordenadas, as coordenadas M, P e Z e a fotografia do ponto coordenado.

EDIA

EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A.
Centro de Cartografia
Departamento Certificado de Acordo com a Norma ISO: 9001:2015
no âmbito da "Produção e fiscalização cartográfica, topografia e cadastro."

EDIA

Projeto – EFMA_2022
Ponto Fotogramétrico Nº – PF003-2022

Esboço:

Sentido do voo

FIADA N.º

FOTOGRAFIA N.º

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição:
Caixa de esgoto

COTA NO TERRENO	387.136
COTA NO PONTO	387.136

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: Sistema de coordenadas ETRS89

Coordenadas			
M (m)	**P (m)**	**Cota no Terreno (m)**	**Cota no Ponto (m)**
10872.193	-250248.694	387.136	387.136

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

FS_001_05

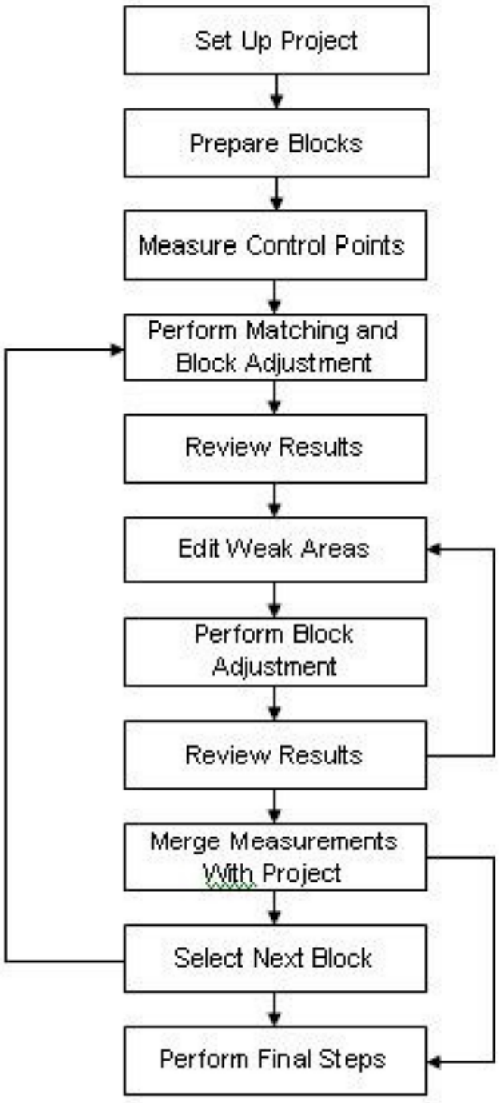
Operador: Nuno Monteiro Data: 8/12 /2022 Local: Monte das Cumeadas

Figura 3.10 – Ficha de Ponto Fotogramétrico (Fonte: CC, 2022).

3.6 Triangulação Aérea

O processo de triangulação aérea foi realizado no software *ImageStation Automatic Triangulation (ISAT®)* da *HexagonAB®* versão 16.7.0. Na Figura 3.11 pode ser consultado o fluxo de produção para executar a triangulação aérea. O fluxo de produção é essencialmente constituído por sete fases: criação do projeto; a preparação do bloco a triangular; medição 3D dos pontos fotogramétricos; submeter o bloco para processamento; analisar os resultados; medir as "*weak areas*" e por fim as verificações finais.

Figura 3.11 – Fluxo de Produção do ISAT® (Fonte: ISAT Help,



2021).

Devido à extensa área da cobertura aérea do ano de 2022, 1.410.000 ha, e consequentemente ao elevado número de fotografias e fiadas, 13.765 e 85, respetivamente, foi necessário dividir a cobertura em quatro blocos. O Bloco 3, onde se insere a área de estudo, é constituído por 2.258 fotografias, 9 fiadas e 2.219 modelos estereoscópicos.

3.6.1 Criação do Projeto Fotogramétrico

O projeto fotogramétrico inicia-se com a criação do projeto no ISAT®, exemplificado na Figura 3.12, onde se atribui o nome do projeto, a sua localização e o sistema de coordenadas.

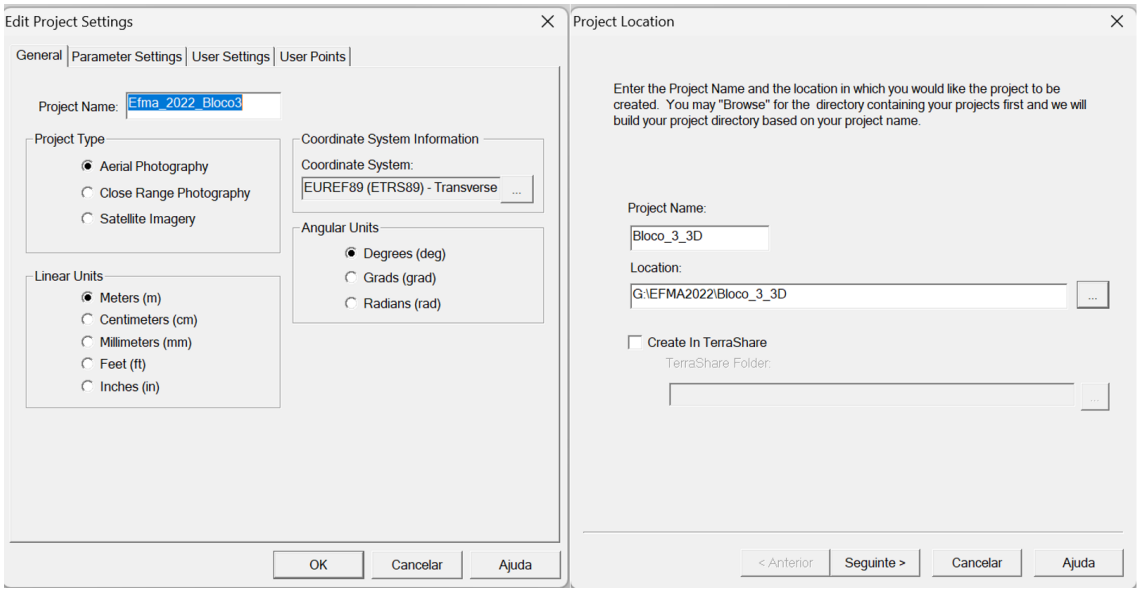


Figura 3.12 – Criação do Projeto ISAT® (Fonte: ISAT, 2021).

No separador seguinte "*Parameter Settings*", Figura 3.13 é introduzido a altura média de voo (2,680 m) e a elevação média do terreno (173 m). Estes valores são importantes para o cálculo automático dos pontos de passagem e ligação (ISAT, 2021).

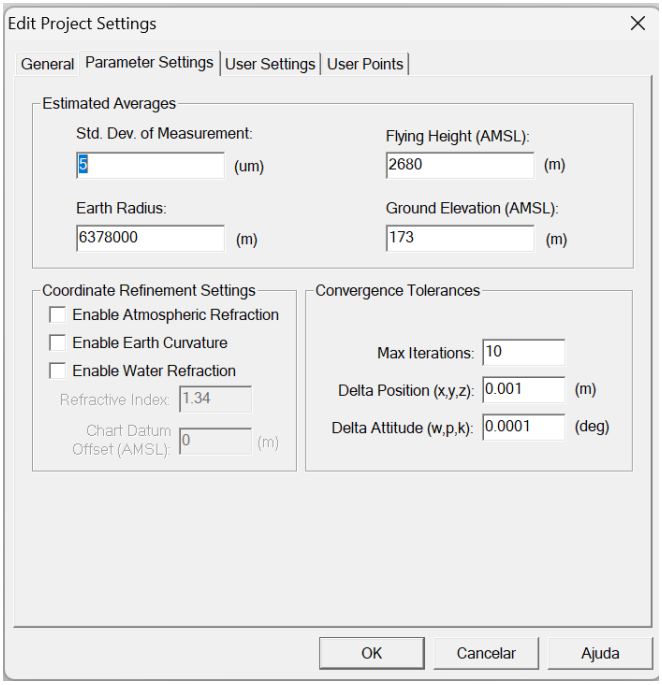


Figura 3.13 – Altura média de voo e elevação média do terreno (Fonte: ISAT, 2021).

É necessário indicar também o EMQ (em inglês *Root Mean Square*, RMS) e o resíduo máximo admissível. Estes valores são apenas indicadores e não influenciam o ajustamento do bloco. Na Figura 3.14 são apresentados os valores de RMS.

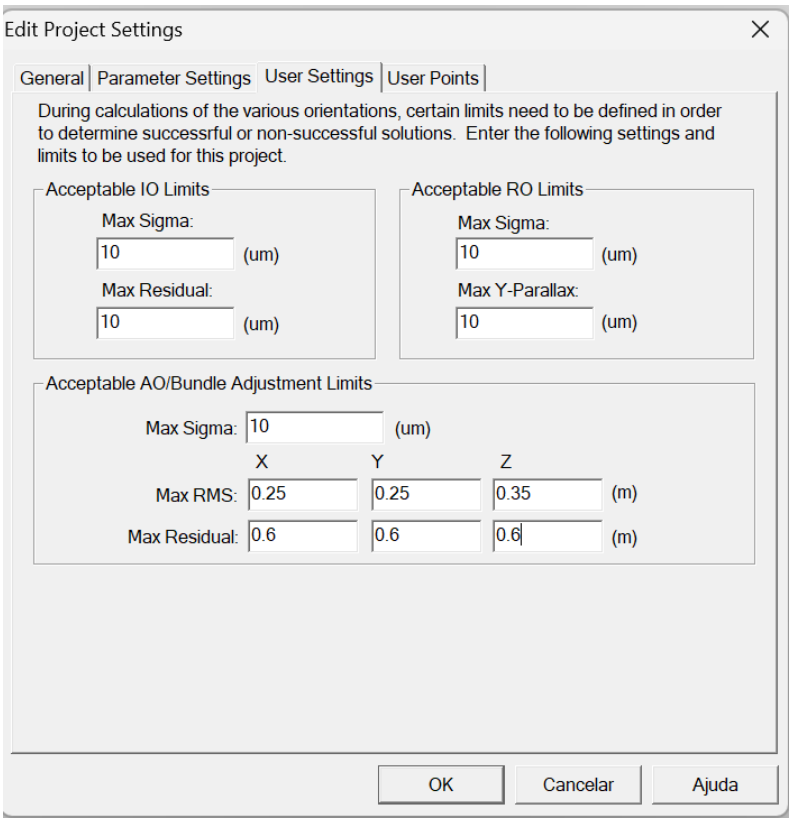


Figura 3.14– Valores do RMS e resíduo máximo admissível (Fonte: ISAT, 2021).

É necessário em seguida configurar a câmara utilizada no ISAT através do menu "*Edit Camara*" (Figura 3.15). Para isso deve ser conhecida com rigor a distância focal, a dimensão da fotografia (número de linhas e colunas), a sua orientação no momento da captura e o tamanho do pixel (orientação interna).

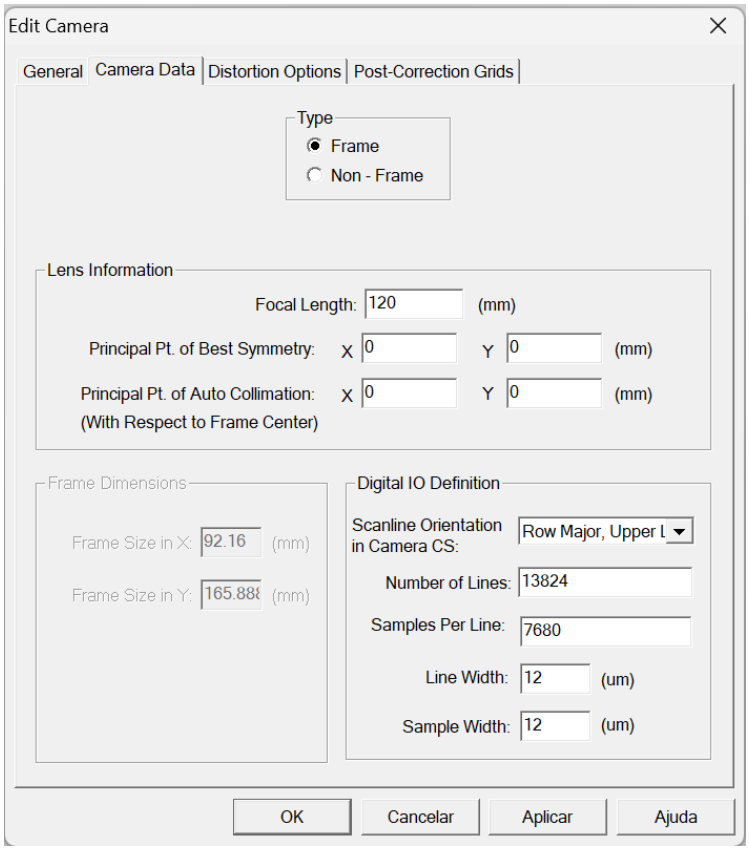


Figura 3.15 – Configuração da Câmara Aérea Digital (Fonte: ISAT, 2021).

Estes dados são fornecidos pela entidade responsável pelo voo, através do certificado de calibração da câmara, na Tabela 3.2 é apresentado um resumo do certificado.

Tabela 3.2 – Parâmetros da Câmara Aérea Digital DMC01-0129

Distância Focal (mm)	120
Dimensão Pixel (µm)	12
Ponto Principal (mm)	X=0,0 Y=0,0
Tamanho fotografia (Pixel)	13824 × 7680

Depois de definidas as características do projeto e os parâmetros da câmara é necessário importar a orientação externa. Este ficheiro contém as coordenadas (X, Y, Z) e os três ângulos rotação da aeronave (ω, ϕ, K) dos centros de projeções das 2.258 fotografias que fazem parte do Bloco 3 onde se insere a área de estudo. A Figura 3.16 mostra um exemplo da orientação externa da cobertura aérea.

```
Cliente: EDIA ,Projeto Alqueva gsd25cm M19AM
Sistema de Coordenadas: PT-TM06 ETRS89 Altitudes Elipsoidais
Fiada,Foto, Data   , Hora,Câmara,  M     ,    P      ,Alt.Orto,Omega ,  Phi  ,  Kappa ,Std M,Std P,StdAlt,StdOmg,StdPhi ,StdKappa
048,1886,09/07/2022,08:27,DMC129,45597.456,-102323.620,2677.644,0.6751,-0.6178,-89.6542,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0080
048,1887,09/07/2022,08:28,DMC129,45599.354,-102899.793,2684.091,0.4190,-0.2879,-89.6527,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0080
048,1888,09/07/2022,08:28,DMC129,45603.887,-103475.797,2691.032,0.3387,-0.6491,-89.8901,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0080
048,1889,09/07/2022,08:28,DMC129,45600.839,-104052.273,2685.689,0.3885,-0.3018,-89.6107,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0080
048,1890,09/07/2022,08:28,DMC129,45599.974,-104627.956,2683.863,0.3440,-0.4275,-89.8475,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0080
048,1891,09/07/2022,08:28,DMC129,45598.566,-105204.539,2688.277,0.3046,-0.2105,-89.8149,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0080
048,1892,09/07/2022,08:28,DMC129,45598.379,-105780.798,2684.596,0.3240,-0.2045,-89.7231,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0080
048,1893,09/07/2022,08:28,DMC129,45595.467,-106355.765,2682.319,0.2897,-0.3100,-89.9125,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0080
048,1894,09/07/2022,08:28,DMC129,45594.880,-106931.748,2689.455,0.1598,0.0729,-89.7674,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0090
048,1895,09/07/2022,08:29,DMC129,45595.759,-107509.087,2685.189,0.2508,-0.2660,-89.9034,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0090
048,1896,09/07/2022,08:29,DMC129,45602.075,-108083.538,2683.308,0.3186,0.2073,-89.9088,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0090
048,1897,09/07/2022,08:29,DMC129,45613.309,-108659.951,2686.443,0.0980,-0.2189,-89.8475,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0090
048,1898,09/07/2022,08:29,DMC129,45619.091,-109235.524,2680.643,0.0197,0.1114,-89.7157,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0090
048,1899,09/07/2022,08:29,DMC129,45612.149,-109812.715,2670.160,0.3704,-0.1059,-89.7066,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0090
048,1900,09/07/2022,08:29,DMC129,45612.955,-110388.031,2680.022,0.0051,0.0382,-89.9605,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0090
048,1901,09/07/2022,08:29,DMC129,45607.949,-110963.295,2677.410,0.1036,0.1769,-89.9109,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0090
048,1902,09/07/2022,08:29,DMC129,45601.513,-111540.027,2685.507,0.0262,0.0533,-89.8080,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0090
048,1903,09/07/2022,08:30,DMC129,45600.130,-112116.455,2685.592,-0.0105,0.0440,-89.7758,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0090
048,1904,09/07/2022,08:30,DMC129,45599.922,-112691.849,2681.441,0.1917,-0.0167,-89.8953,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0090
048,1905,09/07/2022,08:30,DMC129,45601.746,-113267.450,2688.946,0.0821,0.2238,-89.7807,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0090
048,1906,09/07/2022,08:30,DMC129,45603.291,-113843.322,2695.311,0.0699,0.1453,-89.9396,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0090
048,1907,09/07/2022,08:30,DMC129,45603.522,-114419.598,2702.594,-0.0155,0.0335,-89.8356,0.010,0.016,0.020,0.0030,0.0030,0.0100
```

Figura 3.16 – Orientação externa da cobertura aérea (Fonte: CC, 2022).

Em seguida, realiza-se a importação dos pontos fotogramétricos para a área do projeto fotogramétrico. Este ficheiro de texto, com as coordenadas X, Y e Z é fornecido pela equipa de topografia. Foram importados para o projeto fotogramétrico 46 pontos fotogramétricos. Na Tabela 3.3 encontra-se parte do ficheiro.

Tabela 3.3 – Pontos Fotogramétricos.

ID_PF	X (m)	Y (m)	Z (m)
PF029-2022	-37321,294	-192762,225	95,126
PF032-2022	-32934,029	-188204,132	79,784
PF035-2022	-31031,427	-184522,471	111,386
PF048_ALQ	57998,477	-159292,257	182,465
PF049-2022	-22717,781	-192253,080	71,050
PF056-2022	-25891,735	-168095,932	57,139
PF058-2022	-27128,667	-171704,584	29,374
PF060-2022	-22735,994	-165003,679	86,151
PF061-2022	-19599,869	-172783,596	23,518
PF062-2022	-20295,060	-172404,743	29,784

Depois de o projeto estar perfeitamente configurado e antes de iniciar a medição dos pontos fotogramétricos, é necessário criar o bloco de fotografias a orientar. O Bloco 3, constituído por 13 fiadas e 2.258 fotografias, foi criado através do menu "*Edit Block*" como apresentado na Figura 3.17.

Em projetos como este, onde o número de fotografias é extremamente elevado, as imagens são distribuídas por vários blocos para facilitar a gestão e processamento dos dados. Esta abordagem torna o processamento do ajustamento "*Bundle Adjustment*" mais rápido e facilita a deteção de eventuais erros, uma vez que blocos maiores tendem a gerar mais erros.

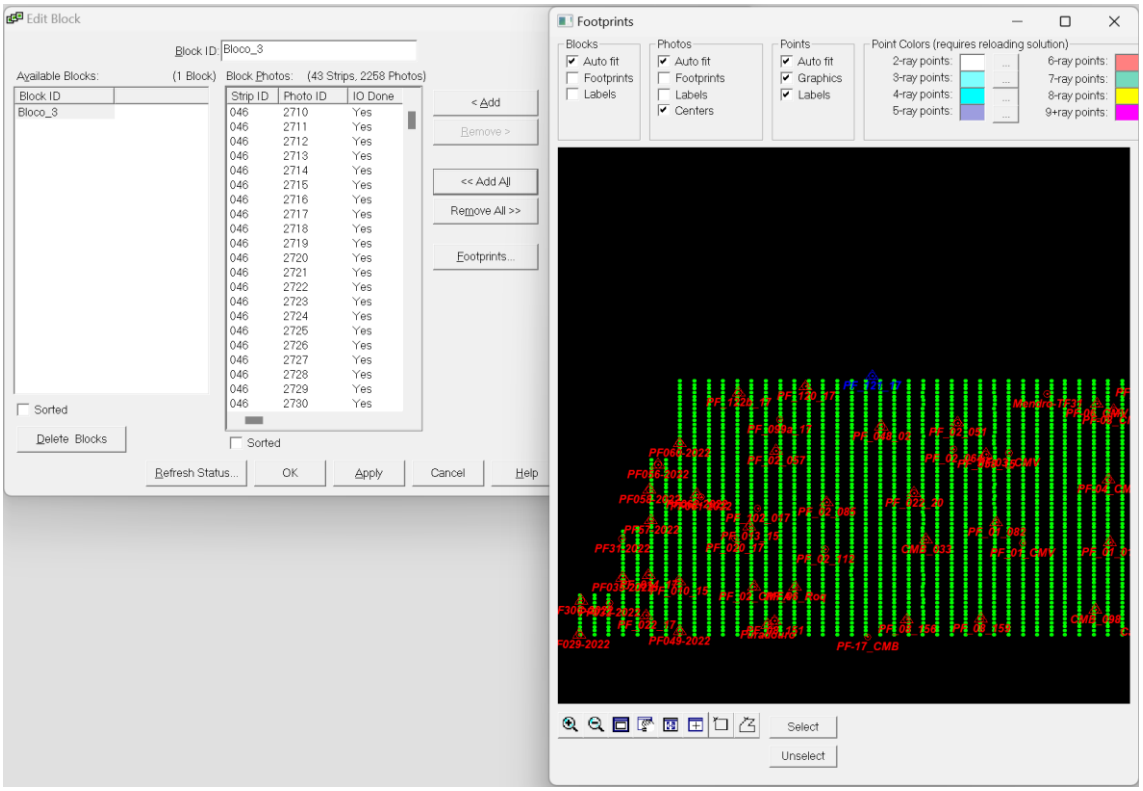


Figura 3.17 – Criação do bloco 3 (Fonte: ISAT, 2021).

Para garantir que todas estas informações introduzidas estão coerentes entre si, utiliza-se o *"footprint viewer"*. Este menu do *ISAT*® permite obter uma vista geral do projeto fotogramétrico, onde é fácil identificar fotografias ou pontos fotogramétricos deslocados das suas posições. Também permite uma vista mais detalhada, das fotografias e dos modelos estereoscópicos, a verde, e dos pontos fotogramétricos a vermelho (medido) e a azul (não medido). É possível ainda visualizar todas as características de cada fotografia, incluindo a sua localização, a câmara aérea utilizada, os parâmetros de orientação externa e a escala. Na Figura 3.18 é apresentada a vista detalhada do projeto fotogramétrico.

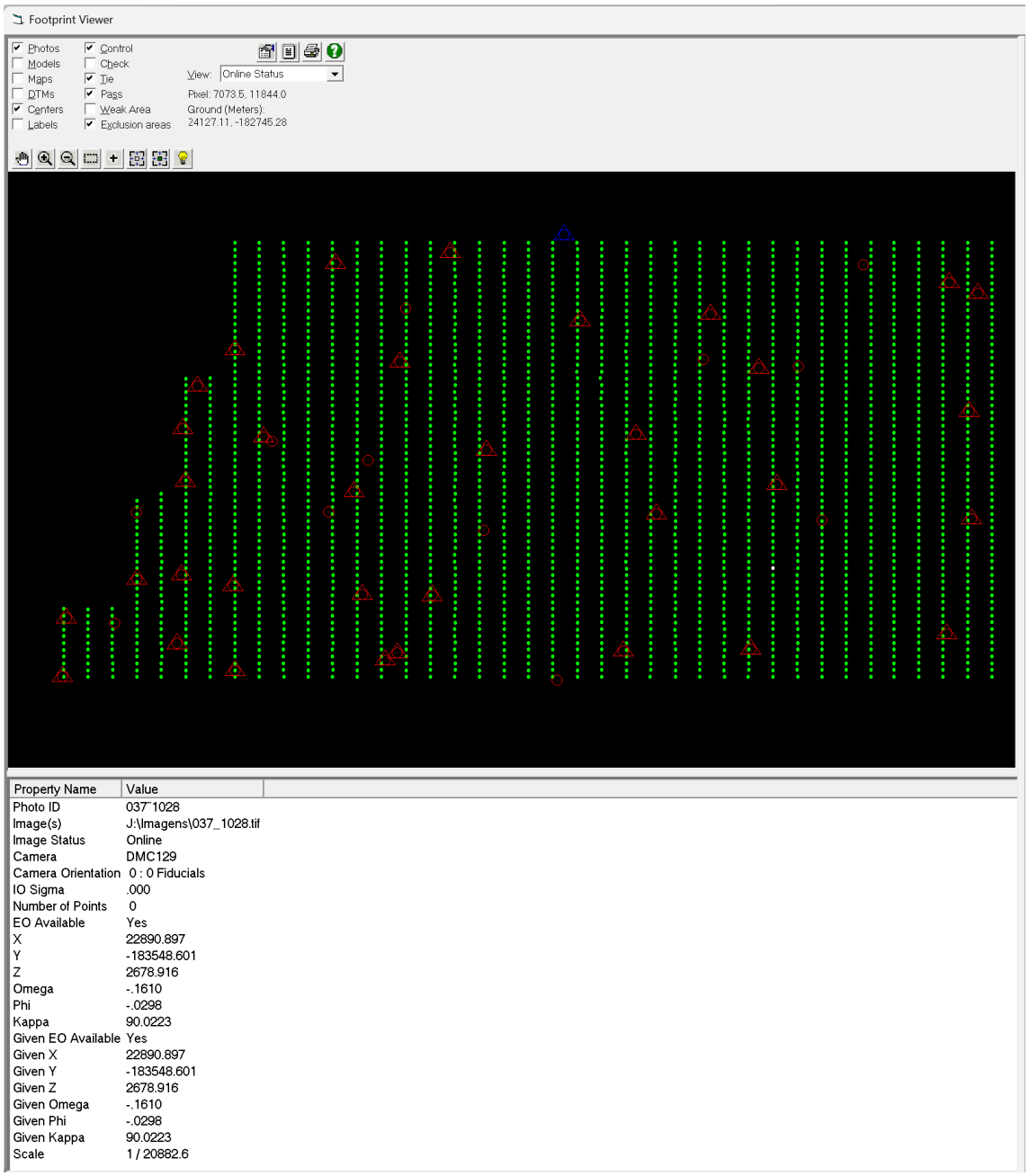


Figura 3.18 – Vista detalhada do projeto fotogramétrico (Fonte: ISAT, 2021).

3.6.2 Medição 3D dos Pontos Fotogramétricos

Com o projeto fotogramétrico perfeitamente configurado deu-se início à medição dos pontos fotogramétricos a 3D. Este processo é um processo interativo e repetitivo, o que o torna moroso. É necessário medir todos os pontos em todos os pares estereoscópicos onde estejam presentes. O mais frequente são medições do mesmo ponto em dois pares estereoscópicos, quer isto dizer que o ponto é identificado em três fotografias. Um exemplo desta situação é apresentado na Figura 3.19.

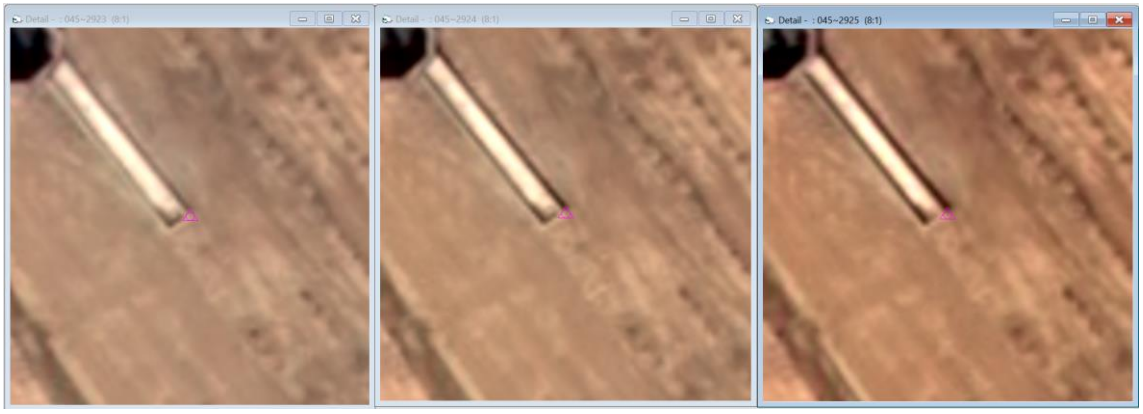


Figura 3.19 – Ponto fotogramétrico identificado em 3 fotografias (Fonte: ISAT,2021).

Neste bloco, onde a área de estudo se insere, foram medidos 46 pontos fotogramétricos (Figura 3.20).

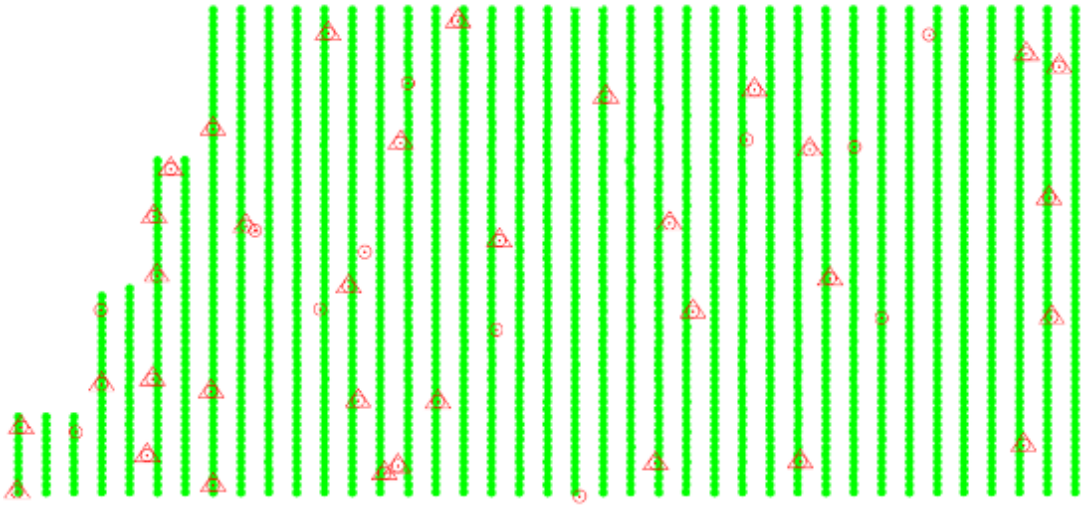


Figura 3.20 – Distribuição dos pontos fotogramétricos (Fonte: ISAT, 2021).

3.6.3 Orientação Relativa e Absoluta

Após a criação do bloco, inicia-se a orientação relativa. Esta orientação é determinada através do processamento por ajustamento por feixes, conhecido como "*Bundle Adjustment*". Este processamento é realizado no ISAT® através do menu "*Control Panel*", que ajusta todos os modelos estereoscópicos para encontrar pontos homólogos automaticamente, determinando os *tie points* (pontos de ligação entre fiadas) e os *pass points* (pontos de ligação entre modelos), como ilustrado na Figura 3.21.

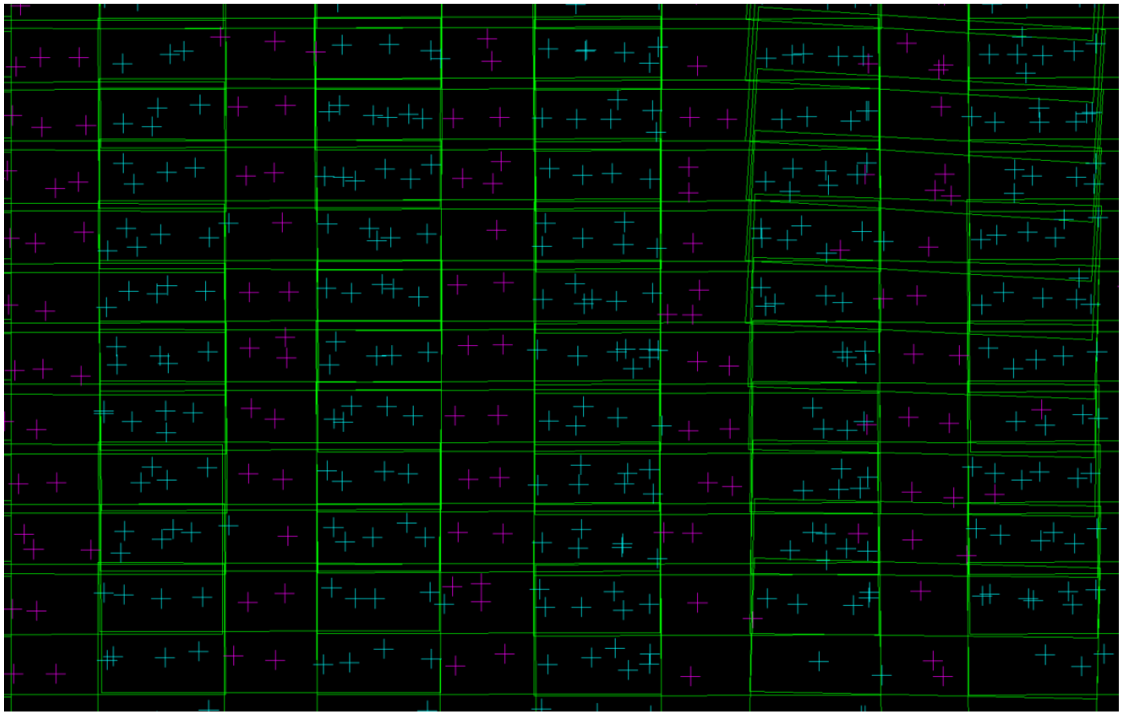


Figura 3.21 – *Tie points* (azul) e *Pass Points* (rosa) do bloco (Fonte: ISAT, 2021).

É durante este processo que são detetadas as "*weak areas*". Estas áreas correspondem a regiões de sobreposição entre as fotografias onde o ISAT® não conseguiu correlacionar de forma satisfatória os pontos homólogos encontrados.

Esta situação acontece sempre nas coberturas da EDIA, uma vez que a área da barragem de Alqueva é muito extensa. Neste caso os pontos automáticos gerados pelo ISAT® são eliminados surgindo a necessidade de fazer a medição 3D de pontos manuais nos modelos afetados.

O processamento está finalizado quando a solução dos vários blocos estiverem dentro dos limites que foram definidos no projeto. Encontradas as soluções ótimas, os blocos são unificados, resultando um único bloco. Com este bloco, formado por todas as medições dos pontos automáticos e fotogramétricos, entramos no último processamento para encontrar a orientação absoluta.

A orientação absoluta é determinada pelo "*Photo Triangulation*" no menu "*Orientations*". Após o processamento, é essencial verificar se os resultados estão conforme os valores do RMS e dos resíduos dos pontos. Estes valores são rapidamente consultados no menu "*Project Review",* onde também é possível gerar um relatório para uma análise mais

detalhada. A Figura 3.22 ilustra os resíduos dos modelos estereoscópicos e dos pontos utilizados no processamento.

Se a orientação absoluta estiver de acordo com o esperado, a triangulação aérea está concluída. No entanto, caso os valores da orientação absoluta ultrapassem os limites definidos para o RMS e o resíduo máximo admissível, previamente estabelecidos na criação do Projeto Fotogramétrico, é necessário voltar ao processamento da orientação absoluta. Neste ponto, é crucial identificar a área afetada e observar a 3D os *Tie points*, *Pass Points* e os pontos fotogramétricos, a fim de localizar o erro. Este procedimento é repetido até que toda a área do projeto fotogramétrico esteja devidamente orientada, garantindo a precisão da triangulação aérea.

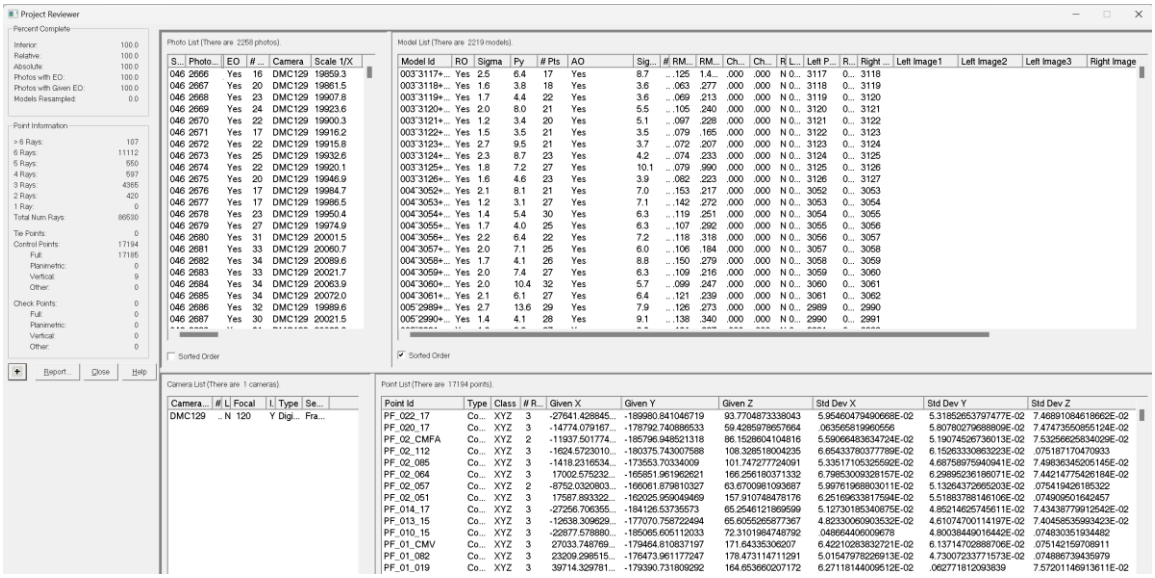


Figura 3.22 – Resíduos e EMQ da orientação absoluta (Fonte: ISAT, 2021).

Com o projeto fotogramétrico triangulado é conveniente verificar a triangulação obtida antes de avançar para a restituição fotogramétrica ou para a produção de ortofotografias. Esta verificação é realizada numa estação fotogramétrica com um software independente do ISAT®. No CC é feito no ISSG® (*ImageStation Stereo for Geomedia*) que permite a visualização de fotografias em stereo, a partir do projeto do ISAT®.
O objetivo é medir os pontos fotogramétricos a 3D com as coordenadas ajustadas e compará-las com as coordenadas originais.

3.6.4 Orientação Externa

No início do projeto fotogramétrico temos uma orientação externa inicial (valores aproximados), fornecida pela empresa responsável pelo voo. Com a conclusão das orientações relativa e absoluta obtém-se a orientação externa refinada, isto é, os seus seis parâmetros, X, Y, Z, ω, ϕ, Κ corrigidos. Na tabela 3.4 são apresentadas as coordenadas das orientações externas inicial e retificada das fotografias 2539 à 2545 da fiada 031.

Tabela 3.4 – Orientação externa inicial e retificada

Orientação	Fiada	Fotografia	X (m)	Y (m)	Z (m)	ω (º)	ϕ (º)	Κ (º)
Orientação Externa Inicial	031	2539	10453,205	165117,211	2683,964	-0,0955	0,2968	89,9033
	031	2540	10457,678	164541,083	2688,486	-0,1372	-0,0177	89,9195
	031	2541	10459,595	163964,868	2685,758	0,0559	-0,0783	90,0849
	031	2542	10462,085	163388,898	2689,847	-0,0989	-1,2251	90,0751
	031	2543	10444,200	162812,274	2693,906	-0,0578	-0,087	90,0021
	031	2544	10445,205	162236,773	2696,367	-0,1963	-0,0141	90,077
	031	2545	10452,915	161660,252	2699,762	-0,0473	0,0226	90,0606
Orientação Externa Retificada	031	2539	10453,313	192762,603	2645,108	-0,3080	-0,1078	90,1135
	031	2540	10451,549	192188,068	2645,514	-0,2874	-0,0228	90,1017
	031	2541	10456,873	191610,722	2650,586	-0,3612	0,0191	90,1771
	031	2542	10451,391	191034,956	2651,331	-0,2672	-0,1222	90,1918
	031	2543	10455,584	190459,244	2640,998	-0,3118	0,0892	90,1025
	031	2544	10460,740	189883,119	2635,185	-0,2772	-0,1165	90,1976
	031	2545	10463,537	189308,655	2641,264	-0,0697	-0,0503	90,0504

3.7 Restituição Fotogramétrica

Após a conclusão da triangulação aérea, dá-se início à fase da restituição fotogramétrica. Este processo consiste na obtenção dos dados tridimensionais em ambiente de informação geográfica, o *Geomedia,* através do *software ImageStation Stereo for Geomedia (ISSG).* O *ISSG* permite recolher a 3D todos os fenómenos naturais e artificiais presentes no território, servindo de base à geração do MDS e ao modelo de dados da CartTop.

Os dados altimétricos recolhidos são principalmente "*breaklines",* linhas de quebra que definem limites de vias rodoviárias, pontes, linhas de água, taludes, topo de edifícios, barragem de Alqueva, etc. O ficheiro com a informação altimétrica está em constante atualização, refletindo as mudanças ocorridas no terreno ao longo do tempo. Na Figura 3.23 é apresentado o ambiente de restituição *ISSG.*

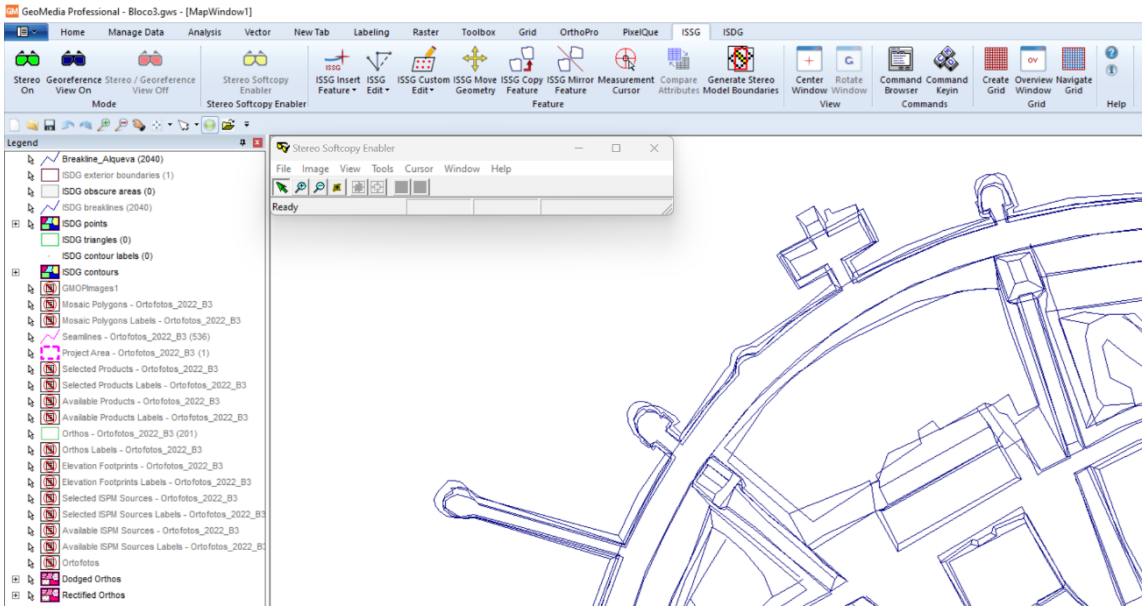


Figura 3.23– Ambiente de restituição do *ISSG* (Fonte: ISSG, 2021).

3.8 Geração do Modelo Digital de Superfície

O MDS foi gerado pelo *software ImageStation Automatic Elevations (ISAE)*. Este programa gera automaticamente pontos cotados a partir dos modelos estereoscópicos. Tem uma exatidão elevada porque fornece um grande número de pontos associado a linhas de quebra (*breaklines*) que vão enriquecer o modelo.

Na fase de processamento, o programa ISAE utiliza o modelo hierárquico de correlação de imagens, são necessários os pares estereoscópicos, que possuem uma estrutura piramidal. A estrutura piramidal é um conjunto de imagens com vários níveis onde a resolução vai diminuindo. A Figura 3.24 mostra a estrutura piramidal (*ISAE* Help, 2021).

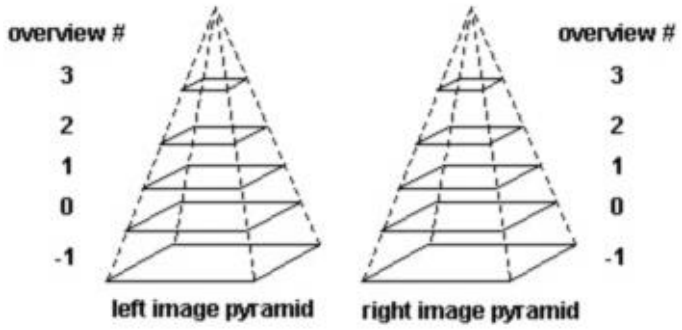


Figura 3.24 – Estrutura Piramidal das imagens (Fonte: ISAE Help, 2021).

Para gerar automaticamente os pontos cotados no software ISAE, foi necessário especificar o projeto fotogramétrico (Bloco_3_3D), o sistema de coordenadas e o ficheiro Barragem_2022.dtm. Este ficheiro TIN contém linhas de quebra que definem os principais acidentes naturais e artificiais do terreno (Figura 3.25). O ficheiro é sempre a versão mais atualizada possível.

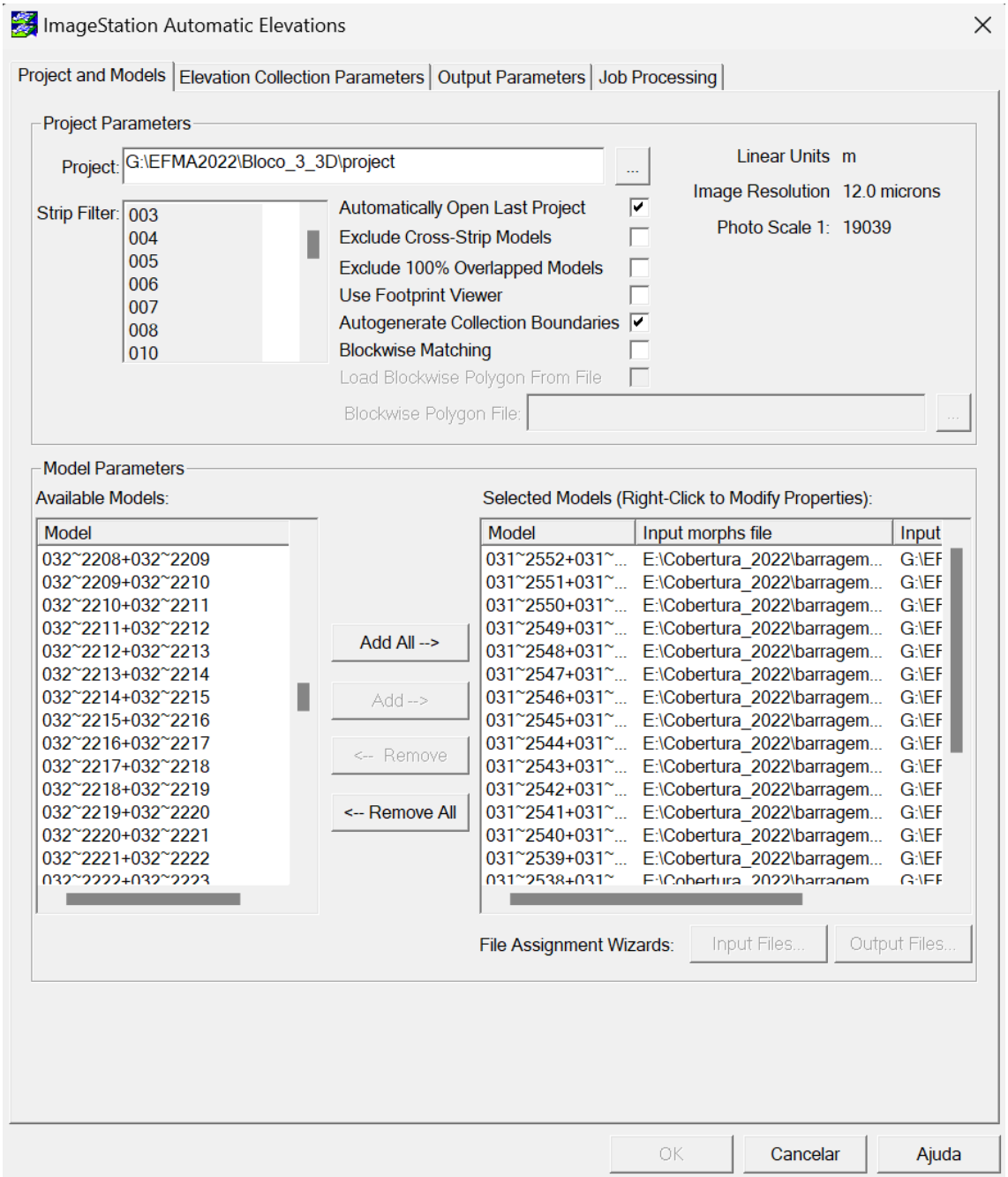


Figura 3.25 – Configuração do Projeto *ISAE* (Fonte: ISAE, 2021).

No bloco da área de estudo, o tipo de terreno foi definido como *Hilly* (Ondulado) com uma grelha de pontos de 7 m. Este valor é calculado em função do tamanho do pixel e da

escala da fotografia. Na Figura 3.26 é apresentado as definições dos pontos cotados automáticos.

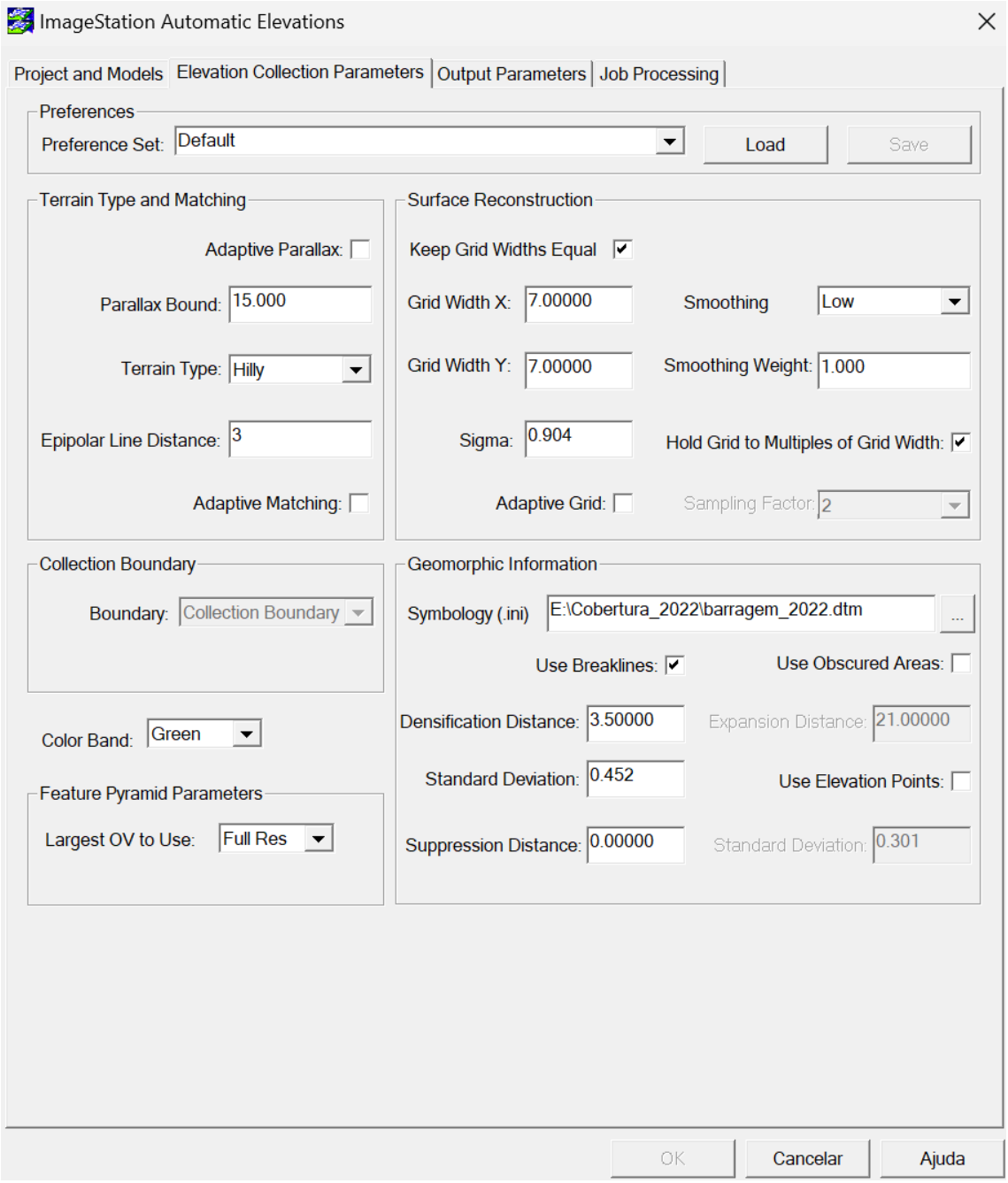


Figura 3.26 – Definições dos pontos cotados automáticos (Fonte: ISAE, 2021).

3.9 Ortoretificação

A ortoretificação é o último processo dentro da sequência de operações necessárias para a produção exata de ortofotografias. Durante este processo, são utilizados resultados obtidos nos processos anteriores, nomeadamente a triangulação aérea e o MDS. Estes

elementos são fundamentais para transformar uma fotografia aérea tridimensional numa imagem bidimensional (ortofotografia) precisa e de fácil interpretação.

As ortofotografias foram produzidas com o *software OrthoPro (ImageStation OrthoPro - ISOP)* da *HexagonAB*®. A Figura 3.27 mostra em detalhe o seu fluxo de produção (ISOP; 2021). O fluxo de produção é constituído por 5 etapas principais: criação do projeto; ortoretificação das fotografias; geração das *"seamlines"*; cálculo do *"Tone Balance"* e geração da ortofotografia.

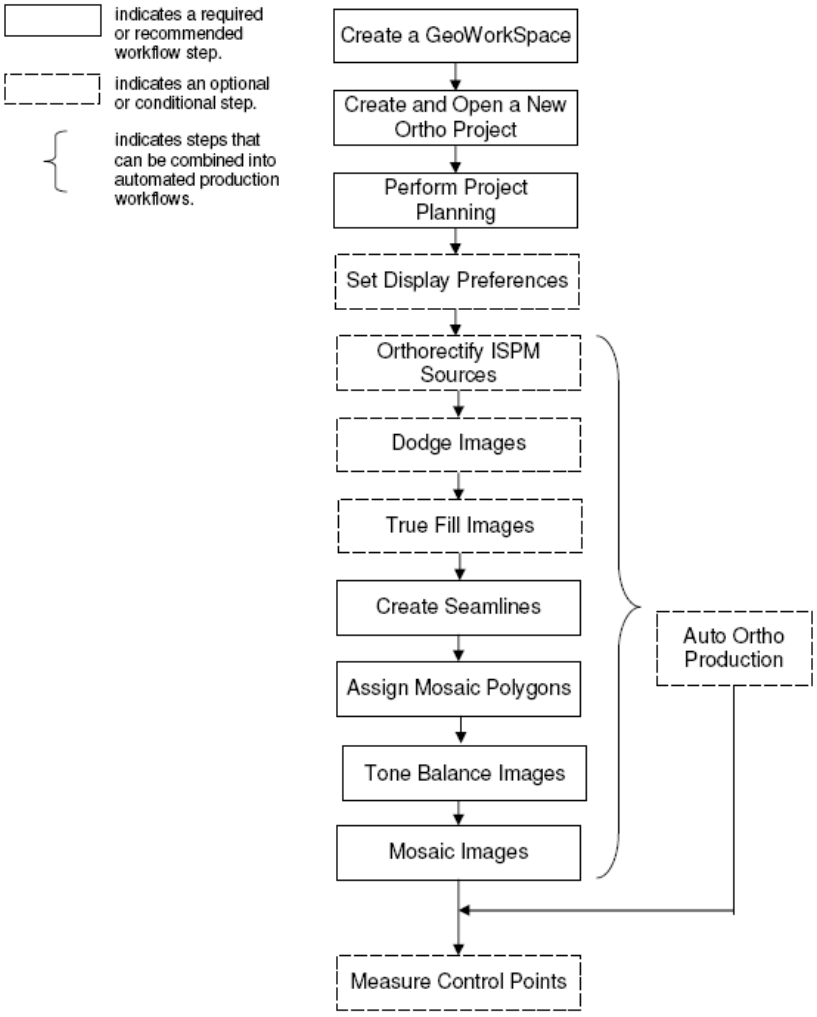


Figura 3.27 – Fluxo de Produção do *OrthoPro* (Fonte: ISOP, 2021).

3.9.1 Criação do Projeto *OrthoPro*

A partir da aplicação *"Project Planning"* do painel de controlo do "*OrthoPro"* (Figura 3.28), a primeira tarefa é definir o sistema de coordenadas (ETRS89), o tamanho do pixel

(0,25 m) e a área de interesse, que corresponde a um ficheiro *shapefile* com as 702 quadrículas do seccionamento da Série Ortofotocartográfica Nacional 1:10.000 da DGT.

Figura 3.28 – Painel de controlo do "*OrthoPro"* (Fonte: ISOP; 2021).

Cada quadrícula tem seccionamento retangular (quadrícula de Gauss), com formato de 5.000 por 5.000 m. O seccionamento e a nomenclatura das quadrículas têm origem nas coordenadas do canto sudoeste da quadrícula, com origem num ponto fictício situado a 200 km a oeste e 300 km a sul da falsa origem do ponto central. Na Figura 3.29 estão apresentadas as seis quadrículas e a nomenclatura referentes à área de estudo:

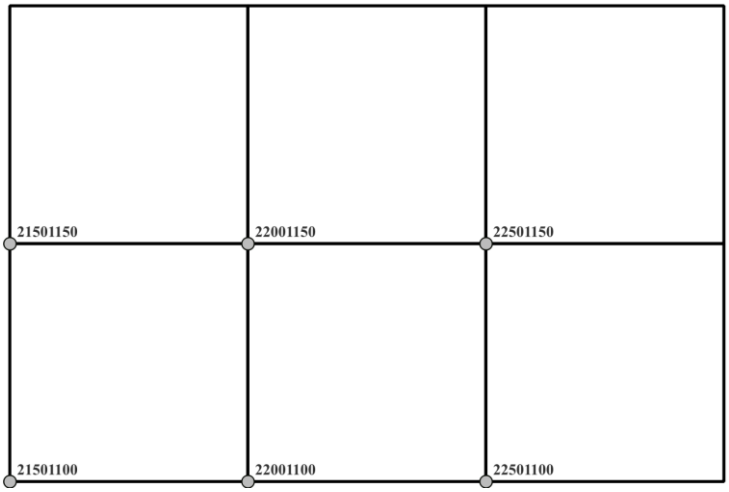


Figura 3.29 – Seccionamento e nomenclatura da quadrícula (Fonte: Autor).

Com a definição da área a ortoretificar e do sistema de coordenadas é necessário indicar o projeto fotogramétrico, proveniente da triangulação aérea e os MDS de cada um dos

pares estereoscópicos. As definições de todos os parâmetros do *OrthoPro* estão apresentadas na Figura 3.30.

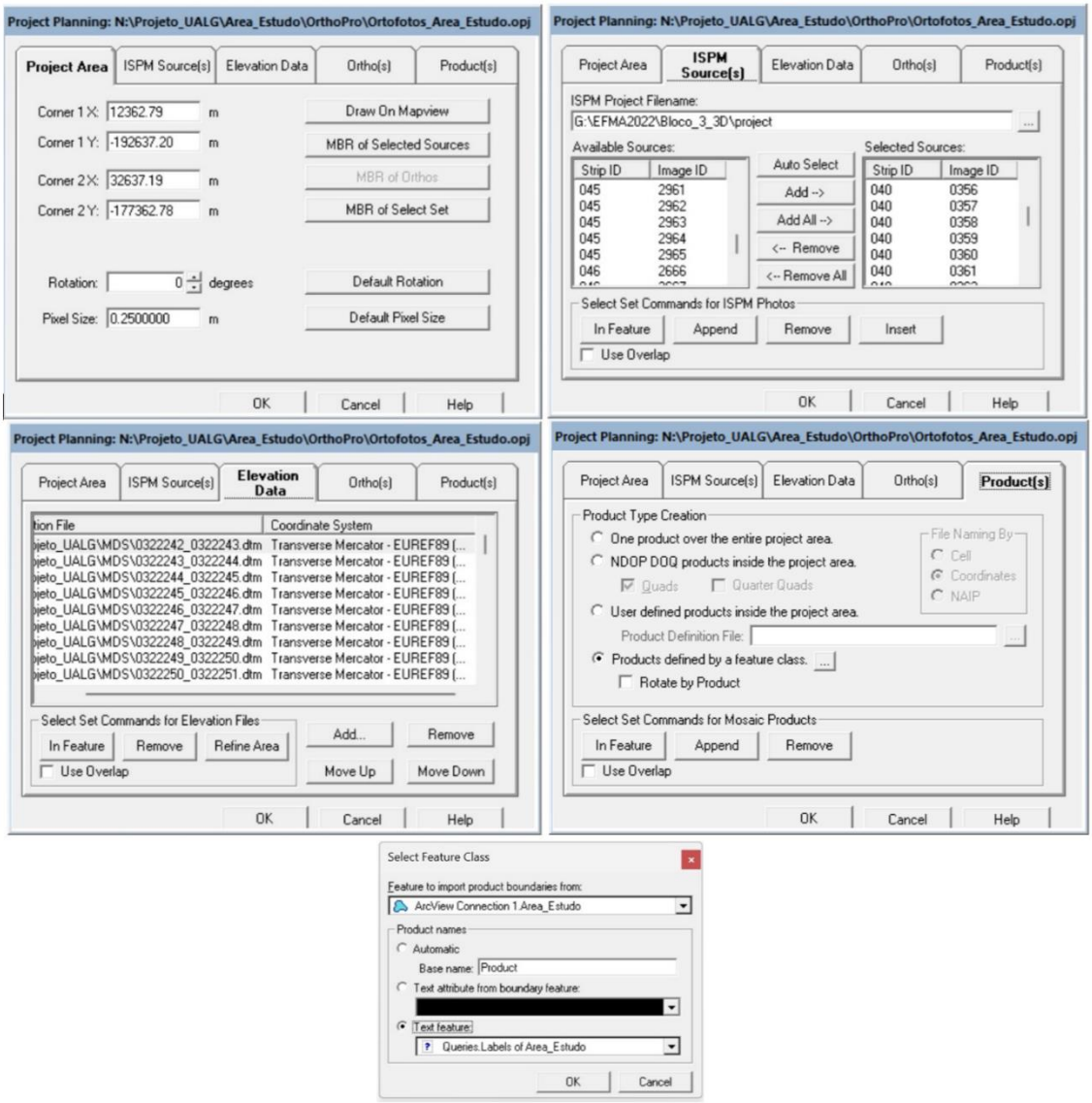


Figura 3.30 – Parâmetros do Projeto *OrthoPro* (Fonte: ISOP, 2021).

Concluída a tarefa de definir todos os parâmetros necessários à boa definição do projeto do *OrthoPro*, o seguinte processo é a retificação diferencial das fotografias. Na Figura 3.31 e detalhado no Anexo 2 está uma apresentação geral do projeto, onde se pode ver a azul a área das ortofotografias, a magenta a área do projeto, a vermelho as fotografias e a cinzento o MDS.

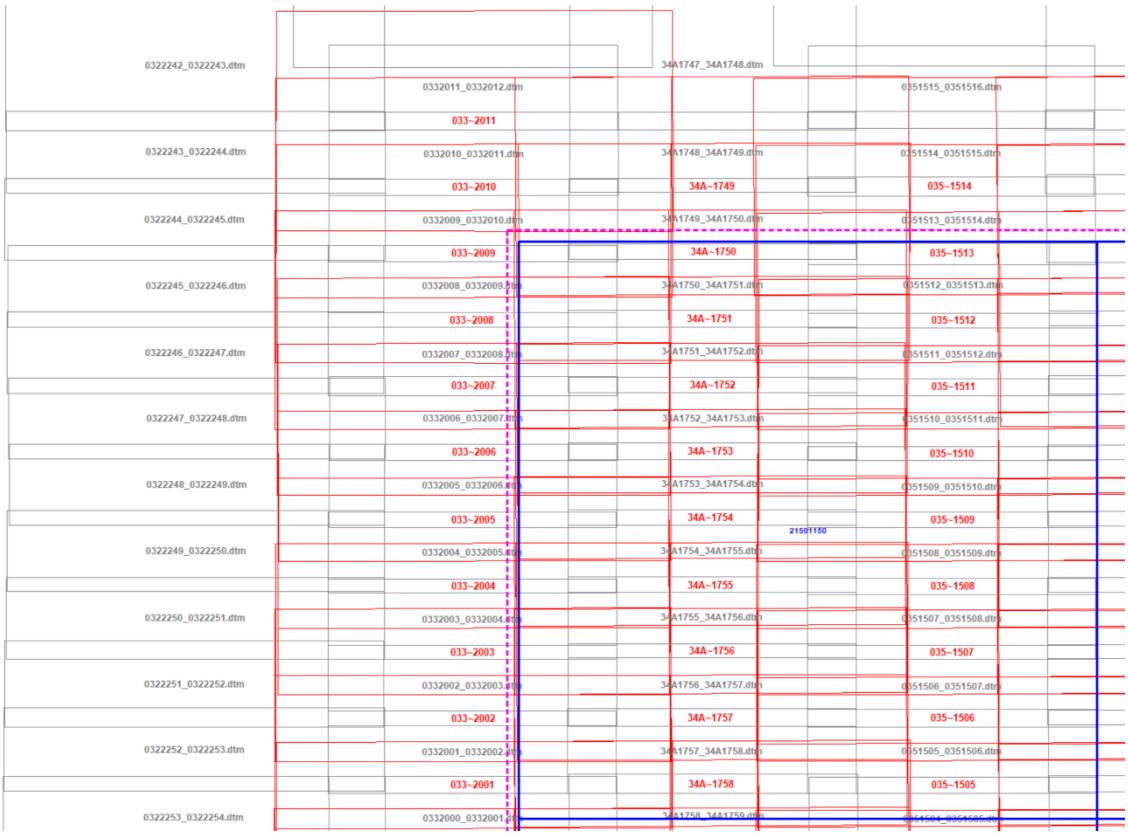


Figura 3.31 – Extrato da apresentação geral do projeto no "*OrthoPro*" (Fonte: ISOP, 2021).

3.9.2 Ortoretificação das Fotografias

Nesta etapa definem-se os parâmetros para a ortoretificação. A partir do painel de controlo do *OrthoPro* escolhe-se a aplicação "*Orthorectification"*.

O primeiro passo é escolher o tipo de interpolação a utilizar para determinar o nível de cinza ou tom de cor atribuído a cada pixel. A interpolação escolhida foi a "*Cubic Convolution*", que se trata de um método que cria um valor de saída (ortofotografia) ao calcular uma média ponderada dos 16 pixels mais próximos numa área de 4 por 4 pixels em torno do pixel que está a ser calculado na fotografia a retificar (*ISOP Help*).

No separador "*Calculation*" o tipo de transformação é por definição *"Computed"*, isto é, a orientação externa obtida no capítulo anterior.

No separador *"Elevation file Priority"* a opção escolhida é *"Closest to Photo Center"* que determina a ordem da utilização dos MDS. O modelo utilizado primeiro é o que estiver mais próximo do centro da fotografia, seguido do seguinte mais próximo e assim sucessivamente.

No separador *"Adaptive Spacing"* o valor está definido em 32, pelo *OrtoPro* por ser o valor que apresenta melhores resultados. Este valor é o espaçamento em pixels da imagem ortoretificada, no qual o MDS será consultado para obter os dados de elevação durante o processo de retificação.

É necessário definir o separador *"Pixel Intensity Adjustments"* para preencher os pixels das imagens ortorretificadas que estão fora da cobertura dos dados do MDS e onde não há cobertura de fotografia. O valor selecionado é zero (preto). Aplica-se às quadrículas do limite da cobertura aérea. É também selecionada a opção, "*Adjust Transparency Intensity"*, ajusta os pixels nas áreas a preto, para que possa ser utilizado como um valor de transparência em produtos como por exemplo o *Geomedia* ou outro sistema de informação geográfica.

Por último, o separador *"Void Elevation Coverage"* especifica que as áreas que estão fora da cobertura do MDS sejam retificadas com o valor introduzido no separador anterior. Os valores em falta do MDS são interpolados linearmente a partir do valor do MDS mais próximo.

Na Figura 3.32 é apresentado em detalhe as opções de retificação das fotografias.

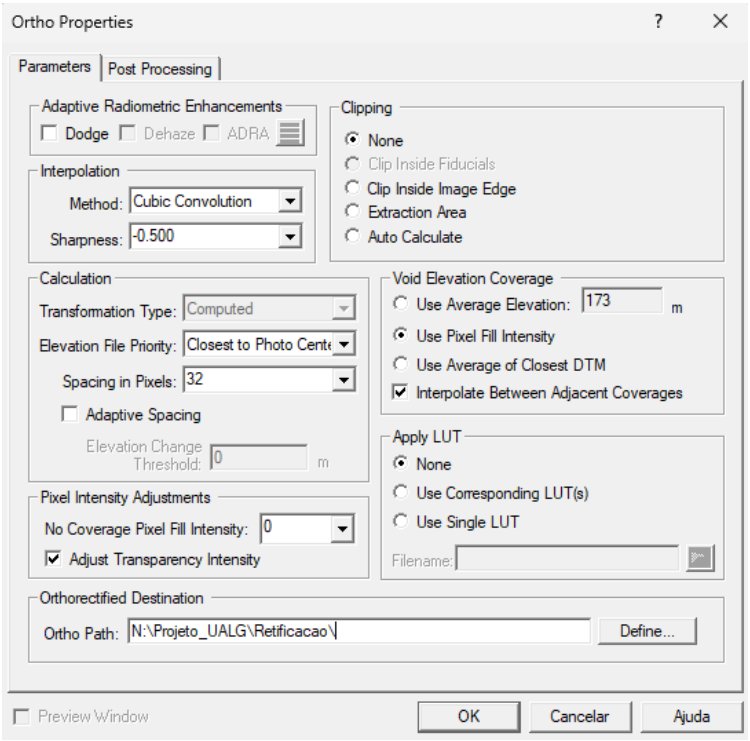


Figura 3.32 – Opções de Retificação das fotografias (Fonte: ISOP, 2021).

Concluído todo o processo de definição dos parâmetros da retificação é iniciado o processo de retificação, propriamente dito. A Figura 3.33 apresenta um extrato do projeto do "*OrthoPro"* em ambiente "*Geomedia"* antes do início do processo de retificação. O Anexo 3 mostra o projeto "*OrthoPro"* com mais detalhe.

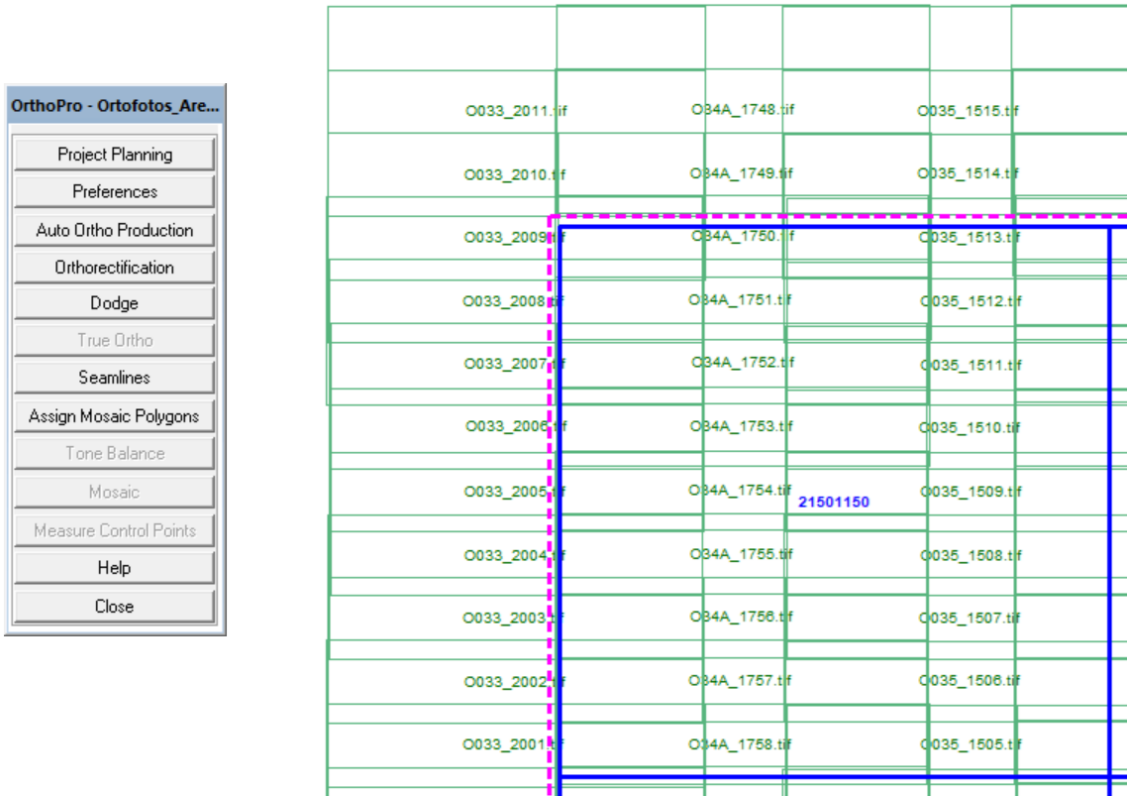


Figura 3.33 – Extrato do Projeto do *"OrthoPro"* (Fonte: ISOP, 2021).

A retificação é feita simultaneamente em oito fotografias, de acordo com as características de *hardware* existente no CC. Esta gestão é feita pelo próprio *OrthoPro*, e trata-se de um processo moroso. A Figura 3.34 mostra um extrato das imagens já retificadas. O Anexo 4 mostra as imagens retificadas com mais detalhe.

Figura 3.34 – Imagens retificadas (Fonte: ISOP, 2021).

3.9.3 Geração de "*Seamlines*"

O objetivo de criar linhas de união, *"Seamlines"*, é definir as linhas nas quais as fotografias ortoretificadas sobrepostas serão unidas para formar um mosaico. As linhas de união também dividem a área do projeto em polígonos de mosaico, que definem quais as partes das fotografias retificadas serão utilizadas como peças do mosaico. Para preparar a atribuição de cada fotografia retificada a um polígono de mosaico, é necessário primeiro criar as linhas de união que criarão polígonos válidos.

A aplicação *"Seamlines"* é ativada a partir do painel de controlo do *OrthoPro*. Para calcular as "*Seamlines"* é utilizado o método "*Smart Seams*". É um método de linhas de união inteligentes que encontra um vetor de caminho mais curto entre as fotografias retificadas sobrepostas, com base no cálculo da menor diferença de intensidade de pixels. É o método mais rápido com resultados muito satisfatórios. Na Figura 3.35 é apresentado o cálculo das "*Seamlines"*.

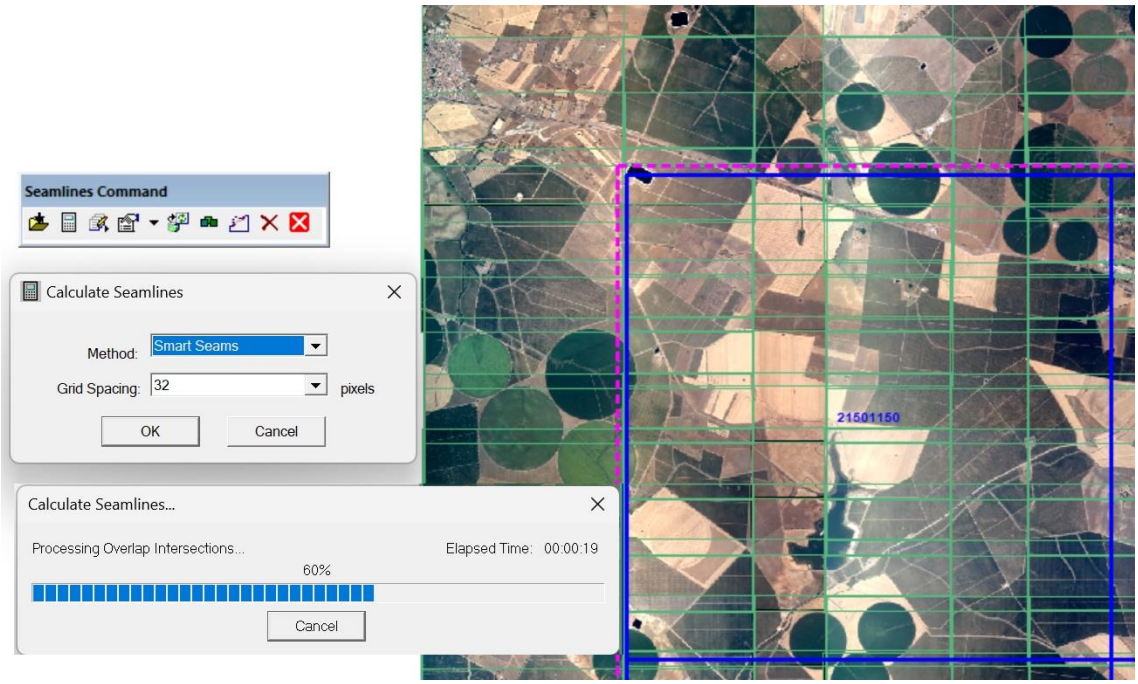


Figura 3.35 – Imagens retificadas (Fonte: ISOP, 2021).

Embora seja um processo automático, onde existe uma clara poupança de tempo, é sempre necessário verificar e se preciso corrigir as "*Seamlines"* automáticas em objetos artificiais como pontes, edifícios de grande altura, Barragem de Alqueva, etc. A Figura 3.36 apresenta um excerto das "*Seamlines"* e uma vista geral de todas as "*Seamlines"* obtidas através do método "*Smart Seams*".

Figura 3.36 – "*Seamlines"* obtidas pelo "*Smart Seams*" (Fonte: ISOP, 2021).

3.9.4 Tone Balance

O "*Tone Balance*" é uma funcionalidade adicional do *OrthoPro* que permite equilibrar os tons das fotografias ortorretificadas. Este processo realiza uma compensação radiométrica entre as fotografias adjacentes para assegurar uma transição suave entre elas. Este equilíbrio de tons é sempre realizado após a criação das "*seamlines"* e ou revisão das mesmas. Na Figura 3.37 é apresentado o "*Tone Balance*" para as seis ortofotografias.

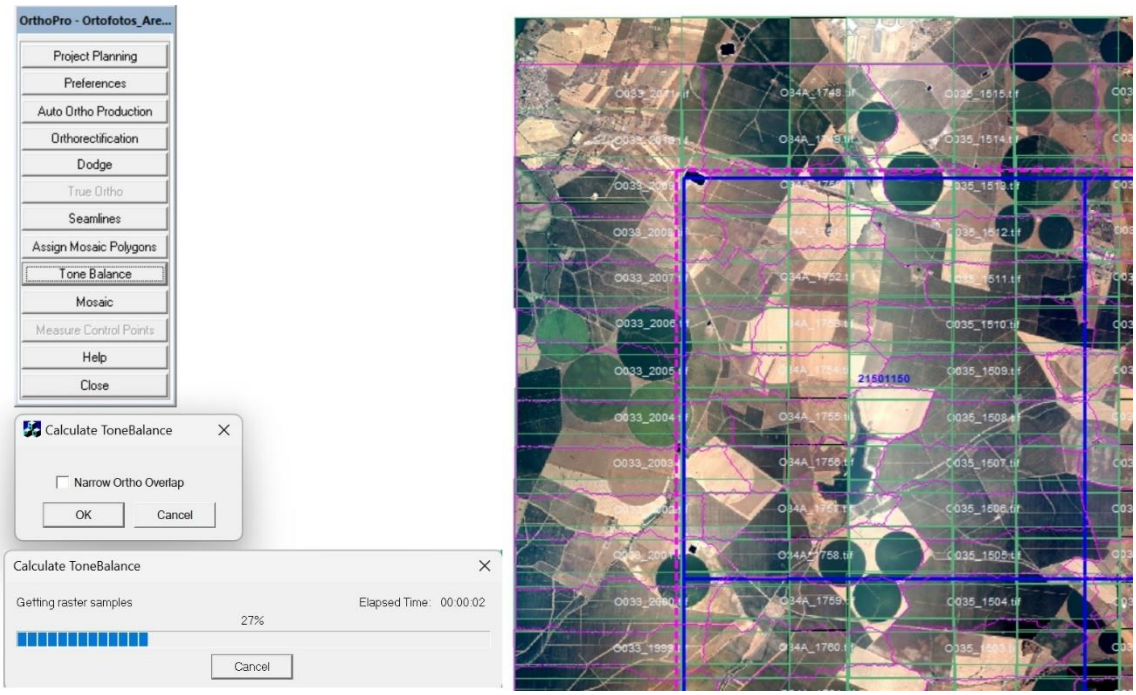


Figura 3.37 – "*Tone Balance*" para as seis ortofotografias (Fonte: ISOP; 2021).

3.9.5 Geração da Ortofotografia

O "*Mosaic*" no menu de controlo do *OrthoPro*, permite configurar e realizar a criação de mosaicos das fotografias ortorretificadas (ortofotografias) nos produtos (quadrículas) que foram definidos durante a criação do projeto *OrthoPro*, no início deste capítulo.

Nesta aplicação "*Mosaic*" definem-se os parâmetros de processamento através do menu *"Product Properties"*. O principal parâmetro é a "*Feathering Distance*", que especifica o número de pixels da fotografia em cada lado da "*seamline"* e que vão estar envolvidos numa mistura de tons. O objetivo é tornar a *"seamline"* impercetível na ortofotografia

final. O valor de 32 pixels escolhido neste projeto é o adequado. Na Figura 3.38 são apresentados os parâmetros de processamento.

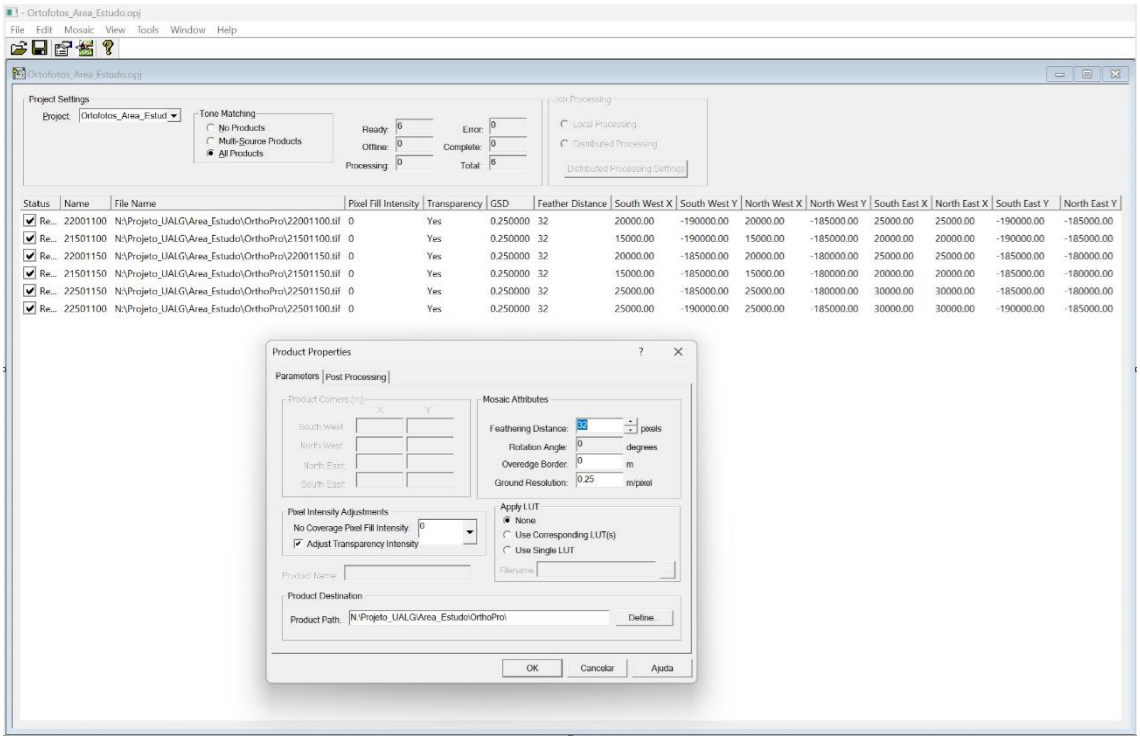


Figura 3.38 – Parâmetros de processamento (Fonte: ISOP, 2021).

Após a definição dos parâmetros de processamento, é necessário definir os parâmetros de saída de cada ortofotografia: formato, "*Tiles*", compressão e "*Overviews"*.

3.9.5.1 Formato da Ortofotografia

Neste projeto o formato de arquivo raster é *Tagged Image File Format* (TIFF) com 16 bits por banda (Figura 3.39).

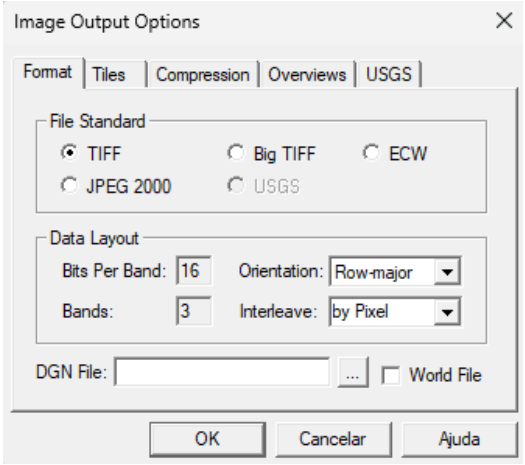


Figura 3.39 – Formato TIFF e Bits por banda (Fonte: ISOP, 2021).

3.9.5.2 "*Tiles*"

"Tiles" define a organização dos dados no ficheiro raster. Foi escolhida a dimensão 512 pixels (Figura 3.40).

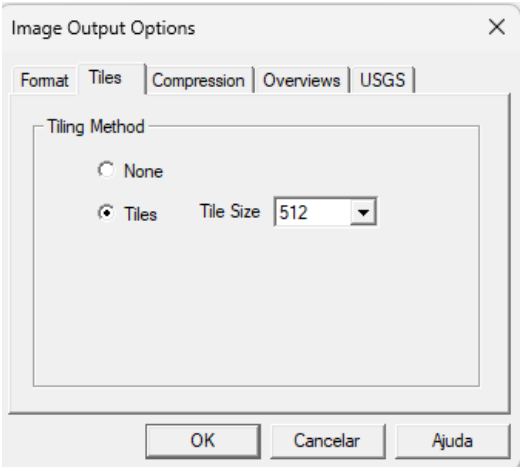


Figura 3.40 – Tamanho de "Tiles" (Fonte: ISOP, 2021).

3.9.5.3 Compressão

As ortofotografias são produzidas sem qualquer compressão, mantendo a qualidade original dos ficheiros. Estes ficheiros são armazenados em servidores para garantir a sua preservação e acessibilidade. Para a utilização das ortofotografias por todos os utilizadores e em todos os suportes digitais, os ficheiros originais são depois convertidos em formato *"ECW" (Enhanced Compressed Wavelet) da Hexagon®* que permite uma compressão elevada sem perder qualidade.

A cobertura aérea de 2022 foi convertida também para o formato "*VRT" (Virtual Dataset)* para ser possível aceder de forma rápida através do *"QGIS"*.

3.9.5.4 "*Overviews*"

"Overviews" como já foi referido anteriormente é um conjunto de imagens com vários níveis onde a resolução vai diminuindo, facilitando a visualização das ortofotografias no *Geomedia* ou noutro SIG similar. O método escolhido foi o "*Full Set*" "*Averaging*" que cria todas as "*overviews*" possíveis com base em áreas de pixels da imagem.

4. Análise da Exatidão Posicional das Ortofotografias

A análise da exatidão posicional das ortofotografias foi determinada pelas Normas e Especificações Técnicas para a Cartografia Topográfica Vetorial e de Imagem versão CartTopV2.0.1 de 10/05/2024, da DGT, para o NdD2 (nível de detalhe 2).

O NdD2 é o adequado à produção de ortofotografias para este projeto (resolução espacial de 0,25 m) está associado à representação cartográfica às escalas 1:5.000.

A DGT estabelece que o EMQ deve ser igual ou inferior a 0,75 m, e que 90% dos pontos avaliados devem ter um valor igual ou inferior a 1,25 m, conforme descrito na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. – EMQ NdD2 à escala 1:5.000 (Fonte: Adaptado de CartTopV2.0.1).

Resolução espacial (m)	0,25
Exatidão posicional planimétrica (m)	0,75
90% dos pontos avaliados devem assumir valores iguais ou melhores a:	
Planimetria (m)	1,25

5. Resultados e Discussão

5.1 Triangulação Aérea

A triangulação aérea do bloco apresentou um valor de RMS final de 0,249 m em planimetria e 0,368 m em altimetria, valores dentro dos limites que foram definidos na criação do projeto fotogramétrico. Do ajustamento "*Bundle Adjustment*" resultaram 168. 300 pontos, incluindo 46 pontos fotogramétricos. Após a execução de todas as fases de verificação, a triangulação foi aceite, permitindo o avanço para a fase seguinte do projeto. Na Tabela 5.1 são apresentados os valores de RMS obtidos no processo da triangulação aérea. O Anexo mostra o relatório detalhado deste processo.

Tabela 5.1 – Valores de RMS (Fonte: Autor).

RMS (x,y)	0,249 m	RMS (z)	0,368 m
Máximo RMS $_{x,y}$	0,60 m	Máximo RMS $_{(z)}$	0,60 m

5.2 Restituição Fotogramétrica

Para a geração do MDS, foi necessário restituir os topos e bases de alguns edifícios. As "*breaklines"* delimitam todo o perímetro dos edifícios, garantindo assim melhores resultados no processo de ortorretificação. Na Figura 5.1 são apresentadas as "*breaklines*", onde também se pode observar o deslocamento das linhas em relação à posição real dos edifícios na ortofotografia. Este deslocamento é causado pela altura dos edifícios, um efeito já discutido no processo fotogramétrico da ortorretificação.

É essencial que os edifícios, ou qualquer objeto elevado, sejam definidos corretamente no MDS. Caso contrário, a área correspondente a esses objetos não será devidamente ortorretificada, impossibilitando a obtenção de informação métrica precisa nessa região. A correta definição das alturas no MDS é, portanto, fundamental para garantir a qualidade e a exatidão dos dados ortorretificados.

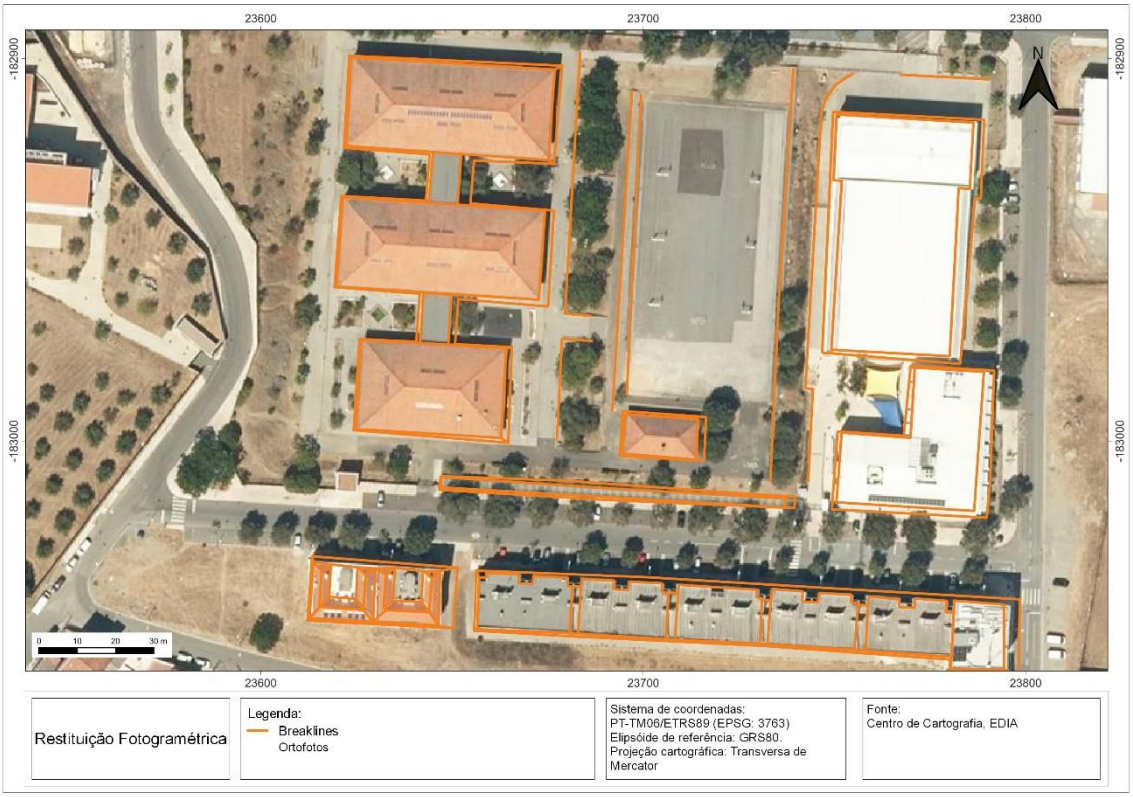


Figura 5.1 – "*Breaklines*" (Fonte: Autor).

5.3 Modelo Digital de Superfície

Na Figura 5.2 está um excerto do MDS obtido, na zona da cidade de Beja, onde se pode observar a malha de pontos automática a laranja, as linhas de quebra que definem os edifícios a azul e os triângulos do TIN a verde.

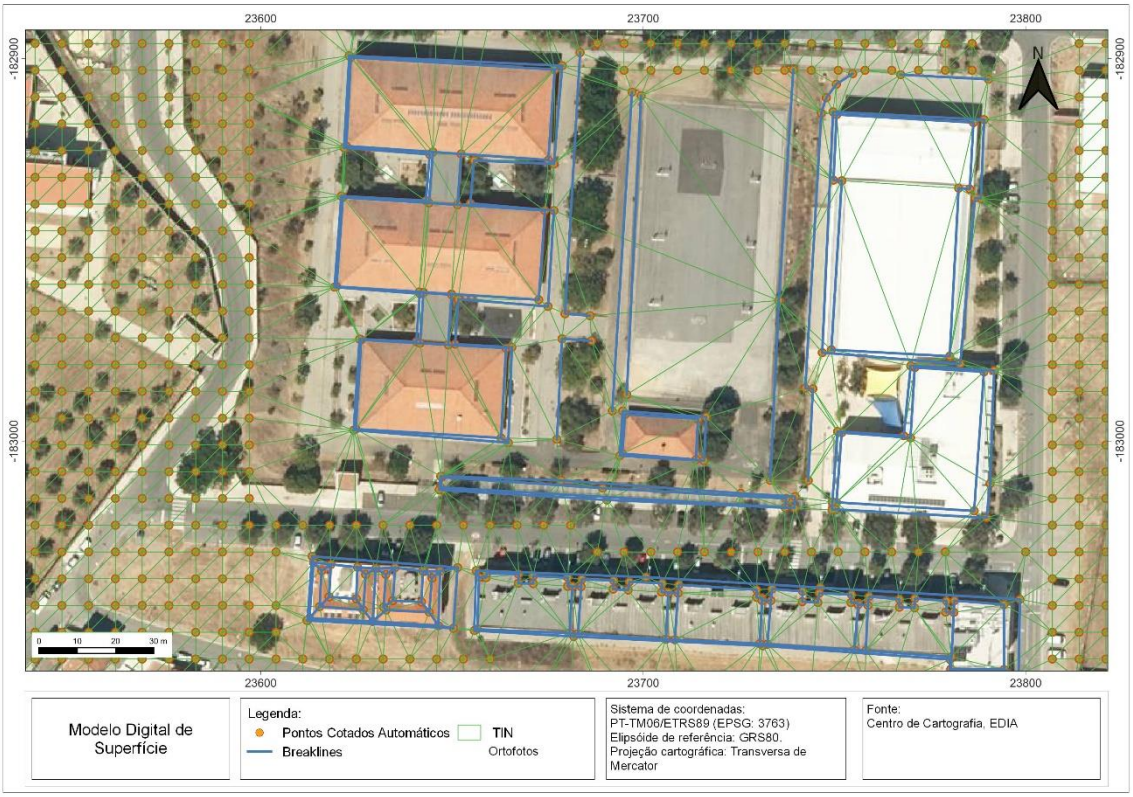


Figura 5.2 – Modelo Digital de Superfície (Fonte: Autor).

5.4 Ortofotografias

Após a conclusão de todo o processo de produção das ortofotografias, a Figura 5.3 apresenta as seis ortofotografias definidas para a área de estudo deste projeto. Estas ortofotografias foram geradas com base nas especificações estabelecidas e cobrem integralmente a região de interesse, garantindo uma representação geoespacial precisa.

Figura 5.3 – Ortofotografias da área de estudo (Fonte: Autor).

5.5 Pontos de Controlo

Os pontos de controlo foram coordenados nos dias 27 e 28 de junho de 2024. Foram coordenados 17 pontos de controlo distribuídos pela área de estudo. A Figura 5.4 mostra a localização dos 17 pontos de controlo coordenados.

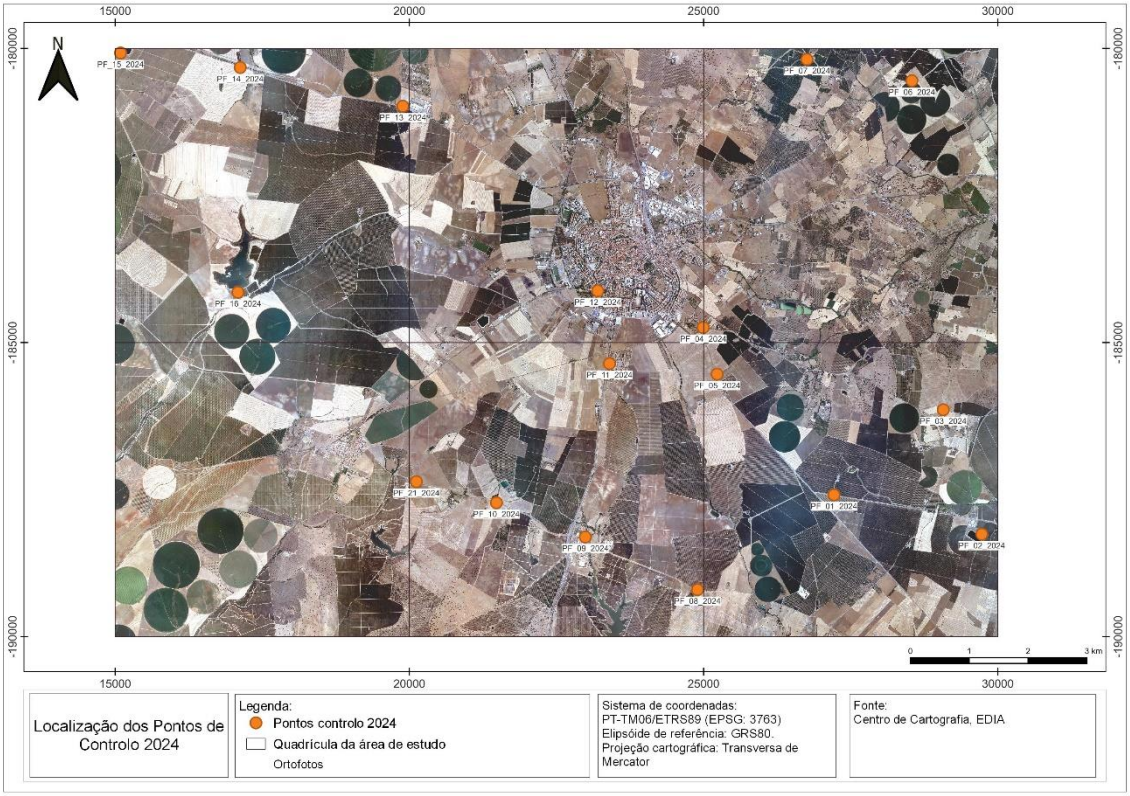


Figura 5.4 – Localização dos pontos de controlo 2024 (Fonte: Autor).

A Figura 5.5 apresenta a ficha do PF_12_2024 coordenado no dia 28 de junho de 2024. As fichas dos 17 pontos de controlo são apresentadas no Anexo 3.

EDIA		EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A. Centro de Cartografia Departamento Certificado de Acordo com a Norma ISO: 9001:2015 no âmbito da "Produção e fiscalização cartográfica, topografia e cadastro."	EDIA

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_12_2024

Esboço:	Sentido do voo
	FIADA N.º 037 **FOTOGRAFIA N.º** 1027
	ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Centro tampa esgoto.	**COTA NO TERRENO**	244.704
	COTA NO PONTO	

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: Sistema de coordenadas ETRS89

Coordenadas			
M (m)	**P (m)**	**Cota no Terreno (m)**	**Cota no Ponto (m)**
23200.843	-184121.324	244.704	

	ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:
	OBSERVAÇÕES:

FS_001_05

Operador: Pedro/Sandra Data: 28/06/2024 Local:Beja

Figura 5.5 – Ponto Fotogramétrico PF_12_2024 (Fonte: CC).

5.6 Exatidão Posicional das Ortofotografias

As ortofotografias geradas pelo *OrthoPro* foram importadas para o *software QGIS* onde foram identificados os 31 pontos nas ortofotografias e se obtiveram as respetivas coordenadas planimétricas (M, P). Na Figura 5.6 é apresentada a localização dos pontos de controlo utilizados na análise da exatidão posicional.

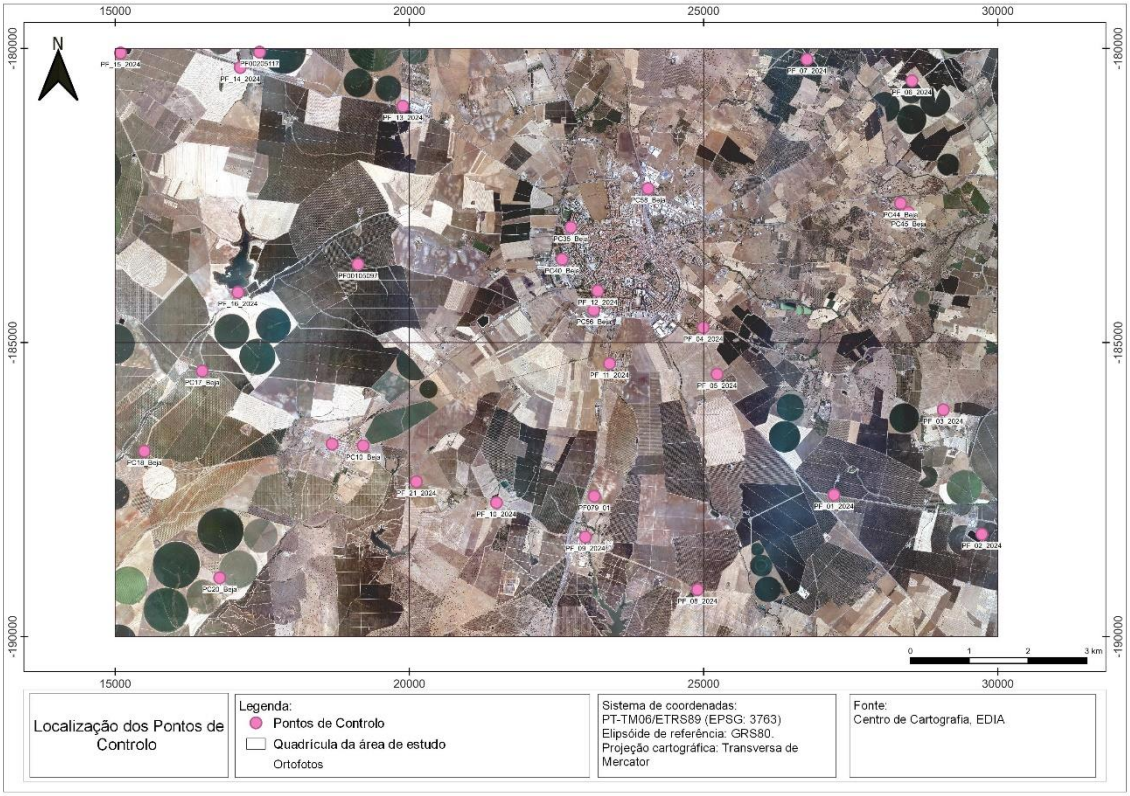


Figura 5.6 – Localização dos pontos de controlo (Fonte: Autor).

Estas coordenadas foram depois comparadas com os pontos de controlo, onde se obteve os seus desvios. A Tabela 5.2 mostra os valores dos desvios em detalhe, no Anexo 2 pode ser visualizada a tabela de cálculo do EMQ.

Tabela 5.2 – Desvios entre as coordenadas (Fonte: Autor).

Quadrícula	PC	Desvios		Distância
		ΔM	ΔP	
215_115	PF00205117	-0,467	0,048	0,220
	PF00105097	-0,190	-0,030	0,037
	PF_15_2024	0,286	-0,099	0,092
	PF_14_2024	-0,648	0,404	**0,583**
	PF_13_2024	0,232	0,144	0,075
	PF_16_2024	-0,027	-0,167	0,029
220_115	PC58_Beja	0,017	-0,186	0,035
	PC56_Beja	-0,078	-0,163	0,033
	PC40_Beja	-0,338	0,091	0,123
	PC35_Beja	-0,303	-0,094	0,101
	PF_12_2024	0,023	-0,104	**0,011**
	PF_04_2024	-0,408	-0,226	0,218
225_115	PC45_Beja	-0,204	-0,010	0,042
	PC44_Beja	0,115	-0,225	0,064
	PF_07_2024	-0,145	0,193	0,058
	PF_06_2024	0,065	0,249	0,066
215_110	PC06_Beja	-0,343	0,109	0,130
	PC10_Beja	-0,250	0,150	0,085
	PC17_Beja	-0,162	-0,070	0,031
	PC18_Beja	-0,366	-0,072	0,139
	PC20_Beja	-0,120	0,401	0,175
220_110	PF079_01	-0,220	-0,035	0,050
	PF_08_2024	0,130	-0,500	0,267
	PF_09_2024	-0,046	-0,366	0,136
	PF_10_2024	-0,047	-0,132	0,020
	PF_21_2024	-0,199	-0,051	0,042
	PF_11_2024	-0,139	-0,180	0,052
225_110	PF_05_2024	-0,196	-0,045	0,040
	PF_03_2024	0,094	-0,272	0,083
	PF_01_2024	-0,353	-0,424	0,304
	PF_02_2024	-0,089	-0,339	0,123

Da análise dos resultados da Tabela 5.2, os pontos de controlo PF_14_2024 e PF_12_2024 têm respetivamente, o maior e o menor desvio, em relação às coordenadas lidas nas ortofotografias.

O PF_14_2024 tem um desvio de 0,583 m que se justifica pela sua posição elevada, é um canto de muro com 2,49 m de altura. Na Figura 5.7 é apresentado a posição do ponto lida

na ortofotografia a laranja e a verde a posição do ponto de controlo na sua verdadeira localização geográfica. A Figura 5.8 apresenta em detalhe o PF_14_2024.

Figura 5.7 – Posição na ortofotografia do PF_14_2024 (Fonte: Adaptado de CC).

Figura 5.8 – Detalhe do PF_14_2024 (Fonte: CC).

Em contraste o ponto PF_12_2024 tem o menor desvio planimétrico, 0,011 m, também devido à sua posição no solo, neste caso ao nível do terreno, como é apresentado na Figura 5.9. A Figura 5.10 apresenta em detalhe o PF_12_2024.

Figura 5.9 – Posição na ortofotografia do PF_12_2024 (Fonte: CC).

Figura 5.10 – Detalhe do PF_12_2024 (Fonte: CC).

Após a análise dos desvios entre os pontos, foi calculado o EMQ. Obtivemos um EMQ de 0,334 m para 31 pontos, e 100% dos pontos apresentaram valores inferiores a 1,25 m. Estes resultados indicam que a exatidão posicional absoluta das ortofotografias está em

conformidade com as normas da DGT. Na Tabela 5.3 estão apresentados os valores obtidos.

Tabela 5.3– Valor EMQ

EMQ $_{MP=}$	**0,334 m**
Máximo $_{MP}$ =	0,583 m
Mínimo $_{MP}$ =	0,011 m
Média $_{MP}$ =	0,112 m
EMQ≤ 0,75 m 90% dos pontos ≤ 1,25 m	

Neste trabalho, foi obtido um valor de EMQ de 0,334 m para 31 pontos fotogramétricos. Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos nesta área e obtidos valores de EMQ um pouco distintos dos obtidos no projeto apresenta, mas todos em conformidade com as normas da DGT. Godinho (2021) encontrou um EMQ de 0,663 m para 14 pontos fotogramétricos. Este estudo técnico teve incidência na avaliação da exatidão posicional da informação vetorial gerada a partir de imagens ortorretificadas, com o objetivo de avaliar a precisão dos dados obtidos através das ortofotografias. As ortofotografias foram geradas através da ortorretificação de fotografias aéreas digitais, com resolução espacial de 0,30 m, abrangendo uma área de 4.400 ha localizada no distrito de Viseu.

O valor de EMQ obtido por Godinho (2021) está dentro do limite de tolerância da DGT, 0,75 m para o NdD2. Embora esse valor esteja em conformidade com as normas, o autor concluiu que, se o objetivo for adquirir todos os objetos conforme os critérios estabelecidos nas normas de aquisição e atingir o mesmo nível de qualidade da estereorrestituição, a resposta seria negativa. No entanto, se o objetivo for a representação cartográfica na escala de 1:25.000, a resposta é positiva, embora com algumas limitações.

A maioria dos objetos, especialmente aqueles relacionados com vias de comunicação e vegetação, apresentou uma qualidade posicional suficiente para ser aproveitada na elaboração de novos produtos ou na atualização de dados existentes nessa escala. Contudo, os resultados mostraram que a qualidade insuficiente do MDS utilizado na ortorretificação das fotografias aéreas foi um fator limitante. Em geral, os objetos que apresentaram melhor desempenho foram aqueles com "altura insignificante" e fácil identificação nas ortofotografias.

Maia (2015) determinou um EMQ com valores inferiores a 0,18 m. Para garantir a precisão dos resultados, foram utilizados oito pontos de controlo. As ortofotografias foram geradas com resolução espacial de 0,07 m para uma área da cidade de Coimbra, que foi coberta por sete faixas de voo, resultando em um total de 35 fotografias aéreas. O baixo valor de EMQ pode ser atribuído à combinação da alta resolução espacial das fotografias aéreas e ao número relativamente reduzido de imagens a serem ortorretificadas.

6. Conclusão

Este projeto reforça a importância da Fotogrametria Aérea e das suas técnicas para o desenvolvimento de informação geoespacial precisa. Através de um processo fotogramétrico rigoroso desde a obtenção dos pontos fotogramétricos indispensáveis à triangulação aérea, à geração do Modelo Digital de Superfície e por fim à ortoretificação, foi possível produzir ortofotografias de alta exatidão, essenciais a uma vasta utilização quer interna quer externa ao CC.

O principal desafio deste processo fotogramétrico é a triangulação aérea. Embora seja um processo automático, é a operação mais morosa e exigente para o operador fotogramétrico devido à medição repetitiva de todos os PF's aliado à extensa área da cobertura aérea.

A ortoretificação sendo também um processo automático é o mais rápido, embora, pontualmente sejam necessárias pequenas correções ao Modelo Digital de Superfície para corrigir deformações na ortofotografia, causadas pelo deslocamento devido ao relevo.

Neste projeto, foi necessário executar em campo 17 pontos de controlo, para a análise da exatidão posicional planimétrica, baseada no Erro Médio Quadrático. Os pontos já existentes no CC não eram suficientes para uma correta análise. Desta análise estatística resultou um EMQ de 0,334 m, e 100% dos pontos de controlo dentro dos limites estabelecidos pela CartTop da Direção-Geral do Território para o Nível de Detalhe 2 (NdD2).

Este projeto não só renovou conhecimentos teóricos já estabelecidos, como também consolidou as técnicas fotogramétricas práticas adquiridas ao longo de duas décadas de trabalho no CC.

O projeto cumpriu os seus objetivos, demonstrando que, com a aplicação de tecnologias avançadas como os produtos da família *Hexagon*® e a cumprimento das rigorosas normas e especificações técnicas da entidade reguladora, a Direção-Geral do Território, é possível garantir a produção de ortofotografias de elevada qualidade.

Bibliografia

Berberan, A. (2003). Elementos de Fotogrametria: aplicada à aquisição de informação geográfica.

Casaca J., Matos J., Baio M. (2005) Topografia Geral. LIDEL – Edições técnicas 4ª Edição, Lisboa, ISBN 972-757-339-8.

Costa, R. (2011). II Encontro de Sistemas de Informação Geográfica. Aplicações SIG em Recursos Agro-florestais e Ambientais.

DIAP (2020). Departamento de Impactes Ambientais e Patrimoniais da EDIA. Guia de Boas práticas agroambientais.

Direção-Geral do Território (DGT) (2013). Normas Técnicas de Produção e Reprodução de Cartografia e Ortofotocartografia à escala 1:10000.

Direção-Geral do Território (DGT) (2024). Normas e Especificações Técnicas para a Cartografia Topográfica Vetorial e de Imagem V2.0.1.

EDIA - Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva (2023). Anuário Agrícola de Alqueva 2023.

EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva. Página Empreendimento de Fins Múltiplos (2024).

EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva. Página quem somos (2024)

EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva (2022). Caderno de Encargos para a prestação de serviços para a aquisição de cobertura aerofotogramétrica da área de Influência do Empreendimentos de Fins Múltiplos de Alqueva.

Godinho, C. E. D. (2021). Informação cartográfica para a Carta Militar 1:25000 a partir de imagens ortorretificadas: - Análise de adequabilidade (Master's thesis, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa).

Gonçalves, G. R. (2005). Elementos de Fotogrametria Analítica. Departamento de Matemática.

Gonçalves, G. (2024). Fotogrametria Digital – Textos de Apoio Universidade de Coimbra.

Graham, R., & Koh, A. (2002). Digital aerial survey: theory and practice. CRC Press.

Groetelaars, N., & Amorim, A. (2004). Técnicas de restituição fotogramétricas digitais aplicadas à Arquitetura: um estudo de caso. In COBRAC 2004· Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC: Florianópolis (pp. 1-12).

Gruner, H. (1977). Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 43, No. 5, pp. 569-574.

Henriques, M. J., Manta, V., Marnoto, J. (2015). Avaliação da qualidade posicional: aplicação a um levantamento realizado em Coimbra utilizando VANT. Atas das I Jornadas Lusófonas de Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica, 10(43), 722-747.

Hexagon. (2006). Case Study: Producing Vital Data to Optimize Water Resources and Economic Development.

ISAE Help. (2021). ImageStation Automatic Elevations Help.

ISAT Help. (2021). ImageStation Automatic Triangulation Help.

ISOP Help. (2021). ImageStation OrthoPro Help.

Maia, P. M. A. M. (2015). Estudo comparativo de novas metodologias para geração de ortofotomapas em ambiente de produção (Master's thesis, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto).

Matos, J. (2007a). *Fotogrametria*. Instituto Superior Técnico de Lisboa.

Matos, J. (2007b). *Modelos Digitais de Terreno*. Instituto Superior Técnico de Lisboa.

Municípia S.A. (2022). Relatório Detalhado Cobertura Aérea EDIA2022.

Murteira, M. J. B. (2009). Caracterização da qualidade da água para rega nas captações do sistema Alqueva-Pedrogão (Master's thesis, Universidade de Évora).

Redweik, P. (2007). Fotogrametria aérea. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág, 3.

Redweik, P., Roque, D., Marques, A., Matildes, R., & Marques, F. (2009). Recovering Portugal aerial images repository. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 38, 1-4.

RTCAP (2014). Regulamento Técnico das Coberturas Aerofotográficas para Fins Civis em Portugal da Direção-Geral do Território.

Sanches, R., & Pedro, J. (2006). Alqueva. Empreendimento de Fins Múltiplos. EDIA. Portugal: Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, SA.

Tsarovski, S. (2015). Accuracy Evaluation and Quality Control of Digital Orthomap-Sheets. In Proceedings of the FIG Working Week

Anexo 1 – Relatório da Triangulação Aérea

**** Program name : ImageStation Photo Triangulation eXtreme

**** Program version : 16.07.0000.00133

**** File TimeStamp : 09/29/2021 02:55

**** Copyright 2000 - 2018 Intergraph Corp. All Rights Reserved.

Project Options

==========

Project Path	: G:\EFMA2022\BLOCO_3\B1
Atmospheric Flag	: OFF
Earth Curvature Flag	: OFF
Linear & Angular Units	: Meters & Degrees
Coordinate System Info	: EUREF89 (ETRS89) - Transverse Mercator (m) Cascais
Flying Height	: 2646.9
Average Elevation	: 173.0
Ground Sampling Distance	: 0.25
Photo Scale	: 1:20616

[06:35:11] Hora de Verão de GMT: Sat April 01, 2023: PhotoTCmd 16.07.0000.00133: Logging started.

Photo Block Validation

==========

Block name	: B1
Number of selected photos	: 2258
Number of AT-block photos	: 2258

AT Block Dimensions

==========

Block size	: 1 cameras 43 strips 2258 photos 17153 points 87692 image points
	: 46 control/check points
	: 15332 photo-photo connections per block

Graph max dimensions:

: 63 max rays per photo

: 8 max rays per point

: 20 max connections per photo

Bundle Adjustment Options

==========

Adjustment Mode : Absolute

Precision Computation : OFF

Error Detection : ON

Given EO : ON

Antenna Offsets : OFF

GPS Shift/Drift Correction : OFF

INS Shift/Drift Correction : OFF

Camera Calibration Focal Length : OFF

Camera Calibration PPAC : OFF

Self-Calibration : OFF

Datum Self-Calibration : OFF

Observation Mean Standard Deviations:

Image points: : 0.0050 [mm] (0.42 [pix])

Control (X,Y,Z): : 0.100, 0.100, 0.100 [linear unit]

Given EO (X,Y,Z): : 0.010, 0.011, 0.020 [linear unit]

Given EO (W,P,K): : 0.0030, 0.0030, 0.0101 [deg]

Computing XYZ approximations...

Apriori image residual statistics on 16764 multi-ray points [pix]:

==========

Total (86901 rays): apriori bundle collinearity image residual statistics:

mean(vx,vy)= (0.0359, 0.0158) std(vx,vy) = (1.080, 0.533) max|vx,vy| = (19.566, 7.857)

Pass-point-only (12372 rays): apriori bundle collinearity image residual statistics:

mean(vx,vy)= (0.0054, 0.0001) std(vx,vy) = (0.383, 0.514) max|vx,vy| = (8.658, 6.851)

Tie-point-only (74394 rays): apriori bundle collinearity image residual statistics:

mean(vx,vy)= (0.0410, 0.0185) std(vx,vy) = (1.156, 0.536) max|vx,vy| = (19.566, 7.857)

Control-point-only (135 rays): apriori bundle collinearity image residual statistics:

mean(vx,vy)= (-0.0037, 0.0053) std(vx,vy) = (0.607, 0.638) max|vx,vy| = (3.665, 2.639)

Full control or check point (135 rays): apriori image discrepancy statistics:

mean(vx,vy)= (-0.3540,-0.2386) std(vx,vy) = (41.883,52.600) max|vx,vy| = (76.455,128.397)

found 128 non-gross blunders above 11.246850 [pix] of magnitude

found 7 gross blunders above 28.117126 [pix] of magnitude

excluding user-withheld image points

Using in Bundle Adjustment: 2258 photos, 17153 points, 87692 rays

Bundle Adjustment being computed using 8 threads...

==========

Iteration # 1

Solving...

Max photo EO delta (position(XY,Z)[Linear unit], attitude[deg]): (0.0214, 0.1199), 0.1073;

Photos: 2 converged, 2256 adjusted, 0 arrested;

Max point XYZ delta (XY,Z) [Linear unit]: (5.7078, 54.5198);

Sigma [pix]: 0.465938. Percent decrease: 30.730

Iteration # 2

Solving...

Max photo EO delta (position(XY,Z)[Linear unit], attitude[deg]): (0.0020, 0.0161), 0.0078;

Photos: 1900 converged, 358 adjusted, 0 arrested;

Max point XYZ delta (XY,Z) [Linear unit]: (2.2683, 3.3991);

Sigma [pix]: 0.473170. Percent decrease: -1.552

Points: 3240 converged, 9037 adjusted, 4876 arrested;

Iteration # 3

Applying blunder detection...

Solving...

Points: 3240 converged, 4876 adjusted, 9037 arrested;

Max photo EO delta (position(XY,Z)[Linear unit], attitude[deg]): (0.0047, 0.0342), 0.0061;

Photos: 221 converged, 2037 adjusted, 0 arrested;

Max point XYZ delta (XY,Z) [Linear unit]: (1.0268, 50.4892);

Sigma [pix]: 0.366441. Percent decrease: 4.456

Iteration # 4

Applying blunder detection...

Solving...

Max photo EO delta (position(XY,Z)[Linear unit], attitude[deg]): (0.0018, 0.0088), 0.0057;

Photos: 790 converged, 1468 adjusted, 0 arrested;

Max point XYZ delta (XY,Z) [Linear unit]: (1.0358, 46.4459);

Sigma [pix]: 0.340253. Percent decrease: 7.147

Iteration # 5

Applying blunder detection...

Solving...

Max photo EO delta (position(XY,Z)[Linear unit], attitude[deg]): (0.0020, 0.0063), 0.0051;

Photos: 1021 converged, 1237 adjusted, 0 arrested;

Max point XYZ delta (XY,Z) [Linear unit]: (0.6888, 51.1246);

Sigma [pix]: 0.323503. Percent decrease: 4.923

Iteration # 6

Applying blunder detection...

Solving...

Max photo EO delta (position(XY,Z)[Linear unit], attitude[deg]): (0.0015, 0.0060), 0.0059;

Photos: 1076 converged, 1182 adjusted, 0 arrested;

Max point XYZ delta (XY,Z) [Linear unit]: (0.6295, 50.4461);

Sigma [pix]: 0.314846. Percent decrease: 2.676

Iteration # 7

Applying blunder detection...

Solving...

Max photo EO delta (position(XY,Z)[Linear unit], attitude[deg]): (0.0013, 0.0054), 0.0050;

Photos: 1316 converged, 942 adjusted, 0 arrested;

Max point XYZ delta (XY,Z) [Linear unit]: (0.5098, 49.3744);

Sigma [pix]: 0.308246. Percent decrease: 2.097

Iteration # 8

Applying blunder detection...

Solving...

Max photo EO delta (position(XY,Z)[Linear unit], attitude[deg]): (0.0016, 0.0059), 0.0051;

Photos: 1426 converged, 832 adjusted, 0 arrested;

Max point XYZ delta (XY,Z) [Linear unit]: (0.6458, 50.6121);

Sigma [pix]: 0.303294. Percent decrease: 1.606

Applying robust removal...

withheld 486 robust blunders above 3.25 [pix]

Iteration # 9

Solving...

Max photo EO delta (position(XY,Z)[Linear unit], attitude[deg]): (0.0048, 0.0418), 0.0148;

Photos: 80 converged, 2178 adjusted, 0 arrested;

Max point XYZ delta (XY,Z) [Linear unit]: (1.0505, 31.5434);

Sigma [pix]: 0.454109. Percent decrease: 17.642

Iteration # 10

Solving...

Max photo EO delta (position(XY,Z)[Linear unit], attitude[deg]): (0.0016, 0.0050), 0.0005;

Photos: 2258 converged, 0 adjusted, 0 arrested;

Max point XYZ delta (XY,Z) [Linear unit]: (0.0006, 0.1843);

Sigma [pix]: 0.454089. Percent decrease: 0.004

Points: 5567 converged, 8402 adjusted, 3184 arrested;

Posteriori discrepancy for 274 control/check point rays [pix]:

==========

mean(vx,vy)= (-0.5326,-0.4842) std(vx,vy) = (29.986, 37.472) max|vx,vy| = (83.747,129.766)

mean XYZ shift (computed - given)= (0.0080, 0.0016,21.3636) [Linear Unit]

Final Results:

==========

RMS of (x, y) image residuals [pix]: (0.29, 0.23).

Sigma [pix]: 0.454089

RMS of standardized image residuals: 0.730068

95%-percentile of image residuals [pix]: 0.904238

RMS of standardized EO (XY, Z) residuals: (0.249355, 0.367929)

RMS of standardized EO (WP, K) residuals: (2.592505, 2.820020)

RMS of standardized Control (XY, Z) residuals: (0.579833, 6.308132)

Number of effective DOF: 118176

Number of full-weight image observations: 168330

Number of fully adjusted photos: 2258 out of 2258

Number of small non-robust blunders above 3.985861 [pix] of magnitude: 772

Number of gross blunders above 18.276723 [pix] of magnitude: 12

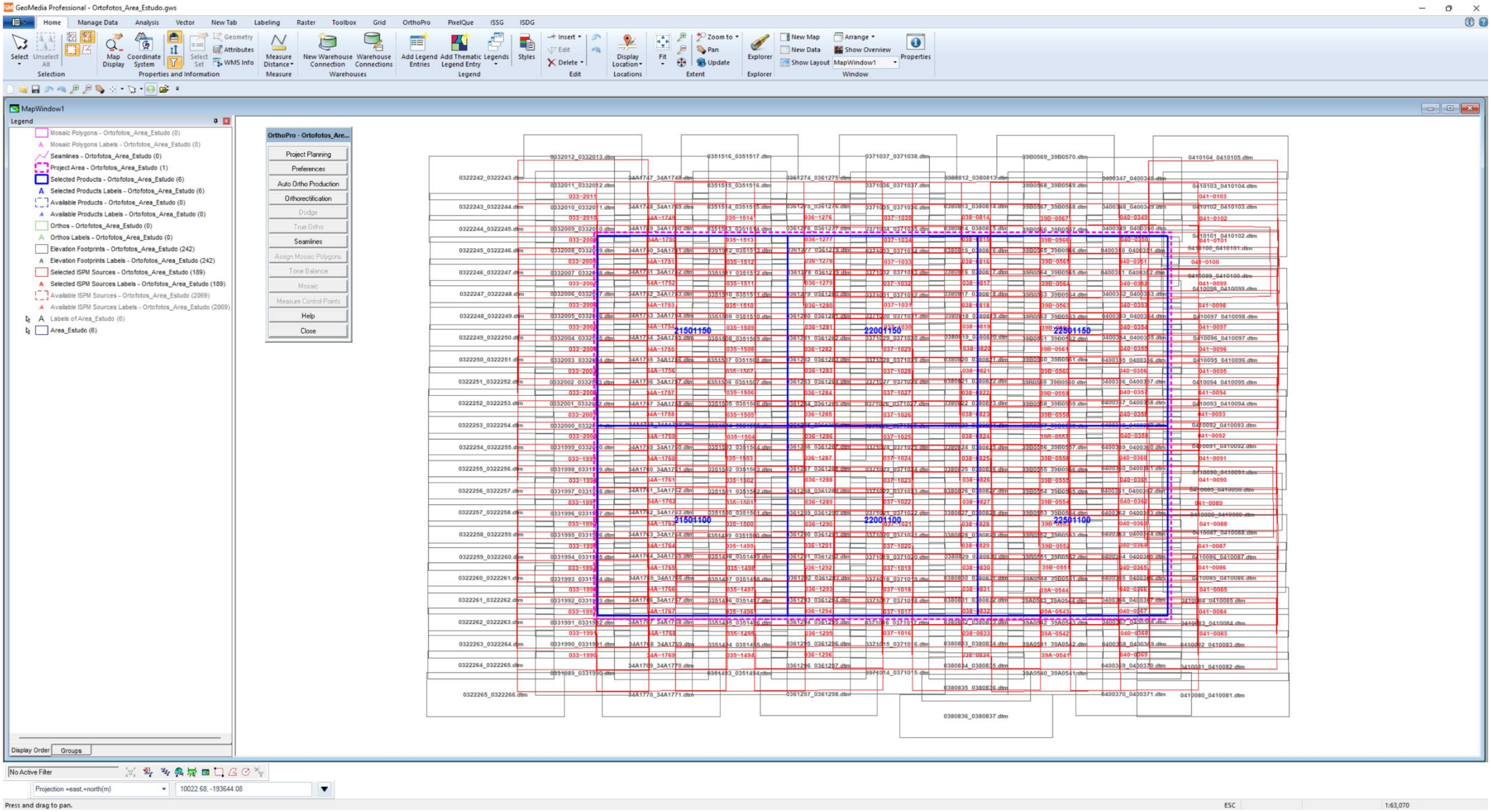
out of 87692 adjusted image points

Solution status: Success.

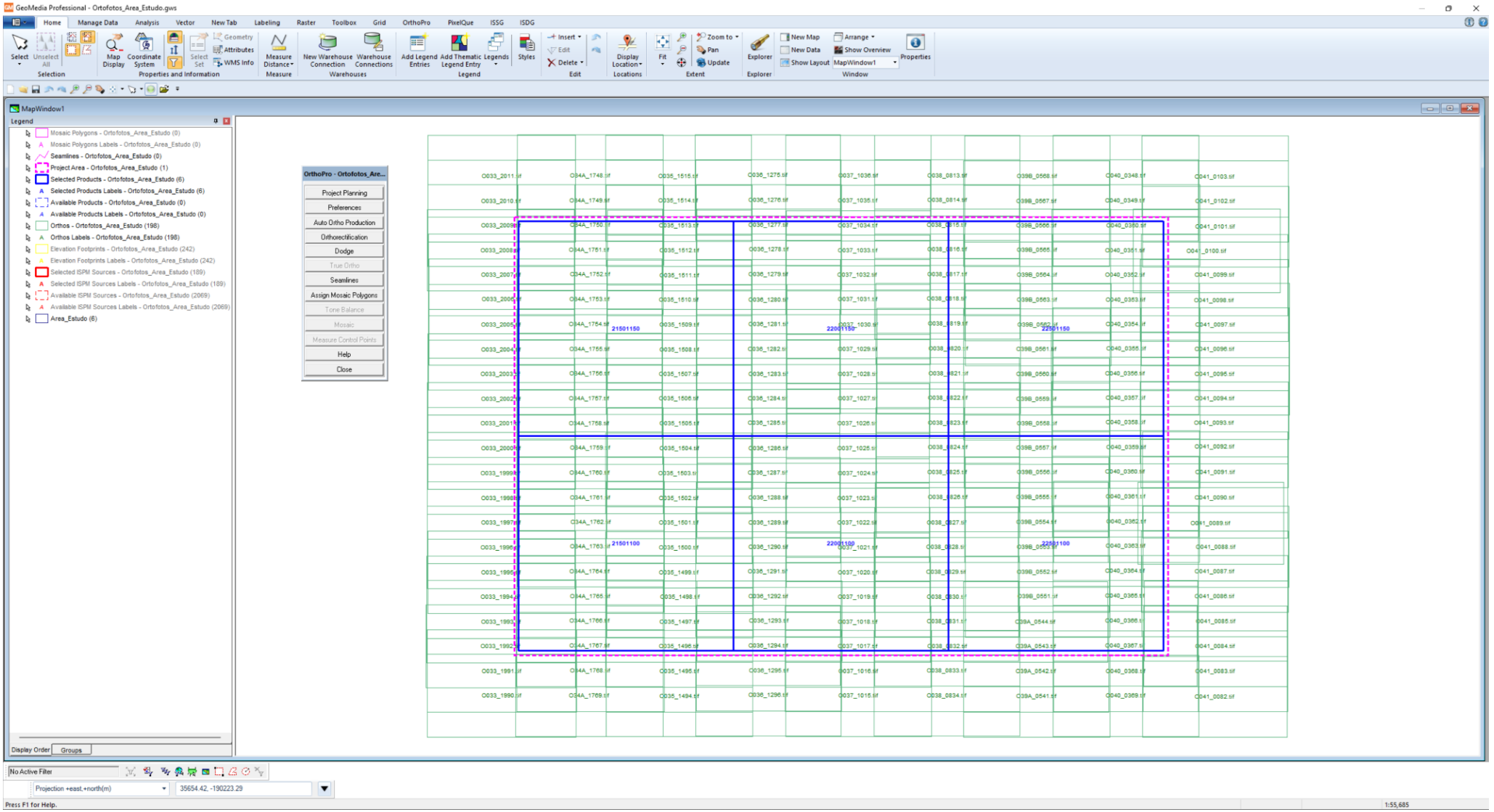
Total bundle adjustment time: 0.68 [sec].

[06:35:12] PhotoTCmd: Status= Ok. Logging finished.

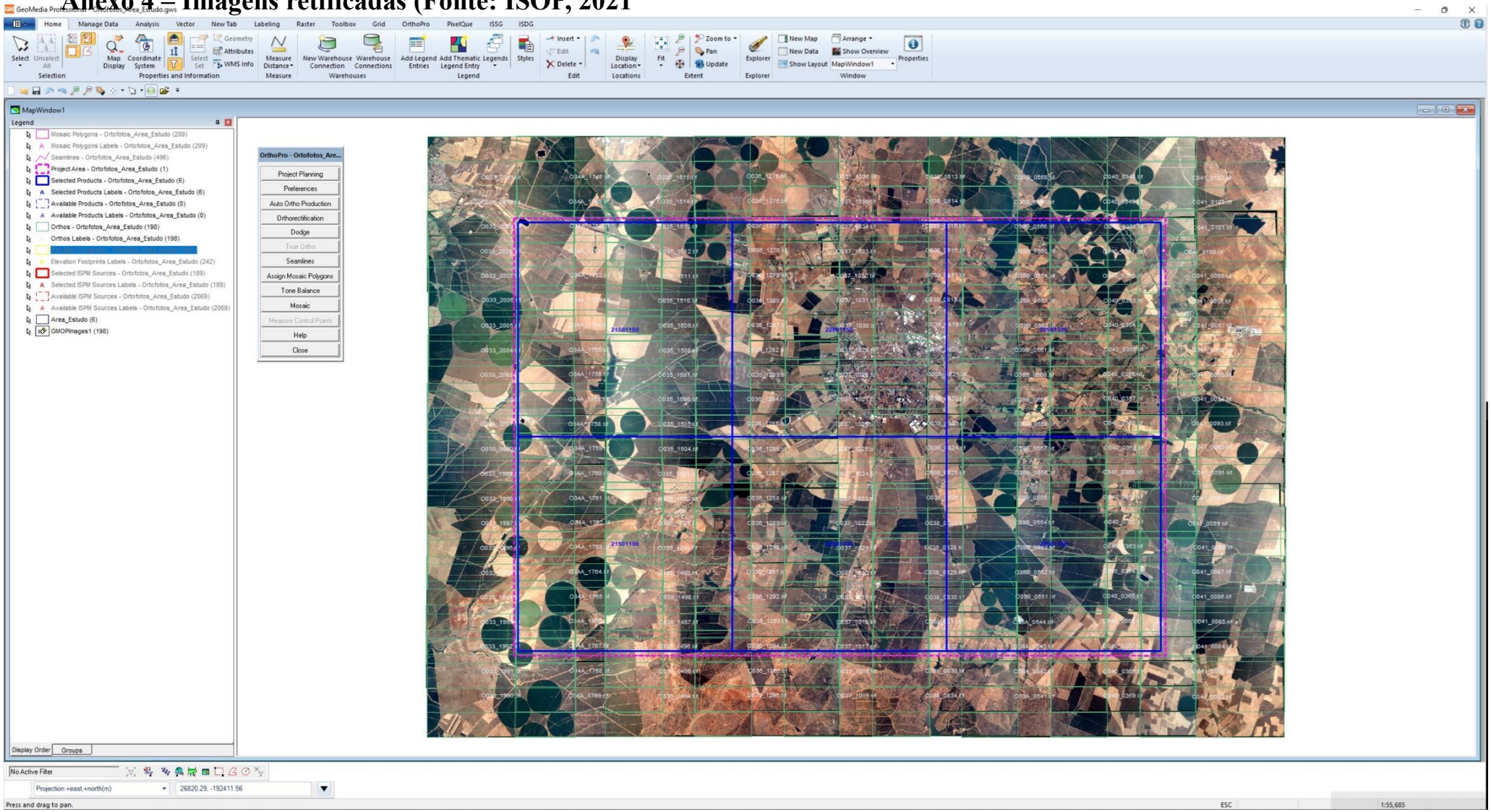
Anexo 2 – Apresentação geral do projeto no *OrthoPro* (Fonte: ISOP, 2021).



Anexo 3 –Projeto do *"OrthoPro"* (Fonte: ISOP, 2021).



Anexo 4 – Imagens retificadas (Fonte: ISOP, 2021



Anexo 5 – Tabela de Cálculo do EMQ (Fonte: Autor)

Quadrícula	PC	Coordenadas Terreno (C_T)		Coordenadas Ortofotos (C_O)		Desvios (C_T-C_O)		(AM^2+AP^2)	RaizQ(ΔM^2+ΔP^2)
		M (m)	P (m)	M (m)	P (m)	ΔM	ΔP		
215_115	PF00205117	17454.103	-180063.322	17454.570	-180063.370	-0.467	0.048	0.220	0.469
	PF00105097	19127.020	-183670.160	19127.210	-183670.130	-0.190	-0.030	0.037	0.192
	PF_15_2024	15092.806	-180076.879	15092.520	-180076.780	0.286	-0.099	0.092	0.303
	PF_14_2024	17125.222	-180324.046	17125.870	-180324.450	-0.648	0.404	0.583	0.764
	PF_13_2024	19889.852	-180981.476	19889.620	-180981.620	0.232	0.144	0.075	0.273
	PF_16_2024	17087.803	-184145.607	17087.830	-184145.440	-0.027	-0.167	0.029	0.169
220_115	PC58_Beja	24057.477	-182382.236	24057.460	-182382.050	0.017	-0.186	0.035	0.187
	PC56_Beja	23132.962	-184449.783	23133.040	-184449.620	-0.078	-0.163	0.033	0.181
	PC40_Beja	22594.222	-183584.539	22594.560	-183584.630	-0.338	0.091	0.123	0.350
	PC35_Beja	22742.227	-183041.204	22742.530	-183041.110	-0.303	-0.094	0.101	0.317
	PF_12_2024	23200.843	-184121.324	23200.820	-184121.220	0.023	-0.104	0.011	0.107
	PF_04_2024	24993.952	-184744.886	24994.360	-184744.660	-0.408	-0.226	0.218	0.466
225_115	PC45_Beja	28482.496	-182788.100	28482.700	-182788.090	-0.204	-0.010	0.042	0.204
	PC44_Beja	28347.415	-182634.035	28347.300	-182633.810	0.115	-0.225	0.064	0.253
	PF_07_2024	26756.045	-180186.130	26756.190	-180186.323	-0.145	0.193	0.058	0.241
	PF_06_2024	28539.395	-180548.691	28539.330	-180548.940	0.065	0.249	0.066	0.257
215_110	PC06_Beja	18686.797	-186724.431	18687.140	-186724.540	-0.343	0.109	0.130	0.360
	PC10_Beja	19215.270	-186753.490	19215.520	-186753.640	-0.250	0.150	0.085	0.292
	PC17_Beja	16479.068	-185483.450	16479.230	-185483.380	-0.162	-0.070	0.031	0.176
	PC18_Beja	15496.584	-186846.322	15496.950	-186846.250	-0.366	-0.072	0.139	0.373
	PC20_Beja	16776.730	-188999.129	16776.850	-188999.530	-0.120	0.401	0.175	0.419
220_110	PF079_01	23142.140	-187613.745	23142.360	-187613.710	-0.220	-0.035	0.050	0.223
	PF_08_2024	24896.210	-189201.050	24896.080	-189200.550	0.130	-0.500	0.267	0.517
	PF_09_2024	22990.724	-188304.676	22990.770	-188304.310	-0.046	-0.366	0.136	0.369
	PF_10_2024	21479.323	-187722.382	21479.370	-187722.250	-0.047	-0.132	0.020	0.140
	PF_21_2024	20118.491	-187364.591	20118.690	-187364.540	-0.199	-0.051	0.042	0.205
	PF_11_2024	23400.781	-185357.570	23400.920	-185357.390	-0.139	-0.180	0.052	0.227
225_110	PF_05_2024	25229.024	-185537.285	25229.220	-185537.240	-0.196	-0.045	0.040	0.201
	PF_03_2024	29072.954	-186142.872	29072.860	-186142.600	0.094	-0.272	0.083	0.288
	PF_01_2024	27214.237	-187588.794	27214.590	-187588.370	-0.353	-0.424	0.304	0.552
	PF_02_2024	29727.161	-188258.209	29727.250	-188257.870	-0.089	-0.339	0.123	0.350

Anexo 6 – Fichas dos Pontos de Controlo

EDIA		EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A. Centro de Cartografia Departamento Certificado de Acordo com a Norma ISO: 9001:2015 no âmbito da "Produção e fiscalização cartográfica, topografia e cadastro."	EDIA

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_01_2024

Esboço:

Sentido do voo:

FIADA N.º 39B

FOTOGRAFIA N.º 0553

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto caixa de hidrante.
Altura: 1.18 m.

COTA NO TERRENO	**212.057**
COTA NO PONTO	**213.237**

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
27214.237	**-187588.794**	**212.057**	**213.237**

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

Operador: Pedro/Sandra Data: 28/06/2024 Local: Beja

FS_001_05

EDIA		EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A. Centro de Cartografia Departamento Certificado de Acordo com a Norma ISO: 9001:2015 no âmbito da "Produção e fiscalização cartográfica, topografia e cadastro."	EDIA

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_02_2024

Esboço:

Sentido do voo:

FIADA N.º 040

FOTOGRAFIA N.º 0364

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto de lancil.

COTA NO TERRENO	**181.954**
COTA NO PONTO	

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
29727.161	**-188258.209**	**181.954**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

Operador: Pedro/Sandra Data: 28/06/2024 Local: Beja

FS_001_05

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_03_2024

Esboço:

Sentido do voo:

FIADA N.º 040

FOTOGRAFIA N.º 0360

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto de muro.
Altura: 0.95 m.

COTA NO TERRENO	**196.234**
COTA NO PONTO	**197.184**

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
29072.954	**-186142.872**	**196.234**	**197.184**

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

Operador: Pedro/Sandra Data: 28/06/2024 Local: Beja

FS_001_05

EDIA		EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A. Centro de Cartografia Departamento Certificado de Acordo com a Norma ISO: 9001:2015 no âmbito da "Produção e fiscalização cartográfica, topografia e cadastro."	EDIA

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_04_2024

Esboço:

Sentido do voo: ↓

FIADA N.º 038

FOTOGRAFIA N.º 0823

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto de muro.

COTA NO TERRENO	**218.505**
COTA NO PONTO	

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
24993.952	**-184744.886**	**218.505**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

FS_001_05

Operador: Pedro/Sandra Data: 29/06/2024 Local: Beja

EDIA		EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A. Centro de Cartografia Departamento Certificado de Acordo com a Norma ISO: 9001:2015 no âmbito da "Produção e fiscalização cartográfica, topografia e cadastro."	EDIA

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_05_2024

Esboço:

Sentido do voo:

FIADA N.º 038

FOTOGRAFIA N.º 0824

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Centro de caixa esgoto.

COTA NO TERRENO	**239.051**
COTA NO PONTO	

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
25229.024	**-185537.285**	**239.051**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

Operador: Pedro/Sandra Data: 29/06/2024 Local: Beja

FS_001_05

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_06_2024

Esboço:

Sentido do voo:

FIADA N.º 040

FOTOGRAFIA N.º 0351

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto de hidrante.
Altura 0.85 m.

COTA NO TERRENO	**165.807**
COTA NO PONTO	**166.657**

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
28539.395	**-180548.691**	**165.807**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

FS_001_05

Operador: Pedro/Sandra Data: 28/06/2024 Local: Beja

EDIA		EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A. Centro de Cartografia Departamento Certificado de Acordo com a Norma ISO: 9001:2015 no âmbito da "Produção e fiscalização cartográfica, topografia e cadastro."	EDIA

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_07_2024

Esboço:

Sentido do voo:

FIADA N.º 39B

FOTOGRAFIA N.º 0566

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto de tanque.
Altura: 1.75 m.

COTA NO TERRENO	**167.199**
COTA NO PONTO	**168.949**

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO**: PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
26756.045	**-180186.323**	**167.199**	**168.949**

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

FS_001_05

Operador: Pedro/Sandra Data: 28/06/2024 Local: Beja

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_08_2024

Esboço:

Sentido do voo:

FIADA N.º 038

FOTOGRAFIA N.º 0831

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto de hidrante.

COTA NO TERRENO	**205.499**
COTA NO PONTO	

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
24896.080	**-189201.050**	**205.499**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

FS_001_05

Operador: Pedro/Sandra Data: 28/06/2024 Local: Beja

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_09_2024

Esboço:

Sentido do voo:

FIADA N.º 037

FOTOGRAFIA N.º 1020

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Centro de tampa de esgoto.

COTA NO TERRENO	**205.394**
COTA NO PONTO	

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
22990.724	**-188304.676**	**205.394**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

Operador: Pedro/Sandra Data: 29/06/2024 Local: Santa Clara do Louredo

FS_001_05

EDIA		EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A. Centro de Cartografia Departamento Certificado de Acordo com a Norma ISO: 9001:2015 no âmbito da "Produção e fiscalização cartográfica, topografia e cadastro."	EDIA

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_10_2024

Esboço:

Sentido do voo: ↓

FIADA N.º 036

FOTOGRAFIA N.º 1290

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto de hidrante.

COTA NO TERRENO	**213.859**
COTA NO PONTO	

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO**: PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
21479.323	**-187722.382**	**213.859**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

FS_001_05

Operador: Pedro/Sandra Data: 29/06/2024 Local: Santa Clara do Louredo

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_11_2024

Esboço:

Sentido do voo:

FIADA N.º 037

FOTOGRAFIA N.º 1025

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto de calçada.

COTA NO TERRENO	**243.446**
COTA NO PONTO	

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
23400.781	**-185357.570**	**243.446**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

FS_001_05

Operador: Pedro/Sandra Data: 29/06/2024 Local: Beja

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_12_2024

Esboço:

Sentido do voo:

FIADA N.º 037

FOTOGRAFIA N.º 1027

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Centro de tampa de esgoto.

COTA NO TERRENO	**244.704**
COTA NO PONTO	

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
23200.843	**-184121.324**	**244.704**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

Operador: Pedro/Sandra Data: 29/06/2024 Local: Beja

FS_001_05

EDIA		EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A. Centro de Cartografia Departamento Certificado de Acordo com a Norma ISO: 9001:2015 no âmbito da "Produção e fiscalização cartográfica, topografia e cadastro."	EDIA

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_13_2024

Esboço:

Sentido do voo: ↓

FIADA N.º 036

FOTOGRAFIA N.º 1279

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto de passeio.

COTA NO TERRENO	**204.290**
COTA NO PONTO	

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
19889.852	**-180981.476**	**204.290**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

FS_001_05

Operador: Pedro/Sandra Data: 28/06/2024 Local: Beja

EDIA		EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A. Centro de Cartografia Departamento Certificado de Acordo com a Norma ISO: 9001:2015 no âmbito da "Produção e fiscalização cartográfica, topografia e cadastro."	EDIA

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_14_2024

Esboço:

Sentido do voo: ↓

FIADA N.º 34A

FOTOGRAFIA N.º 1750

ALT. DO BASTÃO(m): 2.49

Descrição: Canto de muro.
Altura do muro 2.49 m

COTA NO TERRENO	**189.522**
COTA NO PONTO	**192.012**

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
17125.222	**-180324.046**	**189.522**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

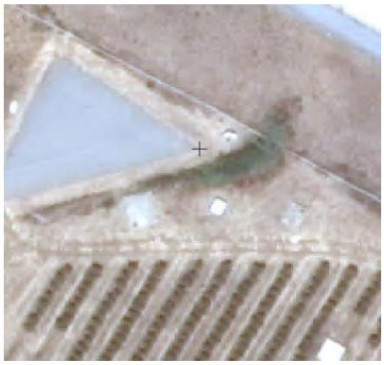
FS_001_05

Operador: Pedro/Sandra Data: 28/06/2024 Local: Beja

EDIA		EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, S.A. Centro de Cartografia Departamento Certificado de Acordo com a Norma ISO: 9001:2015 no âmbito da "Produção e fiscalização cartográfica, topografia e cadastro."	EDIA

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_15_2024

Esboço:



Sentido do voo

FIADA N.º 033

FOTOGRAFIA N.º 2009

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto de placa de estacionamento.

COTA NO TERRENO	**208.074**
COTA NO PONTO	

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
15092.806	**-180076.879**	**208.074**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

Operador: Pedro/Sandra Data: 28/06/2024 Local: Beja

FS_001_05

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_16_2024

Esboço:

Sentido do voo:

FIADA N.º 34A

FOTOGRAFIA N.º 1757

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto de caixa.

COTA NO TERRENO	**194.027**
COTA NO PONTO	

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
17087.803	**-184145.607**	**194.027**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

FS_001_05

Operador: Pedro/Sandra Data: 28/06/2024 Local: Beja

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_17_2024

Esboço:

Sentido do voo:

FIADA N.º 34A

FOTOGRAFIA N.º 1759

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto de hidrante.

COTA NO TERRENO	**186.695**
COTA NO PONTO	

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
16479.068	**-185483.45**	**186.695**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

FS_001_05

Operador: Pedro/Sandra Data: 29/06/2024 Local: Penedo Gordo

Projeto: Beja - Alqueva
Ponto Fotogramétrico Nº: PF_21_2024

Esboço:

Sentido do voo:

FIADA N.º 036

FOTOGRAFIA N.º 1290

ALT. DO BASTÃO(m): 2.00

Descrição: Canto de hidrante.
Altura: 1.00 m.

COTA NO TERRENO	**204.759**
COTA NO PONTO	**205.759**

SISTEMA DE REFERENCIAÇÃO: **PT-TM06/ETRS89**

Coordenadas			
M (m)	P (m)	Cota no Terreno (m)	Cota no Ponto (m)
20118.491	**-187364.591**	**204.759**	

ORIENTAÇÃO DA FOTOGRAFIA:

OBSERVAÇÕES:

Operador: Pedro/Sandra Data: 29/06/2024 Local: Santa Clara do Louredo

FS_001_05