

**Microtopografia obtida através de levantamentos VANT
para estudos de tectónica activa**

Rui Afonso Caldas Canedo Mateus Marques

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Geológica e de Minas

Orientadores: Professor Pedro Miguel Berardo Duarte Pina

Júri

Presidente: Professora Maria Teresa da Cruz Carvalho

Orientador: Professor Pedro Miguel Berardo Duarte Pina

Vogais: Doutora Sandra Isabel das Neves Heleno da Silva

Setembro 2021

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

Serve a presente página para agradecer a todos os intervenientes que directa ou indirectamente tiveram influência na concretização deste documento. Sem que seja seguida uma ordem assente num critério específico passo a elencar as diversas pessoas e entidades que permitiram a realização deste trabalho.

Agradeço ao Professor Pedro Pina que, enquanto meu orientador me prestou incansável apoio no direccionamento metodológico, no raciocínio, obtenção e aperfeiçoamento da grande maioria dos resultados obtidos. Agradeço também à Doutora Sandra Heleno pelos artigos, conselhos e apoio prestados aquando da fase de processamento.

Agradeço ao meu colega Vasco Miranda: Acompanhou toda a componente prática desta dissertação. Além de me ter apoiado na obtenção de inúmeros resultados, foi também essencial na concretização atempada de muitas imagens indispensáveis a esta dissertação.

Agradeço a todos os professores que tive, cientes disso ou não, foram contribuindo para a conclusão desta etapa.

Agradeço a todas as pessoas fantásticas que conheci no México.

Desde o Eng. Francisco Macedo – principal responsável pela minha ida – passando pelos Engenheiros Olaf Trejo; Carlos Rodriguez; Noel Delgado; Arianna Lemus; Jorge Alexis; Daniel Ortiz; Alonso Flores; Moya Garcia; Luis Angel e Neri que, durante o meu estágio tive a oportunidade de conhecer e que além de me terem recebido da melhor forma possível, me ajudaram a aprender sobre drones, engenharia de minas, planeamento e, acima de tudo, amizade.

Agradeço à Professora Teresa Carvalho, pelo espírito crítico, resiliência, assertividade e excelência incutidos ao longo de todos os anos, e todas as interacções e aulas e conversas e lições.

Agradeço aos meus amigos Bernardo Félix da Costa, Baltazar Cordeiro e David Conceição. Com eles, todo o meu percurso se tornou mais fácil. Eles sabem o apoio que foram.

Por fim, a todas as pessoas que me são mais chegadas e que nunca deixaram de me pressionar no melhor dos sentidos. Aos meus Irmãos João e Inês, ao meu Pai Rui e à minha Mãe Elisa, à Rita e ao meu avô Zézé que embora já não esteja comigo ainda influencia muito do que faço, como faço e como penso.

A todos os mencionados, que nuns dias mais, nuns dias menos, nunca deixaram de me apoiar. Muito obrigado.

Resumo

Os Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT – vulgarmente conhecidos por “drones”; apresentam-se hoje em dia com elevadas capacidades técnicas e tecnológicas. É absolutamente incontornável a aposta que tem sido feita por diversas actividades, científicas e industriais, no sentido de tirar partido desta tecnologia e das técnicas que lhe estão associadas.

É cada vez mais frequente o seu uso no âmbito da Engenharia Geológica e de Minas e das Ciências da Terra, ainda que o seu uso esteja numa fase inicial, esta tecnologia evolui de ano para ano. Começa já a fornecer avanços e a trazer benefícios significativos em algumas das suas actividades.

O principal objectivo desta dissertação foi, recorrendo a dados de muito elevada resolução espacial captados por VANT, gerar nuvens de pontos e modelos digitais de elevação que estivessem livres de vegetação superficial. A partir de modelos tratados tridimensionais cuja presença de vegetação foi tão minimizada quanto possível, pôs-se à prova a hipótese de esta metodologia detectar a presença de falhas geológicas que se sabia, *a priori*, existirem.

Esta detecção baseou-se em filtros cuja precisão dependeu directamente não só da qualidade das imagens obtidas, mas também da qualidade da classificação da categoria “vegetação”.

A zona de estudo fica situada no Vale do Rio Tejo, perto de Santarém. Foi escolhida por se tratar de uma localização de actividade tectónica comprovada, mas também por haver a possibilidade de colaborar com um projecto, (Helena, Pina, Bandeira, Vilanova, & Goyanes, ALTITUD3 - Assessment of Low-cost Aerial Intelligent systems for natural Terrain 3D mapping, 2018-A decorrer).

- ALTITUD3 – Assessment of Low-cost Aerial Intelligent systems for natural Terrain 3D mapping.

Este projecto, centra-se na fundação de protocolos de trabalho de campo referentes à aquisição de imagens utilizando VANT e no aperfeiçoamento de métodos de processamento de imagem que propiciem a obtenção de nuvens de pontos que permitam gerar modelos tridimensionais de elevado detalhe.

Além disso, poderá fornecer dados comparativos entre o uso da técnica *Structure from Motion* recorrendo a imagens de VANT e a tecnologia LiDAR no que diz respeito à conjugação de factores de qualidade, orçamento e exequibilidade.

Palavras-chave: Tectónica; UAV; *Structure from Motion*; DEM; *Watershed*; Alinhamento angular.

Abstract

About UAV – Unmanned Aerial Vehicles – they have nowadays high technical and technological capabilities. It is unquestionable the investment that has been made by various industries to take advantage of this technology and all the techniques associated.

Its use in Geological and Mining Engineering is becoming more and more common, although at an early stage, this technology is evolving very rapidly. It is already beginning to deliver and bringing significant benefits to some of its industrial activities.

The main objective of this work was, using very high spatial resolution data captured by UAV, to generate point clouds and digital terrain models that were free of surface vegetation. From three-dimensional treated models whose vegetation presence was minimized as much as possible, it was hypothesized that this technology could detect the presence of geological faults that were already known to exist.

This detection was based on filters whose accuracy depended directly not only on the quality of the images obtained, but also on the quality of the “vegetation” category classification.

All images were obtained in the Tagus River Valley. This was due to being a location in which there is known to be geological activity and because there was the possibility of collaborating with an ongoing project, (Heleno, Pina, Bandeira, Vilanova, & Goyanes, ALTITUD3 - Assessment of Low-cost Aerial Intelligent systems for natural Terrain 3D mapping, s.d.):

- ALTITUD3 – Assessment of Low-cost Aerial Intelligent systems for natural Terrain 3D mapping.

This projects main focus is establishing protocols for the acquisition of images using UAV and the improvement of image processing methods that enable obtaining point clouds that make possible the production of high detail three-dimensional models. Thankfully, it provided 100% of the data used in this master thesis.

In addition, it will be able to provide comparative data between the use of the Structure from Motion technique using UAV and LiDAR technology regarding the combination of quality, budget, and feasibility factors.

Keywords: Tectonic; UAV; Structure from Motion; DEM; Watershed; Angular alignment.

Índice

Declaração.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract	v
Índice	vi
Lista de Figuras	vii
Lista de Acrónimos e Siglas.....	ix
1. Introdução.....	10
1.1. Contexto Científico.....	11
1.2. Definição do Problema.....	12
1.3. Fundamento Teórico.....	12
1.4. Estrutura do Documento	17
2. Revisão do Estado da Arte.....	18
2.1. Mapeamento – <i>Mapping</i>	19
2.2. Modelos Digitais de Superfície / <i>Structure from Motion</i>	20
2.3. Análise Global.....	22
3. Metodologia	24
3.1. Aquisição	25
3.2. Processamento	29
4. Resultados, Discussão e Limitações	40
4.1. Classificação de Nuvens de Pontos	40
4.2. Filtragem de DEMs	44
4.3. Comparativo: Falha / Filtro.....	44
5. Conclusão.....	48
5.1. Contribuição desta Dissertação	48
5.2. Trabalho Futuro	49
6. Bibliografia	50
ANEXO A	53
ANEXO B	58
ANEXO C	60
ANEXO D	61

Lista de Figuras

Figura 1:1 - Componente prática da dissertação.....	10
Figura 1:2 - Ilustração do método de escolha do equipamento a utilizar para dada finalidade.....	14
Figura 1:3 - Representação da técnica SfM.	15
Figura 1:4 - Esquema estrutural da dissertação.	17
Figura 2:1 - Imagem adaptada de (Nex & Remondino, 2013).	19
Figura 2:2 - Visão 3D da nuvem de pontos obtida no artigo mencionado (Chen, Li, Chang, Sofia, & Tarolli, 2015).	21
Figura 3:1 - Diagrama: etapas da metodologia.	24
Figura 3:2 - Equipamento utilizado, imagem retirada de www.dji.com	26
Figura 3:3 - Equipamento antes da sua montagem e visualização em tempo real da calibração.....	26
Figura 3:4 - Relatório de processamento – detalhes da aquisição.....	27
Figura 3:5 - Printscreen retirado do software AGISOFT METASHAPE.	28
Figura 3:6 - Esquema de acções, objectivos e outputs.	29
Figura 3:7 - Exemplos de nuvens tridimensionais de pontos: esparsa, à esquerda; densa, à direita. .	30
Figura 3:8 - Processo de classificação paramétrica.	32
Figura 3:9 - Esquema das categorias estipuladas.....	35
Figura 3:10 - Ciclo/iteração de classificação.	35
Figura 3:11 - Imagem adaptada de Scientific Volume Imaging (Scientific Volume Imaging - Watershed Segmentation - Explanation, s.d.).....	36
Figura 3:12 - Esquema representativo dos 16 resultados obtidos no processo de extracção de estruturas lineares.	37
Figura 3:13 - Exemplo dos efeitos visuais de cada um dos parâmetros Merge e Scale.	38
Figura 3:14 - Optimização do melhor resultado obtido: Scale fixo de 10, Merge de 99,5 à esquerda; Merge de 99,8 à direita.	39
Figura 4:1 - Representação visual da melhor combinação de parâmetros da classificação paramétrica, a ser: Cell Size = 4m; Distance = 1m; Angle=23°.	40
Figura 4:2 - Representação visual da melhor combinação de escolhas, tolerância de 30%.	41
Figura 4:3 - DEM resultante da classificação supervisionada com 30% de tolerância.	42
Figura 4:4 - Modelo tridimensional e DEM resultantes da classificação supervisionada com 30% de tolerância.	43
Figura 4:5 - Detalhe do DEM resultante da classificação supervisionada com 30% de tolerância.	43
Figura 4:6 - Melhor resultado obtido na filtragem: Scale de 10, Merge de 99,5.....	44
Figura 4:7 - Marcação, a amarelo, do azimuth real da falha detectada no terreno.	44
Figura 4:8 - A amarelo vivo, a falha identificada localmente.	45
Figura 4:9 - Duas famílias de falhas a vermelho e a amarelo-torrado.....	45
Figura 4:10 - Ângulo real da falha ~ 81°.	46
Figura 4:11 - Ângulo da família "vermelho" ~ 94°.	46
Figura 4:12 - Ângulo da família "amarelo-torrado" ~ 84°.	46

Figura Anexo A:1 - #1 - Cell size 4; Distance 1; Angle 45.....	53
Figura Anexo A:2 - #2 - Cell size 4; Distance 1,5; Angle 45.....	53
Figura Anexo A:3 - #3 - Cell size 4; Distance 2; Angle 45.....	54
Figura Anexo A:4 - #4 - Cell size 4; Distance 1; Angle 23.....	54
Figura Anexo A:5 - #5 - Cell size 4; Distance 1,5; Angle 23.....	55
Figura Anexo A:6 - #6 - Cell size 4; Distance 2; Angle 23.....	55
Figura Anexo A:7 - #7 - Cell size 4; Distance 1; Angle 12.....	56
Figura Anexo A:8 - #8 - Cell size 4; Distance 1,5; Angle 12.....	56
Figura Anexo A:9 - #9 - Cell size 4; Distance 2; Angle 12.....	57
Figura Anexo B:1 - 12 categorias, tolerância de 10%.	58
Figura Anexo B:2 - 12 categorias, tolerância de 20%.	58
Figura Anexo B:3 - 12 categorias, tolerância de 30%.	59
Figura Anexo C:1 - DEM da melhor classificação paramétrica dos pontos - Cell size 4; Distance 1; Angle 23.....	60
Figura Anexo C:2 - DEM da melhor classificação supervisionada dos pontos - Tolerância de 30%. ...	60
Figura Anexo D:1 - #1 Merge 60; Scale 10.	61
Figura Anexo D:2 - #2 Merge 60; Scale 20.	61
Figura Anexo D:3 - #3 Merge 60; Scale 30.	62
Figura Anexo D:4 - #4 Merge 60; Scale 40.	62
Figura Anexo D:5 - #5 Merge 80; Scale 10.	63
Figura Anexo D:6 - #6 Merge 80; Scale 20.	63
Figura Anexo D:7 - #7 Merge 80; Scale 30.	64
Figura Anexo D:8 - #8 Merge 80; Scale 40.	64
Figura Anexo D:9 - #9 Merge 90; Scale 10.	65
Figura Anexo D:10 - #10 Merge 90; Scale 20.	65
Figura Anexo D:11 - #11 Merge 90; Scale 30.	66
Figura Anexo D:12 - #12 Merge 90; Scale 40.	66
Figura Anexo D:13 - #13 Merge 99; Scale 10.	67
Figura Anexo D:14 - #14 Merge 99; Scale 20.	67
Figura Anexo D:15 - #15 Merge 99; Scale 30.	68
Figura Anexo D:16 - #16 Merge 99; Scale 40.	68
Figura Anexo D:17 - Otimização: Merge 99,5; Scale 10. Melhor resultado obtido.....	69
Figura Anexo D:18 - Otimização: Merge 99,8; Scale 10.	69

Lista de Acrónimos e Siglas

LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MDE / DEM	Modelo Digital de Elevação / <i>Digital Elevation Model</i>
MDS / DSM	Modelo Digital de Superfície / <i>Digital Surface Model</i>
MDT / DTM	Modelo Digital de Terreno / <i>Digital Terrain Model</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i> / Sistema de Posicionamento Global
GNSS	Global Navigation Satellite Systems / Sistemas Globais de Navegação via Satélite
VANT / UAV	Veículo(s) Aéreo(s) Não Tripulado(s) / <i>Unmanned Aerial Vehicle</i>

1. Introdução

Esta dissertação debruça-se sobre a aplicabilidade de uma tecnologia emergente, não intrusiva, no estudo pormenorizado de estruturas tectónicas. Através do uso de sensores acoplados em veículos aéreos não tripulados, de agora em diante chamados de “VANT”, obtiveram-se modelos digitais tridimensionais de superfície e de terreno com resoluções bastante superiores a todas as anteriores obtidas com outras técnicas. Estes modelos digitais tridimensionais surgiram do uso de dois *softwares* típicos deste domínio de aplicação prática: METASHAPE (Agisoft LLC) e ENVI (L3Harris Geospatial). Os resultados finais são representações matemáticas e descrições digitais com muito mais detalhe do mundo físico observado. Além disso procurou desenvolver-se um método que permitisse a correcta classificação e conseqüente distinção entre os denominados “pontos de terreno” e os “pontos de vegetação” (pontos não interessantes que mascaram a superfície de terreno e que não podem ser considerados nos modelos de relevo) sendo que cada uma destas categorias deveu o seu nome, idealmente, à porção de terreno ou à porção de vegetação que, no mundo físico, foram captados pelo sensor utilizado e que devem, idealmente, ser colocados em cada uma das respectivas categorias. Esta separação surgiu de um processo de optimização de diversos métodos de classificação e filtragem de pontos, organizando-se esta dissertação tal como representado na Figura 1:1; em que fica expressa a existência de dois domínios de aplicação: um referente ao uso dos VANT para aquisição de dados e outro referente ao processamento desses dados, via *software*.

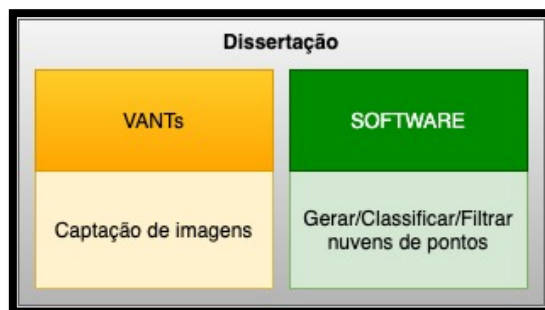


Figura 1:1 - Componente prática da dissertação.

É de salientar a importância que a distinção entre terreno e vegetação teve nesta dissertação: uma vez que se pretendia uma caracterização tão minuciosa quanto possível da superfície terrestre, toda a vegetação surgia como um obstáculo à correcta leitura das regularidades/irregularidades encontradas. Tornou-se, portanto, imperativa a correcta classificação da vegetação para que pudesse posteriormente ser removida deixando apenas os “pontos de terreno” de interesse para serem alvo da análise.

Na fase final dos procedimentos, e através dos resultados obtidos, foi possível identificar todas as potencialidades do uso dos VANT neste tipo de aplicações, bem como identificar algumas limitações.

Partiu-se assim de uma ideia inicial de desenvolver uma dissertação que permita obter avanços na identificação de estruturas de tectónica activa de pormenor recorrendo as modelos de relevo da

superfície de ultra-elevada resolução espacial obtidos por levantamentos VANT. O objectivo foi explorar novas e emergentes tecnologias e tentar perceber de que forma estas podem estar ao serviço – via análise microtopográfica – de uma área do conhecimento tão antiga como a engenharia de minas.

O documento divide-se em três partes principais intituladas de:

- Metodologia;
- Resultados, discussão e limitações;
- Conclusões.

O objectivo último foi o de compreender até que ponto imagens de ultra-elevada resolução espacial – com elevado número de píxeis por porção do universo observado (Spring, Flynn, Long, & Davidson, s.d.) – obtidas utilizando VANT poderiam contribuir de forma significativa, rápida e económica para o estudo da superfície terrestre em análise.

1.1. Contexto Científico

O estudo do planeta Terra é uma realidade essencial no que diz respeito à adaptabilidade do ser humano. Estudar o planeta, significa combinar aquilo que se conhece e que se infere da sua história com o seu estado actual.

Desde o início dos tempos que todos os seres vivos são postos à prova através de diferentes testes impostos pela natureza e pela inevitabilidade do tempo. De acordo com a sua capacidade de adaptação e sobrevivência, todas as formas de vida se vão mantendo ou desaparecendo. Desta forma, fica evidente que quanto mais detalhado e correcto for o estudo do ambiente que nos rodeia, mais hipóteses haverá de, mediante metodologias adequadas, prever situações futuras que nos possam ser menos desejadas.

O planeta Terra é composto por diferentes porções de material, cada uma dessas porções tem especificidades físicas e químicas que a tornam única na maneira de reagir a estímulos. Assim se explica a constante mudança visual e orogénica observada até mesmo em locais remotos totalmente desabitados.

A compreensão da estrutura interna terrestre tem especial relevância nas áreas de Engenharia de Minas e das Ciências da Terra. A observação, o estudo, a interpretação, aliados a conhecimento prévio, permitem a execução de modelos que mapeiam e prevêm a localização de formações que podem ser economicamente benéficas ou de perigosidade elevada (Gori, et al., 2019), seja o caso de:

- Recursos naturais economicamente atraentes;
- Riscos associados a vulcanismo;
- Riscos associados a sismos;
- Movimentos de vertente.

A observação e busca por conhecimento no ambiente que nos circunda toma especial relevância na medida em que grande parte das actividades humanas têm por base a sua interacção com o planeta. Numa sociedade evoluída, cada vez mais conscienciosa em relação aos impactes ambientais e cada vez mais exigente no que se refere aos estudos que os quantificam; torna-se também imperativo o uso da mais recente tecnologia para que estes estudos sejam o menos intrusivos possível e consigam obter resultados que dificilmente poderão ser obtidos com abordagens mais clássicas.

Cada vez mais se procura preservar o presente para construir um futuro sustentável e a presente dissertação foi desenvolvida de forma a ir ao encontro dessa, também minha, filosofia.

1.2. Definição do Problema

Estudar, analisar e compreender a tectónica terrestre é contribuir directamente para o entendimento do nosso planeta e da sua habitabilidade. A identificação precisa dos tipos de estruturas e das localizações dos seus limites ao longo do tempo é essencial para compreender a evolução do sistema placa/manto. É da transformação de material entre os diversos ambientes terrestres mais profundos que surge a superfície terrestre tal como a conhecemos.

Assim, esta dissertação procurou responder à questão: “Poderão usar-se VANT – contribuindo estes de forma significativa, rápida e económica – para evidenciar estruturas tectónicas através da detecção das suas expressões na superfície terrestre?”

1.3. Fundamento Teórico

Neste subcapítulo explica-se, de forma condensada, a base teórica em que esta dissertação assenta. Tudo se resumiu ao uso de um sistema VANT/Sensor para adquirir imagens às quais, através da identificação de características espaciais relevantes, corresponderiam nuvens de pontos tridimensionais. Essas nuvens de pontos surgiram “em bruto”, sendo posteriormente classificadas, filtradas e trabalhadas de forma a poderem ser estudados apenas os pontos que interessavam para se poder procurar respostas à questão inicial. Apresentam-se, assim, os conceitos teóricos básicos para melhor entendimento do trabalho que foi realizado.

VANT

São o centro da fase de aquisição de imagem e representam uma ferramenta cujo grau de desenvolvimento emergente tem vindo a mudar muito rapidamente na última década (Eltner, et al., Image-based surface reconstruction in geomorphometry – merits, limits and developments, 2016), assim, é possível adquirir cada vez mais e melhores dados. Tal como referido numa publicação da Measure (Measure, 2016) , uma das principais empresas de *software* de automação de VANT, estes equipamentos podem operar de forma automatizada – com um plano de voo preestabelecido – ou de forma semiautónoma, recorrendo-se à manobrabilidade do utilizador dentro de determinados constrangimentos espaciais intrínsecos ao VANT ou de cariz legal. Desta forma a aquisição das imagens (ou de outros dados) surge como uma combinação tão otimizada quanto possível de um VANT com um sensor compatível dado o fim desejado.

Lidam directamente com o raio de acção que o utilizador quer explorar/estudar e com as características físicas do meio envolvente. É também crucial adaptar a operação do VANT ao grau de qualidade ou de pormenor que se procura que os dados tenham.

Podem ser de vários tipos (Tahir, Boling, Haghbayan, Toivonen, & Plosila, 2019):

- Multi-rotores: Os VANT com vários rotores são, de forma muito simplificada, miniaturas de helicópteros e o seu princípio de funcionamento é o mesmo; um conjunto de hélices é responsável pela componente vertical da propulsão do VANT, a diferença de velocidades de rotação/ângulo com o solo das várias hélices permite ao VANT seguir uma trajectória multiaxial precisa nos 3 eixos ortogonais.

Com base no número de rotores na plataforma. Podem ser classificados de diferentes formas, assim, temos VANT “*Single rotor*” (1 rotor); “*Tricopters*” (3 rotores); “*Quadcopters*” (4 rotores); “*Hexacopters*” (6 rotores) e “*Octocopters*” (8 rotores). Destes, os *Quadcopters* são os mais usados.

Além de fáceis de fabricar e relativamente baratos, os VANT com vários rotores têm a capacidade de pairar num determinado local e podem descolar/aterrar verticalmente. O facto de se poderem mover de forma livre e precisa num terceiro eixo – vertical – confere-lhes a capacidade de operar em terrenos localmente mais complexos sem comprometer a qualidade dos dados. Tais características têm repercussão directa e muito positiva na qualidade de dados que é possível obter com este tipo de VANT. Por outro lado, também têm desvantagens. As mais evidentes são o tempo de voo relativamente limitado, a menor robustez e a velocidade mais limitada que atingem. Não são adequados para projectos de grande escala, como mapeamento aéreo de longa distância ou vigilância. O problema principal dos VANT a rotor é que grande parte de sua energia é usada unicamente na propulsão vertical e estabilização. A maioria dos VANT multirrotor que existem actualmente são capazes de apenas 20 a 30 minutos de voo; muitas vezes com uma carga tão reduzida quanto uma câmara;

- Asa fixa: tal como o nome indica, VANT de asa fixa fazem uso da física inerente a uma 'asa'. Se no exemplo anterior a analogia possível era com helicópteros, neste, a analogia mais óbvia é a dos aviões.

Ao contrário dos VANT com vários rotores, os modelos de asa fixa não utilizam energia para se manter no ar directamente. Não há uma propulsão descendente activa que contrarie a gravidade. Em vez disso, estes VANT movem-se para frente fazendo uso das diferenças de pressão geradas na sua asa (*aerofoil*) para que se mantenha a altitude.

Este tipo de VANT tem vantagens de certo modo complementares aos VANT multi-rotor: têm a capacidade de cobrir áreas maiores, atingem altitudes superiores e possuem maior autonomia de voo. Além disso conseguem transportar cargas superiores; o que permite ao utilizador a possibilidade de ter mais opções aquando da escolha do(s) sensor(es) a acoplar.

Hoje em dia os VANT mais comuns e populares já conseguem atingir capacidades de carga na ordem da dezena de kg podendo, no entanto, para situações mais específicas carregar sensores na

ordem de algumas centenas de kg (Hader & Baur, 2020). Obviamente, a escolha do VANT é sempre decorrente de uma optimização integrada do que se pretende atingir com determinado levantamento. Sendo, portanto, crucial adequar o sistema “VANT + Sensor acoplado” ao resultado que se pretende obter. Tal como ilustrado em seguida na Figura 1:2, chega-se ao binómio Sensor/VANT, partindo-se de uma necessidade inicial. Estando esclarecidos os critérios de qualidade que colmatam a referida necessidade, o utilizador pode ainda, por exemplo, ter diferentes metas ou constrangimentos em relação a parâmetros chave, tais como:

- Tempo de voo;
- Carga máxima;
- Velocidade máxima;
- Estabilidade de imagem;
- Capacidade de reacção a ventos;
- Manobrabilidade.

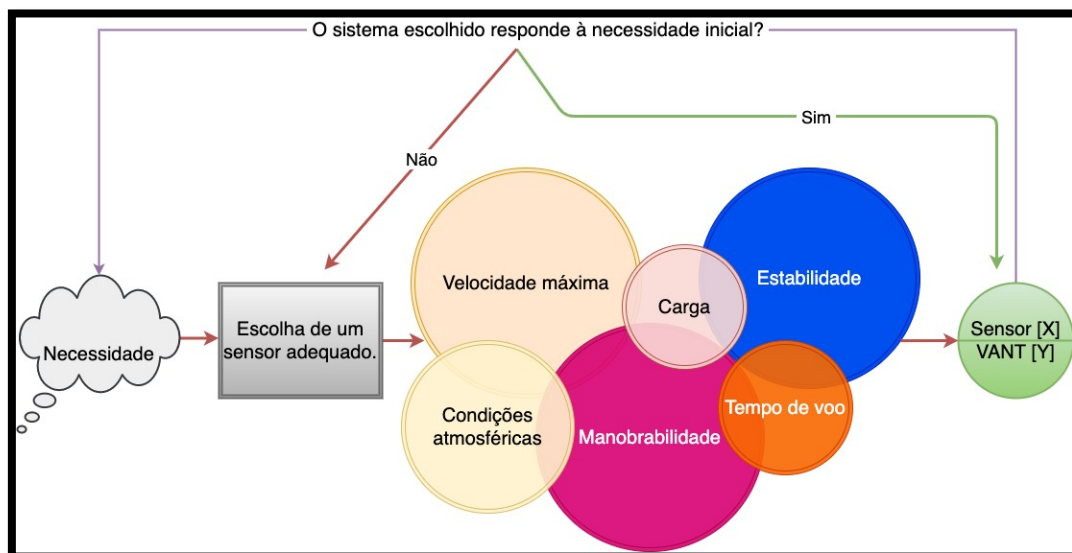


Figura 1:2 - Ilustração do método de escolha do equipamento a utilizar para dada finalidade.

Além da integração de diversos tipos de sensor, os VANT fazem o registo das coordenadas x, y, z, t, através de sistemas de navegação e posicionamento global dos dados adquiridos podendo-se dessa forma gerar modelos fidedignos da realidade e bem localizados geograficamente. Dito isto, pode-se afirmar que tanto as vantagens como as futuras aplicações do uso destes sistemas integrados vêm permitir efectuar amostragens a uma escala espacial específica, nomeadamente, áreas no intervalo [1m²; 100km²] e cujo detalhe dependerá do sensor acoplado.

Modelos Digitais de Elevação/Terreno e Superfície

Os subprodutos da fase de aquisição de imagens são *nuvens de pontos* que correspondem às características específicas do terreno na sua localização ou posição no espaço tridimensional. Esses pontos correspondem a diferentes realidades do mundo e, tal como já foi referido na introdução, procurou-se aprimorar um método que permitisse a correcta classificação e consequente distinção entre os denominados “pontos de terreno” e os “pontos de vegetação”. Esta distinção é importante na

medida em que foi partir dela que se conseguiram gerar diferentes modelos representativos da realidade. Nesta dissertação explorou-se o uso de Modelos Digitais de Superfície (MDS) e Modelos Digitais de Elevação/Modelos Digitais de Terreno (MDE/MDT).

- MDS – representação que considera todos os pontos captados pelo VANT, sendo indiferente se são referentes a terreno, vegetação ou estruturas construídas pelo Homem;
- MDT/MDE – representação que considera apenas os pontos ao nível do terreno, sendo excluídos todos os pontos relativos a vegetação, edifícios ou qualquer ocorrência artificial.

Nesta dissertação, o foco principal foram os Modelos Digitais de Terreno/Elevação, doravante, DEM.

Structure From Motion

Structure From Motion (SfM) é uma técnica muito popular actualmente que utiliza uma série de imagens a duas dimensões captadas em perspectivas ligeiramente distintas para construir uma representação tridimensional da estrutura ou objecto observado, na Figura 1:3 surge esquematizada a aquisição de imagens que dá início à aplicação da técnica.

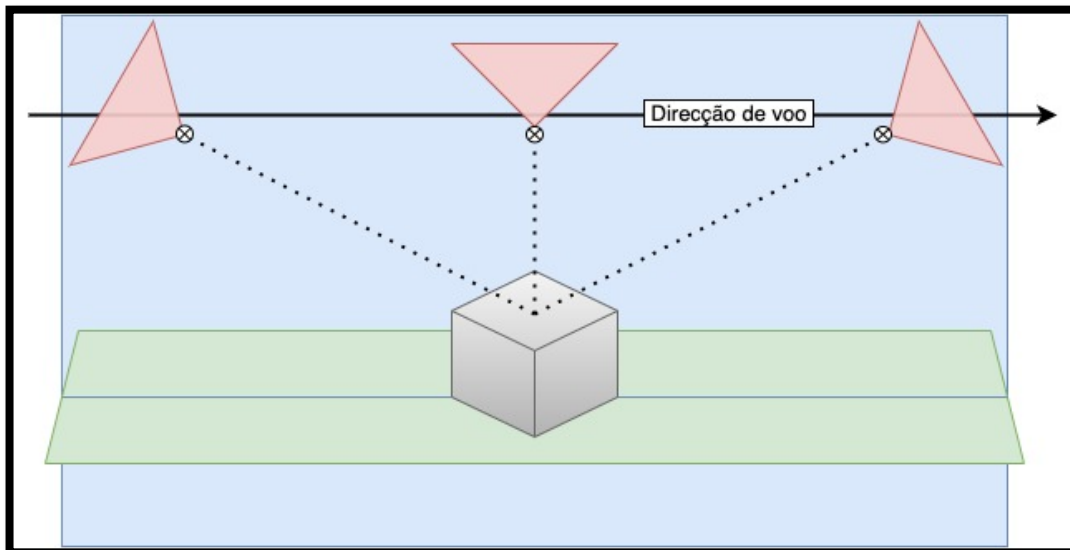


Figura 1:3 - Representação da técnica SfM.

A técnica SfM pode assim produzir modelos tridimensionais baseados em nuvens de pontos. Esta técnica é usada para criar modelos digitais de superfície de alta resolução, tanto de paisagens como de objectos comuns. Tudo isto é possível mesmo recorrendo a câmaras digitais financeiramente acessíveis. Muitos resultados experimentais mostram que, cada vez mais, as técnicas baseadas em SfM têm vantagens, como menor custo ao efectuar medições, operações logisticamente mais simples e processamento de dados cada vez mais fácil, todas estas vantagens, podem resultar na obtenção de dados geomorfológicos, de mais alta precisão e de mais alta resolução de forma mais expedita do que até então (Xiong & Xue, 2020). Desta forma, e indo mais ao encontro do trabalho que foi desenvolvido nesta dissertação, os dados obtidos apresentam-se, também, com um grau de elevada adequação para o estudo de microtopografia de detalhe para zonas de fractura.

O método de medição de deslocamentos geomorfológicos tectónicos (activos) baseado em SfM tem um bom grau de aplicação em áreas com falhas activas e superfície “limpa” de vegetação por exemplo (Canora C. , Vilanova, De Pro-Díaz, Pina, & Heleno, 2021).

A técnica, apesar de proposta há já mais de quatro décadas (Ulman, 1976), é de desenvolvimento recente e deve a sua usabilidade actual aos avanços na capacidade de processamento dos computadores mais modernos, às características das câmaras digitais e, por fim, aos avanços verificados também nos VANT.

Foi da combinação dos avanços tecnológicos com a interpretação visual dos resultados produzidos através dos meios/técnicas acima mencionados (Xiong & Li, 2020) que foi possível e se possibilitará de futuro, de forma economicamente viável, o uso desta técnica para que um amplo espectro de pessoas tenha a capacidade de gerar modelos tridimensionais sem que seja indispensável uma especialização muito aprofundada ou equipamentos caros.

1.4. Estrutura do Documento

Este documento é composto por 6 capítulos base. Nos capítulos mais descritivos procurou seguir-se um raciocínio do geral para o particular. Nos capítulos mais práticos exploraram-se as temáticas seguindo um crescendo de optimização de parâmetros. O parágrafo anterior surge esquematizado em seguida, na Figura 1.4:

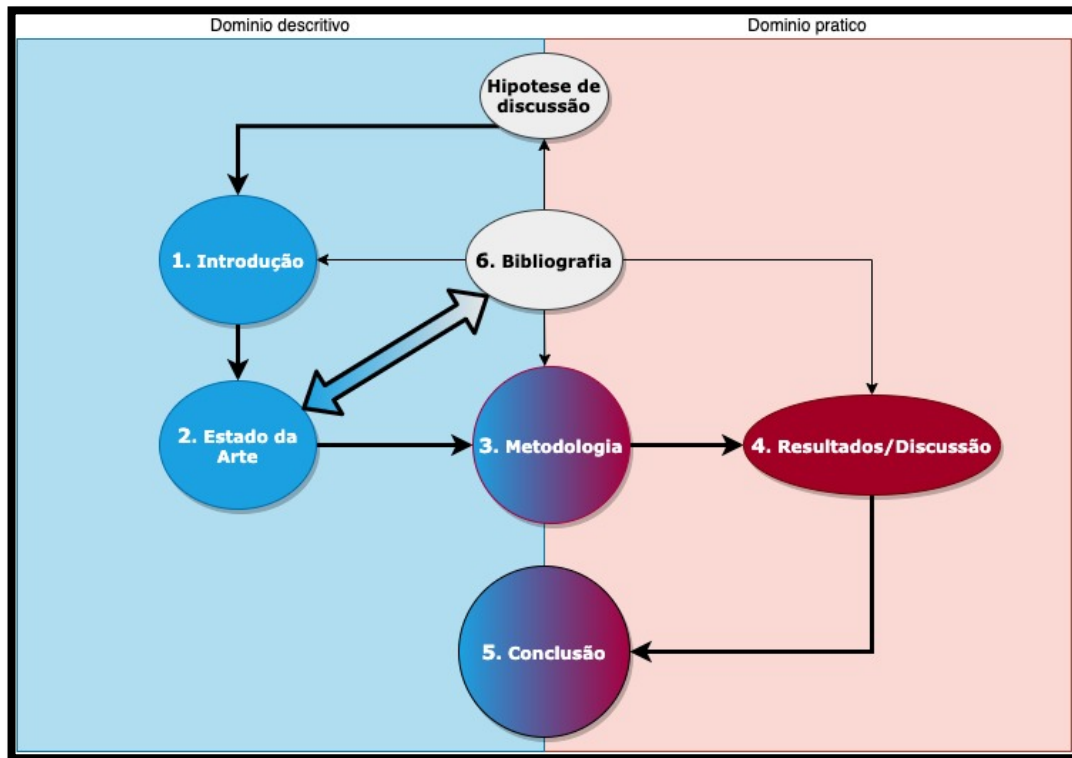


Figura 1:4 - Esquema estrutural da dissertação.

Finalizado o capítulo da Introdução, inicia-se a Revisão do Estado da Arte, capítulo no qual se procurou evidenciar o que já foi feito, até à data, nas áreas de estudo em que se insere esta dissertação.

2. Revisão do Estado da Arte

No âmbito da presente dissertação torna-se imperativo fazer um enquadramento da sua conjuntura tecnológica, da sua aplicabilidade nas Ciências da Terra (em que se insere a indústria mineira) e do grau de desenvolvimento observado até então.

Actualmente, o progresso tecnológico vem sendo caracterizado por uma convergência de esforços da comunidade científica no sentido de desenvolver tecnologias e metodologias que permitam o avanço de sectores não só científicos, mas também económicos, alguns, com séculos de história. Tal facto contribui para que cada vez mais se procurem novos usos para a tecnologia que façam das tarefas essenciais de cada sector do mercado algo mais económico e mais eficiente.

Este capítulo tem como objectivo principal evidenciar o trabalho que é e já foi feito em relação aos principais domínios cuja relação esta dissertação explora, ou seja, o uso dos VANT como meio de:

1. Mapeamento;
2. Geração de Modelos Digitais de Superfície – MDS – explorando técnicas *Structure from Motion* – SfM.

Este capítulo explora, também, a aplicabilidade dos VANT nas ciências da Terra e em parte dos domínios nos quais estas podem desempenhar um papel relevante. Uma vez que a dissertação surge de uma abordagem explorativa de uma tecnologia emergente há muitas questões, ainda, por responder.

Assim, procurou-se perceber como a tecnologia dos VANT pode fornecer respostas aos principais desafios actuais.

A capacidade fotogramétrica e a elevada resolução espacial associada aos sensores colocados nos VANT intensificaram o seu uso para vários fins que se baseiam, essencialmente, em medições de distâncias e a sua interpretação. Revela ser uma tecnologia extremamente competitiva com as convencionais técnicas baseadas em GNSS.

Há que salientar que os VANT já existem há várias décadas, ainda assim, o seu uso para fins não militares e a sua difusão ganhou alguma notoriedade apenas a partir do início do século XXI. É uma tecnologia extremamente recente e a sua aplicabilidade na indústria mineira (Park & Choi, 2020) deu os primeiros passos apenas recentemente. Além disso, os rápidos desenvolvimentos mais recentes na tecnologia de VANT permitem uma geração cada vez mais adaptável em termos de levantamentos aéreos e ortofotografias de alta qualidade, tudo a um custo baixo e cada vez mais competitivo (Eltner, et al., Image-based surface reconstruction in geomorphometry – merits, limits and developments, 2016).

Vêm revolucionar várias actividades da engenharia de minas, apresentam-se em seguida os mais proeminentes usos levados a cabo com os VANT bem como as técnicas de pós processamento usadas para extrair informação das imagens obtidas.

2.1. Mapeamento – Mapping

No passado, em tempos de guerra, o desenvolvimento da indústria dos VANT teve como principal objectivo efectuar o reconhecimento das áreas inimigas e proporcionar informação privilegiada aos detentores da tecnologia.

Actualmente, em diversos ramos da engenharia, o aparecimento dos VANT trouxe um novo padrão de detalhe associado a uma superior eficiência económica. A tecnologia VANT permite assim a aquisição de imagens de elevada densidade de pontos e de áreas cuja escala se enquadra perfeitamente nas operações industriais actuais (Nex & Remondino, 2013):

A incorporação de câmaras digitais de elevada resolução em VANT tornou possível (Figura 2:1):

- Caracterizar não só áreas restritas da superfície terrestre com detalhe superior, mas também relativo baixo custo;
- Complementar actividades de mapeamento topográfico em áreas de “larga escala” sendo um complemento válido às aquisições terrestres convencionais;
- Diminuir a distância, em termos de aplicabilidade, entre os satélites e os dispositivos de superfície de curto alcance.

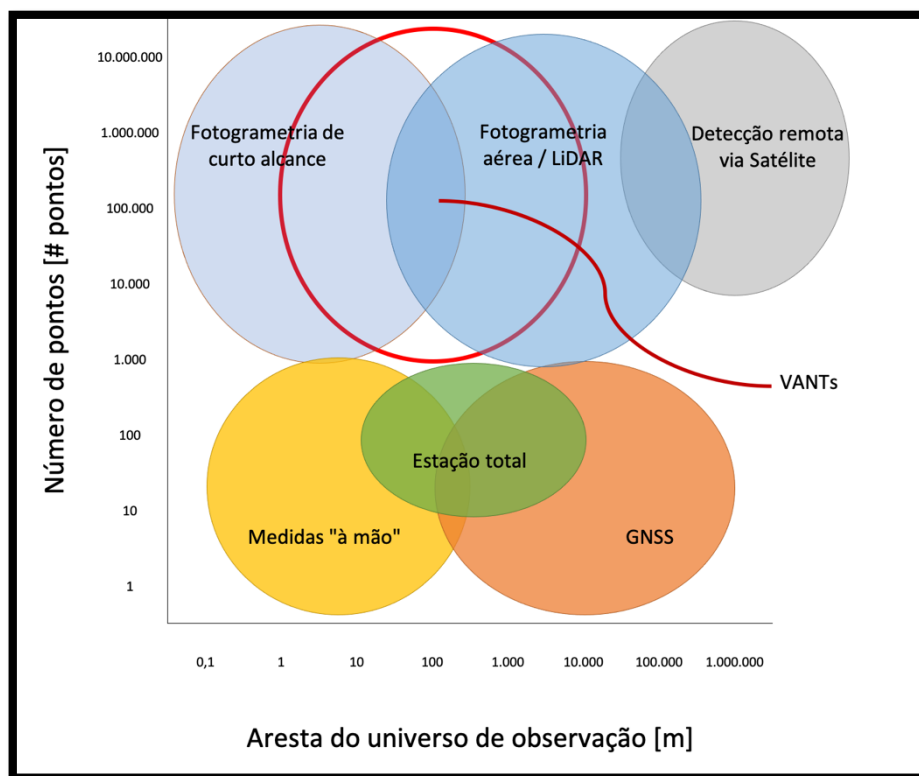


Figura 2:1 - Imagem adaptada de (Nex & Remondino, 2013).

Uma vez que os VANT tomam relevância no domínio espacial de 1m ~ 10.000m aplica-se o seu uso para fins de mapeamento em domínios tais como:

- Agricultura; onde os produtores podem tomar decisões relacionadas com custos/benefícios tendo por base as informações fornecidas pelo mapeamento de muito elevada resolução de determinadas culturas e do seu estado de desenvolvimento (Olson & Anderson, 2021);
- Florestas; avaliação e monitorização de fogos e de áreas ardidas, identificação de espécies e computação de volumes de biomassa (Iglhaut, et al., 2019);
- Arqueologia e arquitectura; através de voos de baixa altitude, são realizadas amostragens tridimensionais de pontos de estruturas históricas ou actuais fabricadas pelo Homem (Kadhim & Abed, 2021);
- Ambiente; é possível avaliar porções de terra e água, mapeamento de estradas e percursos naturais, fazer avaliações térmicas locais, processar volumes de escavação ou até acompanhar actividade vulcânica (F.L.Bonali, et al., 2019) através de voos de relativo baixo custo;
- Gestão de emergências; uma vez que os VANT conseguem alcançar com precisão elevada pontos no espaço inacessíveis ao Homem, permitem também que sejam feitas avaliações de risco e a consequente elaboração de planos de contingência (Lian, et al., 2020);
- Monitorização de tráfego; monitorização em tempo real de tempos de viagem, trajectórias, ocupação de faixas e possíveis situações de acidente que necessitem de resposta.

O mapeamento toma relevância nas áreas acima mencionadas (e face aos métodos convencionais para georreferenciação e mapeamento) na medida em que a actual tecnologia permite documentar porções da superfície terrestre que podem estar inacessíveis ao ser humano ou cujos acessos coloquem em risco vidas humanas ou integridade do material usado. Além disso fornece os resultados em períodos de tempo bastante competitivos e com um nível de detalhe extremo: em muitos casos consegue-se obter imagens cuja resolução espacial chega aos poucos milímetros por píxel de imagem.

2.2. Modelos Digitais de Superfície / *Structure from Motion*

No que à “pegada ecológica” antropogénica diz respeito, a Engenharia de Minas e as Ciências da Terra tomam grande destaque. Além de serem áreas de estudo intensivo para toda a comunidade das geociências, têm implicações também sobre várias questões ambientais, processos e riscos geológicos (Sledź, Ewertowski, & Piekarczyk, 2021).

Com efeito, o sector da exploração de minas é considerado como um dos mais perigosos a nível industrial. Torna-se, portanto, imprescindível não só aprofundar/explorar métodos de aquisição de informação, mas também acentuar o estudo que decorre dos resultados obtidos.

Embora imagens com alta resolução espacial já sejam usadas há bastante tempo, poucos são os artigos publicados ou as obras apresentadas sobre o seu uso na referida indústria. Até muito recentemente, geólogos e engenheiros recorriam a representações simplificadas do terreno geradas por outros métodos que não o uso de imagens de VANT. Uma vez que o principal objectivo desta

dissertação foi o de estudar o uso dos VANT para tais representações, torna-se relevante apresentar quais os (primeiros) passos já dados nessa direcção.

Fazendo referência a (Chen, Li, Chang, Sofia, & Tarolli, 2015) pode-se desde já afirmar que a caracterização geomorfológica de áreas referentes a minas a céu aberto é um poderoso foco de informação susceptível de estudo e que ajuda à monitorização ambiental.

Este artigo toma especial relevância não só porque os autores utilizaram VANT para aquisição de imagens, mas também devido ao facto de ter sido utilizado o mesmo *software* – AGISOFT METASHAPE. Com os dados obtidos é possível afirmar que o uso de imagens de alta resolução espacial, quando processadas através da técnica SfM pode fornecer MDT bastante precisos em tempo quase real e a um custo extremamente baixo/competitivo.

De salientar que no estudo descrito neste artigo se menciona que a escolha de parâmetros experimentais menos favoráveis pode gerar instabilidades localizadas no MDT.

Em seguida, evidencia-se o tipo de caracterização que é possível fazer através da obtenção de modelos digitais de terreno através de técnicas como *Structure from Motion* (SfM). Se no subcapítulo anterior se explica o conceito de mapeamento, neste, evidenciam-se de forma sucinta o tipo de resultados visuais que é possível obter.

Neste trabalho foi utilizada a técnica SfM para obter uma nuvem de pontos georreferenciada da qual um DSM foi derivado, apresenta-se na Figura 2:2 um exemplo do tipo de modelos que se conseguem, hoje em dia, obter recorrendo a combinações VANT/Sensor relativamente acessíveis ao utilizador comum (Chen, Li, Chang, Sofia, & Tarolli, 2015). Nesta figura, o modelo de relevo é “coberto” com o ortofotomapa, tornando o resultado final muito realista.



Figura 2:2 - Visão 3D da nuvem de pontos obtida no artigo mencionado (Chen, Li, Chang, Sofia, & Tarolli, 2015).

Fica, portanto, evidente que através de técnicas similares às usadas nesta dissertação, é possível fazerem-se caracterizações geomorfológicas (no exemplo acima, de uma área mineira) muito detalhadas. Além disso, pode também servir de suporte para departamentos de planeamento estratégico de explorações futuras, tomando relevância no hipotético cálculo de reservas referentes a determinado recurso natural (Török, Bögöly, Somogyi, & Lovas, 2020). Estas técnicas são bastante versáteis no que diz respeito à sua aplicabilidade nas Ciências da Terra, além de todas as aplicações já mencionadas acima, e dando mais foco ao ramo da geologia, podem também ser usadas em domínios que lidem por exemplo com deslizamentos de terras (Lucieer, de Jong, & Turner, 2014) ou na monitorização e modelação de rios superficiais (Javernick L., 2014).

Pode, portanto, dizer-se que representa uma poderosa ferramenta não só para a compreensão de possíveis efeitos ambientais das actividades humanas, mas também para o estudo do meio que nos envolve. Por fim, ressalta-se que tanto a aquisição como o processamento dos dados podem ser feitos “a qualquer momento”, produzindo resultados quase imediatos, isso permite a qualquer utilizador ou empresa interessado/a neste tipo de informações ter uma capacidade de reacção e de adaptabilidade a imprevistos com uma agilidade sem precedentes.

2.3. Análise Global

Já demonstrados os usos principais inerentes ao uso dos VANT para mapeamento e as representações visuais mais relevantes no âmbito desta dissertação, torna-se imperativo fazer um resumo global de como estes dois domínios contribuem não só para o enquadramento teórico desta dissertação, mas também para o avanço da comunidade científica actualmente.

Em relação ao mapeamento é evidente que além de diversos usos possíveis, os resultados são detalhados. Embora não seja imprescindível, a automação tanto dos voos como do processamento das nuvens de pontos é aconselhada muito devido aos resultados extremamente positivos e céleres que daí resultam.

Da utilização de VANT salientam-se como pontos positivos:

- Rácio custo/benefício ser extremamente baixo e a elevada segurança associada;
- Elevada qualidade dos resultados possíveis de obter através das plataformas já disponíveis;
- Versatilidade de VANT disponíveis no mercado;
- Adaptação de diferentes sensores consoante o terreno a amostrar;
- Existência de *software* comercial de elevado desempenho, assim como *software open source* bastante capaz;
- Capacidade de completar dados adquiridos através de métodos convencionais;
- Rapidez de obtenção de resultados e de processamento quando comparado com métodos convencionais.

Assim como alguns pontos negativos, que deverão ser atenuados no futuro:

- Limitação de carga útil – sendo esta proporcional à duração das baterias/tempos de voo;
- Questões e impedimentos legais, ainda em desenvolvimento;

- Projectos de muito larga escala;
- Projectos com estruturas muito complexas.

Por outro lado, em relação aos MDT e ao uso da técnica SfM pode ser afirmado que a detecção/derivação de componentes direccionais do terreno poderá fornecer informações relevantes que permitam fazer análises geológicas muito detalhadas. Estas tanto nos podem indicar:

- Estruturas geológicas;
- Dados susceptíveis de fazer análises de risco zonais.

No exemplo apresentado em 2.2 conseguiu-se avaliar o estado de uma mina de forma eficiente.

Em suma: Estes dois domínios, quando conjugados, permitem fazer avaliações e caracterizações detalhadas de áreas em estudo.

Além de todos os usos e capacidades acima descritas tenho como dever, o acto de salientar que o uso dos VANT para gerar MDT traz à comunidade científica a capacidade não só de avaliar o estado actual dos universos em estudo, mas também fornece a todos os Engenheiros, Geólogos e Cientistas a capacidade de planear o futuro de forma a que este seja mais sustentável e limpo.

Viveu-se (e vive-se) uma situação pandémica que demonstra diariamente à sociedade quão importante é sabermos cuidar hoje para garantir o amanhã. Esta dissertação é uma contribuição na direcção certa.

3. Metodologia

Neste capítulo apresenta-se a metodologia desenvolvida. Estabelece-se o alvo da análise a partir da qual se podem tirar conclusões. Aqui, explica-se em detalhe o raciocínio inerente a todo o melhoramento de parâmetros e de imagem bem como os passos, as decisões e os caminhos percorridos para que se pudesse obter o melhor produto final possível. Uma vez que a metodologia se traduziu num processo de optimização de resultados foi necessário incluir alguns resultados concretos para ilustrar o porquê de tomar algumas das decisões inerentes à metodologia abordada.

Por força da abrangência das áreas em que se trabalhou, dividiu-se a metodologia em três partes distintas:

- Aquisição;
- Processamento;
- Análise.

Em seguida, apresenta-se na Figura 3:1 um diagrama que descreve as várias etapas da metodologia:

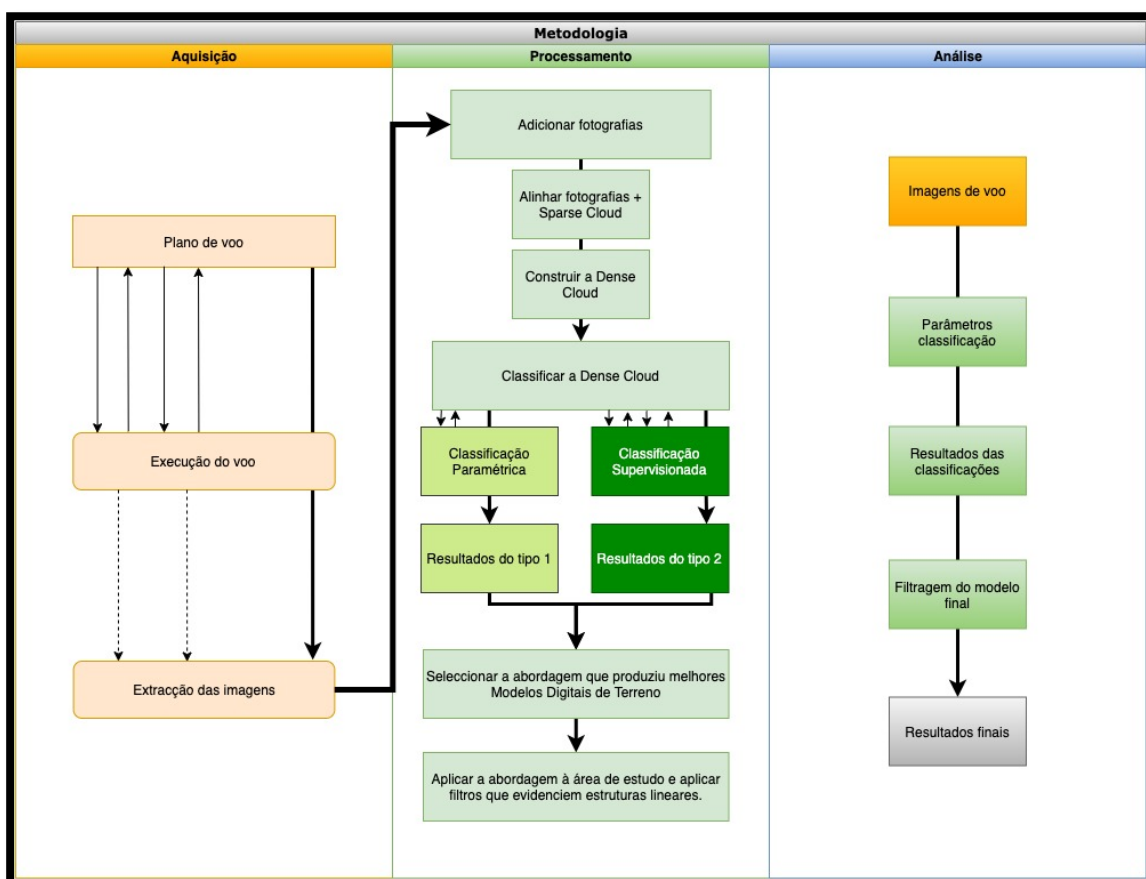


Figura 3:1 - Diagrama: etapas da metodologia.

Foi feita esta divisão porque os passos tomados em cada um destes domínios diferem de forma vincada no domínio em que se inserem, no entanto, há que referir que uma vez que grande parte do

processo se baseou na otimização, o factor “análise” torna-se uma constante. Decorrendo em paralelo com todas as etapas que compõem a aquisição e o processamento.

Se na aquisição das imagens se lida mais com VANT, protocolos de voo, planos de voo e trabalho de campo; no processamento e análise, o domínio em foco é muito mais virado para o uso de *software* especializado e técnicas computacionais de tratamento de imagem.

Assim, abordou-se cada uma destas temáticas tendo em conta, numa fase inicial, o saber já adquirido de cada um dos intervenientes e, posteriormente, uma metodologia baseada na melhoria gradual de parâmetros tentando sempre manter uma abordagem sistemática baseada na sua otimização.

3.1. Aquisição

O processo de aquisição de imagens caracteriza-se por um objectivo principal que é a passagem do plano físico para o plano digital/informático. É um processo caracterizado pela correcta execução dos planos de voo, altamente dependente das condições meteorológicas, que tem como resultado final um conjunto de imagens que descrevem a região de estudo para processar na fase seguinte.

Há três etapas principais a percorrer para que a aquisição de imagens decorra de forma eficiente:

- Elaboração do plano de voo;
- Execução do voo;
- Extracção das imagens.

Cada uma destas etapas tem protocolos específicos que devem ser cumpridos para que todo o processo culmine numa recolha de dados tão representativos da superfície a amostrar quanto possível.

Enquanto que no primeiro ponto há uma dependência direta de uma aplicação inteiramente dedicada ao plano de voo. Tanto o ponto segundo (execução do voo), como o ponto terceiro (extracção das imagens) dependem inteiramente do utilizador e das especificidades pretendidas caso a caso.

Uma vez que toda a imagem recolhida é função de uma intensidade luminosa em cada ponto (x, y, z) do universo a amostrar, há que adaptar as condições atmosféricas e circunstanciais de forma a potenciar ao máximo a qualidade das imagens recolhidas. No âmbito desta dissertação as principais preocupações foram em relação a nebulosidade, velocidade do vento e altura da vegetação.

Há ainda que fazer a ressalva de que, no processo de aquisição de imagens, ocorre uma redução de dimensionalidade, ou seja, procura retratar-se num plano digital a duas dimensões uma cena real caracterizada por três dimensões. Todavia, em todo este procedimento essa terceira dimensão será obtida através de técnicas de fotogrametria e, por isso, se obtém nuvens de pontos tridimensionais como resultado final do processamento.

Na aquisição das imagens obtidas utilizou-se um VANT da marca DJI: o modelo Phantom 4 PRO. O equipamento tem as seguintes características:

- 1,38kg de peso;

- Velocidade máxima de 72km/h;
- Opera até aos 6000 metros acima do nível médio da água do mar;
- Funciona em temperaturas compreendidas entre os 0°C e os 40°C;
- Mantém estabilidade sob ventos cuja velocidade seja inferior a 10m/s;
- Utiliza o sistema de coordenadas GPS/Glonass;
- Está equipado com uma câmara RGB de 20Mpx e 84° de campo de visão.

Na Figura 3:2 apresentam-se duas imagens do equipamento utilizado, uma retirada do site oficial (à esquerda), a outra obtida em campo aquando da execução de um voo (à direita):



Figura 3:2 - Equipamento utilizado, imagem retirada de www.dji.com.

Este sistema é também constituído por um telecomando, mochila, baterias, hélices e carregadores, tudo oficial. Para a execução e planeamento dos voos utilizou-se um iPad com a aplicação oficial recomendada pela marca fabricante, a *DJI GS PRO APP*.

Em seguida, na Figura 3:3 o equipamento arrumado, antes da sua montagem (à esquerda) e um exemplo do que é possível visualizar no iPad em tempo real (à direita) enquanto se calibra a câmara do VANT:



Figura 3:3 - Equipamento antes da sua montagem e visualização em tempo real da calibração.

A seguir à montagem e asseguradas as condições para que o VANT possa voar em segurança deu-se início ao voo.

O resultado final da Aquisição e que serviu de base para a aplicação dos dois tipos de classificação – paramétrica e supervisionada – de *ground points* na fase seguinte – processamento – foi um conjunto de várias imagens que deram origem à nuvem esparsa.

Voo

Nesta dissertação foram usadas 15 das 659 fotografias tiradas de um voo não cruzado com uma sobreposição superior a 90% (escala de cores no canto superior direito da Figura 3:4) em quase toda a área amostrada. Apresentam-se em seguida – Figura 3:4 – os detalhes do voo:

Salienta-se o detalhe possível de obter – 1,21cm/píxel – para a altitude de voo de 48,7m.

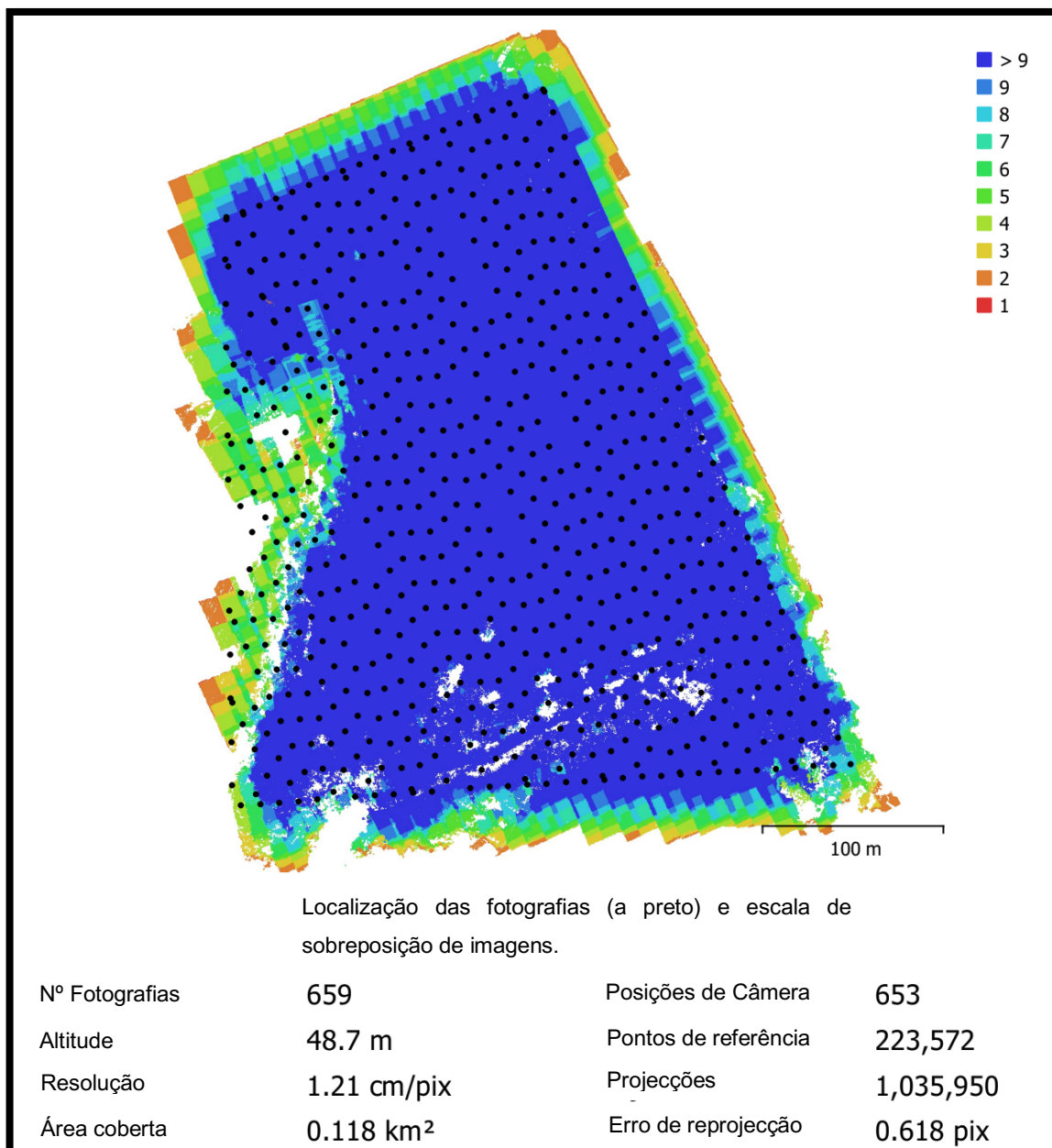


Figura 3:4 - Relatório de processamento – detalhes da aquisição.

Tal como referido no Resumo desta dissertação e aprofundado em (Canora C. , Vilanova, De Pro-Díaz, Pina, & Heleno, 2021), a zona de estudo fica situada no Vale do Rio Tejo. É uma localização já associada a diversos fenómenos sísmicos que afectaram a área da Grande Lisboa em diversos momentos da história. É, de resto, a zona de maior risco sísmico do Oeste Ibérico. Assim, esta região apresenta-se como sendo uma zona propícia não só ao encontro de rupturas superficiais (associadas aos fenómenos anteriormente descritos) mas também ao estudo das implicações em termos de risco sísmico na área da Grande Lisboa. Salienta-se ainda a relevância que factores locais como a erosão, a sedimentação e actividades antropogénicas têm na identificação de estruturas tectónicas activas: todos estes contribuem para que as repercussões à superfície terrestre sejam disfarçadas (Canora S. , Vilanova, Pro-Díaz, Pina, & Heleno, 2021). Abaixo, na Figura 3:5 apresenta-se uma representação gráfica das várias imagens que deram origem à nuvem esparsa: a figura contém dois exemplos do

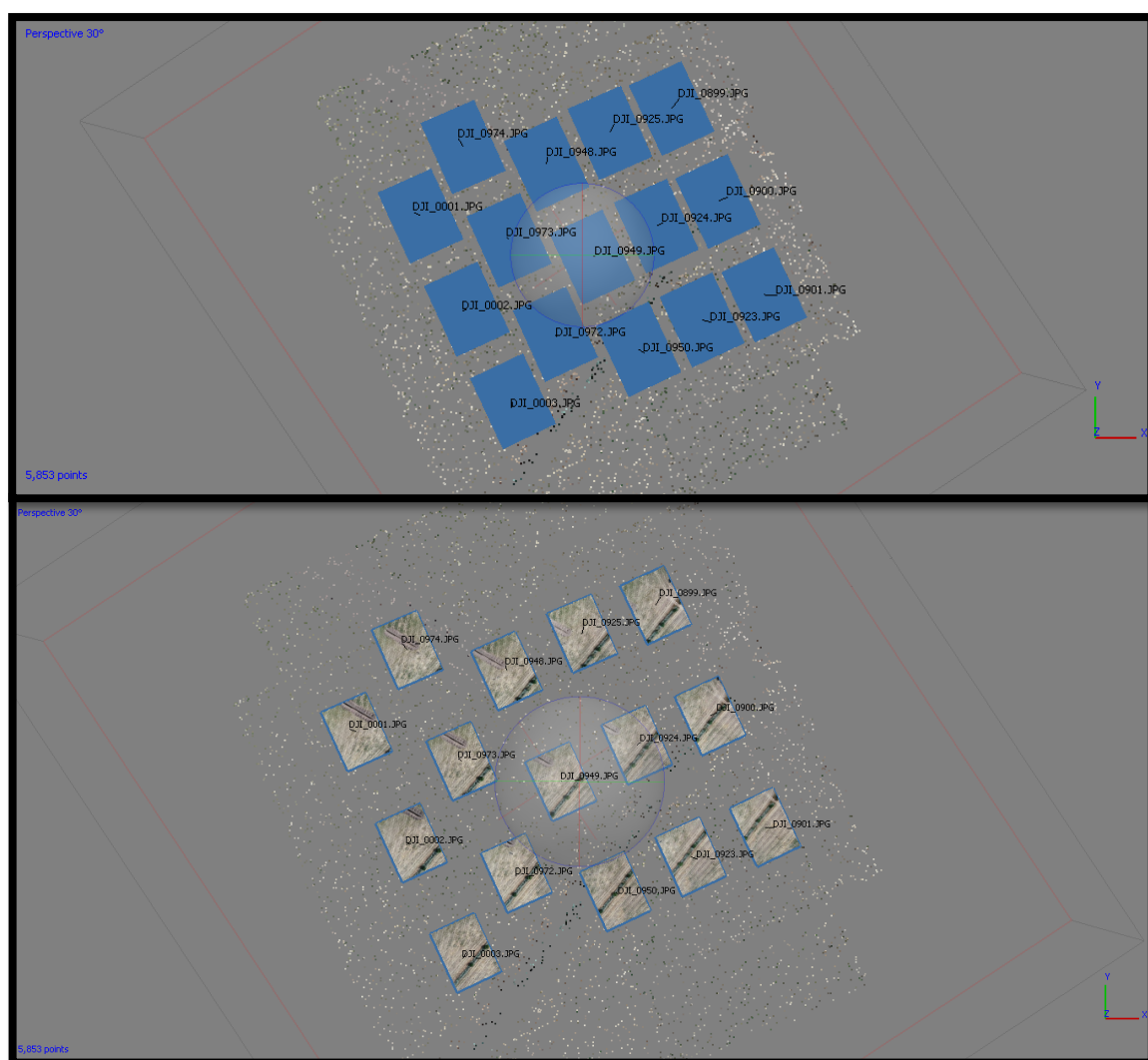


Figura 3:5 - Printscreen retirado do software AGISOFT METASHAPE.

que é apresentado do AGISOFT METASHAPE aquando do início da fase do Processamento. Este momento assinala a passagem do domínio prático centrado em VANT para o domínio prático centrado em *software*. A Figura 3:5, apresenta o primeiro *output* do *software* aquando do carregamento das imagens.

Note-se que é do alinhamento espacial de todas as imagens recolhidas que se obtém a base de processamento, isto é, o *set* de imagens que, estando colocadas no sítio certo em termos de adjacência, permitem ao *software* aplicar os métodos computacionais e os algoritmos (baseados na procura de “pontos comuns”) de forma a que se gere uma representação digital tridimensional do universo amostrado composta por um conjunto de pontos cujas coordenadas (x, y, z) são atribuídas com um grau de certeza dependente do *software*. Chega assim ao fim a fase de aquisição de imagens dando-se início ao processamento.

3.2. Processamento

A fase do processamento representa o ponto central desta dissertação, todo o processamento se centrou em testes e melhorias numa nuvem de pontos (produto do alinhamento das 15 imagens) na qual foi escavada uma vala de dimensões A x B x C [m³] que se sabe atravessar uma escarpa.

Nesta fase do processamento estão compreendidas todas as etapas desde a simples adição das fotografias ao *workspace* do *software* AGISOFT METASHAPE (e o seu alinhamento), mas também pela selecção de qual a melhor abordagem na classificação da nuvem de pontos. Culmina na obtenção modelos digitais de terreno nos quais se aplicam filtros (*Software*: ENVI) de forma a que se produzissem resultados susceptíveis de interpretações e conclusões adequadas. Na Figura 3:6 apresenta-se um esquema/resumo das várias acções tomadas de acordo com o seu objectivo e *outputs*.

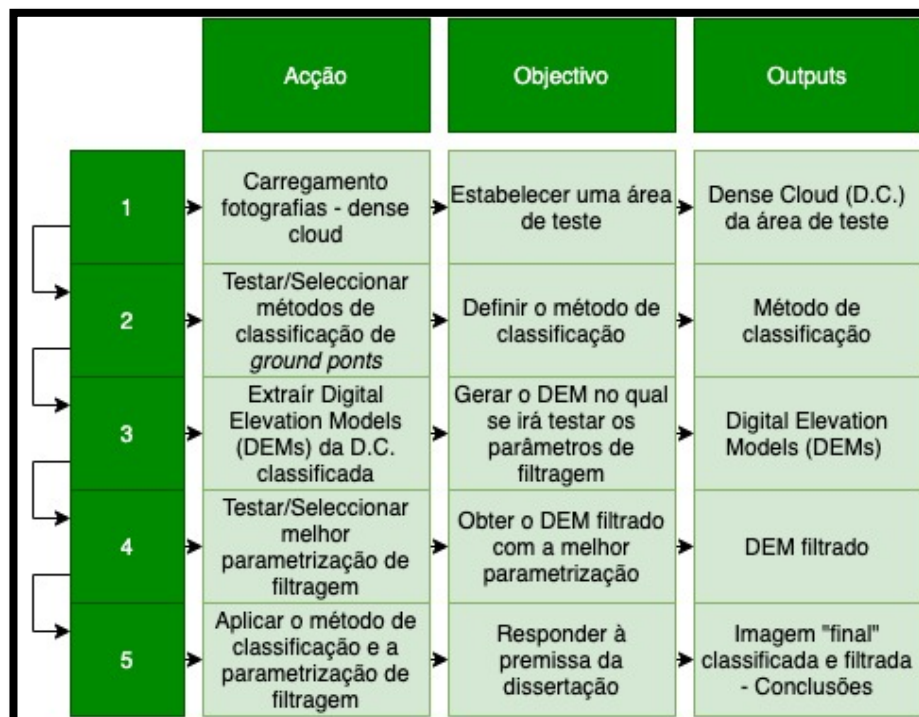


Figura 3:6 - Esquema de acções, objectivos e *outputs*.

Pode, portanto, dizer-se que o processamento se divide em duas partes:

- Classificação da Nuvem de Pontos;

- Filtragem dos Modelos Digitais de Elevação (DEM).

Toda esta fase se caracterizou, também, pela otimização do procedimento para encontrar o melhor conjunto de parâmetros que levassem à obtenção de um resultado tão capaz quanto possível, dados os objectivos e os *timings* definidos. Uma vez que a metodologia inerente à optimização estava dependente dos resultados que, progressivamente, se iam obtendo; estes não puderam ser totalmente separados da metodologia.

Tal como introduzido no ponto 1. desta dissertação, procurou-se nesta fase e de forma metódica, uma correcta classificação e consequente distinção entre os denominados “pontos de terreno” – *ground points* – e os “pontos de vegetação”. Para que tal fosse possível, seguiram-se dois caminhos distintos.

- Classificação Paramétrica – baseada no ajuste de 3 parâmetros intrínsecos do *software*;
- Classificação Supervisionada – baseada na escolha de amostras representativas de cada classe da própria imagem (respectivos códigos cor) para depois ser possível atribuir aos pontos que se assemelhem – mediante critérios – a essa amostra, uma determinada categoria definida pelo utilizador.

Carregadas as imagens e alinhadas mediante o seu enquadramento espacial, estas servem de suporte para o *software* gerar duas nuvens de pontos, primeiro uma esparsa em que os pontos identificados possuem um grau de identificação muito elevado, denominada *sparse cloud*, e depois uma nuvem mais densa, construída a partir da anterior, denominada nuvem densa ou *dense cloud* (ver Figura 3:7).

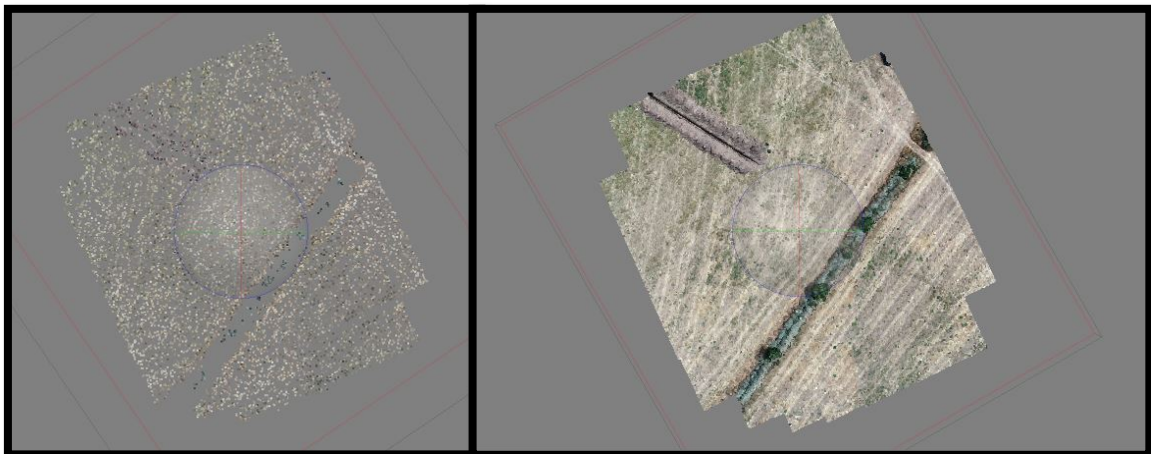


Figura 3:7 - Exemplos de nuvens tridimensionais de pontos: esparsa, à esquerda; densa, à direita.

Estas diferem no número de pontos e no detalhe com que representam a área amostrada.

É a *dense cloud* que servirá de base para as duas classificações de pontos que se explicam no subcapítulo seguinte.

3.2.1 - Classificação da Nuvem de Pontos

Classificação paramétrica dos pontos – ANEXO A

Para a obtenção de *ground points* através da classificação paramétrica é necessário escolher os valores a atribuir aos três parâmetros base. São eles:

- *Cell Size* – é um parâmetro preparatório que de acordo com o manual do próprio *software*, deverá corresponder de forma aproximada à aresta do quadrado que contém área máxima sem *ground points*. No caso prático abordado por haver conhecimento de campo que permite uma boa aproximação desse parâmetro, usou-se o valor 4. São 4 metros para todas as classificações efectuadas, esses 4 metros corresponderam a um quadrado cuja aresta tem 4 metros e que, na realidade, representam a maior copa de árvore no terreno. Assim, é um parâmetro que na optimização tomou sempre o mesmo valor, não contribuindo para a multiplicidade de combinações;
- *Maximum Distance* – é um parâmetro de validação. Avalia uma componente espacial e corresponde à distância máxima a que um “ponto a ser classificado” poderá estar do terreno. De forma implícita estabelece a variação máxima de altitude que pode haver entre *ground points* classificados como tal;
- *Maximum Angle* – é um parâmetro de validação. Avalia, também, uma componente espacial e corresponde ao ângulo máximo verificado entre o terreno e a linha vertical que passa por um “ponto a ser classificado”. De forma implícita estabelece um limite superior para a inclinação máxima que pode haver entre *ground points* classificados como tal.

Foi necessário desenvolver um procedimento para tomar a decisão dos parâmetros a usar, o qual se passa a detalhar em seguida.

A abordagem foi, tendo sempre por base o conhecimento do terreno, fixar três limites – superior, intermédio e inferior – para cada um dos dois parâmetros a optimizar. Através de uma tabela de dupla entrada avaliar não só os 9 (3^2) resultados de classificação, mas também perceber em que sentido de variação de parâmetros se obtinham resultados mais satisfatórios.

Estando fixo o parâmetro *cell size* (=4), obtiveram-se imagens correspondentes a combinações dos outros dois parâmetros, de acordo com os três limites já referidos. Evidencia-se abaixo, na Figura 3:8, de forma esquemática todo o processo de classificação paramétrica; a matriz de 3x3 no canto superior direito da imagem deverá servir de suporte à análise do ANEXO A:

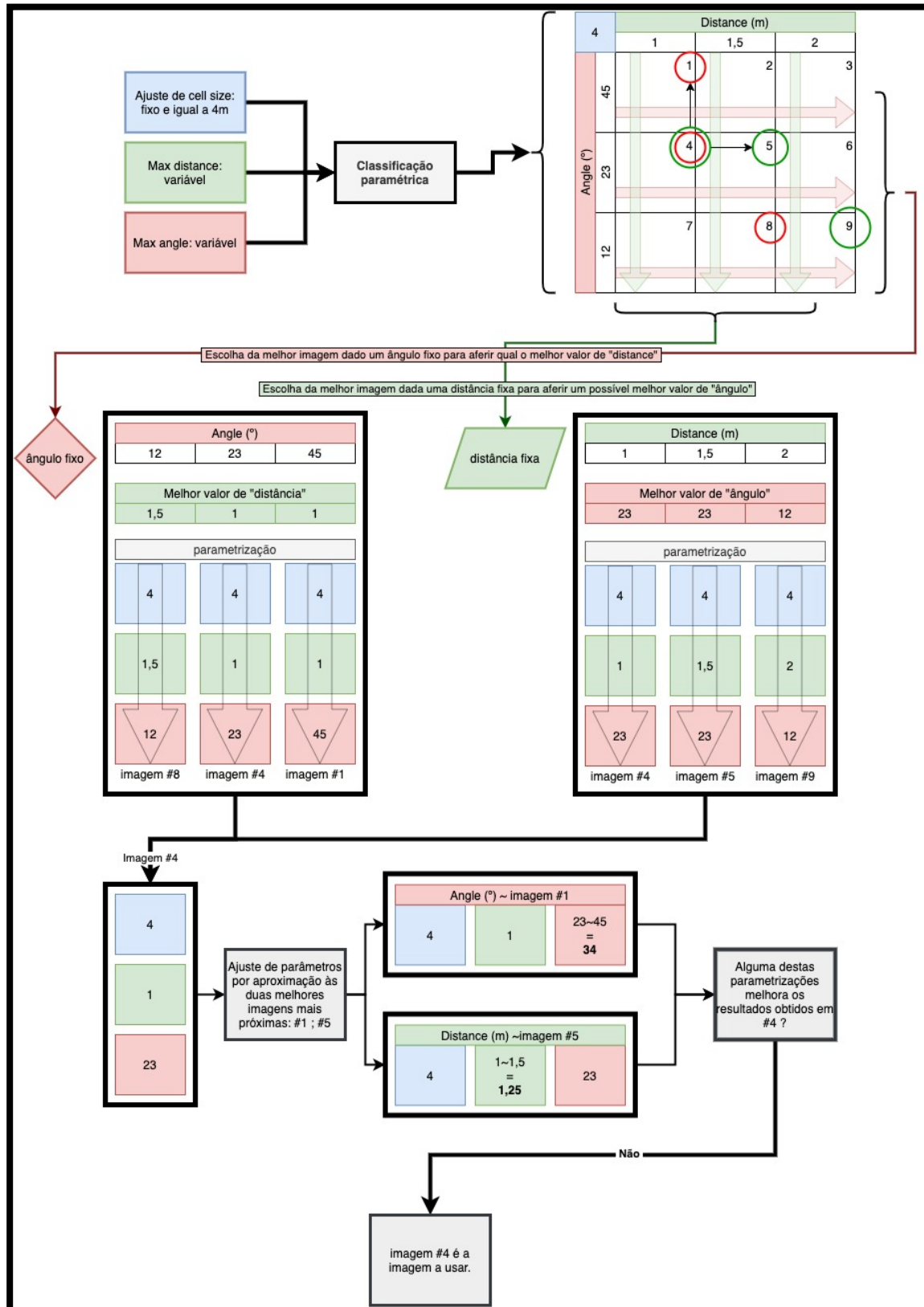


Figura 3:8 - Processo de classificação paramétrica.

Se se tomar como apoio visual a matriz de 3x3 no canto superior direito da imagem anterior, todo o método se torna simples de perceber. Note-se que posteriormente à obtenção dos 9 resultados, se fizeram 6 análises (3 linhas mais 3 colunas), em busca da melhor parametrização:

- Três análises na horizontal, linha a linha (mediante “ângulos” fixos) para escolher o “melhor valor de distância” correspondente a cada ângulo fixo.
Desta análise saíram as três melhores parametrizações (assinaladas com os círculos vermelhos) tendo-se fixado o ângulo;
- Três análises na vertical, coluna a coluna (mediante “distâncias” fixas) para escolher o “melhor valor de ângulo” correspondente a cada distância fixa.
Desta análise saíram as três melhores parametrizações (assinaladas com os círculos verdes) tendo-se fixado as distâncias.

Destas 5 melhores parametrizações, tomou-se a melhor:

Procurou-se, por fim, testar se seria possível fazer uma última melhoria a esta parametrização. No esquema anterior essa melhoria está implícita nas duas setas que saem de “#4”.

Essa eventual possível melhoria estaria sempre compreendida entre a melhor parametrização já obtida e as duas melhores imagens mais próximas quer na vertical (variando em ângulo) quer na horizontal (variando em distância):

- Melhoria da imagem #4 através da variação do ângulo: uma vez que se tomou a variação do ângulo como premissa de optimização, a imagem #1 é a segunda melhor imagem a seguir à imagem #4, como tal, tomou-se o ângulo intermédio ($=34^\circ$) entre a imagem #4($=23^\circ$) e a imagem #1($=45^\circ$) de forma a testar se, por hipótese, essa parametrização intermédia optimizava a imagem #4.

Não houve melhoria.

- De forma análoga, procurou-se melhoria da imagem #4 através da variação da distância: uma vez tomada a variação da distância como premissa de optimização, a imagem #5 é a segunda melhor imagem a seguir à imagem #4, como tal, tomou-se a distância intermédia ($=1,25\text{m}$) entre a imagem #4($=1\text{m}$) e a imagem #5($=1,5\text{m}$) de forma a testar se, por hipótese, essa parametrização intermédia optimizava a imagem #4.

Não houve melhoria.

Finalizada a optimização de parâmetros da classificação paramétrica, escolheu-se a imagem #4 como melhor ajuste e, portanto, é a imagem considerada como output final desta classificação, o resultado final visual desta etapa consta no capítulo 4. – Resultados.

Classificação Supervisionada

Para a obtenção de *ground points* através da classificação supervisionada – ANEXO B – do *software* é necessário o utilizador definir:

- 1) Cor – total de 12 categorias usadas nesta dissertação;
- 2) Tolerância – total de 3 tolerâncias usadas nesta dissertação.

Da conjugação destas duas escolhas surge a atribuição de uma classe. Para que melhor se entenda a que correspondem as escolhas acima mencionadas, apresenta-se o seguinte exemplo:

Dada a representação fotográfica da área em estudo, caso se pretenda classificar “árvores” pode seleccionar-se um ponto verde que faça parte de uma árvore na imagem em análise e estipular-se uma tolerância de x %. Em seguida o *software* vai devolver um conjunto de pontos que 1) sejam “verdes”; 2) andem “ x %” em torno da tonalidade do ponto que serviu de amostra. Aí o utilizador pode categorizá-los como “árvore”.

Foi, portanto, crucial perceber para que valores de tolerância se obtinham selecções de pontos de cor mais satisfatórias para que se pudesse atribuir classes a cada uma dessas selecções/conjuntos de pontos coloridos em análise. As classes têm a sua origem, sempre, em cores da própria imagem a classificar e categorizar.

Assim, foi necessário desenvolver um método para as tomadas de decisão. O factor cor é auto-explicativo, decorre da cor seleccionada. Em relação à tolerância teve de se optimizar a escolha. O objectivo foi atingir uma imagem final suficientemente classificada, mas não em excesso. Isto porque no processo de classificação, poderá haver sempre sobreposição das selecções feitas. Se se escolher um valor demasiado elevado para a tolerância, obter-se-á uma classificação pouco refinada. Por outro lado, se a tolerância estiver parametrizada por um valor demasiado baixo, obter-se-á uma classificação tão refinada que ficarão pontos por classificar. Assim, procurou-se uma tolerância suficientemente alta que classifique as várias classes, mas não tão alta que as torne todas, uma.

Uma vez que a premissa inicial sempre foi distinguir a Flora do Solo, atribuíram-se esses 2 termos a macro categorias:

- Flora;
- Solo.

Posteriormente, de acordo com as realidades que continham, definiram-se mais 2 subcategorias:

- Flora – Árvores / Vegetação;
- Solo – Terreno / Vala.

Por fim, para cada uma destas quatro, escolheu-se fazer distinção entre 3 tonalidades:

- Claro;
- Médio;
- Escuro.

Em seguida, apresenta-se a Figura 3:9, um esquema das categorizações estipuladas:

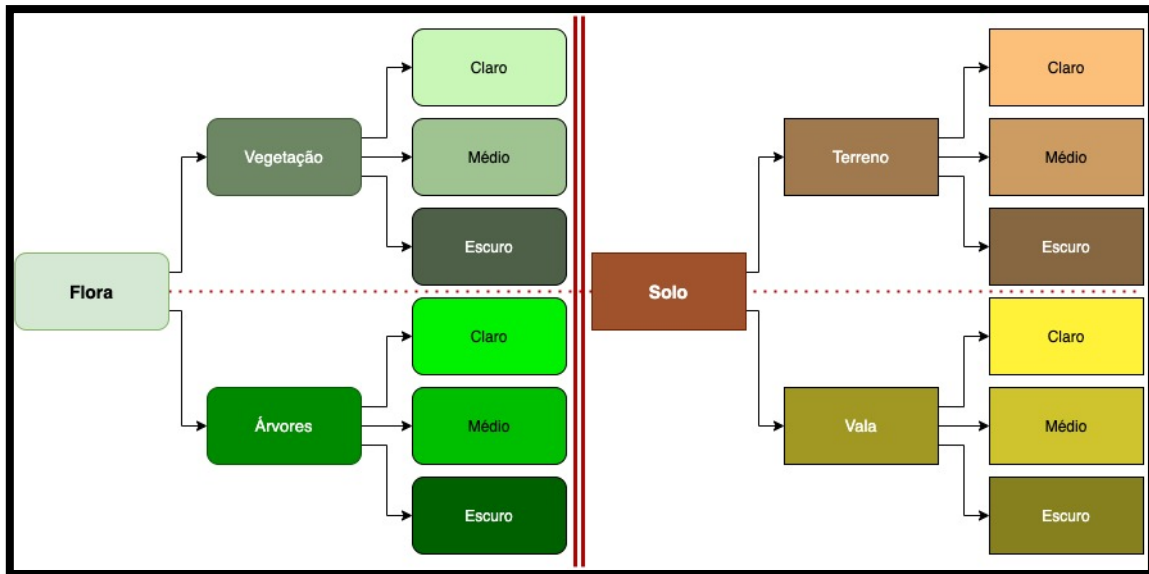


Figura 3:9 - Esquema das categorias estipuladas.

Fica evidente, portanto, que para cada uma das três hipóteses de tolerância foram distinguidas e classificadas 12 categorias obtidas através dum ciclo/iteração de classificação em que apenas era mudado o código da cor – ANEXO B. Essas categorias, agrupadas “12 a 12” deram origem a cada um dos 3 *outputs* desta fase, em seguida, a Figura 3:10 representa o ciclo iterativo utilizado.

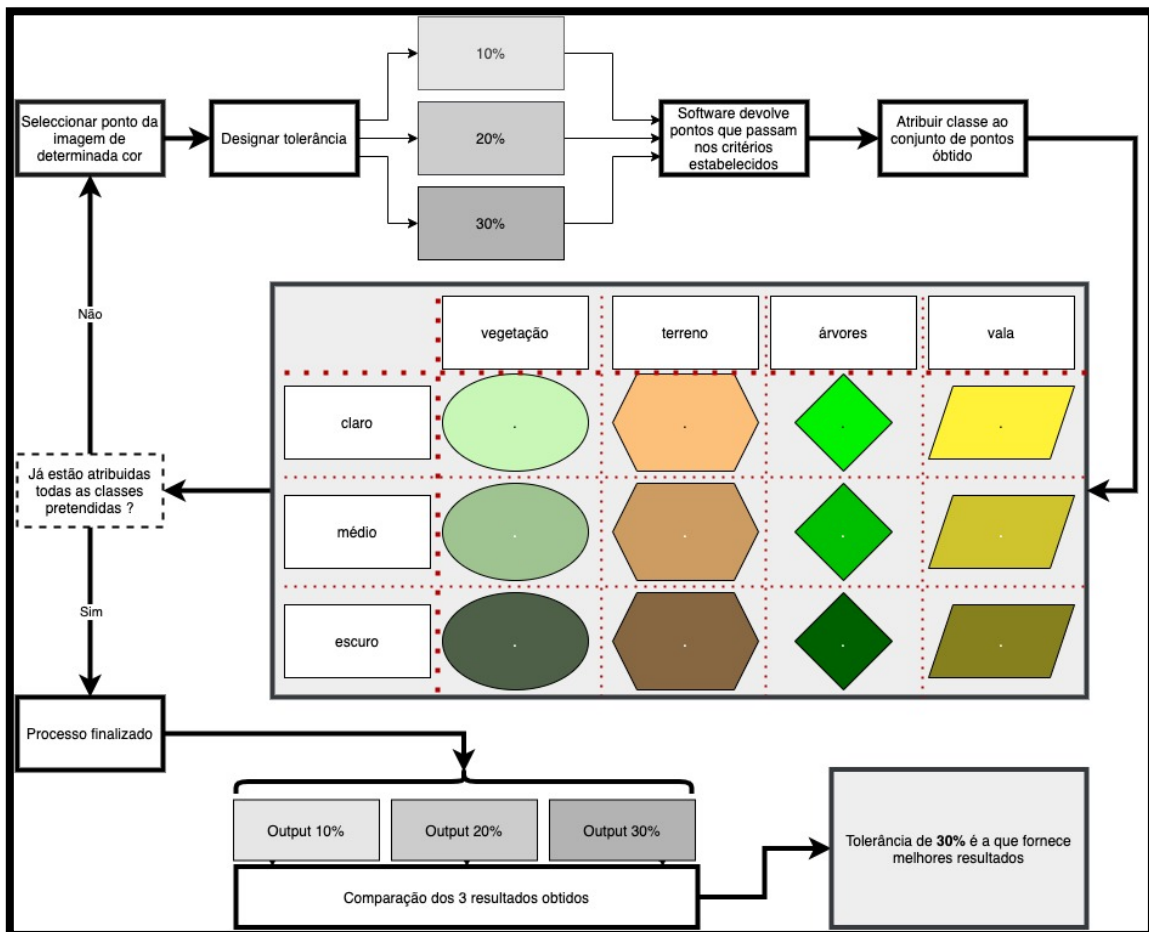


Figura 3:10 - Ciclo/iteração de classificação.

Simultaneamente, foi sendo feita uma análise e foram-se afinando as tolerâncias. Chegou-se a 10%; 20% e 30%. Ou seja, para cada percentagem de tolerância definida (10%; 20% e 30%), distinguiram-se as 12 categorias já referidas. Observe-se que o esquema que ilustra todo o processo se inicia com a escolha de um ponto de dada cor por parte do utilizador.

Seleção de critério de classificação

De cada um dos melhores resultados de cada uma das classificações resultaram os Modelos Digitais de Terreno – *Digital Elevation Models* – presentes no ANEXO C e estes foram avaliados visualmente no *software* através da representatividade de pontos que tinham face ao que se observava no terreno. Resultados desta fase constam no capítulo 4. – Resultados.

3.2.2 - Identificação de Estruturas Alongadas nos Modelos Digitais de Elevação (DEMs)

A parte de filtragem do DEM ocorre noutra *Software*: o ENVI. Nesta fase procurou-se obter uma extracção de elementos/estruturas lineares limitando-os/-as por segmentos. A função utilizada foi a *Feature Extraction – Segments Only*. Esta função do *software* tem como ponto central o algoritmo *Watershed* (bacia hidrográfica) e através da optimização de mais dois parâmetros – *Scale* e *Merge* – permite gerar formas – *shapes* – de segmentos sem ter de se executar uma classificação baseada em regras espaciais (como a paramétrica) ou em exemplos (como a supervisionada).

- *Watershed*: é um algoritmo com origem na década de '80 (Beucher, 2000), trata as imagens como mapas topográficos, que tem como princípio básico o da formação de bacias tendo como *output* final “regiões”.

Essas regiões contêm no seu interior todos os píxeis que, na analogia referida e, caso se inundasse o exemplo topográfico em questão, ficariam contidos na mesma bacia hidrográfica. Em seguida, na Figura 3:11, procurou demonstrar-se de forma sucinta o possível agrupamento de píxeis na imagem exemplo. Tome-se a imagem à esquerda como um corte longitudinal a um mapa de relevo “inundado”, e a imagem à direita como a representação do agrupamento dos píxeis desse mesmo mapa, desta vez visto de cima.

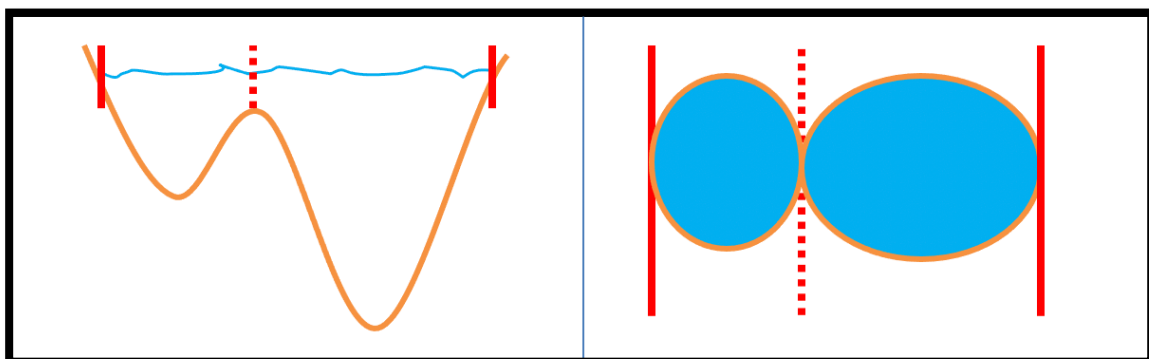


Figura 3:11 - Imagem adaptada de *Scientific Volume Imaging (Scientific Volume Imaging - Watershed Segmentation - Explanation, s.d.)*.

Assim, a transformação *Watershed* apresenta-se como uma ferramenta útil para reconhecer regiões topográficas de relevo anómalo que poderão corresponder a escarpas de falha numa escala microtopográfica.

As duas componentes parametrizáveis acima referidas – *Scale* e *Merge* – não são aplicadas em simultâneo. Ao aplicar a função *Feature Extraction*, no fundo, o que está a ocorrer no *software* é uma transformação “3 em 1” em que, sequencialmente se aplica o *Scale*, depois o *Watershed* e, finalmente o *Merge*. Depois de optimizados os dois parâmetros de segmentação, o ENVI irá computar atributos espaciais, espectrais e de textura para devolver uma imagem segmentada baseada em grupos de píxeis com atributos similares.

No caso prático abordado, procurou-se evidenciar a possível existência de uma falha pelo que, mais uma vez, se optimizaram os dois parâmetros – *Scale* e *Merge* – através de uma tabela de dupla entrada (de 4x4 resultados); combinou-se o conhecimento do terreno e da geomorfologia com o objectivo da dissertação para prever/explicar os valores usados para cada um destes parâmetros, o esquema abaixo (Figura 3:12) reúne a lógica dos resultados obtidos e serve de suporte à análise do ANEXO D.

		Merge			
		60	80	90	99
Scale	10	1	5	9	13
	20	2	6	10	14
	30	3	7	11	15
	40	4	8	12	16

Figura 3:12 - Esquema representativo dos 16 resultados obtidos no processo de extração de estruturas lineares.

Os parâmetros a optimizar são dois: *Scale* e *Merge*. Os resultados da optimização – presentes no ANEXO D – contam no capítulo 4. – Resultados; quanto aos parâmetros, explicam-se em seguida.

Scale é um parâmetro um pouco complexo, o valor *Scale* tem subjacente uma função de distribuição cumulativa (CDF) dos valores de gradiente dos píxeis na imagem. O que este parâmetro traduz é a percentagem de valores de magnitude de gradiente (variação de valor para dada característica avaliada) começando pelos mais baixos gradientes que serão ignorados pelo algoritmo *watershed*. É um parâmetro que se traduz numa “suavização” inicial da imagem – pré processamento – para que depois sejam delineados grupos de píxeis com características similares. Por exemplo, escolher um *Scale* de 20, faz com que os pontos a que correspondem os 20% mais baixos valores de magnitude

do gradiente sejam ignorados pelo *software*. Assim, para valores mais elevados de *Scale*, serão mais pronunciados os limites de estruturas que tenham as suas fronteiras mais evidentes ou seja: os pontos da imagem em que a transição de um píxel para o píxel vizinho difere mais, sendo os outros ignorados – imagem mais suavizada.

Merge (unir/união) é bastante intuitivo, varia entre 0 e 100, e representa o nível de união de entre 1000 possíveis, que o *software* consegue devolver. São 1000 possíveis porque é permitida a afinação de 100 níveis até à décima de nível. Para um valor de *Merge* de 0, o *software* não devolverá nada; para um valor de 100, o *software* devolverá o contorno externo da imagem – porque todos os segmentos (ou bacias) estarão *unidos* no mesmo conjunto.

Em seguida apresentam-se, apenas a título demonstrativo do efeito de cada parâmetro, 4 dos 16 resultados obtidos (ver Figura 3:13). Escolheram-se os 4 “extremos” porque evidenciam bem o efeito da regulação de cada um dos dois parâmetros sem, que o outro varie. A Figura 3:13 é uma imagem exemplo dos efeitos visuais de cada um dos parâmetros:

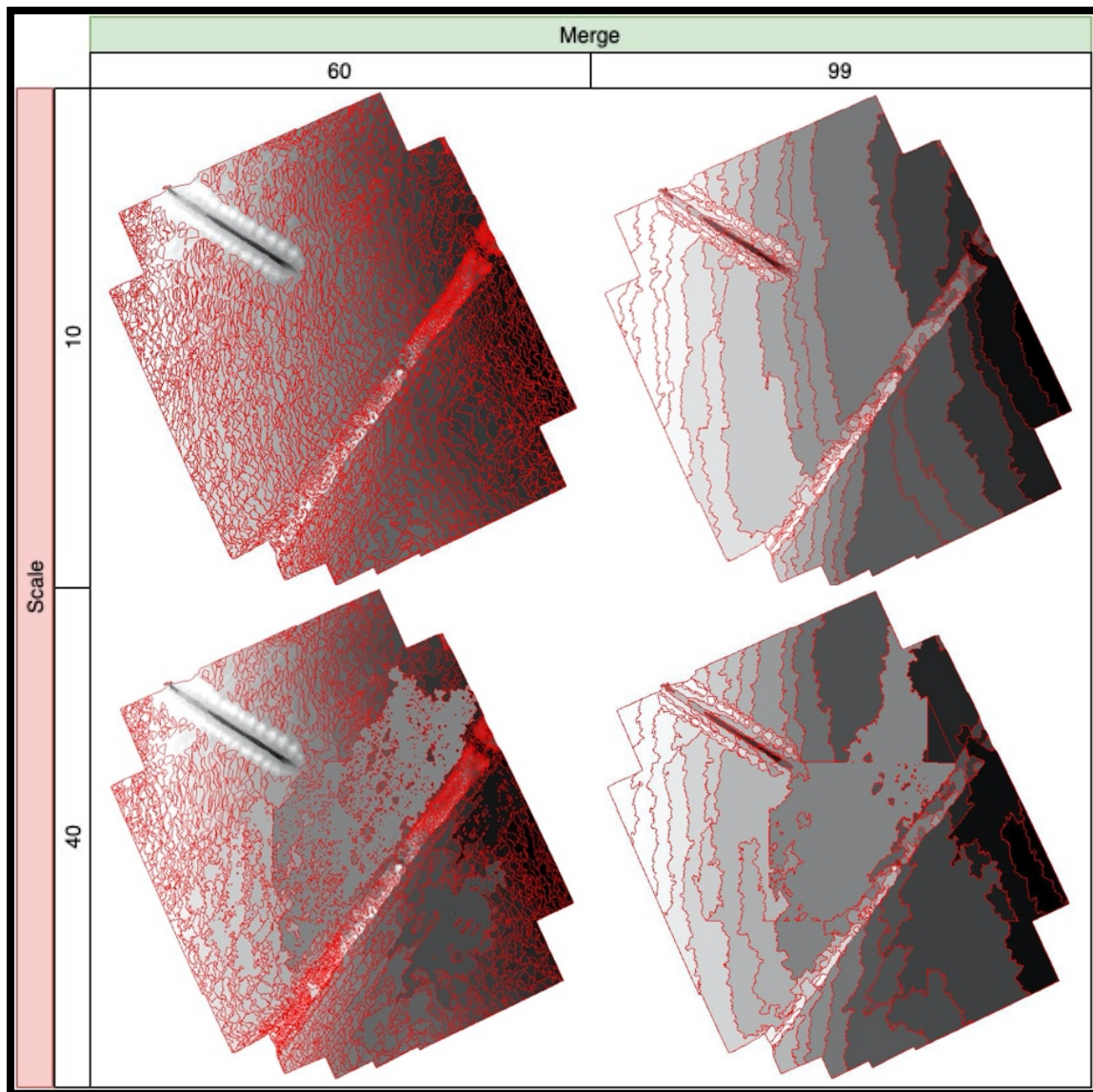


Figura 3:13 - Exemplo dos efeitos visuais de cada um dos parâmetros *Merge* e *Scale*.

Uma vez que se procuravam evidências de uma falha, idealmente, apontava-se a que o *software* apresentasse a imagem dividida em um numero relativamente baixo de partes o que corresponde a valores de *Merge*, à partida, bastante elevados, em relação ao tipo de terreno e uma vez que não se procurava uma análise de picos (ou estruturas elevadas) pronunciados com limites evidentes, não era expectável o uso de *Scales* elevados porque expectavelmente ignorariam/suavizariam a localização onde ocorrem os pontos de interesse (terreno baixo e homogéneo) na análise. De forma análoga à classificação paramétrica estabeleceram-se valores limite e obtiveram-se resultados correspondentes a uma tabela de dupla entrada de 4x4. Dados os pressupostos do início deste parágrafo optimizaram-se os parâmetros dentro dos intervalos já referidos. No final, como o *software* permitia, no parâmetro *Merge*, ir à décima de nível, tentou optimizar-se o melhor resultado já obtido: Figura 3:14.

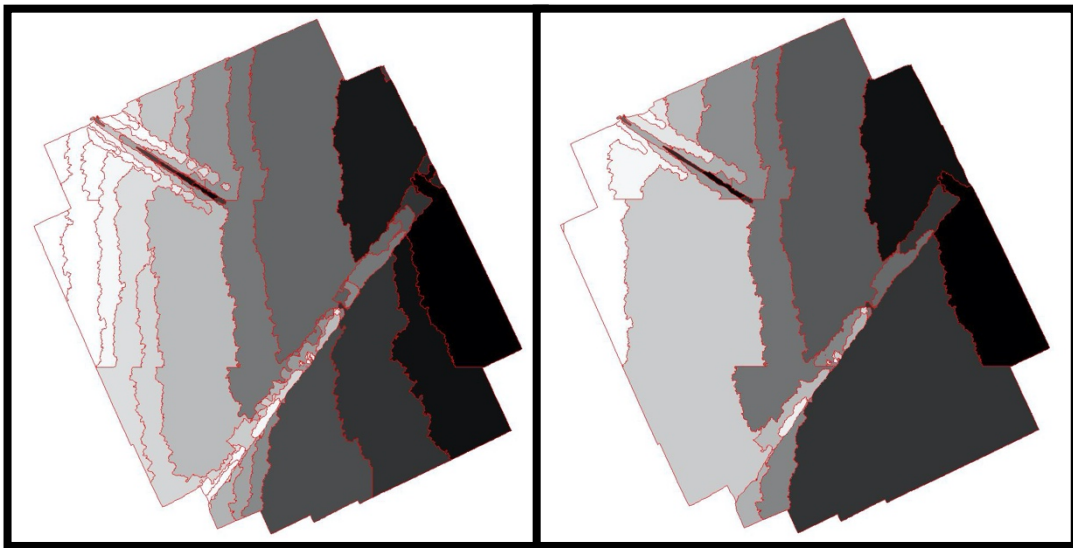


Figura 3:14 - Optimização do melhor resultado obtido: Scale fixo de 10, Merge de 99,5 à esquerda; Merge de 99,8 à direita.

4. Resultados, Discussão e Limitações

Apresentam-se neste capítulo os resultados obtidos em cada fase da metodologia bem como algumas considerações. Em cada subcapítulo, é feita uma breve explicação do que era expectável alcançar-se para que melhor se entendam os resultados.

4.1. Classificação de Nuvens de Pontos

4.1.1 - Classificação Paramétrica

Apresenta-se, em seguida, Figura 4:1, o melhor resultado da classificação paramétrica:

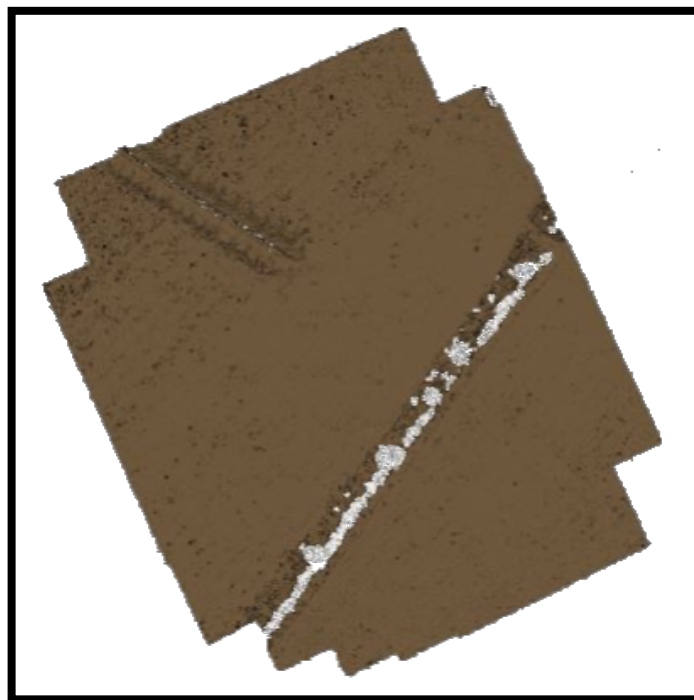


Figura 4:1 - Representação visual da melhor combinação de parâmetros da classificação paramétrica, a ser: Cell Size = 4m; Distance = 1m; Angle=23°.

Tal como se pode verificar em todas as imagens do ANEXO A, a classificação paramétrica não produziu resultados muito satisfatórios. Tal como já referido em 3.2 – Processamento, procurava-se, nesta fase, uma correcta classificação e conseqüente distinção entre os denominados “pontos de terreno” – *ground points* – e os “pontos de vegetação”.

Através da classificação paramétrica, foram identificados, a castanho (Figura 4:1), os pontos que passavam nos critérios definidos pelos parâmetros introduzidos. O que é facto é que além de ter classificado quase todo o terreno, apenas distinguiu (e mesmo assim, parcialmente) a fileira de árvores. Pretendia-se, por exemplo, um padrão pontado por todo o terreno, expectavelmente cada conjunto de pontos brancos corresponderia a porções de vegetação rasteira.

4.1.2 - Classificação Supervisionada

Apresenta-se na Figura 4:2, o melhor resultado da classificação supervisionada:

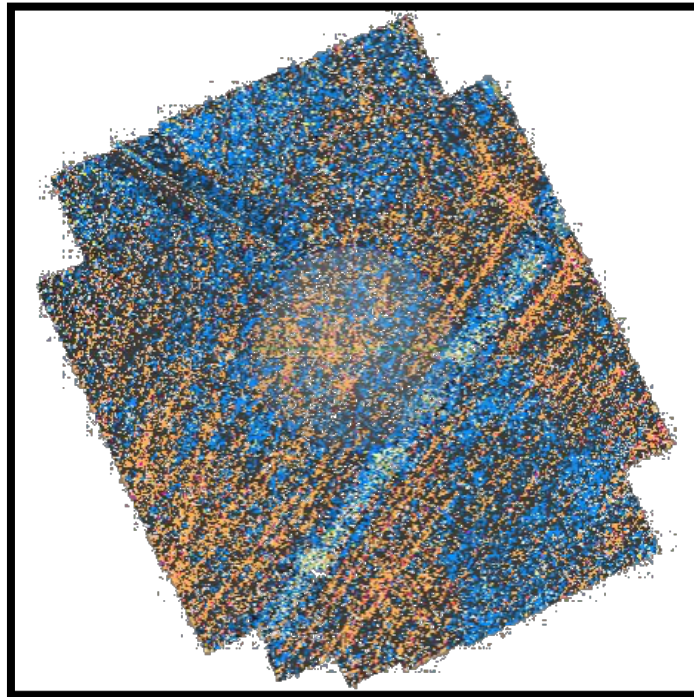


Figura 4:2 - Representação visual da melhor combinação de escolhas, tolerância de 30%.

Tal como se pode verificar em todas as imagens do ANEXO B, a classificação supervisionada produziu resultados melhores que a paramétrica.

Através da classificação supervisionada com uma tolerância de 30%, o *software* classificou uma grande porção dos pontos e devolveu seleções categoria a categoria. Se por um lado se obteve uma classificação visual bastante completa (poucos pontos brancos), por outro lado, é possível observar diferenças nítidas entre as cores que surgem nas três tolerâncias testadas:

- 10% predominância de tons de rosa e amarelo;
- 20% predominância de tons de laranja e rosa;
- 30% predominância de tons de azul e laranja.

Estas diferenças devem-se a um fenómeno de sobreposição (já referido na página 33) de categorias do próprio *software* em que qualquer categoria feita, se sobrepõe, por hipótese e em parte, à(s) categoria(s) anterior(es). Havendo aí margem para erro, vale a pena referir que a classificação foi feita sempre pela mesma ordem, pelo que se é esperado que haja sobreposição de categorias não é admissível que essa sobreposição afecte em grande medida o juízo da escolha do melhor *output*. Isto porque, havendo erro, ele foi previsto e, portanto, reproduzido sempre da mesma forma. Pode apontar-se esse fenómeno de sobreposição como uma limitação da especificidade do *software* na categorização de conjuntos de pontos que se esperavam ser disjuntos.

4.1.3 - Selecção do Critério a Usar

É facto que os resultados foram razoavelmente óbvios desde o início, a classificação paramétrica de *ground points* mostrou-se francamente pior – ANEXO C – além da categorização ser, apenas, binária; esta não só falhava em classificar correctamente as copas das árvores, mas também em distinguir pontos de cores diferentes no terreno.

Na prática, classificou toda a vegetação rasteira que se sabe existir como *ground points*, tal facto traduz-se num aparente detalhe superior do DEM correspondente (Figura Anexo C:1), referente à classificação paramétrica, no entanto, tal detalhe era precisamente o que não se pretendia encontrar e apenas ocorre no DEM devido à não distinção entre *ground points* e um outro ponto qualquer. Falhou, portanto, o objectivo de identificar a vegetação para que esta pudesse ser retirada.

Ficou estabelecido que:

- 1) Se usaria a classificação supervisionada de pontos;
- 2) A tolerância – referente à classificação seleccionada – seria 30%.

Apresenta-se, por fim, o produto final que tem por base a classificação seleccionada: o DEM que servirá de suporte para a filtragem (Figura 4:3).

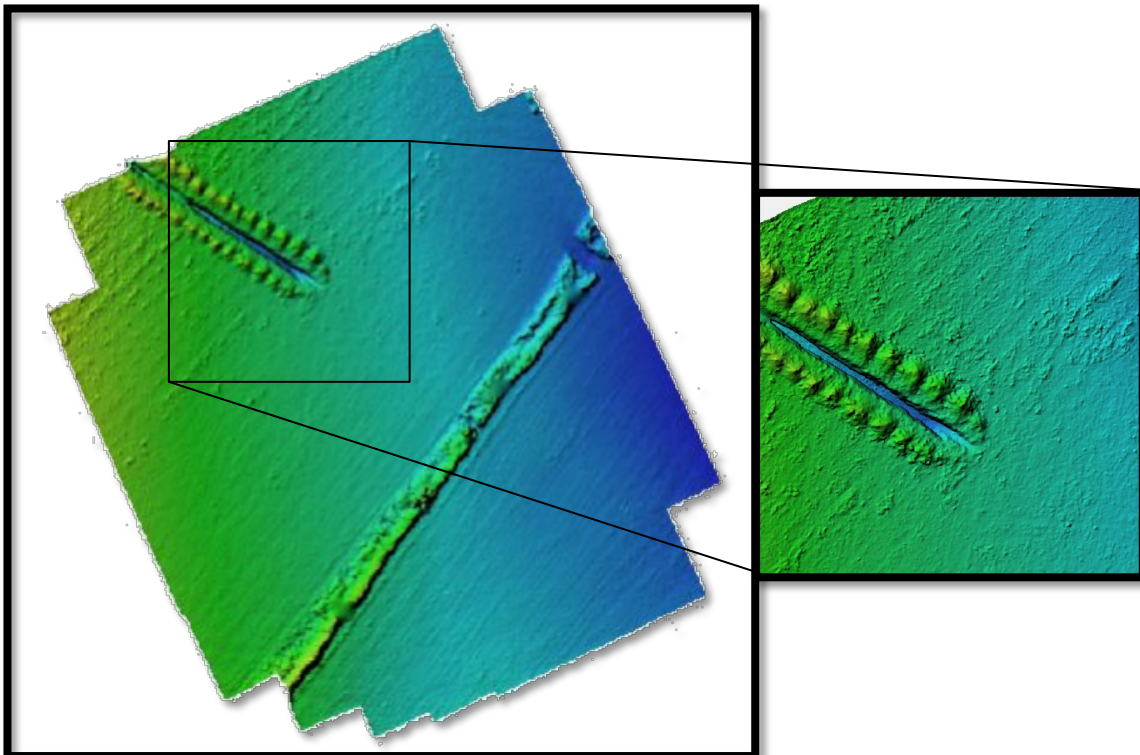


Figura 4:3 - DEM resultante da classificação supervisionada com 30% de tolerância.

4.1.4 – Modelo 3D e DEM

Apresenta-se, em seguida na Figura 4:4, um modelo tridimensional do terreno em perspectiva coberto pelo mosaico de imagens (à esquerda) e o DEM obtido. Ambos têm por base o melhor resultado da classificação supervisionada.

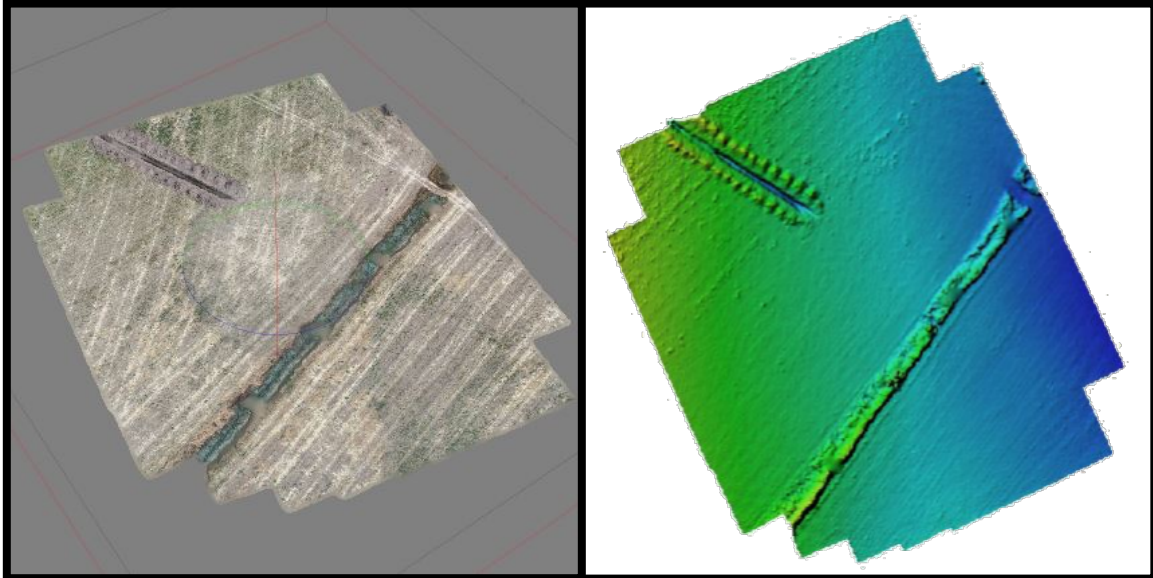


Figura 4:4 - Modelo tridimensional e DEM resultantes da classificação supervisionada com 30% de tolerância.

Evidencia-se por aproximação (zoom) na Figura 4:5 o nível detalhe conseguido neste tipo de modelos digitais de elevação.

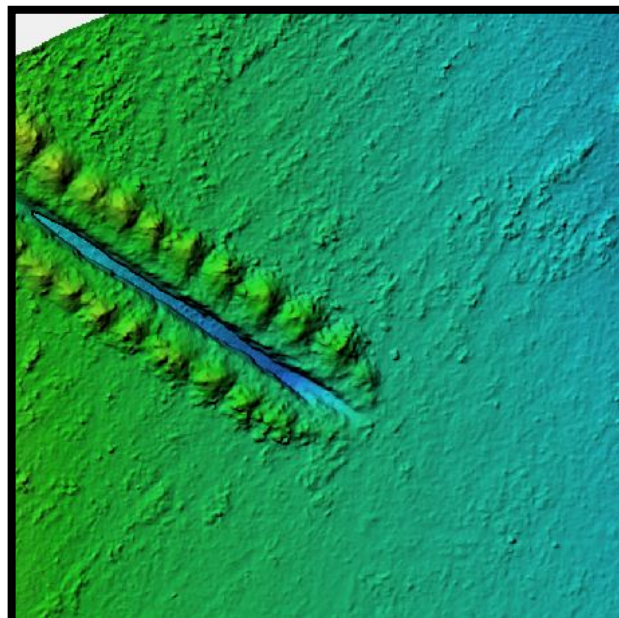


Figura 4:5 - Detalhe do DEM resultante da classificação supervisionada com 30% de tolerância.

4.2. Filtragem de DEMs

Estando obtido o DEM, procedeu-se à filtragem do mesmo. Em seguida, o DEM filtrado e obtido com os melhores parâmetros de *Scale* e *Merge* – Figura 4:6.

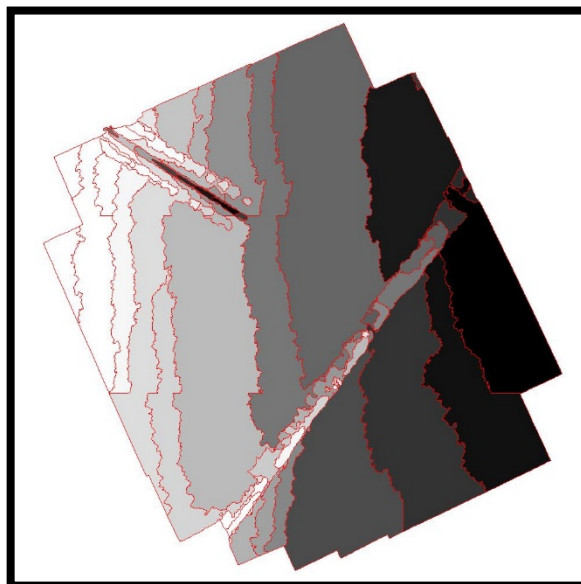


Figura 4:6 - Melhor resultado obtido na filtragem: Scale de 10, Merge de 99,5.

4.3. Comparativo: Falha / Filtro

Finalizadas todas as otimizações dos parâmetros de filtragem do DEM resta, por fim, fazer uma análise comparativa entre o alinhamento esperado entre a falha que se sabe existir e demarcada *in loco*, com o alinhamento aparente das estruturas lineares (ou das shapes) que surgiram na etapa anterior. Evidencia-se em seguida (Figura 4:7), o alinhamento real da falha:



Figura 4:7 - Marcação, a amarelo, do azimute real da falha detectada no terreno.

Do eventual alinhamento entre os azimutes reais – observados no local – e os esperados – ditados pelo algoritmo de segmentação *watershed* – podem tecer-se algumas conclusões. As duas imagens que se apresentam em seguida (Figuras 4:8 e 4:9) evidenciam essa comparação, começou-se por observar qual o alinhamento real da falha:

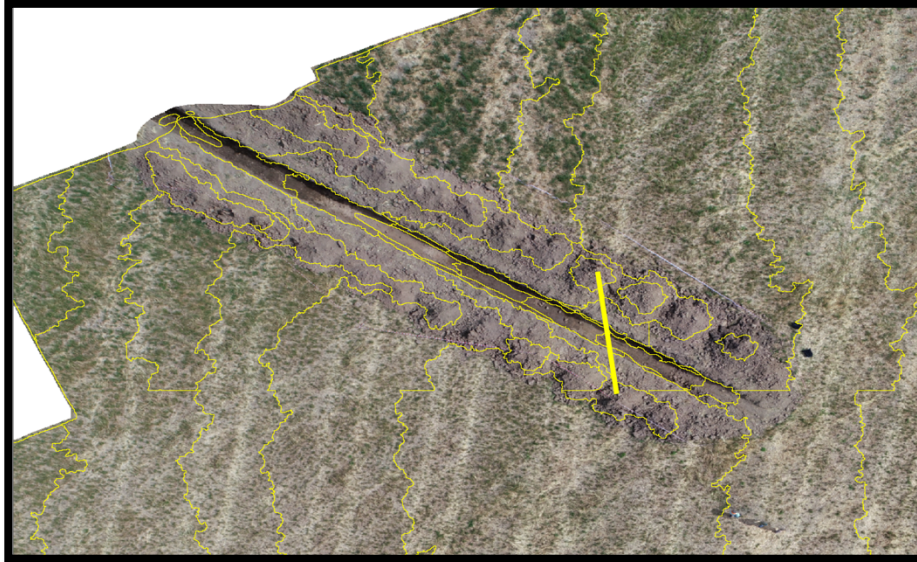


Figura 4:8 - A amarelo vivo, a falha identificada localmente.

Numa segunda parte, recorrendo-se à sobreposição de linhas rectas, paralelas entre si, identificaram-se duas famílias de eventuais falhas “previstas” pelo método e algoritmo. Apresentam-se em seguida:

Note-se que as linhas na imagem seguinte, têm como objectivo único salientar e evidenciar o

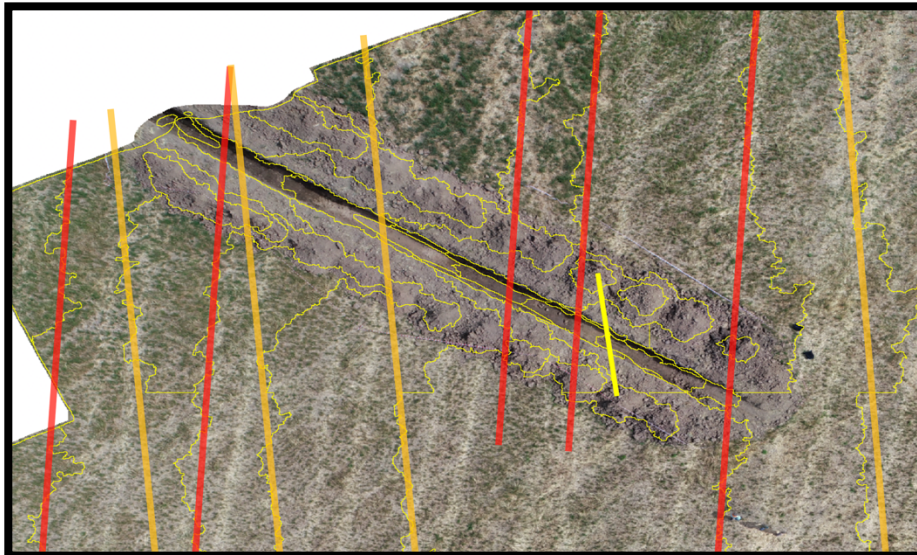


Figura 4:9 - Duas famílias de falhas a vermelho e a amarelo-torrado.

alinhamento predominante das estruturas lineares detectadas pelo algoritmo. Estruturas estas obtidas exclusivamente através da filtragem do DEM inicial.

Por fim, procurando-se reforçar a confiança no método utilizado, através da eventual coincidência dos resultados obtidos informaticamente com a realidade observada; mediram-se os ângulos das famílias e compararam-se os seus desvios angulares face à realidade. Abaixo apresentam-se três imagens (Figuras 4:10; 4:11 e 4:12) com os respectivos ângulos da falha, da família a “vermelho” e da família a “amarelo-torrado”:

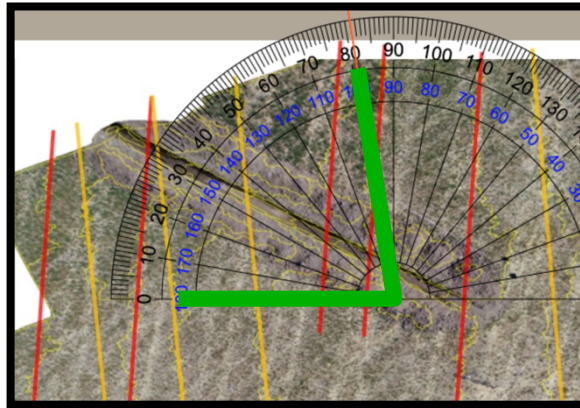


Figura 4:10 - Ângulo real da falha ~ 81°.

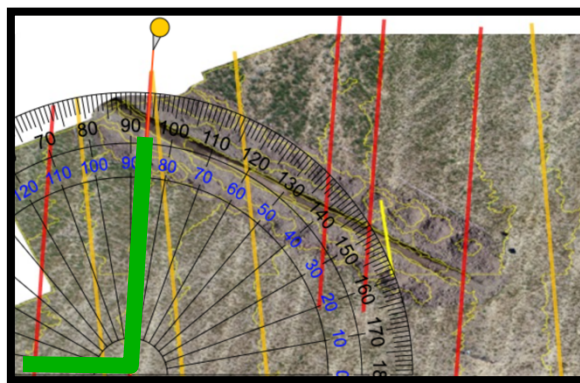


Figura 4:11 - Ângulo da família "vermelho" ~ 94°.

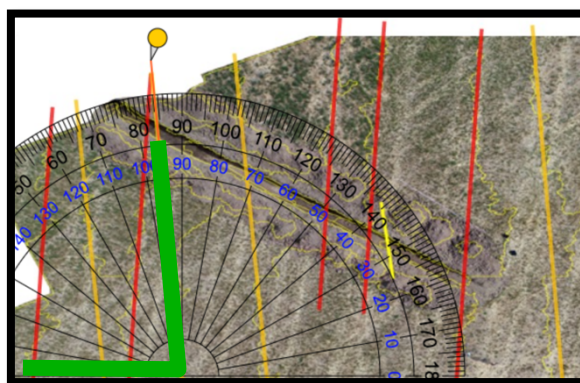


Figura 4:12 - Ângulo da família "amarelo-torrado" ~ 84°.

Assim, fica visualmente evidente a base de raciocínio que antecede as conclusões: O desvio angular máximo (i.e. pior resultado) possível de observar é de 90°. Tal corresponderia à previsão dada pelo método ser perpendicular à falha observada na realidade. Assume-se, portanto, que 90° de desvio entre o valor real e um valor dado pelo método corresponde ao erro máximo possível de observar – erro de 100%. E a fórmula para obter essa percentagem de erro face ao total é simplesmente a razão entre o valor absoluto da diferença de ângulos e a diferença máxima admissível neste caso, ou seja:

$$\% \text{ erro} = \frac{|valor \text{ real de referência} - valor \text{ dado pelo método}|}{valor \text{ máximo do desvio} - valor \text{ mínimo do desvio}} \cdot 100$$

Note-se que a validade da fórmula acima assenta no facto de esta se resumir à aferição em percentagem da “porção de desvio observada” face à “porção de desvio máxima”.

Observadas duas famílias com ângulos de 94° e 84°, estabelecendo-se como valor real de referência o ângulo real da falha – de 81° – e assumindo-se desde já uma proporcionalidade directa entre o factor “desvio angular” e o factor “percentagem de erro”; os resultados da aplicação deste método indicam erros (%) esperados de:

- **14,4%** = $\frac{|81-94|}{90-0} \cdot 100$; caso da família a “vermelho”;
- **3,3%** = $\frac{|81-84|}{90-0} \cdot 100$; caso da família a “amarelo-torrado”.

Resumindo: Foram usados VANT para captar imagens; essas imagens foram convertidas em nuvens tridimensionais de pontos das quais, através de classificações diversas, foram extraídos/excluídos os píxeis correspondentes à vegetação. Em seguida geraram-se DEM, os quais foram filtrados de forma a obter estruturas lineares, sendo que, por fim, essas estruturas lineares parecem indicar a presença de duas famílias diferentes de alinhamentos; uma das quais “errando” na sua orientação apenas em 3 graus o que corresponde a uma percentagem de 3,3 face ao valor máximo possível de se observar em qualquer circunstância.

5. Conclusão

Esta dissertação teve como ponto central a hipótese de se usarem VANT como meio de detecção de microtopografia, neste caso em concreto como meio de dedução e/ou previsão de falhas geológicas através da identificação de estruturas lineares. De facto, se grande parte do trabalho foi de processamento de imagem e optimização de parâmetros... tal nunca sortiria resultados minimamente plausíveis se a aquisição feita de início não fornecesse suporte digital, no mínimo, razoável, para que toda a metodologia pudesse ser aplicada.

Pode sempre, como em qualquer processo de teste de hipóteses, afirmar-se que qualquer coincidência entre os resultados obtidos e a realidade foi apenas e só isso mesmo, uma coincidência. Neste caso em concreto, uma vez que se tinha dados factuais da existência da falha e mais, do real alinhamento da mesma é, uma coincidência que vem reforçar a validade de toda a metodologia.

Não foi nunca o objectivo desta dissertação afirmar a existência de um método infalível, foi, sim, colocar à prova a hipótese de os VANT poderem ser uma ferramenta ou alternativa economicamente viável para a obtenção e análise de microtopografia. Isso fica evidenciado de forma vincada não só pela variedade de testes que se pôde fazer com os dados iniciais, mas também com a confiança transmitida pelas tão baixas margens de erro finais.

Voltamos então à questão colocada no capítulo 1.2 – Definição do problema: *“Poderão usar-se VANT – contribuindo estes de forma significativa, rápida e económica – para evidenciar estruturas tectónicas através da detecção das suas expressões na superfície terrestre?”*

Muito provavelmente sim. É inegável que, neste caso, se evidenciaram padrões microtopográficos e que esses têm uma forte relação com a ocorrência de fenómenos tectónicos. No entanto, não há certeza absoluta de que tudo não é apenas circunstancial. A única maneira de se ganhar mais e mais confiança de que os resultados obtidos pela aplicação deste tipo de metodologia são efectivamente positivos é apenas repetir o processo vezes suficientes até que se observe de forma sistemática os resultados serem coincidentes com a realidade.

5.1. Contribuição desta Dissertação

No que respeita ao contributivo desta dissertação para a comunidade científica pode ser dito que foram feitos mais testes com imagens de VANT, tanto em termos de aquisição como em pós processamento.

Como *output* destes testes, apresenta-se toda uma dissertação que se centra no processamento e análise das imagens pelo que, dado o cariz de tentativa/erro deste tipo de metodologias, qualquer tentativa ou estudo extra serão sempre benéficos.

5.2. Trabalho Futuro

De futuro este método poderá vir a ser ainda mais expedito e economicamente viável. Uma das grandes barreiras desta dissertação foi sem dúvida a capacidade de processamento de imagem e a consequente obtenção de resultados.

De futuro, com melhores meios computacionais, com melhores processadores e com VANT cujo rácio área amostrada/tempo decorrido seja superior ao actual... poderão ser feitos mais testes similares em muito menos tempo. Poderão também ser aprimorados os parâmetros de teste.

Neste caso em concreto já se tinha uma vala para aferir a validade dos resultados. De futuro, caso se opte por esta metodologia como meio de investigação. Poderão ser feitas, de forma economicamente capaz, amostragens de terrenos “desconhecidos” e apenas posteriormente se aferir (com uma vala, por exemplo) se os resultados reais se ajustam às previsões do método.

Resumindo: poderá ser feito trabalho análogo ao já realizado em períodos de tempo muito menores e gastando muito menos dinheiro em soluções melhores. Tais factos, por si só, já são uma enormíssima vantagem.

6. Bibliografia

- Beucher, S. (Julho de 2000). The Watershed Transformation Applied To Image Segmentation. *Scanning microscopy Supplement 6*, pp. 1-26.
- Canora, C., Vilanova, S., De Pro-Díaz, Y., Pina, P., & Heleno, S. (Março de 2021). Evidence of Surface Rupture Associated With Historical Earthquakes in the Lower Tagus Valley, Portugal. Implications for Seismic Hazard in the Greater Lisbon Area. *Frontiers in Earth Science*, p. Article 620778.
- Chen, J., Li, K., Chang, K.-J., Sofia, G., & Tarolli, P. (Outubro de 2015). Open-pit mining geomorphic feature characterisation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, XLII*, pp. 76-86.
- Eltner, A., Kaiser, A., Castillo, C., Rock, G., Neugirg, F., & Abellán, A. (Maio de 2016). Image-based surface reconstruction in geomorphometry – merits, limits and developments. *European Geosciences Union*.
- Eltner, A., Kaiser, A., Castillo, C., Rock, G., Neugirg, F., & Abellán, A. (Maio de 2016). Image-based surface reconstruction in geomorphometry – merits, limits and developments. *Earth Surface Dynamics, Volume IV(2)*, pp. 359-389.
- F.L.Bonali, A.Tibaldi, F.Marchese, L.Fallati, E.Russo, C.Corselli, & A.Savini. (Abril de 2019). UAV-based surveying in volcano-tectonics: An example from the Iceland rift. *Journal of Structural Geology*.
- Gori, S., Falcucci, E., Galadini, F., Zimmaro, P., Pizzi, A., Kayen, R. E., . . . Stewart, J. P. (Dezembro de 2019). Surface Faulting Caused by the 2016 Central Italy Seismic Sequence: Field Mapping and LiDAR/UAV Imaging. *SAGE Journals*.
- Hader, M., & Baur, S. (2020). *USD 5.5 billion market volume for non-military drones globally*. Roland Berger.
- Heleno, S., Pina, P., Bandeira, L., Vilanova, S. P., & Goyanes, G. A. (s.d.). *ALTITUD3 - Assessment of Low-cost Aerial Intelligent systems for natural Terrain 3D mapping*. Obtido em Fevereiro de 2021, de Cerena - Centro de Recursos Naturais e Ambiente: <https://cerena.ist.utl.pt/projects/altitud3-assessment-low-cost-aerial-intelligent-systems-natural-terrain-3d-mapping>
- Heleno, S., Pina, P., Bandeira, L., Vilanova, S., & Goyanes, G. A. (1 de Outubro de 2018-A decorrer). *ALTITUD3 - Assessment of Low-cost Aerial Intelligent systems for natural Terrain 3D mapping*. Fundação para a Ciência e a Tecnologia.
- Humboldt State University. (2017). Learning Module 8.2 - UAS and the Future of Remote Sensing. *Introduction to Remote Sensing*.

- Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O'Connor, J., & Rosette, J. (Julho de 2019). Structure from Motion Photogrammetry in Forestry: a Review. *Springer - Part of a collection: Topical Collection on "Remote Sensing"*.
- Javernick L., B. J. (Maio de 2014). Modeling the topography of shallow braided rivers using Structure-from-Motion photogrammetry. *Geomorphology*, pp. 166-182.
- Kadhim, I., & Abed, F. M. (Janeiro de 2021). The Potential of LiDAR and UAV-Photogrammetric Data Analysis to Interpret Archaeological Sites: A Case Study of Chun Castle in South-West England. *MDPI*.
- Lian, X.-g., Li, Z.-j., Yuan, H.-y., Liu, J.-b., Zhang, Y.-j., Liu, X.-y., & Wu, Y.-r. (2020). Rapid identification of landslide, collapse and crack based on low-altitude remote sensing image of UAV. *Journal of Mountain Science*.
- Lucieer, A., de Jong, S. M., & Turner, D. (Fevereiro de 2014). Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multitemporal UAV photography. *Progress in Physical Geography-Earth and Environment*, XXXVIII(1), pp. 97-116.
- Measure. (2016). *Drones: Autonomous or automated?* Obtido em 5 de Fevereiro de 2021, de <https://www.measure.com/blog/drones-autonomous-or-automated#:~:text=Currently%2C%20drones%20cannot%20perform%20all,they%20are%2C%20however%2C%20automated.>
- Nex, F., & Remondino, F. (Novembro de 2013). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, 6.
- Olson, D., & Anderson, J. (Janeiro de 2021). Review on unmanned aerial vehicles, remote sensors, imagery processing, and their applications in agriculture. *Agronomy Journal*.
- Park, S., & Choi, Y. (Julho de 2020). Applications of Unmanned Aerial Vehicles in Mining from Exploration to Reclamation: A Review. *MDPI - Minerals*.
- Scientific Volume Imaging - Watershed Segmentation - Explanation. (s.d.). *Deconvolution - Visualization - Analysis*. Obtido de www.svi.nl/watershed
- Sledź, S., Ewertowski, M., & Piekarczyk, J. (Janeiro de 2021). Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) surveys and Structure from Motion photogrammetry in glacial and periglacial geomorphology.
- Spring, K. R., Flynn, B. O., Long, J. C., & Davidson, M. W. (s.d.). *Spatial Resolution in Digital Imaging*. Obtido em 5 de Fevereiro de 2021, de <https://www.microscopyu.com/tutorials/spatial-resolution-in-digital-imaging>
- Török, A., Bögöly, G., Somogyi, Á., & Lovas, T. (Janeiro de 2020). Application of UAV in Topographic Modelling and Structural Geological Mapping of Quarries and Their Surroundings—Delineation of Fault-Bordered Raw Material Reserves. *MDPI*.

- Tahir, A., Boling, J., Haghbayan, M.-H., Toivonen, H., & Plosila, J. (Dezembro de 2019). Swarms of Unmanned Aerial Vehicles - A Survey. *Journal of Industrial Information Integration*, XVI.
- Ulman, S. (1976). *dspace*. Obtido de <https://dspace.mit.edu/bitstream/1721.1/6298/2/AIM-476.pdf>
- Wikipedia. (2020). *Digital elevation model*. Obtido em 05 de Fevereiro de 2021, de https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_elevation_model#:~:text=In%20contrast%20to%20a%20D%20SM,further%20definition%20about%20the%20surface.
- Xiong, B., & Li, X. (Julho de 2020). Offset measurements along active faults based on the structure from motion method – A case study of Gebiling in the Xorkoli section of the Altyn Tagh Fault. *Geodesy and Geodynamics*.
- Xiong, B., & Xue, L. (Julho de 2020). Offset measurements along active faults based on the structure from motion method – A case study of Gebiling in the Xorkoli section of the Altyn Tagh Fault. *Geodesy and Geodynamics, Volume XI(5)*, pp. 358-366.
- Yodin(user). (16 de Outubro de 2015).

ANEXO A

Classificação Paramétrica dos Pontos – Resultados referentes à Figura 3:8.

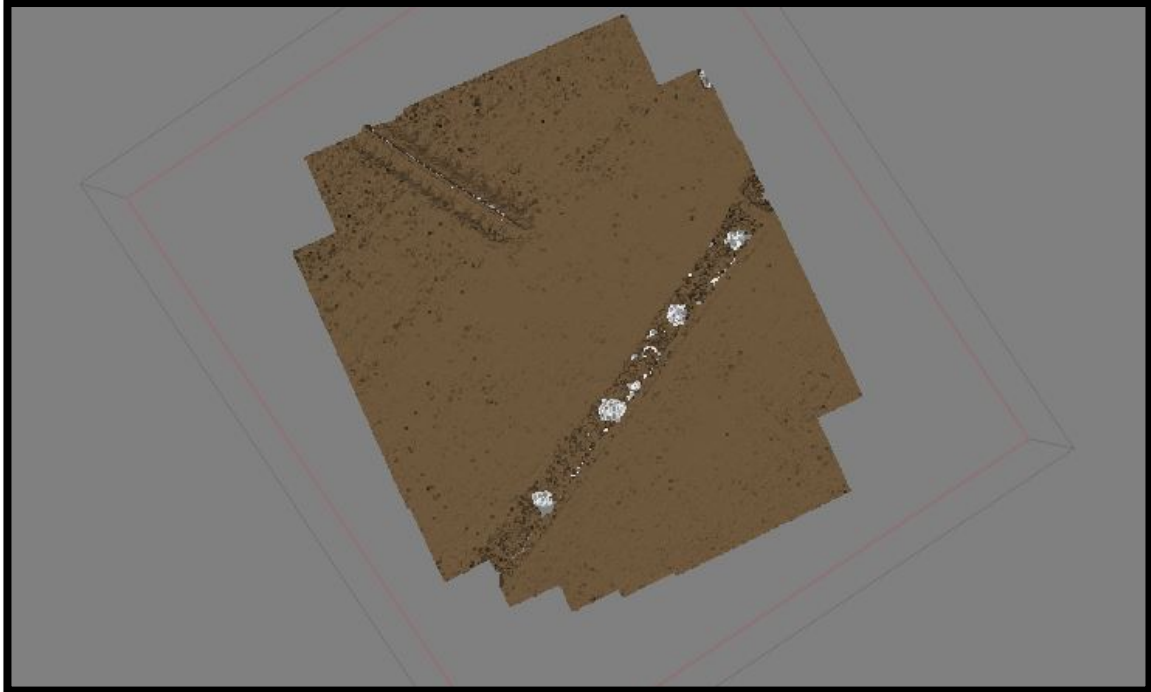


Figura Anexo A:1 - #1 - Cell size 4; Distance 1; Angle 45.

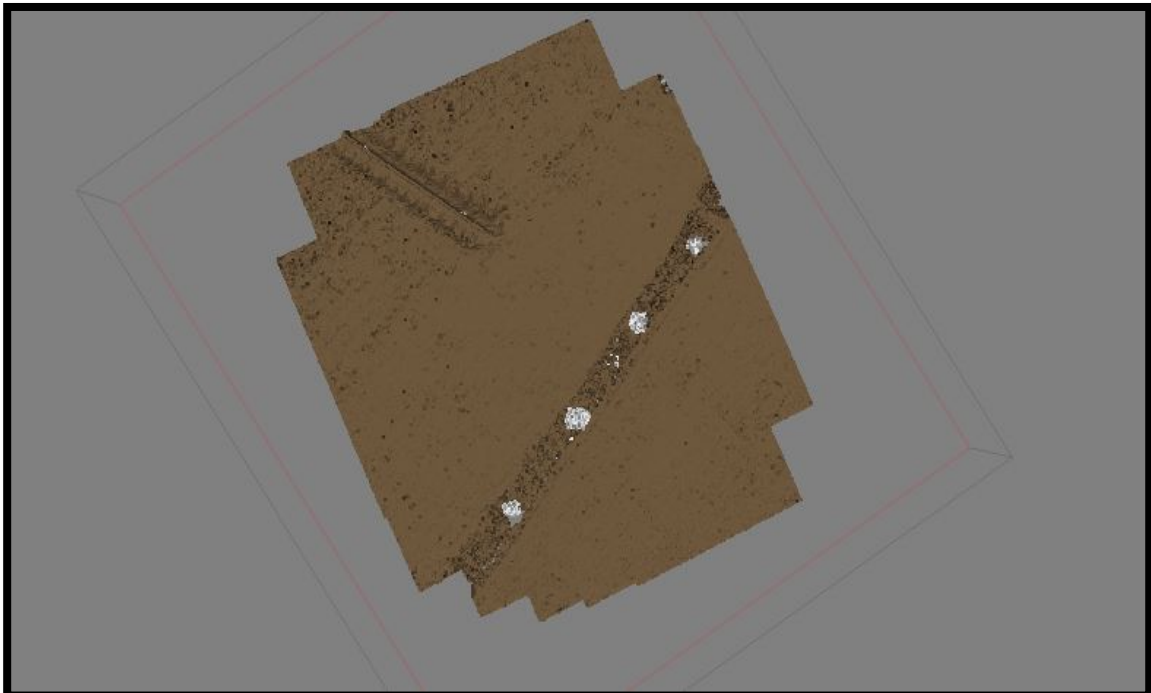


Figura Anexo A:2 - #2 - Cell size 4; Distance 1,5; Angle 45.

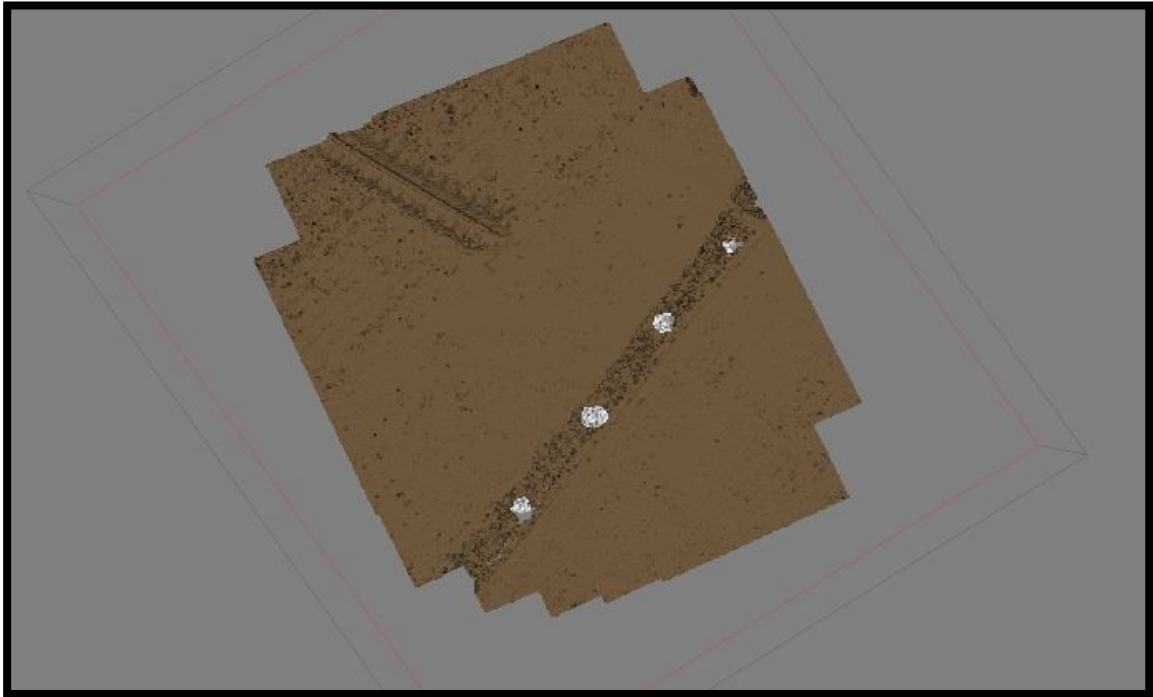


Figura Anexo A:3 - #3 - Cell size 4; Distance 2; Angle 45.

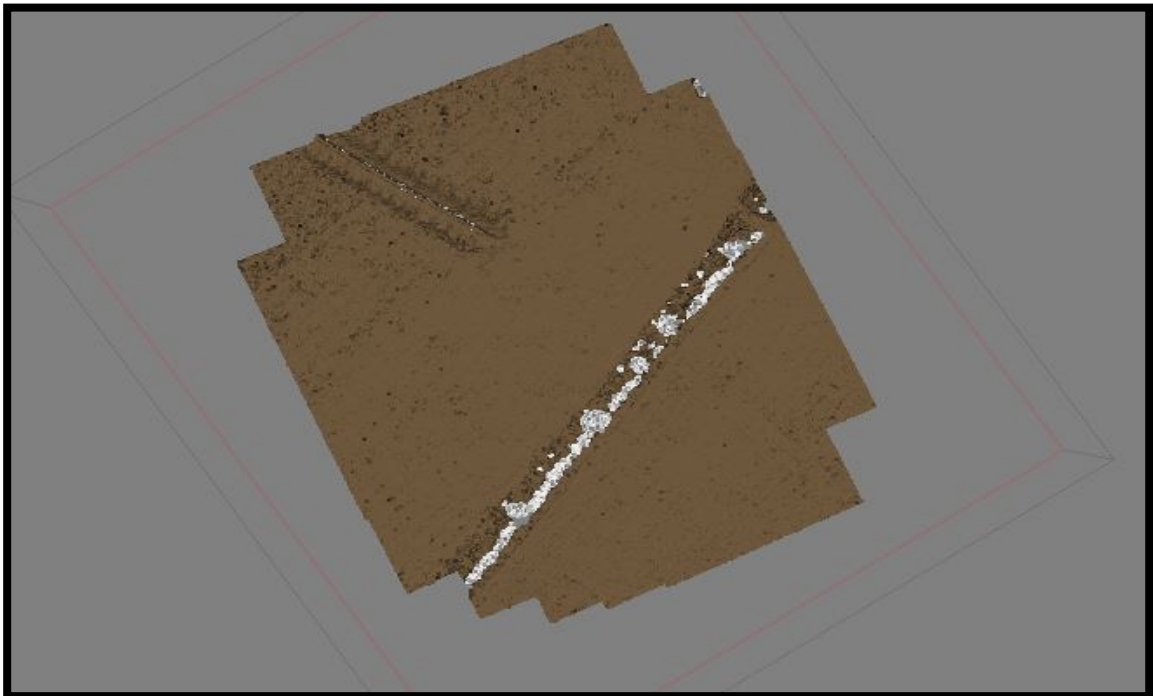


Figura Anexo A:4 - #4 - Cell size 4; Distance 1; Angle 23.

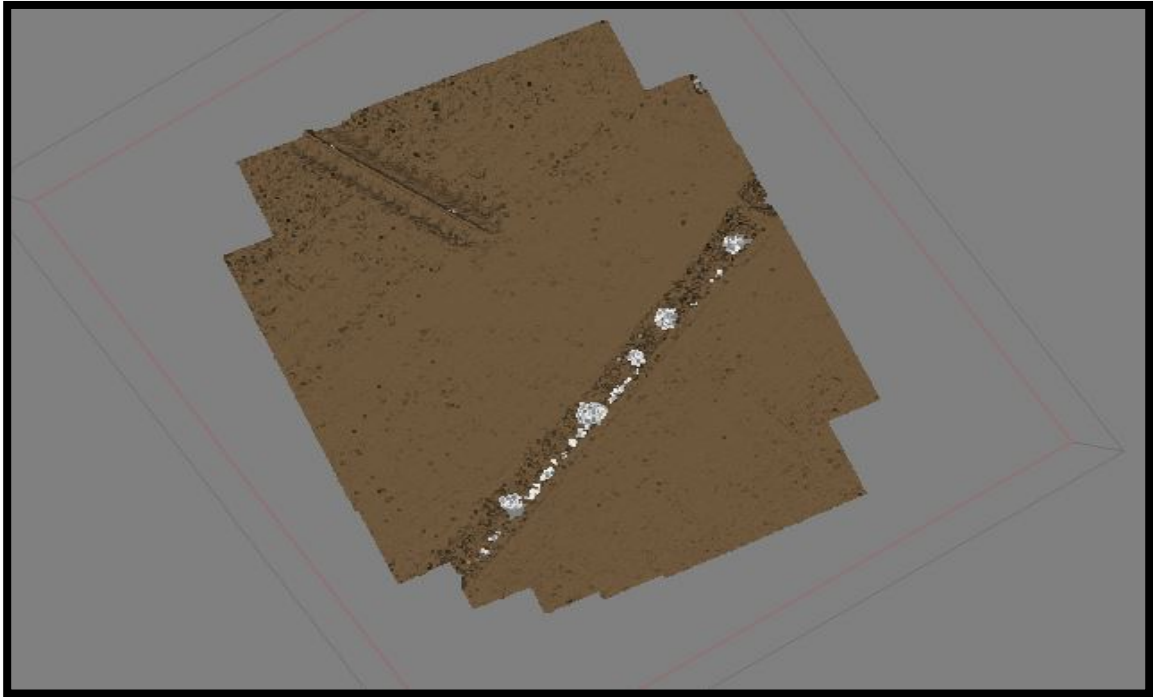


Figura Anexo A:5 - #5 - Cell size 4; Distance 1,5; Angle 23.

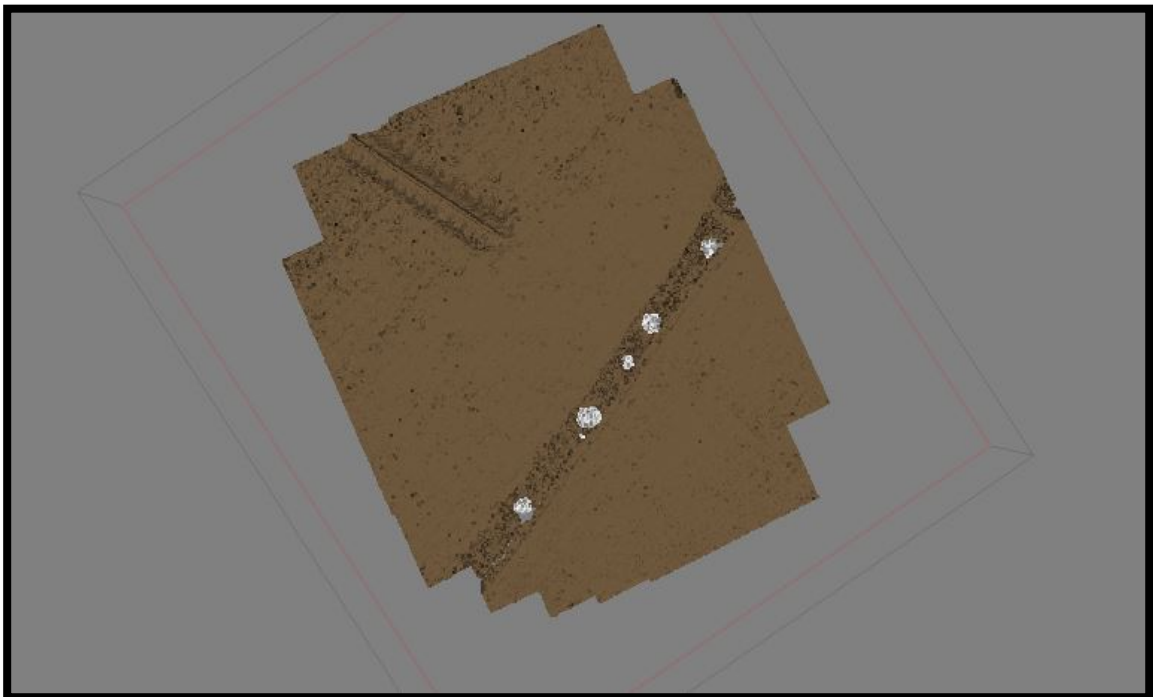


Figura Anexo A:6 - #6 - Cell size 4; Distance 2; Angle 23.

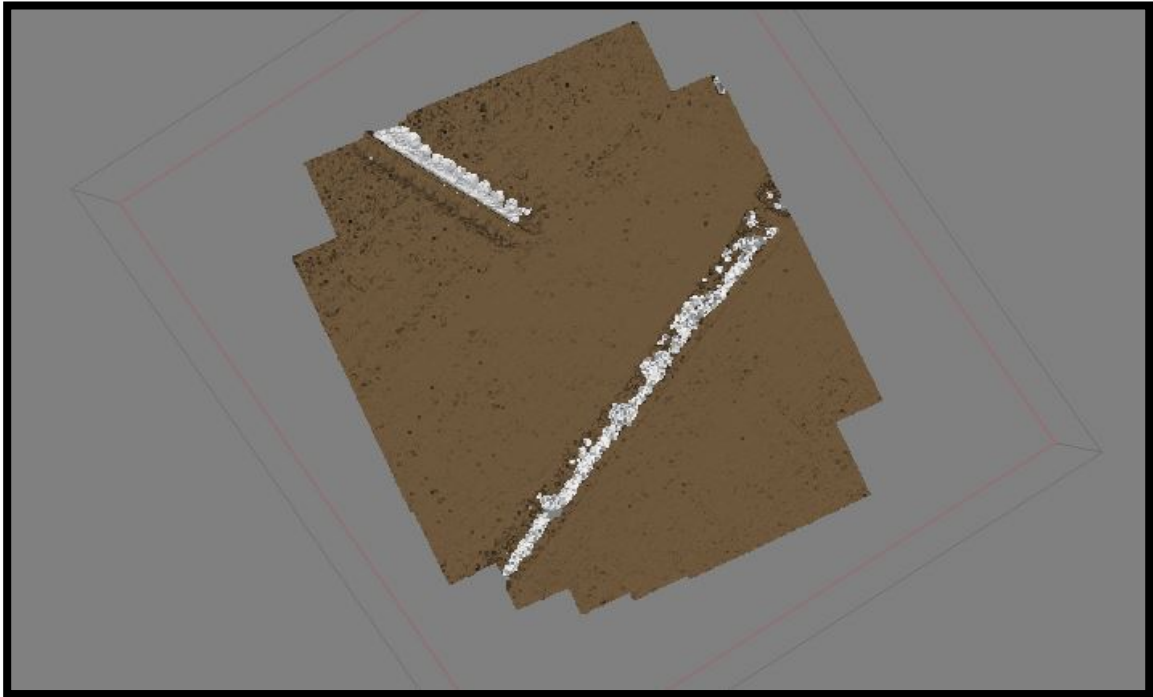


Figura Anexo A:7 - #7 - Cell size 4; Distance 1; Angle 12.

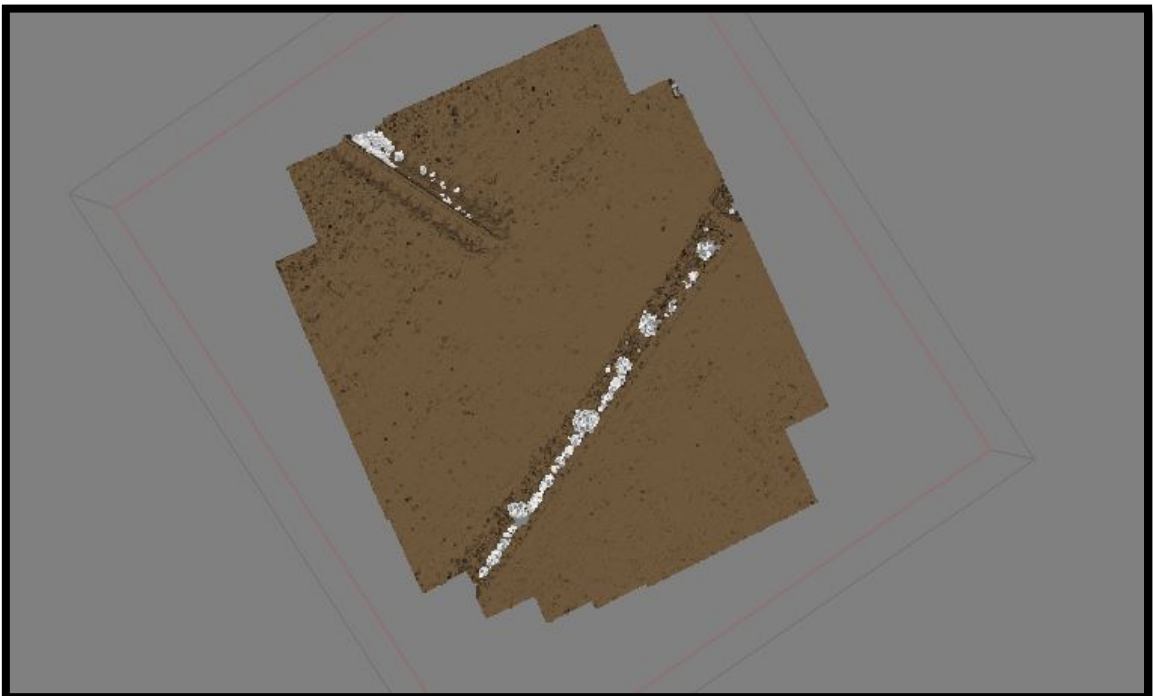


Figura Anexo A:8 - #8 - Cell size 4; Distance 1,5; Angle 12.

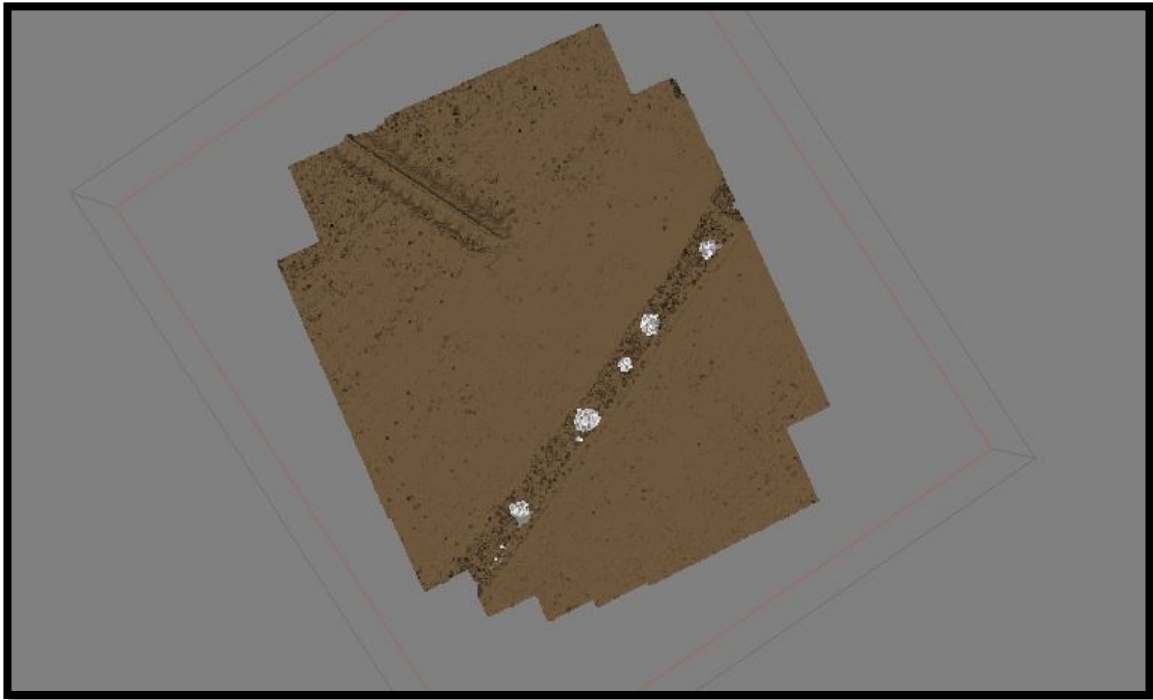


Figura Anexo A:9 - #9 - Cell size 4; Distance 2; Angle 12.

ANEXO B

Classificação Supervisionada dos Pontos – Resultados referentes à Figura 3:10.

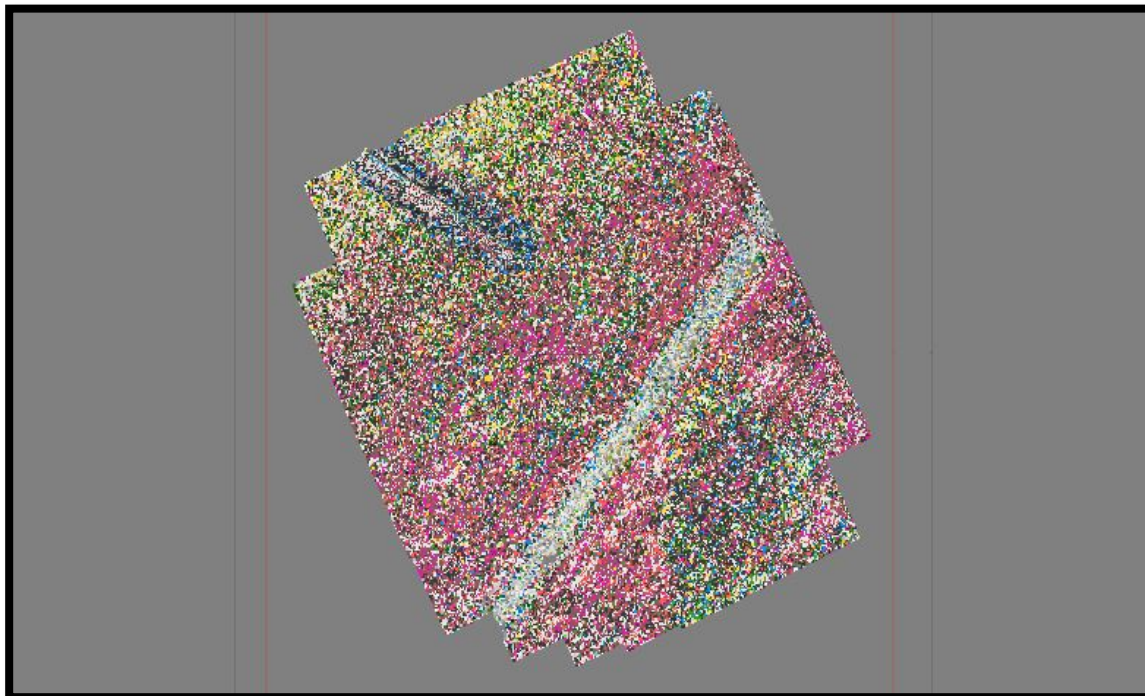


Figura Anexo B:1 - 12 categorias, tolerância de 10%.

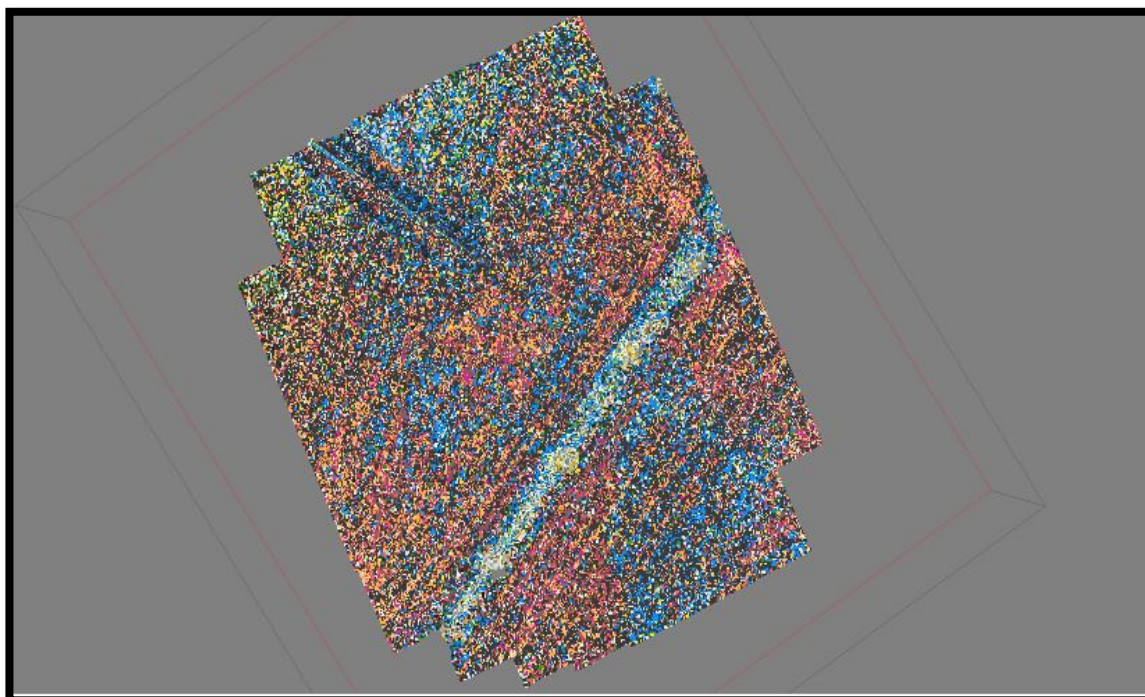


Figura Anexo B:2 - 12 categorias, tolerância de 20%.

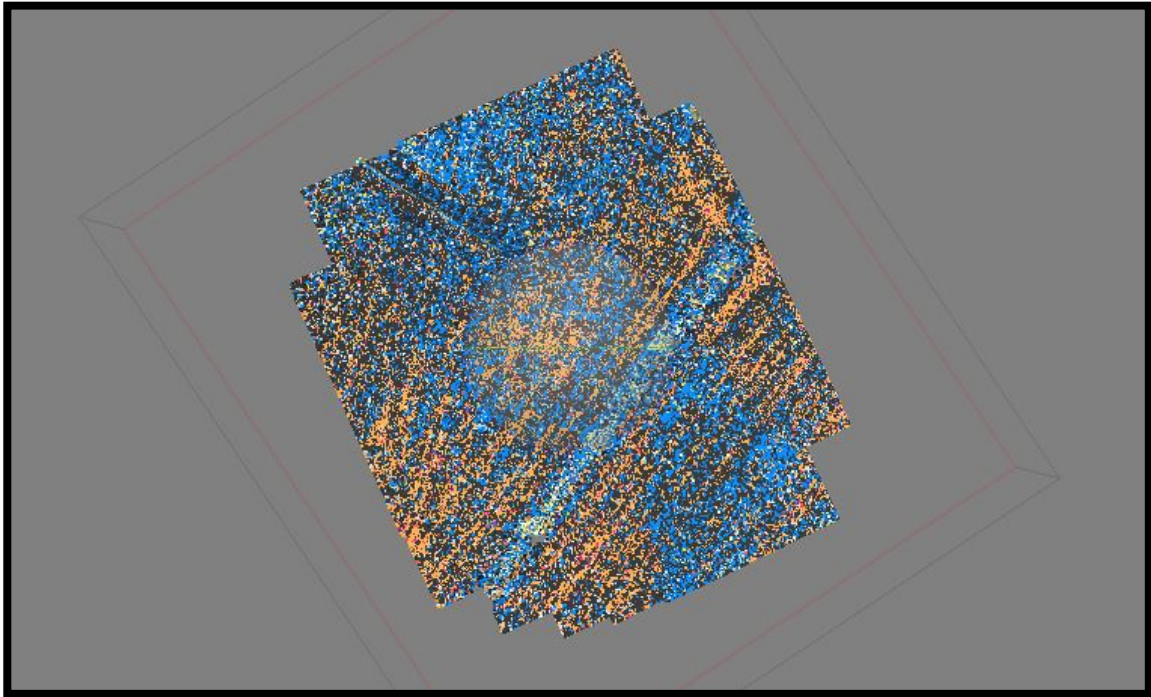


Figura Anexo B:3 - 12 categorias, tolerância de 30%.

ANEXO C

Modelos Digitais de Terreno – Digital Elevation Models.

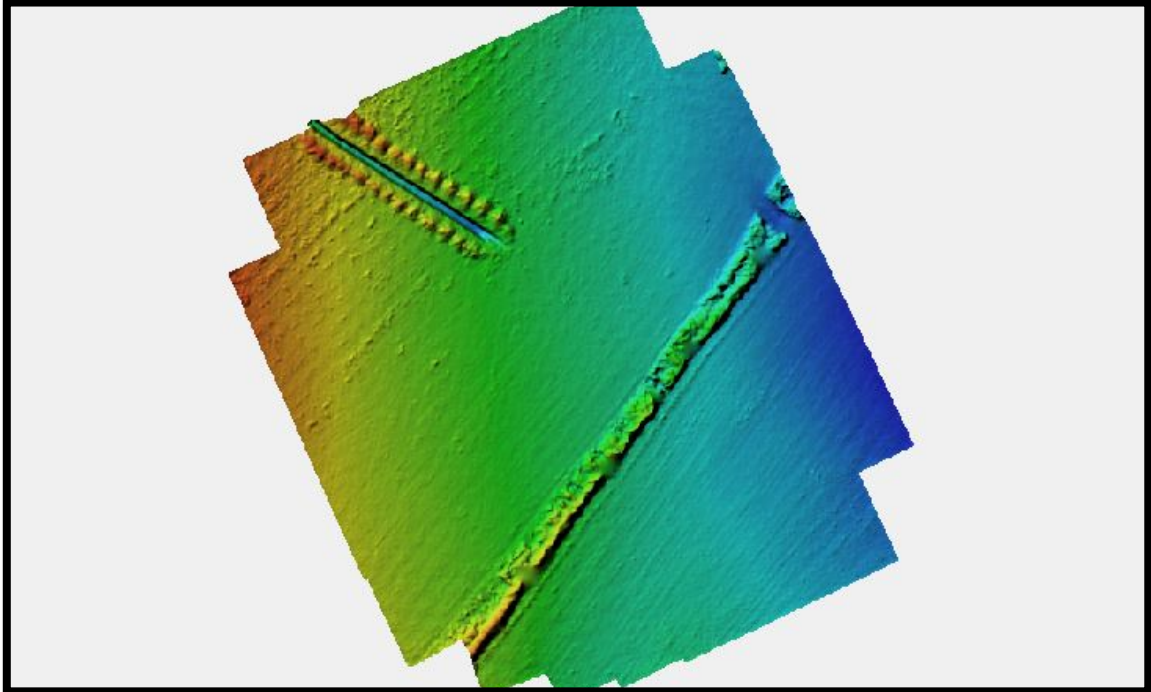


Figura Anexo C:1 - DEM da melhor classificação paramétrica dos pontos - Cell size 4; Distance 1; Angle 23.

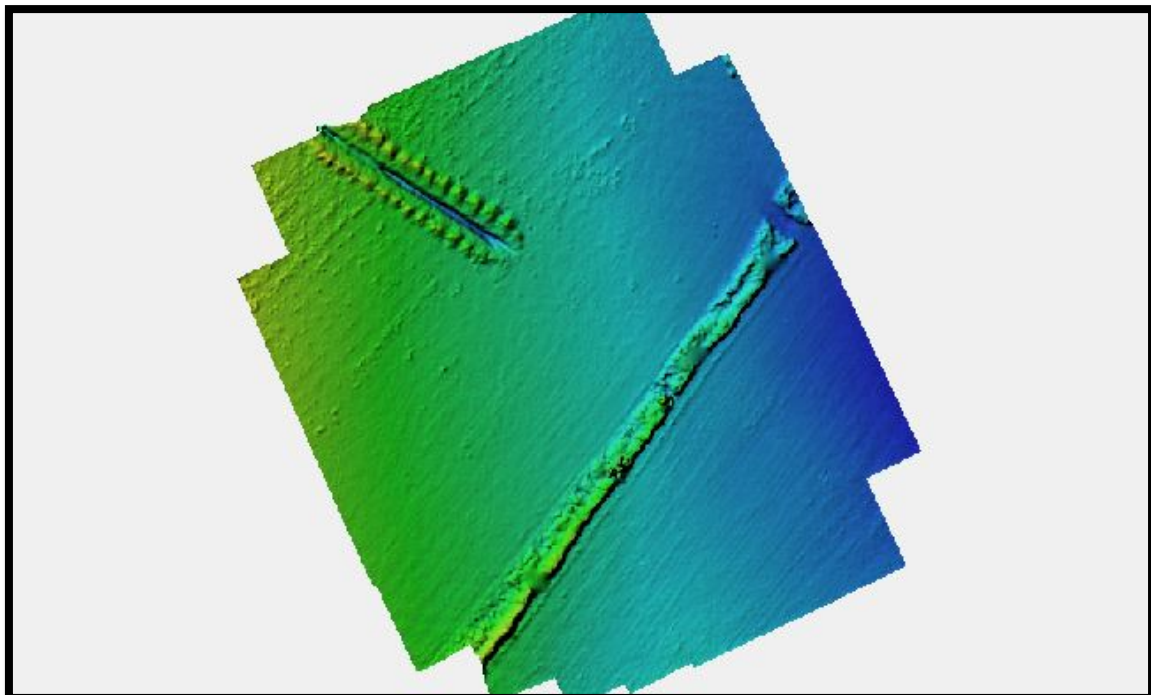


Figura Anexo C:2 - DEM da melhor classificação supervisionada dos pontos - Tolerância de 30%.

ANEXO D

Parâmetros Merge e Scale – Resultados referentes à Figura 3:12.

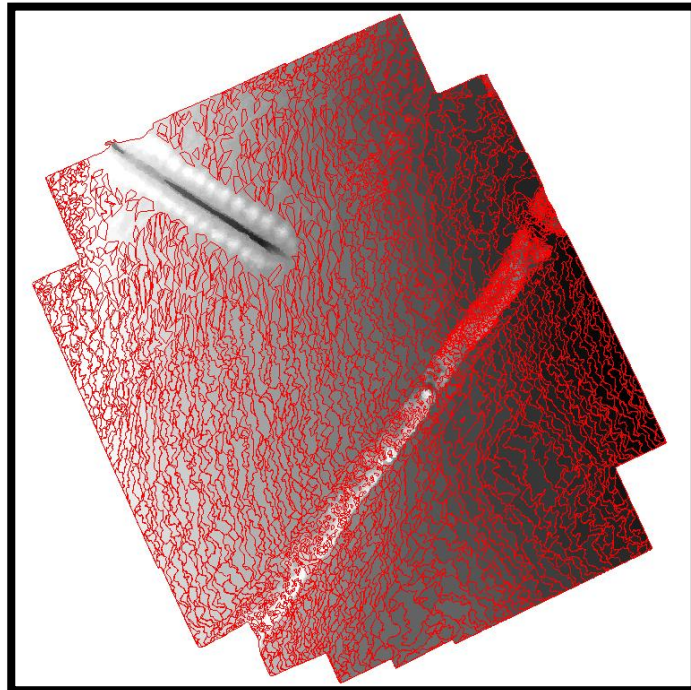


Figura Anexo D:1 - #1 Merge 60; Scale 10.

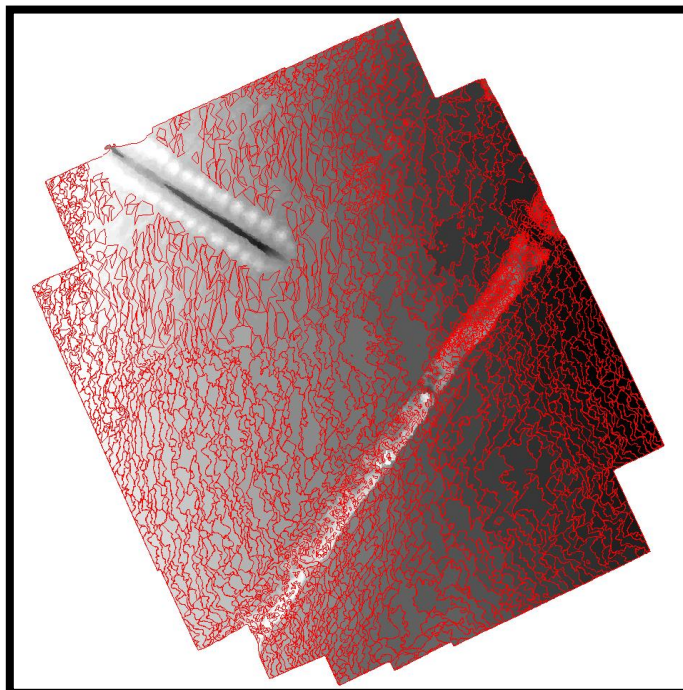


Figura Anexo D:2 - #2 Merge 60; Scale 20.

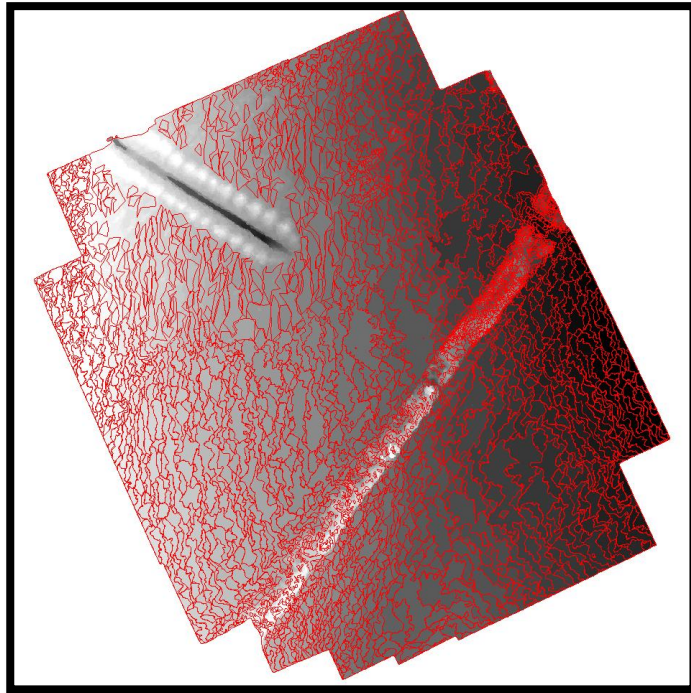


Figura Anexo D:3 - #3 Merge 60; Scale 30.

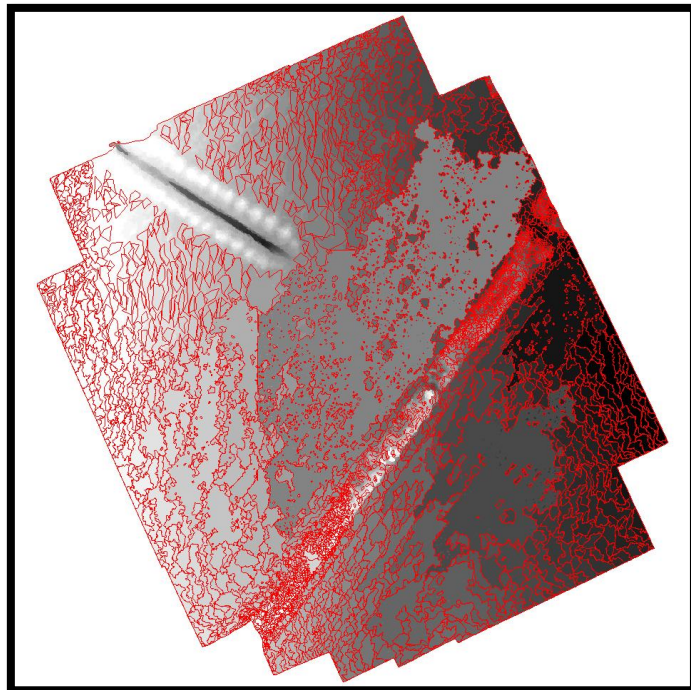


Figura Anexo D:4 - #4 Merge 60; Scale 40.

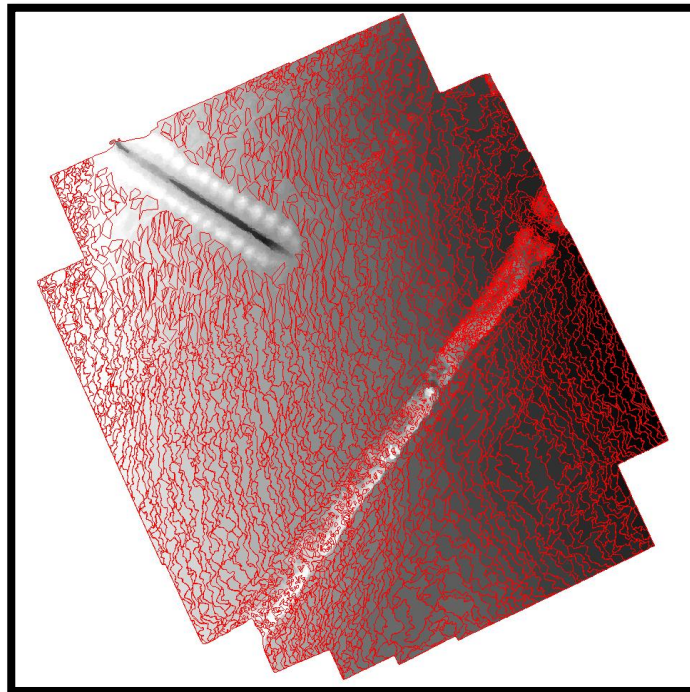


Figura Anexo D:5 - #5 Merge 80; Scale 10.

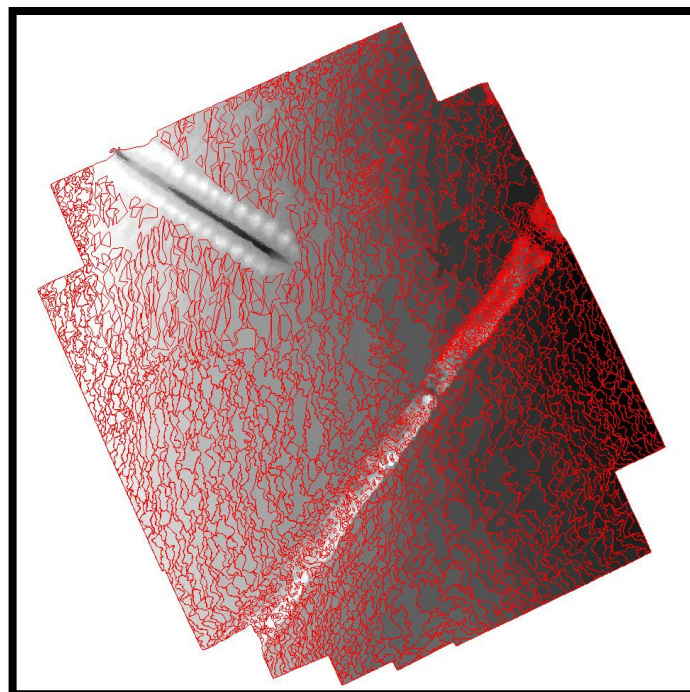


Figura Anexo D:6 - #6 Merge 80; Scale 20.

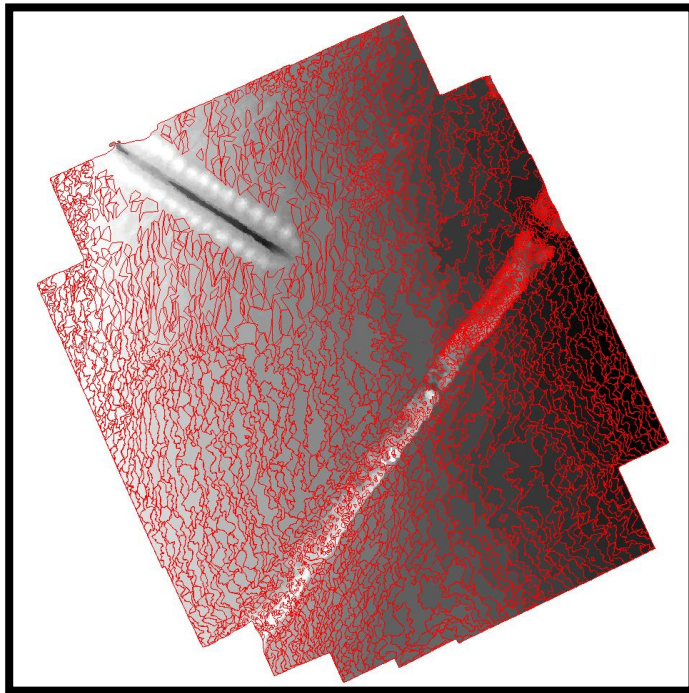


Figura Anexo D:7 - #7 Merge 80; Scale 30.

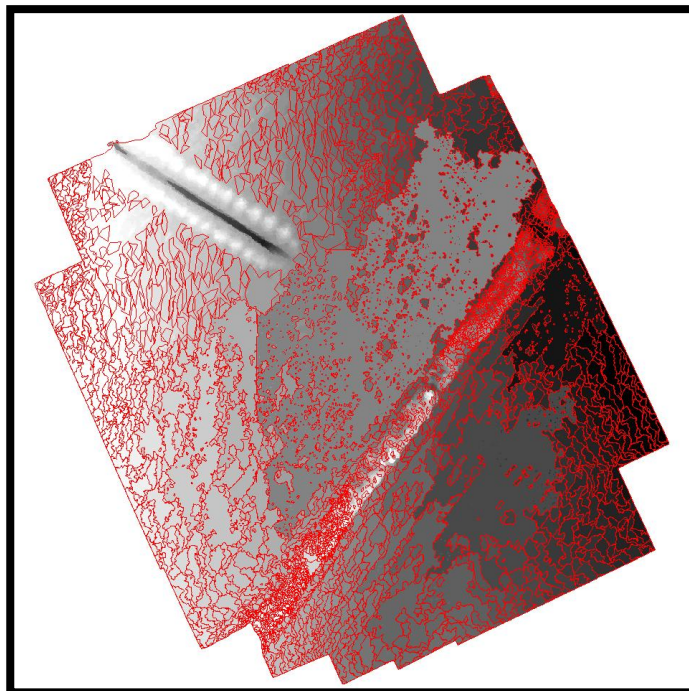


Figura Anexo D:8 - #8 Merge 80; Scale 40.

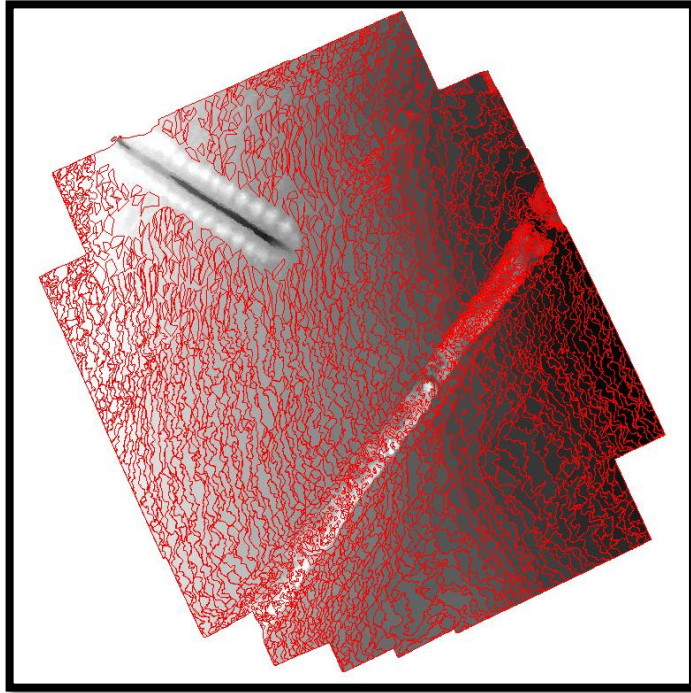


Figura Anexo D:9 - #9 Merge 90; Scale 10.

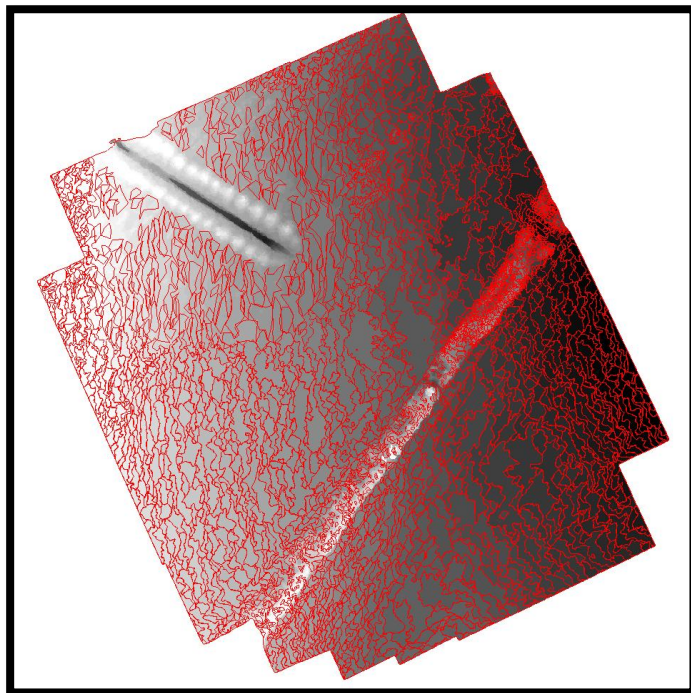


Figura Anexo D:10 - #10 Merge 90; Scale 20.

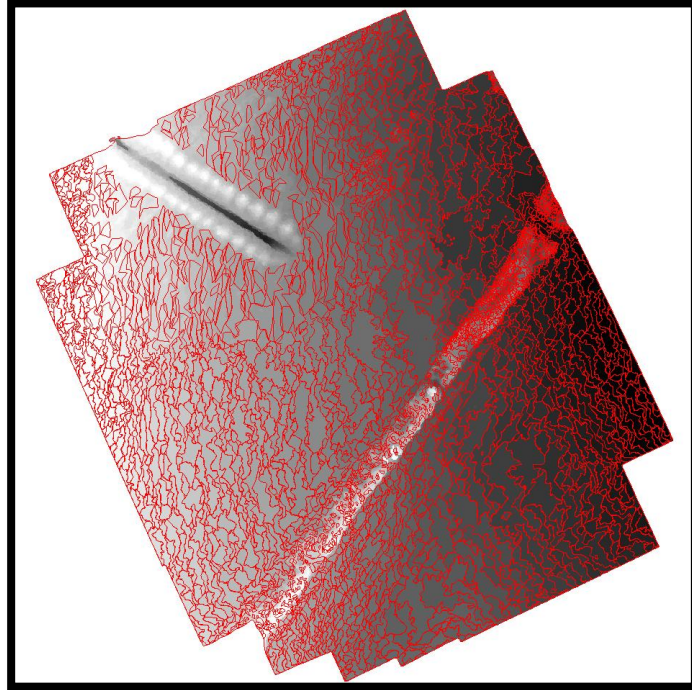


Figura Anexo D:11 - #11 Merge 90; Scale 30.

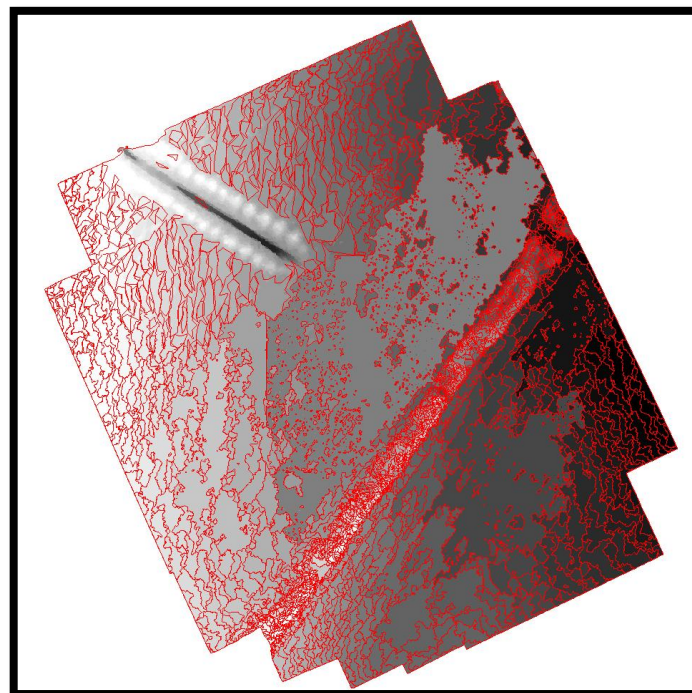


Figura Anexo D:12 - #12 Merge 90; Scale 40.

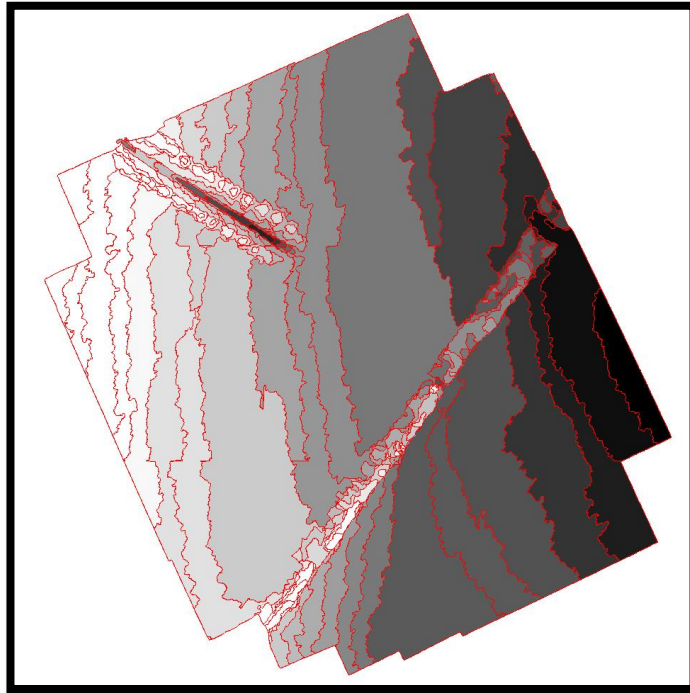


Figura Anexo D:13 - #13 Merge 99; Scale 10.

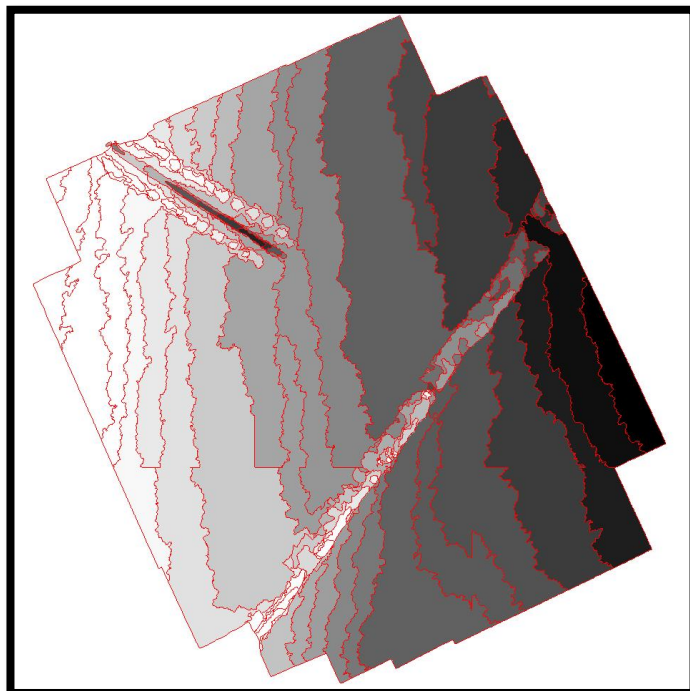


Figura Anexo D:14 - #14 Merge 99; Scale 20.

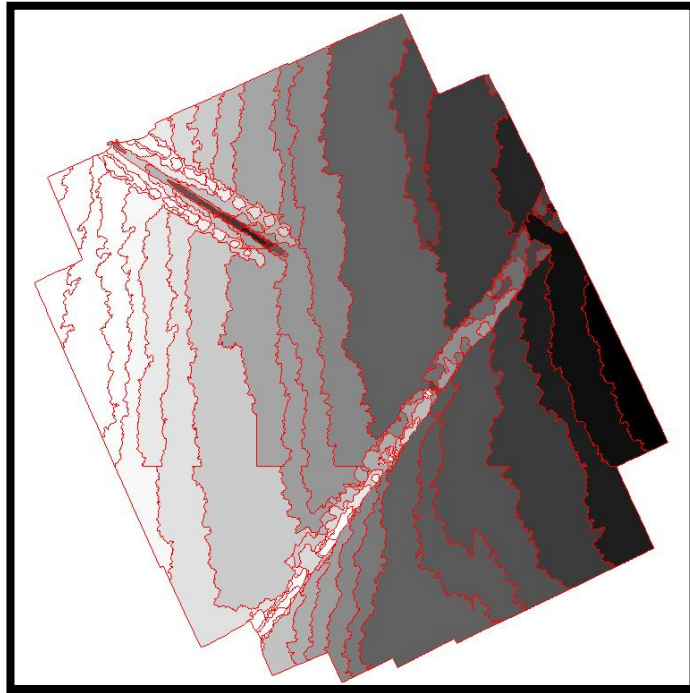


Figura Anexo D:15 - #15 Merge 99; Scale 30.

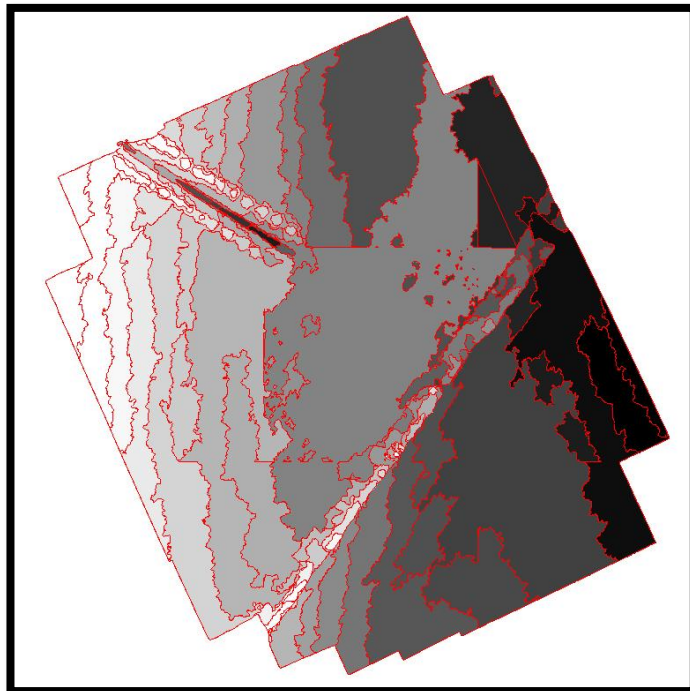


Figura Anexo D:16 - #16 Merge 99; Scale 40.

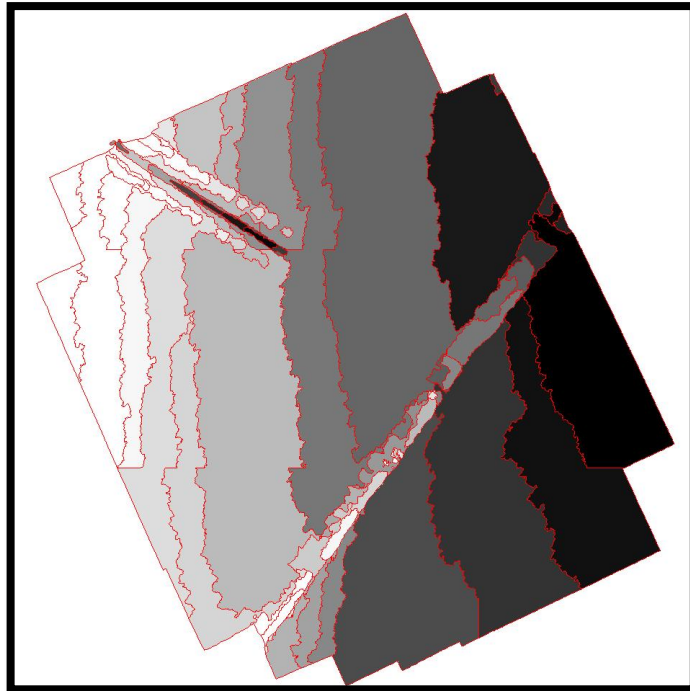


Figura Anexo D:17 - Otimização: Merge 99,5; Scale 10. Melhor resultado obtido.

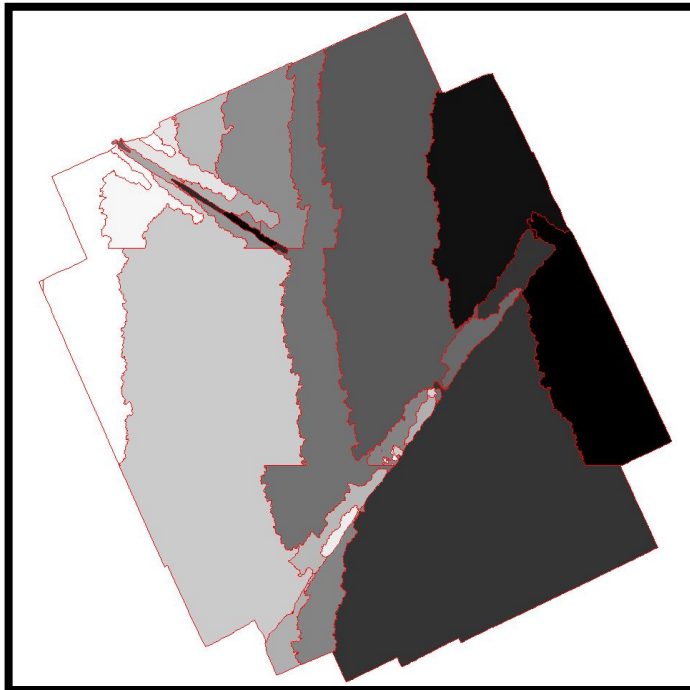


Figura Anexo D:18 - Otimização: Merge 99,8; Scale 10.