Universidade do Minho
Escola de Ciências

Alfredo Miguel de Freitas Gomes

Monitorização e modelação da morfodinâmica costeira através de veículos aéreos não tripulados (VANT): Casos de estudo nas praias de Belinho, Fieiro Alto e Cepães

Fevereiro de 2018

Monitorização e modelação da morfodinâmica costeira através de veículos aéreos não tripulados (VANT): Casos de estudo nas praias de Belinho, Fieiro Alto e Cepães

Alfredo Gomes

UMinho | 2018

Universidade do Minho
Escola de Ciências

Alfredo Miguel de Freitas Gomes

Monitorização e modelação da morfodinâmica costeira através de veículos aéreos não tripulados (VANT): Casos de estudo nas praias de Belinho, Fieiro Alto e Cepães.

Tese de Mestrado
Mestrado em Geociências
Dinâmica Externa e Mudanças Globais

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Renato Filipe Faria Henriques

e sob co-orientação do
Professor Doutor Paulo Jorge Silva Pereira

Fevereiro de 2018

Declaração

Nome: Alfredo Miguel de Freitas Gomes

Endereço eletrónico: miguelgomes13@gmail.com

Telefone: 914015699

Número do Cartão de Cidadão: 14143579

Título da dissertação: Monitorização e modelação da morfodinâmica costeira através de veículos aéreos não tripulados (VANT): Casos de estudo nas praias de Belinho, Fieiro Alto e Cepães.

Orientador: Professor Doutor Renato Filipe Faria Henriques

Coorientador: Professor Doutor Paulo Jorge Silva Pereira

Ano de conclusão: 2018

Designação do Mestrado: Mestrado em Geociências - Dinâmica Externa e Mudanças Globais

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, 28 de fevereiro de 2018

Assinatura: _____

Agradecimentos

O caminho percorrido nesta universidade, tal como a realização desta dissertação, apenas foi possível devido à colaboração e ajuda de diversas pessoas, assim dirijo os meus mais sinceros agradecimentos:

Ao Professor Doutor Renato Henriques pela oportunidade de realizar este trabalho e utilizar e manusear tecnologia que de outro modo não estaria ao meu dispor, pela disponibilidade demonstrada nas sucessivas idas a campo e pela transmissão de conhecimento;

Ao Professor Doutor Paulo Pereira pela disponibilidade demonstrada ao longo do trabalho, pela bibliografia e pela ajuda prestada em todas as dúvidas;

A todos os professores do Departamento de Ciências da Terra, que com as suas aulas e conhecimento me fizeram gostar e apreciar ainda mais esta ciência, mas em especial à Professora Doutora Isabel Caetano Alves que, através das Unidades Curriculares lecionadas, fez aumentar o meu interesse por este ramo da Geologia;

A minha família, pelo incentivo e pelo apoio económico e moral prestados ao longo deste percurso;

Aos meus amigos, que de diversas formas me ajudaram a ultrapassar os sucessivos desafios.

Palavras chave: Monitorização, praias, fotografia aérea, veículo aéreo não tripulado (VANT), fotogrametria.

Resumo

A zona costeira é um espaço físico com características únicas e especiais que a tornam diferente das restantes, com um dinamismo próprio condicionado pela intervenção de fenómenos naturais e antrópicos.

Com os municípios do litoral tendem a atrair e fixar mais população, resultando no aumento da densidade populacional, um programa de monitorização eficaz torna-se assim ainda mais importante. A gestão destes setores litorais requer um profundo conhecimento das características iniciais do sistema para que seja possível prever o seu comportamento futuro e de modo a determinar os fatores que influenciam a dinâmica presente no litoral.

Para este trabalho, selecionaram-se como áreas de estudo as praias de Belinho, de Cepães e do Fieiro Alto, pertencentes ao concelho de Esposende, com o objetivo de testar algumas técnicas de monitorização baseadas em veículos aéreos não tripulados.

Este trabalho utilizou como base a fotografia aérea recolhida através de VANT, para aplicação de técnicas de fotogrametria e modelação 3D recorrendo ao software AgiSoft PhotoScanPro, levantamentos com um sistema móvel de GPS diferencial para ortorretificar os ortomosaicos e os modelos digitais de superfície (MDS) obtidos, e por fim tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica para: - efetuar a medição de volumes de modo a obter balanços sedimentares através dos modelos 3D; - avaliar tendências evolutivas da morfodinâmica do sistema costeira; - criar uma base de dados, o mais completa possível, para futuros estudos e campanhas de monitorização; - demonstrar a eficácia e aplicabilidade dos modelos 3D, gerados através deste método de recolha de informação, para trabalhos neste setor.

Os resultados obtidos permitem concluir que este método é bastante eficiente e fiável, sendo possível obter uma grande gama de informação bastante pormenorizada e de baixo custo. Todas as informações obtidas são ferramentas extremamente úteis e valiosas no que toca a gestão dos setores costeiros, podendo ser aplicados em diferentes âmbitos ambientais e científicos

Keywords: Monitoring, beaches, aerial photography, unmanned aerial vehicle (UAV), photogrammetry,

Abstract

Unique and specific features that are different from other environments characterize coastal areas with their morphodynamics being controlled by both natural processes and human intervention.

An efficient coastal survey program is very important once the majority of the population is living in coastal areas. The correct management of these areas should include a detailed knowledge of the initial system characteristics in order to assess the evolution and the causes that affect coastal dynamics.

In this work low cost coastal survey methods were applied in Belinho, Cepães and Fieiro Alto beaches, in the municipality of Esposende (northwest Portugal). Aerial photography obtained by UAV, photogrammetry techniques and 3D models using specific software, GPS mobile mapping and GIS technologies were developed in order to: (i) show the utility, efficiency and quality of 3D models in coastal survey and analysis; (ii) assess the coastal morphodynamics and evolution; (iii) define sediment growths or losses through volume measurements using these tools; (iv) compile and provide data for future research and survey.

The results from this work show that the methodology applied is highly reliable and exact with a reasonable amount of detailed data being produced with low cost procedures. In this scope, all the information obtained is a useful and valuable tool for local coastal management and the methods can be applied in different areas.

Índice

Declaração II
Agradecimentos III
Resumo IV
Abstract VI
Índice VII
Acrónimos X
Índice de figuras XII
Índice de tabelas XVIII
1. Introdução 2
1.1 Monitorização 3
1.1.1 Objetivos de monitorizar 4
1.1.2 Monitorizar, o quê? 5
1.2 Técnicas de monitorização 5
1.2.1 Veículos aéreos não tripulados 6
1.2.2 Fotografia Aérea 10
1.2.3 GPS 11
1.2.5 Ortofotomapas 13
1.2.5.1 Modelo Digital de Terreno (MDT) 14
1.2.5.2 Modelo digital de terreno (MDT) vs Modelo digital de superfície (MDS) 15
1.2.6 Sistemas de Informação Geográfica (SIG) 15
1.3 Legislação – Veículos aéreos não tripulados 17
1.4 Evolução da costa 18
1.4.1 Fatores que contribuem para a evolução costeira à mega-macro escala 18
1.4.1.1 Clima 19
1.4.1.2 Nível do mar 19
1.4.1.3 Neotectónica 20
1.4.2 Processos costeiros 20
1.3.2.1 Ondas 21
1.3.2.2 Marés e correntes de maré 21
1.3.2.3 Correntes costeiras 22
1.3.2.4 Sobrelevação de tempestade – *Storm Surge* 22

1.3.2.5 Ventos 22
1.3.2.6 Barragens 23
1.3.2.7 Obras de engenharia costeira 23
1.3.2.8 Destruição e/ou degradação da orla costeira 24
1.5 Objetivos do trabalho 24
2. Enquadramento geográfico, geológico e morfológico das áreas de estudo 26
2.1 Localização da área de estudo 26
2.2 Caracterização geológica 27
2.3 Caracterização geomorfológica 28
2.4 Praia de Cepães 28
2.5 Praia de Belinho 29
2.5.1 Causas da aglomeração dos seixos 31
3. Materiais e metodologia 34
3.1 Materiais 34
3.1.1 Veículos aéreos não tripulados 34
3.1.1.1 DJI Inspire 1 34
3.1.1.2 Dji Phantom 4 Pro 36
3.1.1.3 Sensefly SwingletCam 38
3.1.2 GPS Trimble 5800 41
3.1.3 Quantum GIS 42
3.1.4 Agisoft PhotoScan Professional 1.4 42
3.1.5 Map Pilot 44
3.1.6 eMotion 2 – Eletronic MOnitoring station 45
3.1.7 Trimble Geomatics Office 46
3.1.8 Gobal Mapper 47
3.2 Recolha de dados 47
3.2.1 Fotografia aérea 47
3.2.1.1 Levantamento Belinho 49
3.2.1.2 Levantamento Fieiro Alto 49
3.2.1.3 Levantamento Cepães 50
3.2.2 Sobreposição 52
3.2.3 Pontos de controlo 53
3.3 Processamento de informação 55
3.3.1 Modelo 3D, MDS e Ortofotomapa 56

3.3.2 Exportação 62
3.3.3 Cálculo de volumes 65
3.3.4 Criação de perfis 67
3.3.5 Linhas de vegetação 67
4.1 Apresentação e discussão de resultados 70
4.1.1 Praia de Cepães 70
4.1.1.1 Modelos Digitais de Superfície e Ortofotomapas 70
4.1.1.2 Discussão de resultados 79
4.1.1.3 Evolução morfológica 90
4.1.1.4 Perfis topográficos 97
4.1.1.5 Linhas de vegetação 108
4.1.1.6 Síntese de resultados 112
4.1.2 Praia de Belinho e Fieiro Alto 114
4.1.2.1 Modelos Digitais de Superfície e Ortofotomapas 114
4.1.2.2 Discussão de resultados 123
4.1.2.3 Evolução morfológica 134
4.1.2.4 Perfis topográficos 144
4.1.2.5 Linhas de vegetação 155
4.1.2.6 Síntese de resultados 159
Conclusões 162
Referências bibliográficas 165
Anexos 173
Anexo A 175
Anexo B 178

Acrónimos

BIG TIFF – *Tagged Image File Format* com mais de 4 GiB após descompactação

CMOS – *Complementary Metal Oxide Semi-condutor*

CPU – Central Processing Unit

DEM – *Digital Elevation Model*

DGPS – Differential *global positioning system*

DSM – *Digital Surface Model*

DTM – *Digital Terrain Model*

EPP - *Expanded Polypropylene*

ETRS 89 – *European Terrestrial Reference System,* 1989

FAA – *Federal Aviation Administration*

GCP – *Ground Control Point*

GeoTIFF – *Georrenfeced Tagged Image File Format*

GPS – *Global Positioning System*

GCP – Ground Control Points

IMU – Inertial Measurement Unit

JPEG – *Joint Photographics Experts Group*

LED – *Light Emitting Diode*

LIDAR – *Light Detection and Ranging*

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDT – Modelo Digital de Terreno

PNG – *Portable Network Graphics*

RTK – *Real Time Kinematic*

SIFT – *Scale Invariant Feature Transform*

SIG – Sistema de Informação Geográfico

TIFF – *Tagged Image File Format*

UHF – *Ultra High Frequency*

USB – *Universal Serial Bus*

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

WGS 84 – *World Geodetic System*, 1984

ZH – Zero Hidrográfico

ZT – Zero Topográfico

Índice de figuras

Figura 1- Esquema comparativo entre MDS (linha completa) e MDS (linha a tracejado) (adaptado de Gonçalves et al., 2011) 15
Figura 2- Representação esquemática de componentes de um sistema de informação geográfica (adaptado para Português europeu do original de Davis et al., 2001)..... 16
Figura 3-Localização das áreas de estudo. 26
Figura 4- Excerto da folha 5-C da Carta geológica de Portugal, na escala 1:50000 (Teixeira e Medeiros, 1969), com a localização das áreas de estudo. 27
Figura 5- Perfil duma praia de seixos (adaptado de Davis, Jr.. em Schwartz, 1982 e Loureiro, 1999)..... 29
Figura 6- Equipamento Dji Inspire 1. A direita os componentes físicos deste VANT..... 35
Figura 7- Equipamento Dji Phantom 4 Pro. À direita os componentes físicos deste VANT. 37
Figura 8- Equipamento Sensefly SwingletCam. Em baixo as componentes físicas deste VANT. . 39
Figura 9- Esquema do procedimento para o levantamento para o levantamento do equipamento Sensefly SwingletCam (SenseFly, 2014)..... 40
Figura 10- Componentes físicos do GPS Trimble 5800 (Trimble, 2006). 41
Figura 11- Interface do software Map Pilot durante um voo na praia de Belinho, com várias informações disponíveis..... 45
Figura 12- Interface do eMotion, com diferentes opções disponíveis. 46
Figura 13- Capturas de ecrã para ilustrar a diferença entre os diferentes tipos de voo, em A) Voo poligonal, em B) Voo linear. 48
Figura 14- Representação da localização para cada fotografia por um "ponto", e sobreposição de cada fotografia nos três levantamentos para as praias de Belinho e de Fieiro Alto; a) primeiro levantamento; b) segundo levantamento; c) terceiro levantamento. Na legenda é possível identificar o número de vezes em que a fotografia aparece..... 50
Figura 15- Representação da localização para cada fotografia por um "ponto", e sobreposição de cada fotografia nos três levantamentos para a praia de Cepães; a) primeiro levantamento; b) segundo levantamento; c) terceiro levantamento. Na legenda é possível identificar o número de vezes em que a fotografia aparece. 51
Figura 16- Padrão de voo recomendado para um VANT (QuestUAV, 2017). 52
Figura 17- Esquema representativo da sobreposição ideal até á fotografia sem sobreposição (DroneDeploy, 2017). 53
Figura 18- Locais usados como GCP, A) tampa de saneamento, B) marcas de estacionamento 54
Figura 19- Janela de trabalho do PhotoScanPro com Nuvem de Pontos Esparsa, e no topo a azul a localização das câmaras. 57
Figura 20- Janela de trabalho do software PhotoScan com a nuvem esparsa e os GCP. A azul as posições das câmaras enquanto que a rosa são as posições das câmaras selecionadas a partir da seleção visível na janela de baixo. 58
Figura 21- Janela com informação relativa aos pontos de controlo..... 59
Figura 22- Janela "Build Dense Cloud" do sofrware PhotoScan com os respetivos parâmetros de processamento..... 59
Figura 23- Janela de trabalho software PhotoScan com a nuvem de pontos densa com a localização dos pontos de controlo. A azul a posição das câmaras. 60

Figura 24- Janela "Build Mesh" do software PhotoScan com os respetivos parâmetros de processamento. 60
Figura 25- Janela "Build Texture" com os respetivos parâmetros de processamento. 61
Figura 26- Janela "Build DEM" com os respetivos parâmetros de processamento. 61
Figura 27- Janela "Build Orthomosaic" do software PhotoScan com os respetivos parâmetros de processamento. 62
Figura 28- Janela "Export DEM" com os respetivos parâmetros de exportação. 63
Figura 29- Janela "Export Orthomosaic" do software PhotoScan com os respetivos parâmetros de exportação 64
Figura 30- Perfil topográfico ilustrativo do volume selecionado (+), e o volume não contabilizado (-), em relação ao plano horizontal z=zb (adaptado de Felgueiras, 1999) 65
Figura 31- Ilustração parcial de um polígono com diversos vértices. 66
Figura 32- Relação espacial entre os indicadores de migração costeira mais comuns (em Henriques, 2006; adaptado de Boak & Turner, 2005). 68
Figura 33- Esquema superior – Ortofotomapa: Esquema central - MDS; Esquema inferior – MDS com Hillshade, referentes ao levantamento realizado no dia 14 de novembro de 2016 sobre a praia de Cepães 72
Figura 34- Modelo Digital de Superfície com Hillshade referente ao levantamento realizado no dia 14 de novembro de 2016, ampliado em quatro polígonos (A, B, C e D). 73
Figura 35- Esquema superior – Ortofotomapa: Esquema central - MDS; Esquema inferior – MDS com Hillshade, referentes ao levantamento realizado no dia 09 de junho de 2017 sobre a praia de Cepães 74
Figura 36- Modelo Digital de Superfície com Hillshade referente ao levantamento realizado no dia 09 de junho de 2017, ampliado em quatro polígonos (A, B, C e D). 75
Figura 37- Esquema superior – Ortofotomapa: Esquema central- MDS; Esquema inferior – MDS com Hillshade, referentes ao levantamento realizado no dia 17 de novembro de 2017 sobre a praia de Cepães 76
Figura 38 - Modelo Digital de Superfície com Hillshade referente ao levantamento realizado no dia 17 de novembro de 2017, ampliado em quatro polígonos (A, B, C e D). 77
Figura 39 - Do lado esquerdo- Ortofotomapa de 2016; Lado direito- Modelo Digital de Superfície com Hillshade de 2016, com os respetivos polígonos nomeados no centro. 78
Figura 40- Mapas de variação altimétrica (em metros) entre os levantamentos realizados a 14 de novembro de 2016 e 09 de junho de 2017 (MDS 2ºL - MDS 1ºL): À esquerda: variação altimétrica com hillshade extraído a partir do 2ºL, no centro: variação altimétrica com hillshade com sobreposição dos polígonos; à direita: polígonos nomeados 83
Figura 41– Mapas de variação altimétrica (em metros) entre os levantamentos realizados a 17 de novembro de 2017 e 09 de junho de 2017 (MDS 3ºL - MDS 2ºL): À esquerda: variação altimétrica com hillshade extraído a partir do 3ºL, no centro: variação altimétrica com hillshade com sobreposição dos polígonos; à direita: polígonos nomeados 86
Figura 42- Mapas de variação altimétrica (em metros) entre os levantamentos realizados a 17 de novembro de 2017 e 14 de novembro de 2016 (MDS 3ºL - MDS 1ºL): À esquerda: variação altimétrica com hillshade extraído a partir do 3ºL, no centro: variação altimétrica com hillshade com sobreposição dos polígonos; à direita: polígonos nomeados 89

Figura 43- Localização das grelhas - sobrepostas sobre o Ortofotomapa e MDS criados a partir do levantamento realizados no dia 14 de novembro de 2016 - utilizadas no estudo do âmbito da evolução morfológica da praia de Cepães..... 90
Figura 44- Evolução morfológica da grelha 1, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1ºL – à esquerda; 2ºL- no centro; 3ºL- à direita. 91
Figura 45- Evolução morfológica da grelha 2, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1ºL – à esquerda; 2ºL- no centro; 3ºL- à direita. 92
Figura 46- Evolução morfológica da grelha 3, com comparação dos MDS (à esquerda) e dos Ortofotomapas (à direita), ao longo dos três levantamentos realizados; 1ºL – no topo; 2ºL- no centro; 3ºL- em baixo..... 93
Figura 47- Evolução morfológica da grelha 4, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1ºL – à esquerda; 2ºL- no centro; 3ºL- à direita. 94
Figura 48-Evolução morfológica da grelha 5, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1ºL – à esquerda; 2ºL- no centro; 3ºL- à direita. 95
Figura 49- Localização relativa dos sete perfis desenhados para a praia de Cepães, à esquerda: Ortofotomapa, à direita: MDS com hillshade, modelos gerados a partir do levantamento realizado no dia 14 de novembro de 2016..... 97
Figura 50- Perfil topográfico nº 1, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL. 101
Figura 51- Perfil topográfico nº 2, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL. 102
Figura 52- Perfil topográfico nº 3, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL. 103
Figura 53- Perfil topográfico nº 4, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL. 104
Figura 54- Perfil topográfico nº 5, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL. 105
Figura 55- Perfil topográfico nº 6, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL. 106
Figura 56- Perfil topográfico nº 7, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL. 107
Figura 57- Ortofotomapas da praia de Cepães relativos ao 1ºL (à esquerda) e 3ºL (á direita) com as respetivas linhas de vegetação desenhadas com diferentes cores. 108

Figura 58- Mapas de variação altimétrica com a sobreposição das linhas de vegetação correspondentes ao 1º e 3º levantamentos para o setor de Cepães, à direta sobreposição das áreas de ampliação. 109
Figura 59- Ampliação da praia de Cepães em quatro setores (A, B, C e D) de modo a visualizar com maior rigor a variação das linhas de vegetação entre o 1ºL e 3ºL sobrepostas sobre o mapa de variação altimétrico. 110
Figura 60- Captura de imagem do ambiente de trabalho do Qgis com a utilização da ferramenta de medição do mesmo programa entre as linhas de vegetação referentes ao 1ºL e 3ªL, sobre o mapa de variação altimétrica. 111
Figura 61- Esquema superior – Ortofotomapa: Esquema central- MDS; Esquema inferior – MDS com Hillshade, referentes ao levantamento realizado no dia 14 de novembro de 2016 sobre as praias de Belinho e Fieiro Alto 116
Figura 62-Modelo Digital de Superfície com Hillshade referente ao levantamento realizado no dia 14 de novembro de 2016, ampliado em quatro polígonos (A, B, C e D). 117
Figura 63- Esquema superior – Ortofotomapa: Esquema central- MDS; Esquema inferior – MDS com Hillshade, referentes ao levantamento realizado no dia 09 de junho de 2017 sobre as praias de Belinho e Fieiro Alto 118
Figura 64- Modelo Digital de Superfície com Hillshade referente ao levantamento realizado no dia 09 de junho de 2017, ampliado em quatro polígonos (A, B, C e D). 119
Figura 65-Esquema superior – Ortofotomapa: Esquema central- MDS; Esquema inferior – MDS com Hillshade, referentes ao levantamento realizado no dia 17 de novembro de 2017 sobre as praias de Belinho e Fieiro Alto 120
Figura 66- Modelo Digital de Superfície com Hillshade referente ao levantamento realizado no dia 17 de novembro de 2017, ampliado em quatro polígonos (A, B, C e D). 121
Figura 67- Do lado esquerdo- Ortofotomapa de 2016; No centro- Modelo Digital de Superfície com Hillshade de 2016, com os respetivos polígonos nomeados à direita. 122
Figura 68- Mapas de variação altimétrica (em metros) entre os levantamentos realizados a 14 de novembro de 2016 e 09 de junho de 2017 (MDS 2ºL - MDS 1ºL): À esquerda: variação altimétrica com hillshade extraído a partir do 2ºL, no centro: variação altimétrica com sobreposição dos polígonos, e à direita os polígonos nomeados. 126
Figura 69- Ampliação da zona central do modelo, a vermelho: perda de sedimentos; a verde: incremento de sedimentos, sobre o Ortofotomapa relativo ao 1ºL 127
Figura 70- Mapas de variação altimétrica (em metros) entre os levantamentos realizados a 17 de novembro de 2017 e 09 de junho de 2017 (MDS 3ºL - MDS 2ºL): À esquerda: variação altimétrica com hillshade extraído a partir do 3ºL, no centro: variação altimétrica com sobreposição dos polígonos, e à direita os polígonos nomeados. 129
Figura 71- Ampliação do polígono H, a verde: incremento de seixos; a vermelho: perda de seixos, sobre o Ortofotomapas do 1ºL 131
Figura 72- Aplicação do polígono E, com especial atenção as perdas e incrementos de seixos em diferentes localizações do polígono, a verde: incremento de seixos, a vermelho: perda de seixos; sobre o Ortofotomapa relativo ao 1ºL 132
Figura 73- Mapas de variação altimétrica (em metros) entre os levantamentos realizados a 17 de novembro de 2017 e 14 de novembro de 2016 (MDS 3ºL - MDS 1ºL): À esquerda: variação altimétrica com hillshade extraído a partir do 3ºL, no centro: variação altimétrica com sobreposição dos polígonos, e à direita os polígonos nomeados. 133

Figura 74-Localização das grelhas - sobrepostas sobre o Ortofotomapa e MDS criados a partir do levantamento realizados no dia 14 de novembro de 2016 - utilizadas no estudo do âmbito da evolução morfológica das praias de Belinho e Fieiro Alto. 134
Figura 75- Evolução morfológica da grelha 1, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1ºL – à esquerda; 2ºL- no centro; 3ºL- à direita. 135
Figura 76- Evolução morfológica da grelha 2, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1ºL – à esquerda; 2ºL- no centro; 3ºL- à direita. 136
Figura 77- Evolução morfológica da grelha 3, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1ºL – à esquerda; 2ºL- no centro; 3ºL- à direita. 138
Figura 78- Evolução morfológica da grelha 4, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1ºL – à esquerda; 2ºL- no centro; 3ºL- à direita. 139
Figura 79- Evolução morfológica da grelha 5, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1ºL – à esquerda; 2ºL- no centro; 3ºL- à direita. 141
Figura 80- Evolução morfológica da grelha 6, com comparação dos MDS (à esquerda) e dos Ortofotomapas (à direita), ao longo dos três levantamentos realizados; 1ºL – no topo; 2ºL- no centro; 3ºL- em baixo..... 142
Figura 81- Localização relativa dos sete perfis desenhados para as praias de Belinho e Fieiro Alto, à esquerda: Ortofotomapa, à direita: MDS com hillshade, modelos gerados a partir do levantamento realizado no dia 14 de novembro de 2016..... 144
Figura 82- Perfil topográfico nº 1, desenhado sobre o modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL..... 149
Figura 83- Perfil topográfico nº 2, desenhado sobre o modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL..... 150
Figura 84- Perfil topográfico nº 3, desenhado sobre o modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL..... 151
Figura 85- Perfil topográfico nº 4, desenhado sobre o modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL..... 152
Figura 86- Perfil topográfico nº 5, desenhado sobre o modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL..... 153
Figura 87- Perfil topográfico nº 6, desenhado sobre o modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL..... 154
Figura 88- Ortofotomapas das praias de Belinho e Fieiro Alto relativos ao 1ºL (à esquerda) e 3ºL (á direita) com as respetivas linhas de vegetação desenhadas com diferentes cores. 155

Figura 89- Mapas de variação altimétrica com a sobreposição das linhas de vegetação correspondentes ao 1º e 3º levantamentos para o setor de Belinho e Fieiro Alto, à direta sobreposição das áreas de ampliação. 156
Figura 90- Ampliação da praia de Belinho e Fieiro Alto em quatro setores (A, B, C e D) de modo a visualizar com maior rigor a variação das linhas de vegetação entre o 1ºL e 3ºL sobrepostas sobre o mapa de variação altimétrico. 157
Figura 91- Captura de ecrã do ambiente de trabalho do Qgis com a ferramenta de medição do mesmo programa, com o Ortofotomapa relativo ao 1ºL e sobreposição da camada do mapa de variação altimétrica, e linhas de vegetação referentes ao 1ºL (a preta) e 3ºL (a azul) 158

Índice de tabelas

Tabela 1- Características dos levantamentos aerofotogramétricos realizados para as praisa de Belinho e Fieiro Alto (fundo cinzento). 49
Tabela 2- Características dos levantamentos aerofotogramétricos realizados para a praia de Cepães..... 51
Tabela 3- Especificações técnicas dos Ortofotomapas, MDS e pontos de controlo de terreno.....73
Tabela 4- Informação relativa à área e perímetros de cada polígono no modelo de Cepães.....82
Tabela 5- Volumes calculados com a ferramenta do PhotoScan em m^3 para cada polígono com as respetivas datas de cada levantamento para a praia de Cepães. Variação de volumes entre cada polígono de cada levantamento.....82
Tabela 6- Especificações técnicas dos Ortofotomapas, MDS e pontos de controlo relativos as praias de Belinho e Fieiro Alto.....117
Tabela 7- Informação relativa à área e perímetros de cada polígono no modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto.....126
Tabela 8- Volumes calculados com a ferramenta do PhotoScan em m^3 para cada polígono com as respetivas datas de cada levantamento para as praias de Belinho e Fieiro Alto. Variação de volumes entre cada polígono de cada levantamento.....126

Capítulo I

1. Introdução

A zona costeira é um espaço físico com características únicas e especiais que a tornam diferente das restantes à superfície da Terra. O dinamismo da faixa litoral é condicionado pela intervenção de fenómenos naturais e antrópicos.

Sendo um ponto de encontro entre a geosfera e hidrosfera, o litoral é uma zona muito dinâmica onde ocorre de modo constante perda e incremento de sedimentos. Toda a mobilização presente ocorre, numa mesoescala, devido à ação das ondas e marés conjugadas com a ação do vento. Todavia, há fatores regionais e globais que também interferem no balanço sedimentar tais como a tectónica global, clima e alterações do nível do mar, que por sua vez alteram o nível de base dos rios, alterando assim a descarga sedimentar. Embora sejam considerados fatores de grande escala, provocam alterações nas praias a nível regional. Para além destes fatores, também o ser humano com as constantes intervenções, tende a interferir na dinâmica natural deste sistema tão próprio, nem sempre com o resultado esperado.

As alterações presentes na orla costeira são respostas à atuação dos diversos fatores, acima citados, na busca de novos equilíbrios, assim o emagrecimento das praias é uma resposta do sistema ao défice sedimentar (Loureiro, 2016).

Segundo Henriques (2006), a gestão de zonas costeiras requer um profundo conhecimento das características iniciais do sistema natural. Assim, com o intuito de prever a evolução deste setor, surge a necessidade dum programa de monitorização contínuo e eficaz.

Um programa de monitorização eficaz surge com maior importância na medida que a população tende a movimentar-se para o litoral. Segundo os dados dos Censos (2011), na década em análise evidenciou-se o reforço deste padrão migratório nacional, já evidenciado na década anterior (Censos, 2011). Deste modo os municípios do litoral conseguem atrair e fixar mais população, resultando no aumento da densidade populacional.

1.1 Monitorização

As zonas costeiras estão sujeitas a uma elevada dinâmica, pelo que a sua gestão requer um alargado conhecimento das características iniciais dos sistemas naturais, o acompanhamento da sua mudança ao longo do tempo, e também a determinação dos fatores que condicionam a sua mobilidade e influenciam a sua dinâmica. Só será possível identificar, compreender e interpretar possíveis mudanças se houver profundo conhecimento de todos os processos envolvidos neste fenómeno e a capacidade para medir com precisão, indicadores de mobilidade costeira e assim quantificar as mudanças registadas. Deste modo, será possível fazer uma previsão aproximada da evolução que poderá ocorrer no futuro. Porém, é importante entender que existe a possibilidade de haver erros e incertezas, que deverão ser tidos em consideração em qualquer previsão ou projeção de cenários evolutivos. Com base na monitorização, a medição da mobilidade de indicadores de dinâmica costeira, é importante para (Henriques, 2006):

- identificar, quantificar e compreender os fatores de dinâmica costeira;
- determinar a duração de atuação dos processos;
- determinar a extensão geográfica da influência de determinados processos;
- estabelecer relações com fatores climáticos e meteorológicos;
- tentar prever a evolução;
- prestar apoio a operações de planeamento e ordenamento;
- avaliar os impactes positivos e negativos das operações decorrentes do planeamento e do ordenamento.

Para que um programa de monitorização seja eficaz, deve-se reunir um bom conjunto de dados, criando assim um ponto de partida para trabalhos futuros. Entre eles, cartas, fotografia aérea, artigos e relatórios ou qualquer documentação relacionada com a evolução das zonas costeiras a estudar. Também, será útil obter dados da ondulação e sobre a meteorologia, informação relativa à construção de obras costeiras ou à extração de areia. O conjunto desta informação será importante para determinar as características dos sistemas costeiros e assim tentar compreender os fatores que levaram à situação atual do setor em estudo (Henriques, 2006).

Para além da informação acima referida, há que considerar igual a regularidade da monitorização. Caso seja contínua, esta é importante para determinar e quantificar as taxas de variação que são

verificadas na atualidade e perceber se são apenas pontuais ou se fazem parte de uma tendência de longo termo. A regularidade temporal é definida pelo objetivo da monitorização que poderá ser:

- determinação de variabilidade extrema;
- determinação da evolução a longo termo.

Sendo o objetivo a determinação da variabilidade extrema, todos os levantamentos devem ser realizados durante ou imediatamente após a ocorrência do evento que se pretende estudar, como por exemplo uma tempestade. Caso o objetivo seja determinar a evolução a longo termo, os levantamentos devem ser realizados com regularidade e apresentarem consistência nas condições em que são efetuados. Para obter a regularidade pretendida, deve se definir um ou dois períodos em cada ano para a realização desses mesmos levantamentos, num determinado mês ou evento cíclico como, por exemplo, o período de marés equinociais (Henriques, 2006).

Por fim, um programa de monitorização costeira deve ser adaptado às características de cada local para que os resultados obtidos sejam de qualidade (Henriques, 2006).

1.1.1 Objetivos de monitorizar

A monitorização contínua dum setor é importante na gestão costeira pois a partir da mesma é possível obter dados que possam ser usados numa estratégia eficaz. Para isso é necessário que os seguintes passos caracterizem o processo (Henriques, 2006):

- Compreender a evolução: flutuações de curto termo e tendências evolutivas de longo termo devem ser determinadas no sentido de compreender o passado e o presente;
- Identificar potenciais problemas: a monitorização permite a identificação de mudanças significativas, constituindo uma ferramenta fundamental no sentido de fornecer respostas à mudança através da adoção de medidas adequadas de gestão;
- Estabelecer cenários futuros: a evolução do passado e no presente é um guia para a previsão da evolução no futuro;
- Monitorizar atos de gestão: o *feedback* resultante da resposta dos sistemas costeiros a intervenções antrópicas realizadas no passado deve guiar a gestão no futuro, sugerindo melhoramentos ou alternativas às soluções implementadas.

1.1.2 Monitorizar, o quê?

A zona costeira apresenta um nível de complexidade bastante elevado, cada local apresenta diferentes características, o que resulta numa necessidade particular para estudar o estado inicial do sistema de cada setor. Os dados relativos ao estado inicial do sistema são necessários para futuras comparações e na determinação dos fatores a monitorizar. De modo geral, qualquer risco, que a evolução da orla costeira possa colocar às atividades humanas, constituirá o fator mais importante para a definição de um processo de monitorização (Henriques, 2006).

Nesta perspetiva podemos distinguir dois tipos de setores costeiros a monitorizar:

- Setores com migração para o interior em zonas não habitadas;
- Setores com migração para o interior em zonas habitadas ou com interesse agrícola e industrial.

Um programa de monitorização que incida sobre um setor não habitado ou com baixo interesse social só será financeiramente exequível para estudar e acompanhar a evolução natural dos sistemas. O estudo destes setores poderá permitir obter dados relativos ao seu comportamento e à sua evolução e estes dados apresentam maior importância quando comparados com setores com média ou forte urbanização.

Já um programa de monitorização que incida sobre um setor habitado ou com interesse económico, deverá ser contínuo e detalhado, para que permita uma avaliação contínua do risco que a migração das praias para o interior coloca. Nestes setores, devem ser concentrados todos os recursos financeiros disponíveis para a aquisição, o armazenamento e análise dos dados referentes às mudanças ocorridas nos sistemas costeiros. Todavia, nem sempre há disponibilidade orçamental para medir tudo o que seria necessário, pelo que, será importante definir prioridades relativamente àquilo que deve ser tido em conta num processo de monitorização (Henriques, 2006).

1.2 Técnicas de monitorização

No presente, são várias as técnicas e tecnologias que podem ser utilizadas para monitorizar um setor costeiro, podendo envolver o recurso a dispositivos de monitorização capazes de produzir dados de grande qualidade. A título de exemplo é possível destacar técnicas de obtenção de

fotografia aérea e de altimetria com recurso ao LIDAR (*Light Detection and Ranging*) (Hogan & Rosenberg, 1985; Mitasova *et al.*, 2014), a deteção remota através de fotografia aérea obtida por VANT (veículos aéreos não tripulados) (Gonçalves & Henriques, 2015), de satélite (Weng, 2001; Lillesand *et al.*, 2014). Outra técnica que poderá ser usada em programas de monitorização é o DGPS, que fornece dados rigorosos através da técnica RTK (*Real Time Kinematic*- Cinemática em Tempo Real), o que permite assim efetuar medições e perfis topográficos (Diogo *et al.*, 2013), fornece igualmente dados rigorosos para a ortorretificação e georreferenciação dos modelos tridimensionais criados a partir de fotogrametria (Gonçalves & Henriques, 2015).

Existem ainda outras técnicas de monitorização tais como: sistemas de vídeo-monitorização como o sistema ARGUS (Holman *et al.*, 1993; Santos *et al.*, 2011); levantamentos batimétricos com recurso a sonar e DGPS (Bio *et al.*, 2015) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Os SIG permitem agregar tipos de informação distinta, que pode ser georreferenciada ou não, e auxiliam em diversos trabalhos de monitorização (Pan, 2005; Huisman & de By, 2009; Gonçalves & Henriques, 2015).

Entre as diversas técnicas acima referidas, foram utilizadas no decorrer deste trabalho técnicas de fotogrametria, detenção remota com recurso a VANT, DGPS, e a SIG. Pretende-se que com a combinação destas técnicas se obtenham dados e informações de qualidade para estudos de morfodinâmica costeira e que possam ser base de comparação em futuros trabalhos.

Ainda que os dados obtidos a partir de VANT possam eventualmente ter qualidade inferior aos dados produzidos a partir de técnicas mais caras, esta técnica de recolha de informação apresenta a vantagem de ser obtida de modo mais contínuo e a um custo relativamente mais reduzido e num curto período de tempo (Henriques, 2006).

1.2.1 Veículos aéreos não tripulados

Os veículos aéreos não tripulados (VANT), são dispositivos que poderão ser pilotados manualmente, através de um piloto a partir do solo com o auxílio de um controlo remoto, podendo também voar automaticamente ou semi-automaticamente (Eisenbeiss, 2009).

Com o avanço da tecnologia, o leque de VANT disponíveis no mercado tem vindo a aumentar. Os atuais VANT já são leves o suficiente para que uma única pessoa consiga carregar o mesmo, apresentando uma razão alta de custo/beneficio (Gonçalves e Henriques, 2015).

Estes VANT pesam entre 500g e 3,5kg, estando altamente automatizados e com facilidade de utilização, contrastando com as características que até agora eram mais usuais nestes dispositivos, sendo pesados e apenas de uso militar (Gonçalves e Henriques, 2015).

Grande parte destes VANT que se encontram disponíveis no mercado, apresentam interesse para serem aplicáveis na fotogrametria, especialmente os que estão equipados com câmara, GPS, unidade de medição inercial de movimento (IMU), ligação rádio, e um pequeno processador de computador (CPU) (Gonçalves e Henriques, 2015). Para além destas características, os VANT estão também equipados com um sistema GNSS/ INS *(global navigation satellite system/ inertial navigation system*), altímetro barométrico e sistemas de bússolas, fazendo destes dispositivos uma verdadeira ferramenta de medição fotogramétrica e de mapeamento (Eisenbeiss, 2009). Contudo, de acordo com Gonçalves e Henriques (2015), apesar do vasto leque de sensores posicionais incluídos nos VANT, estes não têm aptidão para georreferenciação direta dos produtos geodésicos finais, sendo normalmente necessária a colheita de pontos de controlo no solo (GCP), obtidos por DGPS.

Estes dispositivos apresentam um grande leque de áreas onde podem ser aplicados, entre as quais: levantamentos topográficos, mineração, agricultura, monitorização e gestão ambiental e por fim conservação (Gonçalves e Henriques, 2015).

Estes veículos aéreos não tripulados apresentam inúmeras vantagens em comparação com outros sistemas aeronáuticos, tais como (Eisenbeiss, 2009):

- a sua utilização em situações de difícil acesso e de alto risco sem colocar em causa a integridade física do piloto ou de qualquer humano;
- inexistência de restrições e limitações fisiológicas e económicas de pilotos humanos, tornando o seu uso mais económico;
- capacidade de transmitirem e exibirem em tempo real a informação, tal como a sua rápida aquisição de dados;
- permitem a recolha de dados em dias com condições atmosféricas adversas;
- possibilidade de evitar as nuvens, pois é permitido a estes dispositivos voarem a altitudes baixas, ao contrário das aeronaves tripuladas ou satélites, que não o podem fazer devido à altitude necessária para o voo destes últimos;
- para aplicações de pequena escala, o uso de naves tripulados para obtenção de dados é insustentável, fazendo dos VANT a solução mais económica;

- a incorporação de sistemas GNSS/INS, de navegação e estabilização automáticas garantem a precisão, sobreposição e cobertura fotográfica, necessárias para a fotogrametria.

Porém, estes VANT também apresentam algumas limitações, tais como (Eisenbeiss, 2009):

- normalmente estes dispositivos apresentam motores com potência reduzida, limitando assim a sua altitude;
- na sua maioria, estes VANT estão limitados a equipamento fotográfico de menor resolução, isto devido a aspetos relacionados com o peso e dimensão do dispositivo. Implicando assim a necessidade de adquirir um maior número de fotografias, para cobrir a aérea desejada e atingir a resolução pretendida, em comparação a equipamentos fotográficos de maior resolução. Todavia, este facto é compensado pela menor altitude de voo destes dispositivos, o que permite que a fotografia tenha maior resolução relativa;
- a distância de voo está limitada pela potência do sinal emitido pela estação de operação, quanto mais potente a frequência de rádio da estação, maior será o seu alcance, o que se traduz numa maior distância de voo;
- possibilidade de interferência do sinal através de outros sistemas com as mesmas frequências de controlo;
- o custo final das operações e posterior tratamento de dados poderá atingir valores elevados, isto devido à necessidade da utilização de *software* e *hardware* relativamente caros.

O uso de VANT para aplicação de fotogrametria começou no final da década de 1970 (Przybilla *et al.*, 1979) e tem vindo a ser cada vez mais aprofundado, como é evidenciado por alguns autores (Gülch, 2011; Haala *et al.*., 2011; Küng *et al.*, 2011; Vallet *et al.*, 2011; Rosnell & Honkavaara, 2012; Barry & Coakley, 2013). Contudo são ainda escassos os trabalhos de monitorização da costa com o uso de VANT.

O uso da fotogrametria a partir de VANT (Colomina *et al.*, 2008; Eisenbeiss, 2009) abriu um novo leque de aplicações no domínio aeroespacial, sendo uma alternativa de baixo custo à tradicional fotogrametria de grande escala. É possível aplicar a tecnologia de fotogrametria com dados recolhidos a partir de VANT, nas seguintes áreas:

- Agricultura (Newcombe, 2007);

- Silvicultura (Martinez *et al.*, 2006; Réstas, 2006; Berni *et al.*, 2009);
- Arqueologia e arquitetura (Çabuk *et al.*, 2007; Lambers *et al.*, 2007; Rinaudo *et al.* 2012);
- Meio ambiente (Niethammer *et al.* 2010; Hartmann *et al.*, 2012; Smith *et al.*, 2009);
- Planos de emergência (Chou *et al.*, 2010; Molina *et al.*, 2012);
- Monitorização costeira (Gonçalves e Henriques, 2015);
- Prospeção mineira e cartografia geológica.

As principais vantagens destes veículos para a obtenção de levantamentos fotogramétricos no litoral são, de acordo com Gonçalves e Henriques (2015):

- Custos do hardware relativamente baixos;
- Grande automação do levantamento fotográfico;
- Custos operacionais bastante baixos;
- Possibilidade de repetir várias vezes o(s) levantamento(s) com baixo custo;
- Fotografia aérea com grande resolução devido a proximidade com o terreno;
- Possibilidade de preparar o terreno com pontos de controlo no solo (GCP) praticamente ao mesmo tempo que o levantamento;
- Possibilidade de ver as fotografias ainda em campo, permitindo assim a repetição na eventualidade da deteção de falhas/anomalias;
- Baixos riscos de segurança no caso de acidente, isto devido ao baixo peso destes dispositivos;
- Pouco tempo necessário para preparar os levantamentos fotográficos, o que permite que se use o VANT rapidamente, sendo assim possível a realização de levantamentos logo após uma tempestade, por exemplo.

A utilização destes dispositivos apresenta também algumas desvantagens, tais como (Gonçalves e Henriques, 2015):

- O custo total de todo o material, o que inclui o custo do VANT, a aquisição do *software* fotogramétrico e *hardware* com capacidade de processamento de informação;
- Grande parte dos VANT de menor dimensão não são os mais adequados para fazer levantamentos de grandes áreas num curto período de tempo;
- Apesar dos VANT apresentarem grande número de sensores, tais como GPS, tubo medidor inercial entre outros, estes sensores são apenas destinados principalmente a navegação automática do mesmo;

- Os dados produzidos pelos sensores podem ser associados as fotografias, porém não apresentam a precisão necessária para algumas aplicações fotogramétricas;
- Dada a pequena distância entre fotografias consecutivas, poderão haver deslocamentos de relevo muito diferentes e problemas de ocultação de objetos destacados da superfície;
- A distância máxima entre o VANT e a estação de controlo no solo é limitada pelo alcance máximo das ondas rádio, normalmente abaixo dos 5 km;
- Dependência das condições meteorológicas, especialmente o vento. É necessário planear atempadamente o levantamento e escolher os períodos com menor vento, normalmente no início da manhã, onde os ventos apresentam rajadas com velocidade adequada aos requisitos operacionais dos VANT. Geralmente a velocidade máxima que um VANT suporta ronda os 25 km/h;
- Ilhas de pequenas dimensões necessitam de um tratamento diferenciado no que diz respeito aos pontos de controlo e georreferenciação;
- Na zona litoral há normalmente grandes corpos de água ou água do quebrar das ondas a espraiar pelo areal. Esta água pode impedir ou dificultar o processo da procura de pontos semelhantes, "matching points". Nestes casos, é possível usar técnicas para mascarar estas áreas;
- Além dos corpos de água, é necessário mascarar corpos em movimento tais como carros, este processo deverá ser efetuado durante o processamento de informação.

Para solucionar as desvantagens descritas nos últimos dois pontos, o *software* utilizado na criação dos modelos fotogramétricos, disponibiliza recursos para solucionar esta dificuldade. Assim é oferecida ao utilizador a possibilidade de desenhar polígonos para mascarar estas áreas, excluindo-as da deteção de pontos semelhantes entre fotografias.

1.2.2 Fotografia Aérea

A fotografia aérea regista com grande detalhe a imagem de uma determinada área no exato momento em que a fotografia foi tirada, fazendo com que este método seja um poderoso meio de análise da evolução geomorfológica e um excelente método de monitorização (Henriques, 2006). A fotografia aérea conjugada com outras técnicas tais como o GPS e *softwares* informáticos, permite a execução de modelos digitais de terreno e ortofotomapas (Baltasavias, 1999; Henriques, 2006; Baptista, 2006, Gonçalves, 2010). A conjugação destes métodos permite obter informação precisa e com qualidade, quando a realização dos levantamentos fotográficos é obtida em períodos

distintos do ano, é possível observar e registar a evolução da dinâmica dos sistemas costeiros (Henriques, 2006).

A utilização exclusiva destas fontes de informação não permite por si só determinar os fatores nem a intensidade das variações observadas em dois levantamentos consecutivos. Porém, é possível calcular a taxa de variação de diversos indicadores a partir da comparação entre dois levantamentos obtidos em instantes diferentes. Se possível, os levantamentos destinados para este efeito, devem ser obtidos em condições de maré, ondulação e meteorológicas idênticas e na mesma altura do ano (Henriques, 2006).

A escala das fotografias aéreas obtidas depende da altura do voo e da distância focal da câmara, assim sendo, a escala(E) é a razão entre a distância focal (f) e a altura do voo (H) (Santana, 2009):

- E: f/h

1.2.3 GPS

Desenvolvido pelo Departamento de Defesa Americano, o programa GPS foi aprovado em dezembro de 1973, o primeiro satélite foi lançado em 1978. Já em 1993, o sistema GPS tinha 24 satélites na órbita terrestre. Em 1994, a Agência Federal de Aviação (FAA), declarou o GPS como aprovado para o uso na aviação (Tsui ,2005).

A realização deste trabalho exige que o setor em estudo apresente boa cobertura da constelação de satélites no momento da recolha de dados. O programa GPS apresenta um total de 24 satélites divididos em 6 órbitas em que cada órbita apresenta 4 satélites. Como as 6 órbitas estão separadas por 60º cobrem a totalidade do globo, em 360º.

Para se obter uma maior precisão no posicionamento do GPS pode-se utilizar a técnica de correção diferencial, esta técnica é assim denominada por Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS). Nesta técnica, são usados dois receptores GPS. Um recetor GPS, designado por "base" é colocado num local georreferenciado. Assim, é possível conhecer a diferença entre a posição obtida através do recetor de GPS e a posição real do equipamento, possibilitando a correção diferencial do erro. Um outro recetor GPS móvel, designado por "rover", é utilizado para determinar posições, recebendo em simultâneo as correcções posicionais do recetor "base". O uso do GPS diferencial permite aumentar a precisão até números sub-métricos (Lima, 2006).

Deste modo, o uso do GPS diferencial é uma ferramenta útil em estudos morfodinâmicos, este poderá ser usado, com o objetivo de obter modelos digitais de terreno (MDT), conjugado com fotografia aérea será possível obter modelos de terreno 2D (Ortofotomapas) e 3D (Modelo Digital de Terreno). Estes, enquadrados em *software* SIG, poderão ser usados para o cálculo do balanço de volumes de sedimentos e na determinação das taxas de variação de alguns indicadores de dinâmica costeira, entre outros (Henriques, 2006).

1.2.4 Fotogrametria

A fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia usada na representação da superfície terrestre. Esta técnica tem na sua base a análise e interpretação de informação obtida a partir de fotografias. Estas fotografias são projeções bidimensionais obtidas a partir de um cenário tridimensional, sendo este o objeto de estudo. O objetivo será realizar uma modelação tridimensional do que está representado na fotografia (Berberan, 2003).

Etimologicamente, "fotogrametria" deriva das palavras gregas "photon", "graphos" e "metron", que significam luz, escrita e medições, respetivamente (Filho & Brito, 2007).

Historicamente é possível identificar quatro gerações evolutivas da fotogrametria, sendo que a sua evolução está intimamente ligada ao avanço da ciência e da tecnologia. A primeira geração pode ser balizada entre os meados e o final do século XIX e, a segunda fase coincidiu com a invenção do avião. Em 1990, Pulfrich inventou a estereofotogrametria, sendo esta geração também designada por Fotogrametria Analógica. A terceira geração - a fotogrametria analítica - surgiu com a invenção dos computadores, tendo Schmid desenvolvido a base desta geração usando à álgebra linear e geometria analítica. Recentemente surgiu a quarta geração - a fotogrametria digital- em que são usadas imagens digitais (Schenk, 2005).

A fotogrametria tem-se tornado uma das técnicas fundamentais no ordenamento costeiro, sendo útil na determinação da evolução costeira e taxas de recuo (Dolan *et al.*., 1980, 1992).

A fotogrametria é aplicada na produção de mapas – ortofotografias e ortofotomapas, e para a produção de modelos digital de terreno (MDT) (Linder, 2003; Schenk, 2005), que por sua vez podem ser integrados em ambiente SIG (Henriques, 2006; Gonçalves & Henriques, 2015). Com a fotogrametria aliada aos SIG é possível medir e interpretar dados qualitativos e quantitativos de objetos ou superfícies através de fotografia (Linder, 2003; Schenk, 2005)

.

1.2.5 Ortofotomapas

A fotografia aérea vertical, apresenta inúmeras deformações geométricas, consequência do facto de se obter uma projeção planar de uma superfície tridimensional centrada num ponto, normalmente o centro da fotografia. Assim sendo, os objetos mais afastados do centro apresentam maior deformação tangencial. Outra variação responsável por esta deformação é a altitude, sendo que uma menor altitude resultará numa deformação maior (Henriques, 2006).

Outro aspeto responsável pela deformação tangencial é a distância focal da objetiva, sendo que esta deformação apresenta a mesma razão proporcional que a altitude (Linder, 2003; Schenk, 2005; Schmidt & Kühn, 2007).

Aspetos relacionados com o movimento do VANT e com a lente da câmara também poderão ser causas de deformação (Henriques, 2006).

O efeito das deformações poderá ser anulado recorrendo à ortorretificação, que consiste na correção da fotografia para que se torne numa projeção ortogonal, tornando assim possível a sua utilização como mapa planimétrico (Nielsen, 2004). A ortorretificação é um processo matemático que recorre a parâmetros de orientação internos tais como especificações do sensor, e externos como posição da câmara aquando da obtenção das fotografias (Linder, 2003; Schmidt & Kühn, 2007). Assumindo que houve a correção de todos os erros e distorções previamente existentes, resultando na projeção da superfície fotografada a forma mais precisa e correta, obtém-se uma ortofotografia (Henriques, 2006; Schmidt & Kühn, 2007).

A ortofotografia associada a informação geográfica, mais especificamente a um sistema de coordenadas, permite produzir um ortofotomapa. O ortofotomapa pode resultar de uma ou de um mosaico constituído por várias ortofotografias (Henriques, 2006).

O recente desenvolvimento de sistemas de posicionamento global, mais especificamente o GPS, permitiu que atualmente o processo de ortorretificação seja feito de forma inteiramente digital. Com a ajuda do DGPS – sistema de posicionamento global diferencial, é possível criar pontos de controlo de terreno (GCP – Ground Control Points) (Henriques, 2006; Schmidt & Kühn, 2007), estes vão ser úteis para a criação de ortofotomapas corrigidos (Hapke & Richmond, 2000; Henriques, 2006; Schmidt & Kühn, 2007).

A ortorretificação digital é um processo que implica a translação de cada pixel da imagem para a posição geometricamente correta relativamente a um referencial de coordenadas. Este processo pode basear-se num processo de retificação diferencial baseado em matrizes de transformação polinomial (Henriques, 2006; Schmidt & Kühn, 2007). Tendo uma base ortorretificada de referência com pontos comuns à fotografia a ortorretificar ou um conjunto de pontos de controlo no solo (GCP) de coordenadas conhecidas, cuja identificação seja possível efetuar na fotografia, conseguem-se produzir ortofotomapas de elevada precisão (Henriques, 2006).

Este processo não só permite a ortorretificação da fotografia aérea, mas também a sua georreferenciação (Hapke & Richmond, 2000; Henriques, 2006; Schmidt & Kühn, 2007).

Um ortofotomapa estando georreferenciado e contendo uma escala, pode ainda ser integrado num sistema de informação geográfica (Henriques, 2006; Schmidt & Kühn, 2007), permitindo a medição de distâncias e áreas, a determinação de posições geográficas, e quantificar bidimensionalmente as mudanças geomorfológicas, que sejam identificáveis fotograficamente, através da sobreposição de informação proveniente de outros ortofotomapas (Henriques, 2006).

Assim, os ortofotomapas são uma excelente e vantajosa ferramenta para monitorizar as zonas costeiras, pois numa só representação combina as características visuais de uma fotografia aérea com os atributos geométricos de um mapa (Henriques, 2006).

1.2.5.1 Modelo Digital de Terreno (MDT)

Os modelos digitais de terreno (MDT) estão na base de muitos processos de modelação e de análise espacial, mais particularmente na modelação hidrológica, em estudos climatológicos, agrícolas e florestais (Matos, 2007) e apresentam ainda benefícios na monitorização costeira (Henriques, 2006).

Os MDT são construídos a partir de processos digitais fotogramétricos, através de sobreposição e correlação de fotografias aéreas ortorretificadas (Schmidt & Kühn, 2007).

Corresponde a um conjunto de dados em suporte numérico que permite associar a qualquer ponto num plano cartográfico um valor correspondente à sua altitude (Matos, 2007).

Segundo alguns autores (Hodgson & Bresnahan (2004); Zhiling *et al.* (2005); Su & Bork (2006)), a exatidão vertical dos MDT varia em função da cobertura do solo e do declive do terreno.

Os modelos digitais de terreno são constituídos por informação tridimensional precisa do terreno (Henriques, 2006), permitindo assim:

- Calcular volumes em praias/dunas (Henriques, 2006; Madeira *et al.*, 2013; Gonçalves & Henriques, 2015);
- Quantificar possíveis fenómenos de migrações ou galgamentos (Mitasova *et al.*, 2004; Henriques, 2006; Madeira *et al.*, 2013; Gonçalves & Henriques, 2015);
- Observar mudanças geomorfológicas de zonas costeiras (Hapke & Richmond, 2000; Madeira *et al.*, 2013);
- Representar a hipsometria (Matos, 2007);
- Obter perfis, estes são gerados automaticamente segundo uma diretriz (Matos, 2007).

1.2.5.2 Modelo digital de terreno (MDT) vs Modelo digital de superfície (MDS)

Os MDT constituem um modelo topográfico altimétrico, são gerados em ambiente digital e nestes modelos apenas está representado o relevo do terreno, não sendo considerados valores altimétricos relativos à vegetação, edifícios, nem objetos artificiais (Nielsen, 2004). Já os MDS (figura 1) representam toda a superfície da área em estudo, incluindo valores altimétricos de todos os objetos existentes no terreno, tais como edifícios e vegetação (Rau *et al.*, 2002).

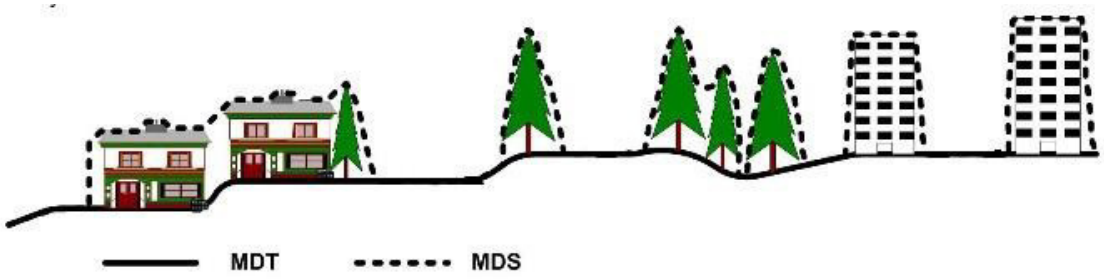


Figura 1- Esquema comparativo entre MDS (linha completa) e MDS (linha a tracejado) (adaptado de Gonçalves et al., 2011)

1.2.6 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

O sistema de informação geográfica (SIG), é uma ferramenta informática importante em diversas áreas, tais como na topografia, deteção remota, hidrogeologia (Foote & Lynch, 1996; Vine *et al.*, 1997; Feenstra *et al.*, 1998), agricultura, florestal, ordenamento do território, estudos ambientais (Foote & Lynch, 1996; Davis & Câmara 2001), entre outros, permitindo manipular, armazenar,

analisar, atualizar, recuperar, conjugar e apresentar informação georreferenciada (Foote & Lynch, 1996; Vine *et al.*, 1997; Feenstra *et al.*, 1998; Chrisman 1999).

O desenvolvimento dos SIG teve início na década de 1960, nos Estados Unidos da América e no Canadá, sendo possível destacar três personalidades importantes no desenvolvimento dos SIG, nomeadamente Howard Fisher, R.Tomlinson e Jack Dangermond (Calijuri & RÖHM, 1994).

Os SIG permitem organizar a informação em "Layers" / "levels" (camadas/níveis) (Foote & Lynch, 1996), sendo possível facilmente relacionar, comparar e até conjugar diversa informação (Vine *et al.*, 1997; Feenstra *et al.*, 1998). Esta poderá ser de diferentes características, tais como imagens, mapas, tabelas, pontos, entre outros (Vine *et al.*, 1997; Mitasova *et al.*, 2004)

Assim, os SIG permitem integrar informação obtida através de métodos de deteção remota, altimétricos, fotogramétricos e analíticos, tornando esta ferramenta crucial e de grande importância para estudos de monitorização de zonas costeiras (Henriques, 2006).

De uma forma generalista, um SIG é composto por vários componentes que se organizam hierarquicamente, num nível mais próximo ao utilizador temos a *interface.* Este componente define como o sistema é operado e controlado. Num nível intermédio, um SIG é composto por mecanismos que permitem o processamento de dados. No nível mais interno ocorre o armazenamento e recuperação de dados (Davis *et al.*, 2001).

Na figura 2 é possível visualizar a relação entre os principais componentes de um SIG.

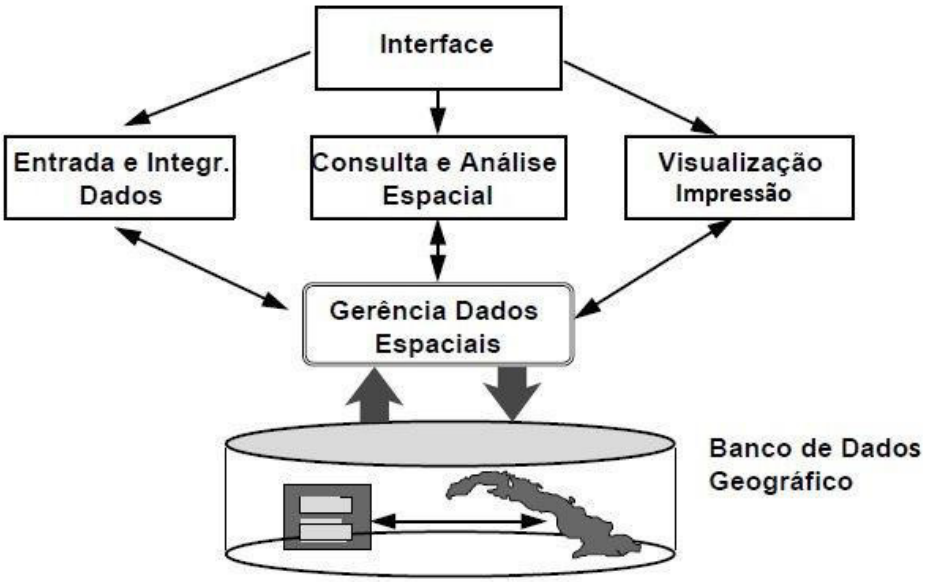


Figura 2- Representação esquemática de componentes de um sistema de informação geográfica (adaptado para Português europeu do original de Davis et al., 2001).

1.3 Legislação – Veículos aéreos não tripulados

O regulamento nº 1093/2016 publicado em Diário da República número 238 a 14 de dezembro de 2016, apresenta normas de utilização para as aeronaves civis não tripuladas em território português. Até então a legislação nacional para este efeito era inexistente, ainda que a Organização da Aviação Civil Internacional e a Agência Europeia para a Segurança da Aviação apresentassem já algumas iniciativas para o mesmo fim.

Em regra geral, o regulamento estabelece as regras do ar comuns e as disposições operacionais, destacando-se a total liberdade de efetuar voos diurnos, à linha de vista, até uma altura de 120 metros, nos casos em que as aeronaves não se encontrem a voar em áreas sujeitas a restrições ou na proximidade de infraestruturas aeroportuárias.

Para além das normas atrás citadas, os voos não devem ser executados de forma a colocar em risco pessoas, bens e outras aeronaves devendo igualmente manter uma distância segura de bens patrimoniais, de forma a evitar danos em caso de acidente ou incidente. O piloto deve certificar-se que o dispositivo e o restante equipamento se encontram em perfeitas condições para a realização do voo, e durante todo o voo, o piloto deve dar prioridade à passagem de aeronaves tripuladas e afastar-se das mesmas, sempre que, por alguma razão, estas aeronaves estejam excecionalmente a voar a uma altura próxima dos dispositivos pilotados remotamente. Independentemente de se tratar de um voo noturno ou diurno, os dispositivos devem voar sempre com luzes de identificação ligadas.

Para a realização de voos noturnos e de voos acima de 120 metros é necessário solicitar a autorização dos mesmos junto da ANAC (Autoridade Nacional da Aviação Civil), com uma antecedência mínima de 12 dias úteis.

Relativamente as restrições de voo, o regulamento restringe qualquer voo em aeroportos, aeródromo e áreas adjacentes aos mesmos; sobre concentrações de pessoas ao ar livre, entendendo-se assim um grupo superior a 12 pessoas, salvo se expressamente autorizado pela ANAC; em zonas de sinistro onde se encontrem a decorrer operações de proteção e socorro, salvo se o comandante das operações de socorro autorizar o voo, entre outros.

1.4 Evolução da costa

A zona litoral apresenta grande complexidade, sendo a interface entre várias esferas tais como: geosfera, hidrosfera, atmosfera e a biosfera. Esta complexidade é ainda reforçada pelos subsistemas que fazem parte dos sistemas atrás referidos, exemplo disso são o fornecimento sedimentar oriundo das bacias hidrográficas, a intensidade e direção do transporte eólico, os afloramentos e as litologias, entre outros.

Todo este dinamismo, na zona costeira, faz com que esta área da superfície terrestre não seja a mais fácil para deduzir com pormenor a forma como os ambientes costeiros evoluíram nos últimos milhares de anos (Dias, 2004).

O equilíbrio litoral está intimamente ligado à dinâmica da zona costeira, sendo raros os casos em que se consegue atingir o equilíbrio dinâmico. Assim, o nível do mar está constantemente a variar devido a vários fatores como: a variação das marés, influência da meteorologia, agitação marinha, abastecimento sedimentar, entre outros. Consequentemente estes aspetos intervêm com diferentes intensidades na dinâmica costeira, fazendo com que as zonas costeiras tendam para o equilíbrio dinâmico sem nunca o atingirem, salvaguardando algumas exceções (Dias,2004).

Ao longo dos últimos milhares de anos ocorreram vários momentos transgressivos e regressivos do nível médio do mar. Por exemplo, sabe-se que há cerca de 18 000 anos o nível médio do mar se encontrava a mais de 100 metros abaixo do nível atual. Além de existirem vários dados a apontar que este facto seja uma verdade, não há dados ou registos instrumentais que o comprovem. Assim sendo, os modelos que tentam representar a evolução do litoral português ao longo dos últimos milhares de anos são apenas teorias que com a descoberta de novos dados ou de tecnologias podem vir a ser modificadas, alteradas, pormenorizadas e assim aperfeiçoadas (Dias, 2004).

1.4.1 Fatores que contribuem para a evolução costeira à mega-macro escala

Há vários fatores naturais que condicionam a evolução da zona costeira, atuando a diferentes escalas espaciais e temporais. Alguns desses fatores são: o clima, as variações do nível do mar e a neotectónica, que ocorrem a uma mega-macro escala temporal, enquanto que os fatores hidro e aerodinâmicos, tais como as ondas, as correntes, as marés, o vento, entre outros, são

responsáveis pela dinâmica (erosão e deposição) da orla costeira e atuam a uma meso-microescala.

1.4.1.1 Clima

A Terra apresenta vários indicadores de grandes variações climáticas, que correspondem a períodos essencialmente caracterizados por temperaturas baixas – idades de gelo (icehouse) – em alternância com outros onde dominaram as temperaturas elevadas – idades de efeito de estufa (greenhouse).

Recentemente, a teoria de Milankovitch (Duplessy, Morel, 1990) foi retomada dado ter-se verificado que muitas mudanças climáticas são cíclicas. Essas mudanças alteram a distribuição geográfica e sazonal da energia solar ou insolação, afetando, em períodos longos, a formação e fusão de massas de gelos.

As variações climáticas ao longo do tempo originaram sucessivos ambientes deposicionais com características próprias, tendo ficado registados testemunhos desses climas do passado – geoindicadores.

1.4.1.2 Nível do mar

As variações do nível do mar são uma das principais causas das mudanças na zona costeira. As variações globais do nível do mar – eustatismo- são causadas por mudanças absolutas no volume de água do mar, podendo estas ter diversas causas.

As variações eustáticas têm carácter global, podendo ser amplificadas ou reduzidas pelos movimentos crustais relacionados com atividade tectónica.

O glacio-eustatismo é a causa mais conhecida das variações eustáticas, tratando-se de variações bastante rápidas e com amplitude significativa.

Durante os períodos de subida do nível do mar, ocorrem transgressões marinhas. Com a subida do nível do mar os estuários respondem reduzindo as exportações de sedimentos para a plataforma, de modo a adaptarem-se ao novo nível de base, convertendo-se preferencialmente em locais de receção e deposição de sedimentos provenientes da deriva litoral. Em suma, uma subida do nível do mar, pode ser contemporânea de um assoreamento dos estuários (Loureiro, 2006).

Durante os períodos de rápido abaixamento do nível do mar - regressão marinha - há um abaixamento do nível de base dos rios e como resposta a este abaixamento do nível de base os cursos de água vão transportar maiores cargas de sedimentos para a plataforma e há uma descida da linha de talvegue nos cursos de água. A plataforma continental torna-se um lugar de sedimentação.

Os sedimentos poderão assim ser redistribuídos ao longo da costa formando cordões litorais que se convertem numa fonte de areias que facilmente poderão ser transportadas pelos ventos, formando assim dunas que tenderão a avançar para o interior.

1.4.1.3 Neotectónica

A atividade neotectónica em Portugal é consequência da situação do território português, na proximidade do ponto triplo de contacto das placas Euro-Asiática, Norte Americana e Africana. Este enquadramento é responsável por importantes movimentos tectónicos, nomeadamente movimentos divergentes associados a processos de *rifting*, convergentes e de falhas transformantes, manifestando-se pela presença de deformações recentes da interface continente-oceano e pela reativação de antigas falhas (neotectónica).

Dias (1987), Rodrigues *et al.* (1990, em Magalhães 1999) Rodrigues *et al.*. (1991), Lefort *et al.*. (1991, em Magalhães 1999), Carvalho (1981, 1988) e Cabral e Ribeiro (1989b), referiram estas deformações como tendo um papel determinante na geomorfologia do litoral minhoto. Nesse contexto, durante o Quaternário, o litoral português terá sofrido um levantamento tectónico de 0.1mm/ano a 0.13mm/ano (Cabral, 1986).

1.4.2 Processos costeiros

Para além dos fatores referidos no subcapítulo anterior, os processos costeiros como ação dinâmica das ondas, das marés, das correntes litorais e dos ventos, particularmente em situações de tempestade, são também responsáveis por mudanças na geomorfologia da orla costeira.

Além destes, outros agentes como as águas de escorrência e de infiltração, os seres vivos e as ações voluntárias ou involuntárias do Homem também contribuem para a evolução da orla costeira (Loureiro, 2006).

A mudança de perfil duma praia e das suas microformas, tal como o seu balanço sedimentar são resultado destes processos costeiros (Loureiro, 2006).

1.3.2.1 Ondas

A costa do noroeste de Portugal está exposta à ondulação gerada no Atlântico Norte apresentando valores de altura (H) e períodos (T) superiores aos que ocorreriam pela simples ação do vento local. Durante o inverno, o outono e a primavera, estas condições de agitação marítima estão associadas a áreas de geração no flanco NE do Anticliclone dos Açores ou a situações com circulação de NO pós-frontal ou depressionária, como resultado as ondas apresentam alturas com cerca de 2,5 metros e períodos de 9 segundos. No verão, as ondas de NO estão associadas às condições meteorológicas características da época e ao regime de nortada, assim as ondas apresentam alturas com 1 a 1,5 metros e 7 a 8 segundos de período (Loureiro, 2006).

Os períodos de tempestade podem provocar efeitos catastróficos, principalmente quando coincidem com períodos de preia-mar das marés vivas e com cheias fluviais (Loureiro, 2006).

1.3.2.2 Marés e correntes de maré

O setor noroeste da orla costeira portuguesa integra-se no sistema anfidrómico do Atlântico Norte e localiza-se em zona de transição de meso para macro marés. As marés apresentam duas preia-mares e duas baixa-mares diárias, propagando-se de sul para norte.

As correntes originadas pelas marés desempenham um papel importante na dinâmica sedimentar das praias, principalmente nas zonas estuarinas e lagunares e nas desembocaduras dos rios. As correntes de maré são movimentos horizontais de massas de água, estas acompanham as oscilações do nível do mar e dependem da rotação da Terra, das características da maré que atinge a costa, da batimetria e da configuração da costa (Loureiro, 2006).

As correntes de enchente e de vazante das marés são importantes na circulação e distribuição de sedimentos em estuários, lagunas e praias arenosas, sendo responsáveis pela formação de bancos arenosos (Loureiro, 2006).

1.3.2.3 Correntes costeiras

As correntes originadas pelas ondas desempenham um importante papel na dinâmica sedimentar das praias. Estas correntes podem ser longitudinais, transversais e correntes de fluxo-refluxo.

As correntes costeiras apresentam grande capacidade de transporte, sendo capazes de movimentar por suspensão, saltação e tração partículas argilosas, limos, areias, areão e até seixos (Loureiro, 2006).

Aquando o impacto da rebentação da onda, a energia libertada nesse instante é suficiente para iniciar o movimento dos sedimentos, sendo estes posteriormente transportados através das correntes de fluxo e refluxo da onda, pelas correntes de retorno e também pela deriva litoral (Loureiro, 2006).

A deriva litoral predominante no litoral de Esposende é de norte-sul, embora nas zonas dependentes das fozes dos rios Cávado e Neiva seja de sul-norte, como consequência da difração das ondas resultante da presença de deltas de maré vazante (Loureiro, 2006).

1.3.2.4 Sobrelevação de tempestade – *Storm Surge*

Uma sobrelevação do nível do mar é o resultado conjugado de vários fatores, sendo a diminuição da pressão atmosférica ligada à passagem de um ciclone o mais importante. Esta elevação pode ser ainda mais acentuada se coincidir com um período de marés vivas ou se devido a configuração da costa houver efeito de ressonância das ondas (Loureiro, 2006).

Segundo Paskoff (1998), num período de tempo de 12 horas em que o vento sopre a uma velocidade de 80 km/h, o mar sofre uma sobrelevação de 1 metro. Em praias arenosas, estas sobrelevações podem originar galgamentos marinhos e consequentemente acentuadas mudanças morfológicas, tais como destruição rápida de dunas e recuo acentuado das arribas arenosas. Já em praias de seixos, os períodos de tempestade originam cristas de seixos com grande altura e provocam o aumento acentuado do declive da face da praia (Loureiro, 2006)

1.3.2.5 Ventos

A migração periódica anual da frente polar é responsável pelas condições meteorológicas predominantes em Portugal. Assim, no inverno a migração ocorre para sul e Portugal é atingido

pelas depressões subpolares, com sistemas frontais provenientes de oeste, causando precipitações mais ou menos abundantes, temperaturas mensais relativamente baixas e ventos com domínio do quadrante oeste. A descida da frente polar até às latitudes de Portugal, resulta em ventos de SO. Por vezes, a circulação de um anticiclone continental pode provocar vento de NE ou de E com ar frio e seco (Loureiro, 2006).

Durante o verão a influência conjunta da crista NE do Anticiclone dos Açores e da depressão de origem térmica que se forma sobre a Península Ibérica resulta numa situação meteorológica bastante estável com reduzida precipitação, temperaturas altas e vento fraco.

Os ventos predominantes que atingem a orla costeira são, geralmente, de N e NO. Quando a circulação geral é caracterizada por vento fraco, a brisa é de O ou NO durante o dia, com o aumento da intensidade para o fim da tarde (Loureiro, 2006).

1.3.2.6 Barragens

A construção de barragens contribui para a redução da área das bacias hidrográficas que drenam diretamente para o mar, resultando numa diminuição significativa do volume de sedimentos transportados através dos canais fluviais (Loureiro, 2006)

Ainda segundo Loureiro (2006), a regularização dos cursos de água impede que grande parte dos sedimentos, em movimento no curso fluvial, se desloque para jusante das barragens. O menor caudal e competência do rio também contribuem para que as frações mais grosseiras de sedimentos se depositem em zonas mais a montante das bacias hidrográficas, em vez de abastecerem a orla costeira.

1.3.2.7 Obras de engenharia costeira

As principais obras de engenharia costeira no litoral de Esposende, construídas durante a década de 1980, são quebra-mares, esporões e enrocamentos. Estas estruturas apresentam-se como sendo uma solução temporária, acarretando consequências negativas para os segmentos vizinhos. Estas obras, devido a sua estrutura, podem provocar alterações no meio natural, tais como na reflexão, refração e difração das ondas (Loureiro, 2006).

1.3.2.8 Destruição e/ou degradação da orla costeira

Os sistemas dunares são a melhor defesa natural contra galgamentos do mar e a migração das praias para o interior. Assim, a preservação destes sistemas torna-se imprescindível para a manutenção do equilíbrio natural existente no litoral.

Entre várias ações que contribuem para a degradação destes sistemas naturais, é possível destacar (Loureiro, 2006):

- Pisoteio das dunas – a destruição das áreas vegetadas propícia a formação de corredores eólicos, que por sua vez facilita os galgamentos marinhos;
- Aumento da escorrência devido à rega de zonas agrícolas, o que intensifica fenómenos de ravinamento;
- Construção de edifícios no topo das arribas, e como consequência o aumento da impermeabilização do solo e da pressão exercida nesta área.

Estas ações levados a cabo pelo Homem retiram à orla costeira a capacidade de defesa e regeneração, o que diminui a sua capacidade de recuperar e de responder a possíveis mudanças.

1.5 Objetivos do trabalho

Foram selecionadas três áreas costeiras do noroeste de Portugal Continental– praia de Cepães, Belinho e Fieiro Alto – e, recorreu-se a diferentes processos e tecnologias, como fotografia aérea recolhida através de VANT, modelação 3D, levantamentos com um sistema de mapeamento móvel (DGPS) e processamento da informação em SIG, com os objetivos de:

- Avaliar as tendências evolutivas da morfodinâmica do sistema costeira em estudo com recurso a modelos tridimensionais;
- Efetuar medições de volumes, recorrendo a modelos tridimensionais e softwares fotogramétricos, para o estudo de balanços sedimentares das áreas de estudo;
- Criar e fornecer informação, servindo assim de base, para futuras campanhas e/ou estudos de monitorização.

Capítulo II

2. Enquadramento geográfico, geológico e morfológico das áreas de estudo

2.1 Localização da área de estudo

Este trabalho incidiu sobre as praias de Cepães, Belinho e Fieiro Alto (figura 3), localizadas no concelho de Esposende, pertencente ao distrito de Braga.

O concelho de Esposende situa-se na costa ocidental de Portugal, mais precisamente na região Norte, na sub-região do Cávado. Corresponde ao segmento litoral delimitado a norte pelo rio Neiva, fazendo assim fronteira com o concelho de Viana do Castelo. A sul, Esposende faz fronteira com o concelho da Póvoa de Varzim.

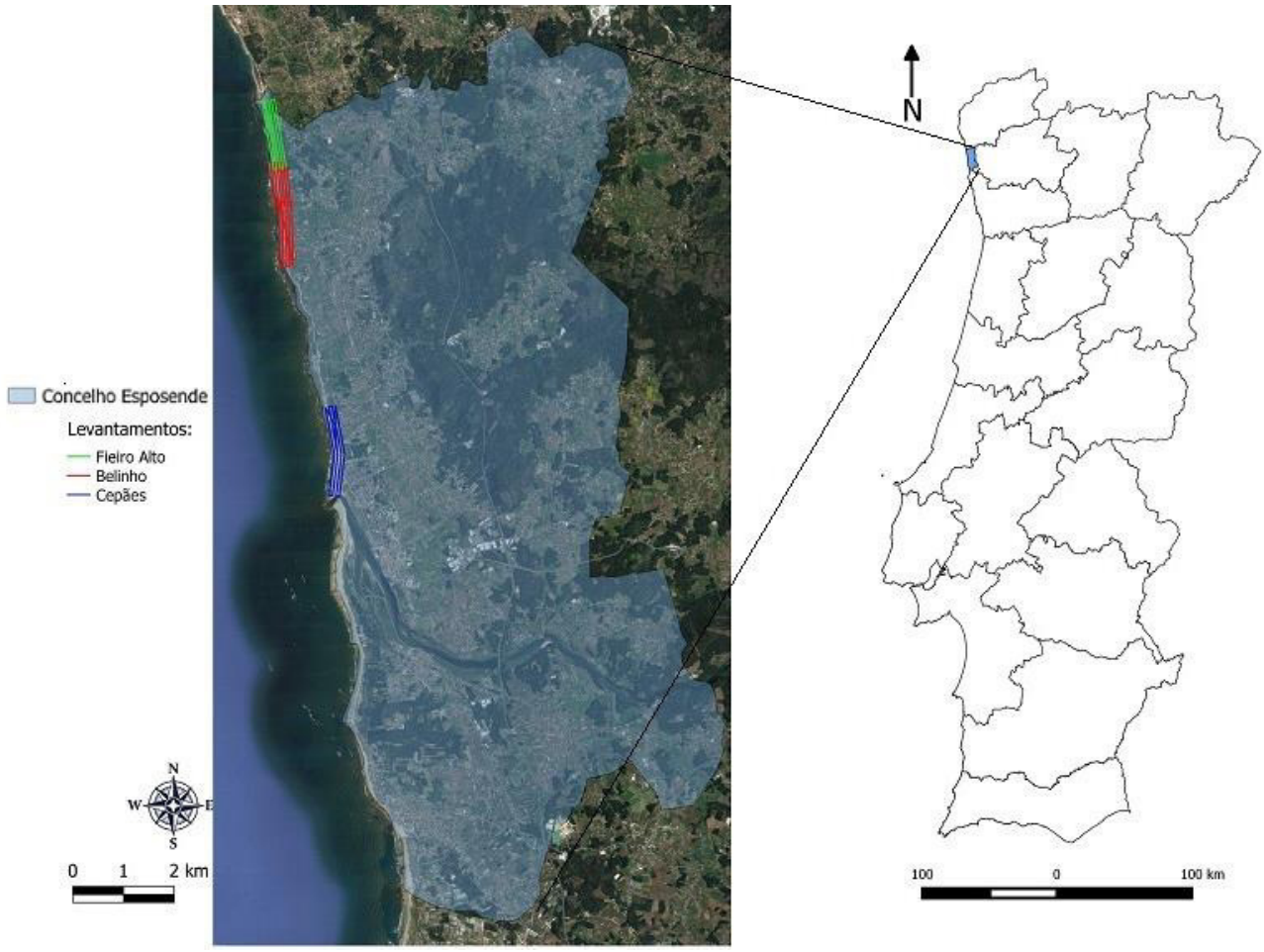


Figura 3-Localização das áreas de estudo.

2.2 Caracterização geológica

Para a área costeira de Esposende existe cartografia geológica às escalas 1:200000 (Pereira, 1989) e 1:50 000 (Teixeira e Medeiros, 1969) embora de pouco detalhe ou pouco atualizada, respetivamente. A atual evolução da linha de costa tem colocado a descoberto afloramentos rochosos (por remoção das areias das praias) que não se encontram devidamente cartografados.

Do ponto de vista geológico, a área de estudo (figura 4) é caracterizada por (Teixeira e Medeiros, 1969):

- Aluviões atuais, areias e cascalheiras de praia ou de rio e areia de duna, do Quarternário;
- Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais, do Plio-Plistocénico;
- Xistos argilosos com fósseis, do Landeiliano-Lanvirniano (Ordovícico).

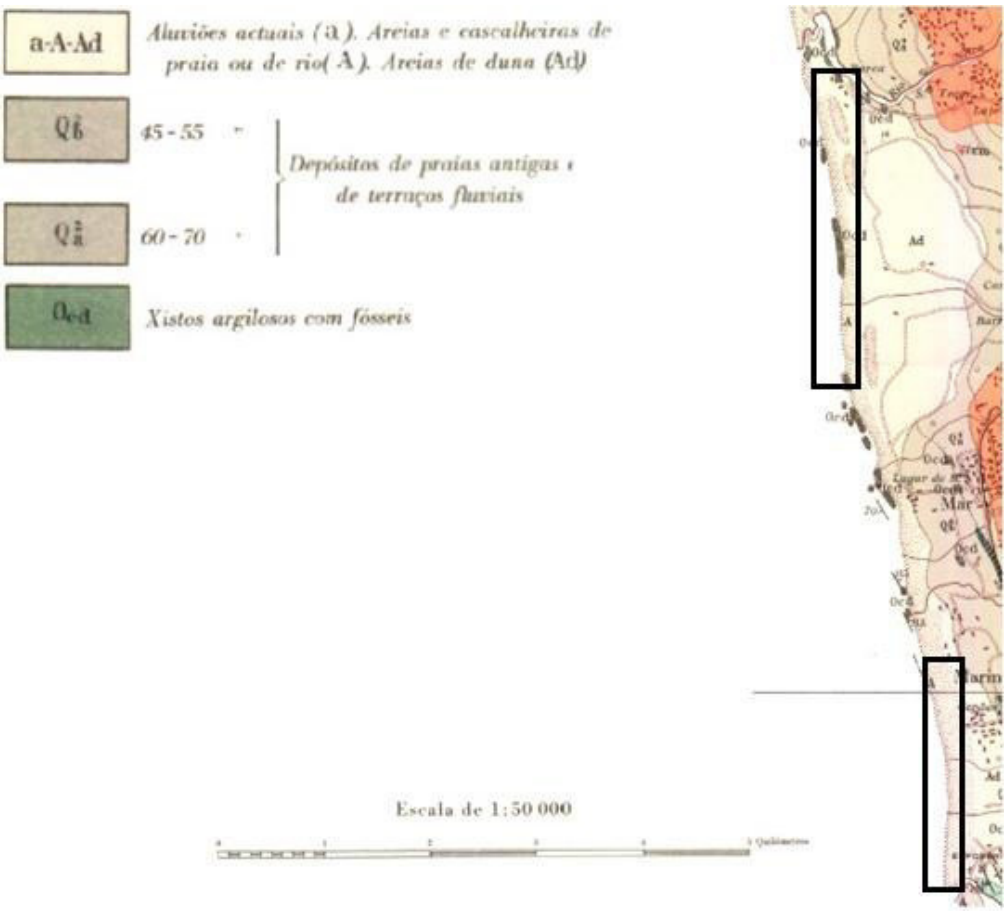


Figura 4- Excerto da folha 5-C da Carta geológica de Portugal, na escala 1:50000 (Teixeira e Medeiros, 1969), com a localização das áreas de estudo.

A restante faixa costeira de Esposende é ainda coberta por depósitos sedimentares pertencentes ao Quaternário. Neste âmbito, há a considerar as seguintes unidades (Granja, 1990; Soares de Carvalho *et al.*, 2006):

- Formação areno-limosa (equivalente ao areno-pelítico das cartas geológicas na escala 1:50 000 e aos coluviões de Meireles e Texier, 2000) do Plistocénico.

- Formação de Cepães, Conglomerado de Pinhote + Conglomerado do Outeiro + Areias da Gatanheira e Formação de Antas do Plistocénico.

- Formação da Aguçadoura e dunas parabólicas do Holocénico.

2.3 Caracterização geomorfológica

A área costeira de Esposende, apresenta uma morfologia bastante plana não ultrapassando os 30 metros de altitude, com valores mais baixos nas zonas proximais do mar.

Ao longo da costa é possível identificar uma considerável diversidade de geoformas como: praias que podem ser arenosas ou com seixos, dunas que poderão ser mais antigas/dunas medievais e mais recentes, arribas que poderão ser classificadas como morta ou atual, distribuídas por duas plataformas marinhas.

Atualmente, assiste-se a uma diminuição da largura das praias acompanhada por um aumento do declive e um recuo crescente das dunas frontais.

Observa-se ainda a existência de dunas residuais (*hummocky dunes*) e corredores eólicos. Algumas praias arenosas tendem a evoluir para praias de seixos.

2.4 Praia de Cepães

A praia de Cepães é constituída, segundo a escala de Wentworth, por areia muito grosseira a média (Loureiro, 2006), embora a presença de seixos começa a ser notada com relativa frequência com a recente evolução dinâmica.

No setor norte é uma praia mista, com sedimentos constituídos por areia e seixos e apresenta uma pequena área com afloramentos rochosos.

A praia apresenta ainda um cordão dunar, bastante degradado e de largura variável. Loureiro (2006) notou a existência de uma tendência crescente, no sentido norte para sul, do surgimento de seixos na berma e na face de praia. Atualmente os seixos são bastante visíveis tornando-se assim uma constante desta praia.

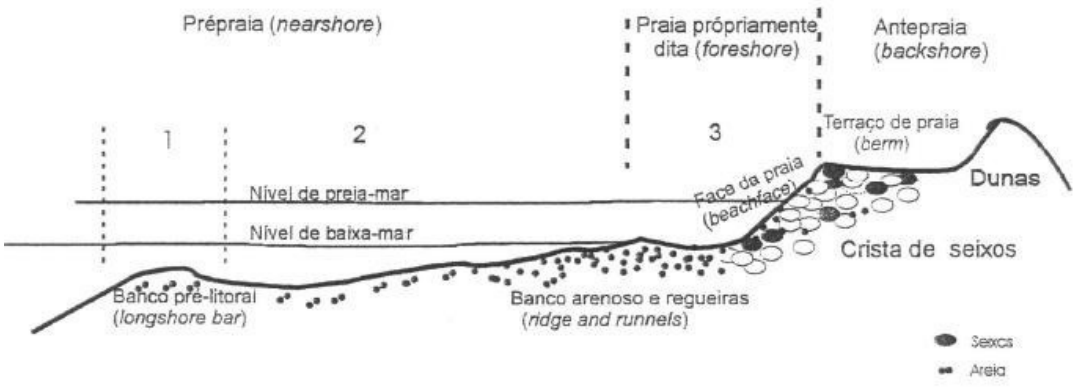
Ao longo dos anos tem se verificado que o aparecimento de seixos tem coincidido com uma perda de sedimentos arenosos juntamente com um aumento do declive da praia e uma maior exposição da área de afloramentos rochosos na zoa intertidal (Loureiro, 2006).

Esta substituição de areia por seixos começou na praia de Belinho, e progressivamente estendeu-se para Sul até atingir a praia de Cepães, sendo consequência da interrupção do transporte sedimentar do mar em direção a terra.

Segundo Granja (1999), este processo pode ter sido iniciado pela redução sedimentar na plataforma continental interna ou pelo aumento da profundidade do nível de base resultante da subida do nível do mar. Por outras palavras, os sedimentos do fundo ficariam progressivamente posicionados abaixo do nível de base da onda, ficando fora da zona de rebentação, o que acaba por diminuir o transporte sedimentar na direção da praia (Loureiro, 2006).

2.5 Praia de Belinho

A praia de Belinho é constituída essencialmente por seixos de diferentes dimensões e litologias. Uma praia de seixos (figura 5) é caracterizada por apresentar como sedimentos principais clastos soltos, com dimensão superior à das areias (>2 mm).



1- zona de rebentação (*breaker zone*); 2- zona de ressaca ou espalho (*surf zone*);
3- zona de espraiamento (*swash zone*). (adaptado de Davis, Jr., em Schwartz, 1982).

Figura 5- Perfil duma praia de seixos (adaptado de Davis, Jr.. em Schwartz, 1982 e Loureiro, 1999).

Esta praia tem cerca de 3 km de comprimento e uma largura variável, apresentando ainda pequenas quantidades de sedimentos arenosos.

Embora as praias e restingas de seixos sejam comuns nas zonas costeiras de média e alta latitude, o estudo destas praias não tem sido desenvolvido como o realizado em praias arenosas. Vários investigadores têm se dedicado a estudar a morfodinâmica destas praias, mais nomeadamente em praias do norte da Europa, porém os conhecimentos sobre a morfodinâmica das praias de seixos portuguesas continuam escassos (Loureiro, 1999).

A morfologia dominante da praia é caracterizada pela presença de uma crista de seixos na parte mais alta da praia, que acompanha o cordão dunar. Na face da praia, esta é constituída por séries de cúspides de seixos (Loureiro, 1999).

Considerando os valores médios da altura da onda e da amplitude da maré, esta costa apresenta energia mista, dominada pela ondulação (Davis & Hayers, em Granja, 1990).

Na praia os seixos são distribuídos segundo a sua forma, sendo que as partículas mais achatadas acumulam-se na parte alta da praia e, as partículas esféricas apesar de serem transportadas para a pré-praia (*nearshore*) pelas ondas, podem rolar na direção do mar devido à sua elevada rotatibilidade.

Segundo Rosen e Benno (1989), o início do movimento do seixo resulta da pressão intersticial exercida pelas ondas ao rebentar sobre a superfície do mesmo num substrato arenoso. Sendo maior a área de resistência a essa pressão mais rapidamente os seixos adquirem um movimento inicial. Como os seixos com formas achatadas apresentam uma maior área de resistência, relativamente a sua massa, à pressão das ondas comparativamente aos seixos de formas esféricas, estes (os achatados) adquirem rapidamente um movimento inicial (de alguns mm) o que contribui para que o seu transporte seja mais fácil. Nas formas esféricas a menor área de resistência relativamente à sua massa tem como consequência a sua imobilização no fundo. Deste modo, o início do movimento dos seixos esféricos torna-se mais difícil, sendo estes mais propícios a sofrer transporte por rolamento.

Outro aspeto importante é o tamanho do seixo, na medida em que num grupo de seixos com a mesma forma, as partículas de tamanhos muito maiores ou muito menores que o tamanho médio (95 mm aproximadamente), apresentam regularmente menores distâncias percorridas e menos movimento (Rosen e Benno, 1989).

2.5.1 Causas da aglomeração dos seixos

Segundo Carvalho (1981; 1983[a]; 1983b; 1985) os depósitos de seixos do litoral do noroeste de Portugal são consequência de um ambiente periglaciário resultante das alterações climáticas verificadas no final do Quaternário. A natureza dos seixos está relacionada com a composição litológica do litoral e com o desmantelamento de formações do quarternário de origem fluvial e marinha. Os seixos podem assim ser provenientes dos afloramentos rochosos da plataforma continental atualmente submersa e das bacias hidrográficas cujos rios desaguam nessas zonas. Estes rios poderão ter transportado grandes quantidades de seixos enquanto possuíam grande competência durante os períodos glaciários (Loureiro, 1999).

Num curto período temporal, as ações antrópicas contribuem para a alteração da dinâmica das correntes litorais. A extração de areias, as dragagens dos estuários e a construção de esporões aceleram os processos naturais que conduzem ao emagrecimento das praias.

Após as obras realizadas no cabedelo de Viana do Castelo que tiveram como objetivo estreitar o leito do estuário do rio Lima, e a construção do esporão no Castelo do Neiva, verificou-se uma anormal aglomeração de seixos que invadiu as praias de Antas, Belinho, Mar e parcialmente as praias de Marinhas (Azevedo, 2002).

Na praia de Belinho, junto a linha de costa deixou de se ver areia, sendo a mesma substituída por seixos, formando elevações consideráveis com cerca de 10 metros de largura em toda a extensão de costa (Azevedo, 2002).

Segundo Loureiro (1999), as condições da ondulação, nomeadamente as ondas em crista associada à ondulação do tipo mergulhante foi escavando e retirando a areia fazendo assim emergir os seixos que já estavam depositados. Nesse sentido, a ondulação é responsável pelo transporte de seixos, em volume e distância.

O maior volume de cascalho transportado ocorre em momentos de tempestade, embora também haja um volume significativo de seixos que sofrem transporte durante períodos de ondulação de baixa energia. Durante os períodos normais do mar, o movimento de seixos em direção a terra ocorre maioritariamente com as partículas de forma discoide ou laminada (Fleming, em Bluck, 1967). Durante as condições de tempestade há um grande transporte de seixos com diferentes

formas e tamanhos, formando assim grandes depósitos na parte da praia acima da linha de maré alta (Loureiro, 1999).

Segundo Rosen e Benno (1989), os seixos podem mover-se em termos médios, 1 a 2 metros e 2 a 4 metros por ciclo de maré, quando há um aumento da altura da onda em 10 cm e 20 cm, respetivamente.

Capítulo III

3. Materiais e metodologia

3.1 Materiais

Para a realização deste trabalho foi necessário recorrer a equipamento tecnológico e a aplicações informáticas. Com o auxílio deste material, foi possível obter, processar e interpretar dados com vista à obtenção de resultados o mais credíveis possível.

Relativamente ao equipamento físico, foram utilizados os seguintes dispositivos:

- Dji Inspire 1
- Sensefly SwingletCam
- Dji Phantom 4 Pro
- Trimble GPS 5800
- HP Omen / MacBook Air / MacBook Pro / iPad

As aplicações informáticas, responsáveis pela planificação, pelo tratamento e pelo processamento de informação, foram:

- Map Pilot – utilizada na planificação de voo dos VANT Dji
- Sensefly eMotion Flight Planning – utilizada na planificação de voo do VANT Sensefly SwingletCam
- Agisoft PhotoscanPro – para processamento fotogramétrico
- Global Mapper – criação de mapas altimétricos
- Quantum GIS
- Trimble Geomatics Office – processamento de informação GPS

3.1.1 Veículos aéreos não tripulados

Durante a fase de recolha de informação realizada ao longo deste trabalho, foram utilizados três equipamentos: o DJI Inspire 1, o Sensefly SwingletCam, e por último o DJI Phantom 4 Pro.

3.1.1.1 DJI Inspire 1

O Dji Inspire 1 (figura 6) é um VANT quadricóptero com cerca de 3,060 kg, constituído por um GPS, uma unidade IMU, bússola magnética, um motor responsável por cada hélice, quatro LED –

dois frontais e dois traseiros que exibem a cor vermelha e verde respetivamente, suporte de aterragem, uma *gimbal* – suporte responsável pela estabilização e direcionamento da câmara, uma câmara, uma bateria e por fim portas de conexão. Este VANT permite ao seu utilizador que a partir do solo, o mesmo consiga controlar os seus movimentos com o auxílio de um controlo remoto que poderá ser ligado a um *tablet* ou a um telemóvel.

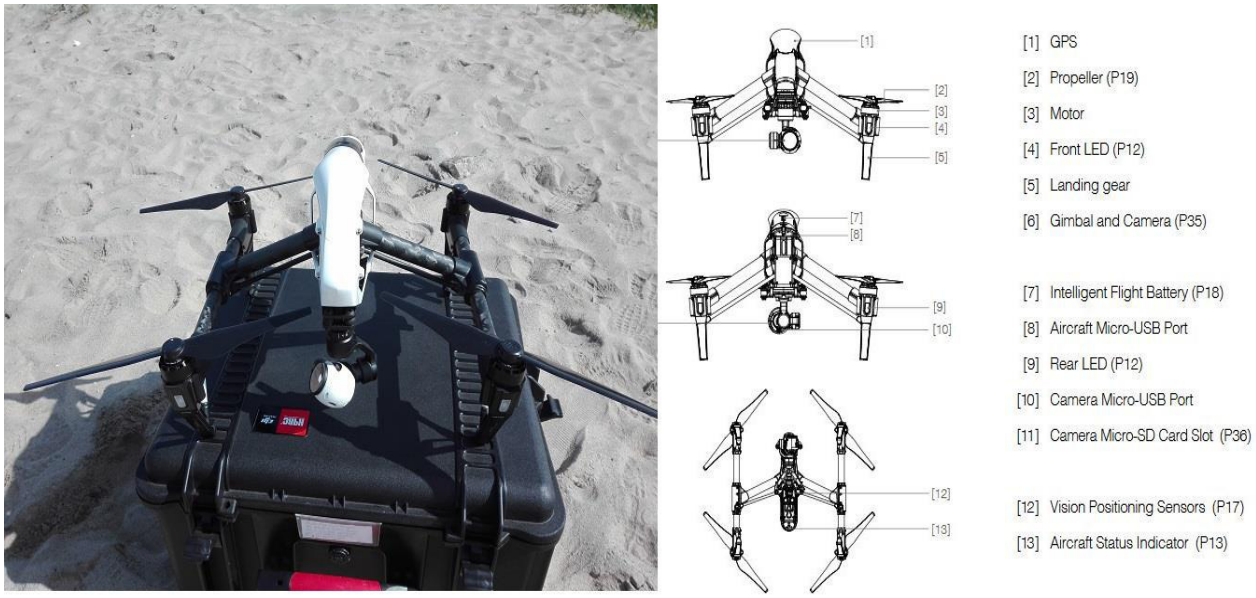


Figura 6- Equipamento Dji Inspire 1. A direita os componentes físicos deste VANT

O *Dji Inspire 1* apresenta três diferentes modos de voo, permitindo que o seu utilizador escolha o mais indicado. Para a realização deste trabalho foi utilizado o sistema de piloto automático, onde a rota foi previamente planeada através da aplicação *Map Pilot.* Esta aplicação, entre muitas funcionalidades permite ter acesso a monitorização em tempo real da telemetria e a visualização do objeto fotografado.

Este VANT apresenta, em média, uma autonomia de 18 minutos dependendo das condições meteorológicas, suportando temperaturas entre -10° e 40°, como fonte de energia é utilizada uma bateria de lítio de alta voltagem (LiPo 6S) com capacidade de 4500mAh e voltagem de 22,2V (DJI, 2017). Caso a duração de voo supere a autonomia, é possível substituir a bateria sem prejuízo do trabalho realizado com a retoma do VANT a última localização.

A descolagem/aterragem deverá ser feita em espaço aberto e sem obstáculos, tais como cabos de alta tensão e árvores, como raio de segurança, normalmente é estipulado o valor de 2 metros. A descolagem e aterragem poderão ser feitas em modo manual ou automático, sempre com

trajetória vertical. Este VANT pode atingir valores máximos de 5 m/s na descolagem e 4 m/s na aterragem (DJI, 2017), 18km/h e 14,4km/h respetivamente.

Em condições meteorológicas ideais o *Dji Inspire 1* consegue atingir a velocidade de 22 m/s (DJI[a], 2017), aproximadamente 79,2km/h. Não é recomendado o uso deste VANT em condições meteorológicas adversas tais como chuva, neve, nevoeiro e ventos superiores a 10 m/s (36 km/h), também é de evitar voar perto de edifícios altos ou estruturas de ferro pois pode diminuir a precisão da bússola e do sinal GPS, e por fim, sobrevoar áreas com elevado eletromagnetismo tais como torres de transmissão rádio (DJI, 2017).

A câmara fotográfica usada foi uma X3 modelo FC350, esta câmara apresenta 12,4 Megapixéis com um sensor de 1/2.3 polegadas do tipo CMOS (Sony EXMOR 1/2.3''). A lente é de 20mm (35mm equivalente) e apresenta abertura de diafragma máxima de 2.8 (f/2.8 com foco até ao infinito), é ainda anti distorção (DJI, 2017)

3.1.1.2 Dji Phantom 4 Pro

Este VANT apresenta algumas semelhanças com o *Dji Inspire 1*, sendo também constituído por quatro hélices, um GPS, uma unidade IMU, bússola magnética, um motor responsável por cada hélice, um suporte de aterragem, uma *gimbal*, uma câmara, uma bateria e portas de conexão. Também o controlo remoto permite a sua ligação a um *tablet* ou telemóvel.

O *Dji Phantom 4 Pro* (figura 7) apresenta algumas melhorias no que diz respeito ao controlo de voo, mais nomeadamente no modo *Return-to-Home*. Este modo é importante pois assegura o regresso do VANT caso o sinal rádio seja perdido. Tal como o *Dji Inspire 1*, este VANT permite o seu manuseio em modo manual ou automático e para a realização dos levantamentos foi utilizado o sistema de piloto automático, onde a rota foi previamente planeada.

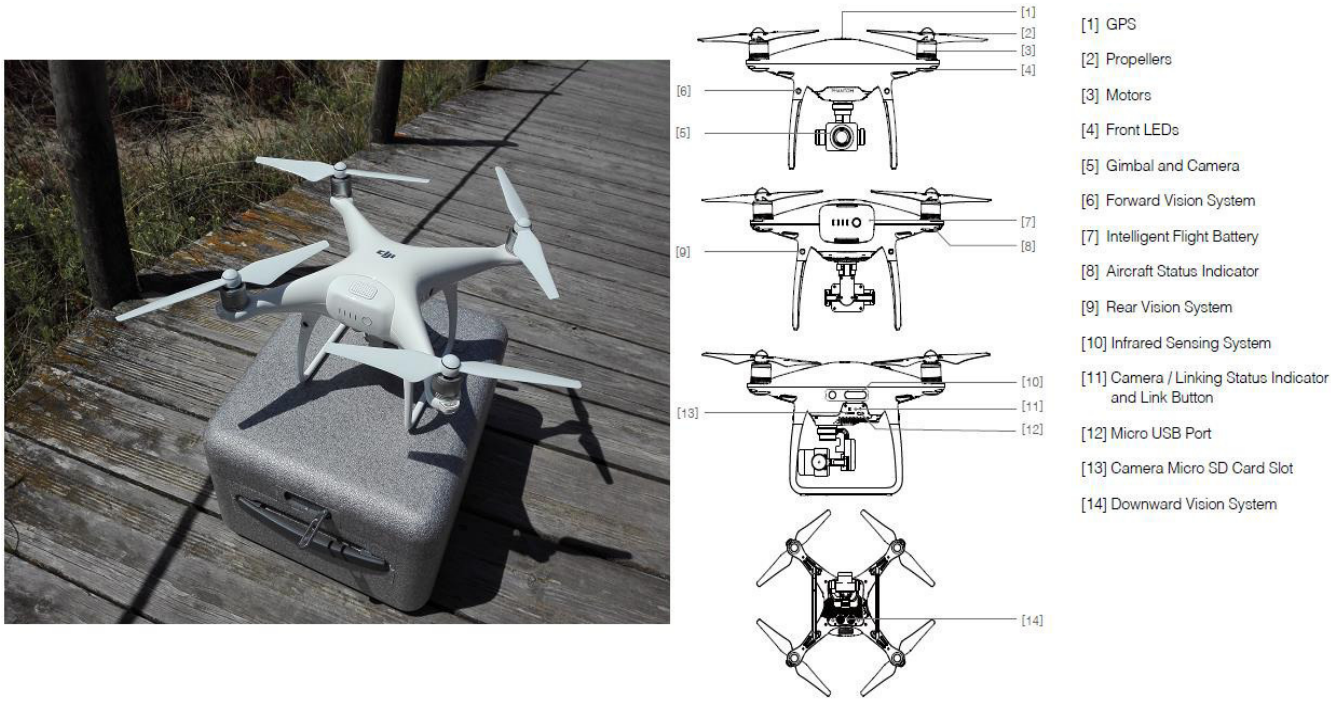


Figura 7- Equipamento Dji Phantom 4 Pro. À direita os componentes físicos deste VANT.

A aterragem e descolagem deverão ser feitas nas mesmas condições que o *Dji Inspire 1*, e também poderão ser executadas através do controlo remoto de modo manual ou inteiramente automático, sempre com trajetória vertical. Existem outros aspetos não recomendados igualmente semelhantes ao *Dji Inspire* 1 tais como o uso deste VANT em condições meteorológicas adversas e/ou rajadas de vento superiores a 10 m/s (36 km/h), também é de evitar voar perto de edifícios altos ou estruturas de ferro pois pode diminuir a precisão da bússola e do sinal GPS, e por fim, sobrevoar áreas com elevado eletromagnetismo tais como torres de transmissão rádio.

A velocidade máxima de descolagem e aterragem poderá diferir em comparação com o *Dji Inspire 1* pois o *Phantom 4 Pro* apresenta o modo *Sport* o que permite a este VANT atingir 6m/s durante a descolagem neste modo e 5 m/s em modo GPS (21,6km e 18 km/h respetivamente). Já a aterragem poderá ser feita a velocidade de 4 m/s em modo *Sport* e 3 m/s em modo GPS (14,4 km/h e 10,8 km/h respetivamente) (DJI[b], 2017).

Em condições meteorológicas ideais o *Phantom 4 Pro* consegue atingir os 72 km/h em modo *Sport,* sendo mais lento nos outros modos.

Outra das principais diferenças deste VANT relativamente ao *Dji Inspire 1* é a sua autonomia de 30 minutos, utiliza como fonte de energia uma bateria de lítio (LiPo 4S) com capacidade de 5870

mAh e 15,2 Voltes (DJI[b], 2017). Também o intervalo de temperatura operacional ao qual este VANT está preparado para voar é entre os 0° e 40°.

É possível destacar ainda algumas características importantes relativamente a este VANT tais como:

- O grande número de sensores presentes no mesmo, cobrindo cinco direções para assim detetar obstáculos;
- O seu alcance, o utilizador pode controlar o VANT com o controlo remoto até uma distância de 7 km;
- O seu peso, cerca de 1,388 kg o que torna este VANT facilmente transportável.

Caso a duração de voo supere a autonomia, é possível substituir a bateria sem prejuízo do trabalho realizado com a retoma do VANT a última localização.

A câmara fotográfica usada foi uma DJI FC6310**,** esta câmara apresenta 20 Megapixéis com um sensor de uma polegada do tipo CMOS. A lente é de 8.8 mm (equivalente 35mm-24 mm) e apresenta abertura de diafragma máxima de 2.8-11 (f/2.8 - f/11 com autofoco de 1 metro até ao infinito) (DJI[b], 2017). Esta câmara apresenta ainda a particularidade de ser a primeira câmara da DJI a usar obturador mecânico, o que permite eliminar as distorções que podem surgir ao tirar fotografias rápidas de objetos em movimento ou ao voar em alta velocidade.

3.1.1.3 Sensefly SwingletCam

O Sensefly SwingletCam é um monomotor de duas asas, construído com uma estrutura em carbono e uma espuma de polipropileno expandido (EPP), pesando apenas 500g.

Este VANT incorpora um chip u-BLOX GPS, sensor de altitude, rádio transmissor, câmara fotográfica, uma bateria, uma hélice, uma IMU (Unidade de medição inercial–Inercial measurement unit), uma bússola magnética e por fim um barómetro.

O SwingletCam (figura 8) é automaticamente pilotado através do seu sistema de piloto automático sempre com o auxílio dos diversos sensores referidos. Para a realização do levantamento realizado com o *Sensefly SwingletCam* foi necessário planear e introduzir a rota de voo no VANT, para isso foi utilizada a aplicação *Sensefly eMotion Flight Planning*, ao longo do trabalho esta aplicação será denominada apenas por eMotion (Electronic MOnitoring staTION).

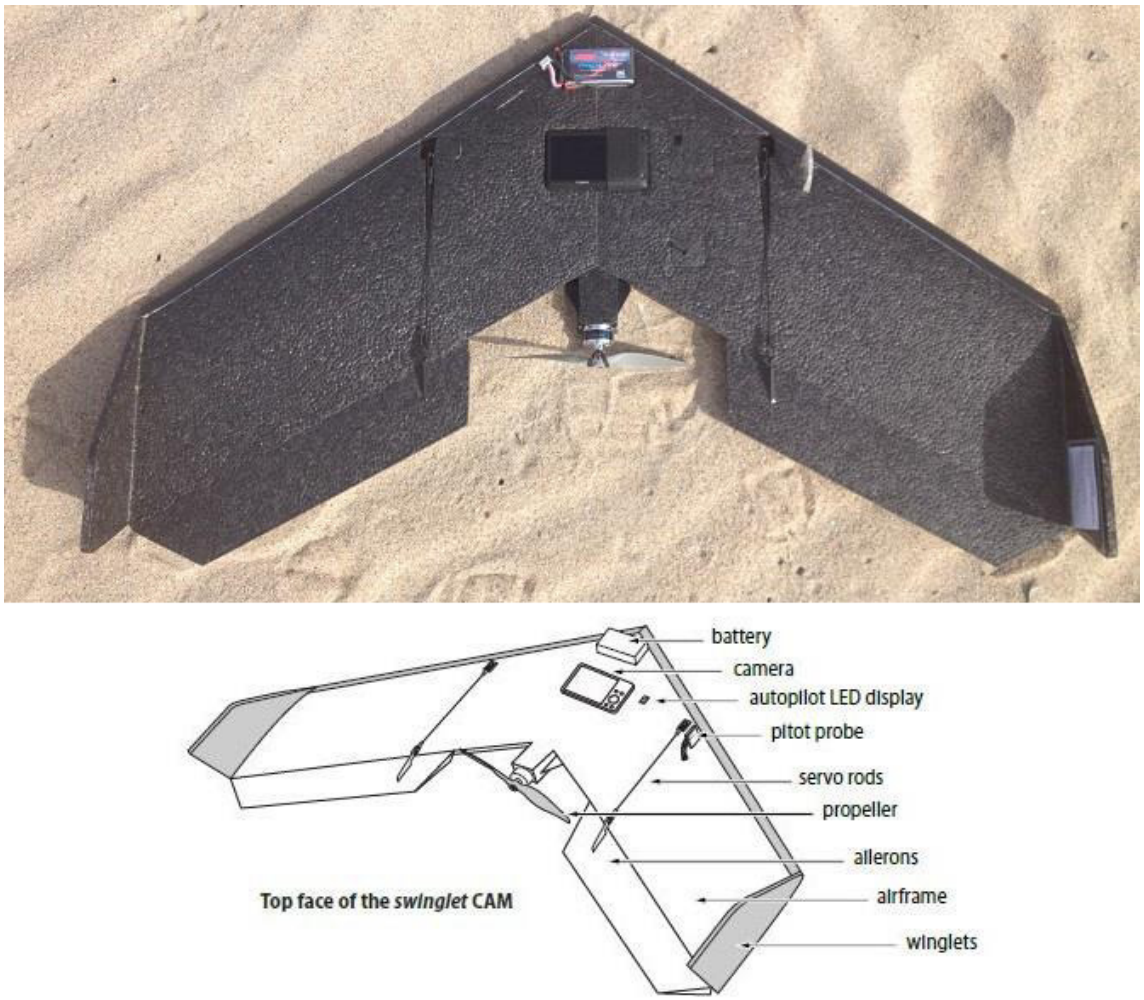


Figura 8- Equipamento Sensefly SwingletCam. Em baixo as componentes físicas deste VANT.

Como fonte de energia, este VANT utiliza uma bateria de iões de lítio com capacidade de 1350 mAh, e apresenta uma autonomia média de 30 minutos. Porém, é recomendável que a utilização deste VANT não ultrapasse os 25 minutos, especialmente em condições meteorológicas adversas, tais como: vento com intensidade moderada, temperaturas baixas, e condições de baixa pressão atmosférica (Sensefly, 2014). Caso a duração de voo supere a autonomia, é possível substituir a bateria sem prejuízo do trabalho realizado com a retoma do VANT a última localização.

Devido a sua estrutura, este VANT apenas suporta ventos com velocidade inferior a 25 km/h (Sensefly, 2014), caso o SwingletCam registe ventos acima desse valor, o mesmo está programado para voltar automaticamente ao ponto de partida. Assim, o VANT garante uma cobertura estereoscópica sem lacunas, não colocando em causa a sua integridade estrutural.

A descolagem e aterragem são processos que deverão ser realizados com especial cautela e prevenção, pois ao contrário dos VANT atrás referidos, este adota uma trajetória em espiral em

ambos os processos. Assim, a descolagem e aterragem devem ser realizadas numa área "aberta" e sem obstáculos, tais como: árvores, fios de alta tensão, edifícios, num raio de 40 metros. Para dar início ao processo de descolagem é necessário que o utilizador forneça um pequeno impulso ao VANT (figura 9). A partir dessa impulsão, os sensores internos asseguram o seu equilíbrio e ascensão durante todo o processo de descolagem. A aterragem é um processo mais simples, sendo completamente automatizado pelo VANT no local a partir do qual descolou (Sensefly, 2014).

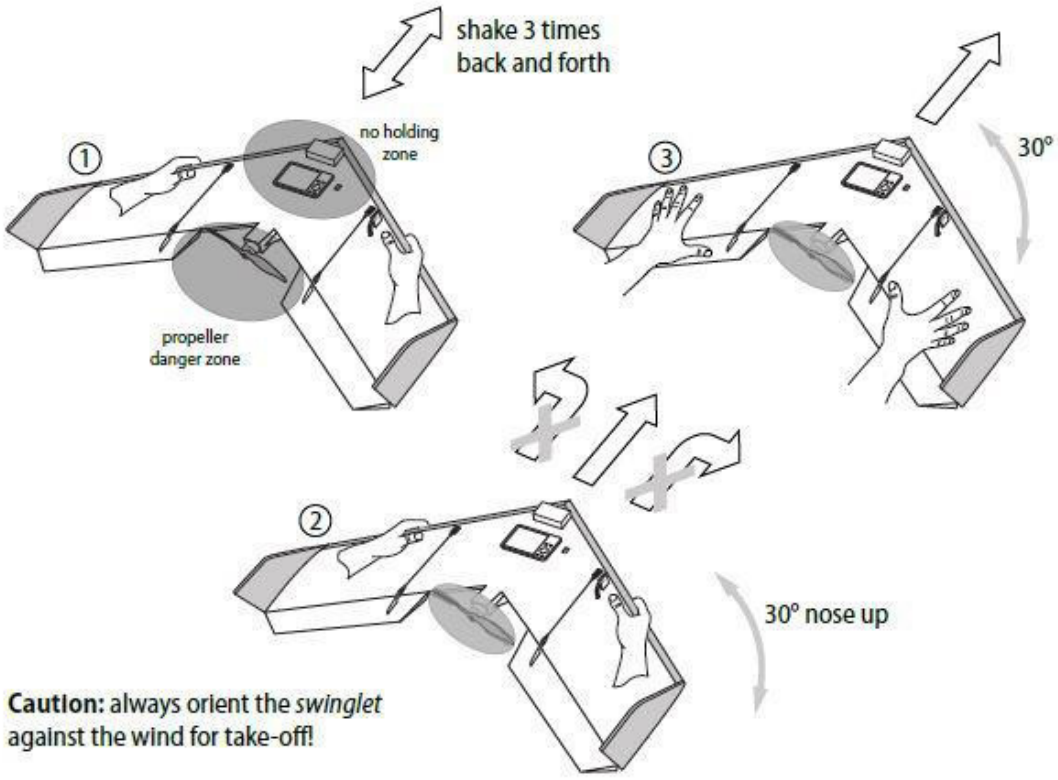


Figura 9- Esquema do procedimento para o levantamento do equipamento Sensefly SwingletCam (SenseFly, 2014).

Como velocidade máxima de cruzeiro, este VANT consegue atingir os 36 km/h, e num único voo consegue cobrir 6 km^2, a uma altitude de 974 metros.

Outro aspeto importante a ter em conta é a distância da estação de controlo em relação ao VANT, não se devendo este afastar mais que 1,3 km em relação à estação de controlo. O sinal rádio é emitido através de um modem de 2.4 GHz e de uma antena, estes estão conectados via USB a um computador portátil, neste trabalho em específico foi utilizado um MacBook Air, com o software eMotion 2, este é responsável por planear e parametrizar o voo.

A câmara fotográfica utilizada neste levantamento foi uma Canon Ixus 220 HS, constituída por um sensor do tipo CMOS de 12 MegaPixéis e uma dimensão de 1/2.3 polegadas. Contém uma lente com distâncias focais compreendidas entre 4.3 e 21.5 mm, com uma abertura máxima de diafragma de f/2.7 em (4.3mm) e abertura mínima de F/5.9 (em 21.5mm).

3.1.2 GPS Trimble 5800

O sistema GPS Trimble 5800 (figura 10) é um sistema eficiente, confiável e preciso, o que faz deste GPS uma excelente opção para ser aplicado em diversas áreas, tais como construção civil, topografia, levantamentos aéreos, entre outros. Usando a técnica RTK (*Real-Time Kinematic* - Cinemático em Tempo Real), é possível obter valores de exatidão posicional na ordem dos 1-2 cm, enquanto que, usando a técnica GPS Diferencial e pós processamento é possível obter valores de exatidão até 0,5 cm



Figura 10- Componentes físicos do GPS Trimble 5800 (Trimble, 2006).

Este GPS é leve, robusto e sem cabos, combinando o recetor GPS de dupla frequência (L1/L2), antena, rádio UHF e bateria numa unidade compacta, com a comunicação entre o recetor e o controlador feita através de *Bluetooth*. Usando a técnica de RTK são usados dois recetores de GPS, sendo um usado como estação imóvel "base" (figura 10), e o outro como estação móvel "*rover*"

3.1.3 Quantum GIS

O Quantum GIS (QGIS) é um SIG de código aberto (*open source*) licenciado segundo a Licença Pública Geral (GPL) e um software oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo).

É compatível com diversos sistemas operativos como Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android, suportando informação em diversos formatos vetoriais e matriciais (raster).

O QGIS contem várias funcionalidades, tais como: visualizar, gerir, editar, georreferenciar e analisar dados, e ainda criar mapas/imagens que podem ser impressos posteriormente. É possível aumentar o leque de funcionalidades presentes neste software adicionando *plug-ins* ao mesmo.

O QGIS permite agrupar e sobrepor informação em diferentes camadas (*layers*). Por vezes esta informação é "pesada" devido ao seu tamanho e densidade e por isso é recomendado o uso de sistemas informáticos com hardware eficiente.

3.1.4 Agisoft PhotoScan Professional 1.4

O *Agisoft PhotoScan Professional* é um software informático de modelagem 3D baseado em imagens, permitindo criar conteúdos 3D a partir de imagens fixas. As fotografias que este *software* utiliza podem ser obtidas de qualquer posição, desde que o objeto a ser reconstruído seja visível em pelo menos duas fotografias. Todo o processo desde o alinhamento da imagem até a reconstrução do modelo 3D é totalmente automatizado, apenas sendo necessário parametrizar o modelo (Agisoft, 2017).

Para além da versão *Professional* (*Pro*), este software também se encontra disponível na versão *Standard*. Para a realização deste trabalho foi utilizada a versão *Pro* devido a funcionalidades imprescindíveis para a realização do mesmo, tais como: medição de volumes, áreas e distâncias, possibilidade de exportar o resultado final e suporte de Pontos de Controlo no Solo (*Ground Control Points* – GCP). Ambas as versões necessitam de uma chave de ativação paga (Agisoft, 2017).

O *Agisoft PhotoScan* é compatível com grande parte dos formatos de imagens e com os sistemas operativos Windows, Mac OS X e Linux (Agisoft, 2017).

Com diversas aplicações, este programa pode ser usado nas áreas de: topografia e cartografia, extração mineira, agricultura de precisão, arqueologia, arquitetura e preservação do património cultural e efeitos visuais (GeoDrones,2017).

Como principais vantagens deste software é possível destacar (GeoDrones, 2017):

- Resultados altamente precisos;
- Fluxo de trabalho totalmente automatizado e intuitivo;
- Possibilidade de efetuar trabalhos em grande escala;
- Facilidade em exportar para o formato PDF;
- Possibilidade de fazer *upload* para recursos online.

Os requisitos informáticos necessários para o seu funcionamento variam consoante o resultado final desejado. Para modelos 3D constituídos com 20 a 30 imagens com resolução de 10mpx cada, as configurações mínimas de sistema são (Agisoft, 2017):

- Windows XP ou mais recente (32 ou 64 bit), Mac OS X Snow Leopard ou mais recente, Debian / Ubuntu (64 bit);
- Processador Intel Core 2 Duo ou equivalente;
- 2GB de memória RAM.

Para modelos 3D constituídos com 200 a 300 imagens com resolução de 10Mpx cada, as configurações mínimas de sistema são (Agisoft, 2017):

- Windows XP ou mais recente (32 ou 64 bit), Mac OS X Snow Leopard ou mais recente, Debian / Ubuntu (64 bit)
- Processador Intel Core i7
- 12GB de memoria RAM

No âmbito de trabalhos de monitorização costeira, é essencial recorrer a sistemas informáticos eficientes, na medida em que são trabalhos que necessitam de amplas quantidades de fotografias aéreas.

O Agisoft PhotoScan Professional não apresenta muita bibliografia de suporte, mas apresenta um algoritmo similar ao encontrado noutros softwares (Gonçalves & Henriques, 2015).

Existem outros *softwares* capazes de criar ortofotomapas utilizando técnicas fotogramétricas, tais como: o Inpho, *software* Trimble, o Ultramap, da Microsoft e encontra-se disponível em módulos, permitindo o desenvolvimento de processos fotogramétricos a partir de fotografias aéreas digitais obtidas, somente com câmaras fotogramétricas UltraCam (Maia, 2015), e o Pix4D (Pix4D, 2017).

3.1.5 Map Pilot

Esta aplicação ajuda a criar e a otimizar o plano de voo pretendido pelo utilizador, permitindo criar planos com voos lineares e poligonais e ainda monitorizar os parâmetros de voo durante a realização do mesmo (figura 11).

O *Map Pilot* é suportado por vários VANT, entre os quais (DronesMadeEasy, 2017):

- *Phantom 4 e Phantom 4 Pro;*
- *Mavic Pro;*
- *Phantom 3 Professional / Advanced/ Standard;*
- *Inpsire 1 e Inspire 1 Pro;*
- *Matrice 100 e Matrice 600;*

Relativamente aos requisitos, a aplicação é compatível com os dispositivos iPhone 5s, iPad Air e iPad Mini 2, com os sistemas operativos IOS 8, 9 e 10.

As principais características da aplicação são (DronesMadeEasy, 2017):

- Visualização em simultâneo da câmara, quer seja em vídeo ou fotografia;
- Coordenação multi-voo;
- Gestão de múltiplas baterias;
- Possibilidade de extrair o arquivo log de voo, sendo este compatível com o *Google Earth;*
- Possibilidade de usar a aplicação sem ligação à internet;
- Mapas base sem necessidade de estar ligado a uma rede de internet;
- Possibilidade de guardar/editar voos e voltar a usar voos pré-existentes/usados;
- Compatível com câmaras fotográficas que disparam até 1 frame por 2.5 segundos;
- Gestão da sobreposição de imagens e da velocidade de voo;
- Aviso da qualidade do sinal;
- Indicador da linha de visão;

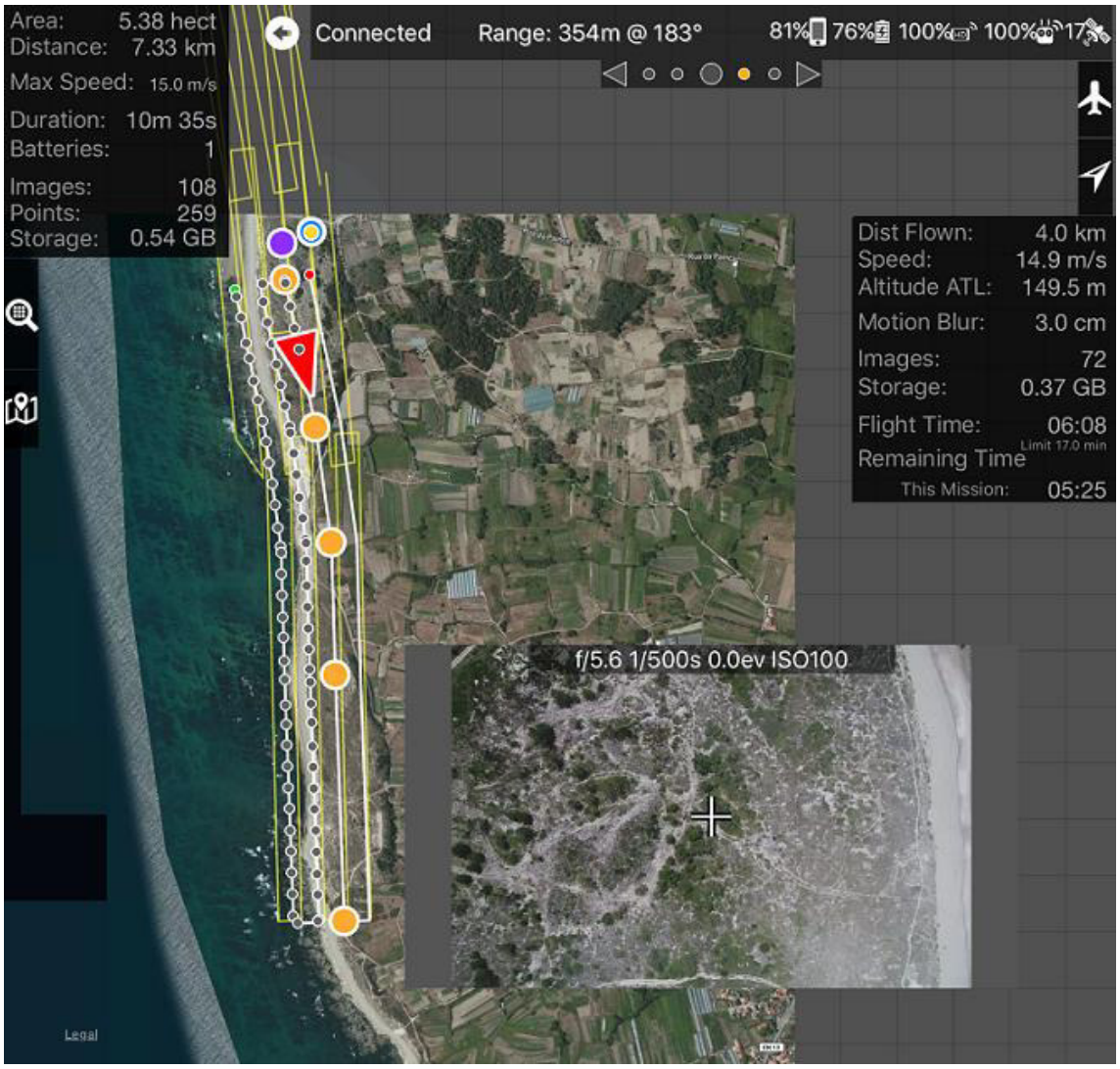


Figura 11- Interface do software Map Pilot durante um voo na praia de Belinho, com várias informações disponíveis.

3.1.6 eMotion 2 – Eletronic MOnitoring station

O software eMotion permite ao utilizador planear, simular, monitorizar e controlar os voos realizados pelo Sensefly SwingletCam.

No processo de planeamento, o programa permite: definir voos poligonais, calcular automaticamente a altitude de voo, simular o voo, adaptar a rota, definir pontos independes de descolagem e aterragem, editar e guardar planos de voo, entre outros (SenseFly[b], 2017).

Durante o voo, o eMotion permite: visualizar os parâmetros de voo em tempo real, realizar rapidamente uma manobra de emergência e até voltar a "casa", repetir voos, controlar manualmente as fotografias (figura 12), entre outros (SenseFly[b], 2017).

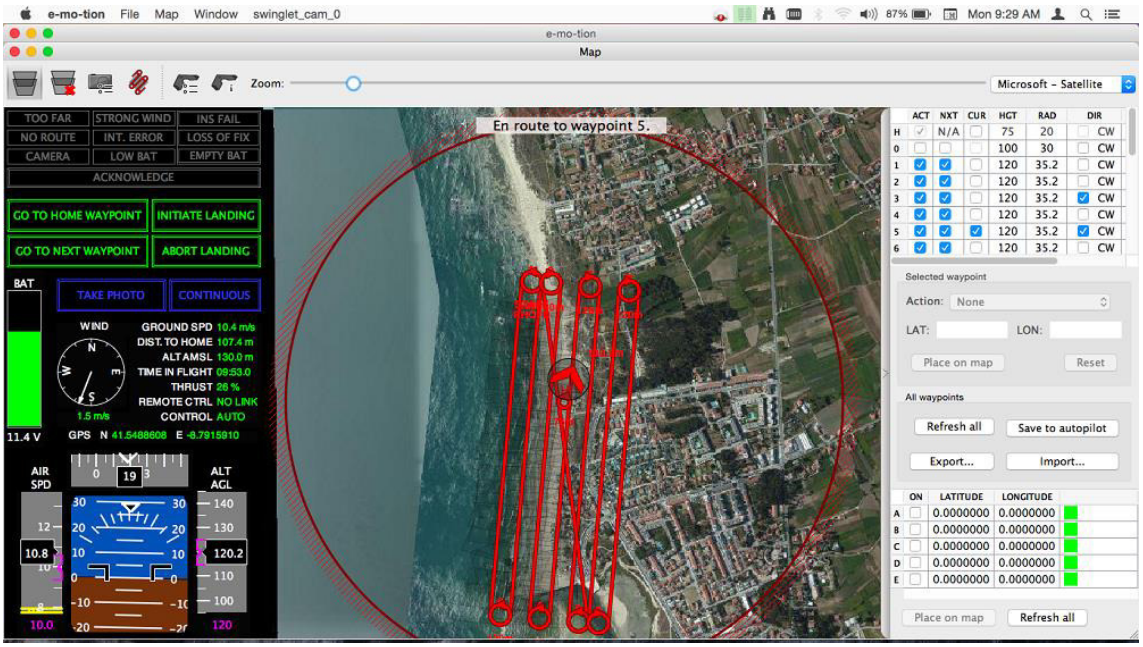


Figura 12- Interface do eMotion, com diferentes opções disponíveis.

Este software é compatível com Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Mac OS X 10.5. Como requisitos de Hardware, o eMotion necessita de 1 GHz de processador, 1 GB de RAM e de 500 Mb de espaço livre (SenseFly[b], 2017).

Recentemente, esta aplicação foi atualizada para a versão "eMotion 3". A linha de desenvolvimento deste software tende para melhorar a experiência de voo, aumentando assim a sua eficiência. Esta aplicação é ainda compatível com todos os VANT disponibilizados pela SenseFly, mais especificamente os modelos eBee, eBee Plus, eBee SQ e albris.

3.1.7 Trimble Geomatics Office

O Trimble Geomatics Office (TGO), é um software de processamento de informação GPS, tendo sido projetado com o objetivo de oferecer grande facilidade de utilização e alta produtividade ao utilizador. O *software* importa, verifica e processa dados recolhidos em campo, com estes a ser armazenados numa base de dados em Microsoft Access, sendo assim o acesso e edição da informação facilitada.

Os dados podem ser exportados para uma grande variedade de formatos e facilmente implementados em ambiente SIG.

3.1.8 Gobal Mapper

O Global Mapper é um *software* SIG que fornece várias ferramentas, permitindo editar, criar e analisar dados em vários formatos. Para este trabalho a capacidade de análise de terreno e de processamento 3D foram as mais importantes, embora permita também criar mapas de variação altimétrica, perfis topográficos, delinear bacias hidrográficas, realizar cálculo de volumes, re-projetar o sistema de coordenadas, entre outros (BlueMarbleGeo, 2017).

Para este trabalho em particular, o *Global Mapper* foi utilizado para o processamento dos mapas de variação altimétrica.

3.2 Recolha de dados

3.2.1 Fotografia aérea

Todos os levantamentos necessários para a realização deste trabalho foram executados em três dias distintos. Na escolha do dia e hora foram tidas em conta as condições meteorológicas e da maré. As condições meteorológicas ideais e indispensáveis para o bom funcionamento do VANT e para assegurar que as fotografias apresentem boa qualidade são:

- vento com velocidade inferior ao limite máximo de resistência dos VANT, no caso dos VANT utilizados, este limite corresponde a 36km/h e 25km/h;
- ausência de precipitação;
- ausência de neblina.

Os períodos de maré baixa de grande amplitude correspondem aos melhores períodos para se obter informação com maior qualidade, pois é nesses períodos que a zona de praia emersa se encontra com maior área exposta.

Os três VANT usados no trabalho foram, o Dji Inspire 1, o Sensefly SwingletCam e o Dji Phantom 4 Pro.

No dia 14 de novembro de 2016, foram realizados, 5 levantamentos. Destes, quatro foram realizados com o Dji Inspire 1. Com o Sensefly SwingletCam foi realizado um. Na praia de Belinho realizaram-se dois levantamentos. Na praia do Fieiro Alto apenas um. Em ambas as praias o VANT

utilizado foi o Dji Inspire 1. Na praia de Cepães, também se realizaram dois levantamentos, o primeiro com o Dji Inspire 1, já o segundo levantamento foi utilizado o Sensefly SwingletCam.

O segundo momento de recolha de dados realizou-se no dia 9 de junho de 2017, nesse dia foram realizados três levantamentos, todos com *Dji Phantom 4 Pro*. Como este VANT apresenta maior autonomia, foi possível cobrir a área das praias de Cepães e de Belinho com apenas um levantamento em cada praia.

O terceiro momento de recolha de dados realizou-se no dia 17 de novembro, nesse dia foram realizados três levantamentos, todos com o *Dji Phantom 4 Pro*. Tal como no levantamento do dia 9 de junho de 2017, foi apenas necessário realizar um levantamento em cada praia.

Todo o procedimento necessário para executar os levantamentos, desde preparar o VANT até a conclusão dos voos, demorou cerca de 2 horas.

Entre o período de realização da primeira e segunda recolha de dados, a aplicação *Map Pilot* foi atualizada para a versão 2.4.0. Esta versão inclui um novo modo de planeamento de voo, permitindo a criação de voos lineares, até à atualização apenas era possível realizar levantamentos poligonais (figura 13).



Figura 13- Capturas de ecrã para ilustrar a diferença entre os diferentes tipos de voo, em A) Voo poligonal, em B) Voo linear.

Utilizando o voo poligonal apenas é necessário escolher os vértices do polígono e parametrizar o voo, não havendo assim a possibilidade de não sobrevoar áreas com menor interesse que se encontrem dentro do polígono. Já com o voo linear é possível escolher diferentes direções para a rota, esta nova capacidade é muito útil para a realização de levantamentos sobre estradas e rios por exemplo. No que diz respeito à monitorização costeira este novo método apresenta, sobretudo, grande interesse em zonas de baía ou em locais onde há uma variação da direção da linha de costa. Assim, é possível acompanhar essa variação sem que seja necessário realizar múltiplos levantamentos poligonais, o que resulta numa maior eficiência na gestão do tempo e da bateria. Este tipo de voo também apresenta vantagens durante a etapa de processamento de informação, visto ser possível seguir a linha de costa e, a área que necessariamente terá de ser "mascarada" será menor. Paralelamente à linha de voo planeada, é possível definir fiadas paralelas a esta, cujo número é escolhido pelo utilizador.

3.2.1.1 Levantamento Belinho

Foram realizados dois levantamentos na praia de Belinho no dia 14 de novembro de 2016. No dia 9 de junho de 2017 foi realizado um levantamento. Já no dia 17 de novembro de 2017 foi realizado o último levantamento. As informações relativas a todos os levantamentos encontram-se na tabela 1.

3.2.1.2 Levantamento Fieiro Alto

Foi realizado um levantamento na praia do Fieiro Alto no dia 14 de novembro de 2016. No dia 9 de junho de 2017 foi realizado um levantamento. Já no dia 17 de novembro de 2017 foi realizado o último levantamento. As informações relativas a todos os levantamentos encontram-se na tabela 1.

Tabela 1- Características dos levantamentos aerofotogramétricos realizados para as praias de Belinho e Fieiro Alto (fundo cinzento).

Levantamento	Hora (UTC ± 00:00)	Duração de voo	Número de fotografias	Altitude média do voo (m)	Área fotografada (km^2)
14/11/2016	11h02-11h12 10h03-10h13 10h32-10h41	10 min 10 min 9 min	388	143	1.61

09/06/2017	11h41-11h50 11h53-12h03	9 min 10 min	273	163	1.41
17/11/2017	11h39-11h50 11h24-11h34	11 min 10 min	353	152	1.36

Na figura 14 representa-se a localização de cada ponto onde foram capturadas as fotografias aéreas tal como a sobreposição das mesmas.

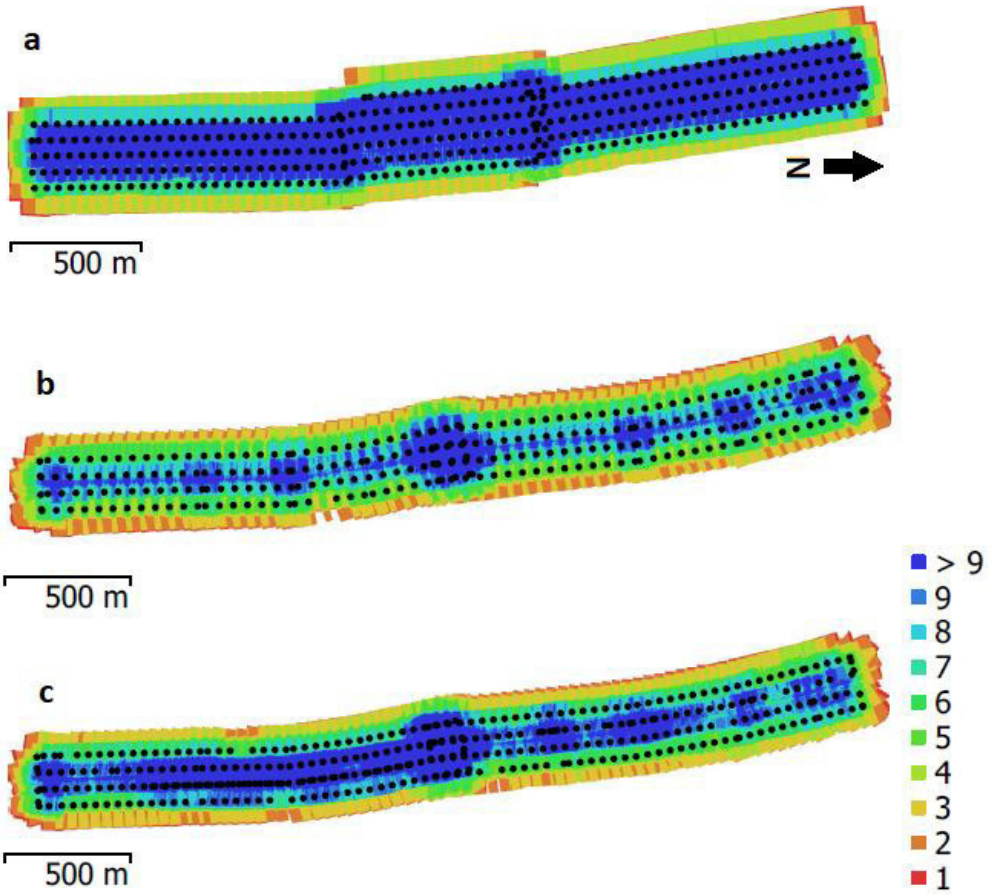


Figura 14- Representação da localização para cada fotografia por um "ponto", e sobreposição de cada fotografia nos três levantamentos para as praias de Belinho e de Fieiro Alto; a) primeiro levantamento; b) segundo levantamento; c) terceiro levantamento. Na legenda é possível identificar o número de vezes em que a fotografia aparece

3.2.1.3 Levantamento Cepães

Foram realizados dois levantamentos na praia de Cepães no dia 14 de novembro de 2016. No dia 9 de junho de 2017 foi realizado um levantamento. Já no dia17 de novembro de 2017 foi realizado o último levantamento. As informações relativas a todos os levantamentos encontram-se na tabela 2.

Tabela 2- Características dos levantamentos aerofotogramétricos realizados para a praia de Cepães

Levantamento	Hora (UTC ± 00:00)	Duração de voo	Número de fotografias	Altitude média do voo (m)	Área fotografada (km^2)
14/11/2016	09h30-09h40 10h28-10h43	10 min 15 min	273	137	0.982
09/06/2017	12h21-12h34	13 min	137	157	0.774
17/11/2017	10h48-11h	12 min	162	159	0.784

Na figura 15 representa-se a localização de cada ponto onde foram capturadas as fotografias aéreas tal como a sobreposição das mesmas.

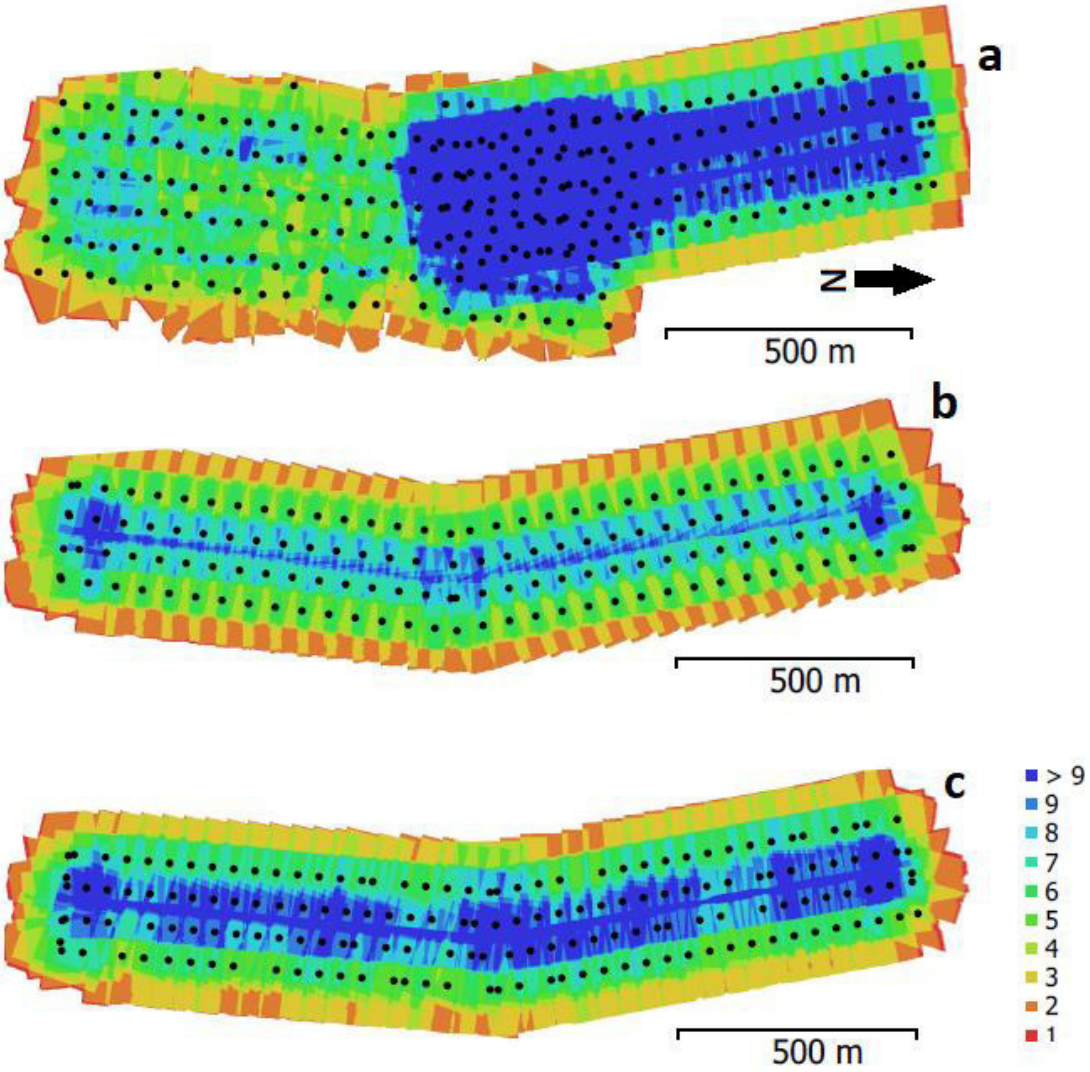


Figura 15- Representação da localização para cada fotografia por um "ponto", e sobreposição de cada fotografia nos três levantamentos para a praia de Cepães; a) primeiro levantamento; b) segundo levantamento; c) terceiro levantamento. Na legenda é possível identificar o número de vezes em que a fotografia aparece.

3.2.2 Sobreposição

Para que ocorra sobreposição de fotografias aéreas, o VANT terá de sobrevoar a área de interesse com um padrão semelhante ao representado na figura 16, sendo assim garantido que todas as elevações do solo sejam visíveis em diversas fotografias. Sendo o objetivo final a criação de modelos 3D, as fotografias áreas devem apresentar sobreposição lateral e frontal. O software utilizado para a criação dos modelos tridimensionais utilizados ao longo deste trabalho -AgiSoft PhotoScan, recomenda uma sobreposição frontal de 75% e lateral de 60% (QuestUAV, 2017).

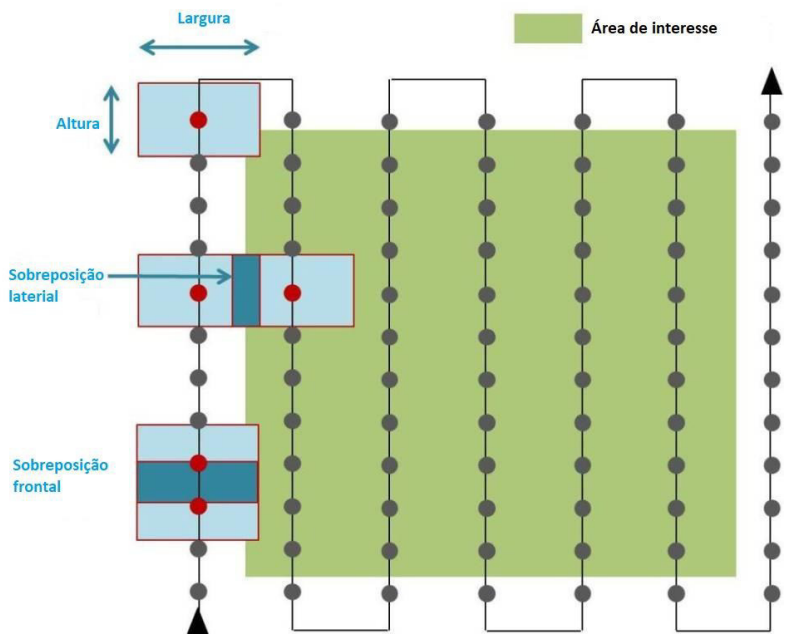


Figura 16- Padrão de voo recomendado para um VANT (QuestUAV, 2017).

Segundo a DroneDeploy (2017), para criar mapas de alta qualidade, cada "ponto" ou objeto terão de estar presente no mínimo em 7 fotografias, embora devido a alterações altimétricas próprias do terreno esse valor é facilmente reduzido (figura 17). Por isso, recomenda-se também que em áreas com edifícios altos, árvores ou áreas montanhosas sejam criados planos de voo com sobreposição maior.

Para este trabalho, os planos de voo apresentam sobreposição lateral e frontal de 70%.

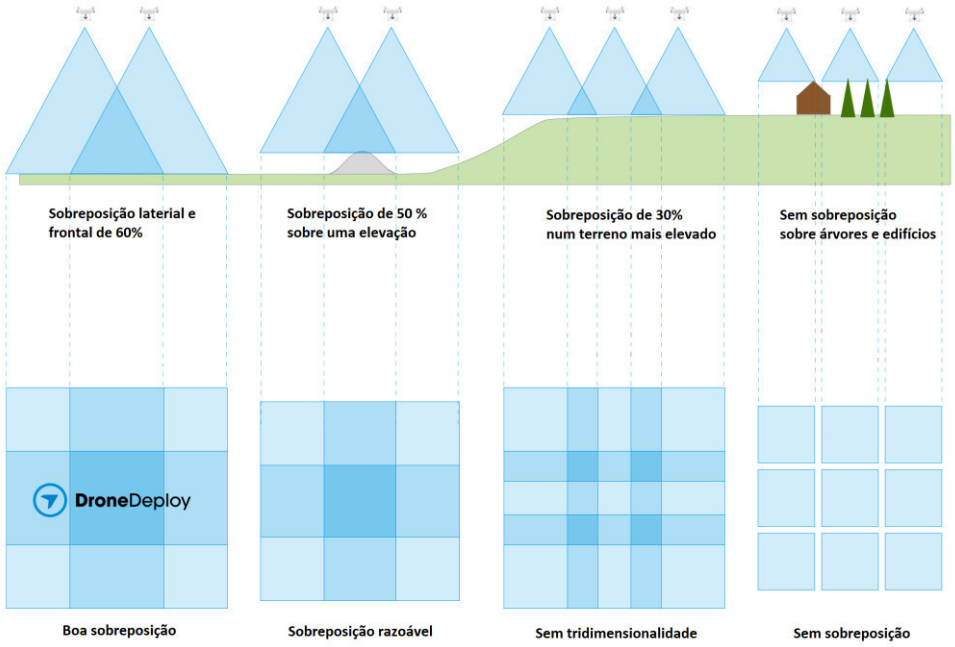


Figura 17- Esquema representativo da sobreposição ideal até á fotografia sem sobreposição (DroneDeploy, 2017).

3.2.3 Pontos de controlo

Os pontos de controlo (GCP- Ground Control Points), são pontos de controlo presentes na área do levantamento que apresentam coordenadas geográficas conhecidas. Estes pontos precisam ser necessariamente visíveis nas fotografias aéreas. As coordenadas dos pontos são recolhidas com GPS de alta precisão, no centro de cada ponto. Neste trabalho foi utilizado o GPS Trimble 5800.

Os GCP são necessários durante o processo de criação dos modelos, estes orientando e corrigindo as fotografias aéreas, de modo a aumentar assim a precisão da informação geográfica. A precisão prevista após a introdução destes pontos de controlo ronda o 1,5 cm na planimetria e 2 cm na altura (Gonçalves e Henriques, 2015).

Os GCP podem ser pré-fabricados ou físicos. Os pré-fabricados são pontos que foram colocados no solo para a identificação das coordenadas do mesmo. Estes podem ser feitos a partir de várias materiais, tais como placas de metal, papelão, cal, tinta, ou outro, logo que seja visível na fotografia aérea. Este tipo de GCP é particularmente útil quando não existe qualquer tipo de referência no terreno que possa ser utilizada como ponto de controlo.

Por outro lado, os GCP físicos, são pontos de referência já existentes na área do levantamento. De modo a serem usados ao longo de futuros trabalhos e perdurarem no tempo, deverão ser escolhidos pontos no terreno sejam preferencialmente duradouras, tais como: esquinas de muros,

passeios para peões, marcas rodoviárias, tampas de saneamento, afloramentos rochosos, marcos religiosos, entre outros.

Não existe um número ideal de GCP por km^2, embora sejam necessários no mínimo 3 GCP para cada levantamento, e quantos mais GCP, melhor será o ajuste e a precisão (Gonçalves e Henriques, 2015). Como regra geral é indicado que cada levantamento apresente 9 GCP (Gonçalves e Henriques, 2015), sendo o ideal que todos os pontos de controlo tenham as coordenadas bem recolhidas e que, caso seja possível, os pontos sejam bem distribuídos e de forma homogénea no levantamento. Também será importante aumentar o número de GCP conforme a variação do nível do terreno, ou seja, quanto mais irregular o terreno e com presença de vegetação, mais pontos de controlo serão necessários.

As fotografias aéreas obtidas por VANT possuem informação geográfica acerca do local onde a fotografia foi tirada, seja através do *log* de voo ou através de informação integrada na câmara. Com essa informação é possível georreferenciar as fotografias, embora com uma precisão geoespacial com pouco rigor. Para alguns tipos de trabalho pode ser suficiente, mas usando os GCP a posição geográfica do levantamento é corrigida e a precisão aumenta significativamente.

Para a realização deste trabalho apenas foram usados GCP físicos, tais como tampas de saneamento e marcas de estacionamento (figura 16). Embora seja um trabalho manual foi relativamente rápido pois a posição dos pontos foi previamente selecionada para cada levantamento.

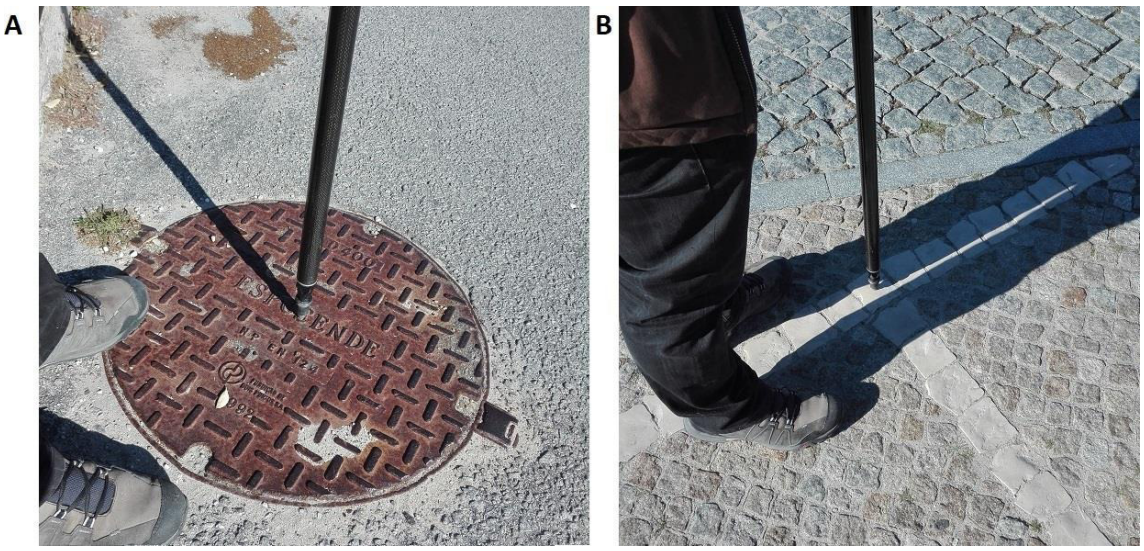


Figura 18- Locais usados como GCP, A) tampa de saneamento, B) marcas de estacionamento

Embora haja afloramentos rochosos nas proximidades e na área de estudo, estes não se apresentam como boas referências no terreno de modo a serem usados como pontos de controlo. Estes são de cor escura e podem ainda apresentar-se molhados e com brilho, não apresentando assim elementos contrastantes na sua textura. São elementos irregulares e por não se encontrarem à altura do terreno dominante, podendo apresentar algum efeito de deformação tangencial.

O sistema de coordenadas utilizado nas três praias em estudo foi o ETRS89/Portugal TM06 (EPSG:3762). É importante frisar a importância de conhecer o sistema de coordenadas utilizado em cada trabalho, pois assim é possível alinhar e comparar dados que sejam recolhidos em instantes temporais distintos.

3.3 Processamento de informação

Após o levantamento dos GCP e dos três levantamentos para cada praia, é possível proceder ao processamento dos Modelos Digitais de Superfície (MDS) e Ortofotomapas. Todo o processamento será realizado com o auxílio do *software Agisoft PhotoScan Pro.* O processamento de toda a informação presente nos levantamentos será demonstrado, passo a passo até ao resultado final, no subcapítulo seguinte.

Como exemplo para demonstrar o processamento de informação para a obtenção do modelo 3D, DSM e ortofotomapas, foi escolhido o levantamento do dia 14 de novembro de 2017 realizado na praia de Cepães. Para exemplificar o processo de cálculo de volumes foi escolhido o MDS, gerado através do levantamento realizado no mesmo dia na mesma praia.

Os parâmetros de processamento em cada etapa para a criação de todos os modelos 3D foram os mesmos. Para o processamento de todos os modelos foi utilizado como dispositivo informático um computador Apple Mac Pro 8-Core com 65Gb de RAM.

Todo o processo é automatizado e intuitivo para o utilizador, e os resultados são extremamente precisos e confiáveis. No entanto este processamento pode ser limitado pela quantidade de informação a ser processada e pelas especificações do equipamento informático utilizado. Caso estas não sejam as mais indicadas, poderão haver erros ao longo do processamento ou mesmo o

encerramento repentino do software, para além duma menor velocidade de processamento e possíveis *breaks* do dispositivo informático,

3.3.1 Modelo 3D, MDS e Ortofotomapa

Um modelo 3D está na base da produção dos MDS e ortofotomapas, pelo que os modelos 3D foram criados previamente.

O primeiro passo iniciou-se com a adição de todas as fotografias aéreas da praia para a qual se pretendia produzir o modelo 3D. Para completar essa operação, abriu-se o menu "Fluxo de Trabalho" e escolheu-se o botão "Adicionar Fotos". De seguida, selecionou-se todas as fotografias referentes ao respetivo modelo 3D.

No passo seguinte foram criadas "máscaras" para determinadas fotografias, neste trabalho em particular, para todas as fotografias que captaram o mar. Este procedimento permite que a área "mascarada" não seja utilizada na determinação de pontos fotogramétricos destinados ao alinhamento das fotografias (*image matching*) e criação da nuvem de pontos (Agisoft, 2017), reduzindo assim a quantidade de informação processada e ainda eliminar a utilização de elementos móveis, neste caso água.

Como esta região está em constante movimento não existem pontos em comum entre diferentes fotografias e sendo uma zona com brilho é inútil para o "*image matching*". É possível ainda importar e editar máscaras já existentes.

A próxima etapa é o alinhamento das fotografias, pelo que se selecionou no menu "Fluxo de trabalho" o botão "Alinhar Fotos". Nesta etapa o *PhotoScan Pro* encontra pontos similares entre imagens que se sobreponham, e combina-os geometricamente. O algoritmo usado responsável por encontrar pontos semelhantes é semelhante à abordagem SIFT (*scale invariant feature transform*) (Lowe, 2004), embora com algumas melhorias. Nesta fase, também é estimada a posição da câmara em cada fotografia, havendo uma melhoria dos parâmetros externos de calibração da câmara.

Todo este processo dá origem a uma Nuvem de Pontos Esparsa (*sparse point cloud model)* e um conjunto de posições das câmaras (figura 19), na janela de visualização a posição e orientação das câmaras são representados pelos retângulos azuis.

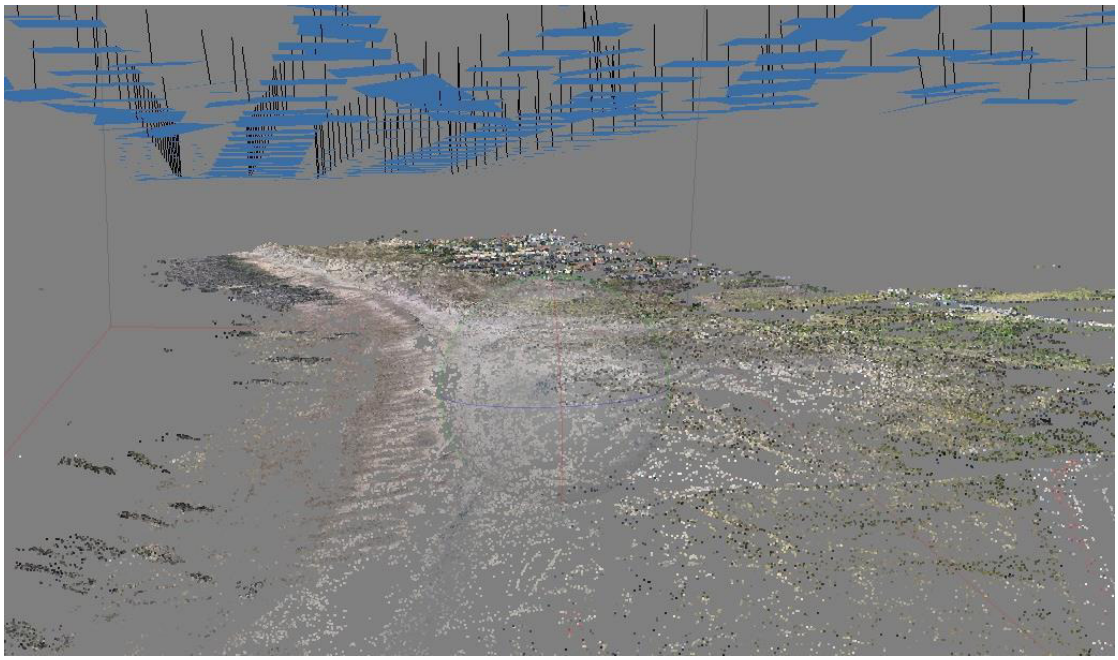


Figura 19- Janela de trabalho do PhotoScanPro com Nuvem de Pontos Esparsa, e no topo a azul a localização das câmaras.

A Nuvem de Pontos Esparsa representa o resultado do alinhamento entre fotografias, necessário para a criação do modelo 3D.

De seguida procedeu-se a introdução dos GCP através da criação de "Marcadores", sendo este processo inteiramente manual, onde cada marcador é introduzido individualmente.

O primeiro passo neste processo é a escolha do sistema de coordenadas. Por defeito, o *software* assume como sistema de coordenadas o WGS 84. Porém, o sistema de coordenadas utilizado neste trabalho é o ETRS89/Portugal TM06. Para selecionar o sistema de coordenadas pretendido basta selecionar o botão "Converter" a partir do menu "Referências" e escolher este sistema de coordenadas.

Para introduzir o marcador relativo a um GCP, selecionou-se a fotografia onde se encontra o mesmo, e com um "*click*" com o botão direito do rato sobre a fotografia, irá aparecer a opção "Criar marcador". O *PhotoScan Pro* permite que o utilizador reajuste a posição do marcador criado de modo a coincidir, com maior precisão possível, com o local onde foi medido o GCP em campo. De seguida introduz-se as coordenadas x, y e z, obtidas anteriormente por DGPS, relativas a esse GCP/Marcador.

Após a criação desse marcador e de modo a reduzir o erro total dos pontos de controlo, em todas as fotografias onde esse mesmo marcador aparece, é necessário um reajuste. Para isso, selecionou-se o marcador criado previamente e, escolheu-se a opção "Filtrar fotografias por

marcador". Esta operação faz com que todas as fotografias com esse marcador sejam filtradas (figura 20), facilitando assim o acesso ás fotografias e o seu reajuste.

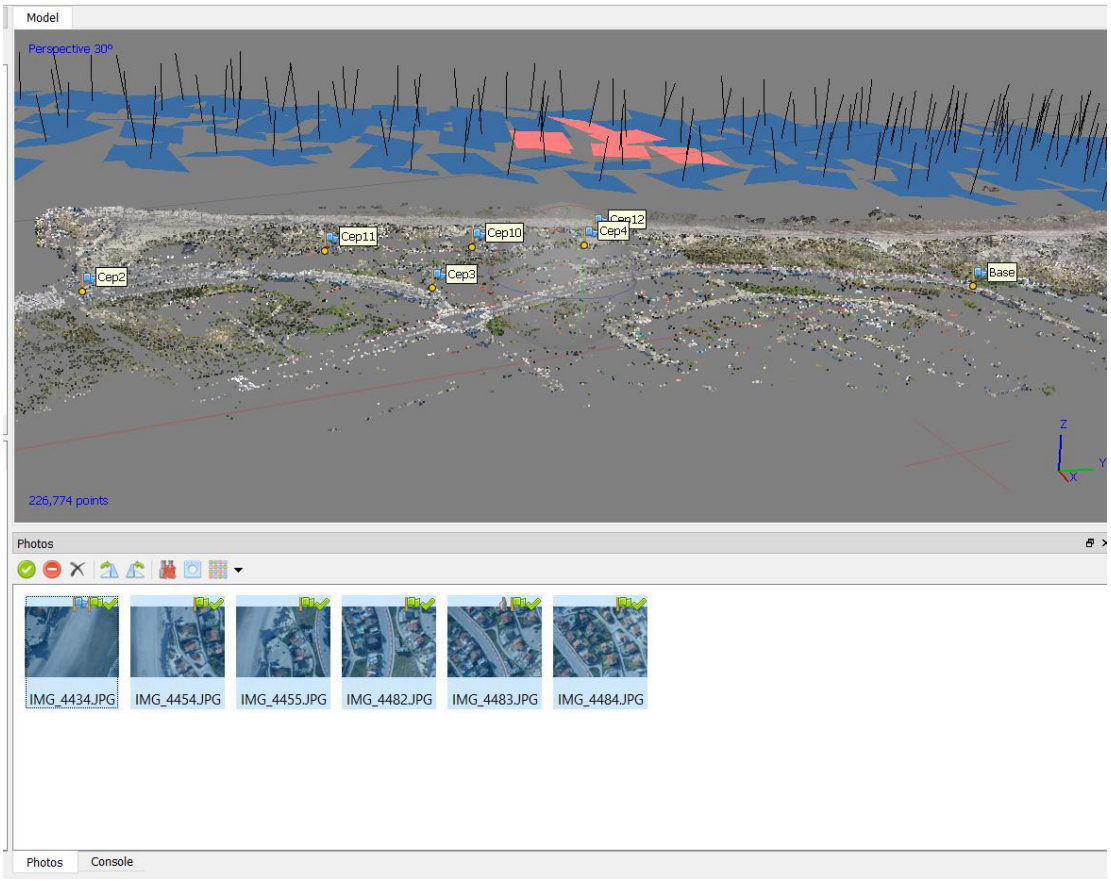


Figura 20- Janela de trabalho do software PhotoScan com a nuvem esparsa e os GCP. A azul as posições das câmaras enquanto que a rosa são as posições das câmaras selecionadas a partir da seleção visível na janela de baixo.

Todo este processo deverá ser feito para cada marcador presente em cada levantamento. Após a criação e o ajuste destes marcadores é necessário validar as alterações realizadas e a ortorretificação do projeto. Para isso selecionou-se no menu "Referências", o botão "*Optimize Cameras*".

Após a conclusão da introdução dos marcadores e caso o erro associado a este processo ainda estiver relativamente alto, poderá ser feito novo reajuste até que o erro RMS seja aceitável. Este erro é considerado aceitável na ordem da dimensão do pixel ou inferior.

O "Painel de Referência" (figura 21), contém informação de cada marcador, separada em colunas: a coordenada X (Easting), a coordenada Y (Northing); a coordenada Z (Altitude); o erro de medição associado ao marcador em metros; e o valor de "Accuracy", relativo ao erro máximo do equipamento DGPS utilizado. Todavia, como este erro é muito baixo, coloca-se esta coluna com um valor muito baixo para que não entre no erro RMS determinado fotogrametricamente.

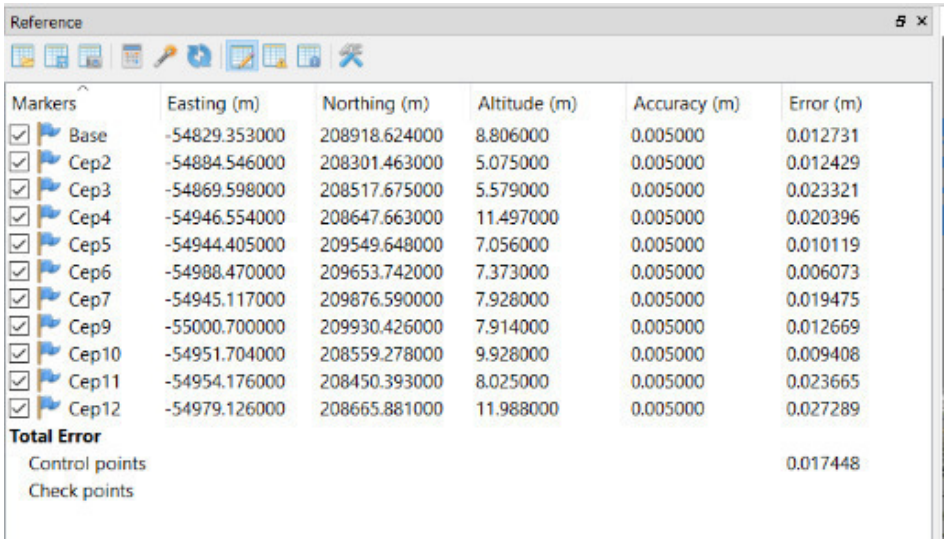


Figura 21- Janela com informação relativa aos pontos de controlo.

O próximo passo é a criação da "Nuvem de pontos densa" (*Dense point cloud)*. Para isso, seleciona-se o botão "Construir nuvem densa" a partir do menu "Fluxo de trabalho".

A nuvem de pontos densa é construída através da posição estimada das câmaras e através desse posicionamento, o *PhotoScan Pro* calcula os dados de profundidade de cada fotografia para serem combinados numa única nuvem de pontos densa. Na caixa de diálogo (figura 22) devem colocar-se parâmetros específicos de processamento.

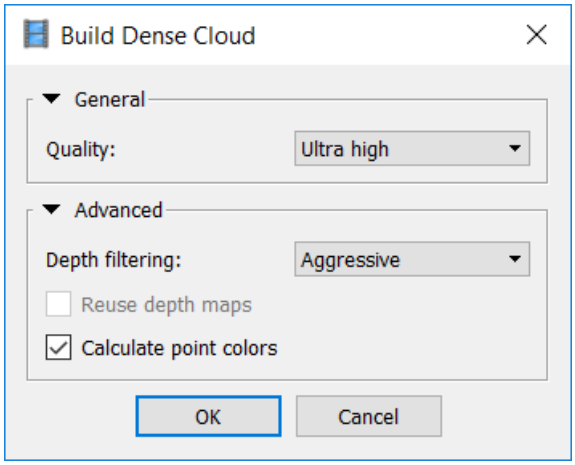


Figura 22- Janela "Build Dense Cloud" do sofrware PhotoScan com os respetivos parâmetros de processamento.

Após o processo de criação da Nuvem de pontos densa (figura 23) ser concluído, é possível gerar um modelo poligonal baseado nos dados da nuvem de pontos densa. Para isso constrói-se a "Mesh" através do comando "Build Mesh" a partir do menu "Fluxo de trabalho".



Figura 23- Janela de trabalho software PhotoScan com a nuvem de pontos densa com a localização dos pontos de controlo. A azul a posição das câmaras.

Na caixa de diálogo devem introduzir-se os parâmetros de processamento (figura 24) e como resultado deste processo, são originados três tipos de modelos: "colorido", "sólido" e em "malha".

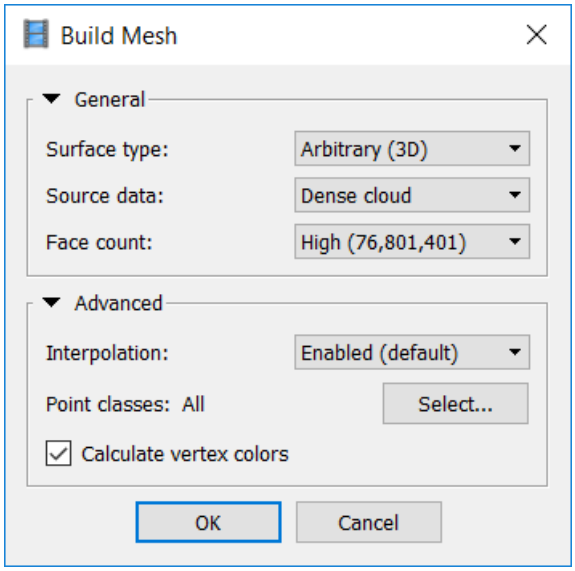


Figura 24- Janela "Build Mesh" do software PhotoScan com os respetivos parâmetros de processamento.

O último passo para criação do modelo 3D é a texturização do modelo. Para isso escolhe-se a opção "Construir Textura" a partir do menu "Fluxo de Trabalho".

Na caixa de diálogo (figura 25) devem colocar-se os parâmetros de processamento e como resultado deste processamento será obtido um modelo 3D texturizado.

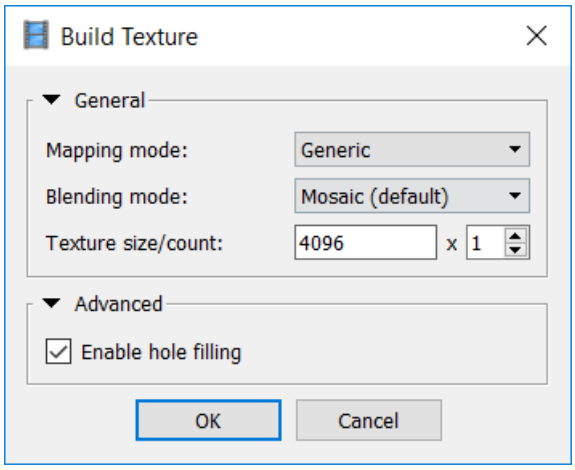


Figura 25- Janela "Build Texture" com os respetivos parâmetros de processamento.

Concluído o modelo 3D, este será a base para a criação do MDS e do Ortofotomapa.

O MDS pode ser criado a partir da nuvem de pontos densa ou do modelo "Mesh". Geralmente, é preferível, usar como base para este modelo a nuvem de pontos densa, pois esta fornece resultados mais precisos (um modelo com menor qualidade usado como fonte pode resultar num MDS impreciso ou com menor qualidade), e um processamento mais rápido.

Para gerar o modelo digital de superfície seleciona-se o botão "Build DEM" a partir do menu "Fluxo de Trabalho". De seguida, na caixa de dialogo (figura 26) devem colocar-se os parâmetros de processamento. O sistema de coordenadas deve ser especificado de acordo com o sistema de referência usado, neste trabalho tal como já foi referido anteriormente, o sistema de coordenado utilizado foi o ETRS89/Portugal TM06.

É de salientar ainda que, tal como foi referido, como resultado final deste processo obtém-se MDS e não um modelo digital de elevação (DEM) ou um modelo digital de terreno (MDT). O MDT tal como o DEM são modelos referentes à superfície terrestre, sem construções ou vegetação, enquanto que o MDS inclui estes elementos.

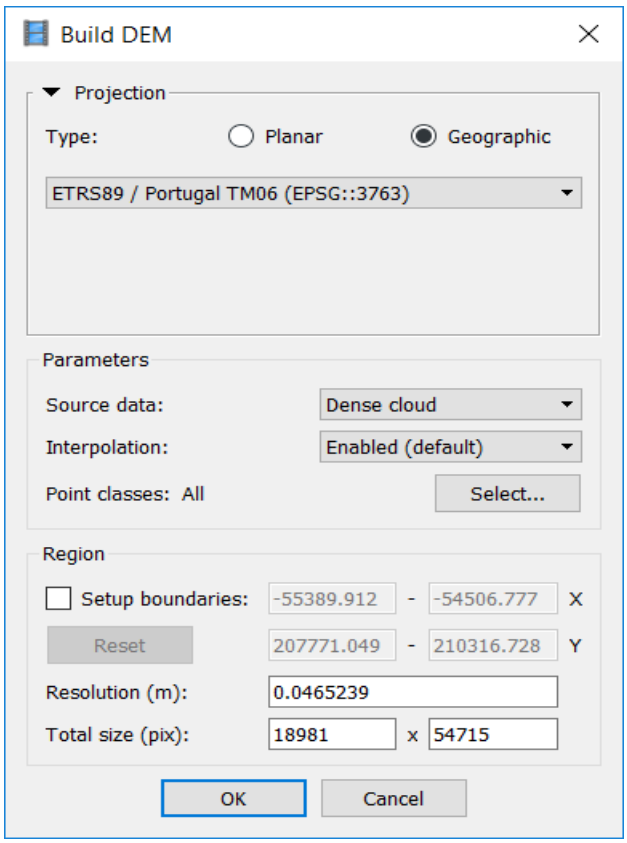


Figura 26- Janela "Build DEM" com os respetivos parâmetros de processamento.

Por fim, o ortofotomapa é construído a partir do menu "Fluxo de Trabalho" usando o botão "build Orthomosaic". Na caixa de dialogo devem colocar-se os parâmetros de processamento (figura 27). O parâmetro referente ao atributo "Região" não contém qualquer informação, por isso deve-se estimar esses valores através da opção "estimar". O *PhotoScan Pro* irá estimar os limites da imagem gerada. O ortofotomapa gerado terá como base a informação do modelo 3D. O tamanho do pixel será sugerido pelo *PhotoScan Pro* de acordo com a resolução média.

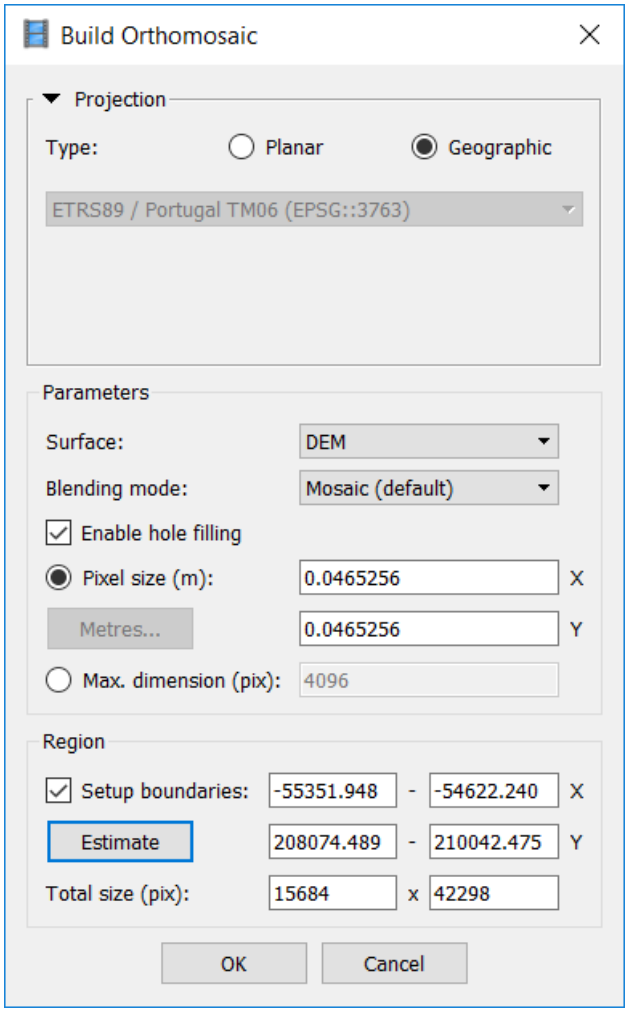


Figura 27- Janela "Build Orthomosaic" do software PhotoScan com os respetivos parâmetros de processamento.

3.3.2 Exportação

Após a criação do MDS e do ortofotomapa, estes poderão ser exportados em diversos formatos. Para exportar o MDS, basta selecionar o botão "Export MDE" a partir do menu "File", sendo possível exportar o MDS nos formatos GeoTIFF/BIL/XYZ.

Na caixa de dialogo devem colocar-se os parâmetros de exportação desejados (figura 28). Neste caso não foi feito qualquer tipo de alteração aos parâmetros pré-definidos pelo *PhotoScan Pro*, tendo-se apenas optado por selecionar o formato GeoTIFF.

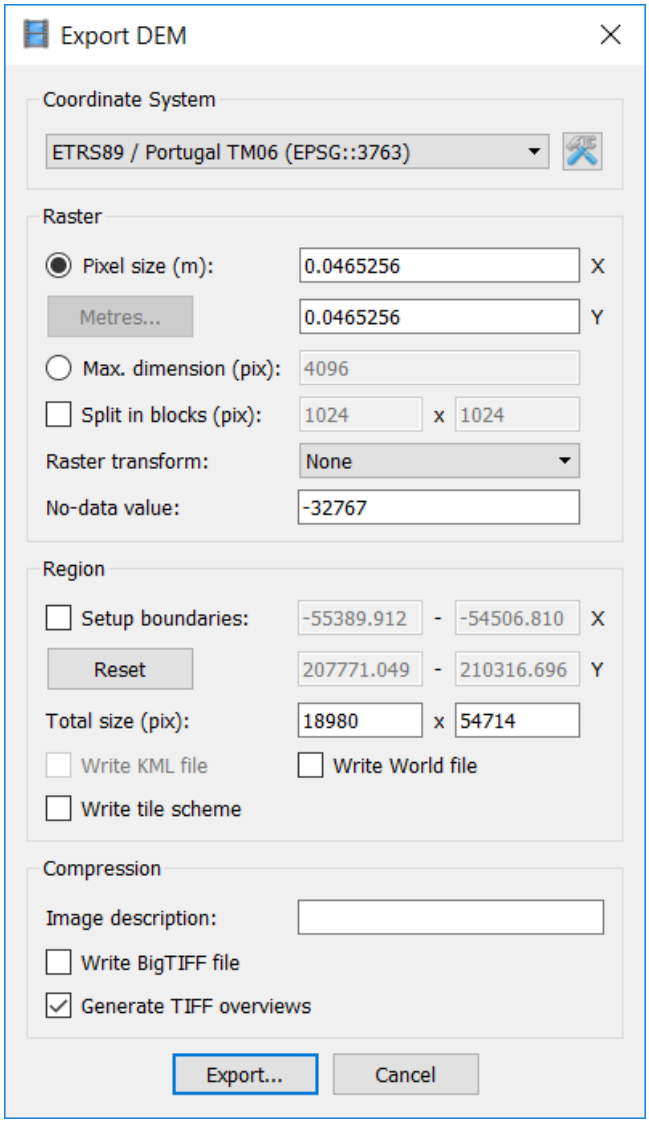


Figura 28- Janela "Export DEM" com os respetivos parâmetros de exportação.

O ortofotomapa poderá ser extraído através do botão "Export Orthomosaic" a partir do menu "File", sendo possível exportar o modelo em formato JPEG/TIFF/PNG.

Na caixa de diálogo (figura 29) devem colocar-se os parâmetros de exportação desejados. Neste caso, não foi feito qualquer tipo de alteração aos parâmetros pré-definidos pelo *PhotoScan Pro*, tendo-se apenas optado por selecionar o formato JPEG.

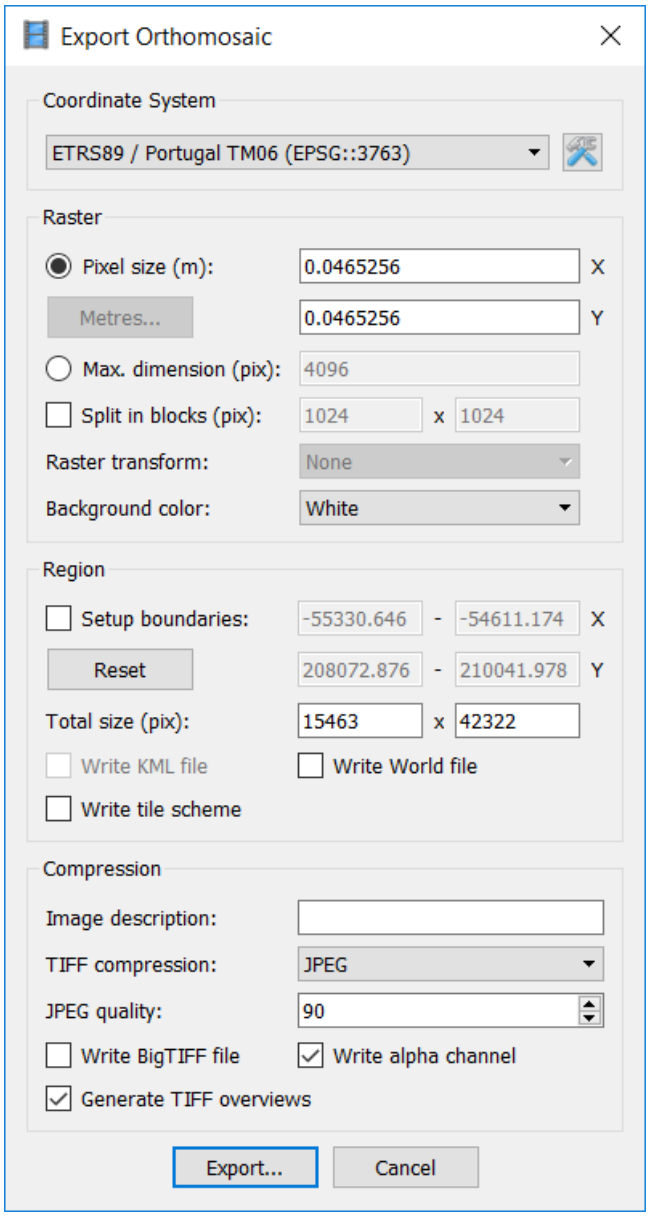


Figura 29- Janela "Export Orthomosaic" do software PhotoScan com os respetivos parâmetros de exportação.

Para exportar nos formatos TIFF e JPEG a qualidade deve ser especificada de acordo com os requisitos do trabalho onde se insere o modelo. Já o formato BigTIFF permite superar o limite de tamanho do formato TIFF para ortofotomapa de maiores dimensões, embora este formato possa não ser suportado por algumas aplicações.

3.3.3 Cálculo de volumes

Concluído o MDS, o *PhotoScan Pro* permite realizar o cálculo de volumes. Neste processo em particular, a georreferenciação assume grande importância na medida em que permite executar medições bidimensionais e tridimensionais com exatidão.

A partir do MDS é possível calcular volumes dentro de uma determinada área. Delimitando-se a área de interesse, define-se um plano horizontal de corte Z=Zb, onde Zb é a cota de referência ou cota base (Felgueiras, 1999), sendo possível calcular o volume de sedimentos a partir desse plano de referência (figura 30).

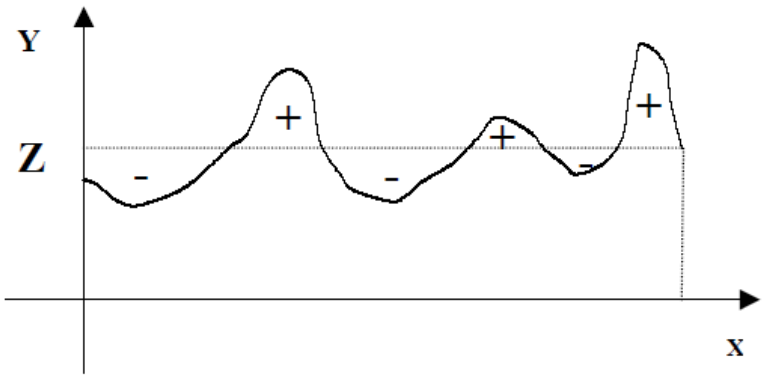


Figura 30- Perfil topográfico ilustrativo do volume selecionado (+), e o volume não contabilizado (-), em relação ao plano horizontal z=zb (adaptado de Felgueiras, 1999)

Esta funcionalidade é muito importante no cálculo de volumes em áreas que apresentem depressões com cotas inferiores ao 0 topográfico (ZT), pelo que o volume de sedimentos existente abaixo de ZT é assim contabilizado.

Para começar este processo de cálculo de volumes no *AgiSoft PhotoScan Pro*, o primeiro passo é a definição da região/área de interesse. Esta área é definida a partir da criação de um polígono através da ferramenta "Draw Polygon". Para que não haja erros, o utilizador deve certificar-se que todos os vértices do polígono estão ligados. É possível criar inúmeros polígonos dependendo da quantidade e densidade de informação que se pretenda obter para cada MDS (figura 31).



Figura 31- Ilustração parcial de um polígono com diversos vértices.

A criação de polígonos também poderá ser realizada em ambiente SIG, como por exemplo no *software* QGis. Para tal, deverá ser usado o MDS exportado como base para a criação destes. O MDS deverá ser importado no QGIS como "*raster*" e os polígonos deverão ser criados sob a forma de "*shapes*". Como o "*raster*" do MDS está georreferenciado, as "*shapes*" criadas posteriormente também estarão, não havendo assim problemas de posicionamento geográfico, com esta importação para o *AgiSoft PhotoScan Pro*.

Com a criação dos polígonos, o próximo passo é o processamento do polígono selecionado. Para tal, clicou-se com o botão direito do rato em cima de uma das arestas do polígono e de seguida selecionou-se a opção "Measure", abrindo uma caixa de diálogo com diversas informações como área, perímetro, perfil e volume do polígono.

A informação relativa ao volume do polígono poderá ser encontrada na opção "Volume" na janela atrás referida. O *PhotoScan Pro* permite que o utilizador escolha o "Plano base" para que o cálculo de volume seja realizado. Entre as opções é possível escolher o "*Best fit plane", "Mean level*" e por último "*Custom level*". Para todos os cálculos de volume realizados ao longo deste trabalho foi escolhida a opção "Custom level".

Esta opção permite ao utilizador escolher o plano/cota de referência (Zb) a utilizar para os cálculos de volume. Para a medição de todos os polígonos foi escolhido como cota de referência "Zb=0", sendo este valor equivalente ao 0 topográfico (ZT). No entanto, alguns dos polígonos criados englobam áreas com cotas inferiores ao plano de referência escolhido, sendo assim necessário recalcular o volume com um valor Zb inferior. Para esses casos em específico foi utilizado como valor de Zb -2 metros, sendo este valor equivalente ao 0 hidrográfico (ZH). Assim garantiu-se que o volume existente abaixo de Zb=0 fosse contabilizado nos cálculos.

É de salientar ainda que, não existindo um valor de Zb comum a todas as praias a nível nacional, o valor de Zb deverá adotar o plano basal que coincida com o valor mínimo da cota observada em cada caso em particular.

3.3.4 Criação de perfis

Concluído o MDS, o *PhotoScan Pro* permite criar perfis topográficos com grande facilidade. Para dar início a este procedimento, o primeiro passo é a escolha da região/área de interesse. Com a seleção do botão "Draw Polyline" na barra de tarefas, é possível direcionar o perfil em todas as direções dependendo do número de vértices e da complexidade que o utilizador queira dar ao mesmo. É possível criar inúmeros perfis dependendo da quantidade e densidade de informação que se pretenda obter para cada MDS.

Para visualizar o perfil pretendido, basta clicar com o botão direito do rato sobre o perfil e escolher a opção "Measure". Na janela "Profile" visualiza-se o perfil, com a respetiva informação acerca do mesmo.

3.3.5 Linhas de vegetação

Os indicadores de migração costeira permitem quantificar a taxa de avanço ou recuo de uma determinada área. Geralmente, os indicadores mais utilizados apresentam-se como alinhamentos paralelos à linha de costa, apresentando-se como "linhas".

Alguns destes indicadores, tais como a "linha de água" ou "linha de preia-mar", dependem bastante das condições verificadas no momento da sua visualização ou do instante em que a informação é obtida, através de fotografia aérea por exemplo. Estes indicadores nem sempre fornecem dados fidedignos pois caso a onda seja grande e a maré de grande amplitude, os dados apresentam valores elevados de migração, caso a onda seja pequena e a maré de pouca amplitude, os dados apresentam valores contrários (Henriques, 2006).

Outros indicadores, tais como "linha de vegetação" (LV) ou, no caso da existência de arribas, a "linha de topo de arriba", permitem registar a migração ocorrida num determinado setor costeiro durante um período mais longo, podendo este ser de vários meses. Estes indicadores sofrem transformações dependentes do ponto máximo de chegada do espraiamento da ondulação, mantendo-se relativamente inalteráveis, ou com modificação muito lenta, quando decresce a intensidade das condições que induzem a sua migração. A LV recua sempre que o mar inunda

zonas vegetadas, o que resulta na destruição da mesma, e ocasionalmente, a sua cobertura com depósitos arenosos. O repovoamento de espécies vegetais pode ocorrer em períodos mais calmos, caso o mar não atinja as zonas previamente inundadas. Porém, este repovoamento é relativamente lento, por isso a "linha de vegetação" é um indicador pouco dependente do instante em que é colhida a informação da sua posição (Henriques, 2006).

A figura 32 ilustra a posição dos diversos indicadores de migração costeira que é possível identificar num setor costeiro, para este trabalho apenas foi usada a linha de vegetação (LV), esta foi recalcada manualmente através da observação dos Ortofotomapa no PhotoScan. É um limite identificável pelo contraste de tonalidade, cor ou brilho entre as zonas vegetadas e não vegetadas.

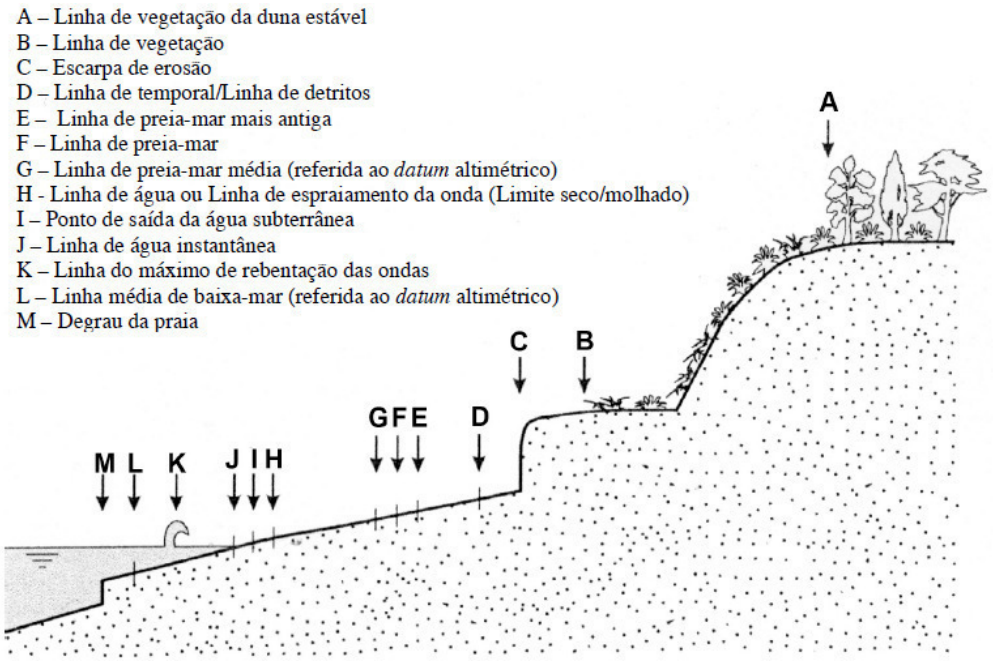


Figura 32- Relação espacial entre os indicadores de migração costeira mais comuns (em Henriques, 2006; adaptado de Boak & Turner, 2005).

O procedimento de criação destas linhas foi semelhante ao da criação de perfis, descrito no subcapítulo anterior.

Capítulo IV

4.1 Apresentação e discussão de resultados

Este capítulo destina-se a apresentar e discutir os resultados obtidos. Para isso foi organizado em dois diferentes subcapítulos onde cada um corresponde a uma área de estudo. De modo a facilitar o processamento de informação das praias de Belinho e de Fieiro Alto, considerando que são duas praias contíguas, apenas foi realizado um modelo comum a ambas, sendo o outro subcapítulo dedicado à praia de Cepães.

Em cada subcapítulo irão ser apresentados Modelos Digitais de Superfície (MDS), Ortofotomapas, dados analíticos referentes a volumes, serão expostos e discutidos alguns perfis efetuados nas praias e por fim serão apresentadas as linhas de vegetação desenhadas através dos Ortofotomapas. Toda esta informação resulta de todo o material e processos descritos no capítulo anterior. Posteriormente, irá realizar-se a discussão dos resultados.

4.1.1 Praia de Cepães

Para a praia de Cepães obteve-se no total três Modelos Digitais de Superfície e três Ortofotomapas, estes são resultado de cada levantamento realizado nesta praia. Com o intuito de medir volumes, foram criados diversos polígonos na área de estudo, estes são comuns aos três modelos o que permite comparar os resultados obtidos, estes dados irão ser apresentados sob a forma de tabela. Foram ainda realizados sete perfis com a ajuda do *PhotoScan* com o intuito de obter um maior leque de informação relativa a este setor da costa. As linhas de vegetação foram desenhadas sobre os Ortofotomapas gerados através do primeiro e terceiro levantamentos realizados.

4.1.1.1 Modelos Digitais de Superfície e Ortofotomapas

Os MDS e Ortofotomapas de seguida apresentados estarão dispostos pela ordem de levantamento, ou seja, do mais antigo para o mais recente. Os MDS e Ortofotomapas irão ser apresentados em conjunto pela ordem atrás referida. Estes elementos, serão apresentados com a respetiva escala gráfica. De modo a ilustrar os perfis e os polígonos desenhados com o âmbito de medir e comparar as variações registadas, será usado o MDS e Ortofotomapa referente ao primeiro levantamento, realizado em 2016. Na tabela 3 estão representadas as especificações técnicas dos MDS, Ortofotomapa e pontos de controlo de terreno de cada levantamento realizado para este setor da costa.

Levantamento	Ortofotomapa	Modelo Digital de Superfície		GCP					CRS
	DAS | Resolução (cm / px) | (px x px)		Densidade de pontos (pontos / m²)	Numero de pontos	Erro				ETRS89 / Portugal TM06 (EPSG:3763)
					x (cm)	Y (cm)	Z (cm)	pixel	
14/11/2016	4.65 | 15464 x 42323	4.65 | 18981 x 54715	462	11	0.846	1.111	1.045	0.391	
9/06/2017	3.87 | 15086 x 52592	3.87 | 19013 x 67995	668	11	0.754	1.626	0.896	0.184	
17/11/2017	3.9 | 14451 x 51735	3.9 | 17810 x 69090	657	10	1.107	0.784	0.943	0.500	

Tabela 3- Especificações técnicas dos Ortofotomapas, MDS e pontos de controlo de terreno

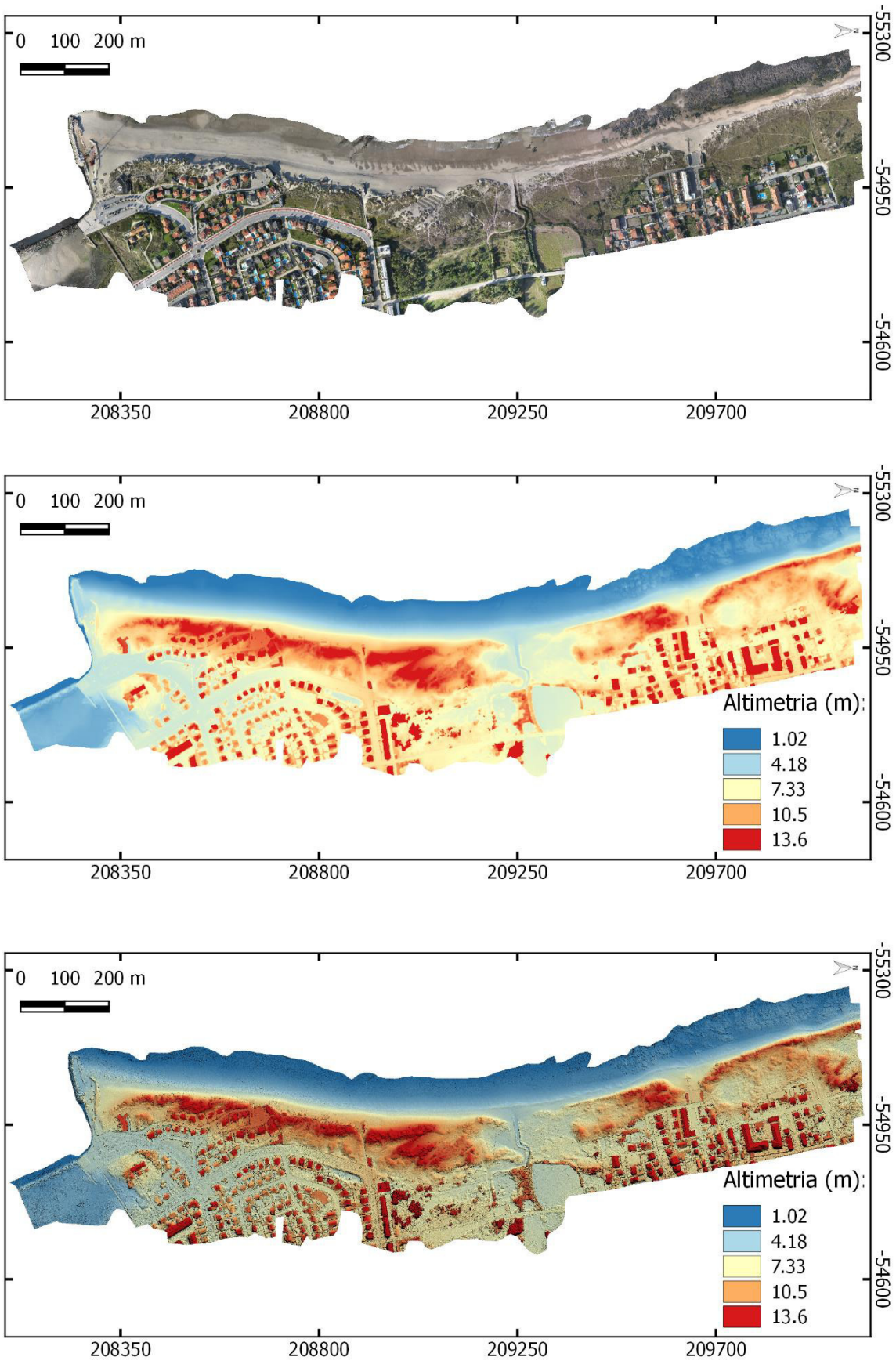


Figura 33- Esquema superior – Ortofotomapa: Esquema central - MDS; Esquema inferior – MDS com Hillshade, referentes ao levantamento realizado no dia 14 de novembro de 2016 sobre a praia de Cepães

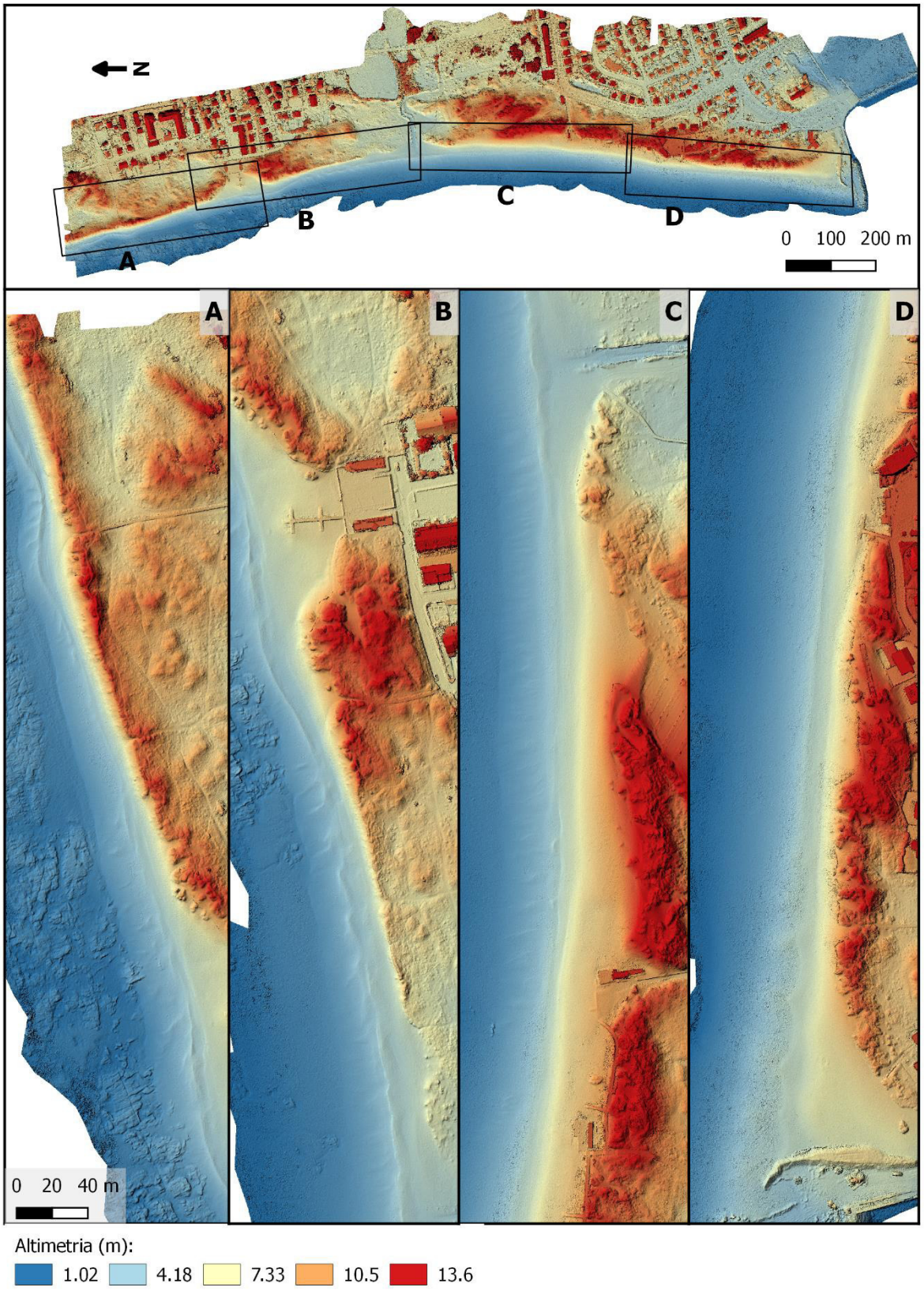


Figura 34- Modelo Digital de Superfície com Hillshade referente ao levantamento realizado no dia 14 de novembro de 2016, ampliado em quatro polígonos (A, B, C e D).

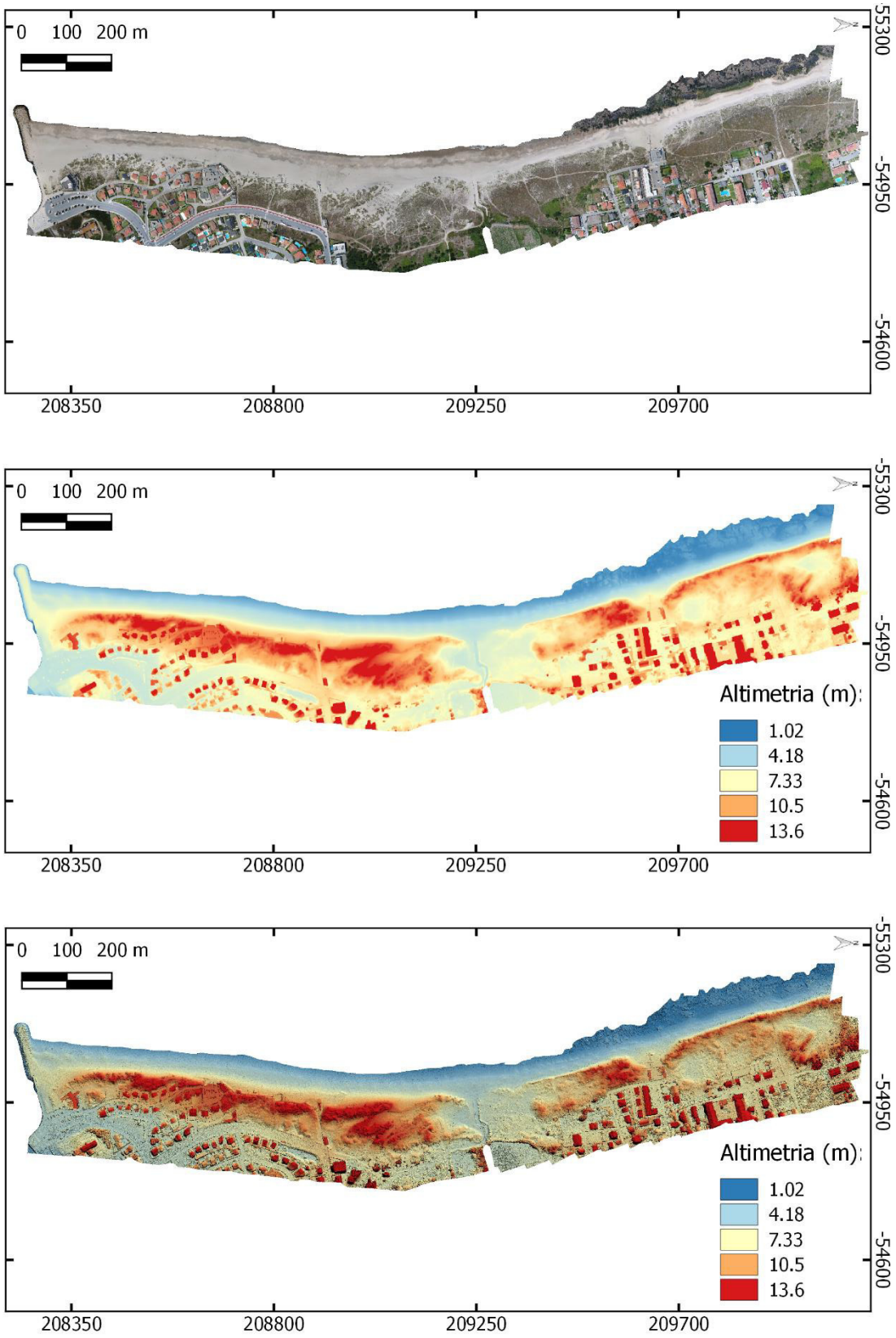


Figura 35- Esquema superior – Ortofotomapa: Esquema central - MDS; Esquema inferior – MDS com Hillshade, referentes ao levantamento realizado no dia 09 de junho de 2017 sobre a praia de Cepães

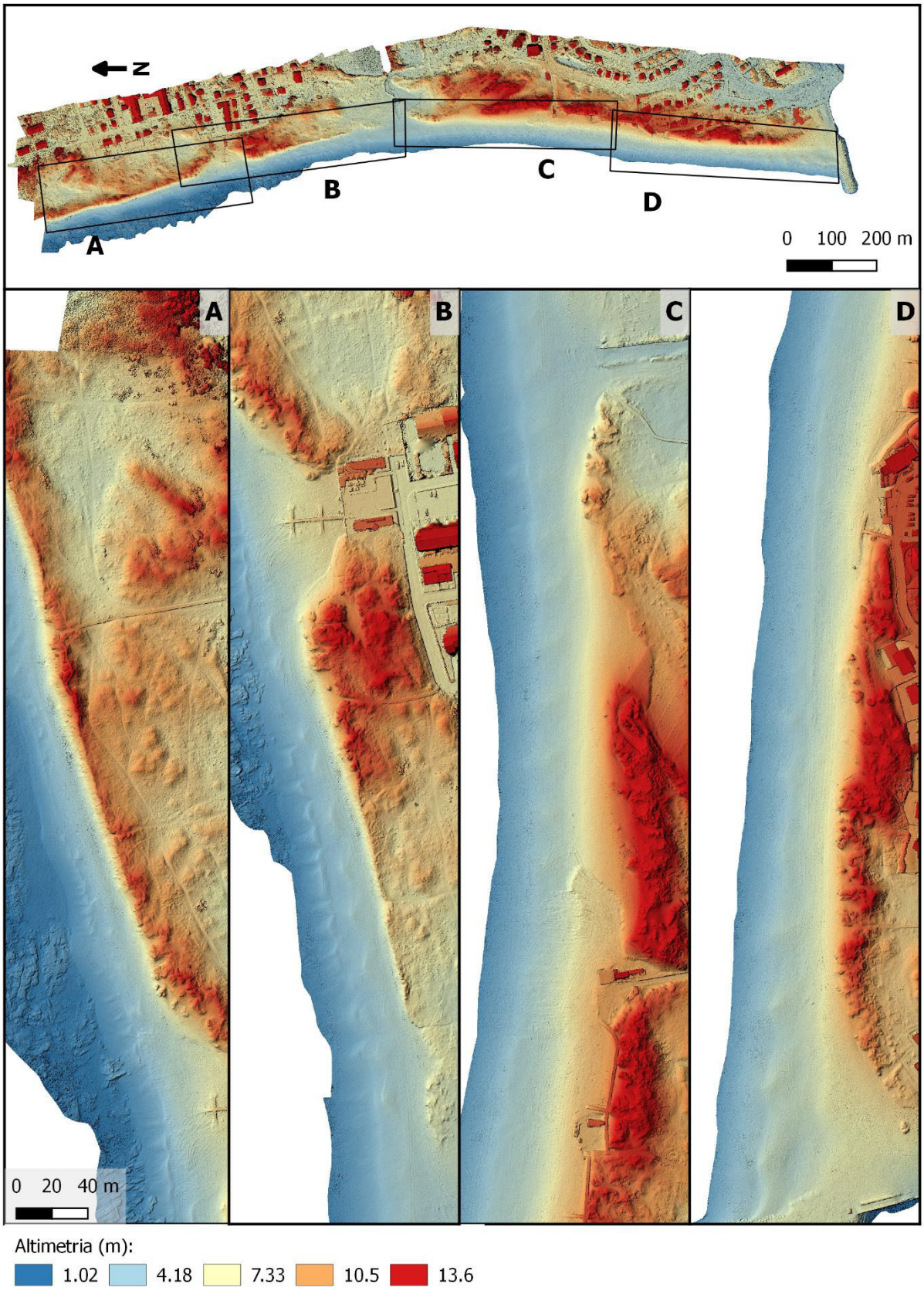


Figura 36- Modelo Digital de Superfície com Hillshade referente ao levantamento realizado no dia 09 de junho de 2017, ampliado em quatro polígonos (A, B, C e D).

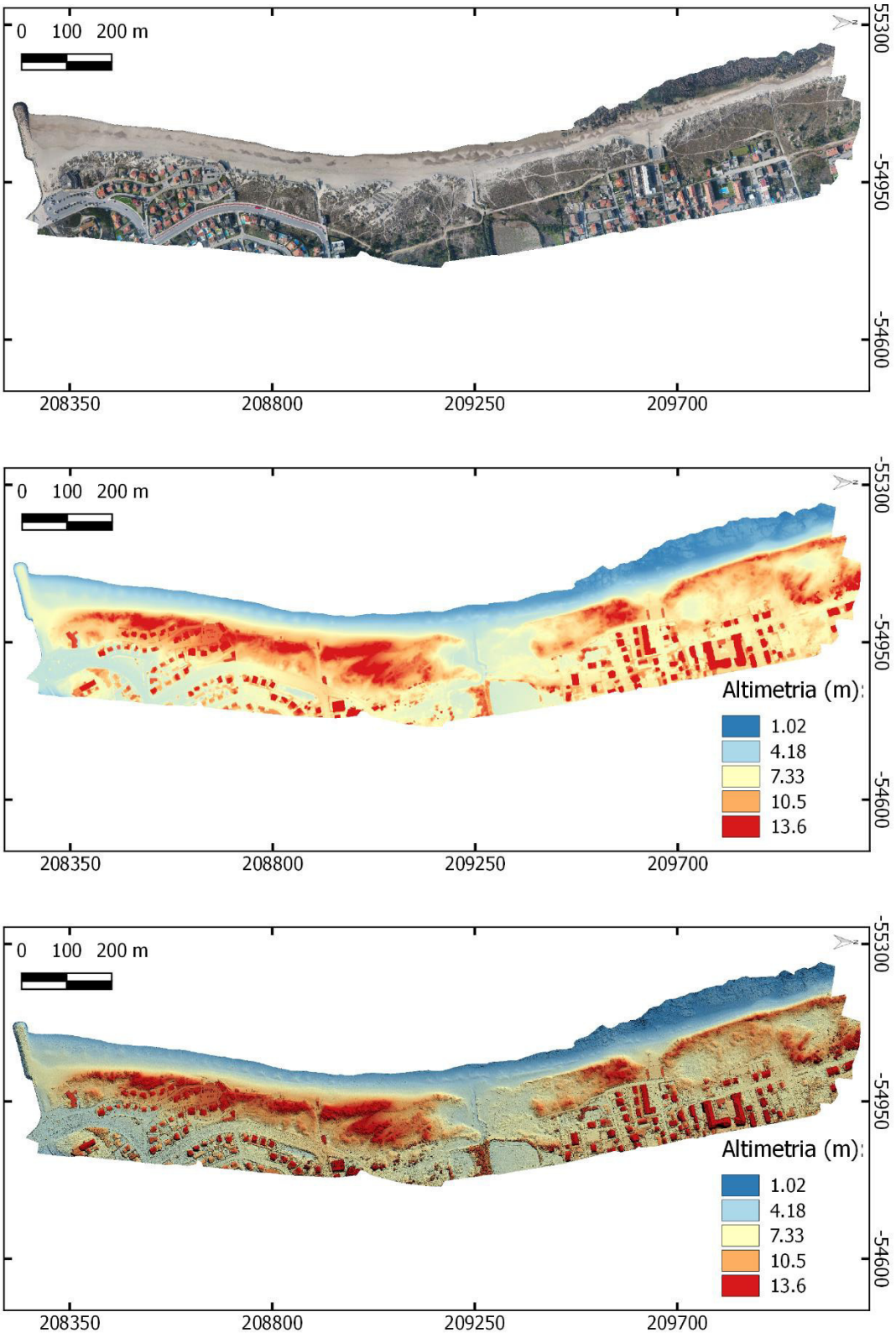


Figura 37- Esquema superior – Ortofotomapa: Esquema central- MDS; Esquema inferior – MDS com Hillshade, referentes ao levantamento realizado no dia 17 de novembro de 2017 sobre a praia de Cepães

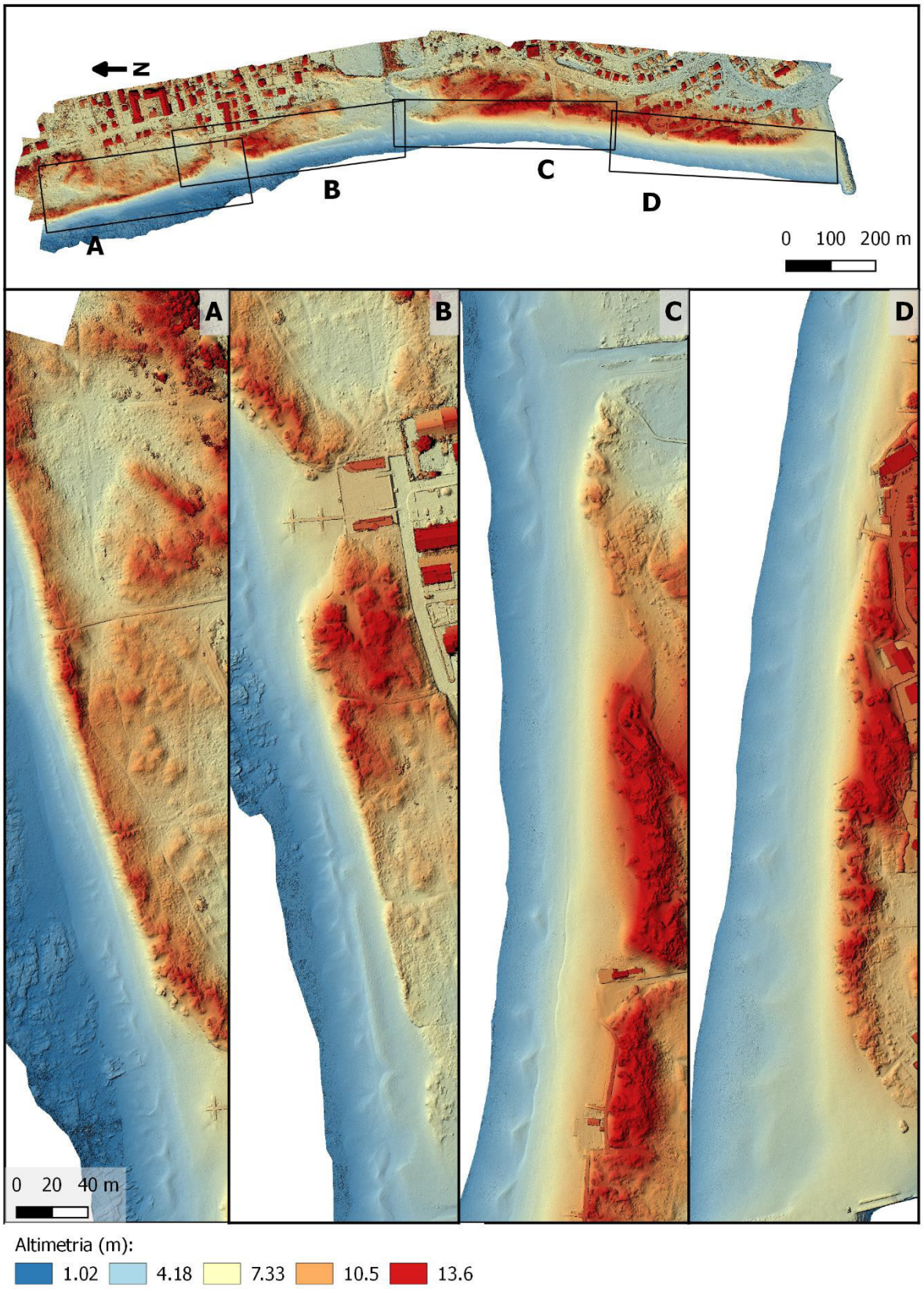


Figura 38 - Modelo Digital de Superfície com Hillshade referente ao levantamento realizado no dia 17 de novembro de 2017, ampliado em quatro polígonos (A, B, C e D).

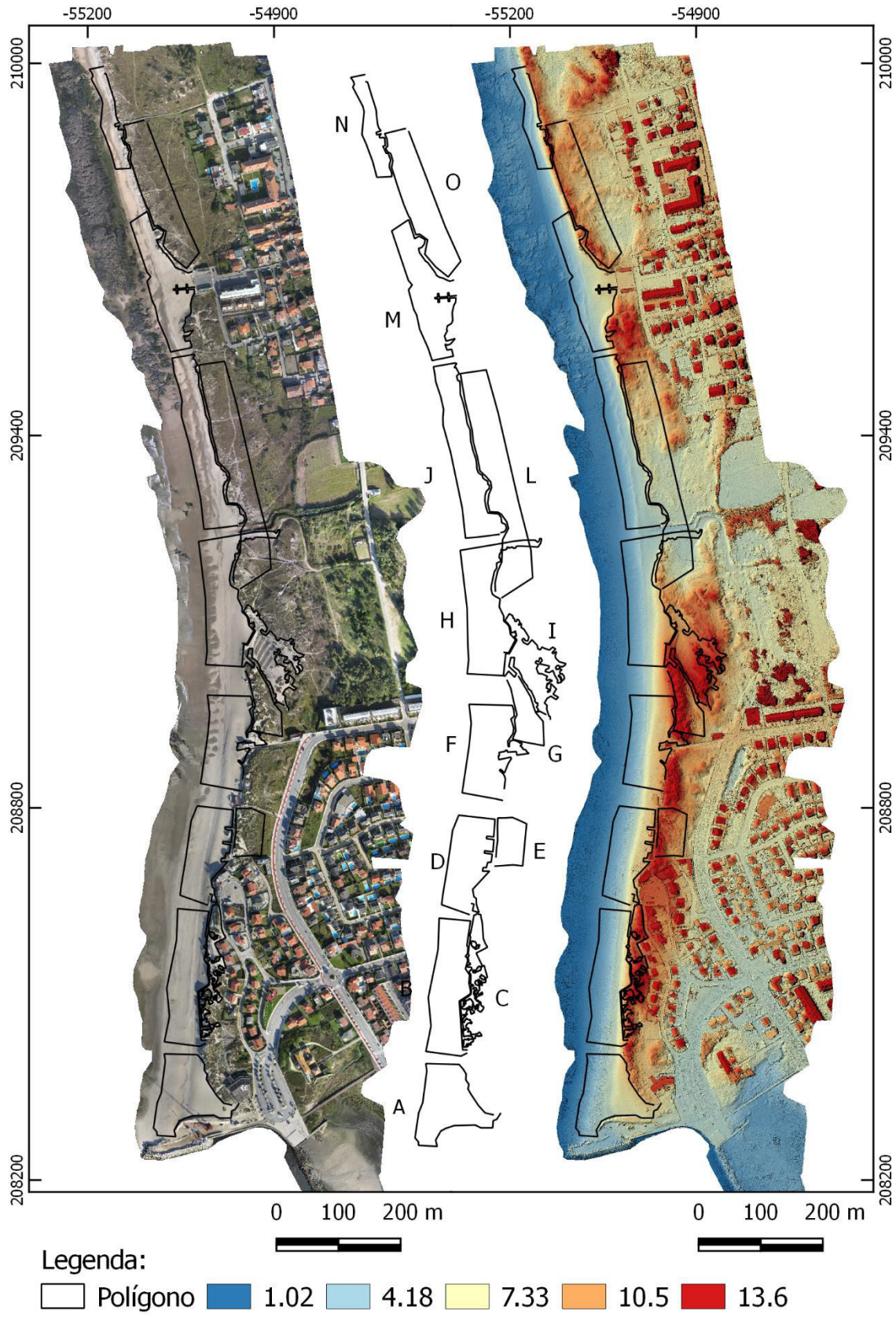


Figura 39 - Do lado esquerdo- Ortofotomapa de 2016; Lado direito- Modelo Digital de Superfície com Hillshade de 2016, com os respetivos polígonos nomeados no centro.

4.1.1.2 Discussão de resultados

Para que os resultados obtidos sejam comparáveis, e assim traduzam as variações morfológicas e volumétricas registadas na área de estudo de modo fiel, é imprescindível que apresentem grande qualidade. Através da observação da tabela 3 acima apresentada, é possível observar que os erros posicionais apresentam valores muito baixos, a precisão esta garantida pelos pontos de controlo recolhidos no terreno através de DGPS.

Relativamente aos Modelos Digitais de Superfície e Ortofotomapas referentes à praia de Cepães, estes apresentam uma distância de amostragem no solo (DAS) entre 3,87 e 4,65 centímetros por pixel.

Os pontos de controlo de terreno referentes a este setor de estudo apresentam erros de posicionamento (RMS) bastante baixos, de ordem centimétrica. Na tabela 3 é possível observar os RMS dos três levantamentos realizados para este setor. É de destacar que o modelo 3D que apresenta maior erro de posicionamento é gerado a partir do levantamento realizado no dia 17 de novembro de 2017, sendo este erro de 0,500 pixel. É de salientar que a ausência de um ponto de controlo neste levantamento não comprometeu o alinhamento dos produtos georreferenciados finais para o intervalo em análise. Nos restantes modelos, referentes aos levantamentos do dia 14 de novembro de 2016 e 09 de junho de 2017, foram utilizados todos os GCP disponíveis, sendo onze no total, assim os RMS associados a estes levantamentos foram bastante baixos, com valores entre 0,391 e 0,184 respetivamente.

Após a obtenção dos ortofotomapas e dos MDS com erros tão pouco significativos, procedeu-se ao cálculo de volumes, para isso foi utilizada uma ferramenta do software *Agisoft PhotoScanPro* tal como já referido anteriormente no capítulo 3. Esta ferramenta permitiu criar polígonos em setores com interesse pela zona dunar e de praia. A informação referente á área e perímetro dos polígonos está representada na tabela 4, já os resultados obtidos a partir da medição de volumes para cada polígono estão representados na tabela 5.

De modo a identificar os setores em que houve perda ou incremento do volume de sedimentos, foram ainda criados mapas de variação altimétrica através do programa *Global Mapper.*

	Volume (m³)						
Levantamento / Polígono	14/11/2016 (1° Levantamento)	09/06/2017 (2° levantamento)	17/11/2017 (3° levantamento)	Variações	L2-L1	L3-L2	L3-L1
A	54802,5	56109,3	58814,8		1306,8	2705,5	4012,3
B	53838,0	59716,4	61378,4		5878,4	1662,0	7540,4
C	39628,6	39675,4	39842,3		46,8	166,9	213,7
D	51393,0	55061,9	51828,4		3668,9	-3233,5	435,4
E	38746,5	38652,8	38743,3		-93,7	90,5	-3,2
F	69704,4	73108,8	70017,2		3404,4	-3091,6	312,8
G	46943,4	46780,3	46997,5		-163,1	217,2	54,1
H	66670,7	68836,3	66045,5		2165,6	-2790,8	-625,2
I	75206,9	75219,2	75323,8		12,3	104,6	116,9
J	53431,3	54790,5	54136,1		1359,2	-654,4	704,8
L	120947,6	121166,7	121567,9		219,1	401,2	620,3
M	61739,3	59274,2	59457,2		-2465,1	183,0	-2282,1
N	22122,5	20391,3	20649,1		-1731,2	257,8	-1473,4
O	105831,7	104526,8	105340,9		-1304,9	814,1	-490,8

Tabela 5- Volumes calculados com a ferramenta do PhotoScan em (m³) para cada polígono com as respetivas datas de cada levantamento para a praia de Cepães. Variação de volumes entre cada polígono de cada levantamento

Polígono	Área (m²)	Perímetro (m)
A	9698,7	479,294
B	11421,8	571,650
C	3210,0	1174,5
D	9067,2	531,372
E	3350,2	238,588
F	10058,2	590,230
G	3625,1	292,516
H	12556,5	714,408
I	6044,4	934,116
J	11517,3	703,802
L	16133,8	844,164
M	10242,4	729,288
N	4045,6	422,409
O	10749,5	573,274

Tabela 4- Informação relativa a área e perímetros de cada polígono no modelo de Cepães

Na tabela 5 estão representados todos os polígonos desenhados para a praia de Cepães, estes foram nomeados de A a O. Os volumes calculados em cada polígono encontram-se na unidade volúmica de m^3 e como nível de base foi assumido o valor de 0 (zero topográfico) para todos os levantamentos realizados. Posteriormente foi calculada a variação de volume de cada polígono entre cada levantamento realizado, com o intuito de quantificar a perda/ganho de material dentro dessas áreas. Para além disso, foi também calculada a variação de volume de cada polígono, entre o primeiro e terceiro levantamento, estes com um espaçamento temporal de aproximadamente um ano, para assim ter um balanço decorrente de um tempo de análise mais longo.

Analisando a variação de volumes correspondente ao intervalo de tempo entre os levantamentos realizados a 14 de novembro de 2016 e 09 de junho de 2017, referentes ao primeiro (1°L) e segundo (2°L) levantamentos respetivamente, é possível destacar:

- Todos os polígonos desenhados na zona de praia (A, B, D, F, H, J, M e N) apresentam valores positivos, exceto os polígonos M e N situados no setor mais a norte da praia;
- Os polígonos E, G e O apresentam valores de variação negativos, contudo como apresentam grande quantidade de vegetação, estes resultados poderão ter como base uma significativa perda de vegetação, o que se torna visível através da comparação dos Ortofotomapas;
- O polígono I, intencionalmente desenhado numa zona protegida por paliçadas, apresenta valores positivos, porém pouco acima de 0 registando assim um incremento 12,3 m^3 entre os levantamentos;
- O polígono C, também a jusante de uma paliçada registou um pequeno incremento de 46,8 m^3, o que equivale a aproximadamente 3,8 vezes o valor registado no polígono I;
- O polígono M apresenta a variação volúmica negativa mais acentuada, perdendo 2465,1 m^3, enquanto que o polígono com maior variação positiva foi o B com um incremento de 5878,4 m^3;
- O polígono L, desenhado numa zona coberta por vegetação registou um incremento de volume em 219,1 m^3, contrariando assim os polígonos E, G e O. Pela comparação dos Ortofotomapas é possível visualizar um recobrimento desta área com areia, sendo este recobrimento responsável pelo aumento de volume neste polígono;
- A reconstrução e aumento do esporão localizado no setor sul de Cepães apresenta grande importância na dinâmica desta praia, fornecendo a este setor a capacidade de acumular sedimentos;

- Os polígonos A, B, F e D mostram uma tendência acumulativa no setor sul e central de Cepães, enquanto que os polígonos N e M revelam uma tendência erosiva no setor mais a norte;
- De uma forma geral, houve um aumento de volume de sedimentos na praia de Cepães, havendo assim uma tendência acumulativa;

Relativamente ao mapa de variação altimétrica construído a partir dos MDS referentes ao primeiro e segundo levantamentos (figura 40), é possível destacar:

- Perda de sedimentos no setor norte entre a interface berma de praia e duna, provavelmente devido a influência eólica e/ou em consequência de momentos de tempestade;
- Na área correspondente ao polígono J, é possível destacar à perda de sedimentos na interface berma de praia e duna, porém com menor intensidade da perda registada a norte, há ainda no mesmo setor, um aumento de sedimentos na interface baixa praia-praia alta;
- Na área do polígono I há um incremento de sedimento, devido à presença da paliçada;
- Grande incremento de sedimentos na zona sul e central de Cepães, correspondente aos polígonos A, B, D, F e H, principalmente na zona intertidal. Este aumento poderá ser consequência da presença do esporão.

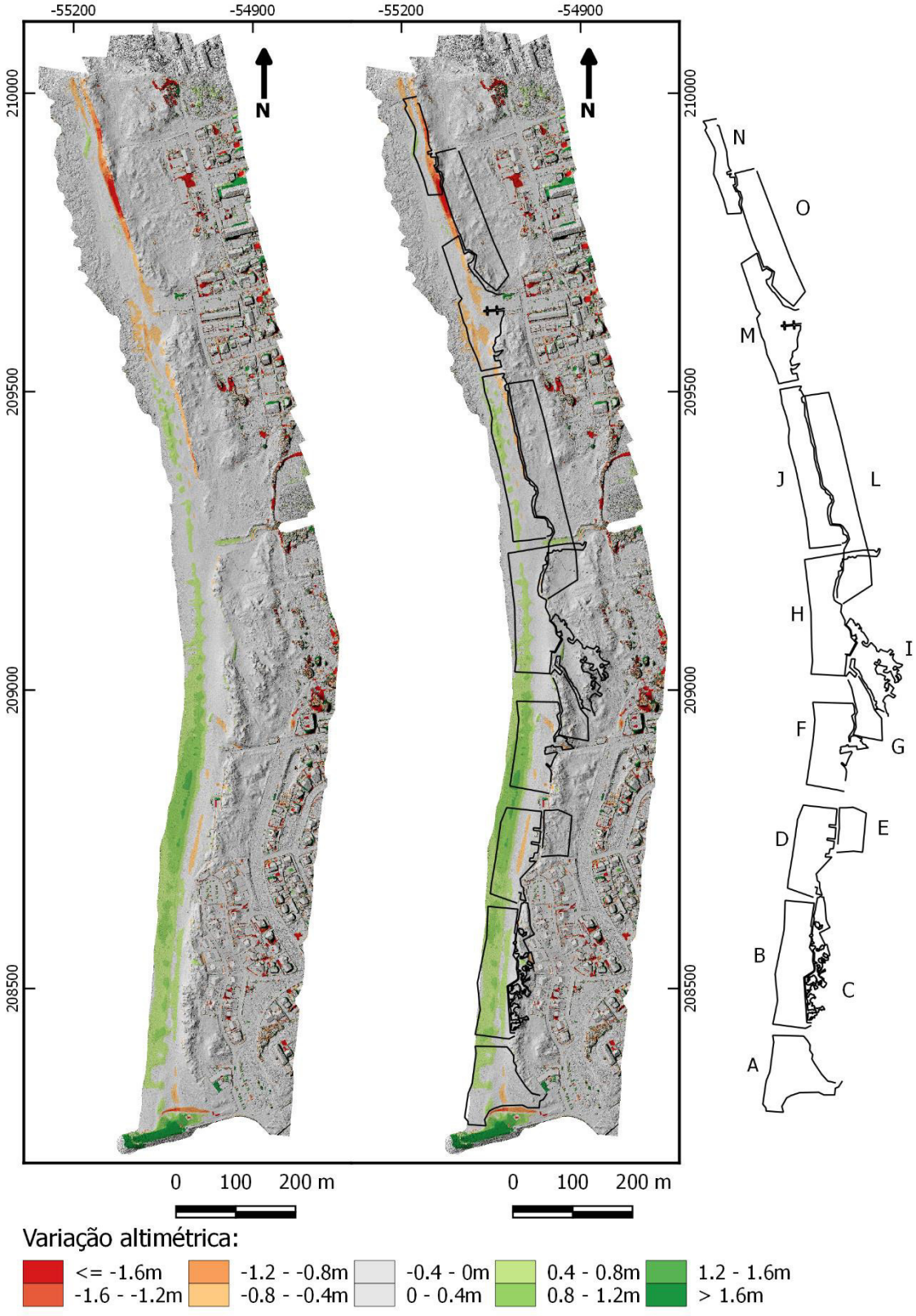


Figura 40- Mapas de variação altimétrica (em metros) entre os levantamentos realizados a 14 de novembro de 2016 e 09 de junho de 2017 (MDS 2°L - MDS 1°L): À esquerda: variação altimétrica com hillshade extraído a partir do 2°L, no centro: variação altimétrica com hillshade com sobreposição dos polígonos; à direita: polígonos nomeados

Relativamente a variação de volumes registada entre os levantamentos realizados a 09 de junho de 2017 e 17 de novembro de 2017, referentes ao segundo (2°L) e terceiro (3°L) levantamentos respetivamente, é possível destacar:

- Uma inversão da variação volúmica em alguns polígonos, tais como o H, F, D, J, M e N, esta inversão poderá ter como base uma direta interferência sazonal em comparação com anterior espaço temporal analisado;
- Os polígonos M e N apresentaram um incremento sedimentar de 183 m^3 e 257,8 m^3 respetivamente, além de serem valores pouco significativos, contrariam o registo analisado anteriormente, o que é possível traduzir numa estabilização deste setor durante este período temporal;
- Os polígonos E, G e O apresentam uma inversão da variação volúmica, registando neste intervalo de tempo uma variação positiva. Pela comparação dos Ortofotomapas é possível visualizar um aumento de zonas verdes;
- Os polígonos C e I apresentam maior incremento de sedimentos em comparação com o anterior período analisado, registando 166,9 m^3 e 104,6 m^3 respetivamente. Na base deste aumento, em comparação com o período anterior, poderá estar a maior capacidade de transporte do vento e uma maior disponibilidade de sedimentos para sofrer transporte eólico;
- O polígono D apresenta a maior variação volúmica negativa registada neste período temporal, perdendo 3233,5 m^3, enquanto que o polígono com maior variação positiva foi o A, este ganhou 2705,5 m^3;
- Os polígonos A e B situados no setor sul de Cepães mantiveram a tendência acumulativa, enquanto que os polígonos D, F, H e J localizados no setor central de Cepães apresentaram variações negativas;
- De uma forma geral, houve uma diminuição de volume de sedimentos na praia de Cepães, havendo assim uma tendência erosiva.

Relativamente ao mapa de variação altimétrica construído a partir dos MDS referentes ao segundo e terceiro levantamentos (figura 41), é possível destacar:

- O setor norte apresenta grande estabilidade com pequenas áreas pontuais a apresentarem diminuição e incremento de sedimentos. O aumento de sedimentos ocorre sobretudo na zona de baixa praia, enquanto que a perda ocorre tendencialmente na praia alta. A perda de sedimentos, neste caso areia, resulta no aparecimento de seixos;
- Na área dos polígonos F e D há uma grande perda sedimentar, esta tendência erosiva ocorre sobretudo na zona de baixa praia. Esta perda de sedimentos é, provavelmente, consequência da ação marinha devido à influência sazonal;
- A área do polígono I apresenta um pequeno incremento de sedimentos, devido à paliçada, contrariando assim a tendência erosiva do setor de praia;
- O setor sul apresenta alguma acumulação de sedimentos devido à presença do esporão, porém a influência deste apresenta-se bastante menor do que a registada no período anterior, rondando os 270 metros.

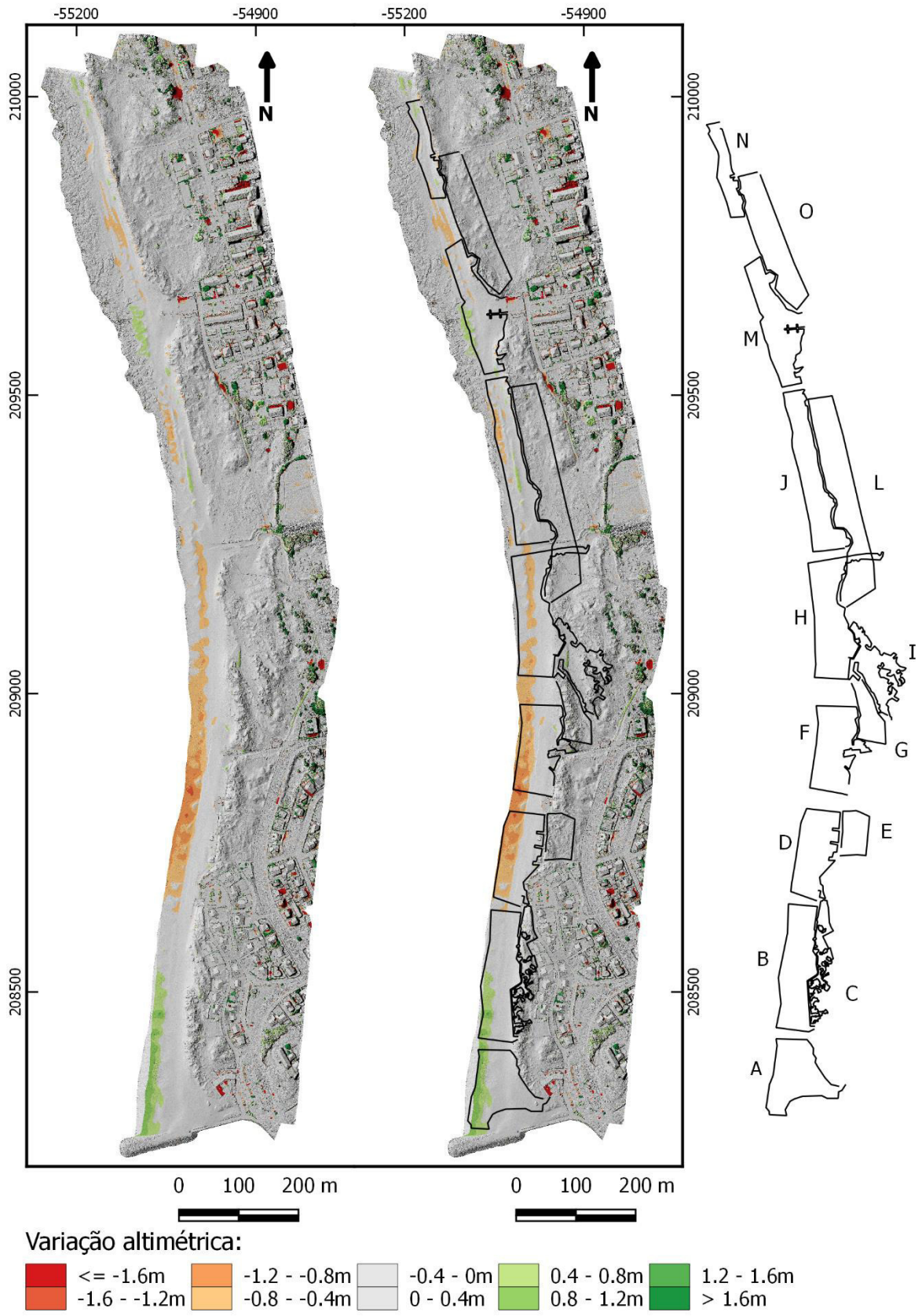


Figura 41– Mapas de variação altimétrica (em metros) entre os levantamentos realizados a 17 de novembro de 2017 e 09 de junho de 2017 (MDS 3°L - MDS 2°L): À esquerda: variação altimétrica com hillshade extraído a partir do 3°L, no centro: variação altimétrica com hillshade com sobreposição dos polígonos; à direita: polígonos nomeados

Relativamente a variação de volumes registada entre os levantamentos realizados a 14 de novembro de 2016 e 17 de novembro de 2017, referentes ao primeiro (1ºL) e terceiro levantamentos (3ºL) respetivamente, é possível destacar:

- A existência de setores com diferentes tendências:
    - O setor sul representado pelos polígonos A e B apresenta grande incremento de sedimentos;
    - O setor central representado pelos polígonos D, F, H, J apresentaram pouca variação volúmica, porém positiva excetuando o polígono H;
    - O setor norte com os polígonos M e N revelaram uma tendência erosiva com variações volúmicas negativas;
- O polígono M apresenta a variação volúmica negativa mais acentuada, perdendo 2282,1 m^3, enquanto que o polígono com maior variação positiva foi o B com um incremento de 7540,4 m^3;
- Os polígonos C e I apresentaram balanço positivo, demonstrando assim a eficiência das paliçadas, sobretudo entre junho e novembro. É de salientar ainda que o polígono H, desenhado a barlavento da paliçada, apresentou variação volúmica negativa, o que destaca a importância da paliçada presente entre os polígono H e I;
- O grande aumento de volume de sedimentos nos polígonos A e B não pode ser dissociado da presença do esporão presente a sul destes;
- Os valores dispares da variação volúmica nos polígonos M e N em relação ás variações registadas nos restantes polígonos, podem estar relacionados com a proteção prestada pelos afloramentos rochosos neste setor, que contêm o deslocamento de sedimentos.

Relativamente ao mapa de variação altimétrica construído a partir dos MDS referentes ao primeiro e terceiro levantamentos (figura 42), é possível destacar:

- Perda de sedimentos no setor norte entre o contato berma da praia e duna, este efeito vai sendo diluído na direção sul. Esta perda de sedimentos poderá ser consequência, sobretudo, da ação eólica e/ou consequência de momentos de tempestade. Os afloramentos rochosos no setor norte providenciam uma certa proteção da ação marinha, dissipando assim a energia da ondulação, porém em momentos de tempestade a sua eficácia é reduzida;

- No setor central há menor variação altimétrica, porém é possível visualizar patamares com diferentes tendências. Na zona da praia alta (*backshore)* há perda de sedimentos, enquanto que na zona de baixa praia há incremento de sedimentos. Esta dinâmica poderá ser consequência da conjugação da ação marinha e eólica, porém o movimento dos seixos é um forte indicador que, neste caso em particular, a ação marinha será mais preponderante;
- Aumento de sedimentos na área do polígono I, principalmente na zona mais proximal à praia, devido à presença de paliçadas;
- Grande aumento de sedimentos no setor sul de Cepães devido à presença do esporão, este aumento de sedimentos evidenciou-se mais na zona da baixa praia, mas também foi bastante visível na zona da praia alta. A influência do esporão estende-se em aproximadamente 400 metros a partir do esporão no sentido norte.

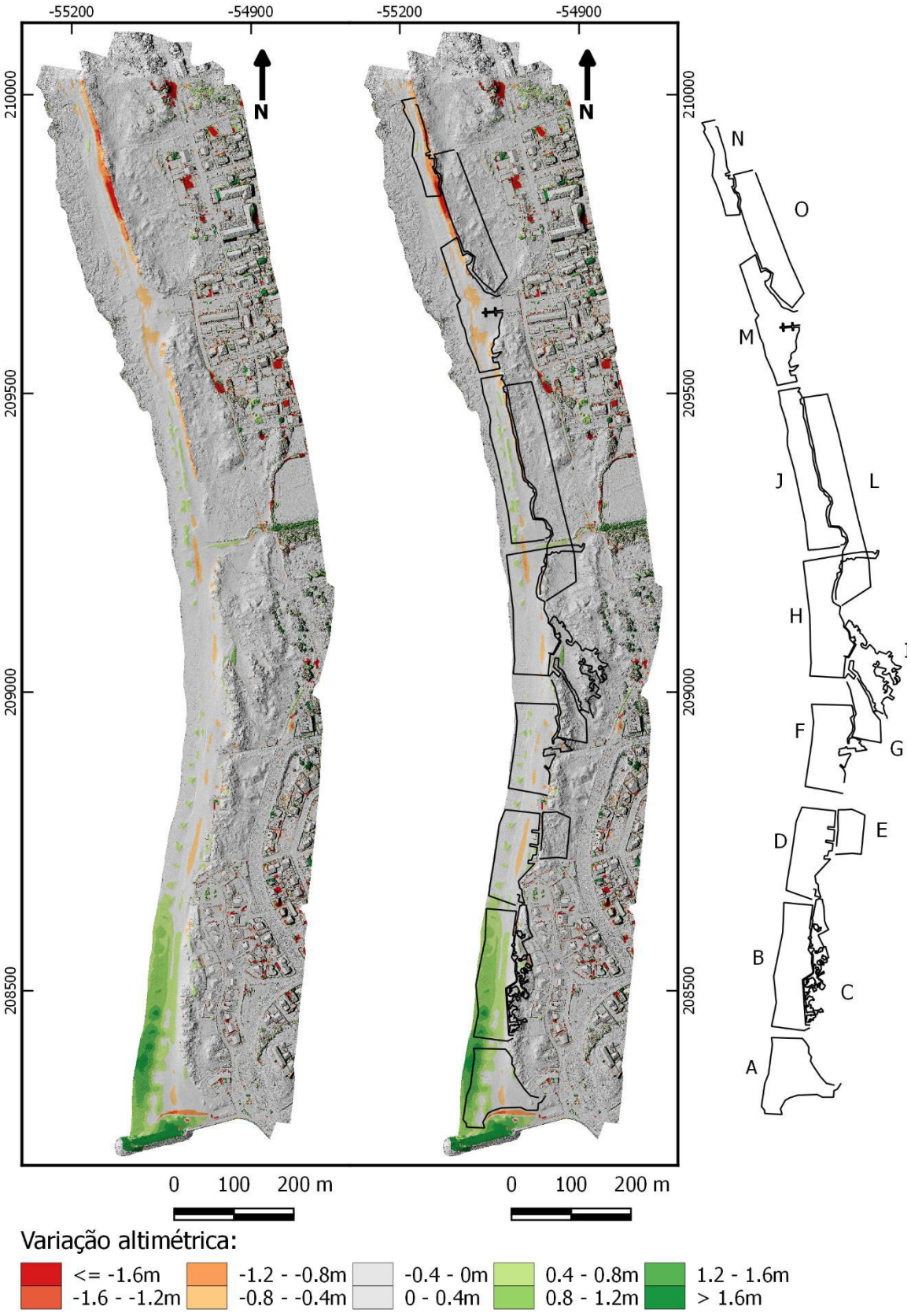


Figura 42- Mapas de variação altimétrica (em metros) entre os levantamentos realizados a 17 de novembro de 2017 e 14 de novembro de 2016 (MDS 3°L - MDS 1°L): À esquerda: variação altimétrica com hillshade extraído a partir do 3°L, no centro: variação altimétrica com hillshade com sobreposição dos polígonos; à direita: polígonos nomeados

4.1.1.3 Evolução morfológica

Os resultados obtidos a partir dos levantamentos realizados permitem extrair diverso tipo de informação, entre os quais, é possível observar a evolução morfológica que alguns setores poderão apresentar entre o período temporal analisado. Para isso e de modo a demonstrar a utilidade dos VANT neste subcapítulo, criaram-se grelhas em algumas áreas dos setores em estudo e por comparação direta dos MDS e Ortofotomapas foi possível observar algumas alterações locais da morfologia. Estas grelhas foram replicadas para a mesma área nos três levantamentos realizados para cada setor, sendo estas numeradas de 1 a 5 para os modelos da Praia de Cepães (figura 43).

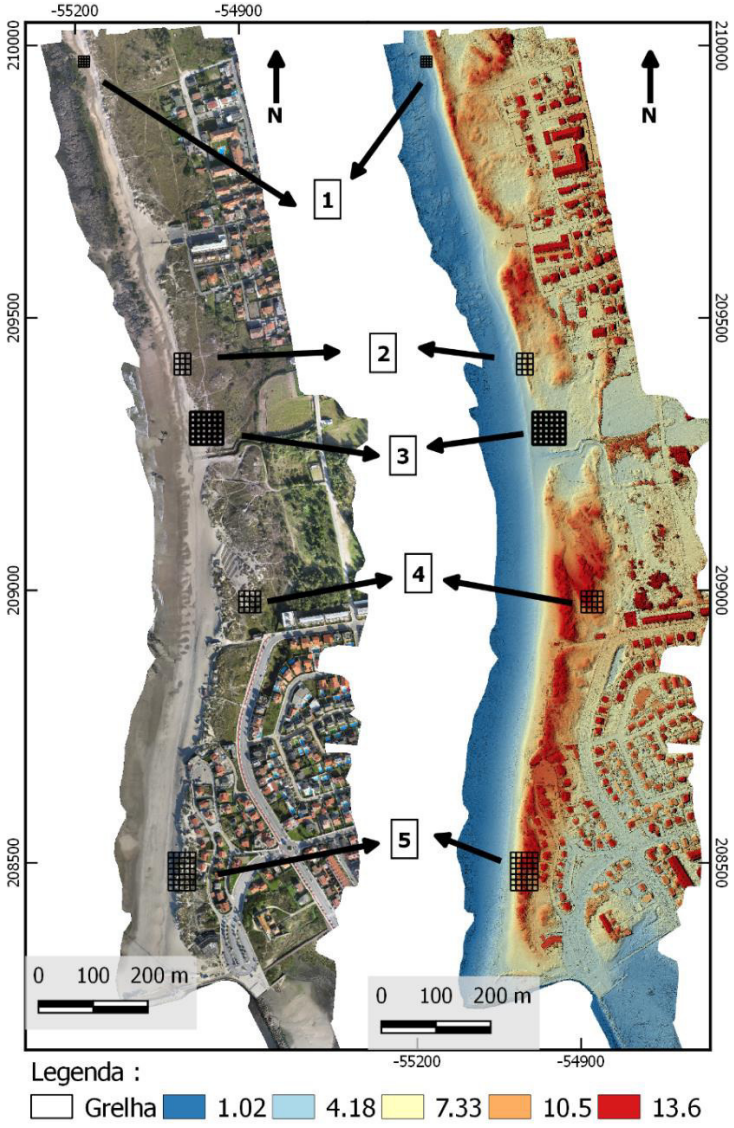


Figura 43- Localização das grelhas - sobrepostas sobre o Ortofotomapa e MDS criados a partir do levantamento realizados no dia 14 de novembro de 2016 - utilizadas no estudo do âmbito da evolução morfológica da praia de Cepães.

Grelha 1

A área referente a grelha 1, localiza-se no setor norte de Cepães e apresenta 400 m^2. Na figura 44 estão representados os MDS e Ortofotomapas dos levantamentos realizados relativamente a esta grelha. Do lado esquerdo para o direito estão representados os MDS e Ortofotomapas referentes ao primeiro, segundo e terceiro levantamentos, respetivamente.

Esta grelha, além de ser de pouca dimensão, foi desenhada para que seja possível observar a variação da posição dos seixos neste setor.

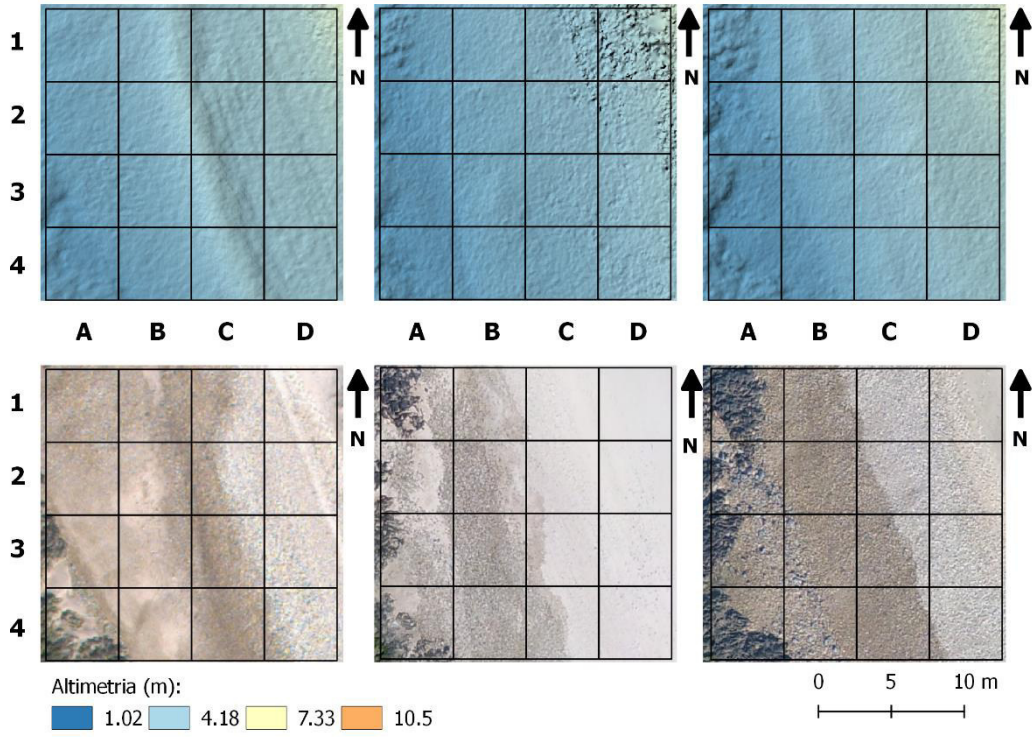


Figura 44- Evolução morfológica da grelha 1, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1°L – à esquerda; 2°L- no centro; 3°L- à direita.

No primeiro levantamento é possível distinguir as células B2, B3, A2 e A3 com cobertura sedimentar composta essencialmente por areia, enquanto que nas restantes células a praia é coberta por seixos, no Ortofotamapa referente ao segundo levantamento é visível a mobilidade dos seixos, estes ocupam na totalidade as células A e B, enquanto que nas células C e D a cobertura sedimentar é composta por areia. Pela comparação dos MDS é possível visualizar que houve movimento dos seixos da zona de praia alta para a baixa praia entre o primeiro e segundo levantamentos, e não apenas recobertura de areia para a alta praia. No terceiro e último levantamento, é possível observar uma recobertura de seixos nas células C e D (1,2,3 e 4), e uma maior exposição dos afloramentos presentes em A1, A2 e A3.

Grelha 2

A grelha 2 localiza-se no setor central da praia de Cepães e engloba cerca de 1200 m². Na figura 45 estão representados os MDS e Ortofotomapas dos levantamentos realizados relativamente a esta grelha. Do lado esquerdo para o direito estão representados os MDS e Ortofotomapas referentes ao primeiro, segundo e terceiro levantamentos, respetivamente.

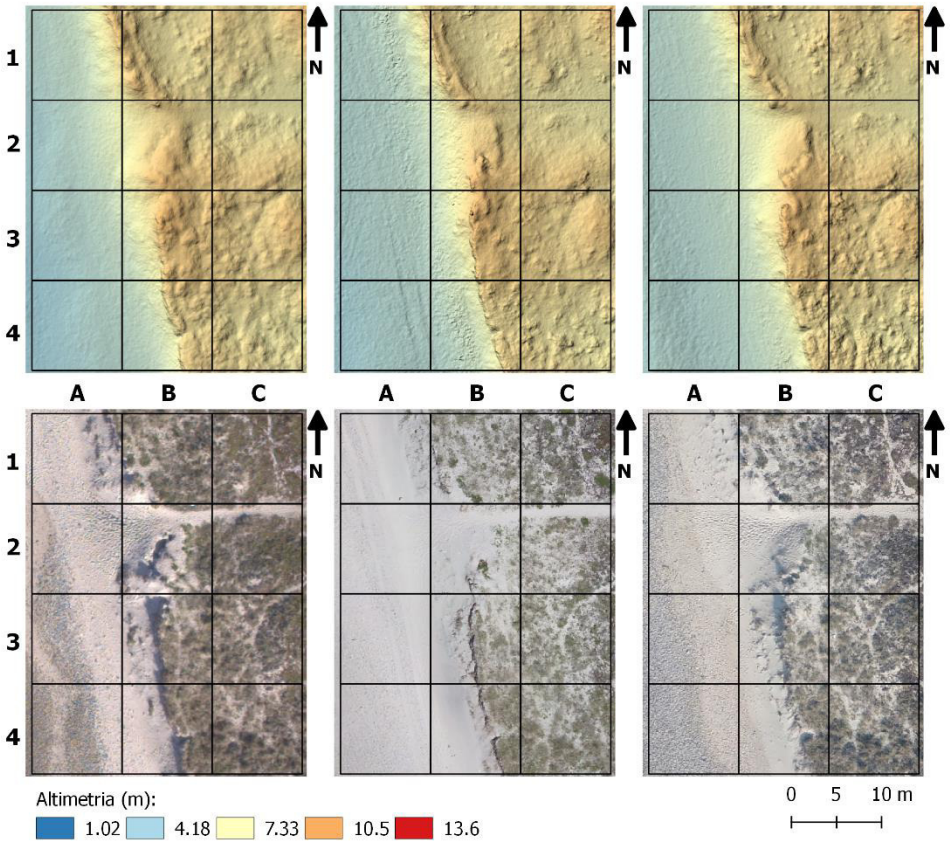


Figura 45- Evolução morfológica da grelha 2, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1°L – à esquerda; 2°L- no centro; 3°L- à direita.

Nesta grelha é possível destacar o recuo da arriba de erosão ao longo dos três levantamentos, este recuo é visível nas células B1, B2, B3 e B4. Também é de notar que a arriba de erosão torna-se, ao longo do tempo, mais linearizada, sendo este aspeto visível nas células B3 e B4. O recobrimento das zonas vegetadas com areia também é de destacar, visto que é mais acentuada nas zonas a sul do caminho pedestre existente nas células B2 e C2, este caminho pedestre permite ainda que os sedimentos sejam transportados com maior facilidade para o interior, servindo como corredor eólico. Na célula B2 há ainda grande desgaste da frente dunar.

Pela observação do MDS é possível observar maior contraste altimétrico entre o contacto arriba de erosão-berma da praia no segundo levantamento em comparação com os outros dois períodos analisados.

Grelha 3

A grelha 3 localiza-se no setor central do setor em estudo e apresenta 3600 m² de área. Na figura 46 estão representados os MDS e Ortofotomapas dos levantamentos realizados relativamente a esta grelha. Do topo para base da figura estão representados os MDS e Ortofotomapas referentes ao primeiro, segundo e terceiro levantamentos, respetivamente.

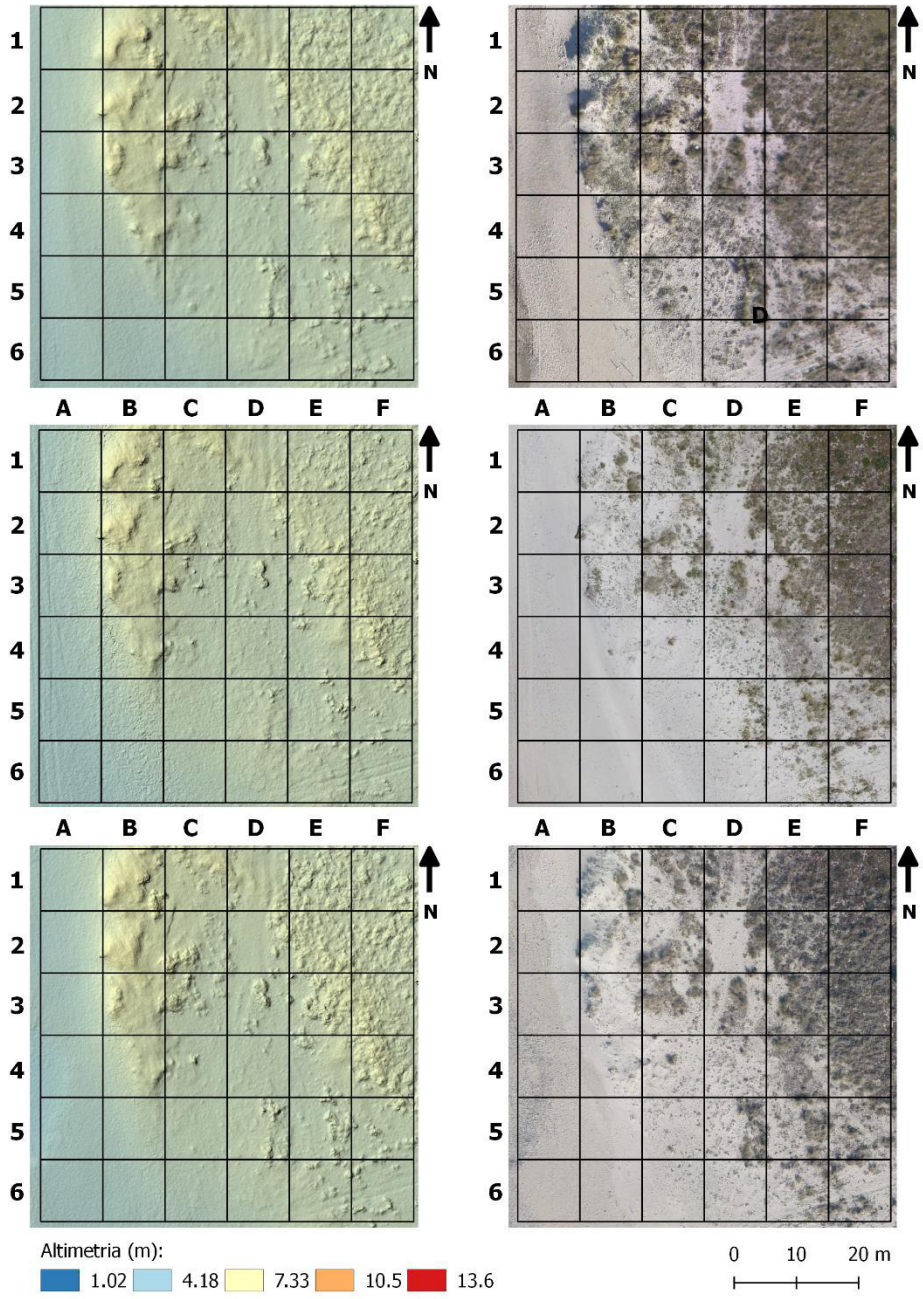


Figura 46- Evolução morfológica da grelha 3, com comparação dos MDS (à esquerda) e dos Ortofotomapas (à direita), ao longo dos três levantamentos realizados; 1°L – no topo; 2°L- no centro; 3°L- em baixo

A área desta grelha foi escolhida para dar especial destaque a invasão da areia para o interior. No primeiro levantamento é possível identificar uma arriba de erosão vegetada bem definida nas

células B1, B2, B3 e B4. No segundo e terceiro levantamentos, devido a ação do vento houve destruição desta arriba tornando todo o setor instável, o que provocou a invasão de areia para o interior.

Neste setor, e de modo preventivo, a colocação de paliçadas poderia ser benéfica para assim promover a retenção de sedimentos de modo a evitar ou retardar a invasão presente no local.

Grelha 4

A grelha 4 localiza-se no setor central da praia de Cepães e engloba cerca de 1600 m^2. Na figura 47 estão representados os MDS e Ortofotomapas dos levantamentos realizados relativamente a esta grelha. Do lado esquerdo para o direito estão representados os MDS e Ortofotomapas referentes ao primeiro, segundo e terceiro levantamentos, respetivamente.

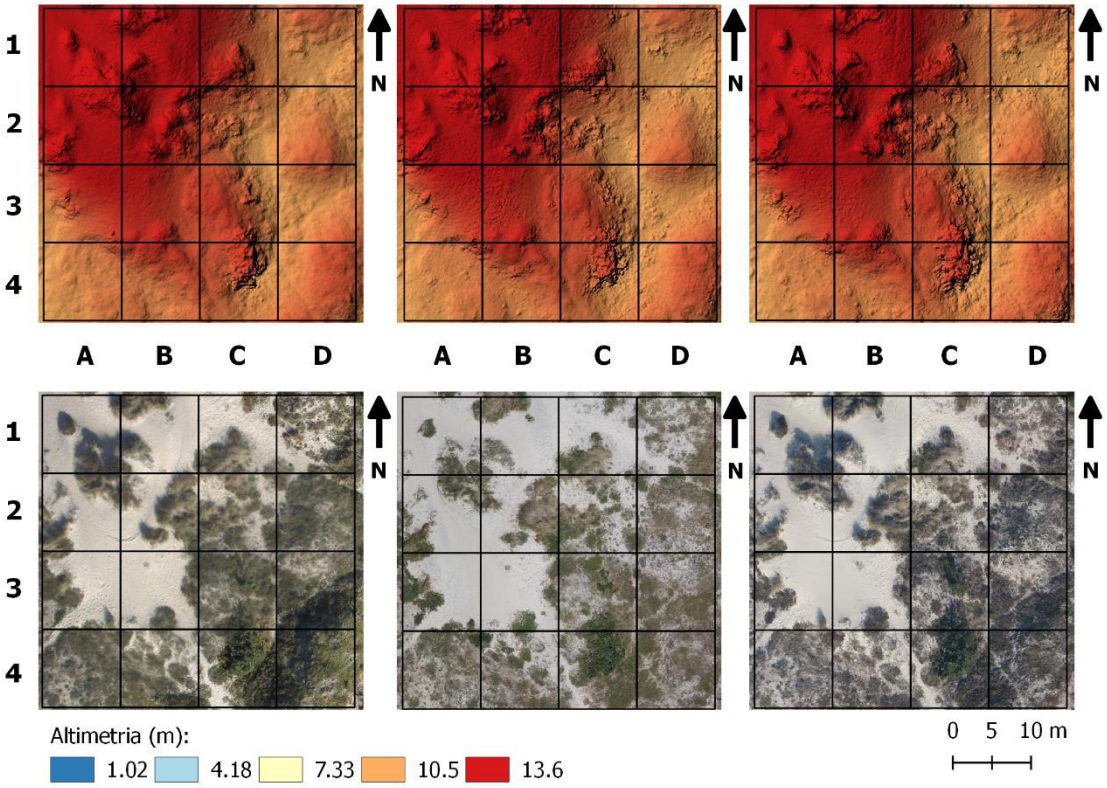


Figura 47- Evolução morfológica da grelha 4, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1°L – à esquerda; 2°L- no centro; 3°L- à direita.

Esta grelha, ao contrário das representadas anteriormente, não apresenta qualquer tipo de evolução. Esta área foi escolhida propositadamente por se localizar num setor, representado pelo polígono I, onde havia claramente grande invasão de areia para o interior, porém a colocação de paliçadas provocou a retenção de areia neste setor, tal como já foi referido anteriormente.

Os dados referentes à variação volúmica do polígono I indicam o incremento de areia no setor proximal à praia e pouca variação no setor mais distal. Assim, a grelha 4 foi desenhada para corroborar e fundamentar ainda mais este setor, observando todas as células desta grelha é possível notar a estabilidade deste setor. Dada a proximidade com habitações e vias de comunicação, esta estabilização do setor apresenta ainda maior importância.

Grelha 5

A grelha 5 localiza-se no setor central da praia de Cepães e engloba cerca de 3500 m^2. Na figura 48 estão representados os MDS e Ortofotomapas dos levantamentos realizados relativamente a esta grelha. Do lado esquerdo para o direito estão representados os MDS e Ortofotomapas referentes ao primeiro, segundo e terceiro levantamentos, respetivamente

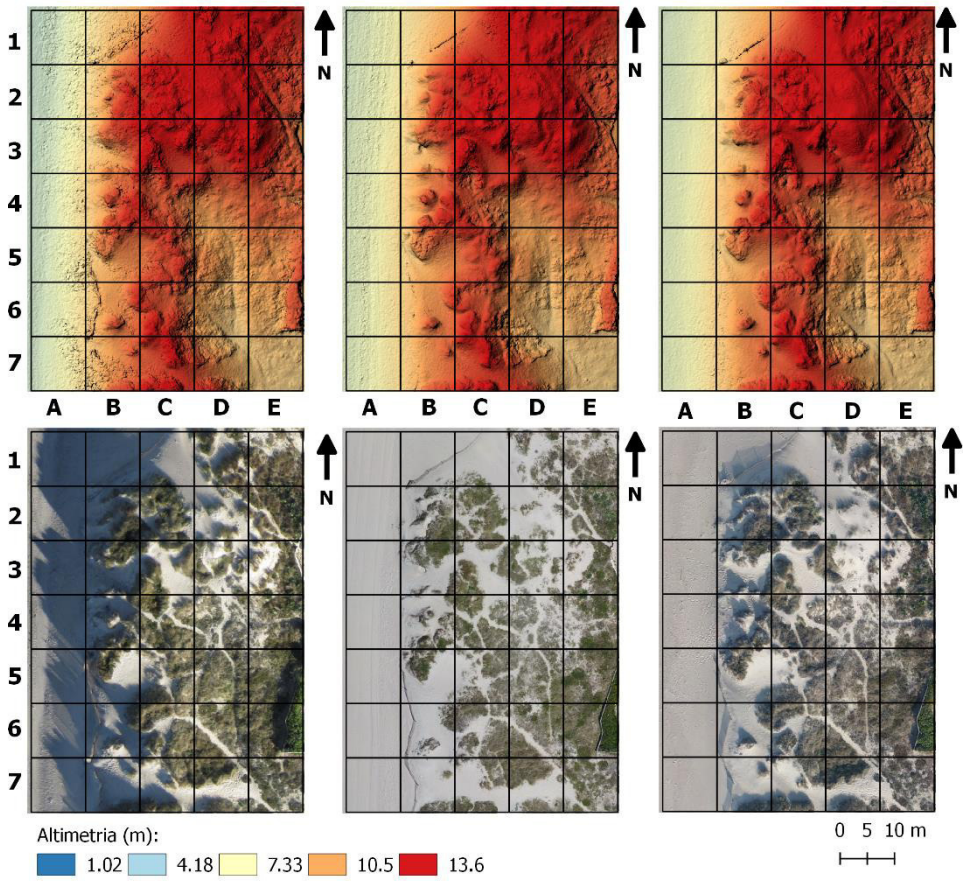


Figura 48-Evolução morfológica da grelha 5, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1°L – à esquerda; 2°L- no centro; 3°L- à direita.

Esta grelha foi desenhada numa área com paliçadas e fortemente vegetada, nas células C1 e D2 é possível observar a existência de uma língua de areia que, ao longo do tempo em estudo, não apresentou qualquer crescimento para o interior. A região dunar apresenta-se estável, muito por

influência da vegetação e das paliçadas presentes na parte frontal dunar que assim permitem proteger e reter a areia nesta área.

A partir dos Ortofotomapas é visível o preenchimento interdunar com areia, sobretudo entre o primeiro e segundo levantamentos.

4.1.1.4 Perfis topográficos

Os perfis ilustrados neste subcapítulo foram desenhados com o objetivo de obter uma análise mais completa e objetiva sobre a área em estudo. Foram definidos 7 perfis para o modelo referente á praia de Cepães. A posição relativa dos perfis referentes ao modelo de Cepães será ilustrada na figura 49.

Os perfis serão todos apresentados na mesma ordem, o superior correspondente ao perfil realizado no primeiro levantamento, no dia 14 de novembro de 2016, o perfil do meio é referente ao segundo levantamento, realizado no dia 09 de junho de 2017, enquanto que o perfil colocado em baixo é referente ao último levantamento, realizado no dia 17 de novembro de 2017.

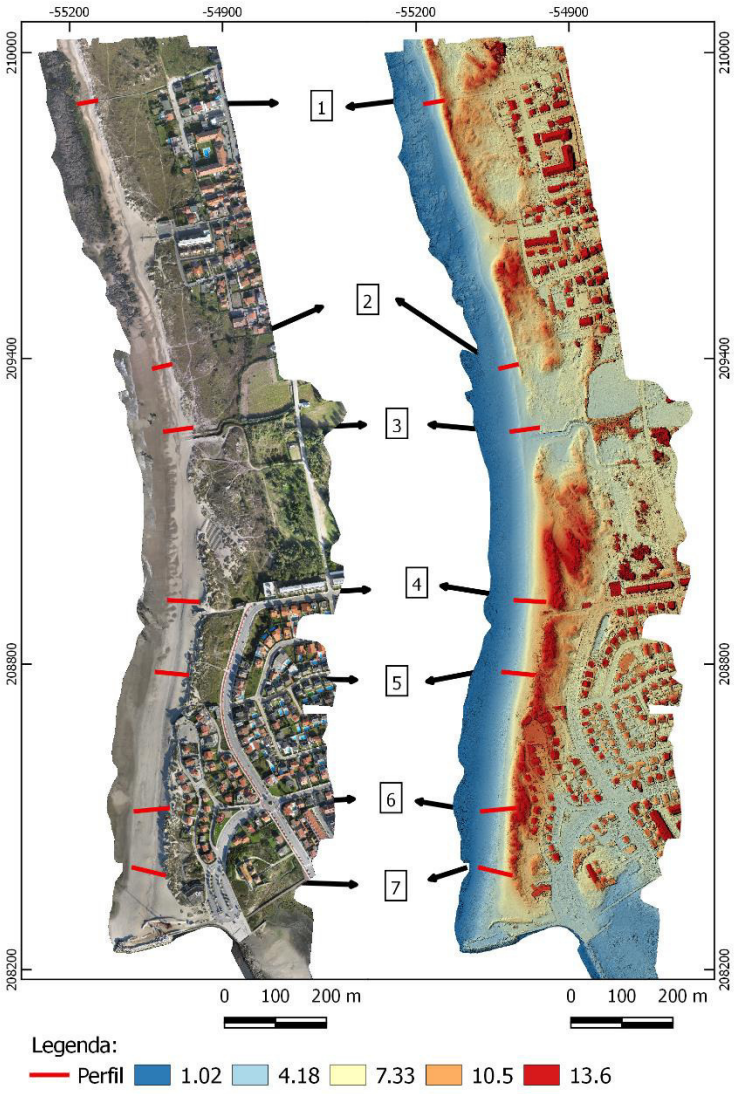


Figura 49- Localização relativa dos sete perfis desenhados para a praia de Cepães, à esquerda: Ortofotomapa, à direita: MDS com hillshade, modelos gerados a partir do levantamento realizado no dia 14 de novembro de 2016

Perfil 1

O perfil 1 localiza-se no setor norte e apresenta 35,3 metros de comprimento (figura 50). No perfil referente ao primeiro levantamento é possível destacar um patamar existente aos 15 metros, este patamar é constituído por seixos. Aos 22 metros há um aumento da inclinação onde a cobertura sedimentar é constituída por seixos e maioritariamente areia.

No segundo perfil toda a cobertura sedimentar é constituída, na sua maioria, por areia. O patamar existente no primeiro levantamento foi erodido pela ação marinha, tornando a praia com perfil plano, todavia aos 24 metros há um grande aumento da inclinação. É de notar o recuo desta arriba de erosão, e o perfil refletivo que se evidenciou assim neste setor da praia.

No último perfil é de salientar o regresso dos seixos, recobrindo assim a praia. No setor oeste há uma perda de sedimentos, enquanto que entre os 10 e 14 metros, e a partir dos 24 metros, há uma ligeira acumulação destes.

Entre o primeiro e último levantamentos, é de salientar a perda do patamar de seixos e a diminuição da inclinação entre os pontos extremos do perfil, assim a ondulação tem menor "atrito" durante a fase de espraiamento da onda, o que resulta numa menor energia a atuar neste setor.

Perfil 2

O perfil 2 localiza-se no setor central e apresenta 32,5 metros de comprimento (figura 51). No perfil referente ao primeiro levantamento é possível destacar um pequeno patamar, sobrelevado aos 20 metros que se depositou sobre outro, também constituído por seixos. Esta diferenciação de seixos poderá ter resultado de diferentes períodos de deposição.

Dos 0 aos 14 metros, a cobertura sedimentar é constituída essencialmente por areia, nesta baliza espacial a inclinação é maior em comparação á restante praia.

No segundo levantamento, praticamente toda a cobertura sedimentar é constituída por seixos. É de salientar a deposição existente a partir dos 16 metros, o que resultou na formação de apenas um patamar de maior dimensão, sendo este patamar localizado na praia alta. Entre os 0 e 18 metros houve assim uma diminuição da inclinação da praia.

No terceiro levantamento é de salientar o recuo do patamar da praia alta existente no período anterior.

Também é de notar a acumulação de seixos a entre os 18 metros e 24 metros, estes seixos poderão ter sido remobilizados a partir da praia baixa, onde parte da cobertura sedimentar,

anteriormente composta por seixos, é composta por areia à data deste levantamento. Esta dinâmica de seixos está intimamente ligada á capacidade da ondulação em movimentar os seixos.

Perfil 3

O perfil 3 localiza-se no setor central e apresenta 52,2 metros de comprimento (figura 52). No perfil referente ao primeiro levantamento é possível destacar um claro contraste entre perfis. Entre os 0 - 17 metros, a praia apresenta grande declive, neste setor a praia é composta, essencialmente, por areia. A partir dos 17 metros, a praia apresenta um perfil plano, formando assim um patamar evidenciado. Entre os 17-20 metros, a cobertura sedimentar é composta por seixos, enquanto que a partir dos 20 metros a cobertura da praia é apenas composta por areia.

No segundo levantamento é de notar a remobilização de sedimentos que anteriormente se concentravam entre os 15-22 metros, para o setor mais oeste do perfil. Este movimento de sedimentos provocou a alteração do perfil da praia, tornando o mesmo tendencialmente dissipativo, todavia no setor entre os 0-5 metros a inclinação aumentou devido, provavelmente, à contínua ação de rebentação das ondas.

No terceiro levantamento é possível destacar a existência de diferentes patamares com diferentes coberturas sedimentares. Há acumulação de seixos até aos 5 metros, entre os 7-17 o material sedimentar foi deslocado, já entre os 20 metros e 50 metros a praia manteve o mesmo perfil.

Do primeiro para o terceiro levantamento é possível destacar a formação dum patamar na zona da baixa praia, e a perda de material sedimentar no patamar da praia alta, muito provavelmente os sedimentos foram remobilizados entre estas zonas devido a ação marinha.

Perfil 4, 5 e 6

O perfil 4 localiza-se no setor central e apresenta 57 metros de comprimento (figura 53), enquanto que os perfis 5 e 6 localizam-se no setor sul e apresentam 59,2 metros e 64,7 metros (figura 54 e 55), respetivamente. Estes perfis foram desenhados com o intuído de ilustrar três setores onde a onda tem espaço para espraiar e assim dissipar a energia. Deste modo todos os perfis evidenciaram praias dissipativas.

No último levantamento do perfil número 4, é possível observar uma ligeira acumulação de sedimentos entre os 20 metros e 30 metros. Enquanto que no perfil 5, é possível visualizar uma ligeira remobilização de sedimentos entre o primeiro e terceiro levantamentos, ocorreu perda de sedimentos entre os 43-45 metros e um incremento de areia entre os 20-23 metros.

A cobertura sedimentar é essencialmente composta por areia.

Esta sequência de perfis foi também escolhida para assim ilustrar a evolução, de norte para sul, do perfil de praia deste setor. É possível identificar que desde o perfil 4 até ao 6 há um padrão evolutivo onde a praia tende a ficar mais plana, com o sucessivo recuo da interface entre a zona da baixa e alta praia, resultando numa menor diferenciação de patamares. Esta dinâmica é visível nos três levantamentos e segue o mesmo padrão nos três perfis de cada levantamento.

Perfil 7

O perfil 7 localiza-se no setor sul e apresenta 62,4 metros de comprimento (figura 56). No perfil referente ao primeiro levantamento é possível destacar que até aos 40 metros, a praia apresenta um perfil pouco inclinado, apresentado uma elevação inferior a 4 metros. Enquanto que entre os 40 metros e os 60 metros, a praia apresenta a mesma elevação aproximadamente.

No perfil referente ao segundo levantamento, a partir dos 40 metros a praia apresenta poucas alterações no seu perfil, todavia entre os 0-40 metros há um ligeiro acréscimo de sedimentos.

No último levantamento, há um incremento de sedimentos em todo o perfil de praia. É possível destacar ainda que até, aproximadamente, aos 22 metros a praia apresenta um perfil bastante linear devido á influência da ondulação, esta marca coincide com a linha de maré. Entre os 22 metros e os 43 metros, a acumulação de areia terá resultado da ação conjunta marinha e eólica, aos 43 metros regista-se a linha da última maré alta.

A acumulação presente neste setor da praia tem clara influência do esporão localizado a sul.

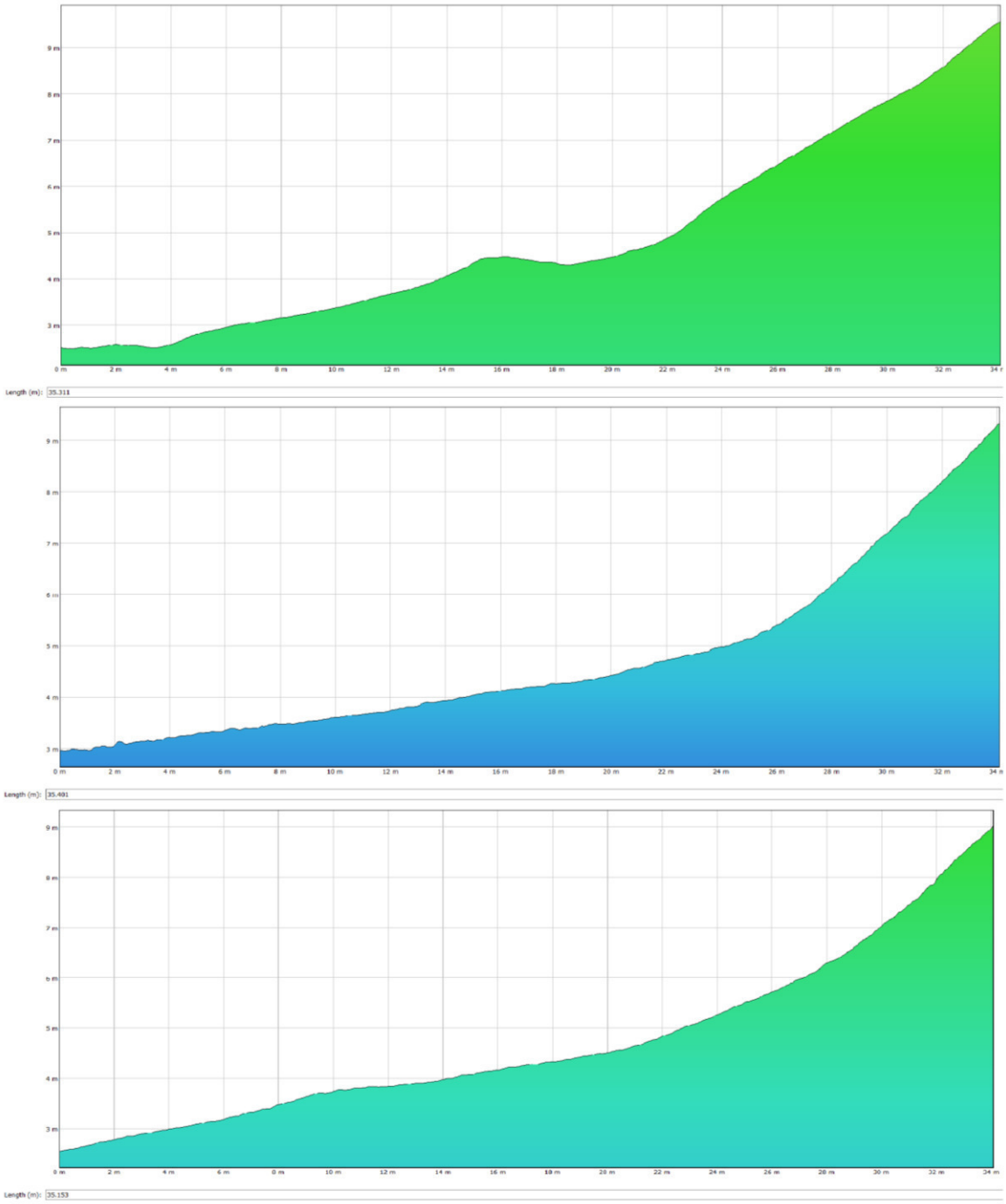


Figura 50- Perfil topográfico nº 1, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL.

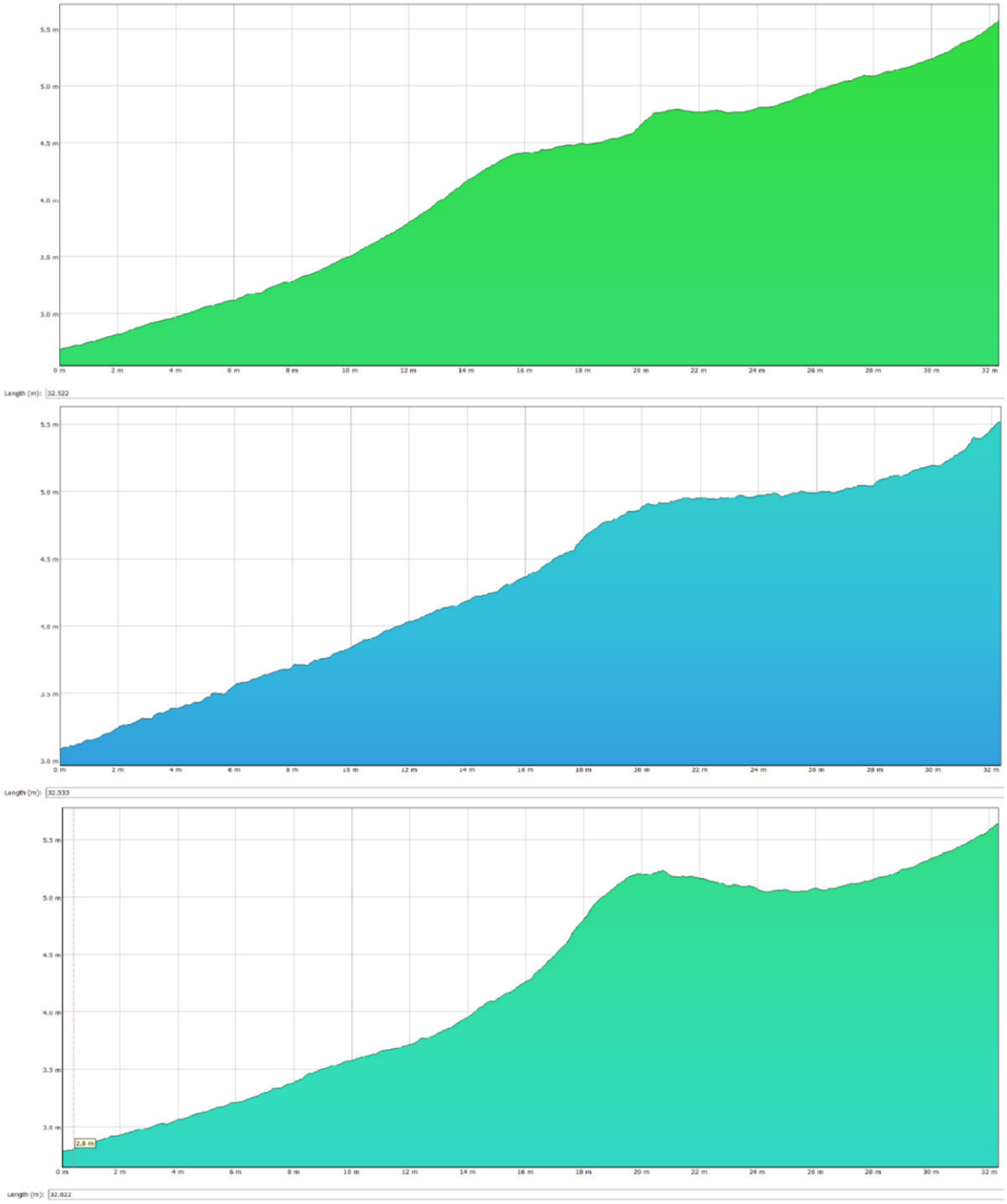


Figura 51- Perfil topográfico nº 2, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL.

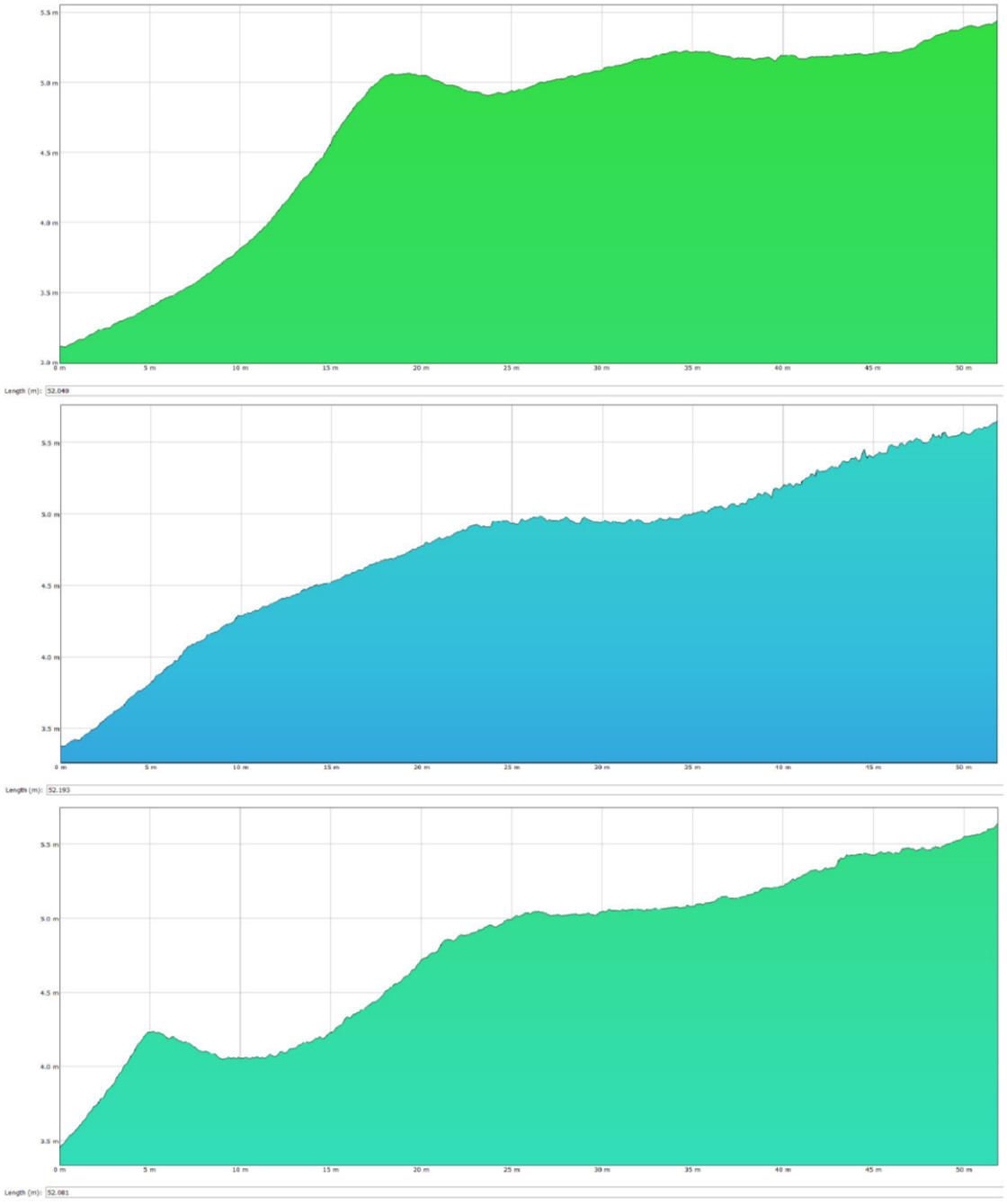


Figura 52- Perfil topográfico nº 3, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL.

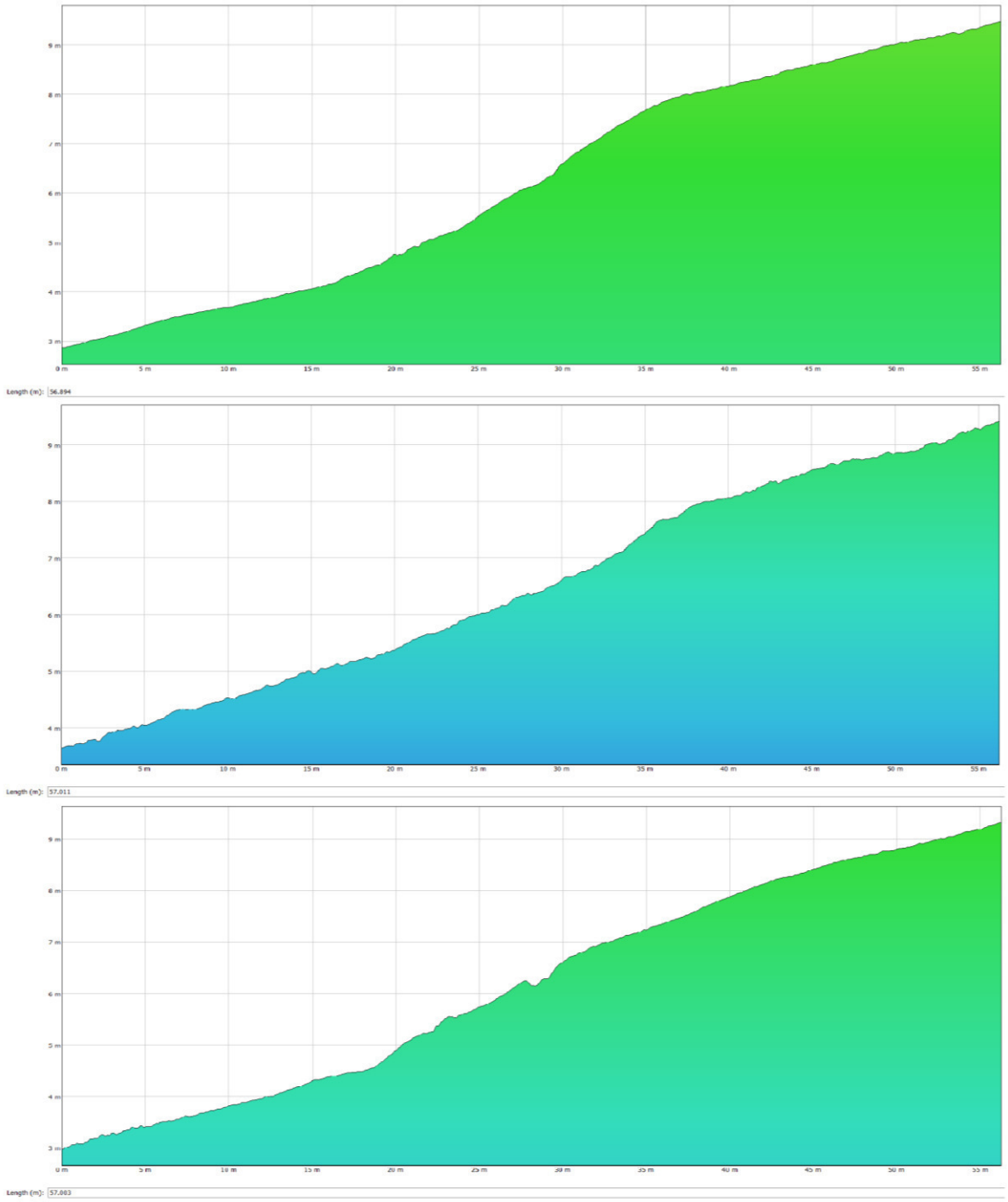


Figura 53- Perfil topográfico nº 4, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL.

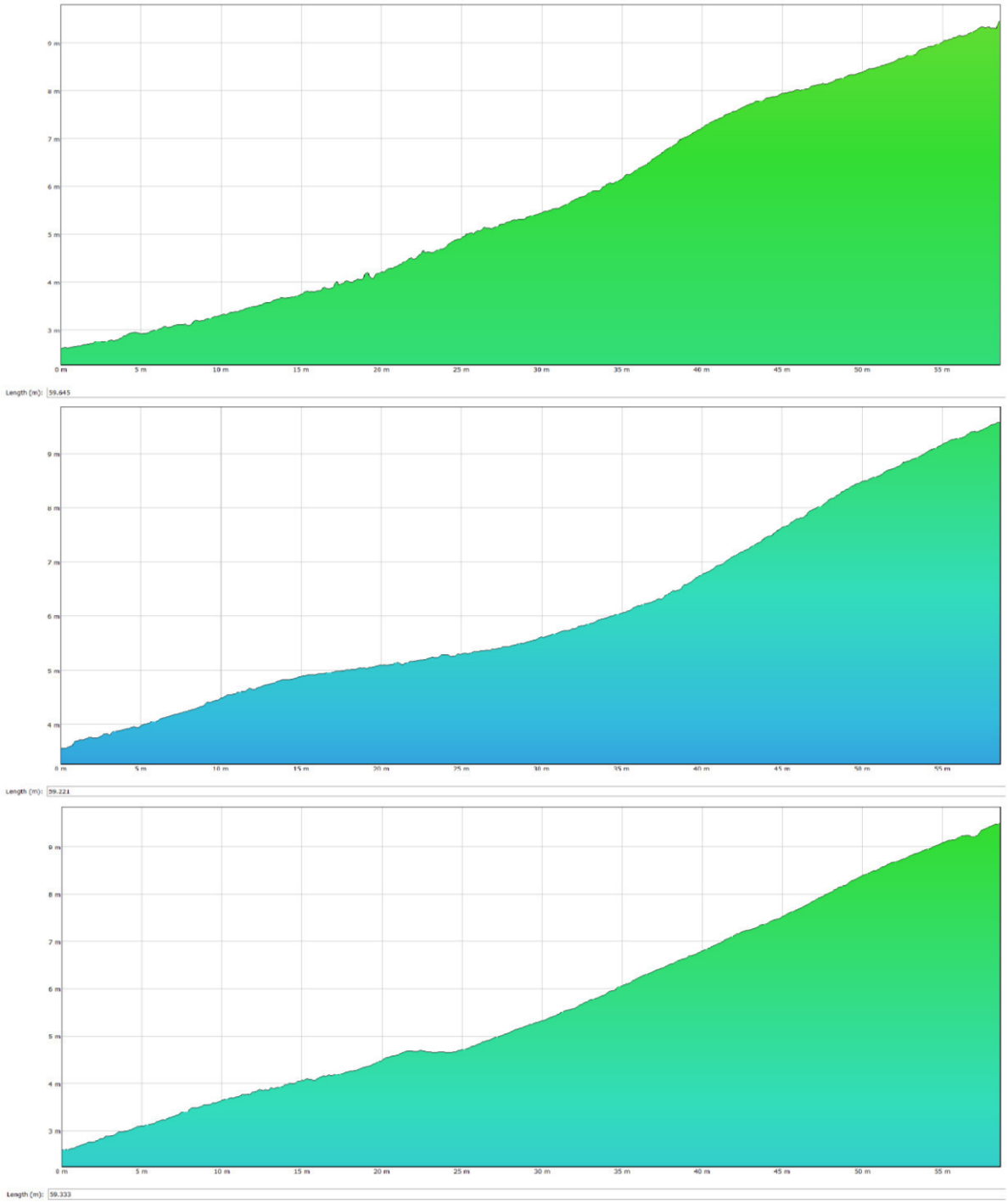


Figura 54- Perfil topográfico nº 5, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL.

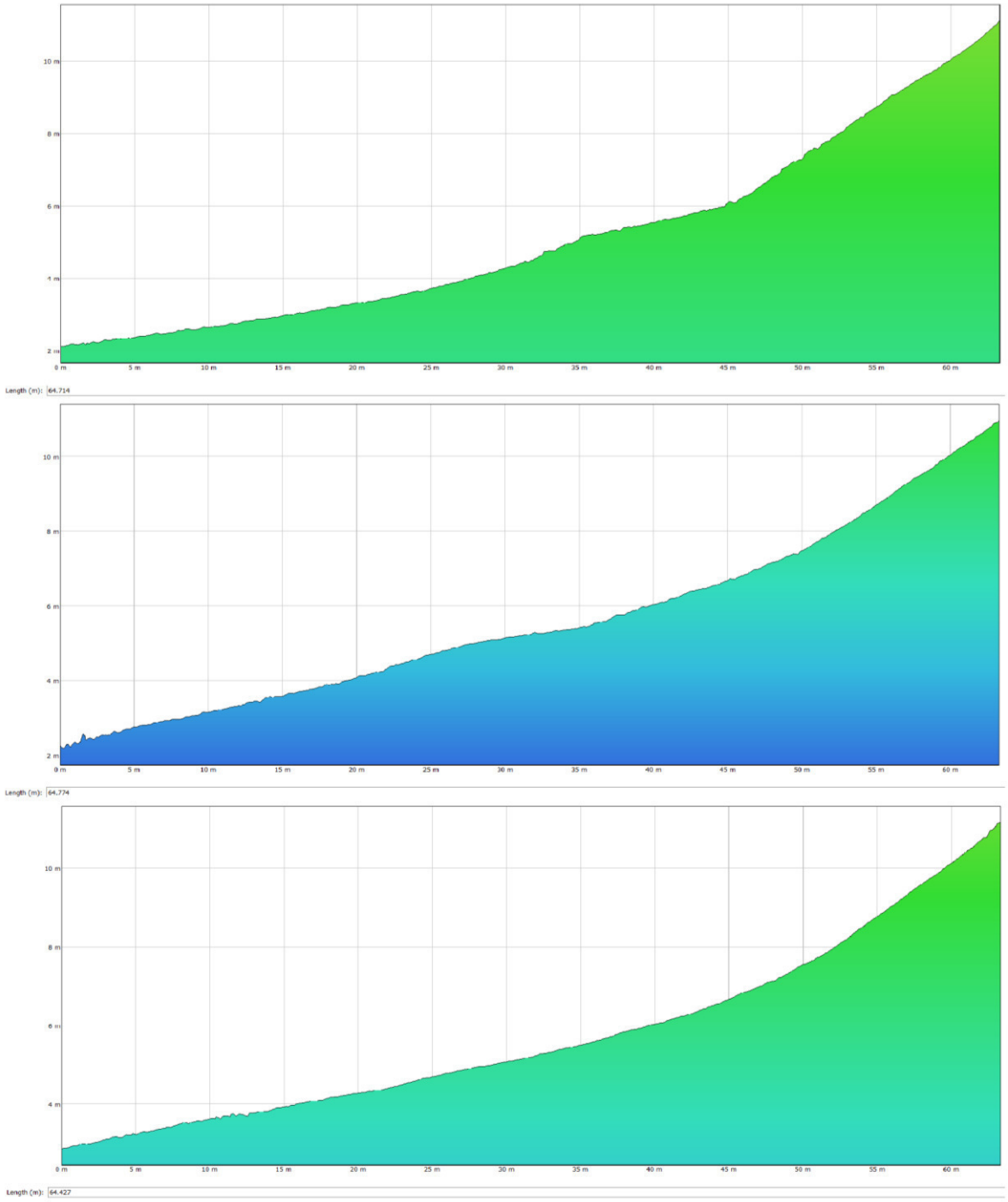


Figura 55- Perfil topográfico n° 6, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1°L; no centro: perfil referente ao 2°L; em baixo: perfil referente ao 3°L.

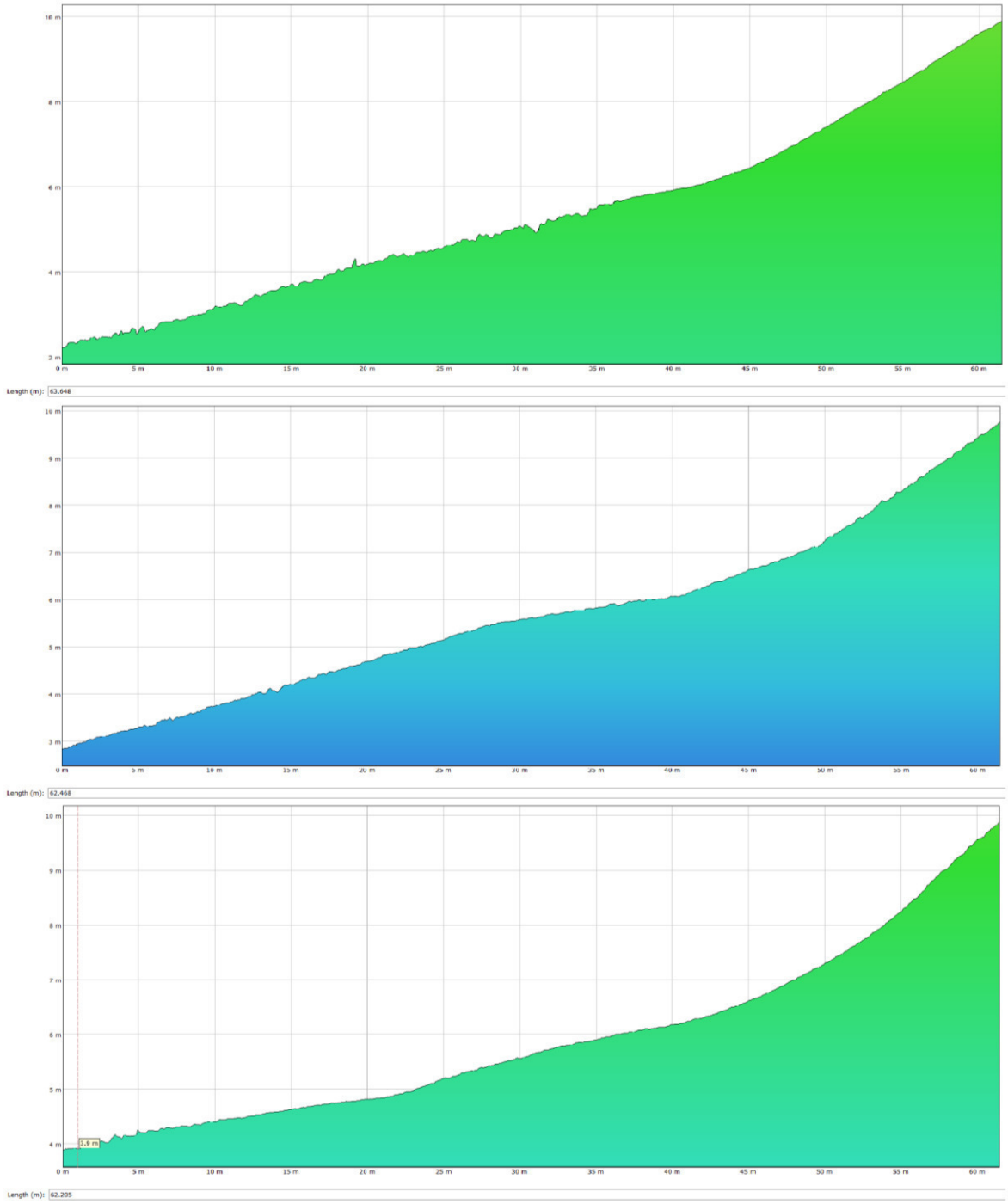


Figura 56- Perfil topográfico nº 7, desenhado sobre o modelo de Cepães com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL.

4.1.1.5 Linhas de vegetação

As linhas de vegetação do modelo de Cepães foram desenhadas com o intuito de alargar a informação obtida para este setor costeiro. Foram desenhadas as linhas de vegetação correspondentes ao primeiro e terceiro levantamentos realizados, a 11 de novembro de 2016 e 17 de novembro de 2017, respetivamente. Na figura 57 é possível identificar à esquerda o Ortofotomapa relativo ao primeiro levantamento, à direita o Ortofotomapa relativo ao terceiro levantamento, com as respetivas linhas de vegetação. À esquerda da figura 58 será ilustrado o mapa de variação altimétrica entre estes levantamentos com as linhas de vegetação, enquanto que à direita é possível identificar os limites de ampliação que serão destacados na figura 59.



Figura 57- Ortofotomapas da praia de Cepães relativos ao 1ºL (à esquerda) e 3ºL (á direita) com as respetivas linhas de vegetação desenhadas com diferentes cores.

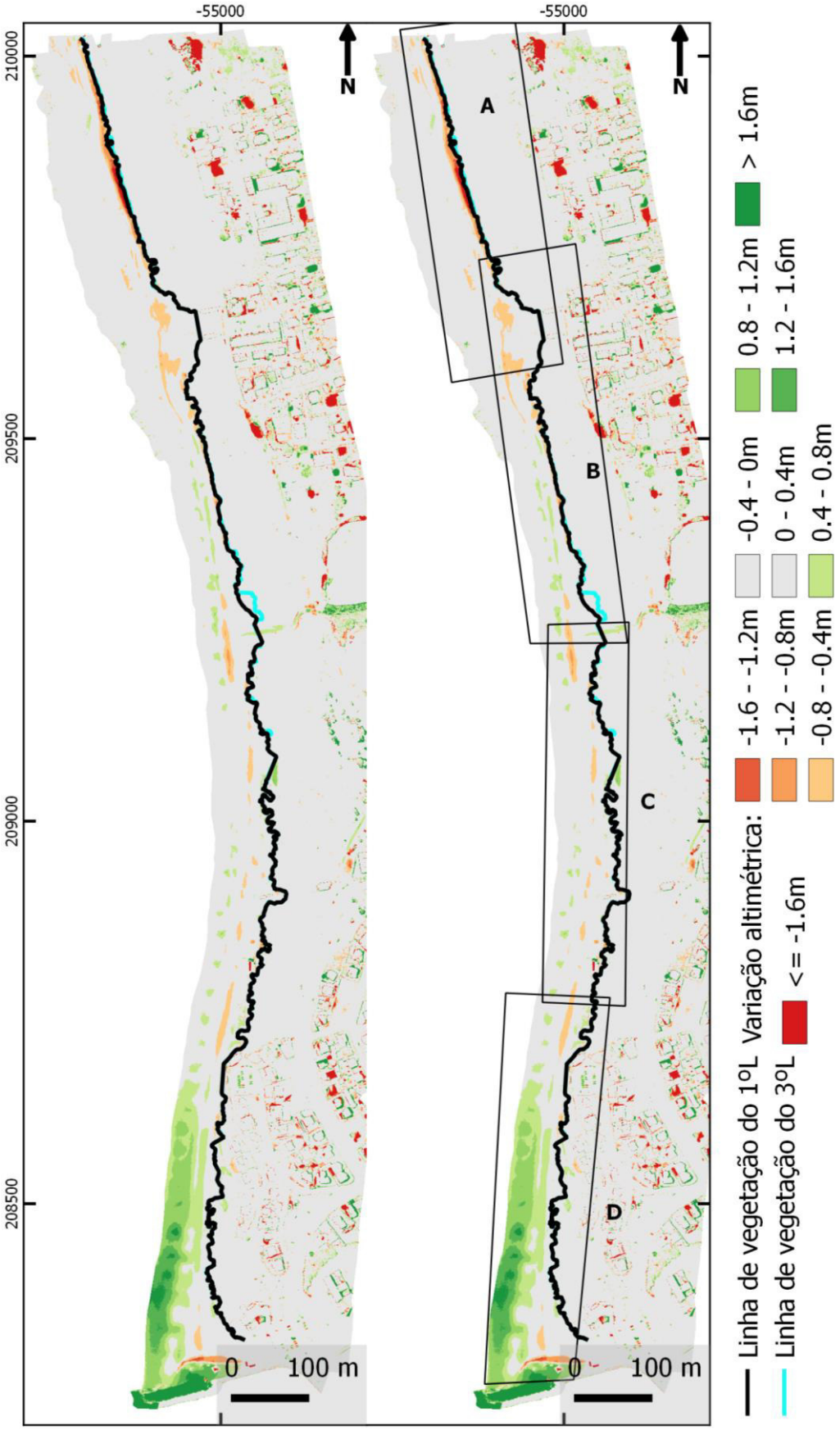


Figura 58- Mapas de variação altimétrica com a sobreposição das linhas de vegetação correspondentes ao 1º e 3º levantamentos para o setor de Cepães, à direta sobreposição das áreas de ampliação.

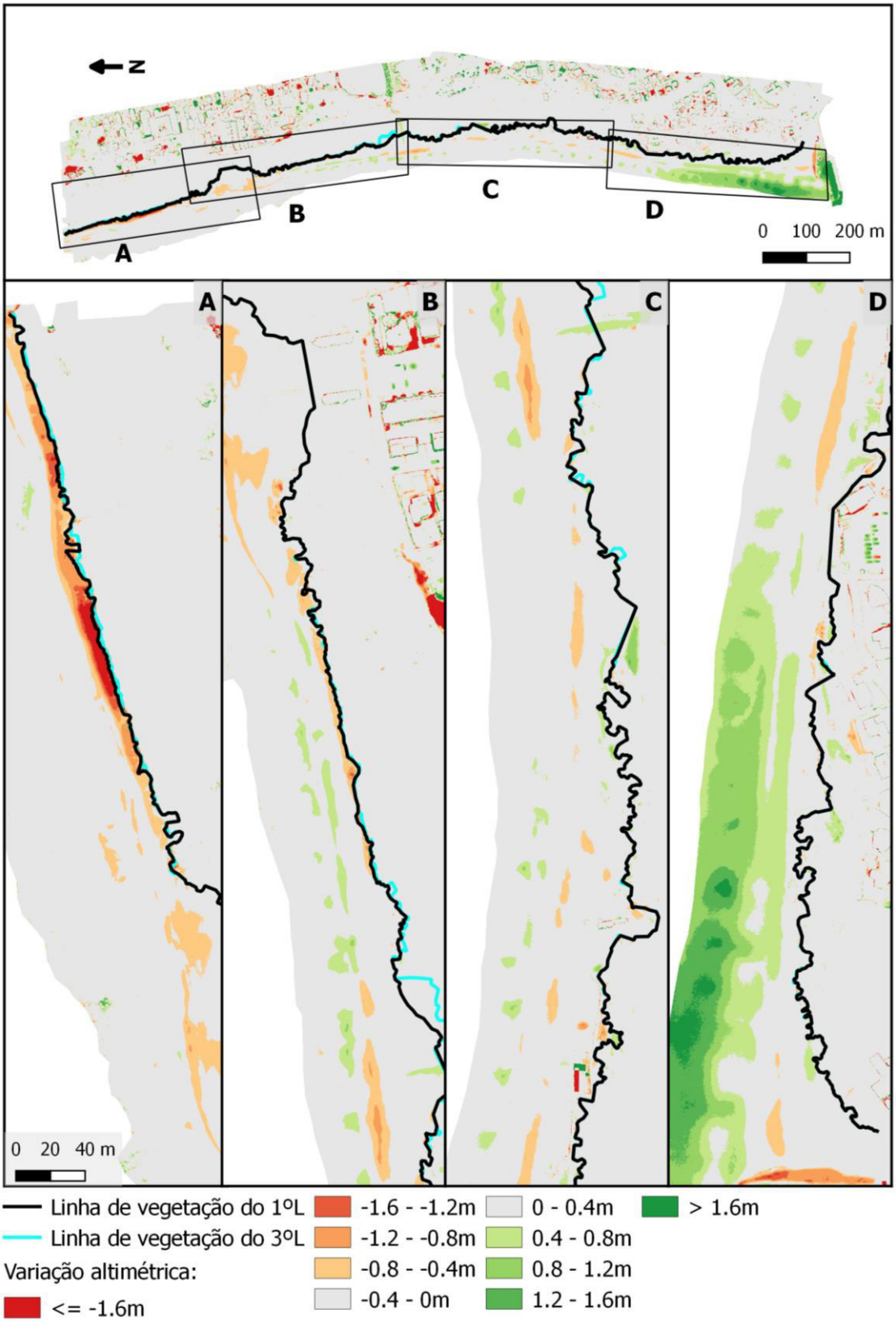


Figura 59- Ampliação da praia de Cepães em quatro setores (A, B, C e D) de modo a visualizar com maior rigor a variação das linhas de vegetação entre o 1ºL e 3ºL sobrepostas sobre o mapa de variação altimétrico.

A análise relativa ás taxas de variação da linha de vegetação serão apenas pontuais, assim serão salientados alguns locais de maior importância, tais como:

No setor mais a norte do polígono A, na zona onde a variação altimétrica apresenta valores mais significativos entre -1,6m e -1,2m, é possível medir, através do Qgis, um recuo da linha de vegetação (LV) em aproximadamente 2,6 metros (figura 60)

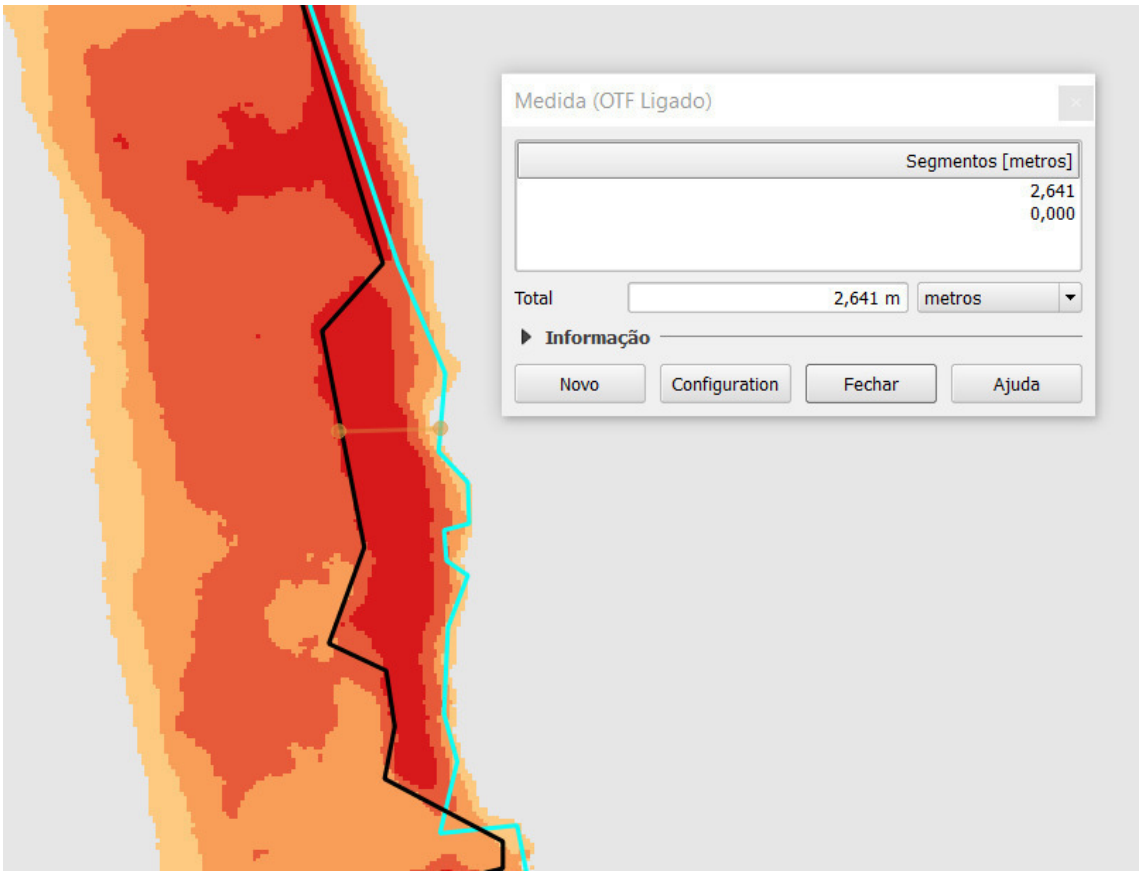


Figura 60- Captura de imagem do ambiente de trabalho do Qgis com a utilização da ferramenta de medição do mesmo programa entre as linhas de vegetação referentes ao 1°L e 3°L, sobre o mapa de variação altimétrica.

No mesmo polígono, na mancha encarnada de maior dimensão, é possível medir recuos entre 1 metros e 2,4 metros.

No setor sul do polígono B, é possível observar um grande recuo da linha de vegetação, este recuo, com valores entre 6 metros e 17 metros, poderá ter tido origem com um ou vários momentos de tempestade, onde o mar galgou nesta zona e consequentemente provocou a destruição de zonas verdes.

Na área referente ao polígono C é possível observar alguns setores onde a LV recuou ligeiramente, porém estes recuos apresentam-se com carácter pontual, na sua grande parte fruto da perda de pequenas massas vegetadas.

Nos setores dos polígonos C e D, é possível notar a pouca variação das linhas de vegetação entre ambos os levantamentos, esta pouca variação poderá ser consequência do grande número de paliçadas presentes neste setor da praia, à menor quantidade de caminhos resultantes de pisoteio, e por último à presença do esporão que permitiu que a praia sofresse acumulação de areia, principalmente no polígono D.

Em suma, o setor norte da praia de Cepães apresenta mais locais onde é evidente o recuo da linha de vegetação numa escala maior, no polígono A é possível observar que o recuo da LV é acompanhado por perda sedimentar na zona adjacente da praia, o que será consequência de vários períodos onde o mar foi descalçando aquele setor. Enquanto que na área do polígono B, o recuo da LV aconteceu, provavelmente, devido a um ou vários momentos de galgamento.

4.1.1.6 Síntese de resultados

Para o setor de Cepães, obtiveram-se três MDS e três Ortofotomapas de elevada qualidade. Os baixos erros obtidos garantiram que todos os dados obtidos a partir destes tenham precisão. Assim, com o intuito de obter o máximo de informação possível sobre este setor definiram-se, a partir dos MDS e Ortofotomapas sete perfis topográficos, cinco grelhas e catorze polígonos.

Relativamente á informação obtida através da análise dos volumes medidos, referentes ao primeiro e segundo levantamentos, é possível observar que todo o setor de praia, exceto a área mais a norte referente aos polígonos M e N, apresentam variação positiva de volume. A perda registada no setor norte foi mais intensa na interface berma de praia-duna.

Entre o segundo e terceiro levantamentos, a área de influência do esporão foi bem menor, onde apenas os polígonos A e B apresentaram variação positiva naquele setor. O setor central composto pelos polígonos D, F, H apresentaram grande perda sedimentar, enquanto que o setor norte não apresentou grande alteração volúmica.

Entre o primeiro e último levantamentos é possível observar que o setor central mostrou alguma estabilidade, porém é o setor mais sensível ás mudanças sazonais. As perdas registadas no setor sul foram essencialmente localizadas na interface berma da praia-duna, o que permite deduzir

que este setor poderá estar em recuo. Ainda é possível destacar a importância do esporão, oferecendo assim a este setor a capacidade de reter sedimentos.

As áreas protegidas pelas paliçadas, representadas pelos polígonos C e I, apresentaram acumulação de sedimentos, principalmente entre junho e novembro de 2017.

É possível concluir ainda que os polígonos desenhados sobre as zonas vegetadas não ofereceram grande tipo de informação no âmbito deste trabalho, pois além de apresentarem variações volúmicas, não é possível identificar com certeza e rigor as razões das mesmas.

A grande variedade de dados obtidos através desta metodologia permite ainda cruzar toda a informação e assim obter algumas ilações mais fundamentas sobre este setor da costa.

O incremento de sedimentos presentes no polígono A coincide com a informação obtida a partir do perfil número 7, havendo assim um aumento de volume sedimentar muito provavelmente devido á ação marinha, em conjunto com ação eólica, onde o esporão teve um papel importante nesta retenção.

O grande aumento de volume sedimentar no polígono B entre o primeiro e segundo levantamentos foi corroborado pela diferença registada, entre o mesmo período, no perfil 6.

E por último, destaca-se a perda volúmica registada entre o primeiro e terceiro levantamentos no polígono N, observando o mapa de variação altimétrico é possível observar onde esta perda ocorreu com maior intensidade, já no perfil número 1 esta informação é corroborada e pormenorizada. Este perfil foi realizado neste setor, pois além da boa informação obtida através do mapa de variação altimétrico, esta depende do balizamento de valores colocados como referência, assim com o perfil é possível obter informação mais fina. Todavia, o perfil segue a topografia da direção da linha, o que torna este método mais circunscrito dando assim informação muito local. Com isto, a escolha entre estes dois métodos dependerá do tipo de informação que se pretenda obter, a utilização de ambos trás mais e melhor informação visto que são dados complementares.

4.1.2 Praia de Belinho e Fieiro Alto

Para as praias de Belinho e Fieiro Alto, obteve-se no total três Modelos Digitais de Superfície e três Ortofotomapas, estes são resultado de cada levantamento realizado nestas praias. Com o intuito de medir volumes, foram criados diversos polígonos na área de estudo, estes são transversais aos três modelos o que permite comparar os resultados obtidos, estes dados serão apresentados sob a forma de tabela. Foram ainda realizados sete perfis com a ajuda do PhotoScan com o intuito de obter um maior leque de informação relativa a este setor da costa. As linhas de vegetação foram desenhadas sobre os Ortofotomapas gerados através do primeiro e terceiro levantamentos realizados.

4.1.2.1 Modelos Digitais de Superfície e Ortofotomapas

Os MDS e Ortofotomapas de seguida apresentados estarão dispostos pela ordem de levantamento, ou seja, do mais antigo para o mais recente. Os MDS e Ortofotomapas irão ser apresentados em conjunto pela ordem atrás referida. Estes elementos, serão apresentados com a respetiva escala gráfica. De modo a ilustrar os perfis e os polígonos desenhados com o âmbito de medir e comparar as variações registadas, será usado o MDS e Ortofotomapa referente ao primeiro levantamento, realizado em 2016. Na tabela 6 estão representadas as especificações técnicas dos MDS, Ortofotomapa e pontos de controlo de terreno de cada levantamento realizado para este setor da costa.

Tabela 6- Especificações técnicas dos Ortofotomapas, MDS e pontos de controlo relativos as praias de Belinho e Fieiro Alto.

Levantamento	Ortofotomapa	Modelo Digital de Superfície		GCP					CRS
	DAS | Resolução (cm / px) | (px x px)		Densidade de pontos (pontos / m²)	Numero de pontos	Erro				ETRS89 / Portugal TM06 (EPSG:3763)
					x (cm)	Y (cm)	Z (cm)	pixel	
14/11/2016	5.21 | 15383 x 64934	5.21 | 24891 x 90316	368	10	1.431	2.204	0.860	0.649	
09/06/2017	4.01 | 19988 x 87626	4.01 | 33611 x 122418	621	10	3.411	0.964	0.368	1.013	
17/11/2017	3.72 | 21458 x 94420	3.72 | 35008 x 129344	724	10	0.751	0.143	1.100	0.005	

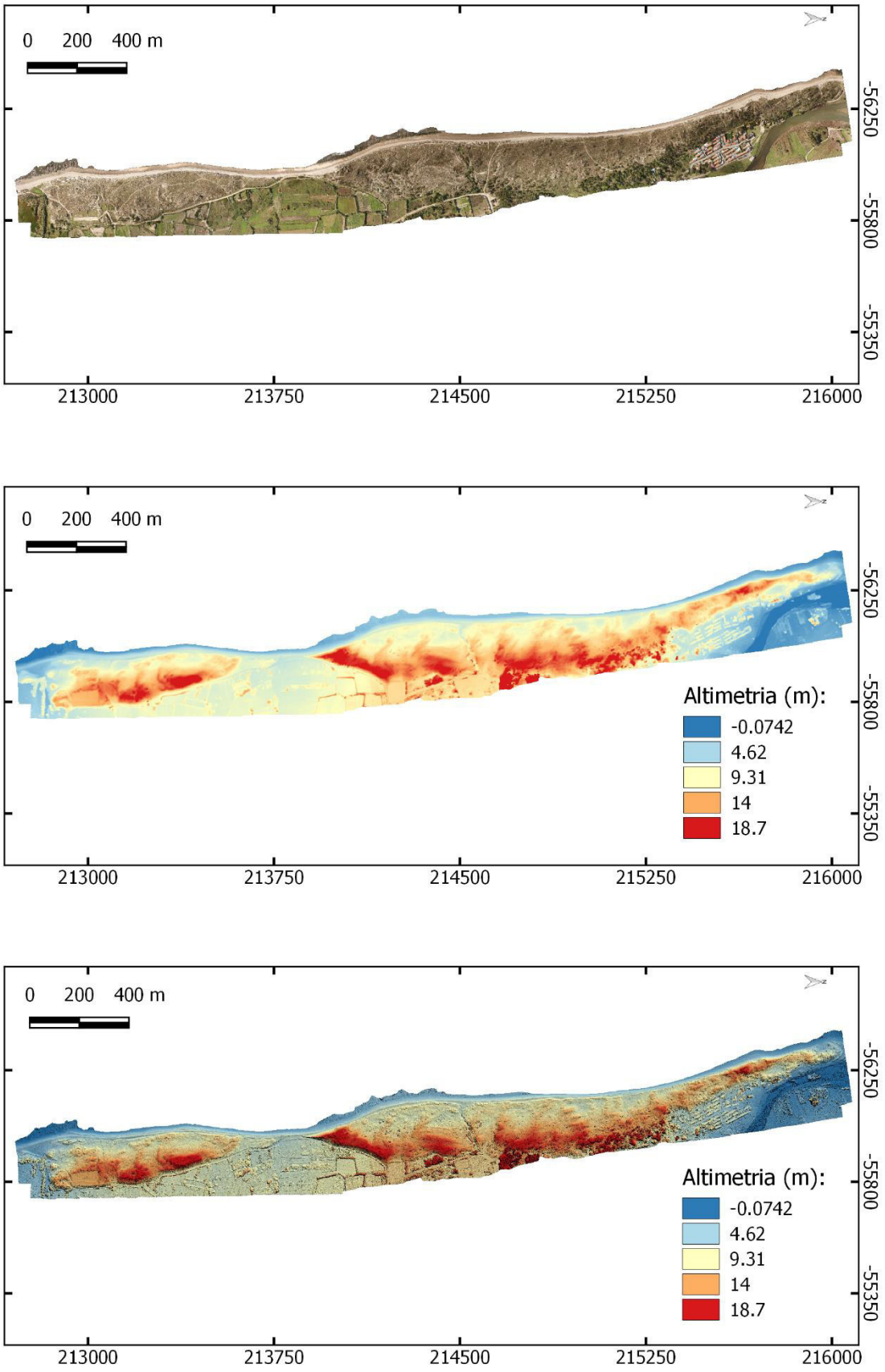


Figura 61- Esquema superior – Ortofotomapa: Esquema central- MDS; Esquema inferior – MDS com Hillshade, referentes ao levantamento realizado no dia 14 de novembro de 2016 sobre as praias de Belinho e Fieiro Alto

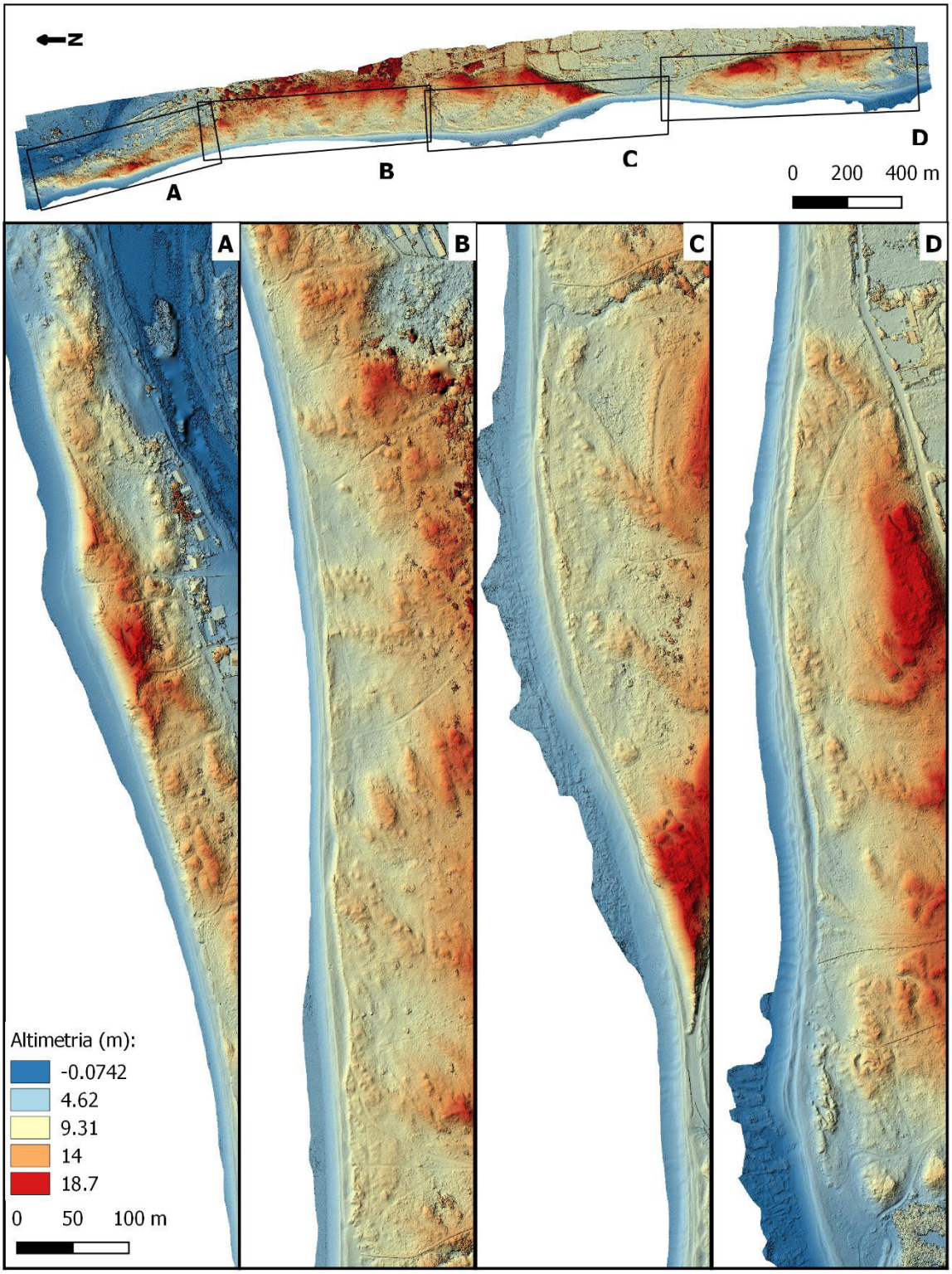


Figura 62-Modelo Digital de Superfície com Hillshade referente ao levantamento realizado no dia 14 de novembro de 2016, ampliado em quatro polígonos (A, B, C e D).

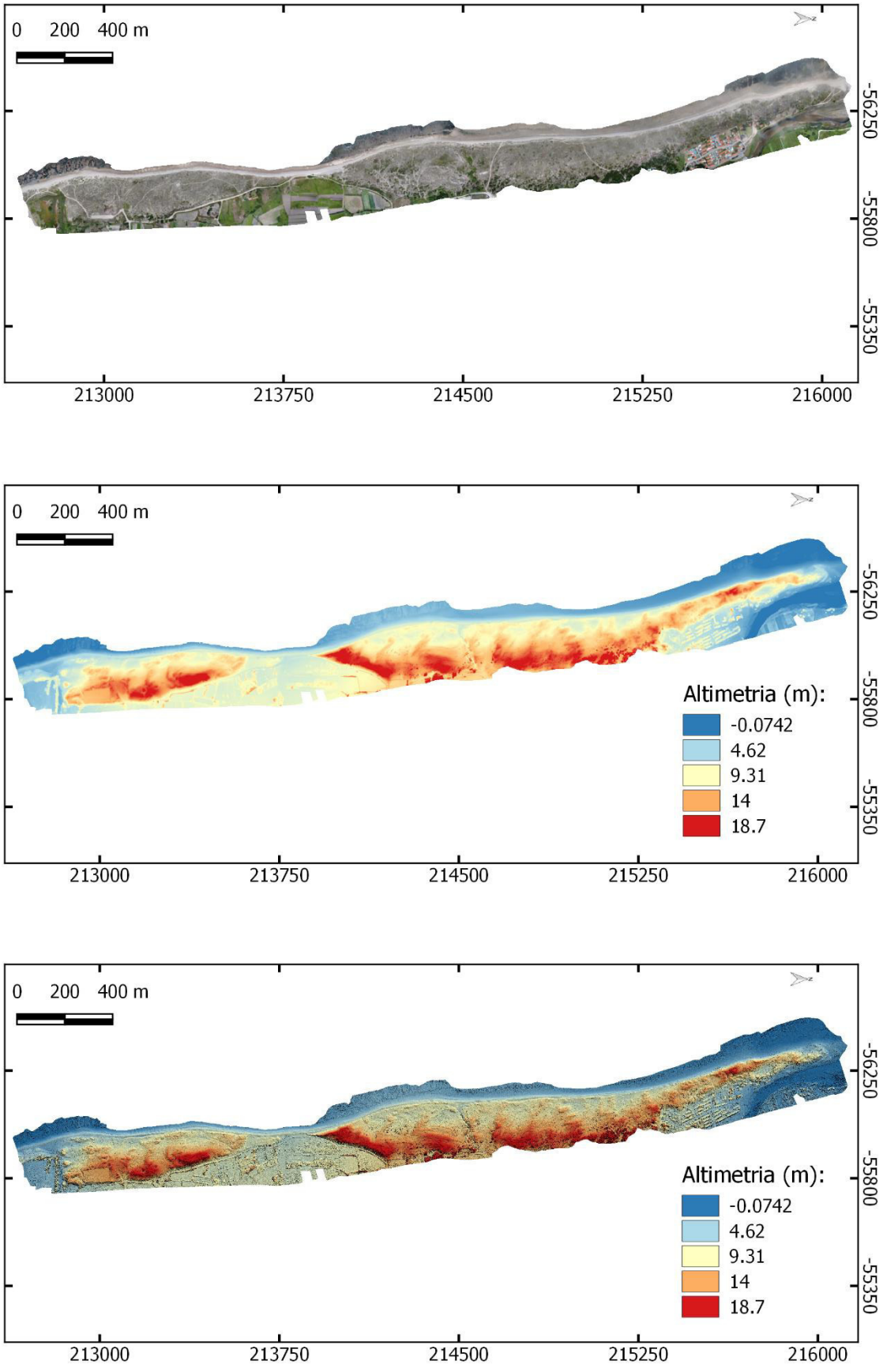


Figura 63- Esquema superior – Ortofotomapa: Esquema central- MDS; Esquema inferior – MDS com Hillshade, referentes ao levantamento realizado no dia 09 de junho de 2017 sobre as praias de Belinho e Fieiro Alto

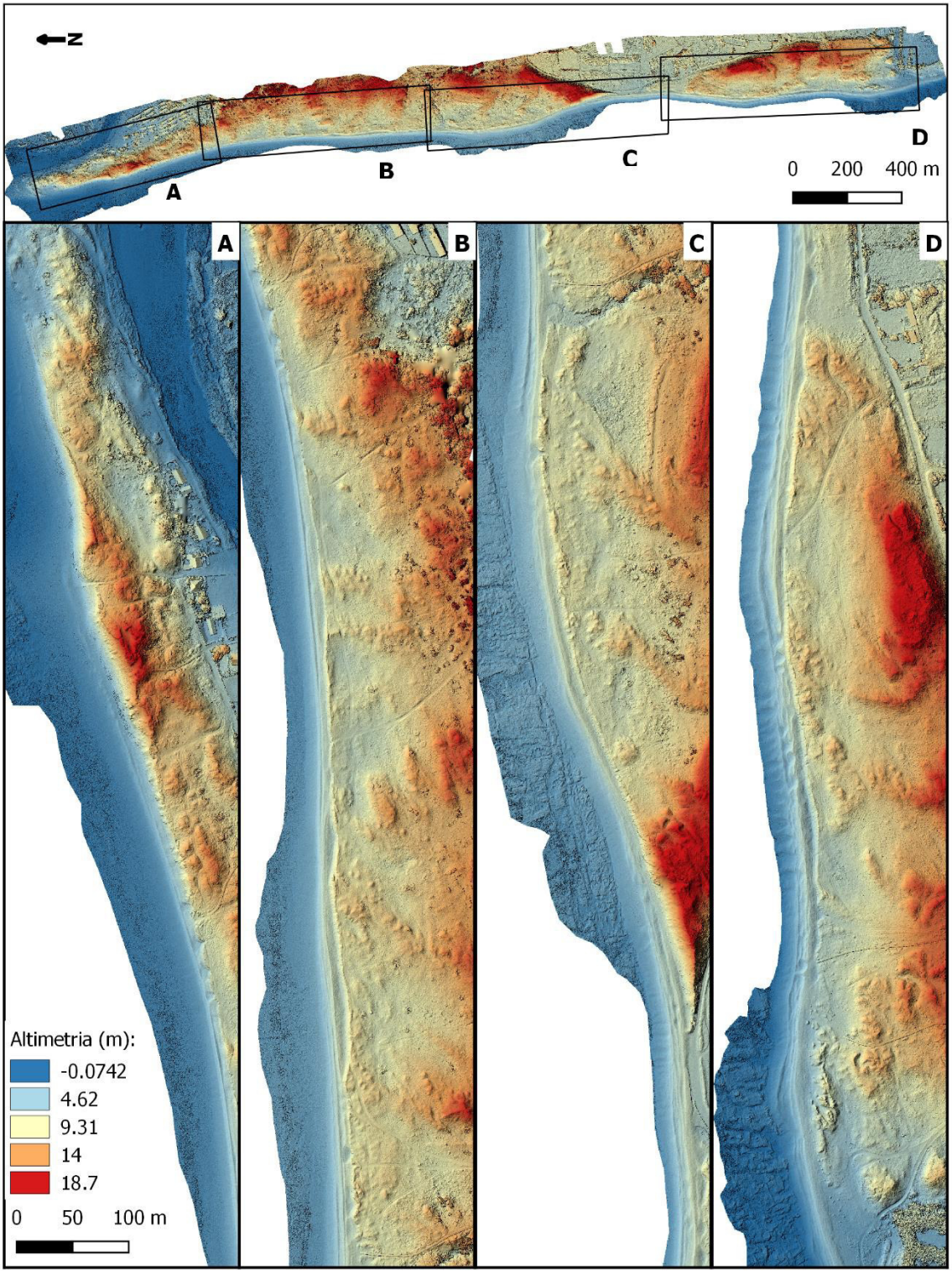


Figura 64- Modelo Digital de Superfície com Hillshade referente ao levantamento realizado no dia 09 de junho de 2017, ampliado em quatro polígonos (A, B, C e D).

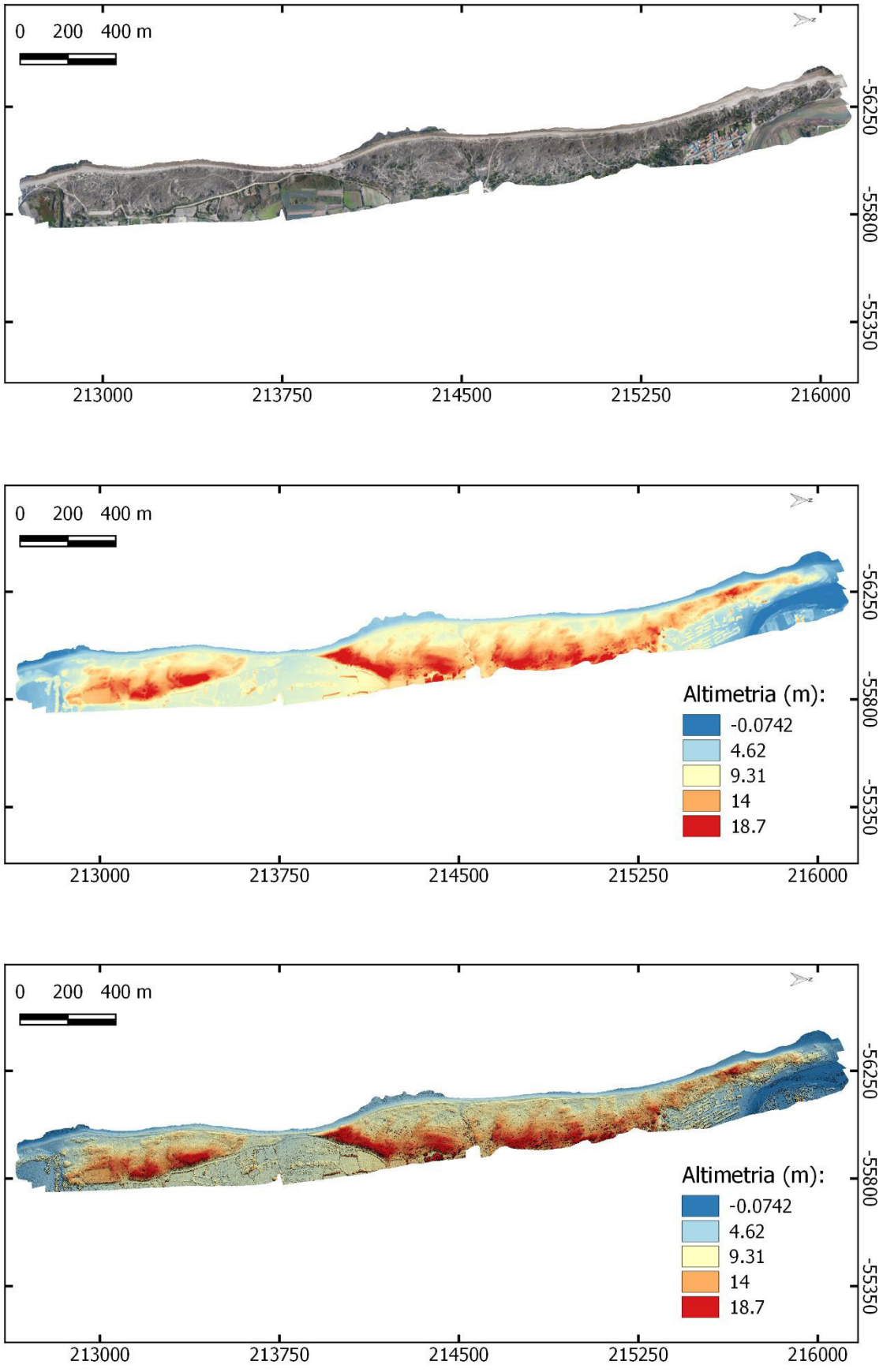


Figura 65-Esquema superior – Ortofotomapa: Esquema central- MDS; Esquema inferior – MDS com Hillshade, referentes ao levantamento realizado no dia 17 de novembro de 2017 sobre as praias de Belinho e Fieiro Alto

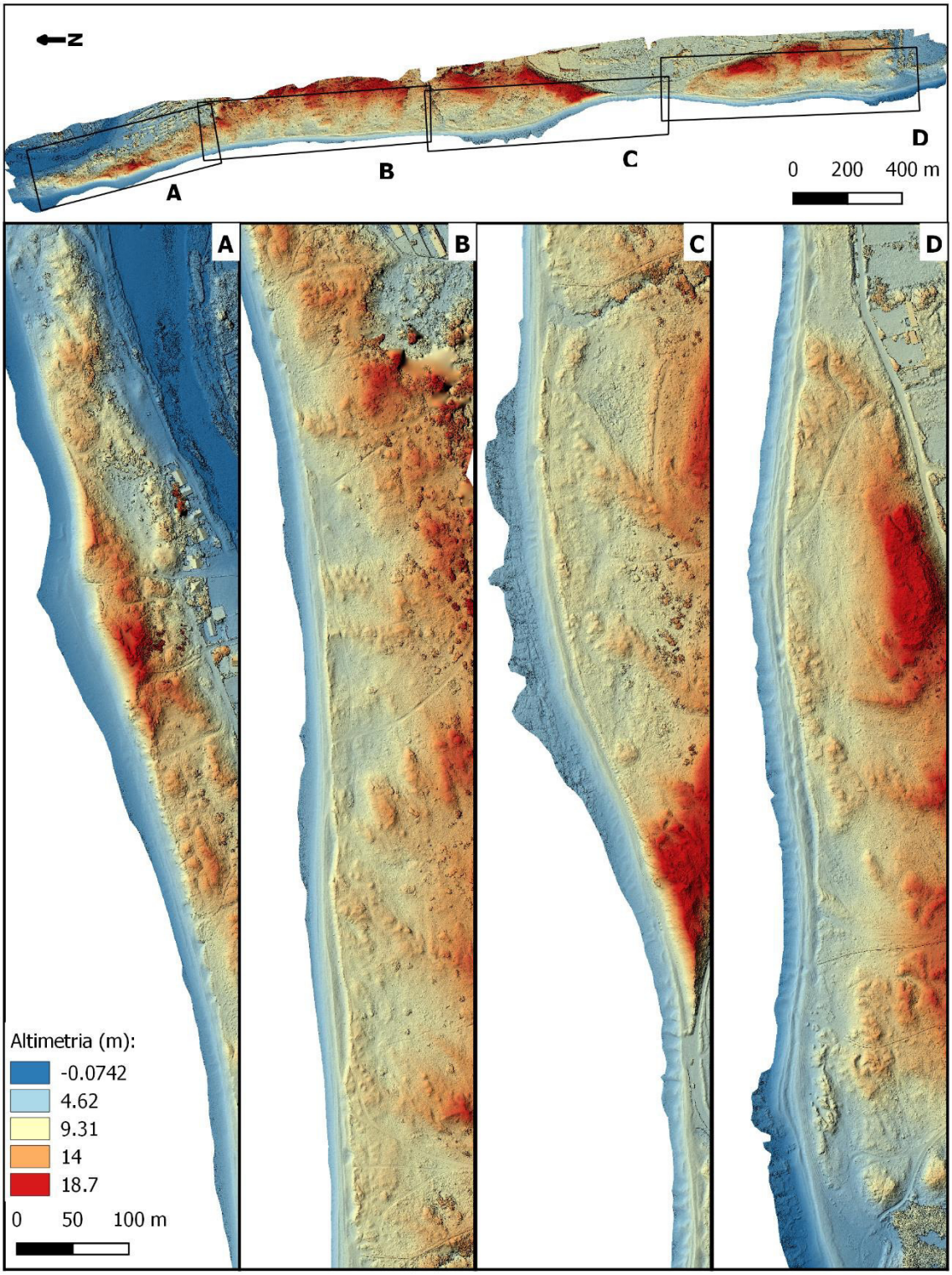


Figura 66- Modelo Digital de Superfície com Hillshade referente ao levantamento realizado no dia 17 de novembro de 2017, ampliado em quatro polígonos (A, B, C e D).

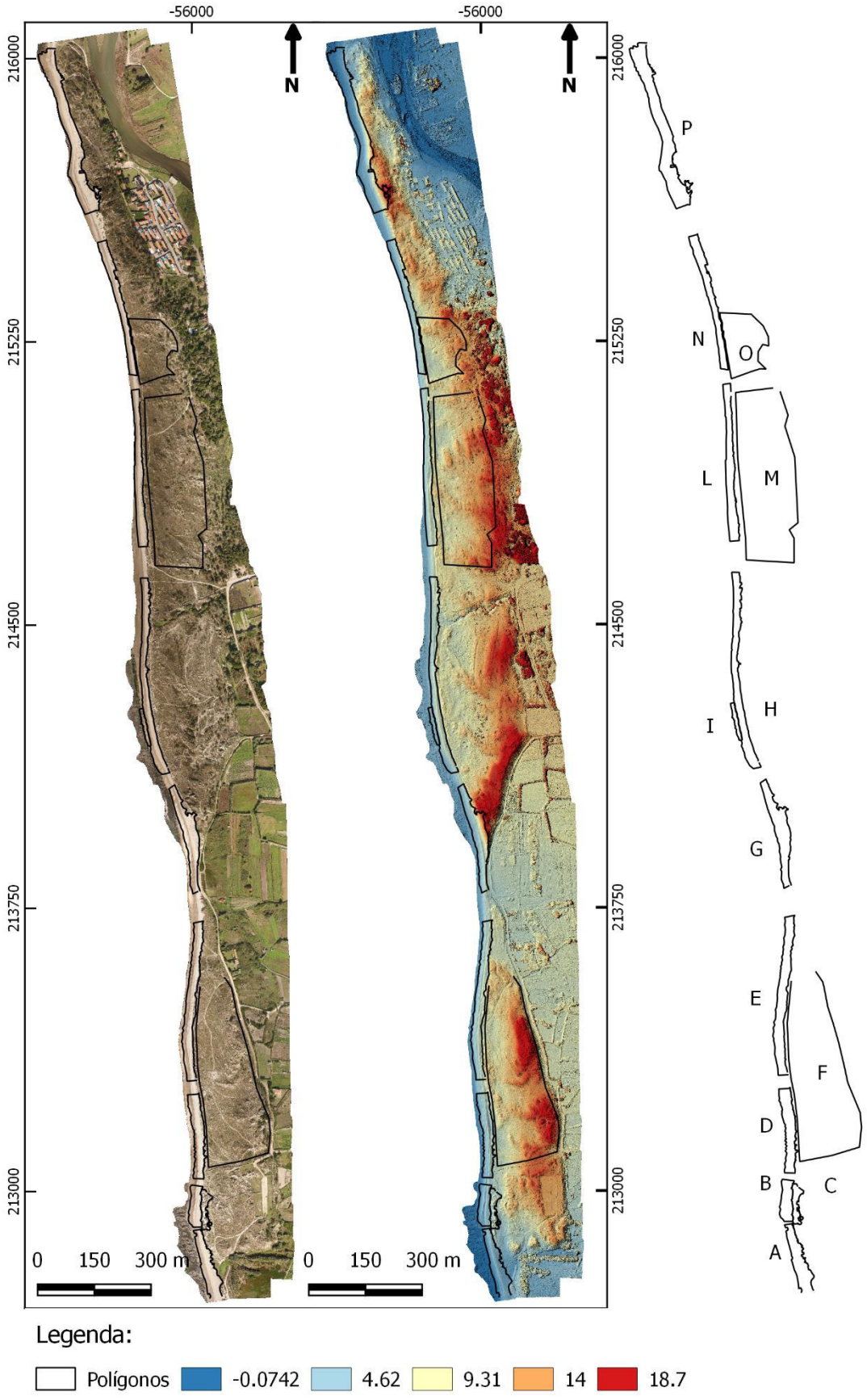


Figura 67- Do lado esquerdo- Ortofotomapa de 2016; No centro- Modelo Digital de Superfície com Hillshade de 2016, com os respetivos polígonos nomeados à direita.

4.1.2.2 Discussão de resultados

Através da observação da tabela 6, é possível observar que os erros posicionais apresentam valores muito baixos, fazendo assim que os resultados obtidos apresentam precisão e qualidade. A qualidade dos resultados obtidos é garantida pelos pontos de controlo presentes nos modelos.

Os Modelos Digitais de Superfícies e Ortofotomapas, referentes as praias de Belinho e Fieiro Alto, apresentam uma distância de amostragem ao solo (DAS) entre 3,72 e 5,21 centímetros por pixel.

Os pontos de controlo de terreno referentes a este setor em estudo assumiram erros de posicionamento (RMS) bastante baixos, estes não ultrapassam a ordem centimétrica. Na tabela 6 é possível observar os RMS dos três levantamentos realizados para este setor, é de destacar que o modelo 3D que apresenta maior erro de posicionamento é gerado a partir das fotografias recolhidas no dia 09/06/2017, referente ao segundo levantamento, sendo este erro de 1,013 pixel. Os erros associados aos restantes levantamentos foram ainda mais baixos, com valores entre 0,005 e 0,649. Estes valores são referentes aos modelos gerados a partir do terceiro e primeiro levantamentos, respetivamente. Todos os pontos de controlo usados durante a execução destes modelos foram recolhidos de modo indireto, foram escolhidos e referenciados pontos comuns entre os três levantamentos através do *software* PhotoScanPro, este método também garante que os resultados obtidos apresentem grande qualidade na sobreposição de pontos comuns.

Após a obtenção dos ortofotomapas e dos MDS, com erros pouco significativos, procedeu-se ao cálculo de volumes, para isso foi utilizada a ferramenta do *software* Agisoft PhotoScanPro, tal como já referido anteriormente no capítulo 3. Esta ferramenta permitiu criar polígonos em setores com interesse pela zona dunar e de praia. A informação referente á área e perímetro dos polígonos esta representada na tabela 7, já os resultados obtidos a partir da medição de volumes para cada polígono estão representados na tabela 8, é de destacar ainda a existência de polígonos desenhados em setores que só apresentam material sedimentar abaixo de 0 metros (zero topográfico), nesses casos foi escolhido o plano de referência -2 metros (zero hidrográfico), tal como explicado anteriormente no capítulo 3.

De modo a identificar os setores em que houve perda ou incremento de volume de sedimentos, foram ainda criados mapas de variação altimétrica através do programa *Global Mapper*.

Tabela 8-Volumes calculados com a ferramenta do PhotoScan em m³para cada polígono com as respetivas datas de cada levantamento para as praias de Belinho e Feiro Alto. Variação de volumes para cada polígono entre cada levantamento.

	Volume (m³)											
Levantamento / Polígono	14/11/2016 (1° Levantamento)		09/06/2017 (2° levantamento)		17/11/2017 (3° levantamento)			2°L – 1°L		3°L-2°L		3°L-1°L	
	Nível de base =0	Nível de base= -2	Nível de base =0	Nível de base= -2	Nível de base =0	Nível de base= -2		Nível de base =0	Nível de base= -2	Nível de base =0	Nível de base= -2	Nível de base =0	Nível de base= -2
A	17442	28788,7	18899,8	30246,4	18487,8	29834,8		1457,8	1457,7	-412	-411,6	1045,8	1046,1
B	12875,7		12677,2		14267,5			-198,5	0	1590,3	0	1391,8	0
C	13113,1		13309,8		13527,1			196,7	0	217,3	0	414	0
D	32565,4		30882		33702,5			-1683,4	0	2820,5	0	1137,1	0
E	64022,4		63975,4		65908,1			-47	0	1932,7	0	1885,7	0
F	850734		851164,6		853534,9			430,6	0	2370,3	0	2800,9	0
G	55594,6		59224,9		56878,8			3630,3	0	-2346,1	0	1284,2	0
H	67813,4		64395,1		66566,0			-3418,3	0	2170,9	0	-1247,4	0
I	4175,2		4036,7		4093,4			-138,5	0	56,7	0	-81,8	0
L	56083,5		54153,9		56258,2			-1929,6	0	2104,3	0	174,7	0
M	766633,2		772377,1		774641,8			5743,9	0	2264,7	0	8008,6	0
N	36170		32931,8		33911,5			-3238,2	0	979,7	0	-2258,5	0
O	167851,6		168184,5		168427,4			332,9	0	242,9	0	575,8	0
P	68450,1	100462,5	60220,3	92221,6	59474,2	91487,2		-8229,8	-8240,9	-746,1	-734,4	-8975,9	-8975,3

Variações

Tabela 7- Informação relativa a área e perímetros de cada polígono no modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto.

Polígono	Área (km²)	Perímetros (m)
A	5673,4	525,228
B	3316,9	289,144
C	1972,5	359,495
D	6291,1	579,253
E	10517,7	931,024
F	64954,3	1196,9
G	7965,1	698,845
H	10555,8	1153,4
I	1027,3	226,724
L	8619,9	906,390
M	62159,4	1167,6
N	6945,6	822,656
O	15328,5	554,081
P	16006,4	1233,8

Na tabela 8 estão representados todos os polígonos desenhados para as praias de Belinho e Fieiro Alto, tendo sido nomeados de A a P. Os volumes calculados em cada polígono encontram-se na unidade volúmica de m^3, como nível de base foi assumido o valor de 0 metros (zero topográfico) para todos os polígonos, e de -2 metros para os polígonos A e P. Posteriormente foi calculada a variação de volume de cada polígono entre cada levantamento realizado, com o intuito de quantificar a perda/ganho de material dentro dessas áreas. Para além disso, foi também calculada a variação de volume de cada polígono, entre o primeiro e terceiro levantamento, estes com um espaçamento temporal de aproximadamente um ano, para assim ter um balanço mais generalista.

Analisando a variação de volumes correspondente ao intervalo de tempo entre os levantamentos realizados a 14 de novembro de 2016 e 09 de junho de 2017, referentes ao primeiro (1°L) e segundo (2°L) levantamentos respetivamente, é possível destacar:

- Todos os polígonos desenhados na zona de praia (A, B, D, E, G, H, I, L, N, P) apresentam valores de variação volúmica negativos, exceto os polígonos A e G;
- Os polígonos F, M e O apresentam valores de variação positivos, contudo como apresentam grande quantidade de vegetação, estes resultados poderão ter como base o crescimento da vegetação e/ou o recobrimento destas áreas com areia, o que é visível pela comparação dos Ortofotomapas;
- O polígono C apresenta uma variação positiva de 196,7 m^3, enquanto que o polígono B, desenhado na zona de praia á frente de C, apresenta uma variação negativa de 198,5 m^3;
- O polígono P apresenta a variação volúmica negativa mais acentuada, perdendo 8229,8 m^3 de sedimentos, enquanto que o polígono com maior variação positiva desenhado no setor de praia foi o G com um incremento de 3630,3 m^3;
- O setor norte deste modelo, correspondente á praia de Fieiro Alto, apresenta a maior perda volúmica de sedimentos;
- De uma forma geral, houve diminuição do volume de sedimentos nas praias de Fieiro Alto e Belinho, havendo assim uma tendência erosiva.

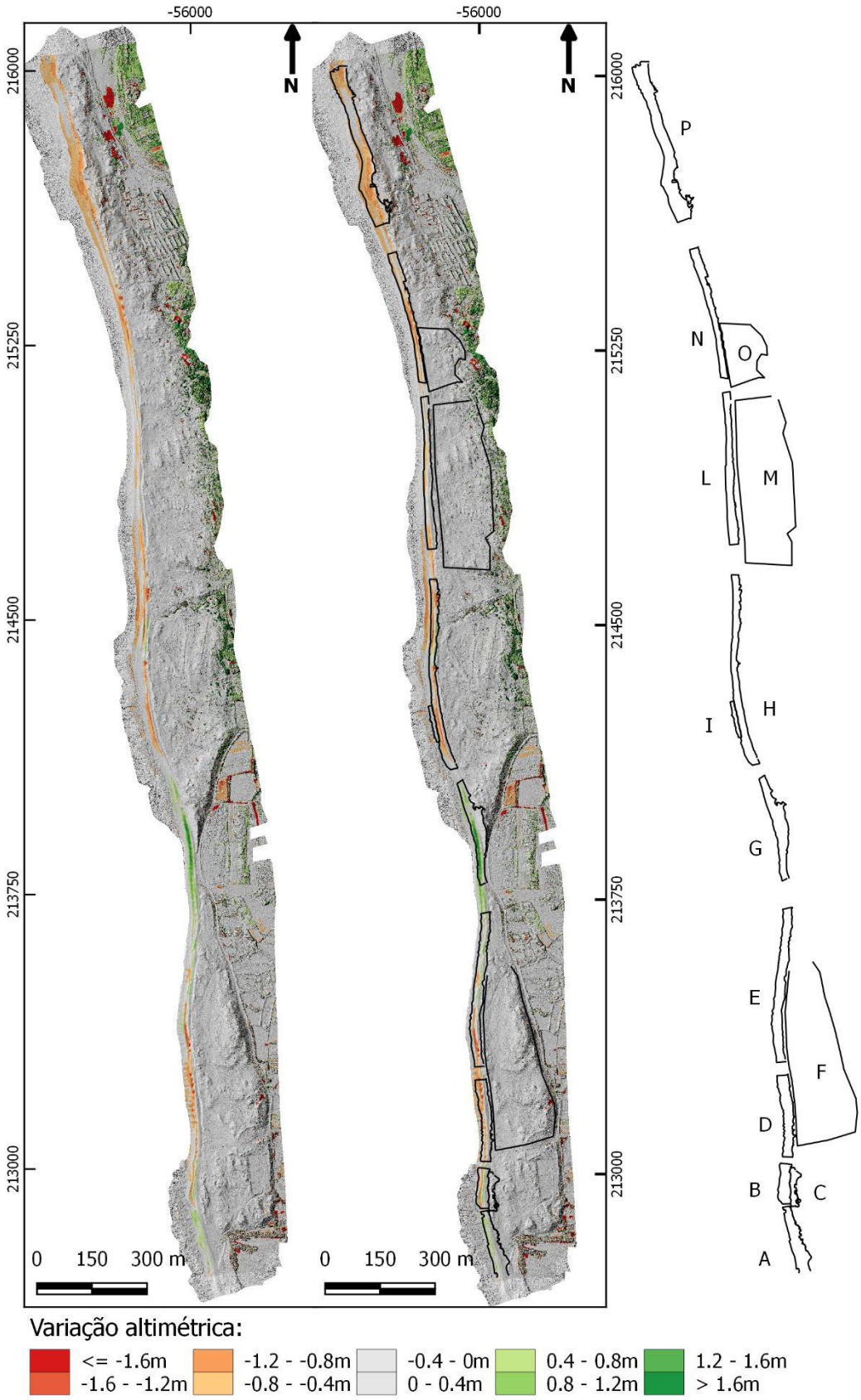


Figura 68- Mapas de variação altimétrica (em metros) entre os levantamentos realizados a 14 de novembro de 2016 e 09 de junho de 2017 (MDS 2°L - MDS 1°L): À esquerda: variação altimétrica com hillshade extraído a partir do 2°L, no centro: variação altimétrica com sobreposição dos polígonos, e à direita os polígonos nomeados.

Relativamente ao mapa de variação altimétrica construído a partir dos MDS referentes ao primeiro e segundo levantamentos (figura 68), é possível destacar:

- Perda de sedimentos no setor norte, onde a praia é composta essencialmente por areia, entre a interface berma da praia-duna e na zona da praia alta, esta perda sedimentar estende-se para sul até ao setor central do modelo, perdendo intensidade à medida que os seixos começam a ficar expostos em maior quantidade. Esta perda de sedimentos poderá ser consequência, sobretudo, da ação eólica e/ou consequência de ocorrência de tempestades;
- O setor central apresenta, maioritariamente, grande perda de sedimentos em todas as zonas da praia, pelo facto de ser constituído por areia e seixos, apresenta alguma complexidade:
    - A perda sedimentar é mais significativa na zona da baixa praia, essencialmente constituída por areia (figura 69);
    - A interface entre a zona de baixa praia-alta praia (IBP-AP), constituída por seixos distribuídos em patamares, apresenta também perda sedimentar, porém mais circunscrita (figura 69);
    - A zona da praia alta apresenta um incremento de seixos (figura 69), estes provavelmente mobilizados da IBP-AP, devido à ação marinha e/ou momentos de tempestade. Esta dinâmica resultou num aumento do declive da praia e na maior diferenciação de andares/patamares dos seixos;



Figura 69- Ampliação da zona central do modelo, a vermelho: perda de sedimentos; a verde: incremento de sedimentos, sobre o Ortofotomapa relativo ao 1ºL

- Os setores mais salientes na zona norte e central, correspondentes as áreas dos polígonos P e H, além de se encontrarem protegidos pelos afloramentos rochosos, apresentam maior dinâmica sedimentar;
- Ainda no setor central é possível identificar outras zonas (polígono H) onde há perda de seixos na IBP-AP, porém, foram remobilizados pela ação marinha para sul, onde ocorreu acumulação (polígono G) de seixos em zonas constituídas por areia até a remobilização;

- No setor sul deste modelo, na área correspondente ao polígono D, é possível destacar a intensa perda de seixos na zona de IBP-AP e de areia na zona de baixa praia, formando assim cúspides;
- A perda de sedimentos registada neste setor apresenta menor intensidade na direção norte-sul, havendo zonas, tal como no polígono B, com perda de seixos na interface IBP-AP e acumulação na zona da praia alta. Já no setor mais a sul, correspondente ao polígono A, há apenas tendência para acumular seixos, tanto na baixa praia como na zona de alta praia.

Relativamente a variação de volumes registada entre os levantamentos realizados a 09 de junho de 2017 e 17 de novembro de 2017, referentes ao segundo (2ºL) e terceiro (3ºL) levantamentos respetivamente, é possível destacar:

- Uma inversão da variação volúmica em alguns polígonos desenhados na zona de praia, tais como o A, B, D, E, G, H, I, L e N, esta inversão poderá ter como base uma direta interferência sazonal em comparação com o anterior espaço temporal analisado;
- O polígono P manteve a tendência erosiva, voltou a apresentar variação volúmica negativa;
- Os polígonos F, M e O continuam a apresentar variação volúmica positiva. Pela comparação dos Ortofotomapas é possível visualizar um aumento de zonas verdes;
- O polígono C continua com tendência acumulativa, registando um aumento de volume de sedimentos de 217,3 m^3;
- O polígono G apresenta a maior variação volúmica negativa registada neste período temporal, perdendo 2346,1 m^3, enquanto que o polígono desenhado na zona de praia com maior variação positiva foi o D, este ganhou 2820,5 m^3 de volume sedimentar;
- O setor norte apresenta-se estável, com variações pouco significativas nos polígonos N e P, sendo este setor menos suscetível ao efeito sazonal entre junho e novembro;
- De uma forma geral, houve aumento do volume de sedimentos nas praias de Belinho e Fieiro Alto, havendo assim uma tendência predominantemente acumulativa.

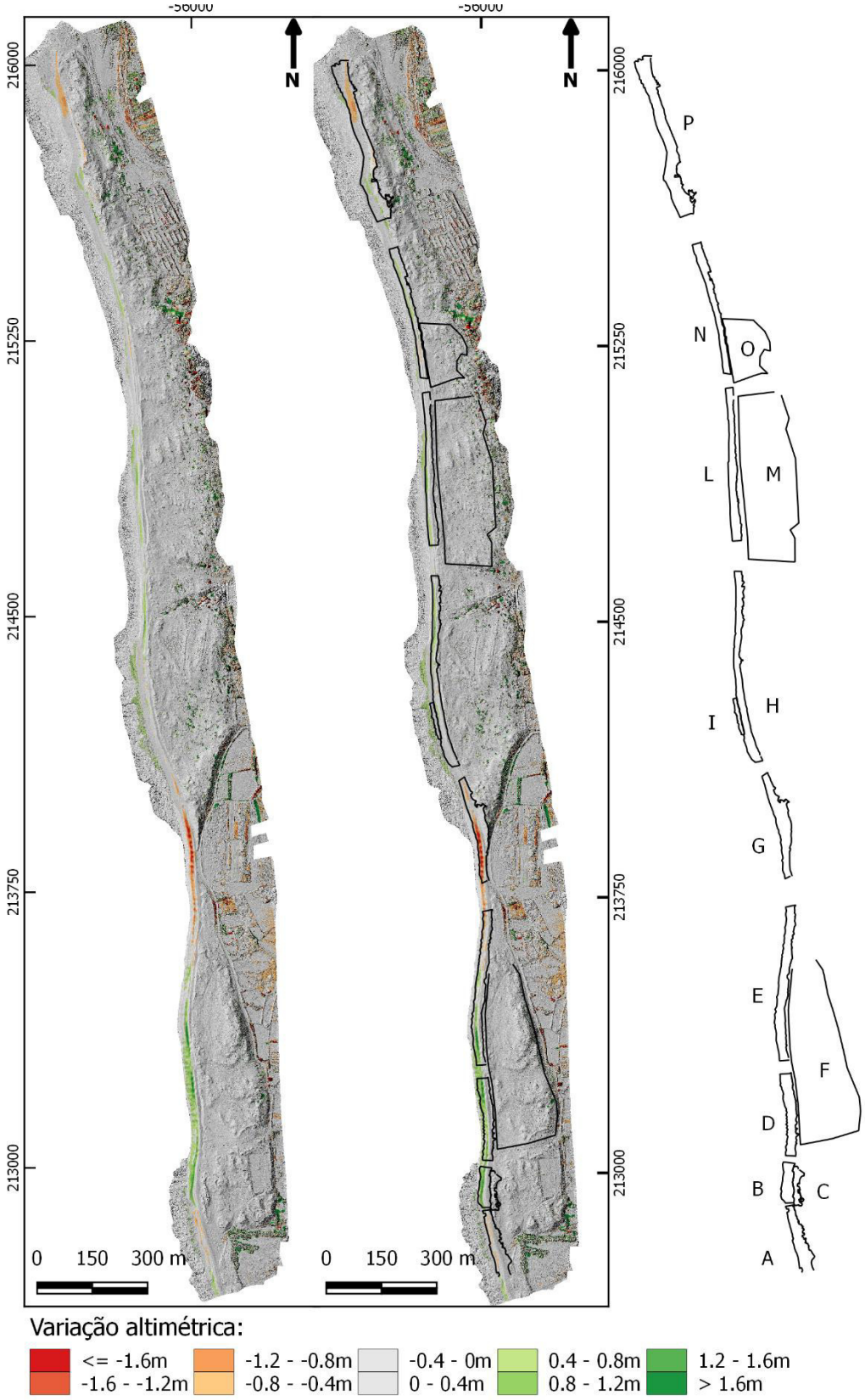


Figura 70- Mapas de variação altimétrica (em metros) entre os levantamentos realizados a 17 de novembro de 2017 e 09 de junho de 2017 (MDS 3°L - MDS 2°L): À esquerda: variação altimétrica com hillshade extraído a partir do 3°L, no centro: variação altimétrica com sobreposição dos polígonos, e à direita os polígonos nomeados.

Relativamente ao mapa de variação altimétrica construído a partir dos MDS referentes ao segundo e terceiro levantamentos (figura 70), é possível destacar:

- No setor norte há perda de areia na zona da praia alta, o que resultou no aparecimento de seixos neste setor correspondente ao polígono P;
- Ainda na área do polígono P, a sul do mesmo, há um incremento de seixos e areia na zona da praia alta;
- Na área correspondente ao polígono G há grande perda de seixos, pondo em evidência a areia presente sob os mesmos, formando assim cúspides bem definidas;
- Os seixos movimentados no ponto acima referidos foram, provavelmente, remobilizados para sul, onde acumularam na zona de baixa praia, no setor correspondente a área do polígono D;
- No setor sul, na área correspondente ao polígonos A, há nova mobilização de seixos de norte para sul.

Relativamente a variação de volumes registada entre os levantamentos realizados a 14 de novembro de 2016 e 17 de novembro de 2017, referentes ao primeiro (1ºL) e terceiro (3ºL) levantamentos respetivamente, é possível destacar:

- A distinção clara de dois setores diferenciados:
    - O setor norte e central, representado pelos polígonos P, N L e H, apresentam claramente tendência erosiva com grande perda de volume sedimentar, destes apenas o polígono L apresenta acréscimo de volume, porém pouco significativo, na ordem dos 174,7 m^3;
    - O setor sul, representado pelos polígonos A, B, D, E e G, apresenta variação volúmica positiva, havendo assim acumulação de sedimentos;
- A insuficiente alimentação sedimentar do setor norte, entre junho e novembro de 2017, foi preponderante na significativa perda volúmica sofrida nas áreas dos polígonos N e P. Este setor não conseguiu recuperar a perda de sedimentos registada entre novembro de 2016 e junho de 2017;
- O polígono P apresenta a variação volúmica negativa mais acentuada, perdendo 8975,9 m^3, enquanto que o polígono desenhado na zona de praia com maior variação positiva foi o E com um incremento de 1885,7 m^3;

- No polígono C houve acumulação de sedimentos, a presença de vegetação terá tido uma forte contribuição para este efeito de retenção sedimentar pois dificultou a mobilização eólica. Este polígono acompanha assim a tendência dos polígonos adjacentes;
- O polígono I, desenhado intencionalmente sobre parte de um afloramento rochoso na zona intertidal, sofreu variação volúmica negativa. Esta variação poderá ser resultado da perda de material rochoso ou da perda de sedimentos.

Relativamente ao mapa de variação altimétrica construído a partir dos MDS referentes ao primeiro e terceiro levantamentos (figura 73), é possível destacar:

- Grande perda de sedimentos no setor norte, na zona entre a interface berma de praia e duna, a erosão tende a diminuir até voltar a haver perda de sedimentos na área adjacente ao polígono L, no mesmo setor de praia;
- A área referente ao polígono H apresenta alguma dinâmica própria, havendo acumulação de seixos no setor norte na zona de praia alta, formando um novo andar de seixos. Já no setor sul do polígono H é possível destacar uma perda de seixos na zona intertidal e na praia alta, havendo assim um recuo deste patamar da praia (figura 71);
- No setor sul, referente a área do polígono B, houve acumulação de seixos na zona de baixa praia e alta praia, resultando assim num aumento da plataforma de alta praia e do declive da mesma;



Figura 71- Ampliação do polígono H, a verde: incremento de seixos; a vermelho: perda de seixos, sobre o Ortofotomapas do 1ºL

- Na zona referente ao setor norte do polígono E, é visível a perda de seixos na zona intertidal, formando assim cúspides, já na zona da praia alta há acumulação de seixos. No setor sul deste mesmo polígono, é possível visualizar o inverso, havendo acumulação de seixos na zona intertidal e perda na zona da praia alta (figura 72). Esta dinâmica poderá ser consequência de um momento de tempestade onde houve rearranjo dos seixos, estes tendem a organizar-se por tamanho, forma e angulosidade.

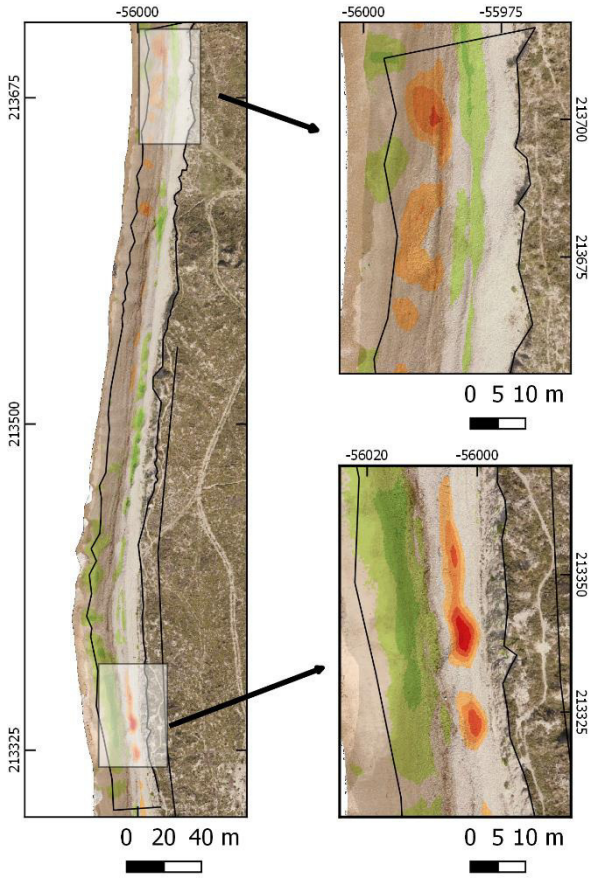


Figura 72- Aplicação do polígono E, com especial atenção as perdas e incrementos de seixos em diferentes localizações do polígono, a verde: incremento de seixos, a vermelho: perda de seixos; sobre o Ortofotomapa relativo ao 1°L



Figura 73- Mapas de variação altimétrica (em metros) entre os levantamentos realizados a 17 de novembro de 2017 e 14 de novembro de 2016 (MDS 3ºL - MDS 1ºL): À esquerda: variação altimétrica com hillshade extraído a partir do 3ºL, no centro: variação altimétrica com sobreposição dos polígonos, e à direita os polígonos nomeados.

4.1.2.3 Evolução morfológica

Os resultados obtidos a partir dos levantamentos realizados permitem extrair diverso tipo de informação, entre os quais, é possível observar a evolução morfológica que alguns setores poderão apresentar entre o período temporal analisado. Para isso e de modo a demonstrar a utilidade dos VANT neste subcapítulo, criaram-se grelhas em algumas áreas dos setores em estudo (figura 74) e por comparação direta dos MDS e Ortofotomapas foi possível observar algumas alterações locais da morfologia. Estas grelhas foram replicadas para a mesma área nos três levantamentos realizados para cada setor, sendo estas numeradas de 1 a 6 para os modelos referentes a praia de Belinho e Fieiro Alto.

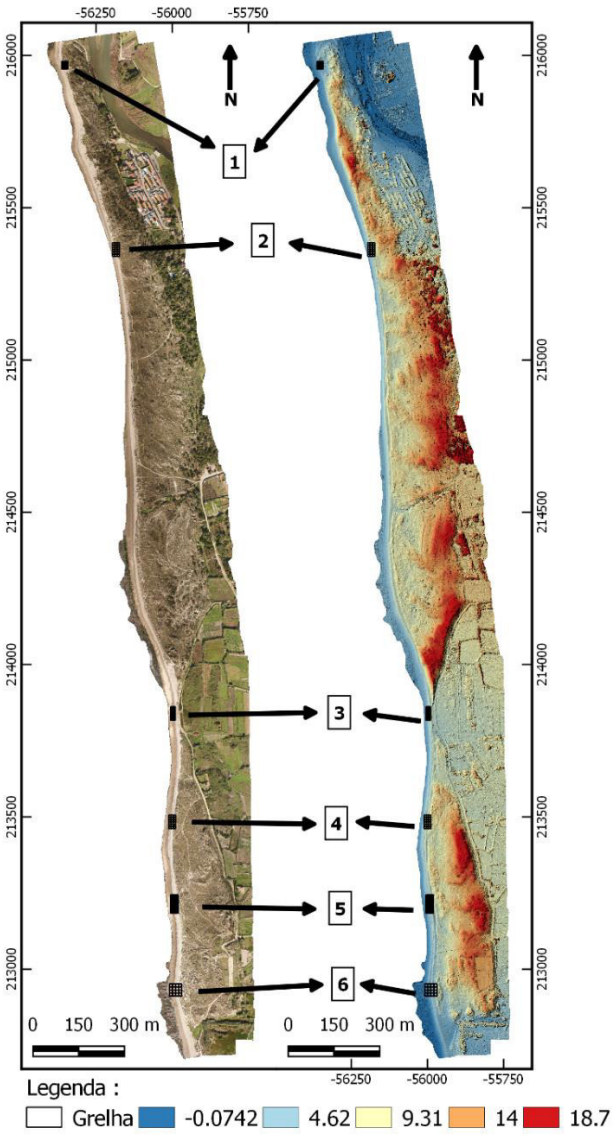


Figura 74-Localização das grelhas - sobrepostas sobre o Ortofotomapa e MDS criados a partir do levantamento realizados no dia 14 de novembro de 2016 - utilizadas no estudo do âmbito da evolução morfológica das praias de Belinho e Fieiro Alto.

Grelha 1

A grelha 1 localiza-se no setor norte da área em estudo e engloba cerca de 500 m^2. Na figura 75 estão representados os MDS e Ortofotomapas dos levantamentos realizados relativamente a esta grelha. Do lado esquerdo para o direito estão representados os MDS e Ortofotomapas referentes ao primeiro, segundo e terceiro levantamentos, respetivamente.

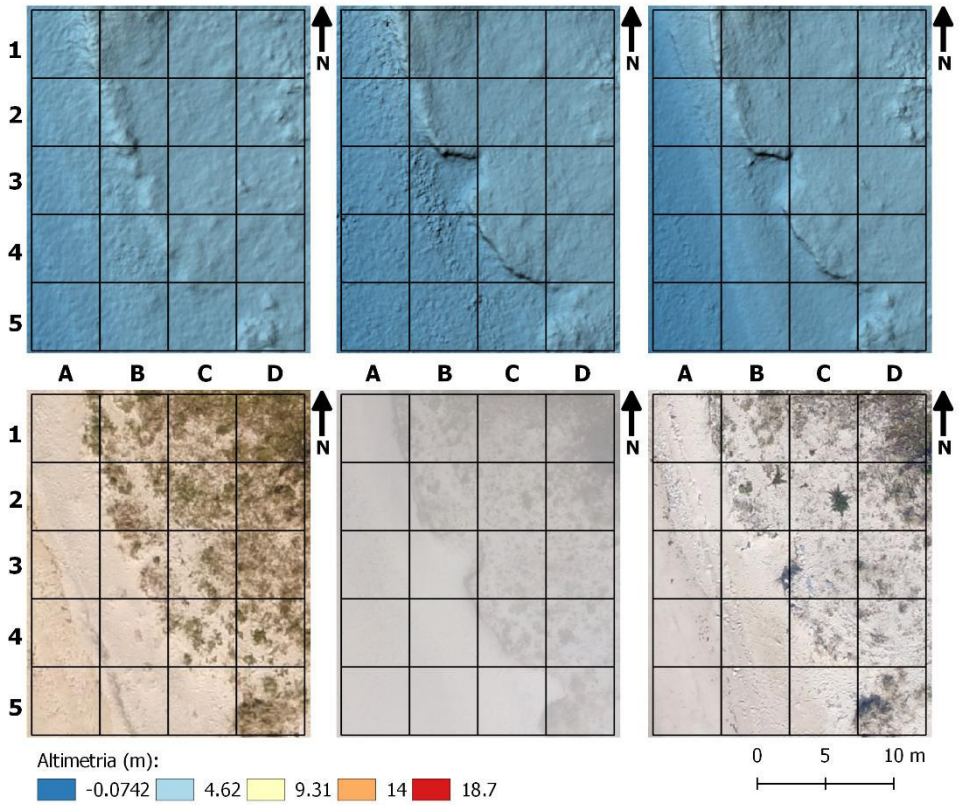


Figura 75- Evolução morfológica da grelha 1, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1°L – à esquerda; 2°L- no centro; 3°L- à direita.

Na grelha relativa ao primeiro levantamento é possível identificar um setor aplanado onde a presença de vegetação rasteira é bastante notória, esta vegetação ganha importância com o decorrer do tempo pois contribuiu para a fixação da zona supratidal deste setor, tal como é visível nas células A1, B2, B3, C4 e C5 da grelha relativa ao segundo e terceiro levantamentos.

A área desta grelha foi selecionada para mostrar a evolução entre a interface intertidal e supratidal, onde é possível destacar a partir da visualização das células B3, B4 e C5 o descalçamento e consequente enfraquecimento deste setor. Com a perda sedimentar nas células atrás referida, ocorreu a formação de uma arriba de erosão bastante destacada e visível nas células A1, B2, B3, C4 e D5. Esta evolução pode afetar de modo significativo a dinâmica desta praia, alterando o perfil da mesma, de dissipativo para refletivo.

Grelha 2

A grelha 2 localiza-se no setor norte da área em estudo e engloba cerca de 1012,5 m². Na figura 76 estão representados os MDS e Ortofotomapas dos levantamentos realizados relativamente a esta grelha. Do lado esquerdo para o direito estão representados os MDS e Ortofotomapas referentes ao primeiro, segundo e terceiro levantamentos, respetivamente.

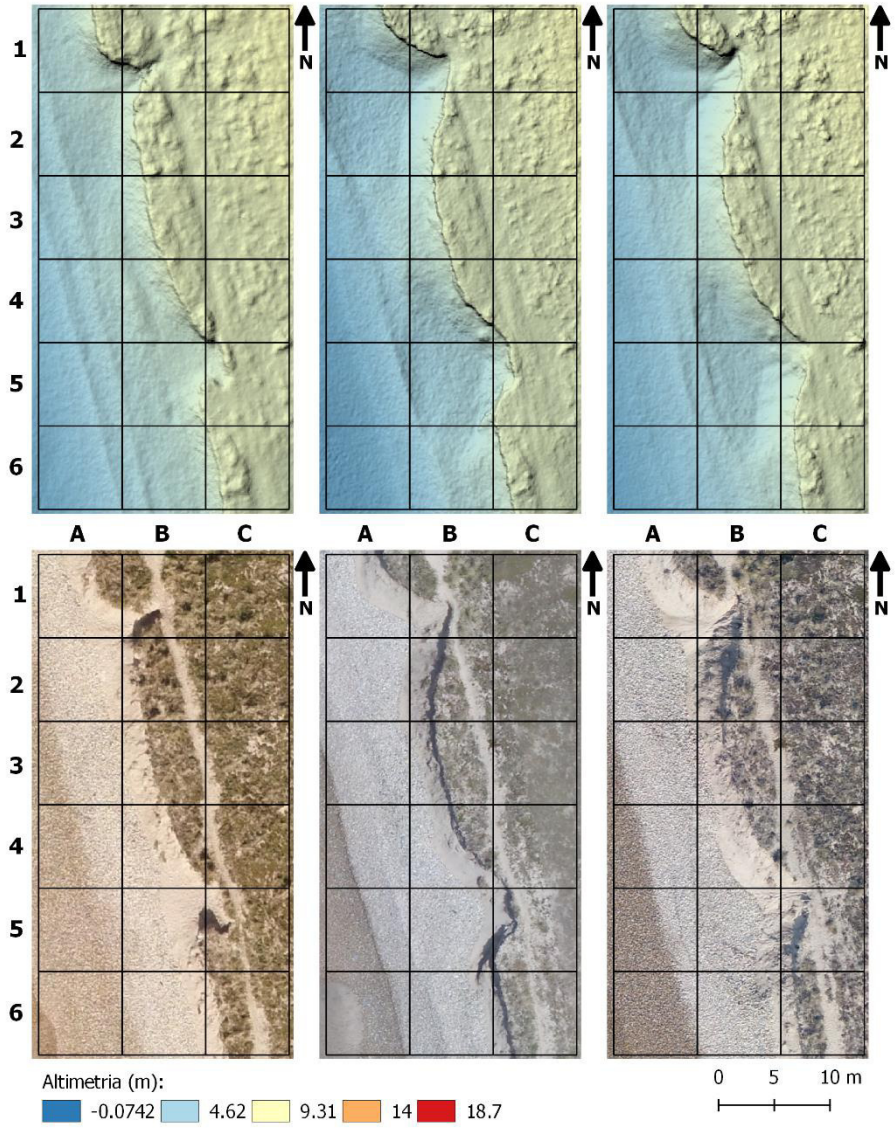


Figura 76- Evolução morfológica da grelha 2, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1°L – à esquerda; 2°L- no centro; 3°L- à direita.

Nesta grelha é possível destacar, através da visualização das células B6, B5, A4, A3 e A2, a formação de um patamar de seixos na zona alta de praia entre o primeiro e segundo levantamentos. Este patamar ainda que de forma mais ténue ficou inalterado no terceiro levantamento.

Nas células B1, B2, B4 e B5 é visível a perda de seixos na interface entre a zona intertidal e supratidal e o recuo desta última zona, entre o primeiro e segundo levantamentos.

Entre o segundo e terceiro levantamentos é visível, nas células B1, B2 e C5, o contínuo recuo desta zona. Este recuo é consequência, muito provavelmente, da ação marinha em períodos de tempestade, onde a sobrelevação do mar provocou a erosão deste setor.

Esta grelha pode ainda representar um estado avançado da situação descrita na grelha 1.

Grelha 3

A grelha 3 localiza-se no setor central da área em estudo e engloba cerca de 675 m^2. Na figura 77 estão representados os MDS e Ortofotomapas dos levantamentos realizados relativamente a esta grelha. Do lado esquerdo para o direito estão representados os MDS e Ortofotomapas referentes ao primeiro, segundo e terceiro levantamentos, respetivamente.

Esta grelha foi desenhada com o intuito de demonstrar a formação de cúspides de seixos, estas são as formas mais frequentes que se podem observar numa praia de seixos.

Na grelha referente ao primeiro levantamento, é possível observar que as células A1, A2, A3, A4, A5, A6 são maioritariamente cobertas por areia, enquanto que no segundo, as mesmas células são cobertas por seixos. Esta dinâmica é resultado do movimento de seixos, originado pelas condições da ondulação que assim permitiram que estes seixos sofressem transporte e posteriormente acumulação neste setor.

No terceiro levantamento é possível observar cúspides de seixos bem definidas nas células C1, B2, C3, B4, B5, B6, A7, A8 e B8, estas formas são resultado da perda de seixos nas células A1, A2, A3, A4, A5, A6 que no primeiro levantamento já eram cobertas por areia, tornando assim estas formas cíclicas. A perda de seixos é um processo, que tal como a acumulação destes, tem como base as condições da ondulação presentes no local. As cúspides formadas nesta grelha apresentam comprimento de onda entre 10 a 15 metros.

É de notar ainda a diferença de tamanho dos seixos:

- Na zona central da cúspide é possível identificar seixos de maior dimensão, tal como nas células C2, B7, B8;
- Na zona entre cúspides os seixos apresentam menor dimensão, tal como na célula B6 e na parte inferior da célula B3;

Nesta área é possível destacar ainda a posição da linha de maré. No primeiro e terceiro levantamentos, ambos realizados no mesmo mês, estas linhas encontram-se no limite das células C, enquanto que no segundo levantamento, realizado em junho, a linha de maré encontra-se no limite entre as células A e B de 1 a 4, e em B5, B6, B7, B8 e B9. Esta diferença poderá ser explicada com o tipo de sedimentos presente na zona de rebentação/espraiamento da onda. No primeiro e terceiro levantamentos, onde esta zona é composta por seixos e areia, a praia oferece menor resistência ao movimento natural da água, enquanto que no segundo levantamento esta zona é composta apenas por seixos, tornando assim a resistência ao movimento da água maior.

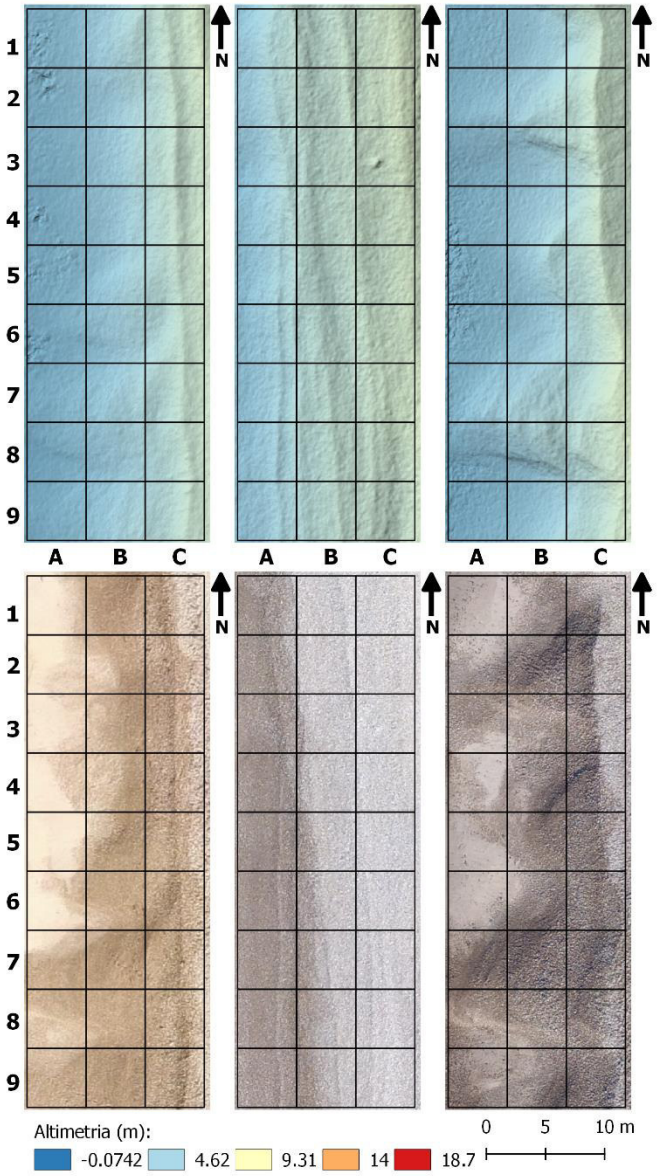


Figura 77- Evolução morfológica da grelha 3, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1°L – à esquerda; 2°L- no centro; 3°L- à direita.

Grelha 4

A grelha 4 localiza-se no setor sul da área em estudo e engloba cerca de 959,2 m^2. Na figura 78 estão representados os MDS e Ortofotomapas dos levantamentos realizados relativamente a esta grelha. Do lado esquerdo para o direito estão representados os MDS e Ortofotomapas referentes ao primeiro, segundo e terceiro levantamentos, respetivamente.

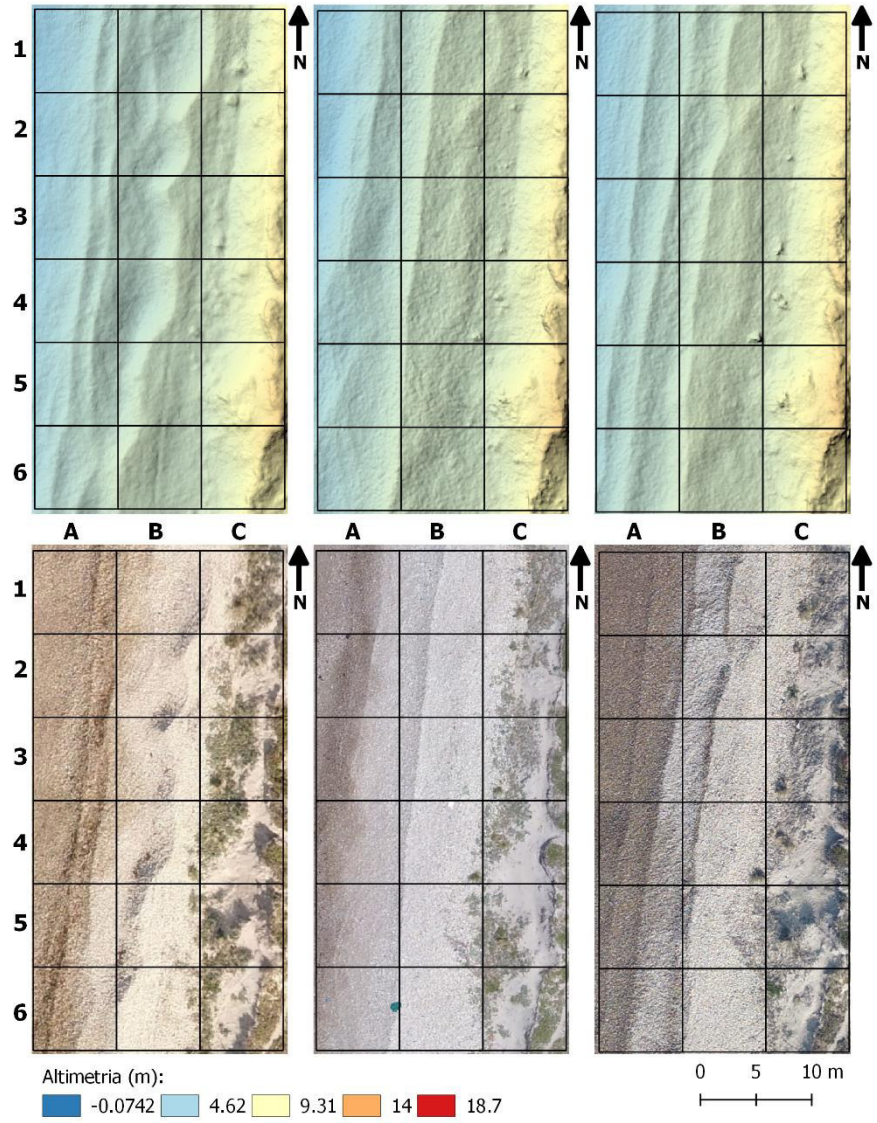


Figura 78- Evolução morfológica da grelha 4, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1°L – à esquerda; 2°L- no centro; 3°L- à direita.

Observando as células A do primeiro e segundo levantamentos, é possível observar a diferente disposição dos seixos. No primeiro levantamento estes apresentam-se dispostos em diferentes patamares de reduzido tamanho, fruto de diferentes períodos de deposição com diferentes condições, enquanto que no segundo levantamento a ação marinha distinguiu os seixos em apenas um patamar de maior dimensão, havendo assim menor diferenciação. Posteriormente, é

possível observar que os patamares existentes no primeiro levantamento nas células A voltaram a ser formados no terceiro levantamento, dado que estes levantamentos foram realizados na mesma altura do ano, é notória a importância da sazonalidade na dinâmica destes sedimentos.

É ainda possível, a partir da comparação das grelhas relativas ao primeiro e segundo levantamentos, observar o crescimento dum patamar de seixos na zona alta da praia, mais concretamente no setor superior das grelhas onde no primeiro levantamento este patamar localizava-se até as células C1, B2, B3, B4 e B5, enquanto que no segundo levantamento este patamar apresenta um crescimento de quase 7 metros em algumas células. No terceiro levantamento este patamar manteve-se intacto, dando assim a informação que a ação ondulatória não comprometeu este setor, o que poderá ser corroborado pela posição da linha de vegetação que não sofreu qualquer recuo.

Grelha 5

A grelha 5 localiza-se no setor sul da área em estudo e engloba cerca de 1500 m^2. Na figura 79 estão representados os MDS e Ortofotomapas dos levantamentos realizados relativamente a esta grelha. Do lado esquerdo para o direito estão representados os MDS e Ortofotomapas referentes ao primeiro, segundo e terceiro levantamentos, respetivamente.

Nesta grelha é possível destacar, entre outros fatores, o aumento da energia da ondulação. Este dado é observável pela diminuição, ao longo dos três levantamentos, das células cobertas por areia e o consequente aumento de seixos movimentados para as mesmas.

Outro dado relevante será a disposição de reduzidos patamares na grelha referente ao primeiro levantamento, estes patamares são visíveis nas células B (de 1 a 5) e C (de 1 a 11), e muito semelhantes aos ilustrados na grelha 4. No segundo levantamento, alguns dos seixos que formavam estes patamares sofreram transporte devido à ação marinha, este dado é observável pela perda de altimetria visível nestas células do MDS desta grelha.

Ainda na grelha relativa ao segundo levantamento é possível observar que o patamar localizado no setor da praia alta, nas células E (de 1 a 12) e D (de 1 a 5, e um pouco de 8, 9 e 10), ficou mais evidenciado com a perda de sedimentos ocorrida nas células C2, C3, C4, C6, D7 e D8. Esta perda seletiva de seixos poderá ter como base o movimento destes devido a fatores como a dimensão e/ou disposição dos seixos e a intensidade/incidência da ondulação.

Na grelha relativa ao terceiro levantamento, é possível observar que nas células B e C há deposição de seixos em diferentes patamares de reduzida dimensão, isto será resultado de diferentes períodos onde a ondulação permitiu o transporte e posterior deposição destes seixos. Todavia, a energia da ondulação não foi suficiente para depositar seixos no patamar da praia alta, visto que as formas desenvolvidas e descritas no parágrafo anterior não sofreram qualquer tipo de alteração.

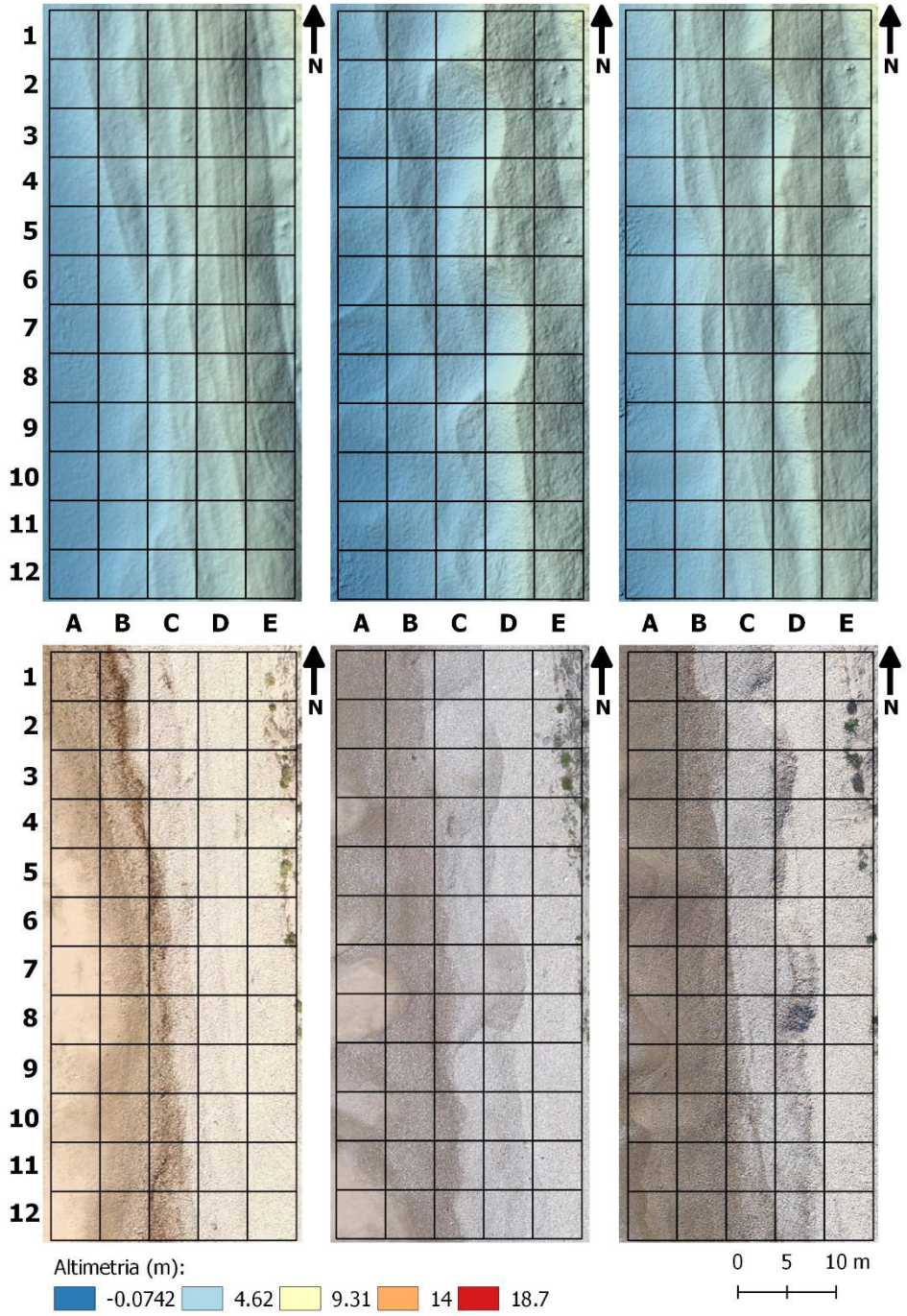


Figura 79- Evolução morfológica da grelha 5, com comparação dos MDS (em cima) e dos Ortofotomapas (em baixo), ao longo dos três levantamentos realizados; 1°L – à esquerda; 2°L- no centro; 3°L- à direita.

Grelha 6

A grelha 6 localiza-se no setor sul do setor em estudo e apresenta cerca de 1600 m² de área. Na figura 80 estão representados os MDS e Ortofotomapas dos levantamentos realizados relativamente a esta grelha. Do topo para base da figura estão representados os MDS e Ortofotomapas referentes ao primeiro, segundo e terceiro levantamentos, respetivamente.

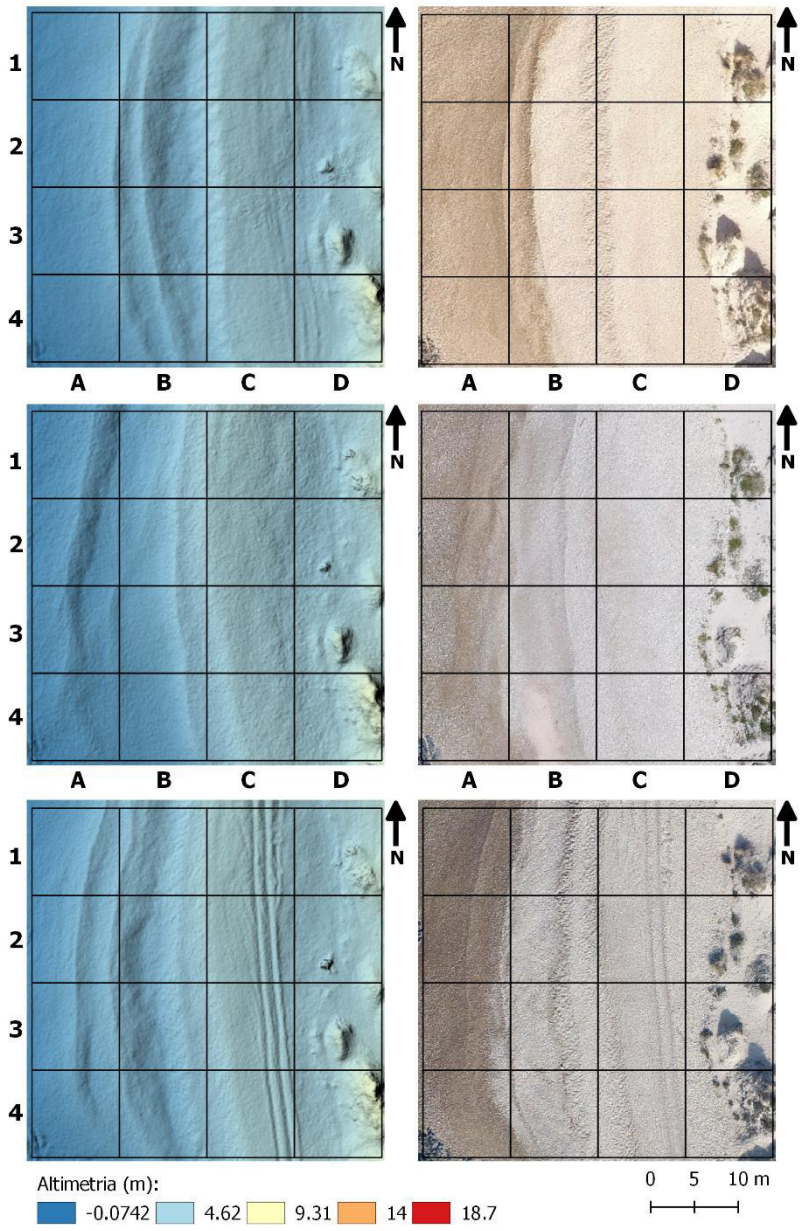


Figura 80- Evolução morfológica da grelha 6, com comparação dos MDS (à esquerda) e dos Ortofotomapas (à direita), ao longo dos três levantamentos realizados; 1°L – no topo; 2°L- no centro; 3°L- em baixo

Esta grelha foi desenhada com o intuito de ilustrar o movimento dos seixos.

É possível observar nas células B da grelha relativa ao primeiro levantamento a existência dum patamar intermédio de seixos abaixo do patamar da zona alta da praia localizado nas células C.

Na grelha referente ao segundo levantamento há perda de seixos nas células B e um ligeiro aumento do patamar superior, esta pequena mudança resultou da alteração das condições da ondulação.

Posteriormente, nas células B do terceiro levantamento há deposição de seixos, o que torna esta grelha semelhante à registada no primeiro levantamento. O patamar da zona alta da praia mantem-se idêntico, revelando que durante o intervalo de tempo entre o segundo e terceiro levantamentos o mar não atingiu este setor com a intensidade necessária para provocar alterações.

4.1.2.4 Perfis topográficos

Os perfis ilustrados neste subcapítulo foram desenhados com o objetivo de obter uma análise mais completa sobre a área em estudo. Foram definidos 6 perfis para o modelo referente ás praias de Belinho e Fieiro Alto. A posição relativa dos perfis referentes ao modelo de Belinho e Fieiro alto será ilustrada na figura 81.

Os perfis serão todos apresentados na mesma ordem, o superior correspondente ao perfil realizado no primeiro levantamento, no dia 14 de novembro de 2016, o perfil do meio é referente ao segundo levantamento, realizado no dia 09 de junho de 2017, enquanto que o perfil colocado em baixo é referente ao último levantamento, realizado no dia 17 de novembro de 2017.

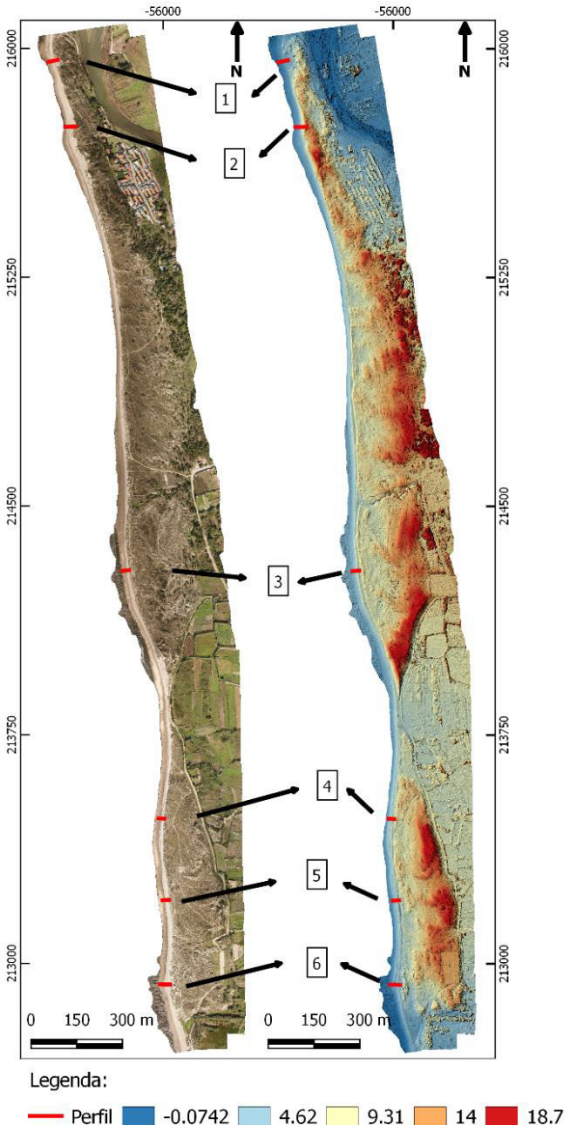


Figura 81- Localização relativa dos sete perfis desenhados para as praias de Belinho e Fieiro Alto, à esquerda: Ortofotomapa, à direita: MDS com hillshade, modelos gerados a partir do levantamento realizado no dia 14 de novembro de 2016

Perfil 1

O perfil 1 localiza-se no setor norte e apresenta 32,2 metros de comprimento (figura 82). No perfil referente ao primeiro levantamento é possível destacar que entre os 0-16 metros, o perfil de praia apresenta uma inclinação uniforme. Já entre os 16-25 metros é possível visualizar duas acumulações de sedimentos distintas, a primeira é composta por areia e seixos, já a segunda é composta por apenas areia. Esta última acumulação aparenta ser resultado de um possível recuo da linha de vegetação.

Ainda é possível identificar uma área destacada a partir dos 25 metros, esta zona ainda vegetada, encontra-se sobrelevada em relação ao restante perfil, formando assim uma arriba de erosão, protegendo a área interior da ação marinha e eólica.

No perfil referente ao segundo levantamento é possível visualizar a perda de volume sedimentar em todo o perfil e o consequente rebaixamento do mesmo, a zona onde o perfil foi colocado encontra-se, na sua maioria, coberta por seixos. É ainda visível, aos 26 metros, o recuo da arriba de erosão e o descalçamento da base desta, fruto da perda sedimentar ocorrida na zona da praia alta.

No perfil referente ao terceiro levantamento, é possível observar aos 26 metros que a arriba de erosão se manteve estável, não apresentando recuo significativo. Todavia, na zona da praia alta houve a diferenciação dum patamar entre os 21-26 metros, constituído por areia. Este patamar formou-se devido à perda sedimentar ocorrida em praticamente todo o perfil de praia, exceto na zona de praia alta onde ocorreu uma ligeira deposição. Esta dinâmica é consequência, sobretudo, da ação marinha.

Perfil 2

O perfil 2 localiza-se no setor norte e apresenta 38,2 metros de comprimento (figura 83). O perfil número 2 foi escolhido e desenhado para ilustrar a evolução dum setor de praia com perfil refletivo.

No perfil referente ao primeiro levantamento é possível identificar um perfil bastante plano até aos, aproximadamente, 17 metros. Enquanto que entre os 17 metros e 34 metros o perfil apresenta grande inclinação, com a altimetria a variar aproximadamente 10 metros.

No perfil referente ao segundo levantamento é possível destacar a perda sedimentar presente em todo o perfil, esta perda ocorre devido a ação marinha e eólica. A ação marinha atua devido á posição onde ocorre a rebentação da onda, enquanto a ação eólica é intensificada pela não presença de qualquer proteção á mesma.

No perfil referente ao terceiro levantamento é possível identificar um ligeiro recuo da interface entre o perfil plano e inclinado, este recuo deve-se, sobretudo, a contínua ação da ondulação sobre o setor entre os 16-20 metros. A marca dos 18 metros mostra ainda a linha da última maré alta. Entre os 8 metros e 10 metros é possível observar ainda uma ligeira acumulação de seixos.

A dinâmica presente neste setor deve-se sobretudo á ação marinha. O perfil refletivo tende, ao longo do tempo, a evidenciar-se ainda mais devido ao pouco espaço que a onda tem para espraiar e assim dissipar a sua energia, assim com este perfil de praia tão plano nos primeiros metros a onda rebenta na interface entre as duas inclinações o que provoca o constante recuo da zona da praia alta (?).

Perfil 3

O perfil 3 localiza-se no setor central e apresenta 22,7 metros de comprimento (figura 84). No perfil referente ao primeiro levantamento é possível visualizar dois patamares bem definidos de seixos, o primeiro entre os 12 metros e os 16 na zona intertidal, já o segundo entre os 16-22 metros na zona da praia alta. É visível, entre os 17-19 metros, a existência de uma grande acumulação de seixos, esta acumulação poderá ter resultado de sucessivos momentos em que os seixos foram transportados e depositados neste setor devido a ação ondulatória.

No perfil referente ao segundo levantamento é possível salientar a pouca alteração do perfil da praia até aos 10 metros, mesmo com a mudança da cobertura sedimentar, agora constituída exclusivamente por areia.

A partir dos 10 metros, é possível evidenciar duas grandes alterações no perfil de praia, a primeira será a perda volúmica de seixos, e a segunda diz respeito à formação dum terceiro patamar. Na praia alta, o patamar existente a partir dos 19 metros não sofreu qualquer alteração, enquanto que entre os 12-19 metros, o patamar existente anteriormente, foi diferenciado em dois. Esta diferenciação aconteceu devido a ação marinha, onde os seixos anteriormente depositados no setor entre 17-19 metros foram remobilizados.

No perfil referente ao terceiro levantamento é possível observar a permanência do patamar da praia alta praticamente idêntico, o restante perfil sofreu aplanamento. É de notar ainda que todo o perfil voltou a ser recoberto por apenas seixos.

Perfil 4

O perfil 4 localiza-se no setor sul e apresenta 19,0 metros de comprimento (figura 85). No perfil referente ao primeiro levantamento é possível destacar a existência de dois patamares de seixos bem definidos:

- Entre os 7-12,5 metros, um patamar de grande dimensão com uma ligeira acumulação de seixos entre os 8 metros e 10 metros. Esta acumulação poderá ter resultado da quebra de energia dum momento de maior ondulação, onde pelo seu tamanho os seixos foram ali depositados;
- Entre os 12,5 metros até ao final do perfil, um patamar na zona alta da praia, sem interferência intertidal.

Entre os 0 metros e 7 metros a praia apresenta grande declive devido a contínua ação da ondulação.

No perfil referente ao segundo levantamento, o patamar localizado na praia alta cresceu sensivelmente 2 metros, enquanto que o patamar existente anteriormente entre os 7-12,5 metros foi desmantelado, alinhando-se pelo restante perfil da praia. Esta alteração resultou devido à ação marinha, depositando no setor mais alto da praia grande quantidade de seixos.

No perfil referente ao terceiro levantamento, é possível observar o recuo do patamar da praia alta em 50 centímetros, e a formação de dois patamares diferenciados, o primeiro entre os 5 metros e 7,5 metros, já o segundo entre os 7,5 metros e 12 metros. Estes patamares poderão ter sido formados pela remobilização dos seixos do patamar superior devido á ação marinha, visto que pela coloração dos mesmos, a linha da última maré alta localizou-se perto da cota dos 11 metros.

Perfil 5

O perfil 5 localiza-se no setor sul e apresenta 21,3 metros de comprimento (figura 86). No perfil relativo ao primeiro levantamento é possível observar entre os 0-6 metros que o perfil apresenta algum declive, neste setor a praia é composta essencialmente por areia. Entre os 6 metros e 8 metros há um pequeno depósito de seixos, formando assim o primeiro patamar, na marca dos 8 metros é possível distinguir a linha da ultima maré alta.

Entre os 8 metros até ao fim do perfil, a praia divide-se em diversos patamares de seixos com reduzida dimensão, dos 8-11 metros, dos 11-14 metros, e por fim o ultimo patamar apresenta uma forma oval. A diferenciação em todos estes patamares teve origem em sucessivos momentos

de deposição onde a ondulação deixou de ter capacidade para transportar os seixos, fazendo com que eles sofressem deposição.

No perfil relativo ao segundo levantamento é possível destacar o recuo do patamar mais elevado em aproximadamente um metro. Entre os 0-6 metros houve apenas alteração na cobertura sedimentar, agora composta por areia e seixos.

Entre os 6 metros e 15 metros houve grande perda sedimentar, os patamares foram dissolvidos ficando apenas um de grande dimensão.

No perfil correspondente ao terceiro levantamento é possível destacar o continuo recuo do patamar mais elevado, e a acumulação de seixos em todo o restante perfil, sobretudo entre os 4-12 metros. Também é de notar que a cobertura sedimentar é totalmente composta por seixos, e o aumento do declive entre os 0 metros e 4 metros do perfil da praia, este declive é uma característica deste tipo de praias.

A dinâmica presente neste setor é consequência da ação da ondulação onde há clara interferência sazonal, nos levantamentos realizados em novembro regista-se através destes perfis a deposição de seixos, enquanto que em junho há aplanamento do perfil, em consequência da perda dos mesmos.

Perfil 6

O perfil 6 localiza-se no setor sul e apresenta 34,1 metros de comprimento (figura 87). No perfil relativo ao primeiro levantamento é possível observar a existência de dois patamares diferenciados, o primeiro na zona da praia alta a partir dos 20 metros, enquanto que o segundo encontra-se entre os 10-20 metros. Este segundo patamar apresenta ainda duas pequenas acumulações de seixos. Entre os 0 metros e 10 metros, o perfil é igualmente constituído por seixos e apresenta grande inclinação, tal como já foi referido anteriormente, esta inclinação, na zona de rebentação das ondas, é uma característica das praias de seixos.

No perfil do segundo levantamento houve acumulação de seixos no setor entre os 18-22 metros, enquanto que o restante perfil perdeu cobertura sedimentar. É ainda possível observar o aumento da inclinação na zona mais proximal ao mar, entre os 0-5 metros.

No perfil do terceiro levantamento é possível observar que a partir dos 17 metros houve pouca alteração no perfil de praia. Entre os 0-17 metros houve aumento do volume de seixos, havendo

pequenas acumulações dentro do patamar localizado entre os 6-17 metros. Entre os 0-6 metros houve incremento da inclinação.

O perfil 6, tal como o perfil 5, apresenta alterações na sua morfologia, todavia estas alterações são menos energéticas do que registadas no perfil 5. Esta diferença poderá ser consequência da posição do setor em análise, visto que o perfil 6 encontra-se protegido por um volumoso afloramento rochoso, o que diminui a influência da ondulação.

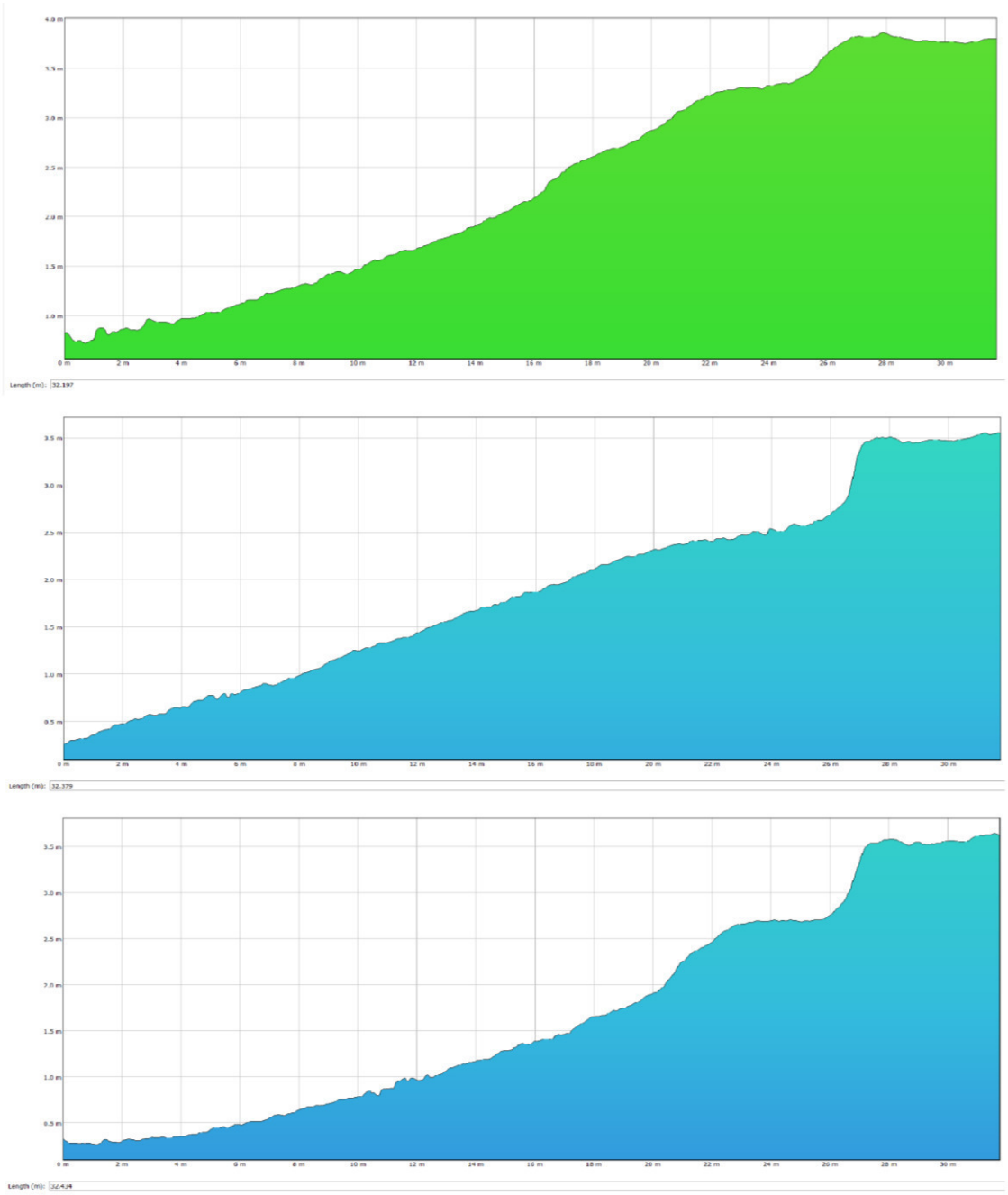


Figura 82- Perfil topográfico nº 1, desenhado sobre o modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL

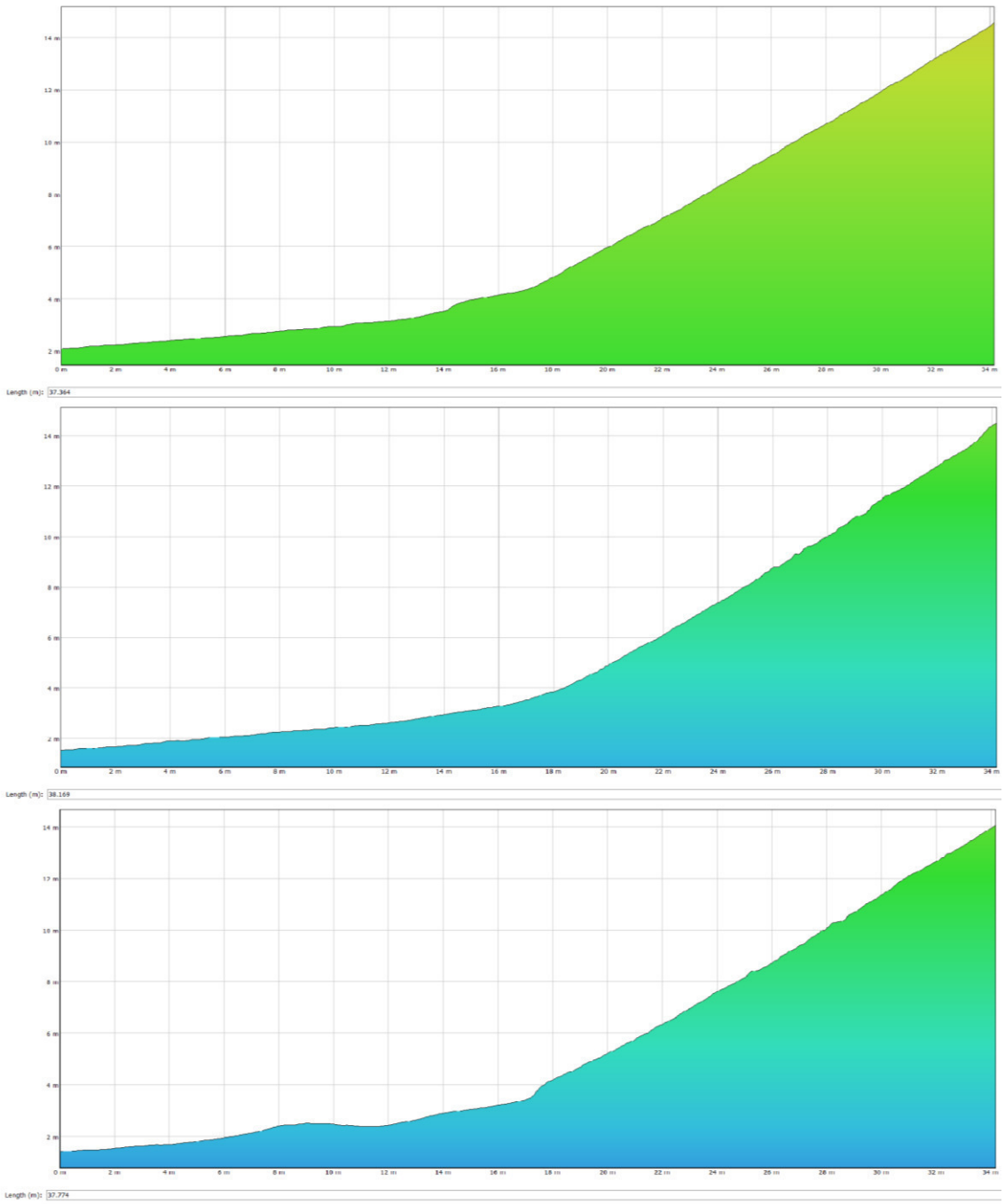


Figura 83- Perfil topográfico nº 2, desenhado sobre o modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL

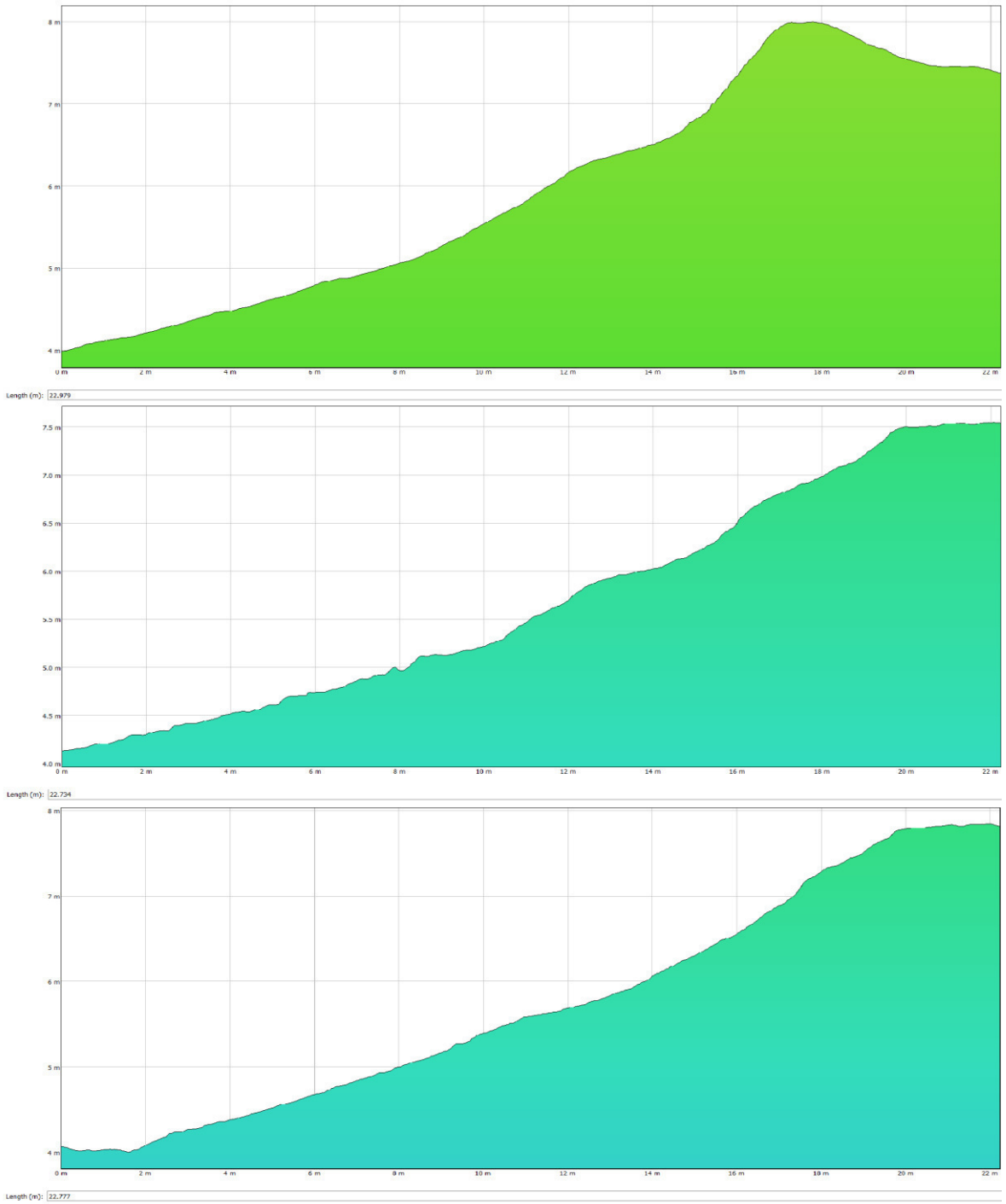


Figura 84- Perfil topográfico nº 3, desenhado sobre o modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL

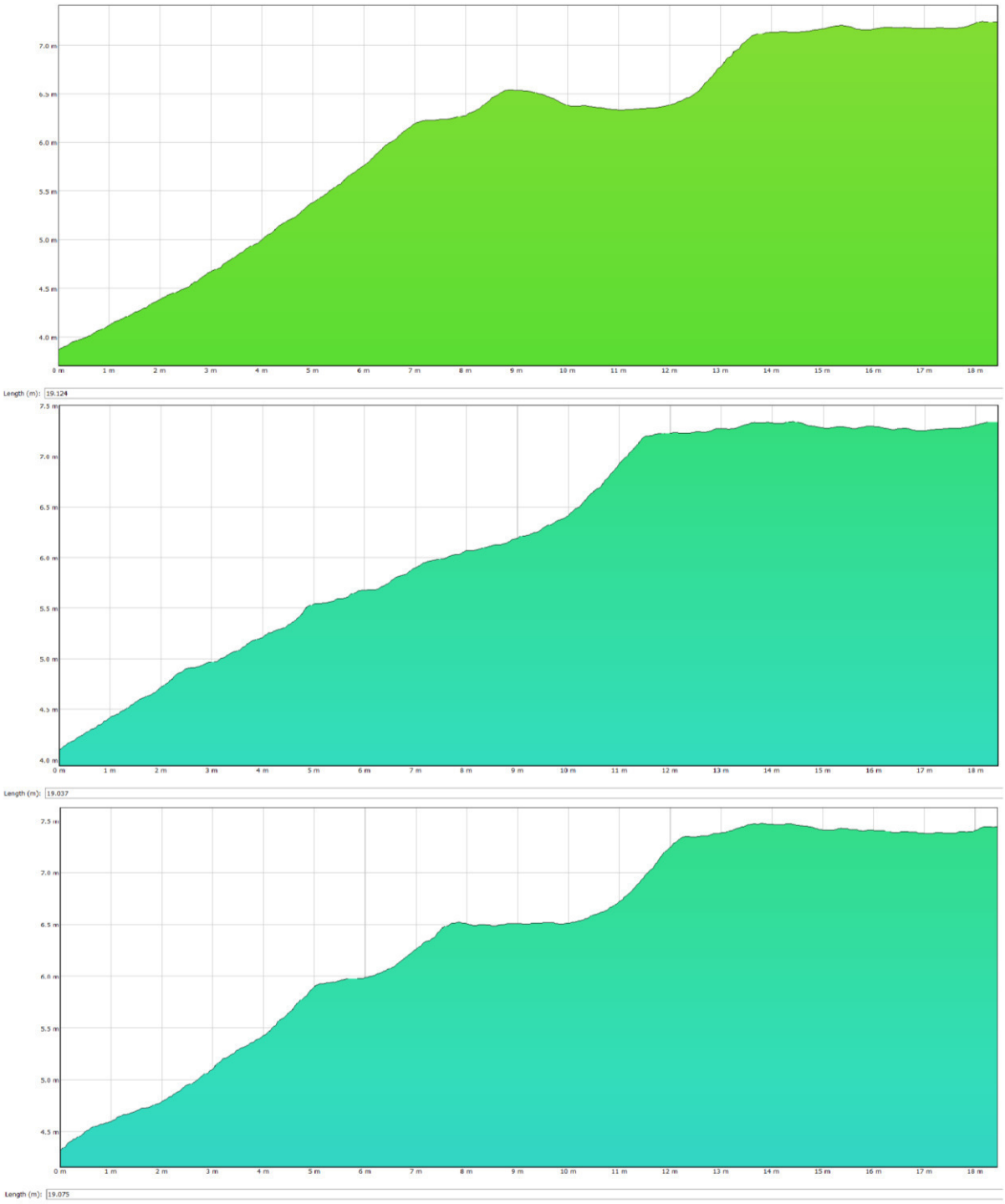


Figura 85- Perfil topográfico nº 4, desenhado sobre o modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL

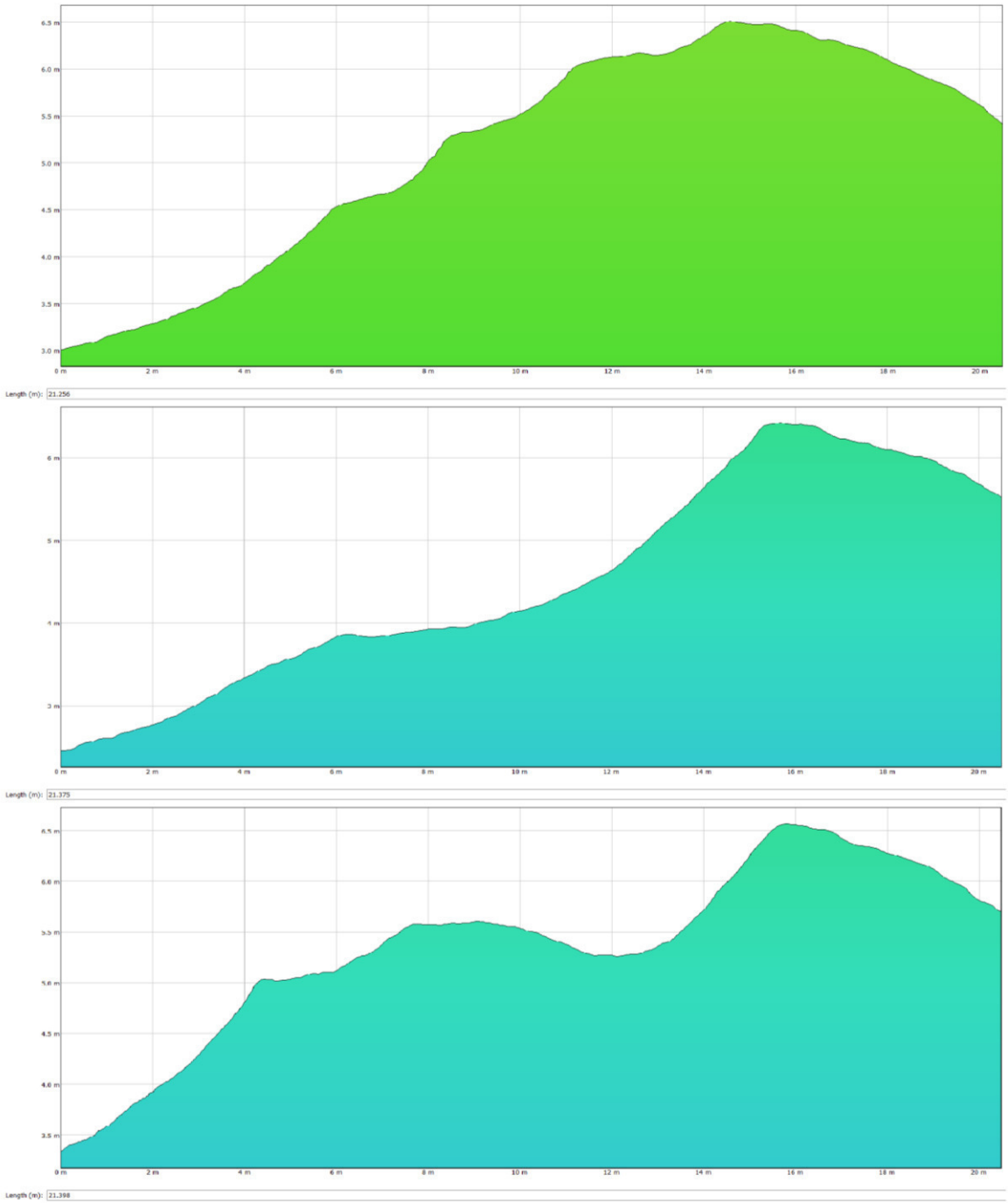


Figura 86- Perfil topográfico nº 5, desenhado sobre o modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL

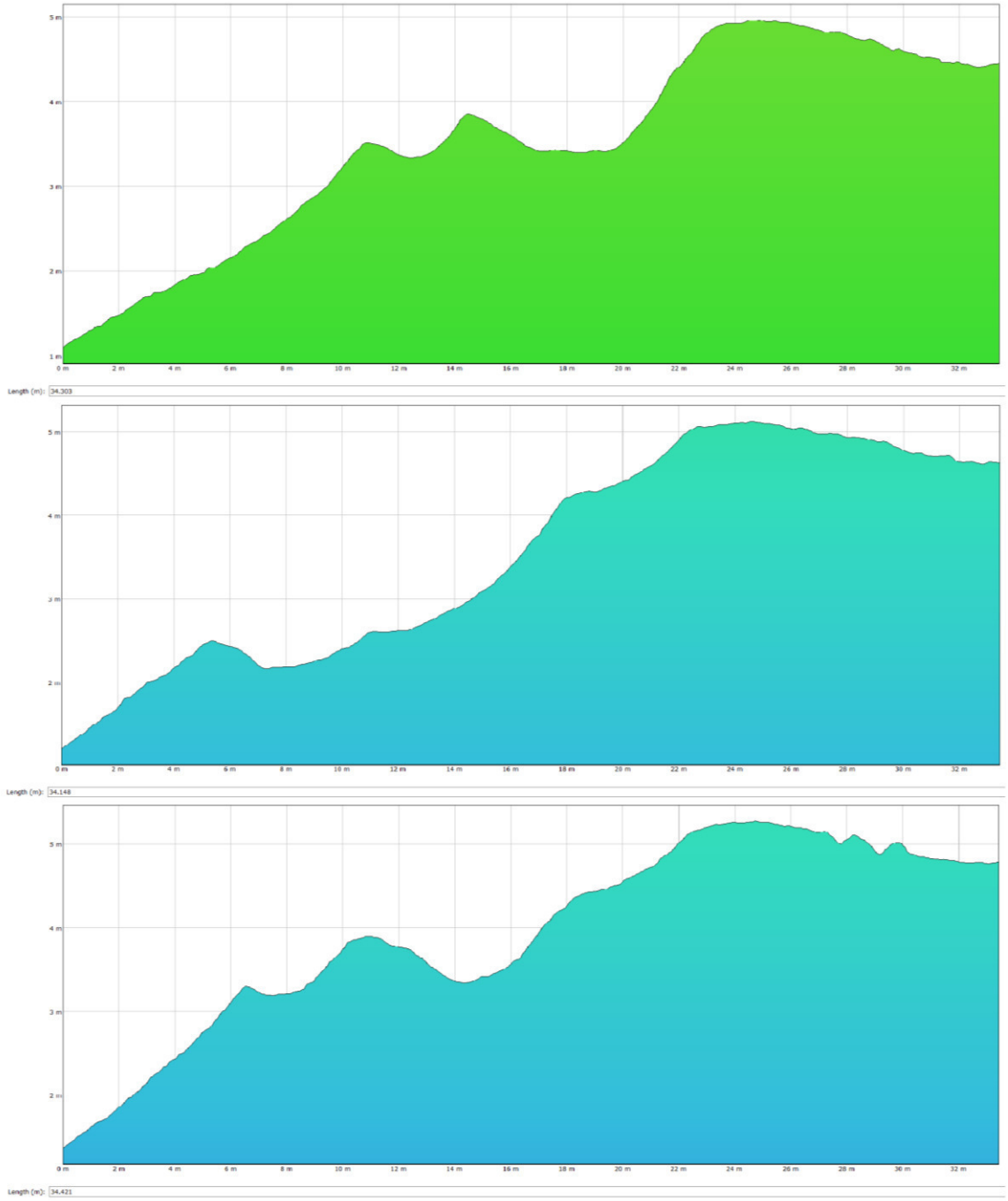


Figura 87- Perfil topográfico nº 6, desenhado sobre o modelo referente as praias de Belinho e Fieiro Alto com uma ferramenta disponibilizada pelo PhotoScan; em cima: perfil referente ao 1ºL; no centro: perfil referente ao 2ºL; em baixo: perfil referente ao 3ºL

4.1.2.5 Linhas de vegetação

As linhas de vegetação do modelo das praias de Belinho e Fieiro Alto foram desenhadas com o intuito de alargar a informação obtida para este setor costeiro. Foram desenhadas as linhas de vegetação correspondentes ao primeiro e terceiro levantamentos realizados, a 11 de novembro de 2016 e 17 de novembro de 2017, respetivamente. Na figura 88 é possível identificar à esquerda o Ortofotomapa relativo ao primeiro levantamento, e à direita o Ortofotomapa relativo ao terceiro levantamento, com as respetivas linhas de vegetação. À esquerda da figura 89 será ilustrado o mapa de variação altimétrica entre estes levantamentos com as linhas de vegetação, enquanto que à direita é possível identificar os limites de ampliação que serão destacados na figura 90.

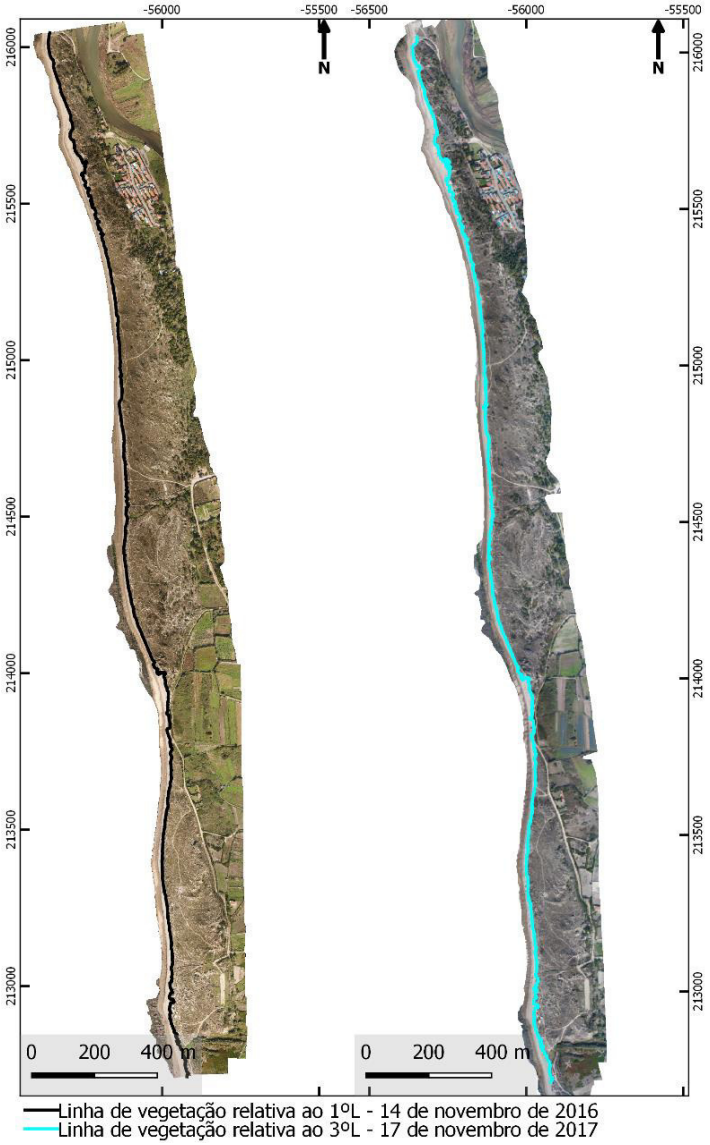


Figura 88- Ortofotomapas das praias de Belinho e Fieiro Alto relativos ao 1ºL (à esquerda) e 3ºL (á direita) com as respetivas linhas de vegetação desenhadas com diferentes cores.

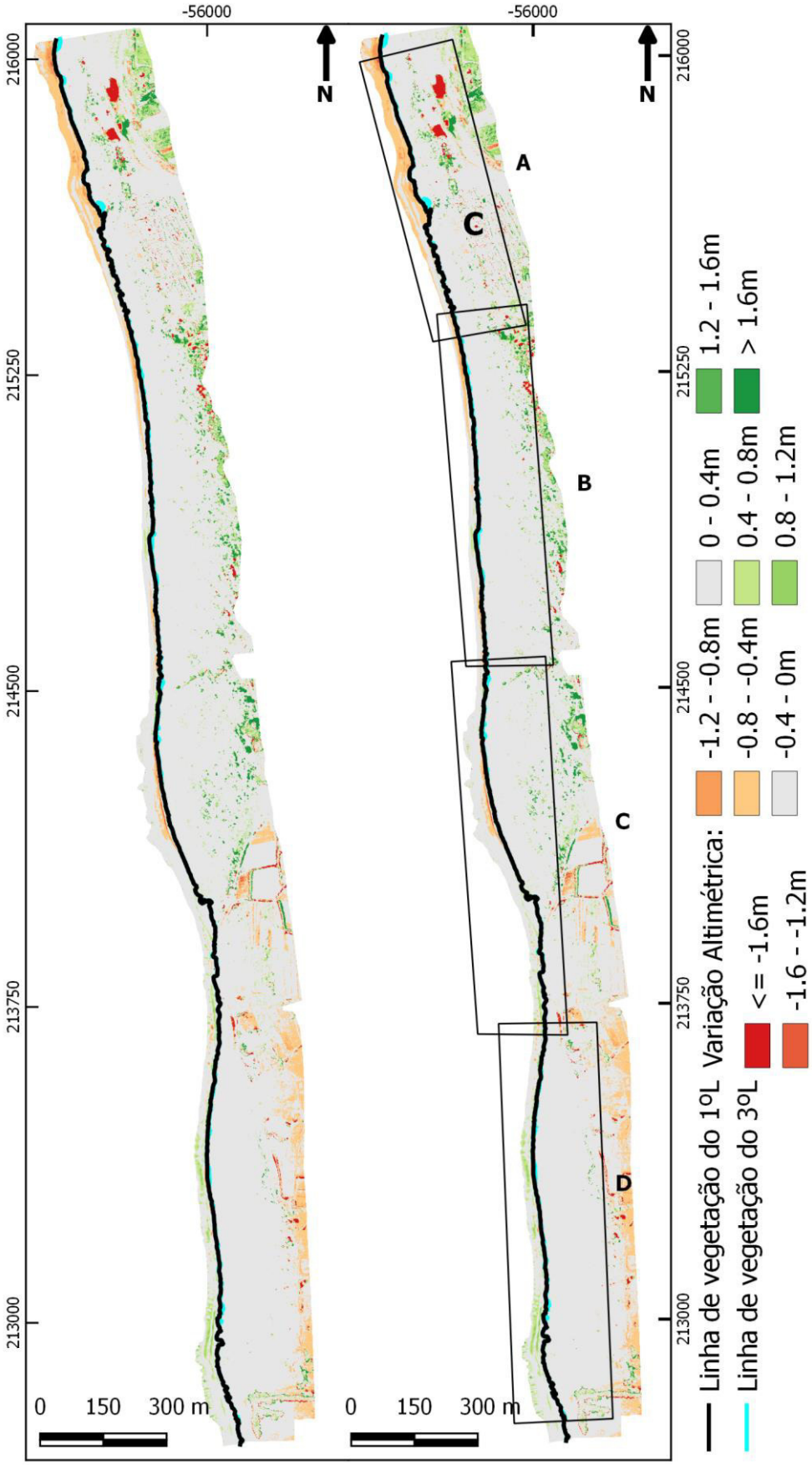


Figura 89- Mapas de variação altimétrica com a sobreposição das linhas de vegetação correspondentes ao 1° e 3° levantamentos para o setor de Belinho e Fieiro Alto, à direta sobreposição das áreas de ampliação.

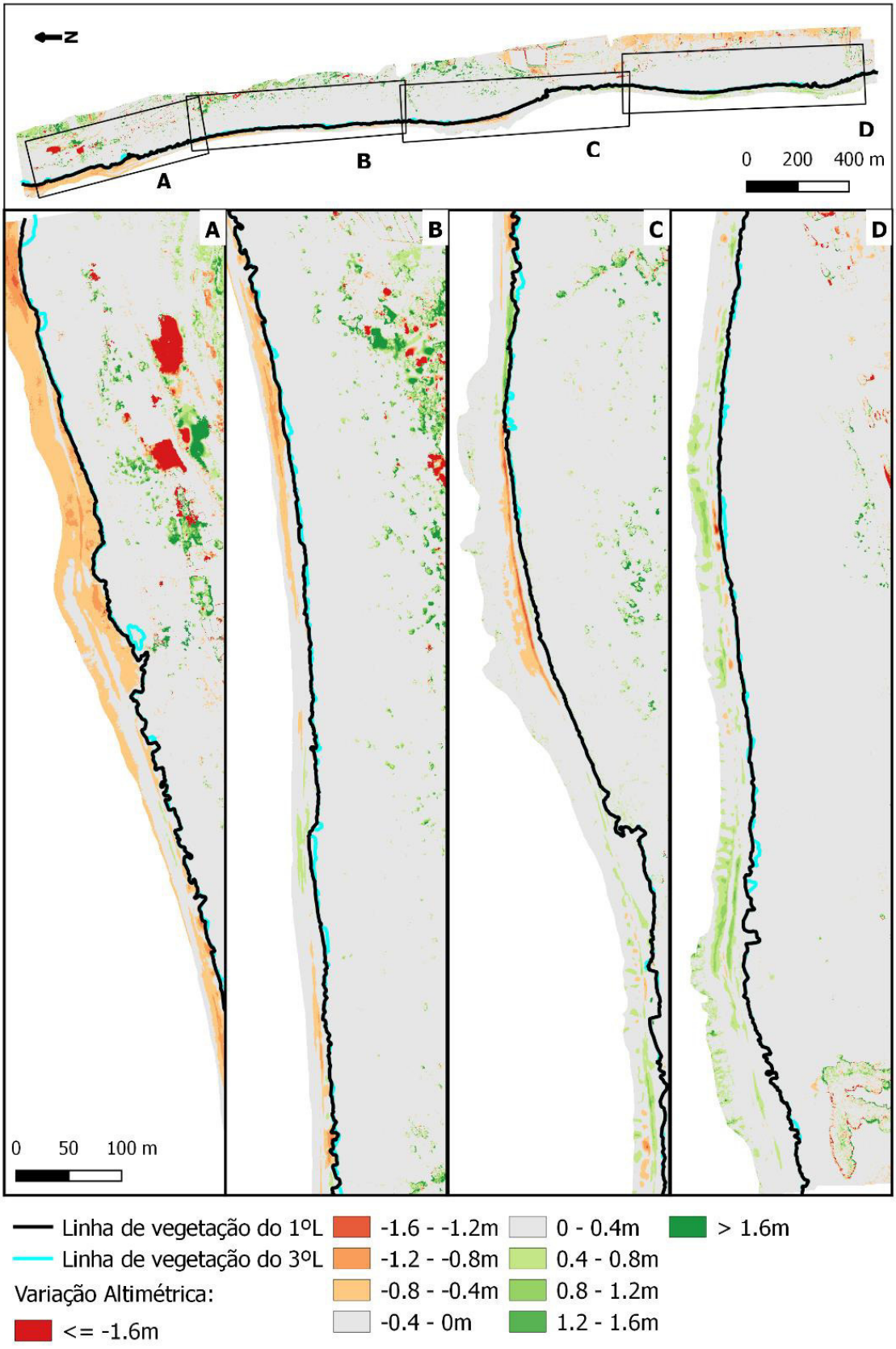


Figura 90- Ampliação da praia de Belinho e Fieiro Alto em quatro setores (A, B, C e D) de modo a visualizar com maior rigor a variação das linhas de vegetação entre o 1ºL e 3ºL sobrepostas sobre o mapa de variação altimétrico.

A análise relativa as taxas de variação da linha de vegetação serão apenas pontuais, assim serão salientados alguns locais de maior importância, tais como:

No setor referente ao polígono A, é possível observar um recuo da linha de vegetação quase uniforme por todo este setor, entre 1 metro a 2 metros.

No setor do polígono B observam-se dois setores pontuais onde a linha de vegetação recuou entre 4 metros a 6 metros, no restante setor deste polígono a LV seguiu o padrão do polígono A, registando recuos entre 1 metro e 2 metros. É de salientar ainda que o recuo da LV registado nos polígonos A e B acontece em setores onde houve perda sedimentar.

No setor norte do polígono C é possível destacar um setor onde a LV recuou entre 4 metros e 10 metros, todavia a sul e no patamar inferior deste setor houve acréscimo de sedimentos (figura 91), provavelmente resultado dum momento de sobrelevação do mar onde parte da vegetação foi removida e a energia da ondulação permitiu o transporte de seixos para estas áreas.

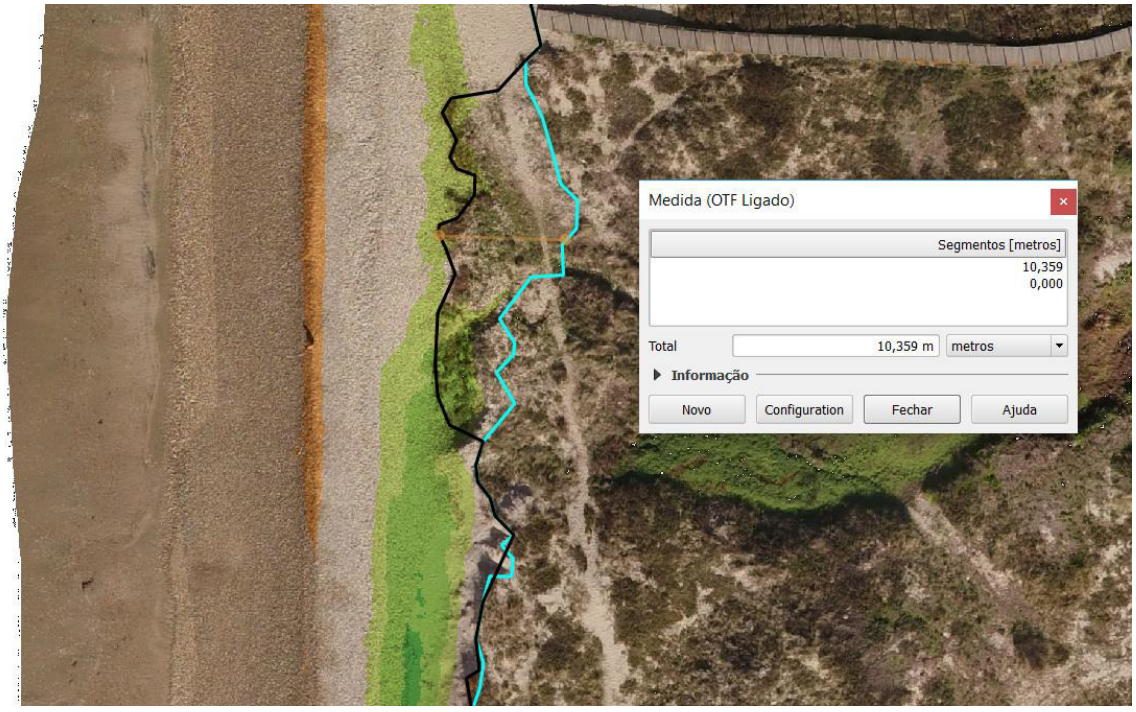


Figura 91- Captura de ecrã do ambiente de trabalho do Qgis com a ferramenta de medição do mesmo programa, com o Ortofotomapa relativo ao 1°L e sobreposição da camada do mapa de variação altimétrica, e linhas de vegetação referentes ao 1°L (a preta) e 3°L (a azul)

No restante polígono C, a LV seguiu o padrão de valores citados nos polígonos anteriores, sendo este recuo mais intenso em setores onde houve perda sedimentar.

No polígono D são observáveis pequenos setores pontuais onde a LV recuou entre 1 metro a 3 metros, esta menor quantidade de setores onde a LV recuou estará ligada com a menor perda volúmica registada também neste setor.

Em suma, as áreas representadas pelos polígonos A e B sofreram mais e maior recuo da LV, enquanto que no setor sul, onde houve maior incremento sedimentar, o recuo da LV foi menos notório. Não se pode colocar de parte a importância que o pisoteio da vegetação apresenta neste setor causando a instabilidade do mesmo, o que acaba por contribuir para a degradação deste setor litoral.

4.1.2.6 Síntese de resultados

Para o setor de Belinho e Fieiro Alto, obtiveram-se três MDS e três Ortofotomapas de elevada qualidade. Os baixos erros obtidos garantiram que todos os dados obtidos a partir destes, fossem verosímeis e minuciosos. Assim, com o intuito de obter o máximo de informação possível sobre este setor definiram-se, a partir dos MDS e Ortofotomapas seis perfis topográficos, seis grelhas e catorze polígonos.

Relativamente a informação obtida através da análise dos volumes medidos, referentes ao primeiro e segundo levantamentos, é possível observar que todo o setor de praia, exceto as áreas referentes aos polígonos A e G, apresenta perda volúmica. Os polígonos A e G localizam-se a sul de diferentes afloramentos rochosos, apresentando assim incremento de seixos, estes afloramentos poderão ter dado a capacidade a estes setores de reterem os seixos provindos da deriva litoral.

Entre o segundo e terceiro levantamento destaca-se a continua perda de sedimentos no setor norte, correspondente a área do polígono P. E a inversão da variação volúmica em alguns setores, tais como os polígonos A e G que neste período perderam seixos. A área referente aos polígonos B, D e E, também inverteram a tendência anteriormente registada, apresentando assim incremento sedimentar. ´

A partir da comparação entre o primeiro e último levantamentos, é possível observar duas distintas tendências, o setor sul tendeu a acumular sedimentos, enquanto que o setor norte apresentou grande tendência para perder sedimentos.

É possível concluir ainda que os polígonos desenhados sobre as zonas vegetadas não ofereceram grande tipo de informação no âmbito deste trabalho, pois além de apresentarem variações volúmicas, não é possível identificar com certeza e rigor as razões das mesmas.

A grande variedade de dados obtidos através desta metodologia permite ainda cruzar toda a informação e assim obter algumas ilações mais fundamentadas sobre este setor da costa.

No setor norte, a perda ocorrida na zona da praia alta, dentro do polígono P, foi também visível no perfil número 1. Pela comparação dos perfis ao longo dos três períodos analisados, houve perda sedimentar nesta zona, e a formação de uma arriba de erosão bastante evidenciada. Nesta zona, também o perfil 2 corroborou a informação já existente, todavia estes perfis facilitam a visualização e interpretação dos resultados.

No setor sul, na área do polígono B, o perfil número 6 foi bastante útil para assim perceber a dinâmica deste setor constituído por seixos, visto que entre os sucessivos levantamentos, este setor apresentou diferentes áreas de acumulação e perda de seixos. Entre o primeiro e segundo levantamentos houve acumulação de seixos, sobretudo, no setor da praia alta, havendo perda na zona da baixa praia. Entre o segundo e terceiro levantamentos é possível observar que houve acumulação evidente na zona intertidal. Enquanto que entre o primeiro e último levantamento, os dados obtidos pelo mapa de variação altimétrico são também, na sua totalidade, demonstrados pelo perfil 6.

Já no polígono D, o perfil 5 deu forma ás perdas e incrementos de sedimentos ocorridos nesta área ao longo dos três levantamentos, o que ajudou na interpretação e visualização da dinâmica presente nesta área.

Capítulo V

Conclusões

A metodologia de utilização de VANT como plataforma na recolha de informação mostrou-se bastante eficiente, tendo sido possível obter dados topográficos e fotográficos precisos, principalmente quando conjugados com informação posicional recorrendo à tecnologia de DGPS. Esta conjugação culminou na obtenção de produtos geodésicos com erros de posicionamento bastante baixos.

A manipulação desta informação originou resultados com extrema utilidade, pois a sua precisão e aplicabilidade, para além da informação extraída neste trabalho, poderão vir a ser importantes em futuros estudos de dinâmica costeira. Assim a exponencial utilização dos VANT como base da recolha de informação para fins fotogramétricos, acarreta inúmeros pontos positivos em diversos setores, sobretudo no âmbito da monitorização e gestão costeira.

Os MDS e Ortofotomapas, resultantes da metodologia apresentada no capítulo 3, mostraram-se bastante precisos e com grande detalhe, permitindo assim extrair, manipular e interpretar dados com bastante pormenor e rigor, com valor de DAS compreendidos entre 3,72 cm/px e 5,21 cm/px. São também bons referenciais para criar uma situação base para comparação da evolução futura.

A utilização dos VANT revelou-se bastante adequada para trabalhos no litoral, tendo em conta a facilidade de transporte conjugada com a qualidade que estes veículos aéreos já apresentam e que tornam este método bastante fiável e eficaz. Os VANT são de momento a vanguarda tecnológica, estão em constante desenvolvimento e a sua aplicabilidade na fotogrametria torna-se assim mais importante, garantindo um trabalho económico, ecológico, rigoroso, fiável e veloz. Na presença de condições meteorológicas favoráveis, todo o procedimento necessário para realizar os levantamentos não se prolongou por mais de 1 hora para cada área em estudo, dependendo este tempo do tipo de VANT, da área de estudo e do tipo de voo realizado. Tal como referido anteriormente, o voo linear agilizou o processo de recolha de informação em comparação com o voo poligonal. Outro fator importante é a possível replicação dos planos de voo, assim há maior facilidade e menor perda de tempo para planear futuros levantamentos.

Todavia, a utilização de VANT não acarreta apenas vantagens, sendo a grande desvantagem destes dispositivos é a sua dependência em relação às condições meteorológicas. A intensidade do vento, a precipitação e até a densa neblina são fatores importantíssimos que influenciam o desempenho

destes dispositivos e a qualidade dos resultados obtidos. No litoral estes fatores estão presentes com alguma regularidade, por vezes em áreas bastante localizadas, impossibilitando a sua previsão. Um exemplo desta desvantagem ocorreu neste trabalho, em que por três ocasiões, a ida a campo e o consequente levantamento tiveram de ser adiados pois não estavam reunidas as condições mínimas para realizar o voo.

Ainda em relação ao trabalho de campo, a recolha dos GCP é mais demorada, visto que este procedimento requer a colocação de uma estação GPS e a constante mobilização aos pontos previamente selecionados. Porém, tal como os planos de voo, a informação recolhida pode ser reutilizada em futuras campanhas.

Do ponto de vista do processamento de informação, o *AgiSoft PhotoScan Pro* revelou-se um *software* bastante poderoso. Além de permitir a criação dos produtos finais – os MDS e Ortofotomapas, também possui várias ferramentas úteis, tais como: a medição de volumes, e a possibilidade de delinear linhas, para definir as linhas de vegetação e a criação de perfis. Este programa permite ainda exportar os produtos finais ortorretificados e georreferenciados em diversos formatos para outras plataformas SIG, o que é sempre outro ponto favorável.

O *Global Mapper*, além de poucas vezes referenciado ao longo do trabalho, foi um *software* útil pois permitiu, de um modo rápido e bastante simples, a criação dos mapas de variação altimétrica. Este procedimento poderia ter sido realizado no programa Qgis, embora o *Global Mapper* apresenta, no ponto de vista do utilizador, uma melhor relação no que diz respeito à facilidade de execução/tempo. O produto final desta etapa foi posteriormente exportado para o Qgis, onde a manipulação de informação é mais simples.

A informação foi assim manipulada e editada no Qgis, este programa é de fácil aprendizagem, apresenta uma alargada gama de soluções e promove resultados bastante satisfatórios. Para este trabalho, a capacidade de ler e conjugar diversos tipos de informação foi bastante importante para obter os resultados finais.

Contudo, durante a fase de processamento de informação surgiram algumas dificuldades. Entre elas, destaca-se a necessidade que este de tipo de processamento de dados requer no que toca ao *hardware* informático. Dada a qualidade dos resultados obtidos e a grande quantidade de informação cruzada, há a necessidade de recorrer a hardware de grande capacidade. A não utilização de máquinas tão poderosas será sempre um entrave para este tipo de campanhas na

obtenção de dados com a qualidade apresentada ao longo do trabalho. Somando a este facto, é possível destacar ainda o grande volume de informação extraída de todo o processo. Esta informação, decorrente do facto de ter largas porções de espaço representadas com uma GSD pequena, necessita de um grande volume de armazenamento.

A partir dos Ortofotomapas e dos MDS, seria ainda possível realizar o cálculo matemático das taxas de mobilidade de outros indicadores bidimensionais. Seria possível delinear indicadores como a linha de preia-mar e linha de topo de arriba. Porém, não sendo o principal objetivo deste trabalho foi apenas delineada a linha de vegetação para assim completar os dados já existentes e analisar possíveis galgamentos. Salienta-se ainda que os dados obtidos durante este trabalho podem ser utilizados para outros propósitos noutras áreas, tais como: :

- Inventariação da vegetação dunar e dinâmica ecológica- no âmbito da biologia e ecologia;
- Estudo do impacte de obras costeiras "pesadas" - no âmbito ambiental, geológico e de dinâmica costeira;
- Estudo de inundações costeiras- no âmbito da dinâmica costeira;
- Estudo da eficácia de defesas costeiras "leves" - no âmbito do ordenamento e dinâmica costeira.

Em suma, os métodos utilizados durante este trabalho permitiram concluir que se trata de um procedimento eficiente e bastante eficaz no que diz respeito à gestão e à monitorização de sistemas costeiros. Os MDS e Ortofotomapas gerados são claramente mais valias para este setor devido ao grande leque de informação que é possível retirar dos mesmos, podendo ser aplicados em diferentes campanhas com diferentes intuitos, tais como questões de ordenamento e planeamento do território, ambientais e científicas em diversas áreas.

Referências bibliográficas

Agisoft (2017). Agisoft Photoscan User Manual, Professional Edition, Version 1.3.

Azevedo, Manuel (2002). "Os seixos na praia do Belinho" - Acção B6 – À descoberta do património natural do litoral.

Baltsavias, E. P. (1999). A comparison between photogrammetry and laser scanning. ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing, 54(2), 83-94.

Baptista, P. (2006). O sistema de posicionamento global aplicado ao estudo de litorais arenosos, Tese de doutoramento, Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências

Berberan, A. (2003). Elementos de fotogrametria: aplicada à aquisição de informação Geográfica.

Berni JAJ, Zarco-Tejada PJ, Suárez L, Fereres E (2009) Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. Trans Geosci Remote Sens 47:722–738

Bio, A., Bastos, L., Granja, H. M., Pinho, J. L., Gonçalves, J. A., Henriques, R. F., Madeira, S., Magalhães, A. & Rodrigues, D. (2015). Methods for coastal monitoring and erosion risk assessment: two Portuguese case studies. Revista de Gestão Costeira Integrada, 15(47), 63.

Bluck, B.J., (1967). Sedimention of beachs gravels: exemples from South Wales. *Journal of Sedimentology Petrology*, *62*: 569-583.

Cabral, J. (1986). A neoctectónica de Portugal Continental. Estado actual dos conhecimentos. *Boletim informativo Sociedade Geológica de Portugal, Maleo*, vol. 2, nº 14, p. 3-5.

Cabral, J., Ribeiro, A. (1989). Incipient subduction along the West- Iberia continental margin. *Abstract of the 28th International Congress*, 1/3,223.

Çabuk A, Deveci A, Ergincan F (2007) Improving heritage documentation. GIM Int 21(9).

Calijuri, M. L., & RÖHM, S. (1994). Sistemas de informação geográfica. *Viçosa: Imprensa Universitária da UFV*.

Carvalho, G. S. (1981). Uma metedologia para a análise dos depósitos quaternários. *Arqueologia*, 4: 1 -18. Porto.

Carvalho, G. S. (1983a). Notícia sobre a eolização durante o Quaternário no litoral minhoto (Portugal). *Cadernos Arqueologia Museu D. Diogo de Sousa*. 2: 1 -11. Braga.

Carvalho, G. S. (1983b). Consequências do frio durante o Quaternário no litoral do Minho (Portugal). *Cuadernos do Laboratorio Xeologia de Laxe*, 5: 365-380. Coruña.

Carvalho, G. S. (1988). Problemas das formações quaternárias do Minho. *Genovas, Associação Portuguesa de Geólogos*, Lisboa, vol. 10, p. 107- 112.

Carvalho, G. S., Granja, H. M., Loureiro, E., Henriques, R. (aceite, 2006). Late Pleistocene and Holocene environmental changes in the coastal zone of Northwestern Portugal. *Journal of Quaternary Science*.

CENSOS (2011). Instituto Nacional de Estatística. Lisboa.

Chou T-Y, Yeh M-L, Chen Y C, Chen Y H (2010) Disaster monitoring and management by the unmanned aerial vehicle technology. Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vienna, Austria, 38(7B):137-142.

Chrisman, N. R. (1999). What does 'GIS'mean?. *Transactions in GIS*, *3*(2), 175-186.

Coelho Filho, L. & J. Brito. (2007). Fotogrametria Digital. EdUerj, Rio de Janeiro.

Colomina I, Blázquez M, Molina P, Parés ME, Wis M (2008) Towards a new paradigm for high-resolution low-cost photogrammetry and remote sensing. In: Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, China, 37 (B1): 1201–1206.

Davis, R.A. e Hayes, M.O. (1984). What is a wave dominated coast? *Marine Geology*, 60: 313-329.
Dduplessy, J. C., Moral, P. (1990). *Gros Temps Sur la Planète*, Ed. Odile Jacob, Paris, 296 p.

Davis, C., & Câmara, G. (2001). Arquitetura de sistemas de informação geográfica. *Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE*.

Decreto-Lei nº 1093/2016. de 14 de dezembro de 2016, Diário da República, 238/2016, Série II de 2016-12-14.

Dias, J.A., (1987). Dinâmica Sedimentar e Evolução Recente da Plataforma Continental Portuguesa Setentrional. *Dissertação de Doutoramento*, 384p, Universidade de Lisboa

Dias J.A. (2004). A história da evolução do litoral português nos últimos vinte milénios. In A. A. Tavares, M. J. F. Tavares, J. L. Cardoso (Eds.) Evolução Geohistórica do Litoral Português e Fenómenos Correlativos: Geologia, História, Arqueologia e Climatologia, 157-170.

Diogo, Z.; Silveira, T.M.; Sousa, H.; Carapuço, A.M.; Silva, A.N.; Lira, Fátima C. G. P; Taborda, Rui; Andrade, C (2013). Entregável 2.2c Caracterização da variabilidade morfodinâmica sazonal e pós-temporal das praias da Costa da Caparica

DJI[a] (2017). Inspire 1: User Manual, V2.2. Disponível em: https://www.dji.com/inspire-1

DJI[b] (2017). Phantom 4 Pro/Pro+: User Manual, V1.2. Disponível em: http://www.dji.com/phantom-4-pro

Dolan, R., Hayden, B. P., May, P., May, S. (1980). The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach*, Vol. 48, No 4, pp. 22- 29.

Dolan, R., Fenster, M. S., Holme, S. J. (1992). Spatial Analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, Vol. 8, No 2, pp. 263-285.

Eisenbeiss H (2009). UAV photogrammetry. Dissertation ETH No. 18515, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, Mitteilungen 105

Feenstra, J. F., Burton, I., Smith, J. B., & Tol, R. S. (1998). Handbook on methods for climate change impact assessment and adaptation strategies (Vol. 2). Version.

Felgueiras, C. A. (1999). Análises sobre modelos digitais de terreno em ambiente de sistemas de informações geográficas. *DPI/INPE*.

Foote K. E & M. Lynch (1996). Geographic information systems as an integrating technology: context, concepts, and definitions.

Gonçalves, J., Bastos, L., Perez, B., & Magalhães, A. (2010). Monitoring of beaches and sand dunes using digital aerial photography with direct georeferencing. na. Granja (1999).
Gonçalves, G., Santos, J., & Cortês, N. (2011). Avaliação da qualidade de modelos digitais de terreno obtidos por Lidar em ambiente urbano: um caso de estudo. In *VII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Lisboa* (Vol. 5).

Gonçalves, J. A., & Henriques, R. (2015). UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 104, 101-111.

Granja, H. (1990). Repensar a geodinâmica da zona costeira – O passado, o presente; que futuro? *Dissertação de Doutoramento*, Universidade do Minho, Braga 1990, pp. 347.

Hapke, C., & Richmond, B. (2000). Monitoring beach morphology changes using small-format aerial photography and digital softcopy photogrammetry. Environmental Geosciences, 7(1), 32-37.

Hartmann W, Tilch H S, Eisenbeiss H, Schindler K (2012) Determination of the UAV position by automatic processing of thermal images. Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Melbourne, Australia, 39 (5).

Henriques, R (2006) Monitorização da zona costeira tendo em vista a sua vulnerabilidade – Aplicação à zona costeira noroeste de Portugal. Tese de Doutoramento, 526pp, Universidade do Minho.

Hodgson, M., and Bresnahan, P., (2004). Accuracy of airborne LiDAR-derived elevation: Empirical assessment and error budget. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 70(3), pag. 331–340.

Hogan, D. B., & Rosenberg, A. (1985). Spaceborne lidar sensors-Opportunity and challenge. In IN: Monitoring earth's ocean, land, and atmosphere from space- Sensors, systems, and applications (A86-13802 03-42). New York, AIAA, 1985, p. 746-796. (pp. 746-796).

Holman, R. A., Sallenger, A. H., Lippmann, T. C., & Haines, J. W. (1993). The application of video image processing to the study of nearshore processes. Oceanography, 6(3), 78-85.

Huisman, O; de By, R. (ED.) (2009) - Principles of Geographic Information Systems. Na introductory textbook, ITC, Enschede, 540 p.

Lambers K, Eisenbeiss H, Sauerbier M, Kupferschmidt D, Gaisecker T, Sotoodeh S, Hanusch T (2007). Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modeling of the late intermediate period site of Pinchango Alto, Palpa, Peru. J Archaeol Sci 34(10):1702–1712

Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2014). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons.

Lima, T. (2006). Desenvolvimento de um sistema de custo reduzido para geração de sinal de correção diferencial, em tempo real, para GPS.

Linder, W. (2013). Digital photogrammetry: theory and applications. Springer Science & Business Media.

Loureiro, E. (1999). *Morfodinâmica das praias de seixos do Litoral de Esposende*. Tese de mestrado, Universidade do Minho, Braga, 187 p.

Loureiro, E. (2006). INDICADORES GEOMORFOLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DA TENDÊNCIA EVOLUTIVA DA ZONA COSTEIRA (Aplicação ao concelho de Esposende)

Madeira, S., Gonçalves, J., & Bastos, L. (2013). Accurate DTM generation in sand beaches using Mobile Mapping. Journal of Coastal Conservation, 17(3), 579-588.

Magalhães, F. (1999). *Os Sedimentos da Plataforma Continental Portuguesa: contrastes espaciais, perspectiva temporal, potencialidades económicas*. Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa, 289.

Maia, P. (2015). Estudo Comparativo de Novas Metodologias para Geração de Ortofotomapas em Ambiente de Produção.

Martinez JR, Merino L, Caballero F, Ollero A, Viegas DX (2006). Experimental results of automatic fire detection and monitoring with UAVs. For Ecol Manag 234S (2006):S232.

Matos, J. (2007). Modelos Digitais de Terreno. *Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura*.

Meireles, J. e Texier, J. P. (2000). Etude morphostratigraphique dês dépôts littoraux du Minho (NW du Portugal). *Quaternaire*, 11, 1, p. 21-29.

Mitasova, H., Drake, T. G., Bernstein, D., & Harmon, R. S. (2004). Quantifying rapid changes in coastal topography using modern mapping techniques and geographic information system. Environmental & Engineering Geoscience, 10(1), 1-11.

Molina P, Colomina I, Vitoria T, Silva P F, Skaloud J, Kornus W, Prades R, Aguilera C (2012) Searching lost people with UAVs: the system and results of the close-search project. Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Melbourne, Australia, 39(1).

Newcombe L (2007). Green fingered UAVs. Unmanned Vehicle.

Nielsen, M.Ø. (2004). True orthophoto generation. Technical University of Denmark, DTU, DK - 2800 Kgs. Lyngby, Denmark.

Niethammer U, Rothmund S, James M R, Traveletti J, Joswig M (2010) UAV-based remote sensing of landslides. Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Newcastle upon Tyne, UK, 38 (5), on CD-ROM.

Pan, P. S. (2004). Monitoring coastal environments using remote sensing and GIS. GIS for coastal zone management. CRC Press, Boca Raton, 35-49.

Paskoff, R. (1998). *Les littoraux - impact des aménagemants sur leur évolution*. Armand Colin, Paris 260 p.

Pereira E. (Coordenador). (1989). Carta geológica de Portugal, escala 1/200 000, Folha 1. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Przybilla H-J, Wester-Ebbinghaus W (1979) Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug. Bildmessung und Luftbildwesen. Zeitschrift fuer Photogrammetrie und Fernerkundung. Herbert Wichman Verlag, Karlsruhe

Rau, J., Chen, N. Y., & Chen, L. C. (2002). True orthophoto generation of built-up áreas using multi-view images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, *68*(6): p. 581-588. remote sensing, GIS and stochastic modelling. Journal of environmental management, 64(3), 273-284.

Réstas A (2006) The regulation unmanned aerial vehicle of the Szendro fire department supporting fighting against forest fires 1st in the world! For Ecol Manag 234S

Rinaudo F, Chiabrando F, Lingua A, Spanò A (2012) Archaeological site monitoring: UAV photogrammetry could be an answer. Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Melbourne, Australia, 39(5)

Rodrigues, A., Magalhães, F. e Dias, J. M. A., (1991). Evolution of the north Portuguese coast in the last 18000 years. *Quaternary international*, 9, 67-74.

Rosen, P. Benno, M. (1989). Transport of coarse material in low energy beach environment. Costal Zone'89, Charleston, South Carolina, Vol. 2:1724-1737.

Santana, R. M. (2009). Fotogrametria Digital.

Schenk, T. (2005). Introduction to photogrammetry. The Ohio State University, Columbus.

SenseFly (2014). SenseFly Swinglet Cam: Extended User Manual, Revison 12.

Smith J G, Dehn J, Hoblitt R P, LaHusen R G, Lowenstern J B, Moran S C, McClelland L, McGee K A, Nathenson M, Okubo P G, Pallister J S, Poland M P, Power J A, Schneider D J, Sisson T W (2009) Volcano monitoring. Geological Monitoring, Geological Society of America, Eds Young and Norby, 273–305, doi: 10.1130/2009.

Su, J. & Bork, E, (2006). Influence of vegetation, slope, and LiDAR sampling angle on DEM accuracy. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72(11), pag. 1265– 1274.

Teixeira, C., Medeiros, A. C., Alves, C. A. M. e Moreira, M. M. (1969). *Carta geológica de Portugal na escala 1/50 000*. Notícia explicativa da folha 5C – Barcelos. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, 49 p.

Trimble (2006). Sistema GPS Trimble 5800 Limited: Especificações técnicas

Tsui, James (2005). "Fundamentals of Global Positioning System Receivers. A software approach".

Vine, M. F., Degnan, D., & Hanchette, C. (1997). Geographic information systems: their use in environmental epidemiologic research. Environmental health perspectives, 105(6), 598.

Weng, Q. (2002). Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite

Zhilin Li, Qing Zhu, Chris Gold, (2005). Digital Terrain Modelling: Principles and Methodology, CRC Press.

Paginas *online* visitadas:

GeoDrones- site visitado em 16/06/2017- http://geodrones.com.br/blog/agisoft-photoscan-saiba-tudo-sobre-este-software/

SenseFly- site visitado em 03/09/2017- https://www.sensefly.com/software/emotion-2.html – disponível em formato PDF: https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/sensefly/images/web2014/emotion/eMotion-Features-List.pdf

DronesMadeEasy – site visitado em 09/09/2017 http://www.dronesmadeeasy.com/Articles.asp?ID=254

Pix4D – site visitado em 20/11/2017 - https://pix4d.com/

DroneDeply – site visitado em 24/01/2018- https://support.dronedeploy.com/docs/mapping-varied-elevations-tall-buildings-or-trees#section-1-ground-sampling-distance-resolution

QuestUAV – site visitado em 07/02/2018 https://www.questuav.com/media/news/questuav-sensor-gimbals-improve-flight-efficiency-15-percent/

GlobalBapper- site visitado em 29/01/2018- http://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper.php

Anexos

Anexos ao capitulo IV

Anexo A- Ampliação dos mapas de variação altimétrica correspondentes à praia de Cepães.

Anexo B- Ampliação dos mapas de variação altimétrica correspondentes às praias de Belinho e Fieiro Alto.

Anexo A

Ampliação do mapa de variação altimétrica entre o primeiro e segundo levantamentos realizados para a praia de Cepães com representação dos polígonos.

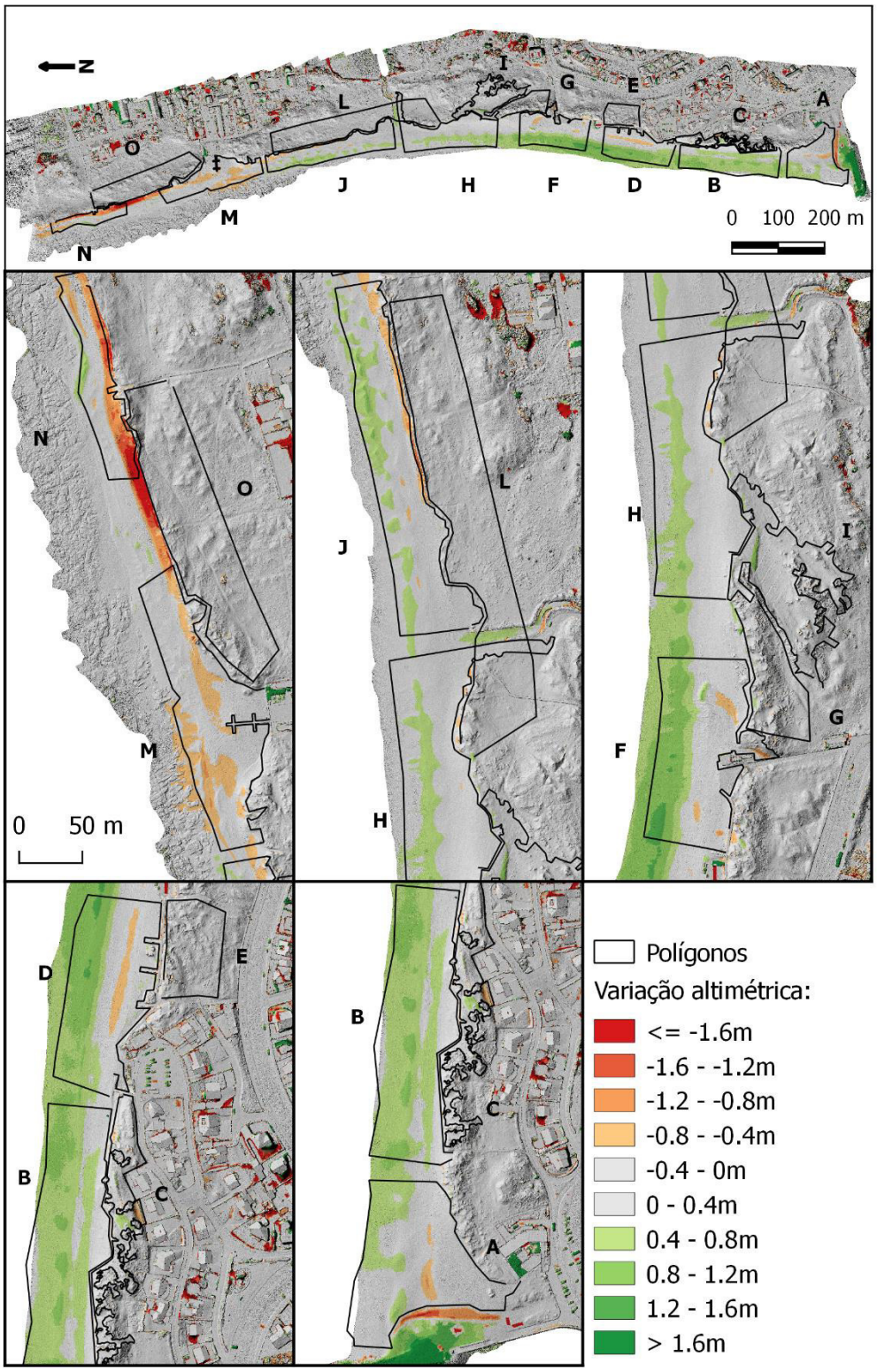


Figura 92- Mapa de variação altimétrica correspondente à variação entre o primeiro e segundo levantamentos para a Praia de Cepães com ampliação de diversos setores e representação dos polígonos.

Ampliação do mapa de variação altimétrica entre o terceiro e segundo levantamentos realizados para a praia de Cepães com representação dos polígonos.

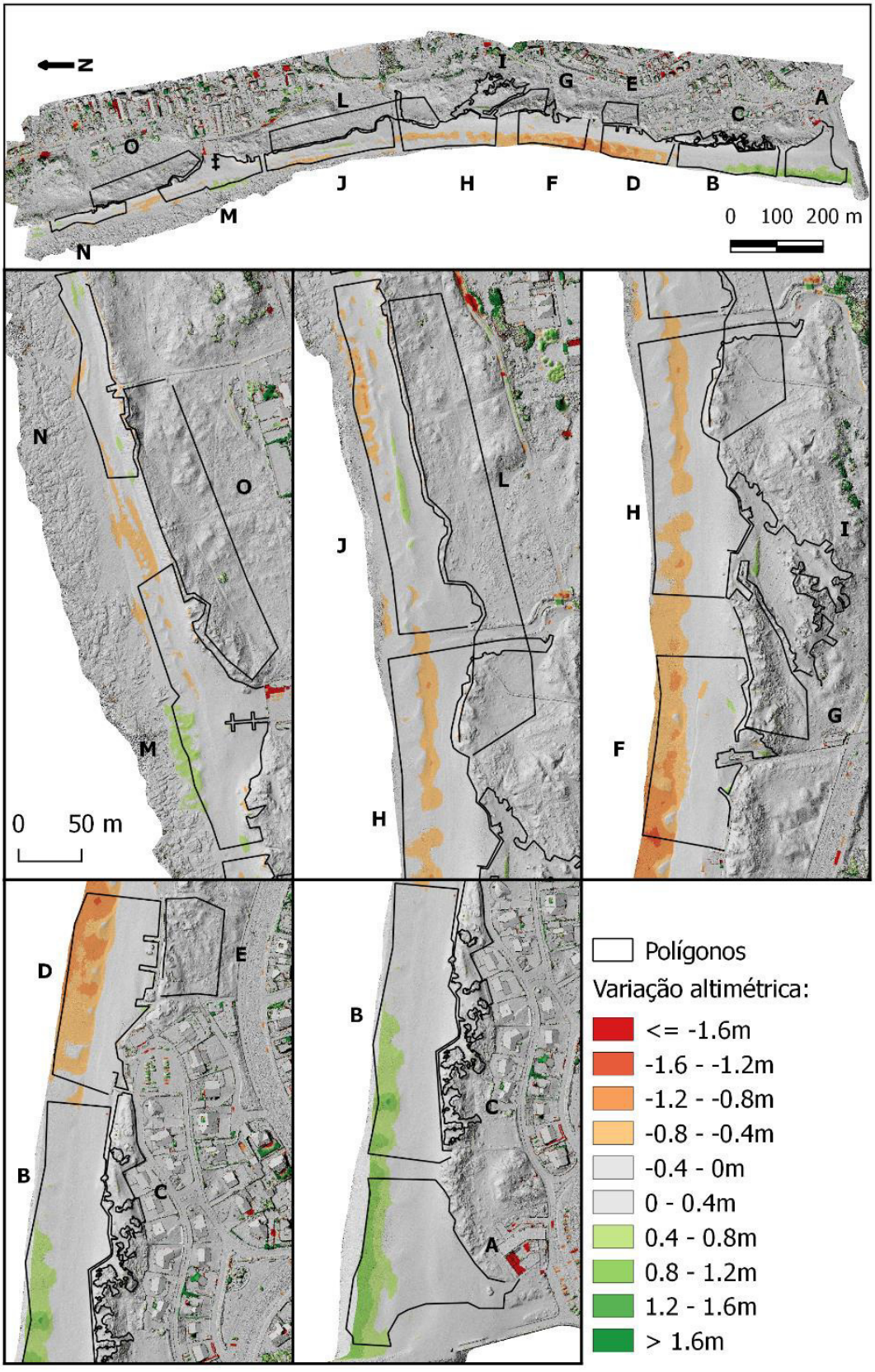


Figura 93- Mapa de variação altimétrica correspondente à variação entre o terceiro e segundo levantamentos para a Praia de Cepães com ampliação de diversos setores e representação dos polígonos.

Ampliação do mapa de variação altimétrica entre o terceiro e primeiro levantamentos realizados para a praia de Cepães com a representação dos polígonos.

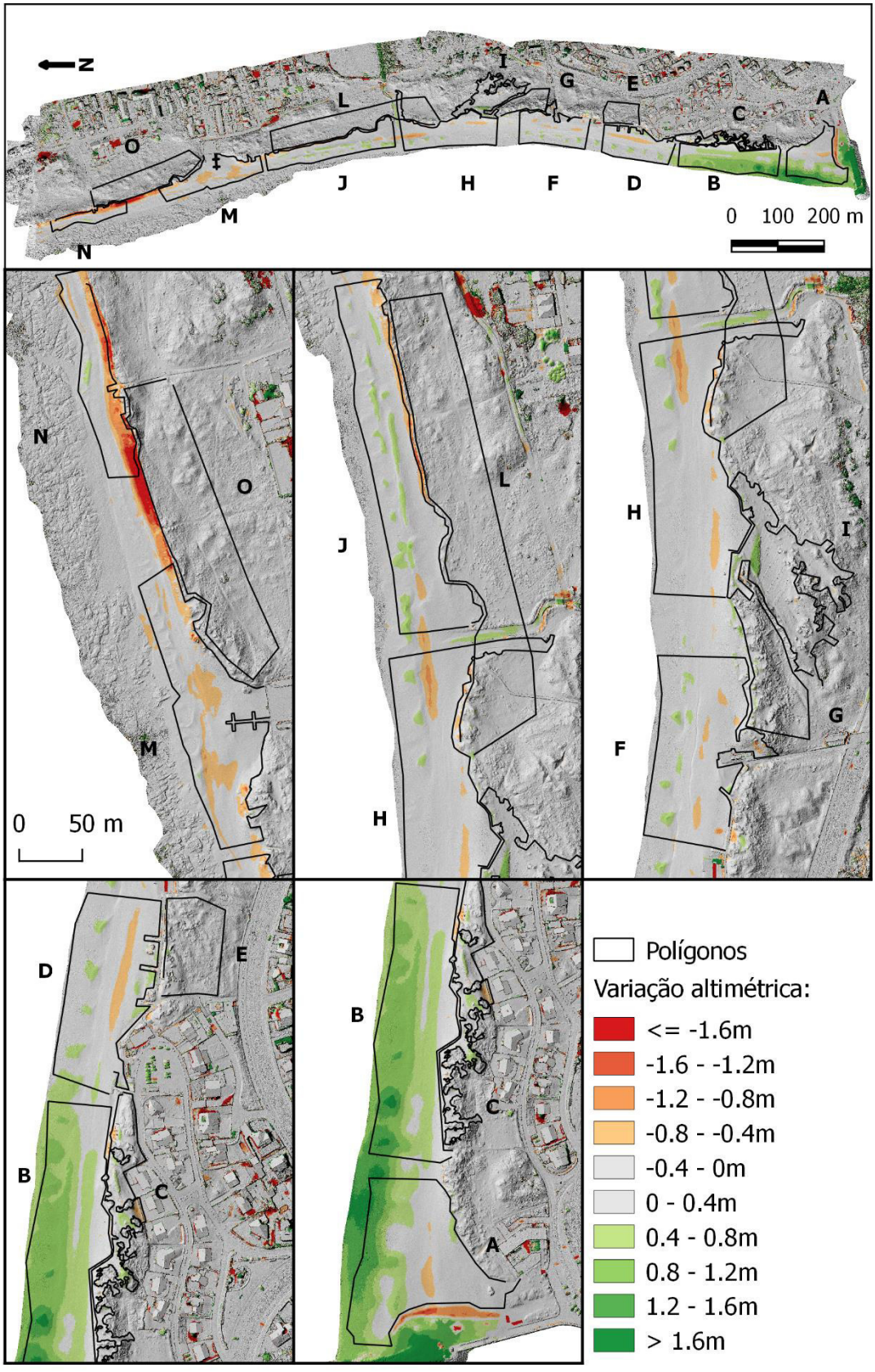


Figura 94- Mapa de variação altimétrica correspondente à variação entre o terceiro e primeiro levantamentos para a Praia de Cepães com ampliação de diversos setores e representação dos polígonos.

Anexo B

Mapas de variação altimétrica entre os três levantamentos realizados para as praias de Belinho e Fieiro Alto com representação dos polígonos. À esquerda variação entre o segundo e primeiro levantamentos, no centro entre o terceiro e segundo, à direita entre o terceiro e primeiro.

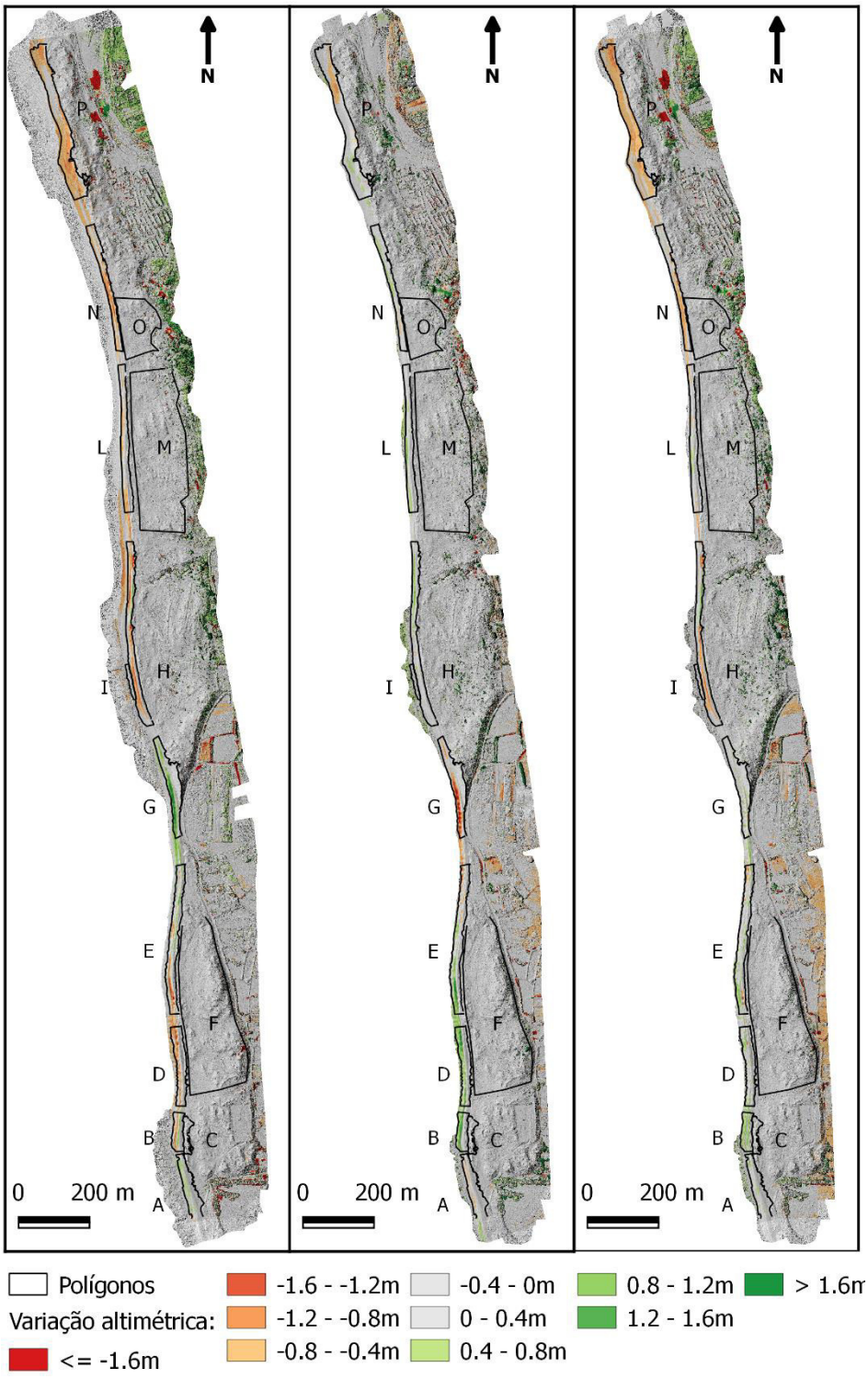


Figura 95- Mapas de variação altimétrica para as praias de Belinho e Fieiro Alto, à esquerda variação entre o segundo e primeiro levantamentos, no centro entre o terceiro e segundo, à direita entre o terceiro e primeiro

Ampliação do mapa de variação altimétrica entre o segundo e primeiro levantamentos realizados para as praias de Belinho e Fieiro Alto com a representação dos polígonos.

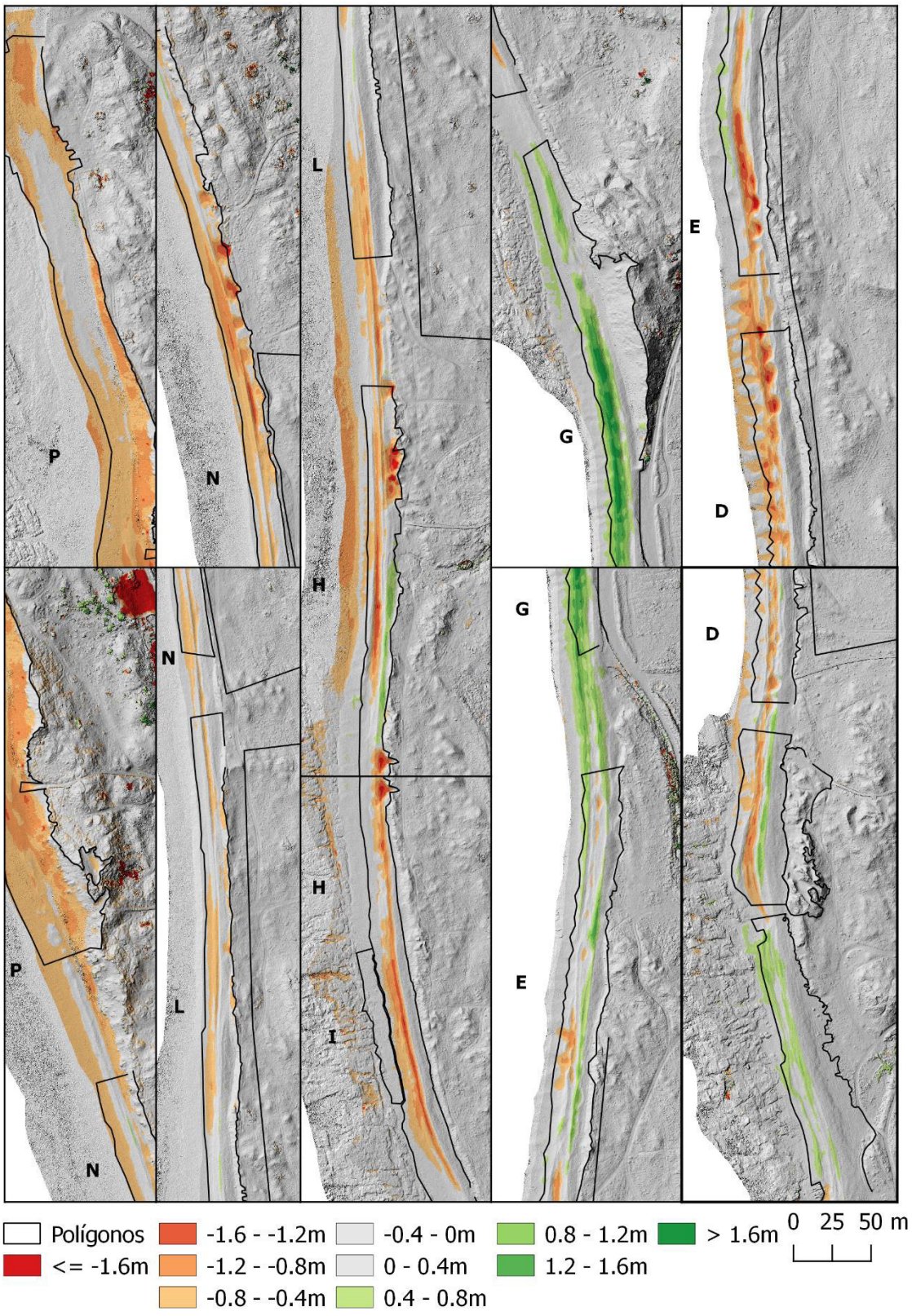


Figura 96- Ampliação do mapa de variação altimétrica entre o segundo e primeiro levantamentos realizados para as praias de Belinho e Fieiro Alto com a representação dos polígonos.

Ampliação do mapa de variação altimétrica entre o terceiro e segundo levantamentos realizados para as praias de Belinho e Fieiro Alto com a representação dos polígonos.

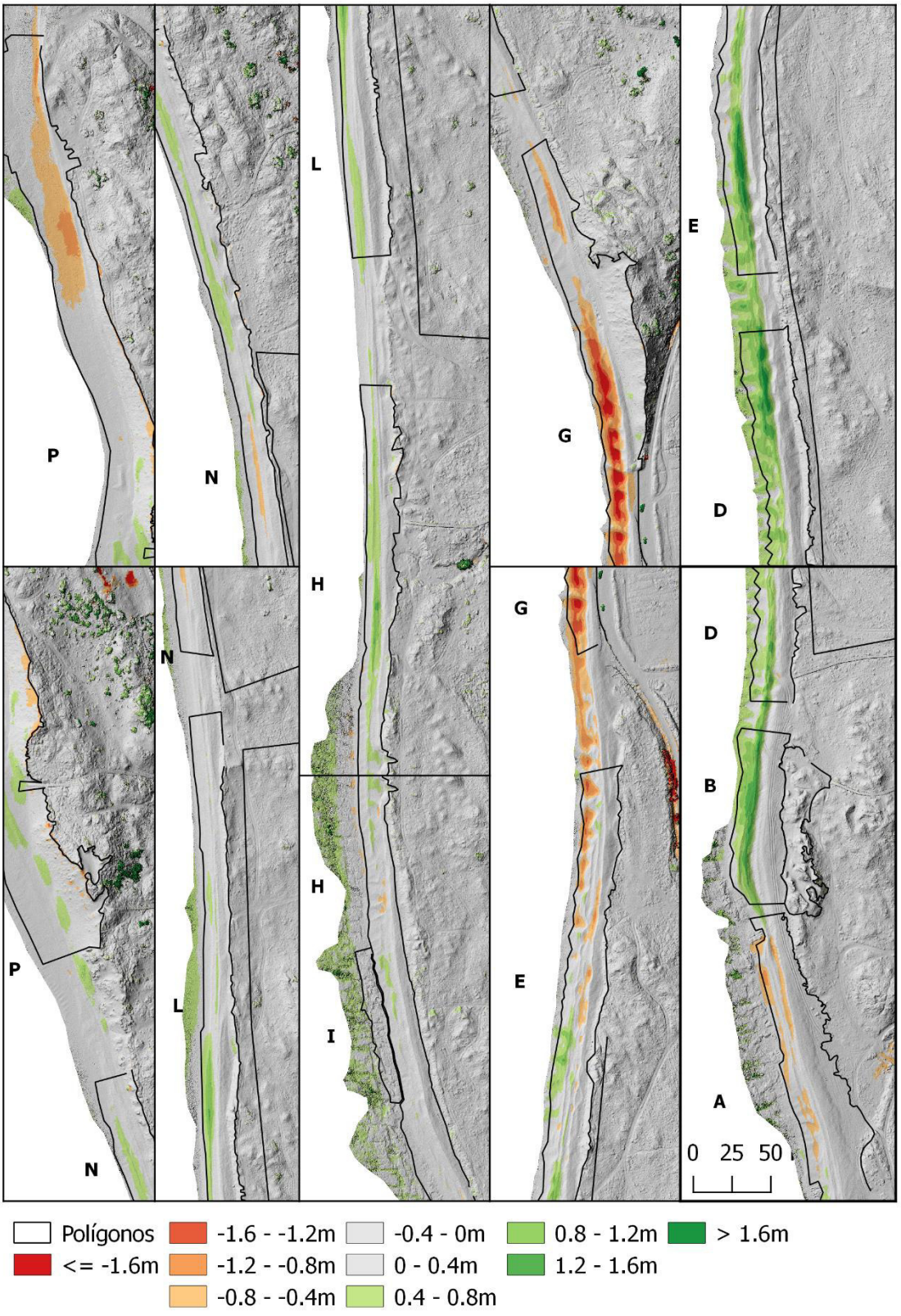


Figura 97- Ampliação do mapa de variação altimétrica entre o terceiro e segundo levantamentos realizados para as praias de Belinho e Fieiro Alto com a representação dos polígonos.

Ampliação do mapa de variação altimétrica entre o terceiro e primeiro levantamentos realizados para as praias de Belinho e Fieiro Alto com a representação dos polígonos.

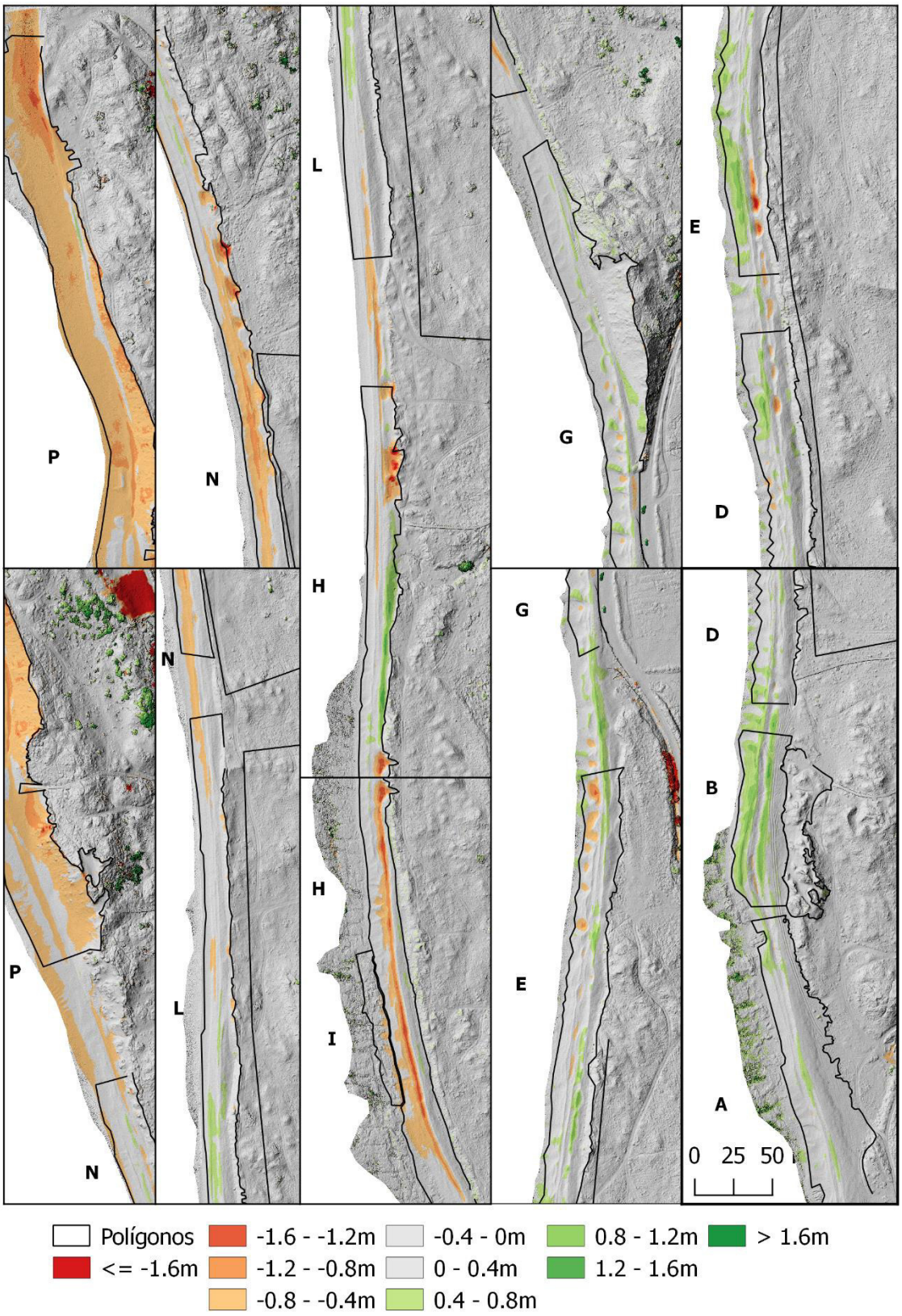


Figura 98- Ampliação do mapa de variação altimétrica entre o terceiro e primeiro levantamentos realizados para as praias de Belinho e Fieiro Alto com a representação dos polígonos.