

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Geologia



**APLICAÇÕES DE LIDAR TERRESTRE AO ESTUDO DA MORFODINÂMICA DE
PRAIAS ENCAIXADAS**

Ana Pinto Lopes Pestana Bastos

Projecto

Mestrado em Geologia Aplicada

Área de Especialização Geologia de Engenharia

2013

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Geologia



**APLICAÇÕES DE LIDAR TERRESTRE AO ESTUDO DA MORFODINÂMICA DE
PRAIAS ENCAIXADAS**

Ana Pinto Lopes Pestana Bastos

Projecto orientado pelo Prof. Doutor Rui Taborda e pelo Prof. Doutor João
Calvão

Mestrado em Geologia Aplicada
Área de Especialização Geologia de Engenharia

2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor Rui Taborda, orientador desta dissertação, pelo seu contínuo apoio e entusiasmo, sempre motivadores, a sua disponibilidade no acompanhamento de todas as campanhas de campo, a contribuição das suas sugestões, sempre úteis ao longo da investigação e por me ter integrado numa equipa de trabalho, com outros investigadores que me apoiaram desde o início.

Agradeço ao Professor Doutor João Calvão, co-orientador desta dissertação, pela total disponibilidade em efectuar todas as campanhas de campo propostas e pelas observações e sugestões ao trabalho sempre bem-vindas.

Estou também muito grata às Doutorandas Mafalda Carapuço e Tanya Silveira, pelo modo como me receberam e integraram no grupo de pós-graduação do Piso 2 do Departamento de Geologia, pelo enorme apoio que me deram durante a elaboração desta dissertação, incluindo a preparação e realização dos trabalhos de campo, pela oportunidade e proficuidade das suas críticas, sempre bem-vindas e pelo tempo e esforço que despenderam na revisão final.

O meu agradecimento é extensivo aos restantes membros do grupo de pós-graduação, sempre disponíveis, nomeadamente a Hugo Sousa, Ana Silva, Cristina Lira, Mónica Ribeiro e Ivana Bosnic.

Agradeço à minha amiga e colega Manuela Castro Pina, que esteve sempre presente ao longo destes dois anos de mestrado, pela frequente ajuda que me deu na revisão de sucessivas fases de elaboração desta dissertação, pelas críticas indispensáveis ao aperfeiçoamento do trabalho e, sobretudo, pela boa disposição que lhe é característica e que torna mais fácil a vida de quem com ela pode privar.

Estou grata também aos meus colegas Pedro Jordão e Ângela Pereira pela constante solidariedade no decurso deste mestrado bem como à Doutoranda Carla Caroça.

Agradeço à minha mãe por me ter auxiliado, sempre que foi necessário, com a minha filha Beatriz e pelo incentivo à realização deste trabalho.

Agradeço ao Zé pela ajuda que me deu com a nossa filha Beatriz durante todas as épocas de exames, ao longo do ano curricular, fins-de semana e outros dias dedicados à elaboração desta dissertação e também, pelo apoio para iniciar e concretizar esta investigação.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	III
ÍNDICE GERAL	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
INDICE DE FOTOGRAFIAS	XV
ÍNDICE DE TABELAS	XVII
ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	XIX
RESUMO	XXI
ABSTRACT	XXIII
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJECTIVOS	5
3. ENQUADRAMENTO	7
3.1. LOCALIZAÇÃO	7
3.2. DESCRIÇÃO DAS PRAIAS EM ESTUDO	9
4. FUNDAMENTOS DE LIDAR TERRESTRE	15
CLASSIFICAÇÃO.....	15
CONSTITUIÇÃO	16
FUNCIONAMENTO	17
RADIAÇÃO LASER.....	20
INFORMAÇÃO OBTIDA	21
POSICIONAMENTO / LOCALIZAÇÃO GEOMÉTRICA	23
PROCESSAMENTO / ANÁLISE DE DADOS.....	24
5. MÉTODOS	25
5.1. PROCEDIMENTOS DE CAMPO	25
METODOLOGIA.....	27
PARÂMETROS E MEDIÇÕES	29
5.2. PÓS-PROCESSAMENTO	31
NUVEM DE PONTOS.....	32
GERAÇÃO DE MODELOS DE SUPERFÍCIE.....	39
SÍNTESE DO TRATAMENTO DE DADOS.....	41
6. ANÁLISE DE DADOS	43

6.1. COMPARAÇÃO ENTRE DADOS COM O LASER SCANNER E GPS-RTK	43
SÍNTESE DE RESULTADOS.....	59
6.2. AVALIAÇÃO DO ERRO.....	61
6.2.1. ERRO TEÓRICO DO LASER SCANNER.....	61
6.2.2. ERRO DE POSICIONAMENTO.....	63
SÍNTESE DE RESULTADOS.....	66
6.2.3. REPRODUTIBILIDADE DO MÉTODO.....	67
SÍNTESE DE RESULTADOS.....	75
6.3. CÁLCULO DA MICROTOPOGRAFIA DO AREAL DE PRAIA	77
6.4. AVALIAÇÃO DE ALCANCE E RESOLUÇÃO.....	81
6.4.1. PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA.....	81
6.4.2. PRAIA DE SÃO JOÃO.....	89
SÍNTESE DE RESULTADOS.....	91
6.4.3. DETERMINAÇÃO DA RESOLUÇÃO.....	93
6.5. EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA.....	95
6.5.1. PRAIA DOS COXOS.....	95
6.5.1.1. EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA ABRIL / DEZEMBRO 2011.....	95
AREAL.....	98
SÍNTESE DE RESULTADOS.....	104
ARRIBA.....	105
SÍNTESE DE RESULTADOS.....	108
6.5.1.2. EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DEZEMBRO 2011 / JULHO 2012.....	109
SÍNTESE DE RESULTADOS.....	113
6.5.1.3. BALANÇO SEDIMENTAR ENTRE LEVANTAMENTOS SUCESSIVOS.....	115
6.5.2. PRAIA DO MAGOITO (EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DEZEMBRO 2011 / JANEIRO 2012).....	117
SÍNTESE DE RESULTADOS.....	122
7. CONCLUSÕES.....	123
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	127
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
10. BIBLIOGRAFIA.....	133
ANEXOS	135
ANEXO A. FIGURAS DE PORMENOR DOS LEVANTAMENTOS LASER SCANNER.....	137

ANEXO B. TABELA DE FREQUÊNCIAS DAS DIFERENÇAS TOPOGRÁFICAS DOS PERFIS GERADOS COM OS DADOS DE JULHO 2012 NO AREAL DA PRAIA DOS COXOS.....	149
ANEXO C. PERFIS TOPOGRÁFICOS DO AREAL DA PRAIA DOS COXOS E GRÁFICOS DAS DIFERENÇAS DE ELEVÇÃO GERADOS COM OS DADOS DE JULHO 2012	153
ANEXO D. PROGRAMA DESENVOLVIDO EM MATLAB.....	161
ANEXO E. EXEMPLO DUMA FICHA DE CAMPO	165

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DAS PRAIAS EM ESTUDO (MAPA E IMAGEM).....	7
FIGURA 2 – ESQUEMA RETIRADO E ADAPTADO DE BOWMAN <i>ET AL.</i> , 2009, COM ILUSTRAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA A DETERMINAÇÃO DO GRAU DE ENCAIXE DUMA PRAIA.	9
FIGURA 3 – COMPONENTES BÁSICOS DE UM INSTRUMENTO LIDAR (HERITAGE & LARGE, 2009B).	16
FIGURA 4 – TIPOS DE REFLEXÃO DA RADIAÇÃO: (A) ESPECULAR; (B) DIFUSA; (C) MISTA, (HERITAGE & LARGE, 2009B).	17
FIGURA 5 – ASSINATURAS ESPECTRAIS DE SOLO NU, VEGETAÇÃO VERDE E ÁGUA LÍMPIDA (HERITAGE & LARGE, 2009B). A SETA VERMELHA INDICA O COMPRIMENTO DE ONDA CORRESPONDENTE AO APARELHO UTILIZADO NESTE ESTUDO.....	18
FIGURA 6 – ASSINATURAS ESPECTRAIS DE CINCO CLASSES DE COBERTURA DO SOLO (<i>IN ISA</i> , HTTP://WWW.ISA.UTL.PT/DM/SIG/SIG19992000/TEMA10/FISICA-PRINCIPIOS_BASICOS.HTM).....	18
FIGURA 7 – ALTERAÇÃO DO IMPULSO LASER EMITIDO APÓS ATINGIR UM ALVO E REGISTO DO ECO COM UM SENSOR TOF. (HERITAGE & LARGE, 2009B).....	19
FIGURA 8 – CARACTERÍSTICAS DA LUZ NATURAL E DA RADIAÇÃO LASER. (HERITAGE & LARGE, 2009B).	20
FIGURA 9 – PRAIA DO MAGOITO (ARRIBA). NUVEM DE PONTOS RESULTANTE DUM LEVANTAMENTO LIDAR.....	22
FIGURA 10 – POSICIONAMENTO DE UM OBJECTO NO ESPAÇO TRIDIMENSIONAL (<i>PHYSICS FORUMS</i> , HTTP://WWW.PHYSICSFORUMS.COM/SHOWTHREAD.PHP?T=186396).	23
FIGURA 11 – TERMINOLOGIA MORFOLÓGICA E DINÂMICA DO PERFIL DE PRAIA E DA FAIXA LITORAL (ANDRADE 1997).	31
FIGURA 12 – NUVEM DE PONTOS E INTENSIDADE. LEVANTAMENTO DE DEZEMBRO 2011 DA PRAIA DOS COXOS (AREAL E ARRIBA), APLICAÇÃO QTM.....	33
FIGURA 13 - NUVEM DE PONTOS E INTENSIDADE. LEVANTAMENTOS DE DEZEMBRO 2011 E JANEIRO 2012 DA PRAIA DO MAGOITO (AREAL E ARRIBA), APLICAÇÃO QTM.	33
FIGURA 14 - NUVEM DE PONTOS E INTENSIDADE. LEVANTAMENTO DE DEZEMBRO 2011 DA PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA (AREAL E ARRIBA), APLICAÇÃO QTM.....	34
FIGURA 15 - NUVEM DE PONTOS E INTENSIDADE. LEVANTAMENTO DE MARÇO 2012 DA PRAIA DE SÃO JOÃO (ESPORÃO DO LIMITE SUL), APLICAÇÃO QTM.	34
FIGURA 16 – APLICAÇÃO QTM, <i>MENU IMPORT MODEL, LAS IMPORT, AUTOCROP OPTIONS</i>	35
FIGURA 17 – PRAIA DOS COXOS. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DAS ESTAÇÕES LS.....	36
FIGURA 18 – PRAIA DO MAGOITO. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DAS ESTAÇÕES LS.....	37
FIGURA 19 - PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DAS ESTAÇÕES LS.	38
FIGURA 20 - PRAIA DE SÃO JOÃO. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DA ESTAÇÃO LS.....	38
FIGURA 21 – APLICAÇÃO QTM, <i>MENU CONVERT MODEL, GRIDDING OPTIONS</i>	40
FIGURA 22 – LOCALIZAÇÃO GERAL E DE PORMENOR DOS PONTOS ADQUIRIDOS COM RECURSO AO GPS-RTK E DOS PERFIS TOPOGRÁFICOS REALIZADOS.	43
FIGURA 23 – NUVEM DE PONTOS DA PRAIA DOS COXOS. O TRACEJADO ROXO DELIMITA A ÁREA SOBRE A QUAL SE CONSTRUIU OS MDS.....	44
FIGURA 24 – MDS (AT) GERADO COM DADOS LS; LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS E DOS PONTOS GPS.	45

FIGURA 25 – PERFIL 1 E ESTATÍSTICAS RELATIVAS ÀS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS: GPS E LS (DADOS EXTRAÍDOS DUM MDS_AT).....	46
FIGURA 26 – PERFIL 2 E ESTATÍSTICAS RELATIVAS ÀS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE MÉTODOS: GPS E LS (DADOS EXTRAÍDOS DUM MDS_AT).....	47
FIGURA 27 – PERFIL 3 E ESTATÍSTICAS RELATIVAS ÀS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS: GPS E LS (DADOS EXTRAÍDOS DUM MDS_AT).....	47
FIGURA 28 – PERFIL 4 E ESTATÍSTICAS RELATIVAS ÀS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS: GPS E LS (DADOS EXTRAÍDOS DUM MDS_AT).....	48
FIGURA 29 – PERFIL 5 E ESTATÍSTICAS RELATIVAS ÀS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE MÉTODOS: GPS E LS (DADOS EXTRAÍDOS DUM MDS_AT).....	48
FIGURA 30 – DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE AS MEDIÇÕES COM O GPS E O LS (MDS_AT).....	49
FIGURA 31 – MDS (SI) GERADO COM DADOS LS; LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS E DOS PONTOS GPS.....	51
FIGURA 32 – PERFIL 1 E ESTATÍSTICAS RELATIVAS ÀS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS: GPS E LS (DADOS EXTRAÍDOS DUM MDS_SI).....	52
FIGURA 33 – PERFIL 2 E ESTATÍSTICAS RELATIVAS ÀS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS: GPS E LS (DADOS EXTRAÍDOS DUM MDS_SI).....	52
FIGURA 34 – PERFIL 3 E ESTATÍSTICAS RELATIVAS ÀS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS: GPS E LS (DADOS EXTRAÍDOS DUM MDS_SI).....	53
FIGURA 35 – PERFIL 4 E ESTATÍSTICAS RELATIVAS ÀS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS: GPS E LS (DADOS EXTRAÍDOS DUM MDS_SI).....	53
FIGURA 36 – PERFIL 5 E ESTATÍSTICAS RELATIVAS ÀS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS: GPS E LS (DADOS EXTRAÍDOS DUM MDS_SI).....	54
FIGURA 37 – DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE AS MEDIÇÕES COM O GPS E O LS (MDS_SI).....	54
FIGURA 38 – MDS (NF) GERADO COM DADOS LS; LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS E DOS PONTOS GPS.....	56
FIGURA 39 – LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS P1 E P2 NA SECÇÃO INFERIOR DA FACE DE PRAIA SOBRE O MDS NF DE DEZEMBRO 2011.....	57
FIGURA 40 – PERFIL P1 DA SECÇÃO INFERIOR DA FACE DE PRAIA. VALORES LS EXTRAÍDOS DO MDS NF DE DEZEMBRO 2011.....	57
FIGURA 41 – PERFIL P2 DA SECÇÃO INFERIOR DA FACE DE PRAIA. VALORES LS EXTRAÍDOS DO MDS NF DE DEZEMBRO 2011.....	58
FIGURA 42 – GRÁFICO DA ESTIMATIVA DO ERRO TEÓRICO DO LS PARA VÁRIAS DISTÂNCIAS.....	61
FIGURA 43 – PRAIA DOS COXOS. LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS AO LONGO DA ESTRADA (PE) E DA ESTAÇÃO LASER SCANNER (LS).....	63
FIGURA 44 – PERFIS TOPOGRÁFICOS AO LONGO DA ESTRADA DE ACESSO AOS COXOS, EXTRAÍDOS A PARTIR DOS MDS DE ABRIL E DE DEZEMBRO 2011.....	64
FIGURA 45 – DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE OS PERFIS TOPOGRÁFICOS AO LONGO DA ESTRADA, RESULTANTES DA SUBTRACÇÃO ENTRE OS MDS DE ABRIL E DEZEMBRO 2011.....	64

FIGURA 46 – HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO (EM VALORES ABSOLUTOS) RESULTANTES DA SUBTRACÇÃO ENTRE OS MDS DE ABRIL E DEZEMBRO 2011 (PERFIS DE ESTRADA).	65
FIGURA 47 – DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE OS PERFIS TOPOGRÁFICOS AO LONGO DA ESTRADA, RESULTANTES DA SUBTRACÇÃO ENTRE OS MDS DE JULHO DE 2012.	67
FIGURA 48 - HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO (EM VALORES ABSOLUTOS) RESULTANTES DA SUBTRACÇÃO ENTRE OS MDS DE JULHO DE 2012 (PERFIS DE ESTRADA).	68
FIGURA 49 – FREQUÊNCIA ACUMULADA DAS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO NO PERFIL DE ESTRADA.	69
FIGURA 50 – PERFIS TOPOGRÁFICOS DE 7 DE JULHO DE 2012 AO LONGO DA ESTRADA.	70
FIGURA 51 – MDS(S) DE 5 DE JULHO 2012. LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS TOPOGRÁFICOS. A SETA VERMELHA APONTA PARA A ÁREA DE SOBREPOSIÇÃO ENTRE OS DOIS MDS.	70
FIGURA 52 – DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE OS LEVANTAMENTOS SUCESSIVOS DE JULHO DE 2012, AO LONGO DE 5 PERFIS NO AREAL DE PRAIA.	71
FIGURA 53- ESQUEMA DA EMISSÃO DE PONTOS COM LS; A CINZA CAMPO DE VISÃO VERTICAL (70º).	72
FIGURA 54 – ESQUEMA DOS PRESSUPOSTOS ASSUMIDOS NO EXERCÍCIO TEÓRICO EM <i>MATLAB</i>	73
FIGURA 55 – HISTOGRAMA DE CLASSES COM INTERVALO DE 10 CM (APLICAÇÃO <i>MATLAB</i>). AMPLITUDE DA CLASSE DE 0.1 M.	73
FIGURA 56 – PROJECCÃO DOS VALORES DA MÉDIA DE CADA CLASSE (APLICAÇÃO <i>MATLAB</i>). AMPLITUDE DA CLASSE DE 0.1 M.	74
FIGURA 57 – LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS PARA O CÁLCULO DA RUGOSIDADE DO AREAL.	77
FIGURA 58 – PERFIS TOPOGRÁFICOS (PR 1 E PR 2) E RESPECTIVAS LINHAS DE TENDÊNCIA.	78
FIGURA 59 – RUGOSIDADE DO AREAL (VARIAÇÃO DA AMPLITUDE PARA OS PERFIS PR 1 E PR 2.	78
FIGURA 60 – PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA. LIMITE DA ÁREA LEVANTADA, LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES LS, PERFIL P1 E MDS.	81
FIGURA 61 - PERFIL DE PRAIA (P1). A VERDE ASSINALA-SE O LOCAL DA ESTAÇÃO LS E2.	83
FIGURA 62 – RUGOSIDADE DO AREAL NO PERFIL P1.	84
FIGURA 63 – PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA, NUVEM DE PONTOS E INTENSIDADE DO AREAL E ARRIBA. OS CÍRCULOS ESCUROS CORRESPONDEM AOS LOCAIS DAS ESTAÇÕES E1 E E2.	85
FIGURA 64 – PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA, NUVEM DE PONTOS E INTENSIDADE. PORMENOR DO CANAL DE LINHA DE ÁGUA E DA ESCARPA ASSOCIADA.	85
FIGURA 65 - – PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA, NUVEM DE PONTOS E INTENSIDADE. PORMENOR DO AREAL, DA ARRIBA E DA CERCA QUE PROTEGE A DUNA INTERIOR.	86
FIGURA 66 – PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA, NUVEM DE PONTOS E INTENSIDADE. PORMENOR DAS PEGADAS NO AREAL E DO LIMITE DO ÚLTIMO ESPRAIO DE PREIA-MAR.	86
FIGURA 67 - PRAIA DE SÃO JOÃO. LIMITE DA ÁREA LEVANTADA, LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO LS (ESPORÃO DO LIMITE SUL) E MDS.	89
FIGURA 68 – PRAIA DE SÃO JOÃO, NUVEM DE PONTOS E INTENSIDADE. PORMENOR DO ESPORÃO, PAREDÃO E AREAL.	90
FIGURA 69 – PRAIA DE SÃO JOÃO, NUVEM DE PONTOS E INTENSIDADE. PORMENOR DO ESPORÃO.	90

FIGURA 70 – ESQUEMA DOS PRESSUPOSTOS ASSUMIDOS NO CÁLCULO TEÓRICO PARA DETERMINAÇÃO DA RESOLUÇÃO DE MEDIÇÕES LS A UMA DADA DISTÂNCIA HORIZONTAL.....	93
FIGURA 71 – RESOLUÇÃO DE MEDIÇÕES LS NUMA SUPERFÍCIE HORIZONTAL A DIFERENTES DISTÂNCIAS E PARA DIFERENTES ALTURAS DO LS.	94
FIGURA 72 – MDS DA PRAIA DOS COXOS (<i>ADAPTIVE TRIANGULATION</i>) GERADO COM OS DADOS LS DE ABRIL DE 2011.	96
FIGURA 73 – MDS DA PRAIA DOS COXOS (<i>ADAPTIVE TRIANGULATION</i>) GERADO COM OS DADOS LS DE DEZEMBRO DE 2011.	96
FIGURA 74 – DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO RESULTANTES DA SUBTRACÇÃO ENTRE OS MDS DE ABRIL E DEZEMBRO 2011.....	97
FIGURA 75 – DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO RESULTANTES DA SUBTRACÇÃO ENTRE OS MDS DE ABRIL E DEZEMBRO 2011, EM PERSPECTIVA (SOBRE O MDS DE DEZEMBRO).	98
FIGURA 76 – DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO NO AREAL. LOCALIZAÇÃO DE 3 PERFIS TRANSVERSAIS DE PRAIA.	98
FIGURA 77 – PERFIL P1. OS SEGMENTOS DE RECTA A PRETO CORRESPONDEM A DIFERENÇAS DE COTA.	99
FIGURA 78 – PERFIL P2. OS SEGMENTOS DE RECTA A PRETO CORRESPONDEM A DIFERENÇAS DE COTA.	99
FIGURA 79 – PERFIL P3. OS SEGMENTOS DE RECTA A PRETO CORRESPONDEM A DIFERENÇAS DE COTA.	99
FIGURA 80 – RESULTADO GRÁFICO DO CÁLCULO DA DIFERENÇA DE VOLUMES ENTRE MDS COM RECURSO À FERRAMENTA <i>CUT/FILL</i> DO <i>ARC GIS</i>	101
FIGURA 81 – DIFERENÇAS NOS LIMITES DOS <i>RASTER'S</i> UTILIZADOS NO CÁLCULO DE VOLUMES (POR CIMA E A ENCARNADO, <i>RASTER</i> DO 1º MÉTODO; POR BAIXO E A PRETO, <i>RASTER</i> DO 2º MÉTODO).....	101
FIGURA 82 – EVOLUÇÃO DA MORFOLOGIA DE PRAIA ENTRE ABRIL E DEZEMBRO DE 2011, MATERIALIZADA PELAS CURVAS DE NÍVEL.	104
FIGURA 83 – <i>RASTER</i> DAS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO NA ARRIBA RESULTANTES DA SUBTRACÇÃO ENTRE OS MDS DE ABRIL E DEZEMBRO DE 2011.	106
FIGURA 84 – MAPA DE DECLIVES DA ARRIBA (GERADO COM O MDS DE DEZEMBRO DA ARRIBA).	106
FIGURA 85 – DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE DEZEMBRO 2011 E JULHO DE 2012, APÓS A SOMA DE 0.05 M A TODAS AS CÉLULAS DO MDS DE JULHO DE 2012.	109
FIGURA 86 - DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE DEZEMBRO 2011 E JULHO 2012 NO AREAL DA PRAIA DOS COXOS. O CÍRCULO ASSINALA AS ÁREAS ELIMINADAS CORRESPONDENTES AOS CHAPÉUS-DE-SOL.	110
FIGURA 87 - PERFIL DE PRAIA P1. OS SEGMENTOS DE RECTA A PRETO CORRESPONDEM A DIFERENÇAS DE COTA ENTRE DEZEMBRO 2011 E JULHO 2012.....	111
FIGURA 88 - PERFIL DE PRAIA P2. OS SEGMENTOS DE RECTA A PRETO CORRESPONDEM A DIFERENÇAS DE COTA ENTRE DEZEMBRO 2011 E JULHO 2012.....	111
FIGURA 89 - PERFIL DE PRAIA P3. OS SEGMENTOS DE RECTA A PRETO CORRESPONDEM A DIFERENÇAS DE COTA ENTRE DEZEMBRO 2011 E JULHO 2012.....	112
FIGURA 90 - MATERIALIZAÇÃO, ATRAVÉS DE CURVAS DE NÍVEL, DA ROTAÇÃO DO PERFIL DE PRAIA E DA MOVIMENTAÇÃO DA CRISTA.	113
FIGURA 91 – DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO ENTRE OS DOIS MDS DE 5 DE JULHO 2012.....	115
FIGURA 92 – MDS (AT) GERADO COM OS DADOS LS DE DEZEMBRO 2011.....	117
FIGURA 93 - MDS (AT) GERADO COM OS DADOS LS DE JANEIRO 2012.	118

FIGURA 94 – DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO RESULTANTES DA SUBTRACÇÃO ENTRE O MDS DE DEZEMBRO 2011 E DE JANEIRO 2012. LOCALIZAÇÃO DE 3 PERFIS DE PRAIA.	119
FIGURA 95 – PERFIL TRANSVERSAL AO CANAL DA LINHA DE ÁGUA NA PRAIA DO MAGOITO (P1). A PRETO E A TRACEJADO, LINHA IMAGINÁRIA DA MARGEM DIREITA DO CANAL DA LINHA DE ÁGUA.	120
FIGURA 96 – PERFIL DE PRAIA NO MAGOITO (P2).....	120
FIGURA 97 - PERFIL DE PRAIA NO MAGOITO (P3).....	121
FIGURA 98 – EVOLUÇÃO DA MORFOLOGIA DE PRAIA DO MAGOITO MATERIALIZADA PELAS CURVAS DE NÍVEL.	122
FIGURA 99 – FLUXOGRAMA DE PROCEDIMENTOS.	126

INDICE DE FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFIA 1 - LIDAR TERRESTRE (TOPCON GLS 1500 - MODELO UTILIZADO NESTE TRABALHO).	2
FOTOGRAFIA 2 – PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA EM DEZEMBRO DE 2011.	10
FOTOGRAFIA 3 – PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA EM DEZEMBRO 2011, SECÇÃO TERMINAL DA RIBEIRA DE PAREDES.	10
FOTOGRAFIA 4 - PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA EM DEZEMBRO 2011, SECÇÃO TERMINAL DA RIBEIRA DE PAREDES.	11
FOTOGRAFIA 5 – PRAIA DOS COXOS EM MARÇO DE 2011.....	11
FOTOGRAFIA 6- PRAIA DOS COXOS EM JULHO 2012.	12
FOTOGRAFIA 7 – PRAIA DO MAGOITO EM DEZEMBRO DE 2011, PLATAFORMA ROCHOSA A DESCOBERTO.	13
FOTOGRAFIA 8 – PRAIA DO MAGOITO EM JANEIRO DE 2012, DESEMBOLADURA DO RIO DA MATA. NOTE-SE QUE NESTA FOTOGRAFIA A PLATAFORMA ROCHOSA ENCONTRA-SE SUBMERSA.	13
FOTOGRAFIA 9 - PRAIA DO MAGOITO PORMENOR DA ARRIBA E DE AFLORAMENTO ROCHOSO QUE SOBRESSAI NO AREAL (DEZEMBRO DE 2011).....	13
FOTOGRAFIA 10 - PRAIA DE SÃO JOÃO EM MARÇO DE 2012. À ESQUERDA ESPORÃO QUE CORRESPONDE AO LIMITE SUL DA PRAIA.....	14
FOTOGRAFIA 11 – LIDAR TERRESTRE INSTALADO PARA EFECTUAR O LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DO AREAL DE PRAIA E ARRIBA (PRAIA DOS COXOS).....	15
FOTOGRAFIA 12 - MONTAGEM DO LS EM CIMA DE TRIPÉ E MESA DE APOIO NA PRAIA DOS COXOS.	28
FOTOGRAFIA 13 - NIVELAMENTO PARA COLOCAÇÃO DO PRISMA QUE SERVE DE PONTO DE REFERÊNCIA NA PRAIA DOS COXOS.	28
FOTOGRAFIA 14 - LS EM CIMA DE TRIPÉ, COMPUTADOR E BATERIA NA PRAIA DE P. DA VITÓRIA.....	28
FOTOGRAFIA 15 - A VERMELHO, ALTURA MEDIDA PARA AFERIÇÃO DA COTA DO LS NA PRAIA DE P. DA VITÓRIA.	28
FOTOGRAFIA 16 – A VERMELHO, ALTURA MEDIDA PARA AFERIÇÃO DA COTA DO PRISMA QUE SERVE DE PONTO DE REFERÊNCIA NA PRAIA DE P. DA VITÓRIA.	28
FOTOGRAFIA 17 – DUNA COM VEGETAÇÃO JUNTO AO SOPÉ DA VERTENTE DA PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA.	82
FOTOGRAFIA 18 – PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA. PORMENOR DO LOCAL DE POSICIONAMENTO DO PRISMA E DO LS PARA AS ESTAÇÕES E1 E E2 RESPECTIVAMENTE. EVIDÊNCIA DA MARCA DO ÚLTIMO ESPRAIO DE PREIA-MAR ATRAVÉS DO PISOTEIO.....	87
FOTOGRAFIA 19 – PRAIA DOS COXOS. ILUSTRAÇÃO DA ARRIBA.	107
FOTOGRAFIA 20 – PORMENOR DAS BANCADAS EM CONSOLA.	107

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – LISTA DE ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS.....	XIX
TABELA 2 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO LASER SCANNER E DO GPS_RTK UTILIZADOS.....	26
TABELA 3 – PARÂMETROS DO LS DEFINIDOS NAS CAMPANHAS REALIZADAS.....	29
TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS DAS NUVENS DE PONTOS INICIAIS.....	32
TABELA 5 – CARACTERÍSTICAS DAS NUVENS DE PONTOS PARA ANÁLISE.....	39
TABELA 6 – APLICAÇÃO QTM, MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO E ALGORITMOS DISPONÍVEIS.....	39
TABELA 7 – PROCEDIMENTOS EFECTUADOS NA NUVEM DE PONTOS DE DEZEMBRO DA PRAIA DOS COXOS.....	45
TABELA 8 – NÚMERO DE PONTOS GPS COINCIDENTES COM O MDS (AT) EM CADA PERFIL.....	46
TABELA 9 – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS. *CÁLCULOS COM BASE EM VALORES ABSOLUTOS.....	50
TABELA 10 – TABELA DE FREQUÊNCIAS. CÁLCULOS COM BASE EM VALORES ABSOLUTOS.....	50
TABELA 11 – NÚMERO DE PONTOS GPS COINCIDENTES COM O MDS (SI) EM CADA PERFIL.....	51
TABELA 12 – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS.....	55
TABELA 13 – TABELA DE FREQUÊNCIAS. CÁLCULOS COM BASE EM VALORES ABSOLUTOS.....	55
TABELA 14 – NÚMERO DE PONTOS GPS COINCIDENTES COM O MDS (NF) EM CADA PERFIL.....	56
TABELA 15 – TABELA DE FREQUÊNCIAS (PERFIS DE ESTRADA). CÁLCULOS COM BASE EM VALORES ABSOLUTOS.....	65
TABELA 16 – TABELA DE FREQUÊNCIAS (PERFIS DE ESTRADA). CÁLCULOS COM BASE EM VALORES ABSOLUTOS.....	68
TABELA 17 – CÁLCULO DO VIÉS E EQM DAS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO PARA OS 5 PERFIS NO AREAL DE PRAIA.....	71
TABELA 18 – CÁLCULO DE VOLUMES COM BASE NO RASTER DAS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO.....	100
TABELA 19 – CÁLCULO DE VOLUMES COM BASE NOS MDS DE ABRIL E DEZEMBRO.....	100
TABELA 20 – CÁLCULO DE ÁREA E VOLUME ASSOCIADOS AO ERRO SISTEMÁTICO DO MÉTODO.....	102
TABELA 21 – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DO RASTER DAS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO DO AREAL NA VERSÃO INICIAL E APÓS ELIMINAÇÃO DOS VALORES SUPERIORES A 3s.....	103
TABELA 22 – CÁLCULO DE VOLUMES COM BASE NO RASTER DAS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO SEM VALORES SUPERIORES A 3s (1.251m).....	103
TABELA 23 – CARACTERÍSTICAS DAS NUVENS DE PONTOS DE ABRIL E DE DEZEMBRO PARA A ARRIBA.....	105
TABELA 24 – CÁLCULO DO BALANÇO SEDIMENTAR COM BASE NO RASTER DAS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO DE JULHO 2012, DO AREAL DA PRAIA DOS COXOS.....	110
TABELA 25 – CÁLCULO DO BALANÇO SEDIMENTAR ENTRE OS MDS DE 5 JULHO 2012.....	115
TABELA 26 – PARÂMETROS UTILIZADOS NA GERAÇÃO DOS MDS PARA A PRAIA DO MAGOITO.....	117
TABELA 27 – CÁLCULO DE VOLUMES COM BASE NO RASTER DAS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO.....	119
TABELA 28 – ANÁLISE SWOT.....	128

ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ASPRS	<i>American Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i> (Sociedade Americana de Fotogrametria e Detecção Remota)
AT	<i>Adaptive Triangulation</i> (Triangulação Adaptativa)
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
DGPS	GPS em modo diferencial
DiAL	<i>Differential Absorption LiDAR</i> (LiDAR de Absorção Diferencial)
EQM	Erro Quadrático Médio
FCUL	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
GPS	<i>Global Position System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
INATEL	Instituto Nacional para Aproveitamento dos Tempos Livres
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i> (Unidade de Medida Inercial)
INS	<i>Inertial Navigation System</i> (Sistema de Navegação Inercial)
LAS	<i>LASer LiDAR Exchange Format</i> (Formato de Ficheiros LiDAR)
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i> (Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação)
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i> (Detecção e Telemetria por Radiação)
LS	<i>Laser Scanner</i> (Scanner a Laser)
MDS	Modelo Digital de Superfície
NF	<i>No Fill</i> (Sem Preenchimento)
NMM	Nível Médio do Mar
QTC	<i>Quick Terrain Cloud</i> (Formato de ficheiro QTM para nuvens de pontos não interpolados)
QTM	<i>Quick Terrain Modeler</i> (Aplicação para Modelação de Terreno)
QTT	<i>Quick Terrain Terrain</i> (Formato de ficheiro QTM para superfícies)
RTK	<i>Real-Time Kinematic</i> (Tempo-real, Cinemático)
SI	<i>Simple Interpolation</i> (Interpolação Simples)
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i> (Rede Triangulada Irregular)
TOF	<i>Time-of-Flight</i> (Tempo-de-Voo)
3D	Três Dimensões

Tabela 1 – Lista de acrónimos e abreviaturas.

Nota: este trabalho não foi escrito ao abrigo do novo Acordo Ortográfico.

RESUMO

Este trabalho teve como principal objectivo investigar a aplicabilidade do LiDAR terrestre ao estudo de evolução morfológica de praias encaixadas. Nesse sentido, este método de aquisição de dados topográficos foi testado em quatro praias do litoral do distrito de Lisboa e de Leiria caracterizadas por singularidades na sua morfologia (presença de afloramentos rochosos, depósitos de sopé da arriba, dunas embrionárias, meandrização da secção terminal de ribeiras e estruturas de defesa costeira), difíceis de caracterizar com recurso aos métodos tradicionais de levantamento topográfico (estação total e equipamentos GPS).

Com base nos dados iniciais (que tipicamente se designam por nuvem de pontos) derivaram-se modelos digitais de superfície (MDS) de alta resolução, a partir dos quais se extraiu toda a informação necessária, para estudar a evolução morfológica das praias: perfis e superfícies com a representação das diferenças topográficas.

Neste trabalho procurou-se avaliar o erro associado ao equipamento e à metodologia. A comparação entre os resultados obtidos com LiDAR terrestre e GPS-RTK revelou uma elevada correlação.

A exploração dos dados centrou-se no estudo da evolução morfodinâmica das praias, através da análise de perfis topográficos e em cálculos de balanço sedimentar. Verificou-se que os levantamentos de LiDAR terrestre facultam grande pormenor na caracterização de padrões espaciais complexos, inclusive ao nível da topografia detalhada do areal, incluindo a avaliação da respectiva micro-rugosidade. Em condições óptimas, observou-se a possibilidade de avaliar as características da agitação marítima incidente.

Palavras-chave:

LiDAR: laser *scanner* terrestre; morfodinâmica; praias encaixadas; precisão laser *scanner*.

ABSTRACT

This study's main objective was to investigate the applicability of terrestrial LiDAR in studies of the morphological evolution of pocket beaches. Thus, this method of acquiring topographic data has been tested on four beaches of the Lisbon and Leiria district coast characterized by singularities in their morphology (presence of rocky outcrops, slope deposits, dunes, meanders of terminal section of water lines and costal structures) which are difficult to characterize using traditional methods of surveying (total station and GPS equipment).

High resolution digital surface models (DSM) were derived from the initial data (point cloud) and the necessary information was extracted to study the morphological evolution of beaches: profiles and surfaces with the representation of topographical differences.

This study sought to evaluate the error associated with the equipment and the methodology. The comparison between results obtained using terrestrial LiDAR and GPS-RTK showed a high correlation.

Data analysis focused on the study of the morphodynamic evolution of beaches through the topographic profiles analysis and calculations of the sediment budget. It was found that terrestrial LiDAR surveys provide great detail in the characterization of complex spatial patterns, including detailed topography of the beach to the level of its micro-roughness. Under optimal conditions, it was possible to evaluate the characteristics of the incident wave regime.

Keywords: terrestrial laser scanner; morphodynamic; pocket beaches; laser scanner precision.

1. INTRODUÇÃO

As tecnologias utilizadas para estudos de monitorização costeira são variadas agrupando-se em métodos de medição directa e de detecção remota, espacialmente mais abrangentes. Neste trabalho, pela importância que apresentam em estudos relacionados com a morfodinâmica litoral, referem-se apenas as seguintes: fotogrametria (terrestre e aérea), imagens de satélite, radar, estação total, GPS, vídeo (terrestre e aerotransportado) e LiDAR (terrestre e aerotransportado). O método LiDAR (da sigla inglesa *Light Detection and Ranging*) é também usualmente referido como *scanner* a laser 3D (Kemeny & Turner, 2008). O termo LiDAR, apesar de frequentemente ser empregue para referir os sistemas aerotransportados, também se aplica aos aparelhos terrestres (e.g. Kemeny & Turner 2008; Hobbs *et al.*, 2010; Adam, Olsen *et al.*, 2010). Com excepção do GPS e da estação total que são técnicas de medição directa, as outras são técnicas de detecção remota.

Os métodos terrestres de levantamento da superfície compreendem plataformas estáticas ou móveis (os aparelhos são colocados em veículos, motociclos ou em operadores em movimento). Com o método de LiDAR terrestre também se empregam os dois tipos de plataforma.

Os métodos aéreos utilizam aeronaves muito variadas que incluem aviões, aviões remotamente operados, helicópteros, balões ou papagaios. Estes abrangem uma cobertura espacial muito maior quando comparados com as técnicas terrestres, mas envolvem, no geral, custos mais avultados que as demais. A logística associada é maior e nem sempre se coaduna com a ocorrência de fenómenos inesperados ou com a necessidade de vigilância periódica de curto prazo, além de que condições atmosféricas adversas condicionam usualmente a sua utilização. Contudo, entre os métodos de levantamento da superfície terrestre, "...o LiDAR aerotransportado é, actualmente, reconhecido como a tecnologia líder na extracção de informação de superfícies físicas" (Filin, 2004 *in* Bitenc *et al.*, 2008). Note-se que tanto no método de LiDAR terrestre móvel como no LiDAR aerotransportado é necessário integrar sistemas de navegação auxiliar (GPS IMU¹).

¹ IMU (*Inertial Measurement Unit*), Dispositivo electrónico que mede a velocidade, orientação, etc., de um objecto em movimento; quando associado a um GPS permite obter a posição de um ponto terrestre levantado com um equipamento em movimento. Constitui o principal componente dos sistemas de navegação inercial, usados em aviões, veículos espaciais, submarinos, etc. (*in* Wikipédia, http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit).

Em estudos de monitorização costeira há que considerar a escala espacial, a escala temporal dos fenómenos e o orçamento disponível para a escolha da tecnologia mais adequada aos objectivos. Actualmente, em diversas investigações (e.g. Lim *et al.*, 2005; Adam *et al.*, 2010), procede-se a uma integração de dados provenientes de diferentes tecnologias no sentido de se obterem modelos de superfície mais rigorosos, como é o caso da compatibilização entre dados fotogramétricos e de LiDAR, bem como de GPS.

Os dados provenientes de sensores laser têm sido utilizados para produzir representações precisas de relevos, sem as deformações ópticas que afectam os dados fotográficos (Lim *et al.*, 2005).

O LiDAR é um *scanner* a 3D que usa tecnologia avançada para fazer medições de distância com laser de forma automática e é capaz de obter milhares de medidas por segundo (**Fotografia 1**).



Fotografia 1 - LiDAR terrestre (TOPCON GLS 1500 - modelo utilizado neste trabalho).

Este instrumento permite obter, *a posteriori* e através da utilização de modelos computacionais tridimensionais, medições rigorosas e detalhadas de estruturas naturais ou artificiais. É especialmente útil no estudo de estruturas elevadas (tais como arribas, edifícios, etc.) onde a tecnologia tradicional de detecção remota aérea (fotografia e imagens de satélite), não permite uma representação correcta das mesmas, devido aos ângulos de observação oblíquos (Rosser, Petley *et al.*, 2005). A utilização de fotografia oblíqua para o estudo de escorregamentos de vertentes tem

tido algum sucesso mas o método é muito exigente no pós-processamento dos dados sendo indispensável o uso de um elevado número de pontos de controlo (*tie points*), sendo susceptível a erros provenientes de distorções ópticas (Rosser, Dunning *et al.*, 2005).

Desde o desenvolvimento do primeiro laser *scanner* terrestre em 1999 (Bryan, 2006 *in* Large & Heritage, 2009), que se tem assistido a um contínuo desenvolvimento do produto (Large & Heritage, 2009). Na última década, o uso do LiDAR terrestre para cartografar a três dimensões tem sido cada vez maior, levando ao aperfeiçoamento desta técnica cujo procedimento actual é relativamente rápido e simples; o método desenvolveu-se em paralelo com o LiDAR aerotransportado e até certo ponto com a fotogrametria terrestre (Adams *et al.*, 2003 *in* Hobbs *et al.*, 2010). Este método começou a ser utilizado na indústria das pedreiras e posteriormente em arquitectura, engenharia civil e outras aplicações industriais; recentemente, esta técnica tem sido usada na indústria dos jogos computacionais para a captura de imagens de rua; na área das geociências o *scanner* a laser 3D tem sido utilizado para monitorizar fenómenos de risco, como a actividade de vulcões, sismos, subsidência em minas, pedreiras, escorregamentos de vertentes e fenómenos de erosão costeira (Hobbs *et al.*, 2010).

O LiDAR aerotransportado tem sido aplicado com alguma frequência ao estudo da evolução de sistemas de praias abertas (e.g. Mitsova *et al.*, 2010). Esta tecnologia que "...integra sistemas de navegação GPS INS² torna possível quantificar alterações tridimensionais na topografia de praias a escalas espaciais necessárias para monitorizar a erosão em longos segmentos de costa de forma rápida, precisa e económica" (Shrestha *et al.*, 2005 *in* Starek *et al.*, 2009). No entanto, o esforço logístico associado a este tipo de levantamentos tem inibido a sua aplicação em estudos de alta frequência e a praias encaixadas de reduzida dimensão uma vez que a relação custo/benefício dificilmente justifica a utilização destes meios. Neste contexto a utilização do LiDAR terrestre surge como uma ferramenta alternativa.

De acordo com Bitenc *et al.*, 2008, em comparação com os métodos de laser *scanner* aéreo e de fotogrametria, usualmente utilizados para a modelação de terreno, o método de laser *scanner* terrestre é preferível uma vez que se obtêm dados com

² INS (*Inertial Navigation System*), instrumento auxiliar de navegação que utiliza computador e sensores de movimento para determinar continuamente a posição, orientação e velocidade de um objecto sem a necessidade de referências externas (3D Risk Mapping. Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre, 2008).

melhor resolução e melhor exactidão, havendo maior flexibilidade no processo de aquisição de dados e menores custos em estudos periódicos e espacialmente relativamente reduzidos.

Os sistemas aerotransportados, que recolhem dados a uma altitude aproximada de 3500m permitem, na fase de pós-processamento, gerar modelos de elevação com uma precisão superior a 0.15 m (Charlton *et al.*, 2003 *in* Large & Heritage 2009). No entanto, outras fontes bibliográficas referem que essa precisão pode ser ainda melhor (<0.10 m) (*e.g.* Mallet & Bretar, 2009). Com o método de LiDAR terrestre consegue-se obter um erro entre 0.01-0.03 m (Petermans, 2011).

O estudo de praias requer uma compreensão dos fenómenos que ocorrem na zona costeira e que compreendem o regime de agitação marítima incidente, a geração de correntes litorais, e o transporte sedimentar que resulta na sua variabilidade morfológica (Komar, 1998).

Os estudos que incidem na análise da morfodinâmica de praias utilizam geralmente técnicas de levantamento topográfico, entre outras, que permitem através da elaboração de perfis de praia e modelos de superfície, avaliar a sua evolução, calcular volumetrias e estimar valores de balanço sedimentar.

2. OBJECTIVOS

O presente trabalho tem como objectivo principal avaliar a aplicabilidade do uso do LiDAR terrestre ao estudo da morfodinâmica de praias encaixadas. Pretende-se identificar as circunstâncias em que a utilização desta tecnologia se torna mais vantajosa face a outras actualmente utilizadas em estudos da mesma natureza, tais como o GPS-RTK.

São ainda considerados os seguintes objectivos complementares:

- Investigar as limitações de alcance inerentes ao equipamento no que respeita à altura e ao ângulo limite do sensor, relativamente à extensão dum areal de praia, e pesquisar as potencialidades relativas à cobertura integral do perfil de praia.

- Utilizar o LiDAR terrestre para avaliar o comportamento morfodinâmico de alguns sistemas de praia e dunares através da realização de diversas campanhas de campo em diferentes alturas do ano.

3. ENQUADRAMENTO

3.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo compreende quatro praias do litoral continental português, situadas na região de Lisboa e Vale do Tejo: 1) praia de Paredes da Vitória que se situa entre S. Pedro de Moel e a Nazaré, pertence ao concelho de Alcobaça, freguesia de Pataias; 2) praia dos Coxos, perto da Ericeira, pertence ao concelho de Mafra, freguesia de Santo Isidoro; 3) praia do Magoito no concelho de Sintra, freguesia S. João das Lampas e 4) praia de São João no concelho de Almada, freguesia da Costa da Caparica. Na **Figura 1** apresenta-se a localização das quatro praias.



Figura 1 - Localização das praias em estudo (mapa e imagem).

3.2. DESCRIÇÃO DAS PRAIAS EM ESTUDO

Pela observação da **Figura 1**, constata-se que das quatro praias estudadas, três apresentam uma orientação geral NE-SW (praia de Paredes da Vitória, praia dos Coxos e praia do Magoito) e enquanto outra apresenta uma orientação NW-SE (praia de São João). Ainda, é possível reconhecer a reduzida extensão da praia dos Coxos, face às restantes e o seu elevado grau de encaixe³.

O grau de encaixe de uma praia é a razão entre, “a distância entre o limite exterior da praia emersa e uma linha imaginária que une o limite exterior dos promontórios que a definem (a)” e “o comprimento da linha imaginária que une os promontórios (R_0)” (Bowman *et al.*, 2009) (**Figura 2**).

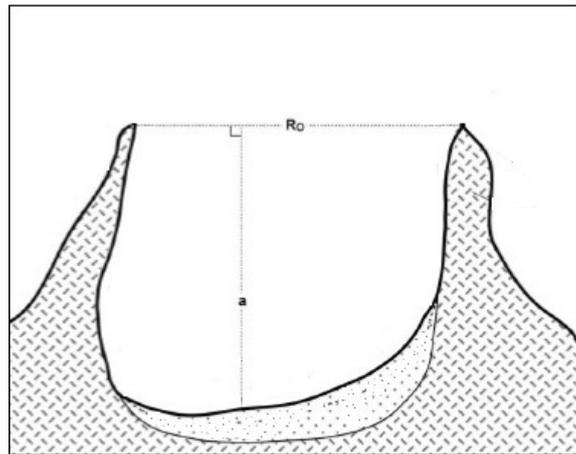


Figura 2 – Esquema retirado e adaptado de Bowman *et al.*, 2009, com ilustração dos parâmetros para a determinação do grau de encaixe numa praia.

Do ponto de vista textural e de acordo com a classificação de Friedman & Sanders (1978), as praias em estudo são constituídas por areias de dimensões médias a grosseiras. Especificamente, a praia do Magoito e de São João, apresentam areias médias, enquanto que o areal da praia de Paredes da Vitória inclui areias médias a grosseiras; a praia dos Coxos é constituída por areias grosseiras (Andrade *et al.*, 2010).

³ De acordo com Andrade *et al.*, 2010, define-se grau de encaixe de uma praia como a razão a/R_0 em que (a) é a indentação (distância máxima entre R_0 e a praia) e R_0 é a distância planar entre os promontórios que definem o troço de praia.

Praia de Paredes da Vitória

A praia de Paredes da Vitória localiza-se na desembocadura do vale da ribeira de Paredes. É uma praia limitada do lado terra por uma vertente, apresenta um grau de encaixe baixo (0.124) e tem uma extensão de areia de aproximadamente 1900 m (Andrade *et al.*, 2010).

A área de estudo abrangeu a zona central desta praia, cobrindo cerca de 600m de extensão do areal (**Fotografia 2**) e inclui uma diversidade de conteúdos morfológicos, nomeadamente associados à foz da ribeira (**Fotografia 3 e Fotografia 4**) e a uma duna embrionária junto ao sopé da vertente.

A vertente costeira na zona de estudo é constituída por formações arenosas do Pilo-Plistocénico (França *et al.*, 1964). A norte as arribas abrangem sequências de rochas calcárias e calco-margosas do Jurássico inferior e para Sul da área em estudo, as arribas integram arenitos fluviais, calcários e conglomerados do Cretácico e do Terciário. (*in* Paredes da Vitória - <http://www.paredesdavitoria.com/#>).



Fotografia 2 – Praia de Paredes da Vitória em Dezembro de 2011.



Fotografia 3 – Praia de Paredes da Vitória em Dezembro 2011, secção terminal da ribeira de Paredes.



Fotografia 4 - Praia de Paredes da Vitória em Dezembro 2011, secção terminal da ribeira de Paredes.

Praia dos Coxos

A praia dos Coxos, a mais pequena das quatro praias consideradas neste trabalho (**Fotografia 5**), apresenta um areal pouco extenso, com cerca de 130 m de comprimento, profundamente encaixado entre dois promontórios rochosos, com um grau de encaixe de 0.974 (Andrade *et al.*, 2010). A praia encosta-se a uma arriba com cerca de 30 m de altura, constituída essencialmente por camadas sub-horizontais de calcários e grés compactos do Cretácico (Urgoniano) (Matos, 1954). Durante as campanhas de Inverno, observou-se que a camada da base da arriba se encontrava mais húmida que as restantes. Verificou-se também que o promontório rochoso a nordeste está bastante vegetado enquanto que a área restante da face da arriba apresenta-se significativamente com menos vegetação (**Fotografia 6**). Junto ao sopé observaram-se numerosos depósitos de vertente, existindo sinalização de perigo por queda de blocos.



Fotografia 5 – Praia dos Coxos em Março de 2011.



Fotografia 6- Praia dos Coxos em Julho 2012.

Praia do Magoito

A praia do Magoito está inserida no Parque Natural de Sintra-Cascais e é uma praia com importantes elementos naturais (habitats classificados e duna fóssil), **Fotografia 7** a **Fotografia 9**. A praia é limitada por arriba de altura elevada e por uma duna consolidada no seu limite sul, considerada um geomonumento (ARH do Tejo, 2011).

Esta praia tem um grau de encaixe baixo (0.230) (Andrade *et al.*, 2010), apresenta uma largura reduzida e frequentemente, em situação de preia-mar de águas vivas, o espraio alcança a base da arriba. O areal tem uma extensão aproximada de 870 m sendo que a área de investigação abrangeu apenas 300m. Tal como em Paredes da Vitória, esta praia apresenta um padrão espacial complexo: desenvolve-se na foz de uma linha de água, o rio da Mata (**Fotografia 8**), que deposita na secção terminal materiais de dimensões grosseiras; na secção sul, observam-se afloramentos rochosos com cerca de 1m de altura (**Fotografia 9**); a plataforma rochosa, que articula com o sopé da face de praia, desenvolve-se a partir do NMM, fica muitas vezes a descoberto durante a baixa-mar. Nos meses de Inverno, em que a praia subaérea apresenta menor desenvolvimento, esta exposição é mais relevante (**Fotografia 7**).

A arriba que se desenvolve para sul, é constituída por camadas sub-horizontais de calcários argilosos e margas do Cretácico (Albiano-cenomaniano inferior e médio) (Kulberg *et al.*, 1991), **Fotografia 9**. Estas camadas são atravessadas por alguns filões

subverticais. Observou-se que durante as campanhas de Inverno (tal como verificado na praia dos Coxos) na base da arriba, a face exposta do estrato inferior apresenta-se saturado de água e junto ao sopé há acumulação de blocos caídos da arriba.



Fotografia 7 – Praia do Magoito em Dezembro de 2011, plataforma rochosa a descoberto.



Fotografia 8 – Praia do Magoito em Janeiro de 2012, desembocadura do rio da Mata. Note-se que nesta fotografia a plataforma rochosa encontra-se submersa.



Fotografia 9 - Praia do Magoito pormenor da arriba e de afloramento rochoso que sobressai no areal (Dezembro de 2011).

Praia de São João

A praia de São João localiza-se no extremo norte do arco litoral Caparica-Espichel. É uma praia limitada por estruturas artificiais (longitudinais e transversais à linha de costa) e por um edifício dunar muito degradado. O limite em terra e de sul para norte, apresenta um paredão, com cerca de 450 m (**Fotografia 10**), que protege a frente do parque de campismo do INATEL⁴, a que sucede uma duna frontal que separa uma planície litoral mais extensa e vegetada. A praia é limitada a norte e a sul por esporões e tem um grau de encaixe baixo (0.17)⁵. O areal tem uma extensão aproximada de 1400 m sendo que a área de estudo, neste trabalho, incidiu no esporão do limite sul e areal adjacente.



Fotografia 10 - Praia de São João em Março de 2012. À esquerda esporão que corresponde ao limite sul da praia.

⁴ Instituto Nacional para Aproveitamento dos Tempos Livres.

⁵ De acordo com os parâmetros definidos em Andrade *et al.*, 2010, calculou-se o grau de encaixe (a/R_0) para esta praia, tendo-se obtido o valor de $0.17 = (240\text{m}/1415\text{m})$.

4. FUNDAMENTOS DE LIDAR TERRESTRE

O LiDAR⁶ é um *scanner* a laser cuja tecnologia, de detecção remota, baseia-se nas propriedades de reflexão da radiação electromagnética para determinar a distância e outras características de um objecto distante (Heritage & Large, 2009b). Os aparelhos que usam esta tecnologia podem ser do tipo aerotransportado ou terrestre. O LiDAR terrestre associado a um sistema de posicionamento de precisão (como por exemplo um GPS diferencial) permite obter modelos computacionais tridimensionais, de grande detalhe (British Geological Survey, 2011), de estruturas naturais e artificiais como arribas, afloramentos, edifícios, pontes, etc., (**Fotografia 11**).



Fotografia 11 – LiDAR terrestre instalado para efectuar o levantamento topográfico do areal de praia e arriba (praia dos Coxos).

CLASSIFICAÇÃO

Os sistemas de *scanner* LiDAR podem ser reunidos em 3 grandes grupos de acordo com a sua função (Heritage & Large, 2009b):

- ✓ *Differential Absorption LiDAR* (DiAL) ou LiDAR de Absorção Diferencial, utilizado para medir concentrações de elementos químicos na atmosfera;
- ✓ *Doppler LiDAR*, usado para medição da velocidade de um objecto em movimento.
- ✓ *Backscatter Scanner* ou *Scanner* Retro-reflector (reflexão de radiação na direcção da emissão), usado como instrumento posicional e por isso

⁶ O acrónimo LiDAR é referido também na literatura como *Laser Induced Direction And Ranging*, embora seja mais usual a definição *Light Detection And Ranging* (e.g. Marks and Bates, 2000 in Charlton *et al.*, 2003).

comummente utilizado em diversas aplicações em ambientes naturais, como é o caso no estudo presente. Funciona através de sistemas de onda contínua ou de laser pulsado. Dentro deste tipo de sensores incluem-se os topográficos e os batimétricos, sendo que os segundos são utilizados em plataformas aéreas. A diferença fundamental entre os dois respeita ao comprimento de onda da radiação emitida.

CONSTITUIÇÃO

Estes instrumentos são constituídos por três componentes básicos (**Figura 3**):

- uma unidade laser que incorpora um transmissor;
- um mecanismo reflector óptico mecânico;
- uma unidade receptora e de registo dos dados.

Por vezes, estes aparelhos incorporam também uma câmara fotográfica. No caso dos instrumentos LiDAR aerotransportados e nalguns terrestres é necessário um sistema adicional de posição/navegação (Heritage & Large, 2009b).

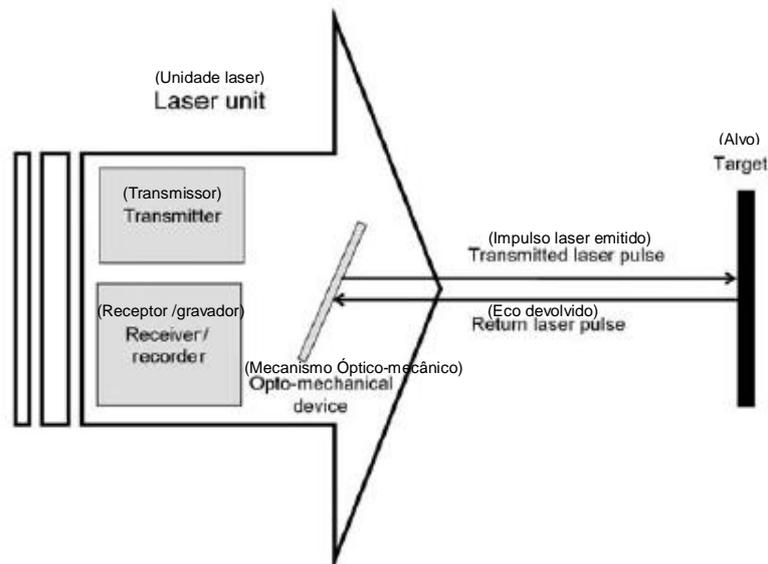


Figura 3 – Componentes básicos de um instrumento LiDAR (Heritage & Large, 2009b).

FUNIONAMENTO

Estes aparelhos fornecem informação posicional de uma forma semelhante a uma estação total; as diferenças fundamentais estão na velocidade das leituras e alcance máximo; o laser *scanner* tem um alcance menor mas é muito mais rápido a fazer medições que a estação total uma vez que consegue posicionar objectos a uma velocidade cerca de 1000x superior, produzindo grandes quantidades de dados num curto espaço de tempo; se a área a cartografar é maior que o alcance do aparelho, tem que se dividir a área e digitalizar por troços ou no caso de haver obstruções também se torna necessário fazer a digitalização de várias estações por forma a cobrir toda a área de interesse (Ravani *et al.*, 2007).

O aparelho emite radiação laser que após incidir no alvo, parte é reflectida por este, na direcção do aparelho, e é capturada pelo *scanner* para calcular a distância, direcção e outras características do alvo reflector; este instrumento tem espelhos rotativos ou oscilantes (e/ou roda por inteiro) que permitem a rapidez de medições (Heritage & Large, 2009b).

O princípio de funcionamento baseia-se no comportamento da radiação electromagnética quando esta atinge uma determinada superfície; a radiação pode ser absorvida, transmitida e/ou reflectida. Há vários tipos de reflexão: especular (reflexão com ângulo igual ao da radiação incidente), difusa (em várias direcções) ou mista (combinação das duas anteriores). A maior parte das superfícies naturais exhibe uma reflexão mista (Heritage & Large, 2009b), **Figura 4**.

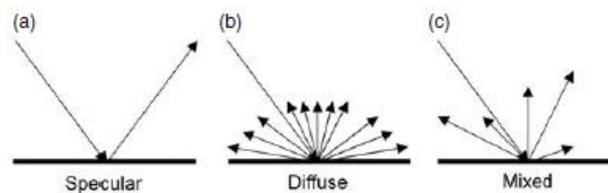


Figura 4 – Tipos de reflexão da radiação: (a) especular; (b) difusa; (c) mista, (Heritage & Large, 2009b).

Este método é muito eficaz em superfícies com alta reflectividade (na direcção do sinal emitido), não sendo este o caso da água ou de superfícies saturadas de água. Por esta razão, esta tecnologia apresenta limitações na cartografia das zonas intertidais (Bitenc *et al.*, 2008). De acordo com a **Figura 5**, pode-se observar que a característica

distintiva da água é a absorção da radiação a partir do infravermelho próximo. No entanto, há uma série de factores que afectam bastante a reflectância dos corpos de água, tais como a presença de sedimento suspenso ou outras impurezas (Govender *et al.*, 2007), **Figura 6**.

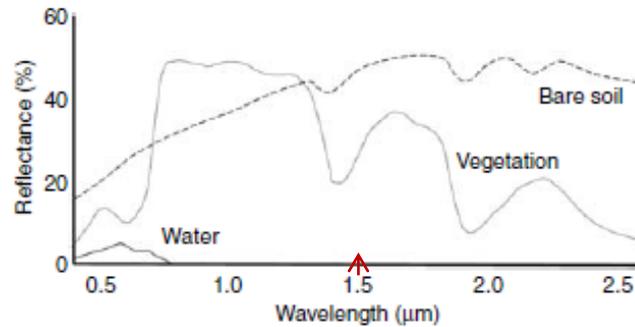


Figura 5 – Assinaturas espectrais de solo nu, vegetação verde e água límpida (Heritage & Large, 2009b). A seta indica o comprimento de onda correspondente ao aparelho utilizado neste estudo.

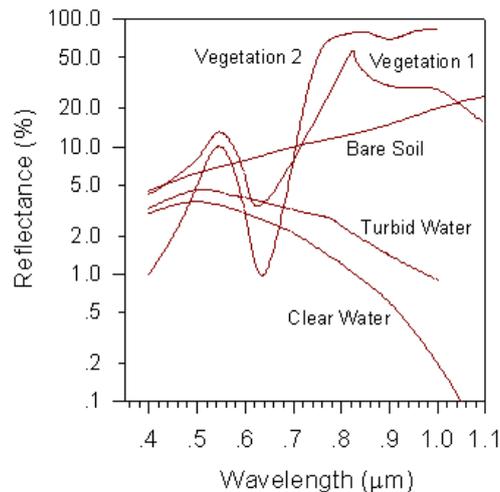


Figura 6 – Assinaturas espectrais de cinco classes de cobertura do solo (in ISA, http://www.isa.utl.pt/dm/sig/sig19992000/tema10/Fisica-principios_basicos.htm)

Todos os instrumentos LiDAR dependem dos princípios que regem a radiação laser e que, como desenvolvido mais à frente (RADIACÃO LASER), é monocromática, coerente e colimada. O facto de esta radiação ser coerente assegura uma menor divergência do feixe emitido à medida que a distância ao alvo aumenta, permitindo assim a detecção de objectos pequenos e individuais (Heritage & Large, 2009b).

Segundo Kemeny & Turner 2008, os principais métodos de funcionamento de *scanners* a laser 3D são, *time-of-flight scanners* e *phase-shift scanners* também referidos de *scanners* de laser pulsado e *scanners* de fase (ou de onda contínua):

- ✓ *Time-of-flight scanners* (TOF), o sensor mede o “tempo de voo” do impulso laser ou seja, o tempo que este demora desde que é emitido até que é reflectido pelo alvo e recebido de novo pelo sensor (**Figura 7**). Só é enviado um novo impulso depois de registado o eco do anterior. A distância é depois calculada de acordo com a seguinte expressão (**Eq. 1**):

$$\text{Distância}^7 = (\text{Velocidade da luz} * \text{Tempo de voo}) / 2 \quad (\text{Eq. 1})$$

De acordo com o tipo de superfície alvo podem ser gerados mais do que um eco para o mesmo impulso emitido. Assim por exemplo, uma vertente com vegetação pode gerar dois sinais reflectidos a partir de um sinal emitido, correspondendo o primeiro eco reflectido ao topo da vegetação e o segundo à base. Alguns sensores têm a capacidade de registar os vários ecos gerados.

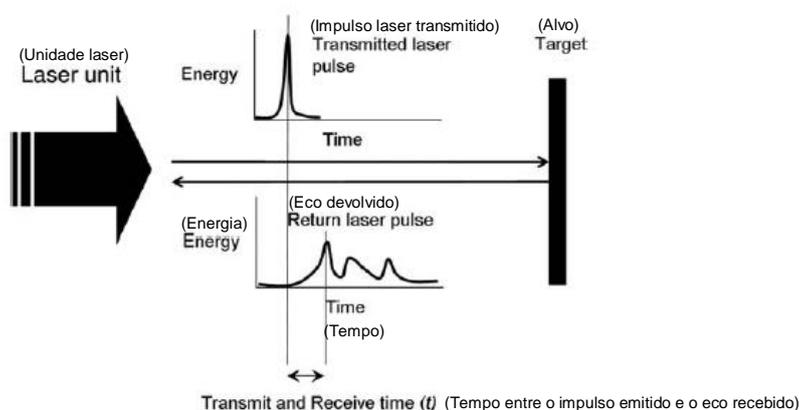


Figura 7 – Alteração do impulso laser emitido após atingir um alvo e registo do eco com um sensor TOF. (Heritage & Large, 2009b).

- ✓ *Phase-shift scanners*, baseiam-se na alteração de fase ocorrida entre o sinal emitido e o sinal recebido. Estes aparelhos emitem um feixe laser de onda senoidal, contínua e modulada, que depois de reflectido pelo alvo, é recebido pelo sensor que o compara com a radiação inicialmente emitida para determinar a alteração de fase ocorrida. A distância ao alvo é proporcional à alteração de fase. Estes *scanners* podem emitir em diversas frequências moduladas.

⁷ Divide-se por 2 porque o sinal percorre duas vezes a distância: quando é enviado e quando é recebido.

Os *scanners* de fase são mais rápidos e geram mais pontos por segundo (5 a 100x mais) que os de laser pulsado; no entanto, este tipo de sensores tem um alcance menor (25-100m) quando comparados com os sensores TOF (75-1000m) (Ravani *et al.*, 2007). Deste modo, verifica-se que os *scanners* de fase são especialmente úteis em ambientes interiores, enquanto que os *scanners* do tipo TOF são utilizados essencialmente em ambientes exteriores onde o alcance requerido é maior (Ravani *et al.*, 2007). Existem sensores TOF com um alcance até 2000 m (Rosser, Dunning *et al.*, 2005).

O sensor utilizado neste trabalho é do tipo TOF, tem um alcance de 330 m e só regista um eco.

RADIAÇÃO LASER

A radiação laser é uma radiação electromagnética cujo intervalo de comprimento de onda abrange o espectro de luz visível (700-400 nm) estendendo-se para os dois extremos do espectro (infravermelho e ultravioleta), e tem determinadas características: é monocromática (tem uma única frequência), é coerente (os comprimentos de onda estão em fase), e é colimada (os comprimentos de onda são paralelos, emitidos numa única direcção), **Figura 8**.

O acrónimo LASER quer dizer *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* ou *amplificação da luz por emissão estimulada de radiação*. Há vários tipos de aparelhos que produzem radiação laser e consoante o comprimento de onda emitido obtém-se diferentes tipos de radiação laser.

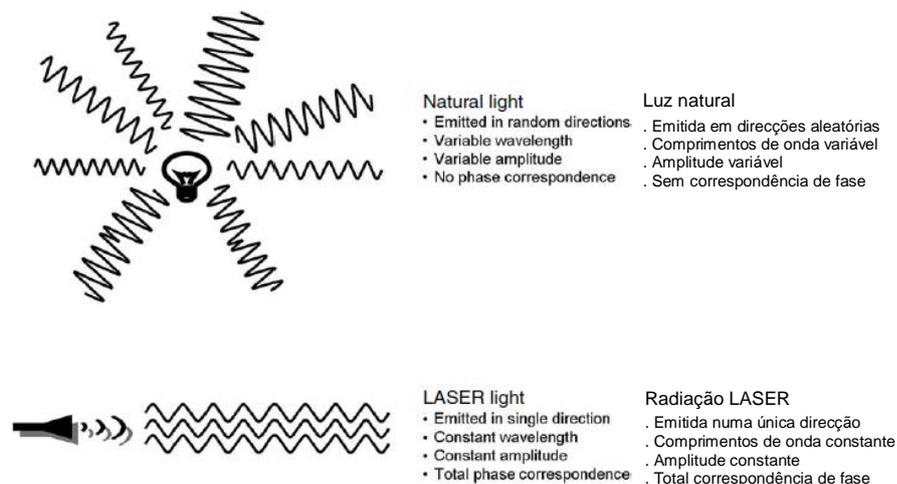


Figura 8 – Características da luz natural e da radiação laser. (Heritage & Large, 2009b).

O princípio de funcionamento do laser baseia-se na teoria quântica desenvolvida por Einstein, no início do século XX, na qual propõe o conceito de emissão estimulada. De acordo com a mecânica quântica, os átomos encontram-se de forma preferencial no estado fundamental, de menor energia, e por isso o mais estável; quando um átomo recebe um fóton (energia) passa a um estado excitado, instável e tende a emití-lo rapidamente para regressar ao seu estado estável (Catorze, 2009). A emissão estimulada baseia-se neste facto, isto é: se uma população de átomos for transportada para estados excitados, de energia superior (“inversão da população”), esses fótons serão emitidos espontaneamente; como aos fótons iniciais fornecidos a partir duma fonte externa de energia se juntam os fótons reemitidos pelos átomos adjacentes, gera-se um efeito de cascata em que esses fótons estimulam os átomos vizinhos (“amplificação da radiação”); os fótons reemitidos são idênticos aos fótons estimulantes o que significa que têm o mesmo comprimento de onda, polarização, direcção de propagação e também a mesma fase (Catorze, 2009). O sistema laser é composto por três componentes fundamentais: meio laser, fonte de energia e espelhos retro-reflectores.

INFORMAÇÃO OBTIDA

A informação adquirida com o LiDAR terrestre é uma nuvem de pontos contendo geralmente milhões de medições laser de distância que representam a superfície onde o laser incidiu (**Figura 9**).

A posição de cada ponto medido com o laser (*i.e.*, as suas coordenadas) é determinada a partir do cálculo da distância ao aparelho e do ângulo de incidência do feixe laser, como se explana com maior detalhe à frente (POSICIONAMENTO / LOCALIZAÇÃO GEOMÉTRICA). Além das coordenadas relativas é também registado a intensidade com que o sinal é reflectido. Geralmente, objectos claros e objectos mais próximos dão origem a maior reflexão que os objectos escuros ou mais afastados (Kemeny & Turner, 2008).

As coordenadas x, y, z e o respectivo valor de intensidade para cada ponto constituem a nuvem de pontos. Uma nuvem de pontos pode ser representada a cores se se adicionar a informação duma imagem digital colorida à localização de cada ponto; há aparelhos que já integram uma câmara fotográfica facilitando a aquisição desta

informação adicional, caso contrário existem técnicas computacionais para fazer coincidir imagens digitais com o modelo tridimensional (Kemeny & Turner, 2008).

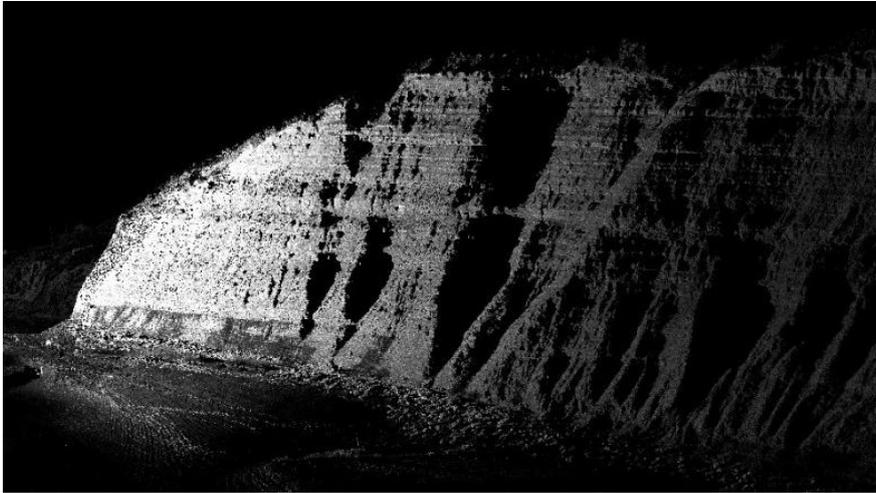


Figura 9 – Praia do Magoito (arriba). Nuvem de pontos resultante dum levantamento LiDAR.

A densidade da nuvem de pontos, ou seja a resolução espacial, é um parâmetro muito relevante uma vez que influencia a exactidão do produto final e define o tamanho das entidades que podem ser identificadas e modeladas a partir dos dados iniciais; na maior parte dos equipamentos a resolução é definida em campo pelo operador antes do processo de aquisição se iniciar (Bitenc *et al.*, 2008).

Há uma série de parâmetros que afectam a intensidade do sinal reflectido e que se relacionam quer com características intrínsecas à superfície (como sejam a sua rugosidade, composição e conteúdo de humidade), quer com a distância ao laser *scanner* e ângulo de incidência do impulso laser (Lim *et al.*, 2005).

Posteriormente à aquisição dos dados em campo e através de aplicações informáticas específicas é comum derivarem-se modelos digitais de superfície e de elevação, directamente a partir da nuvem de pontos, de forma a extrair-se informação que, de outra forma, seria difícil de obter apenas com os dados iniciais. (Kemeny & Turner, 2008).

POSICIONAMENTO / LOCALIZAÇÃO GEOMÉTRICA

A localização geométrica da nuvem de pontos é definida por um sistema de coordenadas inicialmente referenciado à origem do instrumento e a posição de cada objecto é calculada usando a informação do tempo de voo combinada com o ângulo de emissão do impulso laser (Heritage & Large, 2009b). Desta forma verifica-se que utilizando um sistema de coordenadas cartesianas, a posição de um objecto é dada por 3 escalares (X, Y, Z), Figura 10:

r = distância ao objecto (calculada a partir do “tempo de voo”, Eq. 1 pág.19)

$$X = r \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\varphi)$$

$$Y = r \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi)$$

$$Z = r \cdot \cos(\theta)$$

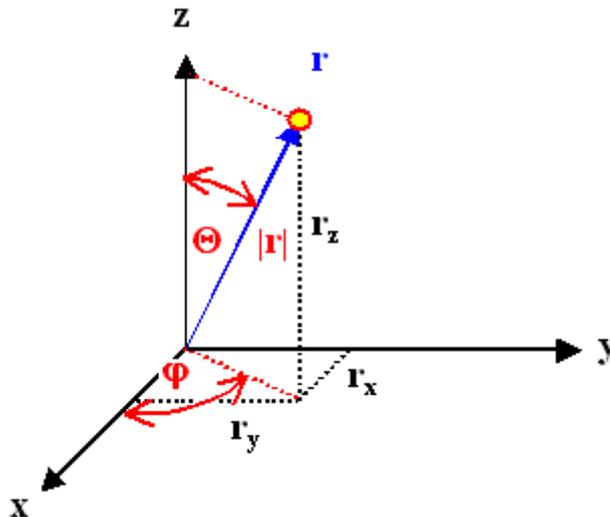


Figura 10 – Posicionamento de um objecto no espaço tridimensional (*Physics Forums*, <http://www.physicsforums.com/showthread.php?t=186396>).

Os eixos do X e Y definem um plano normal e paralelo ao ângulo zero azimutal do *scanner* respectivamente. O eixo do Z é vertical e perpendicular aos outros eixos e representa a altura (Rosser, Petley *et al.*, 2005).

Note-se que para posterior georreferenciação dos dados é necessário que previamente, durante o levantamento de campo, seja utilizado um método de georreferenciação do equipamento, como por exemplo com aparelho GPS.

PROCESSAMENTO / ANÁLISE DE DADOS

O pós-processamento é referido usualmente como registo ou georreferenciação. Pode fazer-se a combinação de várias nuvens de pontos numa única nuvem e é usual referenciar-se os dados a um sistema de coordenadas comum (Ravani *et al.*, 2007). Ambos os processos (junção das nuvens de pontos e georreferenciação) são realizados conjuntamente utilizando aplicações informáticas específicas.

Para que a nuvem de pontos seja útil e permita efectuar uma grande variedade de análises (próprias a cada estudo) é conveniente que o formato com que os dados se apresentam seja compatível com diversos programas de uso generalizado nomeadamente, programas de desenho *Computer Aided Design* (CAD), de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de modelação geotécnica, entre outros.

O ficheiro de saída normalizado é um ficheiro em formato ASCII 3D e é por isso compatível com a generalidade das aplicações (Kemeny & Turner, 2008). O formato ASCII é um formato de texto em que a informação é colocada em linhas, correspondendo cada ponto de registo a uma linha. Toda a informação adquirida e referente a cada ponto é colocada numa linha e separada por uma vírgula ou por um espaço. Uma vez que a leitura/escrita destes ficheiros é lenta e apenas contém a informação básica da nuvem de pontos, muitas marcas de laser *scanner* utilizam um formato binário próprio; dependendo do sistema os ficheiros binários podem ainda incluir informação digital de imagens, informação de superfícies TIN (*Triangulated Irregular Network*), entre outra (Kemeny & Turner, 2008).

O formato binário LAS (*LASer File Format Exchange*) é vulgarmente utilizado neste tipo de ficheiros. É um formato público e foi desenvolvido pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Detecção Remota (ASPRS). É lido pelas aplicações de análise espacial de dados, acima referidas, e foi o formato utilizado neste trabalho.

5. MÉTODOS

5.1. PROCEDIMENTOS DE CAMPO

Na preparação das campanhas de campo, a escolha das datas teve em consideração dois aspectos relevantes, entre outros: a hora da baixa-mar (para permitir o levantamento da maior extensão possível do areal emerso) e as condições meteorológicas (dias com reduzida probabilidade de ocorrência de chuva, uma vez que esta afecta o sinal laser).

O posicionamento do LiDAR terrestre, referido ao longo deste trabalho de laser scanner (LS), foi feito com recurso a dois pontos conhecidos, denominados de estação LS e ponto de referência, medidos com recurso a GPS-RTK (*Real Time Kinematic*). Este aparelho permite fazer medições em movimento, conseguindo-se um erro de posição de 2 cm ou menos (Trimble, 2007). Neste trabalho, as medições de posição do LS e do ponto de referência foram realizadas em modo estático durante 5 minutos. Na **Tabela 2**, apresentam-se algumas especificações técnicas dos dois aparelhos utilizados neste estudo.

ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS		
LASER SCANNER		
Marca	TOPCON	
Modelo	GLS - 1500	
Tipo de sensor	Laser pulsado	
Tipo de laser	Classe 1 (invisível e seguro para os olhos)	
Comprimento de onda	1535nm	
Campo de visão	360° (horizontal) / 70° (vertical)	
Alcance máximo para determinada reflectividade	330m a 90%; 150m a 18%	
Precisão	Distância	4mm a 150m
	Ângulo	6" (vertical) / 6" (horizontal)
Precisão na detecção do alvo	3" a 50m	
Taxa de digitalização	30 000 pontos por segundo	
Densidade de digitalização	Dimensão de ponto	6mm a 40m
	Densidade máxima de amostra	1mm a 100m

ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS		
Câmara digital		2.0 Mega pixel
GPS-RTK		
Marca		Leica Geosystems
Modelo		Leica Viva NetRover
Precisão e fiabilidade*	RTK em modo estático	Horizontal: 5mm + 0.5ppm (rms)
		Vertical: 10mm + 0.5ppm (rms)
	RTK em modo cinemático	Horizontal: 10mm + 1ppm (rms)
		Vertical: 20mm + 1ppm (rms)
*A precisão da medição, exactidão e fiabilidade dependem de vários factores como o número de satélites, obstruções, tempo de observação, etc. Os valores apresentados são normais em condições normais.		

Tabela 2 – Especificações técnicas do laser scanner e do GPS_RTK utilizados.

METODOLOGIA

Durante as campanhas de campo adoptou-se a seguinte metodologia.

Estabelecimento do LS:

- ✓ Posicionamento e nivelamento do LS com recurso a um tripé (**Fotografia 12**).
- ✓ Posicionamento e nivelamento do ponto de referência, materializado por um prisma de tamanho médio⁸ em cima de um tripé (**Fotografia 13** e **Fotografia 16**). Este foi colocado a uma distância entre 50-100m.
- ✓ Ligação do LS (este aparelho demora uns minutos a inicializar).
- ✓ Ligação a um computador portátil para através deste e da aplicação *ScanMaster*, se operar o aparelho (aplicação adquirida juntamente com o LS) (**Fotografia 14**).
- ✓ Introdução da posição do LS (coordenadas relativas (x, y, z) iguais a zero) e leitura do ponto de referência.

Definição da área a digitalizar:

- ✓ Indicação da área a digitalizar. É definido o campo de visão (ângulo horizontal e ângulo vertical). Verificou-se ser vantajoso incluir na área a digitalizar, um elemento fixo (casa, estrada, etc.), que possa servir de ponto de controlo para aferir a qualidade dos vários levantamentos realizados.
- ✓ Indicação para fotografar toda a área definida.
- ✓ Introdução da resolução espacial pretendida e que é definida para uma dada distância (**pág.28**). É indicado o tempo que o aparelho vai demorar a fazer a digitalização.

Aquisição de dados:

- ✓ Digitalização com o LS.
- ✓ Registo fotográfico do local objecto de estudo e área envolvente.

Medição da posição do ponto LS e ponto de referência (prisma):

- ✓ Leitura com o GPS-RTK do local de posicionamento do laser *scanner* e do ponto de referência para posterior georreferenciação.
- ✓ Medição com uma fita métrica da altura do LS (até à marca central do instrumento, que está a meio dos dois botões de controlo) e da altura do prisma para determinação da cota (**Fotografia 15** e **Fotografia 16**).

⁸ O tamanho do prisma é escolhido de acordo com a distância entre o LS e o objecto a cartografar: grande para distâncias entre 50-200m; médio para distâncias entre 10-100m e pequeno para distâncias entre 2-50m.

A resolução espacial corresponde ao espaçamento mínimo entre pontos para uma determinada distância a cartografar pelo LS e que, de acordo com as especificações técnicas (**Tabela 2**), tem como limite definido 1 mm a 100 m (densidade máxima de amostra). Note-se que, como o varrimento é angular, para distâncias superiores à pré-definida, os dados apresentam uma resolução inferior (um espaçamento maior) e pelo contrário, para distâncias inferiores, apresentam uma resolução superior (um espaçamento menor).



Fotografia 12 - Montagem do LS em cima de tripé e mesa de apoio na praia dos Coxos.



Fotografia 13 - Nivelamento para colocação do prisma que serve de ponto de referência na praia dos Coxos.



Fotografia 14 - LS em cima de tripé, computador e bateria na praia de P. da Vitória.



Fotografia 15 - A vermelho, altura medida para aferição da cota do LS na praia de P. da Vitória.



Fotografia 16 - A vermelho, altura medida para aferição da cota do prisma que serve de ponto de referência na praia de P. da Vitória.

PARÂMETROS E MEDIÇÕES

Foram realizadas 7 campanhas de campo: 3 na praia dos Coxos, 2 na praia do Magoito, 1 na praia de Paredes da Vitória e 1 na praia de São João. Os principais estudos incidiram na praia dos Coxos e do Magoito, onde se efectuaram mais do que uma campanha.

Durante as campanhas foram preenchidas fichas de campo (**Anexo E**). Na **Tabela 3** resumem-se os dados mais relevantes de todas as campanhas efectuadas.

DADOS DE CAMPO							
Local	Data	Estação LS	Resolução	Duração de digitalização	Cota do LS* (m, rel. NMM)	Observações	
Coxos	7/04/2011	E1	-	-	19.8	-	
	29/12/2011	E1	1cm	2.20h	19.7	-	
	5/07/2012	E1	2cm	1.28h	19.9	Foram efectuados dois levantamentos, sendo que o segundo teve o objectivo de repetir a digitalização da estrada de acesso à praia e área adjacente.	
		E1	2cm	0.15h			
Magoito	28/12/2011	E1	2cm	-	29.4		-
		E2	4cm	-	3.0		
		E3	4cm	-	36.1		
	16/01/2012	E1	2cm	1.04h	22.7	Na estação E2 realizaram-se dois levantamentos para aumentar a área de investigação.	
		E2	2cm	1.04h	17.4		
Paredes da Vitória	30/12/2011	E1	4cm	1.34h	4.7	Foram efectuados dois levantamentos com o equipamento estacionado na estação E2 para incluir a zona superior da arriba.	
		E2	4cm	1.08h	5.4		
		E2	4cm	0.12h			
		E3	4cm	0.24h	5.0		
São João	29/03/2012	E1	-	-	4.4**	-	

*Nota: a cota engloba a altura do aparelho.
 ** Valor estimado assumindo-se 1.5 m de altura do LS, uma vez que o registo do valor real perdeu-se.

Tabela 3 – Parâmetros do LS definidos nas campanhas realizadas.

5.2. PÓS-PROCESSAMENTO

Os dados adquiridos no campo foram posteriormente georreferenciados através da aplicação *ScanMaster* (TOPCON®) e exportados para o formato LAS. A análise e tratamento de dados foram executados com recurso às aplicações *Quick Terrain Modeler v.1.7* (QTM) e *ArcGIS v.10*: a primeira foi utilizada para facilmente visualizar e manipular as nuvens de pontos e gerar modelos digitais de superfície; a segunda para processar e analisar os dados.

Com excepção da praia dos Coxos e de São João, onde apenas se estacionou o LS num único local, nas restantes praias, devido à área de estudo ser maior do que o alcance do LS, foi necessário proceder a vários estacionamentos adquirindo-se mais do que uma nuvem de pontos no mesmo dia. Todavia, na fase de georreferenciação, estas nuvens foram unidas de forma a obter-se uma única nuvem de pontos por campanha.

Os principais estudos foram efectuados com os dados da praia dos Coxos, tendo-se aferido a metodologia, estimado a precisão do LS e avaliado a evolução morfológica do areal. Seleccionou-se esta praia por ser de pequenas dimensões, ter um padrão espacial simples e ser suficiente um único estacionamento do LS para se obter a cobertura integral do areal. Com os dados da praia do Magoito, além de se avaliar o detalhe do levantamento, uma vez que existem duas séries de dados, realizou-se ainda a avaliação da evolução morfológica da praia. Os dados das restantes campanhas serviram para avaliar o alcance máximo do LS e as suas potencialidades no levantamento integral de padrões espaciais complexos (morfologias transversais e longitudinais do perfil de praia). A terminologia morfológica utilizada neste trabalho é, de acordo com Andrade 1997, a que se apresenta na **Figura 11**.

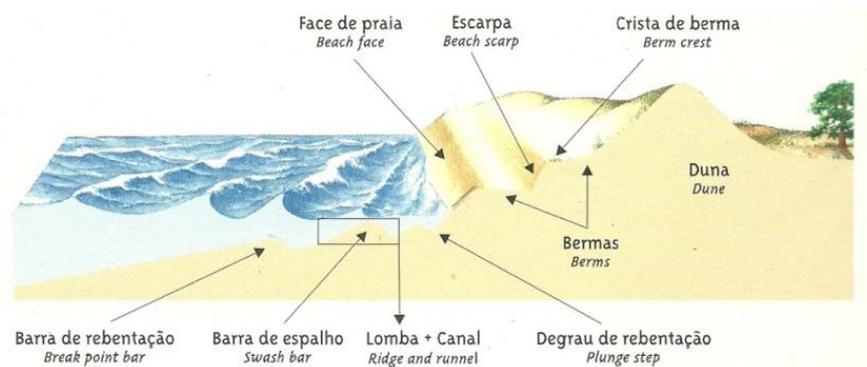


Figura 11 – Terminologia morfológica e dinâmica do perfil de praia e da faixa litoral (Andrade 1997).

NUVEM DE PONTOS

Numa primeira fase, na aplicação QTM, importaram-se as nuvens de pontos originais em formato LAS para o formato *Quick Terrain* (de extensão qtc - *ungrided point cloud*). Numa segunda fase, converteram-se essas nuvens de pontos em modelos de superfície (extensão qtt - *gridded surface*).

Na **Tabela 4** apresentam-se as principais características das nuvens de pontos iniciais, correspondentes a todas as campanhas de campo efectuadas no decurso deste trabalho. Nas figuras seguintes (**Figura 12 a Figura 15**) representa-se, em perspectiva, o resultado dessas campanhas - a nuvem de pontos com o valor da intensidade de reflexão do sinal. No **Anexo A**, estes elementos são apresentados com maior detalhe.

NUVENS DE PONTOS INICIAIS				
Local	Data	Nº de pontos	Densidade (média de pontos por m ²)	Distância média entre pontos (m)
Praia dos Coxos	7/04/2011	15 000 970	548	0.0427
	29/12/2011	41 254 798	1267	0.0281
	5/07/2012	6 929 127	332	0.0549
		*4 819 004	837	0.0346
Praia do Magoito	28/12/2011	16 991 536	337	0.5440
	16/01/2012	19 705 902	277	0.0601
Praia de Paredes da Vitória	30/12/2011	14 018 621	148	0.0822
Praia de São João	29/03/2012	8 707 642	478	0.0457
*Nota	Na praia dos Coxos, na campanha de 5 de Julho 2012, o 2º levantamento corresponde a uma área reduzida à volta da estrada de acesso à praia.			

Tabela 4 – Características das nuvens de pontos iniciais.



Figura 12 – Nuvem de pontos e intensidade. Levantamento de Dezembro 2011 da praia dos Coxos (areal e arriba), aplicação QTM.



Figura 13 - Nuvem de pontos e intensidade. Levantamentos de Dezembro 2011 e Janeiro 2012 da praia do Magoito (areal e arriba), aplicação QTM.



Figura 14 - Nuvem de pontos e intensidade. Levantamento de Dezembro 2011 da praia de Paredes da Vitória (areal e arriba), aplicação QTM.



Figura 15 - Nuvem de pontos e intensidade. Levantamento de Março 2012 da praia de São João (esporão do limite sul), aplicação QTM.

Dada a discrepância na quantidade de dados entre as nuvens de pontos para um mesmo local de estudo e a morosidade que advém em processar grandes quantidades de dados, nestes casos, ao mesmo tempo que se fez a importação dos ficheiros LAS procedeu-se à redução do número de pontos através da ferramenta *Decimation/Crop Options*, da aplicação QTM (**Figura 16**).

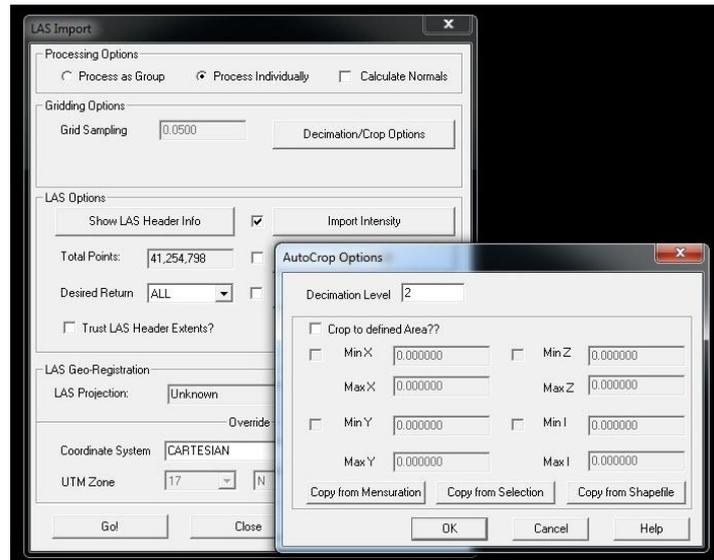


Figura 16 – Aplicação QTM, Menu Import Model, LAS Import, Autocrop Options.

Além da redução do número de medições da nuvem de pontos também se restringiu a área de estudo para os dados da praia dos Coxos e do Magoito. Com os dados iniciais das restantes campanhas não foi necessário efectuar alterações quer por serem de menor dimensão, quer por não se ter efectuado estudos comparativos e ser irrelevante restringir a área.

Apresenta-se de seguida a área de estudo para cada praia e a localização das estações LS. Também, descrevem-se as acções realizadas aos dados de levantamento da praia dos Coxos e do Magoito.

Praia dos Coxos

Nesta praia a cobertura integral do areal foi conseguida com o estacionamento do LS num único local, no cimo da estrada de acesso à praia, (**Figura 17**). Este ponto (a uma cota de 18m) funciona como um miradouro tendo-se uma boa visão de toda a área.

Operações realizadas

- Redução da densidade da nuvem de pontos: com os dados de Dezembro (41 milhões de pontos), seleccionou-se a opção de redução de pontos e para factor de redução (*Decimation level*⁹) escolheu-se o valor 2 de forma a gerar-se uma nova nuvem com cerca de 20 milhões de pontos.

- Redução da área de estudo: cortaram-se¹⁰ as três nuvens de pontos de modo a reter apenas a área comum e a excluir pontos fora da área de estudo (**Figura 17**). Excluiu-se desta operação a nuvem de pontos, de área reduzida, de Julho de 2012.



Figura 17 – Praia dos Coxos. Localização da área de estudo e das estações LS. Não se vêem as três estações LS por serem quase coincidentes.

Praia do Magoito

Para a cobertura de parte do areal e arriba da praia do Magoito foi necessário mais do que um local de estacionamento do LS (**Figura 18**):

- Em Dezembro foram efectuados 3 estacionamentos. O local da primeira estação, E1, revelou-se pouco adequado por ser muito elevado e distante da área a investigar, obrigando a ângulos de emissão do impulso laser muito baixos, pelo que não se obtiveram ecos em parte da área do areal inicialmente definida. Nos locais E2 e E3 obtiveram-se bons resultados não tendo sido contudo possível incluir parte do vale da linha de água que atravessa esta praia por ficar fora do campo de visão.

⁹ *Decimation level* - Especifica um intervalo de amostragem para os dados a importar. No caso presente, com o valor 2, o *software* constrói uma nova nuvem de pontos escolhendo o 2º ponto a cada 2 do conjunto inicial de dados.

¹⁰ QTM - Menu Select Polygon Z / Crop to Selection.

- Em Janeiro abandonaram-se os três locais definidos em Dezembro para as estações LS: E1 pelas razões acima referidas, E2 devido à subida de maré e E3 por ser também um ponto muito alto e distante de grande parte da área sob investigação. Pelo que seleccionaram-se dois novos lugares para o estacionamento do LS. Estes revelaram-se adequados para levantar grande parte do areal e o vale adjacente, não tendo sido possível abranger a arriba de praia e os depósitos de sopé por ficarem fora do campo de visão (tal como o foi em Dezembro a partir da estação E2).

O somatório de todos os levantamentos materializa-se na junção de todas as nuvens de pontos, ilustradas na **Figura 13** e no **Anexo A**.

Operações realizadas

- Redução da área de estudo: cortaram-se⁸ as duas nuvens de pontos por um polígono de área mais limitada de forma a reter fundamentalmente a área comum de areal (**Figura 18**).



Figura 18 – Praia do Magoito. Localização da área de estudo e das estações LS.

Praia de Paredes da Vitória

Na praia de Paredes da Vitória realizaram-se 3 estações LS no areal de praia conforme se observa na **Figura 19**.



Figura 19 - Praia de Paredes da Vitória. Localização da área de estudo e das estações LS.

Praia de São João

Nesta praia procurou-se cartografar a área adjacente ao esporão do limite sul, pelo que apenas foi necessário uma estação LS, situada em cima do esporão (Figura 20).



Figura 20 - Praia de São João. Localização da área de estudo e da estação LS.

Após as operações acima mencionadas, aos dados da praia dos Coxos e do Magoito, obtiveram-se novas nuvens de pontos cujos atributos se resumem na **Tabela 5**. Incluíram-se também, nesta tabela, os dados referentes às restantes campanhas e que não sofreram alterações.

NUVENS DE PONTOS PARA ANÁLISE				
Local	Data do Levantamento	(Nº de pontos)	Densidade (média de pontos por m ²)	Distância média entre pontos (m)
Praia dos Coxos	7/12/2011	14 960 000	810	0.035
	29/12/2011	20 074 760	954	0.032
	5/07/2012	6 905 410	357	0.053
		4 819 004	837	0.035
Praia do Magoito	28/12/2011	6 749 051	264	0.062
	16/01/2012	10 309 997	492	0.045
Praia de Paredes da Vitória	30/12/2011	14 018 621	148	0.0822
Praia de São João	29/03/2012	8 707 642	478	0.0457

Tabela 5 – Características das nuvens de pontos para análise. Em cinzento, dados iniciais que não sofreram alterações.

GERAÇÃO DE MODELOS DE SUPERFÍCIE

Os modelos de superfície (formato qtt) foram gerados a partir das nuvens de pontos (formato qtc) e do menu *Convert Model* (**Figura 21**). Neste menu, na opção *Gridding Options* escolheu-se o método de interpolação e o algoritmo. Na **Tabela 6** indicam-se as opções disponíveis.

APLICAÇÃO QTM	
Métodos de Interpolação	<i>No Fill</i>
	<i>Simple interpolation</i>
	<i>Adaptive Triangulation</i>
	<i>Legacy Triangulation</i>
Algoritmos	<i>Minimum Z</i>
	<i>Maximum Z</i>
	<i>Mean Z</i>
	<i>Maximum Intensity</i>

Tabela 6 – Aplicação QTM, métodos de interpolação e algoritmos disponíveis.

O método *Legacy Triangulation* é o menos rigoroso e está em desuso, pelo que não se vai descrever. O método *Adaptive Triangulation* compreende as 4 etapas a seguir descritas e os métodos *Simple Interpolation* e *No Fill* integram apenas as etapas (1, 2, 3) e (1, 2) respectivamente.

Etapas de interpolação:

1. É criada uma rede para a área a modelar, cujo tamanho das células (*Grid Sampling*) é definido pelo operador ou pelo *software* que estima um valor com base no número de pontos por unidade de área.
2. É atribuído um valor de elevação a cada célula que é resultante do algoritmo previamente seleccionado; é atribuído o valor nulo onde não existe informação;
3. Segue-se o método de interpolação simples (*Simple Interpolation*), em que é atribuído a cada célula vazia um valor de elevação interpolado com base nos valores de 8 vizinhos (de acordo com o algoritmo seleccionado). Os valores assim interpolados necessitam de um mínimo de 5 vizinhos válidos (valores reais, não interpolados), caso contrário a célula fica com valor nulo.
4. Segue-se o método de *Adaptive Triangulation* que visa apenas preencher as células ainda vazias. Através de triangulação (que cumpre o critério de *Delaunay*¹¹), é interpolado o valor de elevação da superfície do triângulo em cada célula da rede. Este valor torna-se então o valor de elevação para cada célula vazia.

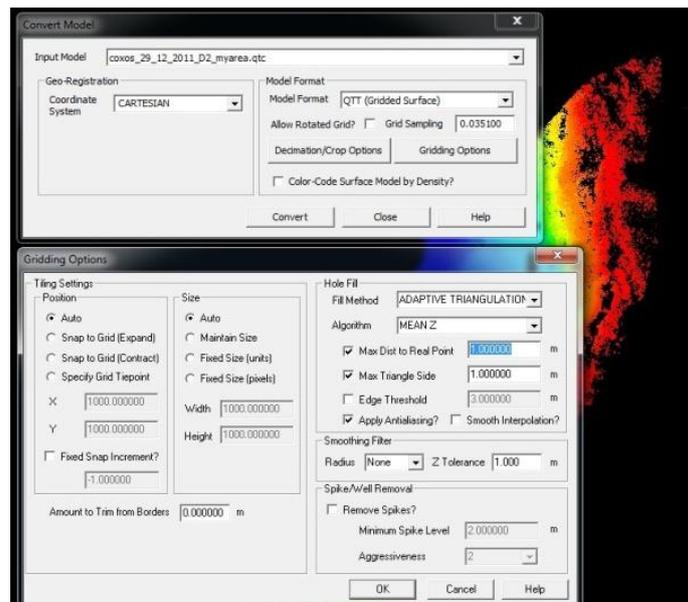


Figura 21 – Aplicação QTM, Menu *Convert Model*, *Gridding Options*.

¹¹ O Critério de *Delaunay* é utilizado na geração de redes TIN e estipula que para cada triângulo criado, o círculo que passa através dos vértices não engloba outros pontos, produzindo-se deste modo triângulos tão pequenos e equiláteros quanto possível (Piteri *et al.*, 2007).

Opção *Anti-aliasing (default)*, esta função “subdivide” cada célula em 16 segmentos e regista qual o segmento que contém o ponto utilizado para representar o valor de elevação final da célula. Quando a triangulação é efectuada, essa localização é utilizada para o posicionamento dos vértices contribuindo para o rigor da mesma e consequentemente da interpolação.

No presente trabalho, o critério seguido na definição do tamanho de célula (*grid sampling*) para a geração dos MDS foi o seguinte: utilizou-se o valor pré-definido pelo *software (default)* e que é igual à distância média entre pontos. Contudo, para os MDS a comparar entre si usou-se o mesmo valor para os dois modelos, escolhendo-se entre eles aquele cujo valor é mais elevado.

Os modelos de superfície gerados com a aplicação QTM, no decurso da análise dos dados, foram exportados para o formato GEOTIFF DEM e analisados com a aplicação *ArcGIS 10*.

SÍNTESE DO TRATAMENTO DE DADOS

A análise efectuada aos dados e a seguir apresentada compreendeu as seguintes etapas:

- ✓ Aferição do rigor da metodologia, através da comparação de dados obtidos, na mesma data, com o LS e com o GPS-RTK.
- ✓ Avaliação do erro teórico associado ao aparelho e do erro de posicionamento associado ao método de georreferenciação. Reprodutibilidade do método.
- ✓ Avaliação da microtopografia do areal de praia.
- ✓ Avaliação de alcance do LS e determinação de resolução.
- ✓ Avaliação da evolução morfológica através da realização de perfis topográficos e de curvas de nível. Cálculo de volumetrias para estimativa do balanço sedimentar.

6. ANÁLISE DE DADOS

6.1. COMPARAÇÃO ENTRE DADOS COM O LASER SCANNER E GPS-RTK

Uma vez que o Departamento de Geologia da FCUL tem vindo a desenvolver estudos de morfodinâmica costeira, nomeadamente nos locais de investigação deste trabalho, através de levantamentos com GPS-RTK, efectuou-se uma comparação entre os dados obtidos com esta tecnologia e com o LS como primeira abordagem ao rigor da metodologia.

Nesse sentido, com os dados topográficos, do LS e de GPS-RTK ambos referentes à campanha de Dezembro na praia dos Coxos, realizaram-se um total de cinco perfis transversais e longitudinais à praia, como ilustrado na **Figura 22**.



Figura 22 – Localização geral e de pormenor dos pontos adquiridos com recurso ao GPS-RTK e dos perfis topográficos realizados.

Numa primeira fase, com os dados obtidos do LS geraram-se três MDS com diferentes métodos de interpolação (aplicação QTM). Numa segunda fase e uma vez que os dados do levantamento com o GPS são insuficientes para construir também um MDS, compararam-se directamente os pontos (dos perfis), com a cota correspondente dos MDS resultantes das medições LS (aplicação ArcGIS).

A metodologia utilizada no processamento da nuvem de pontos e na geração dos MDS foi ligeiramente diferente da descrita atrás. Isto deve-se ao facto desta análise ter sido realizada num estágio inicial do presente trabalho, pelo que serviu também para aferição de alguns parâmetros adoptados *a posteriori*. Desta forma e para agilizar o processamento dos dados da nuvem de pontos de Dezembro, foi utilizado um factor de redução maior (*Decimation level 5*), gerando-se uma nova nuvem com cerca de 8 milhões de pontos (**Tabela 7**). De seguida, individualizou-se uma área mais pequena mas que abrangesse o local dos pontos GPS (**Figura 23**) sobre a qual se geraram três MDS de acordo com os métodos seguintes de interpolação:

1. *Adaptive Triangulation (AT)*;
2. *Simple Interpolation (SI)*;
3. *No Fill (NF)*.

O algoritmo seleccionado para os três modelos foi a média (*Mean Z*), com vista a minimizarem-se eventuais erros de medição. A utilização dos três métodos de interpolação permitiu também comparar os modelos resultantes. Nesta fase não foi definido limite máximo para a triangulação (tamanho máximo para o lado do triângulo e distância máxima a um ponto real), tendo sido toda a área interpolada.

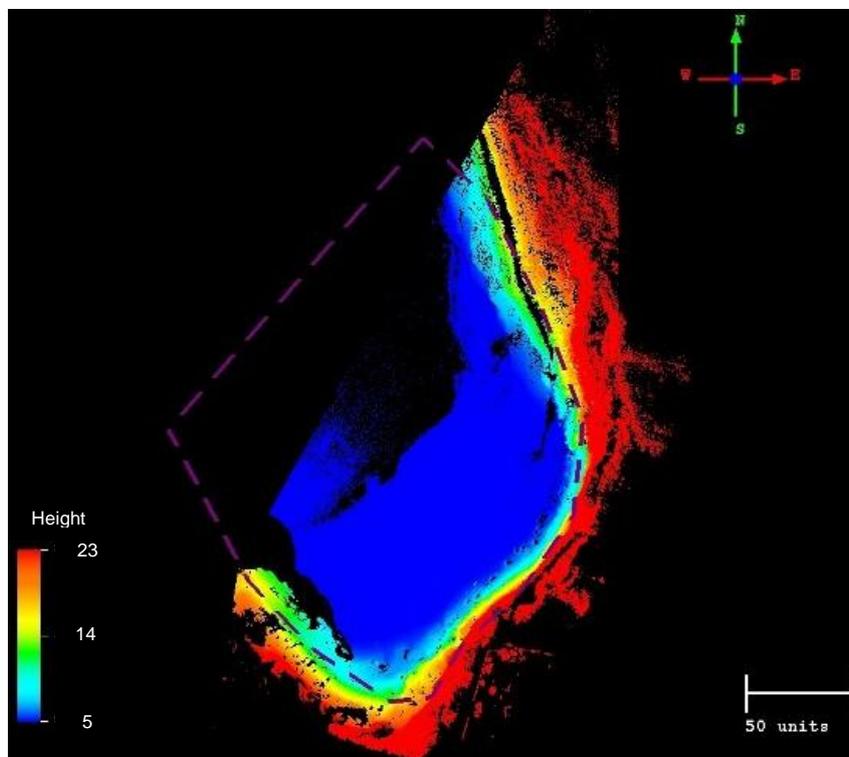


Figura 23 – Nuvem de pontos da praia dos Coxos. O tracejado roxo delimita a área sobre a qual se construiu os MDS.

NUVEM DE PONTOS PARA ANÁLISE				
Data	Procedimento	Nº de pontos	Densidade (pontos por m ²)	Distância média entre pontos (m)
29/12/2011	<i>Decimation level 5</i>	8 247 122	270	0.0609
	<i>Crop</i>	4 482 887	241	0.0645

Tabela 7 – Procedimentos efectuados na nuvem de pontos de Dezembro da praia dos Coxos.

Com a aplicação *ArcGIS*¹² e a partir das superfícies modeladas (dados LS), extraíram-se directamente os valores cota coincidentes com os pontos GPS. De seguida, construíram-se os gráficos comparativos das medições topográficas efectuadas com o LS e com o GPS. Estes procedimentos foram realizados para os três modelos de superfície LS. Os resultados obtidos apresentam-se abaixo (**Figura 24 a Figura 38; Tabela 8 a Tabela 14**).

Comparação GPS / LS (MDS AT)

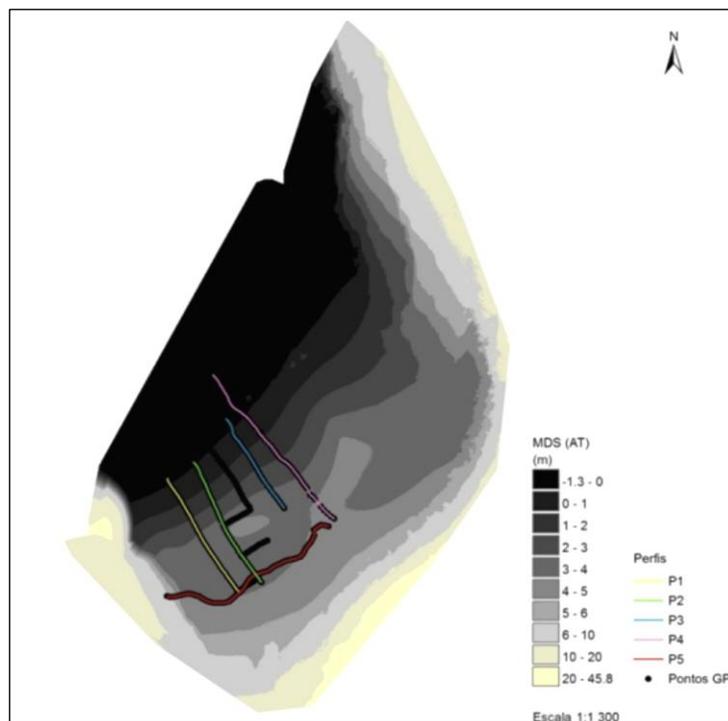


Figura 24 – MDS (AT) gerado com dados LS; localização dos perfis e dos pontos GPS.

¹² ArcGIS, Spatial Analyst Tools / Extraction / Extract values to points.

Na **Tabela 8** apresenta-se o número de pontos GPS presentes em cada perfil e nas figuras a seguir os gráficos correspondentes aos perfis acima ilustrados (**Figura 25 a Figura 29**).

PERFIS	Nº DE PONTOS
P1	41
P2	44
P3	31
P4	50
P5	58
Total	224

Tabela 8 – Número de pontos GPS coincidentes com o MDS (AT) em cada perfil.

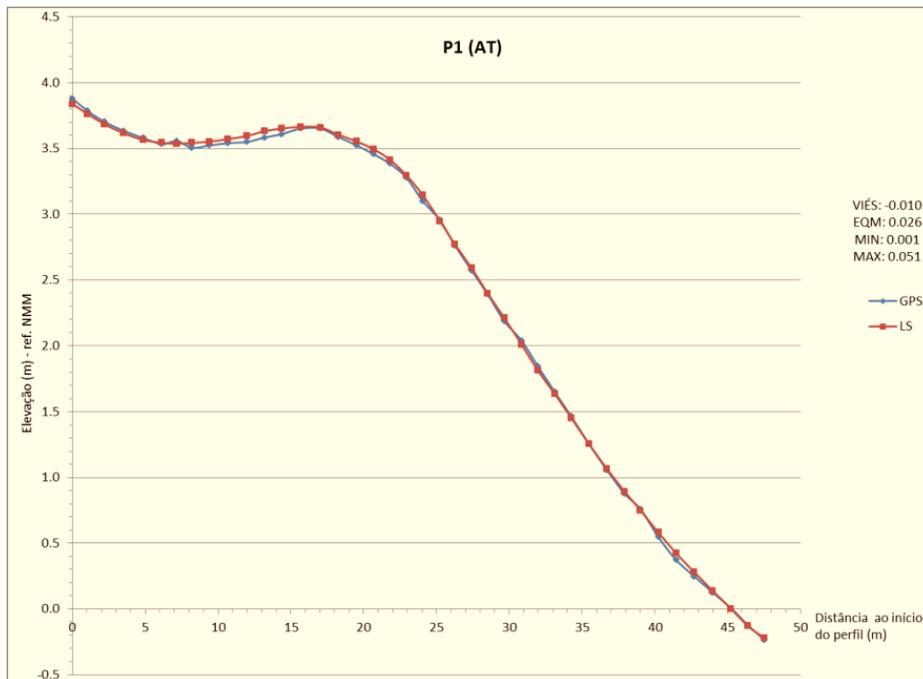


Figura 25 – Perfil 1 e estatísticas relativas às diferenças de elevação entre os métodos: GPS e LS (dados extraídos dum MDS_AT).

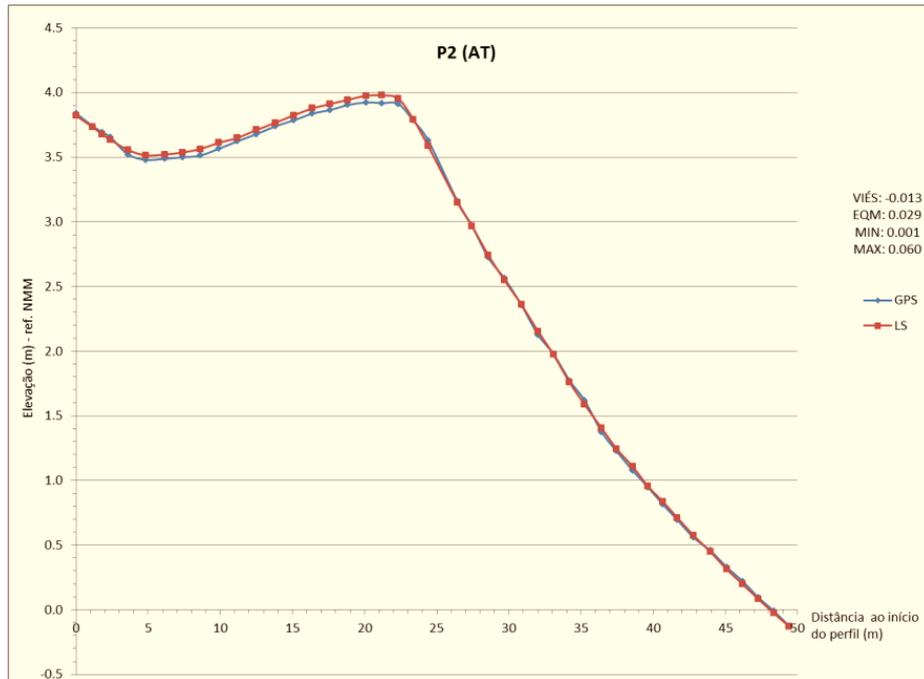


Figura 26 – Perfil 2 e estatísticas relativas às diferenças de elevação entre métodos: GPS e LS (dados extraídos dum MDS_AT).

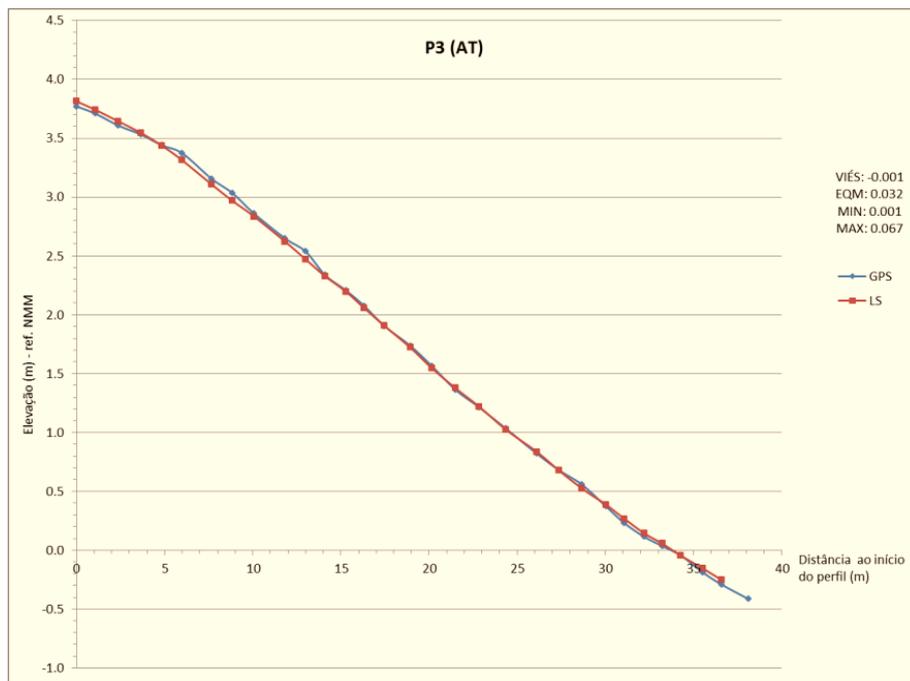


Figura 27 – Perfil 3 e estatísticas relativas às diferenças de elevação entre os métodos: GPS e LS (dados extraídos dum MDS_AT).

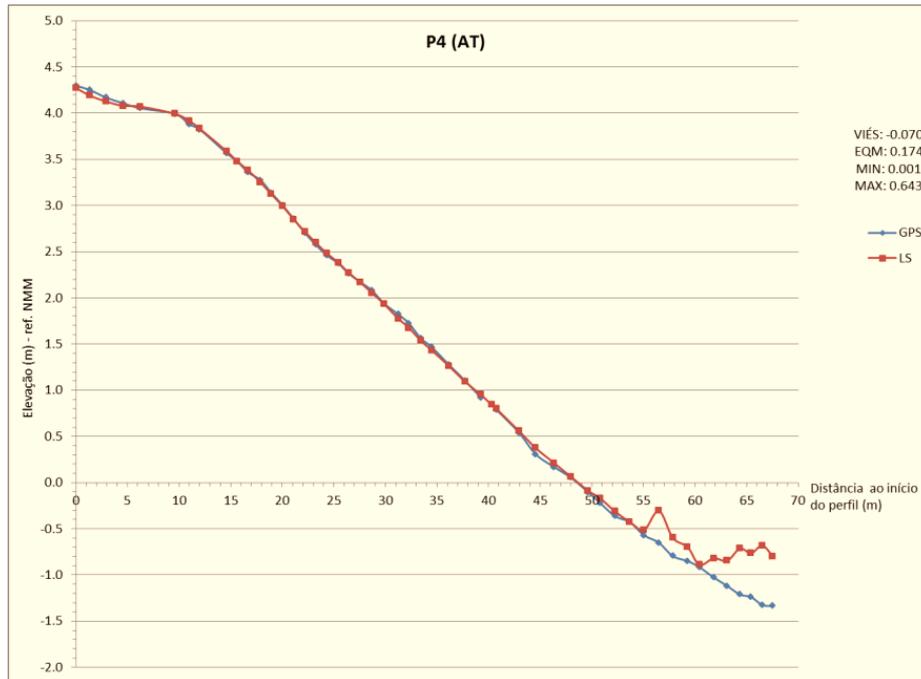


Figura 28 – Perfil 4 e estatísticas relativas às diferenças de elevação entre os métodos: GPS e LS (dados extraídos dum MDS_AT).

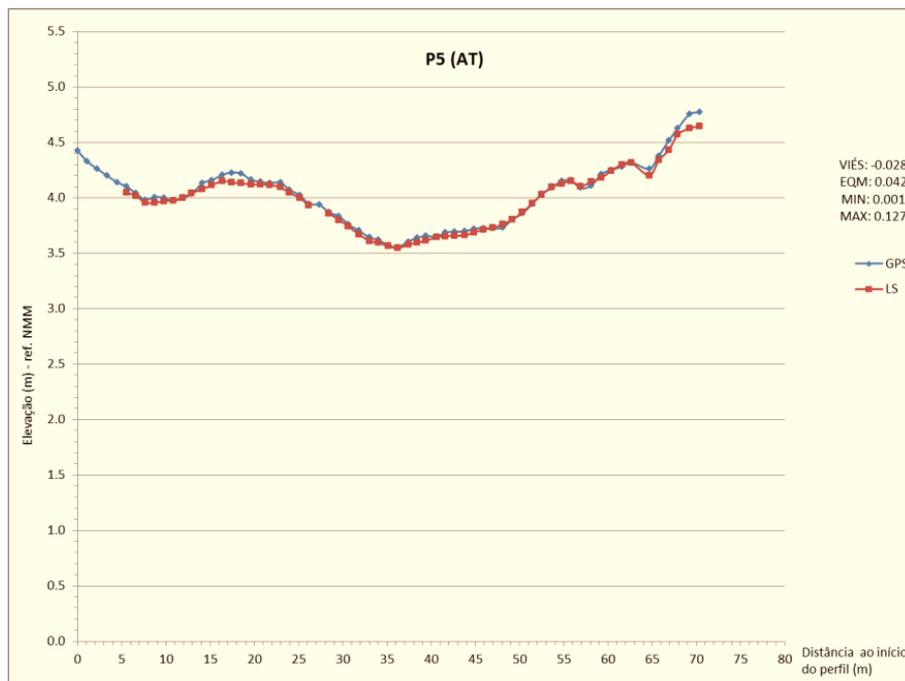


Figura 29 – Perfil 5 e estatísticas relativas às diferenças de elevação entre métodos: GPS e LS (dados extraídos dum MDS_AT).

No geral, existe uma elevada correspondência entre as medições topográficas realizadas pelos dois métodos, observando-se ao longo dos perfis por vezes um ligeiro desfasamento que, em regra, está abaixo dos 10 cm com excepção de dois troços nos perfis P4 e P5:

- ✓ P4 – No troço final (a partir dos 55m), observa-se que as medições topográficas diferem muito entre os dois métodos (64cm), verificando-se uma irregularidade nas medições efectuadas com o laser scanner. Este resultado associa-se ao facto do impulso laser ser reflectido pela superfície da água, que tinha sido atingida no troço final do perfil (cotas abaixo do NMM).
- ✓ P5 – Na parte final do perfil verifica-se haver uma discrepância, de cerca de 13 cm, entre as medições com os dois métodos, sendo as cotas superiores nos dados obtidos com o GPS.

Nota: No início deste perfil foram excluídas as cotas LS extraídas do MDS para os primeiros 4 m, devido a exibirem valores muito anómalos. Esta situação deveu-se ao facto de na geração destes modelos não ter sido definido um limite máximo para a triangulação¹³ e neste local, devido ao efeito de sombra da arriba, as medições LS distarem mais de 5m entre si (**Figura 23**), pelo que a interpolação foi muito exagerada.

Para se avaliar com maior detalhe as diferenças de elevação entre os dois métodos, construiu-se um novo gráfico apresentado abaixo (**Figura 30**).

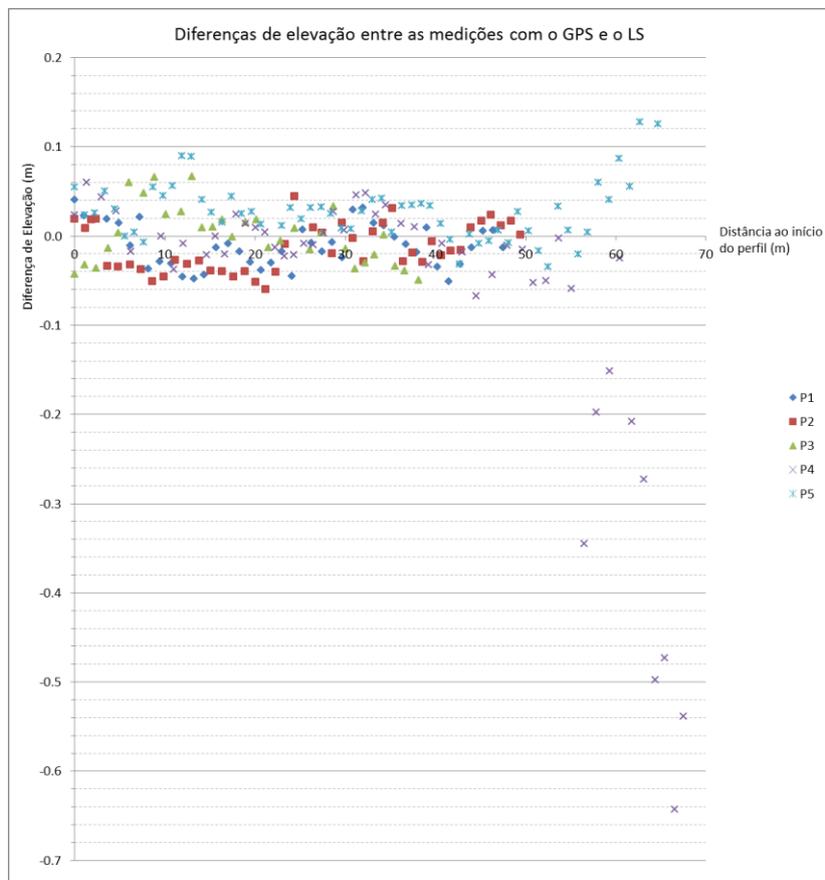


Figura 30 – Diferenças de elevação entre as medições com o GPS e o LS (MDS_AT).

¹³ Limite para o tamanho máximo do lado do triângulo e para a distância máxima a um ponto real.

Considerando-se os valores das diferenças de elevação entre os métodos, para todos os perfis, calcularam-se alguns parâmetros estatísticos que se apresentam a seguir (Tabela 9) e estimou-se a frequência por classes de elevação (Tabela 10).

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	MEDIÇÕES	MEDIÇÕES SEM O TROÇO FINAL P4
Viés (Eq. 2)	-0.013	0.003
Erro quadrático médio (EQM) (Eq. 3)	0.087	0.033
Intervalo*	0.642	0.127
Mínimo*	0.001	0.001
Máximo*	0.643	0.127
Contagem	224	213

Tabela 9 – Parâmetros estatísticos. *Cálculos com base em valores absolutos.

$$Viés = \sum (Xa - Xb) / n$$

Eq. 2

$$EQM = \sqrt{\sum (Xa - Xb)^2 / n}$$

Eq. 3

$X_{a,(b)}$ = cota de cada uma das n medições do conjunto de dados a (b).

CLASSE DE ELEVÇÃO (m)	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)	FREQUÊNCIA RELATIVA ACUMULADA (%)
0 – 0.005	192	85.71	85.71
0.005 – 0.07	18	8.04	93.75
0.7 – 0.1	3	1.34	95.09
0.1 – 0.15	2	0.89	95.98
0.15 - 0.2	2	0.89	96.88
>0.02	7	3.13	100.00
Total	224	100	-

Tabela 10 - Tabela de frequências. Cálculos com base em valores absolutos.

Verifica-se existir elevada correspondência entre os dois métodos quando não se consideram os valores discrepantes da base do perfil P4. O viés é de 0.003 m e a dispersão de valores apresenta um EQM de 0.03 m. Considerando-se todos os valores, 95 % das diferenças estão abaixo de 0.1m dos quais, 94 % são inferiores a 0.07 m e 86 % inferiores a 0.05 m. Conclui-se que, no que diz respeito ao levantamento do areal, os métodos são equiparáveis (exceptuando-se obviamente na secção inferior da face de praia que é afectada pela agitação marinha).

Comparação GPS / LS (MDS SI)

Comparam-se de seguida os dados obtidos com o GPS e com os dados LS, mas com o modelo de superfície LS derivado a partir do método de interpolação SI (**Figura 31**).

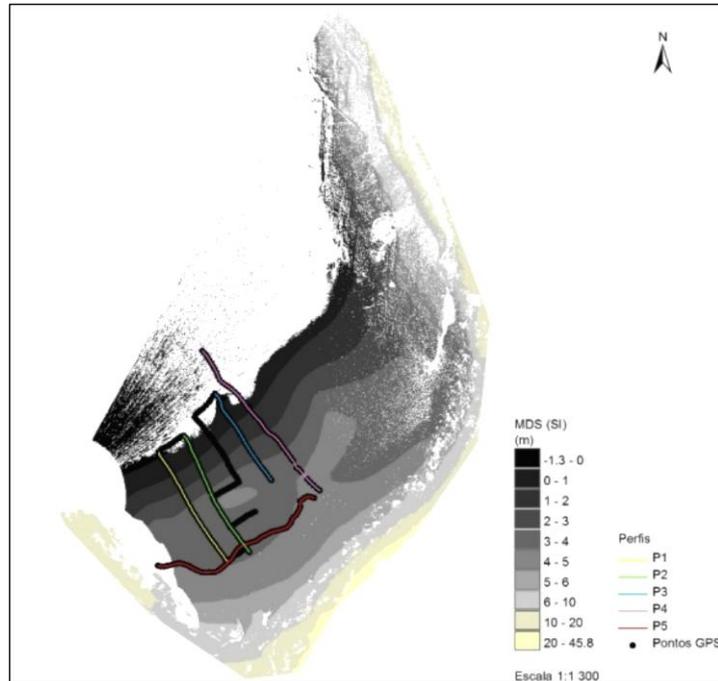


Figura 31 – MDS (SI) gerado com dados LS; localização dos perfis e dos pontos GPS.

Na **Tabela 11** apresenta-se o número de pontos GPS coincidentes com o MDS em cada perfil e a seguir os gráficos correspondentes aos perfis acima ilustrados (**Figura 32 a Figura 36**).

PERFIS	Nº DE PONTOS
P1	40
P2	41
P3	30
P4	33
P5	57
Total	201

Tabela 11 – Número de pontos GPS coincidentes com o MDS (SI) em cada perfil.

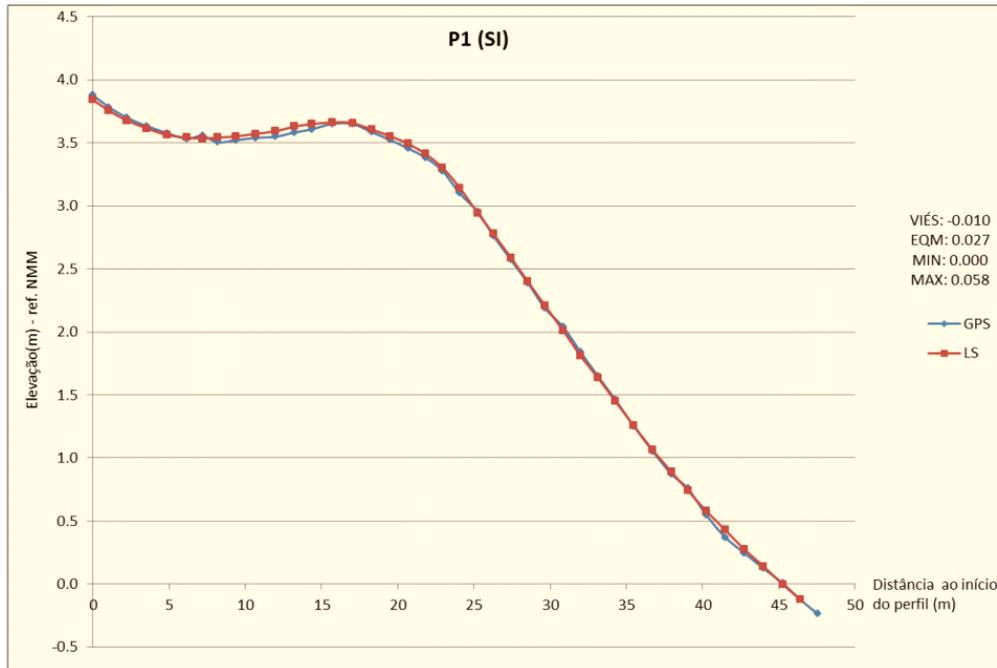


Figura 32 – Perfil 1 e estatísticas relativas às diferenças de elevação entre os métodos: GPS e LS (dados extraídos dum MDS_SI).

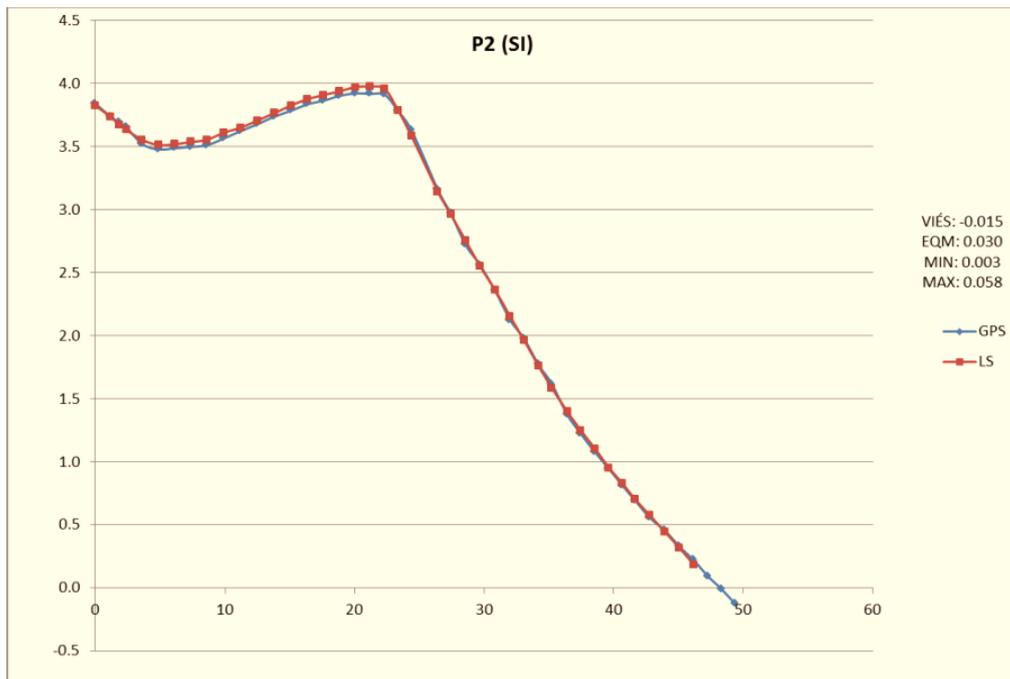


Figura 33 – Perfil 2 e estatísticas relativas às diferenças de elevação entre os métodos: GPS e LS (dados extraídos dum MDS_SI).

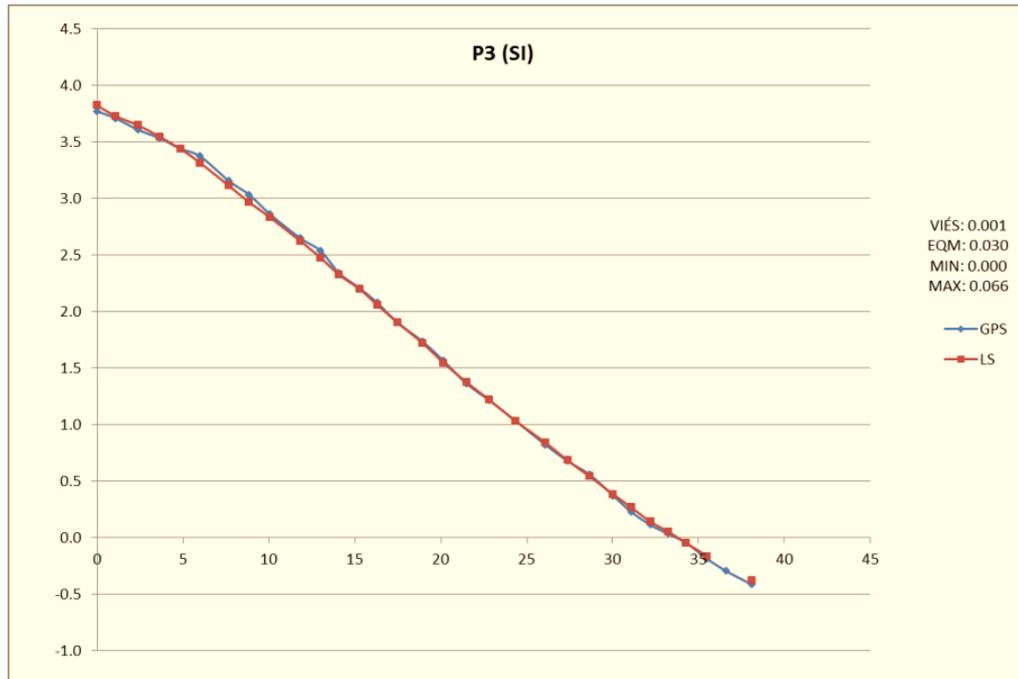


Figura 34 – Perfil 3 e estatísticas relativas às diferenças de elevação entre os métodos: GPS e LS (dados extraídos dum MDS_SI).

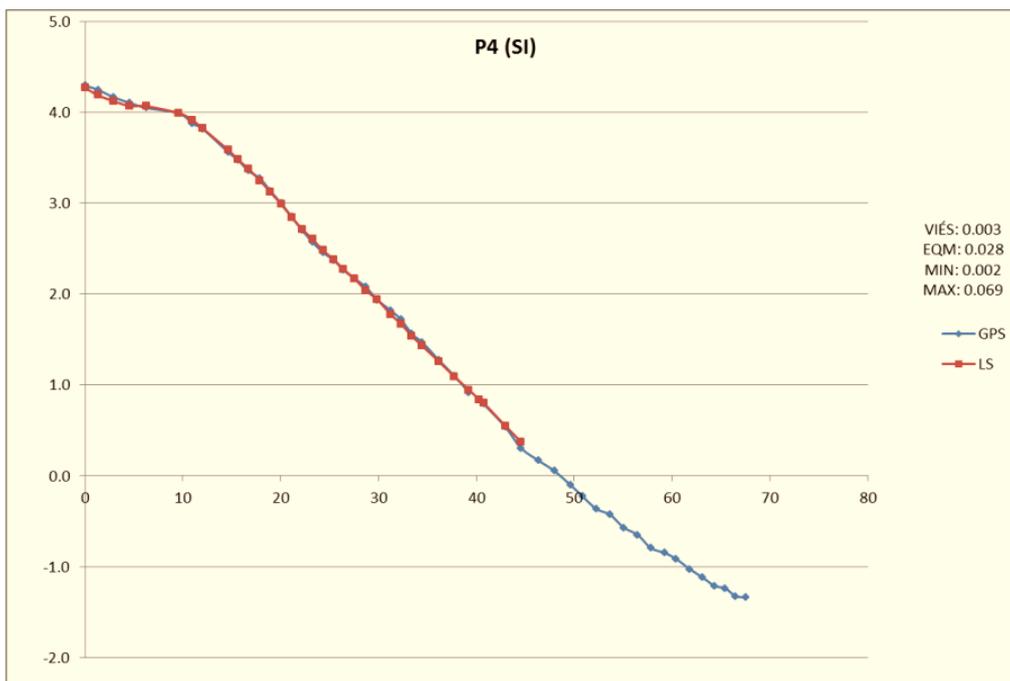


Figura 35 – Perfil 4 e estatísticas relativas às diferenças de elevação entre os métodos: GPS e LS (dados extraídos dum MDS_SI).

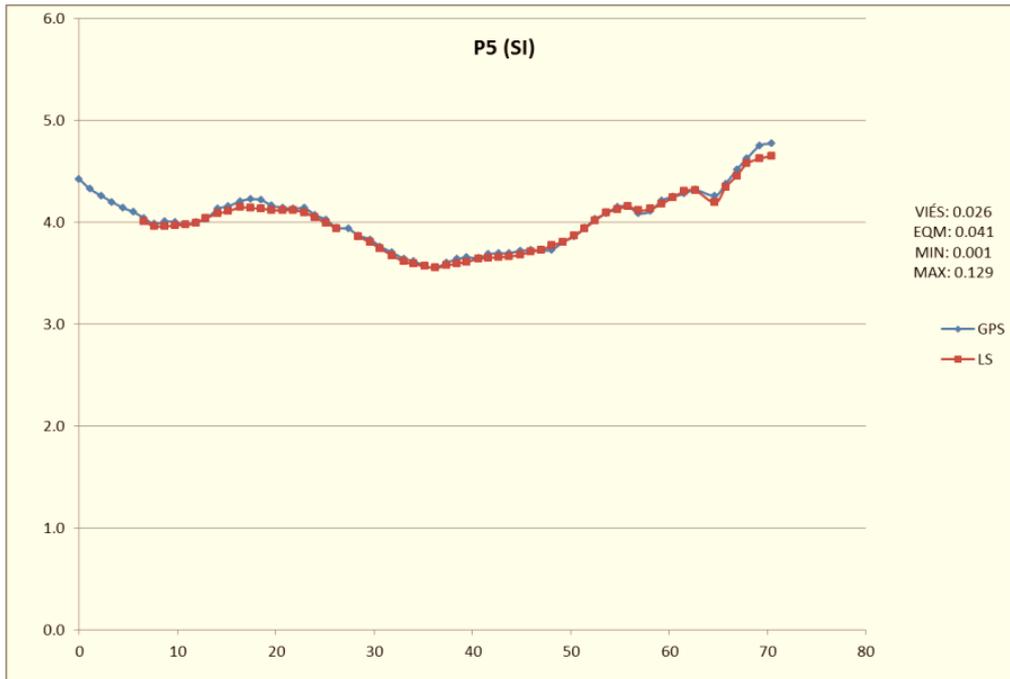


Figura 36 – Perfil 5 e estatísticas relativas às diferenças de elevação entre os métodos: GPS e LS (dados extraídos dum MDS_SI).

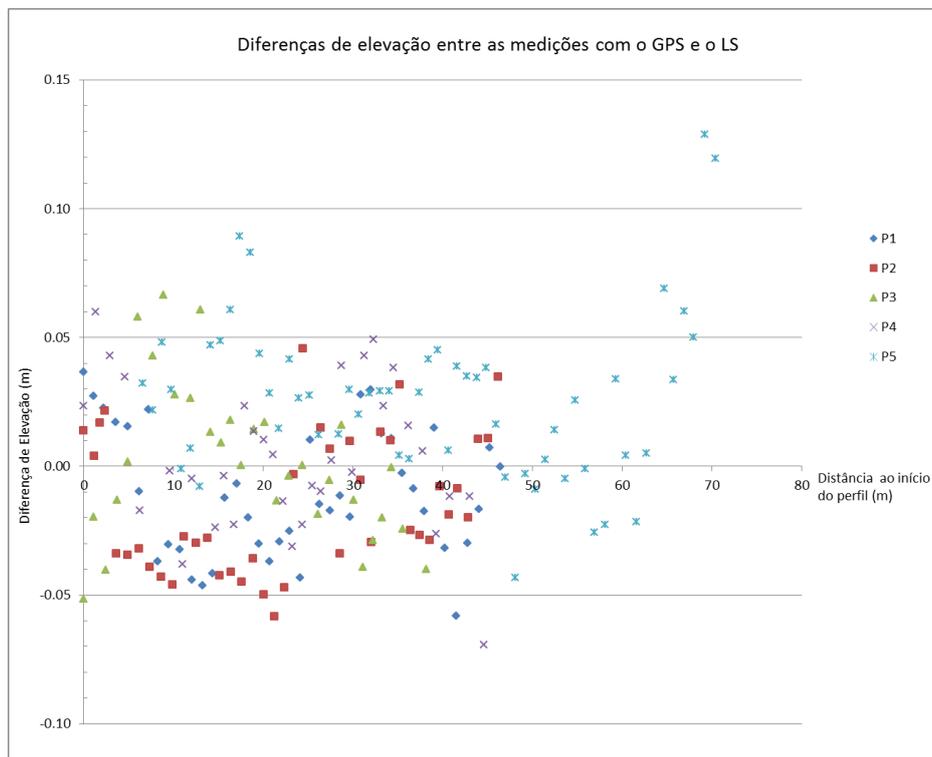


Figura 37 – Diferenças de elevação entre as medições com o GPS e o LS (MDS_SI).

Da mesma forma que acima e considerando-se os valores das diferenças de elevação (Figura 37), calcularam-se alguns parâmetros estatísticos (Tabela 12) e agruparam-se os valores por classes de elevação (Tabela 13).

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	
Viés	0.003
Erro quadrático médio (EQM)	0.033
Intervalo*	0.129
Mínimo*	0.000
Máximo*	0.129
Contagem	201

Tabela 12 – Parâmetros estatísticos.

*parâmetros calculados com base em valores absolutos.

CLASSE DE ELEVÇÃO (m)	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)	FREQUÊNCIA RELATIVA ACUMULADA (%)
0 – 0.005	185	92.04	92.04
0.005 – 0.07	12	5.97	98.01
0.07 – 0.1	2	1.00	99.00
0.1 – 0.15	2	1.00	100.00
Total	201	100	-

Tabela 13 – Tabela de frequências. Cálculos com base em valores absolutos.

Verifica-se, tal como anteriormente, uma elevada correspondência nas cotas obtidas pelos dois métodos, observando-se os mesmos valores de enviesamento e erro quadrático médio alcançados nos resultados anteriores (sem os anómalos de P4). Verifica-se ainda que 98 % apresentam diferenças de cota inferiores a 0.07 m dos quais 92 % são menores que 0.05 m.

Nesta análise, não tendo sido efectuada triangulação, a área interpolada diminuiu muito e não há correspondência entre os pontos GPS e as medições LS no troço final do P4. Na comparação efectuada anteriormente foram estes os valores onde se registaram as discrepâncias mais elevadas e que afectaram o cálculo do erro quadrático médio.

Comparação GPS / LS (MDS NF)

Por último, comparam-se os dados obtidos com o GPS e com o LS tendo o MDS sido gerado com o método de interpolação NF (**Figura 38**).

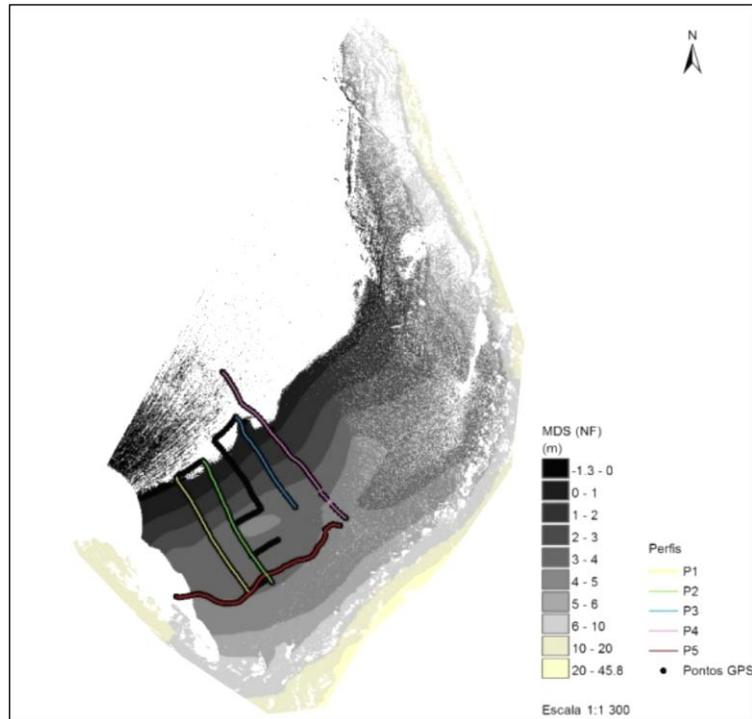


Figura 38 – MDS (NF) gerado com dados LS; localização dos perfis e dos pontos GPS.

PERFIS	Nº DE PONTOS
P1	40
P2	41
P3	30
P4	33
P5	57
Total	201

Tabela 14 – Número de pontos GPS coincidentes com o MDS (NF) em cada perfil.

Na comparação dos dados GPS com os dados LS através do MDS gerado com o método de interpolação *No Fill*, verificou-se não existirem diferenças relativamente aos resultados obtidos através do MDS gerado com o método *Simple Interpolation* (Tabela 14), pelo que não se apresentam novos gráficos. Esta coincidência deve-se ao facto de nesta área em particular (dos perfis), existir uma enorme densidade de pontos LS pelo que a interpolação da superfície, com o método SI, foi muito diminuta não coincidindo nenhum *pixel*, de valor interpolado, com um ponto GPS e consequentemente não existirem diferenças entre os perfis construídos com os dados extraídos dos dois modelos (SI e NF).

Uma vez que com o LS, na secção inferior da face de praia, se obteve um conjunto de dados discrepantes optou-se por se realizar uma análise mais detalhada dos resultados nesta área.

Secção Inferior da Face de Praia (Zona de Rebentação)

Para se averiguar os dados obtidos com o LS na secção inferior da face de praia realizaram-se dois perfis topográficos com base no MDS NF (de Dezembro), **Figura 39** e que se apresentam na **Figura 40** e **Figura 41**.

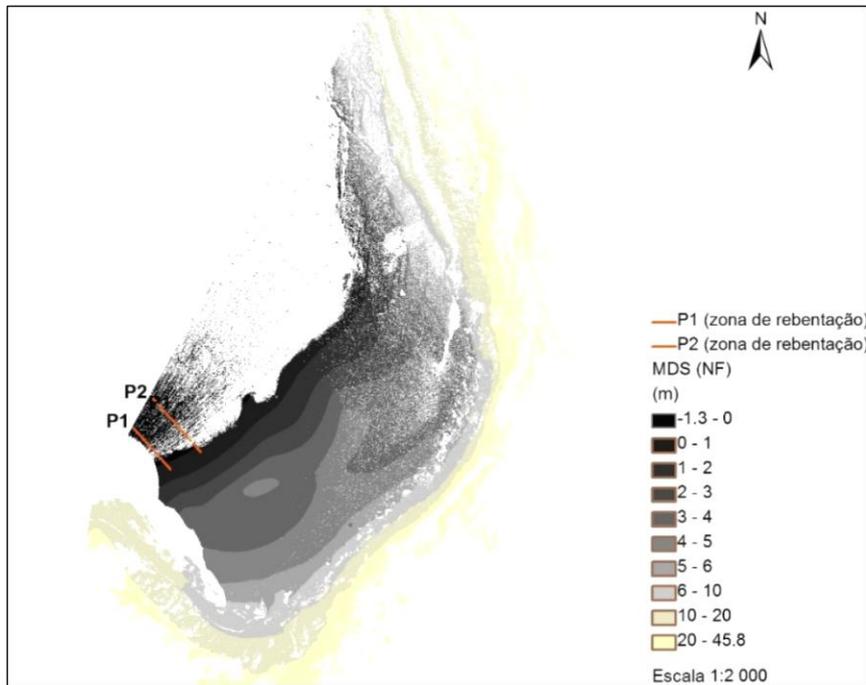


Figura 39 – Localização dos perfis P1 e P2 na secção inferior da face de praia sobre o MDS NF de Dezembro 2011.

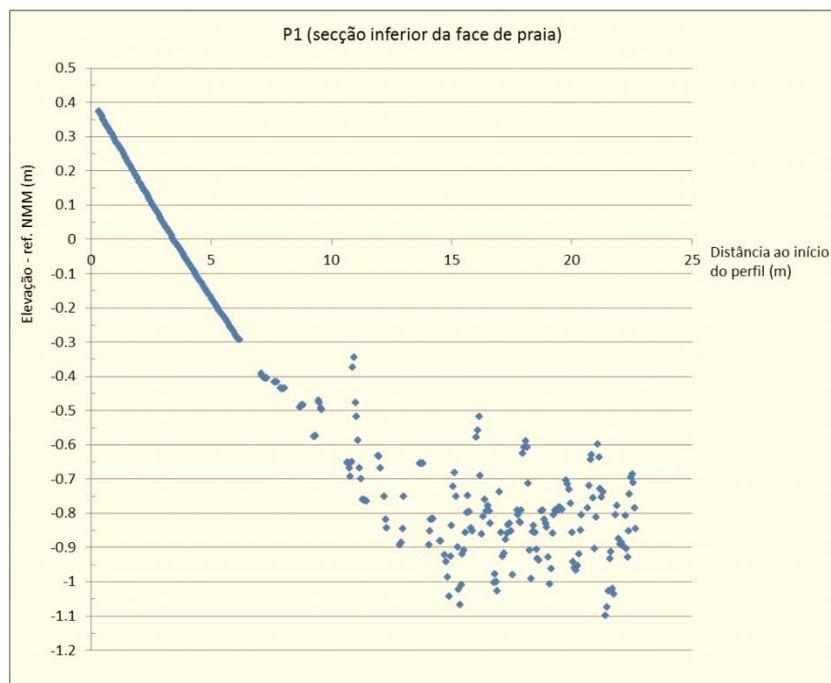


Figura 40 – Perfil P1 da secção inferior da face de praia. Valores LS extraídos do MDS NF de Dezembro 2011.

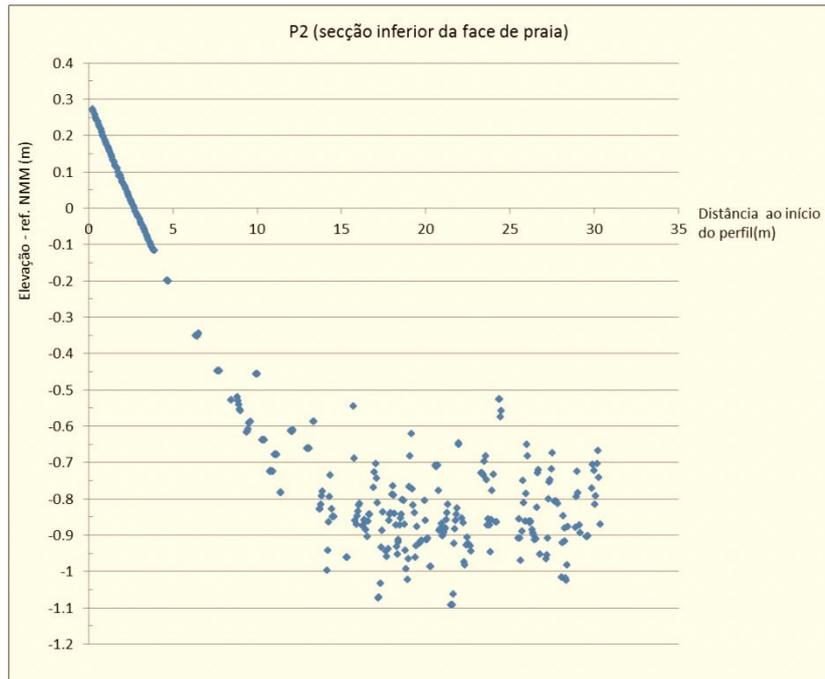


Figura 41 - Perfil P2 da secção inferior da face de praia. Valores LS extraídos do MDS NF de Dezembro 2011.

Nesta secção, interpretaram-se os resultados obtidos como consequência da reflexão do sinal laser na superfície livre do mar provavelmente favorecida pela incidência normal do feixe e pela turbulência associada à rebentação das ondas (uma vez que em condições típicas a água absorve completamente o sinal, **Figura 5**). Admitindo-se esta hipótese como verdadeira e considerando-se as medições a partir dos 10 m, estimou-se a altura significativa das ondas,¹⁴ a partir do desvio padrão do sinal ($H_s = 4s$) (Kamphuis, 2000), em 53 e 49 cm nos perfis P1 e P2 respectivamente.

¹⁴ Altura significativa das ondas (H_s) - Média da terça parte das ondas com maior altura registadas durante o tempo considerado. (in Glossário das Zonas Costeiras <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/alturasignifonda.html>).

SÍNTESE DE RESULTADOS

Considerando-se os três métodos de interpolação de superfície para os dados LS (*Adaptive Triangulation*, *Simple Interpolation* e *No Fill*), conclui-se que as diferenças na medição de elevação no areal de praia entre os dados adquiridos com o GPS e o LS são muito pequenas, podendo afirmar-se que para 95 % dos dados, estas são inferiores a 0.05 m - 0.07 m. Existem contudo excepções relacionadas com a zona de rebentação na face de praia, sendo que neste caso os resultados dos levantamentos não são equiparáveis. Verificou-se que, nesta zona o sinal LS não foi totalmente absorvido (como seria esperado), pelo que foi possível deduzir características da agitação marítima incidente.

No que respeita aos métodos de interpolação da superfície, verificou-se que a maior diferença relaciona-se com a definição da área total interpolada e que é indispensável limitar a distância de triangulação, para que não sejam modeladas zonas com grandes lacunas de dados (e que geralmente correspondem a zonas de sombra) pois originam consequentemente uma má reprodução da superfície.

Para se explicar as maiores discrepâncias encontradas entre os dados GPS e LS, no areal, fez-se também uma comparação espacial entre a distribuição dos pontos GPS nos perfis e a qualidade do sinal obtida (erro de posição de cada ponto). Contudo, verificou-se que esta não está directamente relacionada com tais discrepâncias. Considerando-se a metodologia seguida na medição de pontos com o GPS (o operador caminha pela praia com a antena GPS numa mochila que vai às costas), verifica-se existirem alguns condicionamentos do método, relacionados com o maior ou menor “enterramento” dos pés na areia e com o eventual basculamento da antena na mochila, que afectam o valor de medição da cota. Estes factores podem ser responsáveis pelas maiores diferenças encontradas entre as medições pelos dois métodos na zona superior do areal.

6.2. AVALIAÇÃO DO ERRO

Para a determinação do erro na aquisição dos dados com o LS, utilizaram-se os dados referentes às campanhas na praia dos Coxos.

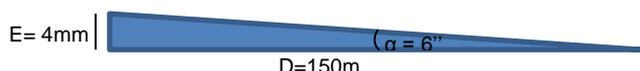
6.2.1. ERRO TEÓRICO DO LASER SCANNER

De acordo com as especificações técnicas (Tabela 2), o erro associado ao aparelho é da ordem milimétrica: 4mm a 150m de distância para um ângulo de 6" (seis segundos). De acordo com a fórmula seguinte (Eq. 4) calcula-se o erro associado ao LS para uma dada distância, num plano ortogonal ao feixe laser.

$$E \text{ (Erro à distância } D) = \text{Tang}(\alpha) * D \quad \text{Eq. 4}$$

α = ângulo

D = distância



Com base na equação acima, estimou-se o erro do LS para várias distâncias e construiu-se o gráfico apresentado na Figura 42. Considerando-se a distância máxima na área analisada (250 m do aparelho até à encosta nordeste, Figura 17) deduz-se um erro máximo de 7 mm. Considerando unicamente o areal, em que a distância máxima ao LS é cerca de 150 m, corresponderá um erro de 4 mm. Considerando-se agora a distância máxima de aquisição de dados do aparelho (330 m), constata-se que o erro associado ao mesmo é aproximadamente 1 cm.

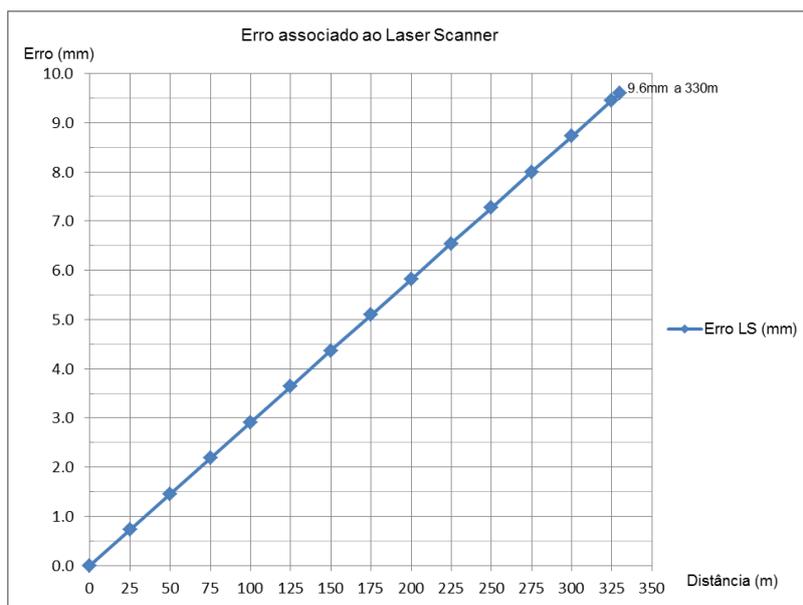


Figura 42 – Gráfico da estimativa do erro teórico do LS para várias distâncias.

6.2.2. ERRO DE POSICIONAMENTO

Para avaliar o erro associado ao método de aquisição dos dados com o LS, escolheu-se uma estrutura fixa inserida na área de estudo e compararam-se os dados topográficos obtidos entre as campanhas de Abril e Dezembro de 2011. A campanha de Julho 2012 foi realizada após esta análise para aferir alguns critérios como se explana mais à frente (6.2.3 REPRODUTIBILIDADE DO MÉTODO).

Nesse sentido, realizaram-se dois perfis topográficos ao longo da estrada de acesso à praia, que se assume não ter sofrido alterações de cota ao longo do tempo de estudo (Figura 43). Os perfis são coincidentes¹⁵ correspondendo cada um a uma campanha e foram extraídos a partir dos MDS, previamente gerados para as duas datas.



Figura 43 – Praia dos Coxos. Localização dos perfis ao longo da estrada (PE) e da estação laser scanner (LS).

Os MDS foram gerados no âmbito da análise da evolução geomorfológica da praia, pelo que se detalha na respectiva secção a definição dos parâmetros escolhidos.

As diferenças de cota registadas no perfil de estrada entre as duas datas encontram-se representadas na Figura 44 e Figura 45.

¹⁵ Para a materialização dos perfis utilizou-se a extensão do ArcGIS, *3D Analyst / Interpolate Line / Profile Graph e Drawing / Convert_graphics_to_Features*; de seguida converteu-se a linha em pontos através de, *Data Management Tools / Feature / Feature_vertices_to_points*.

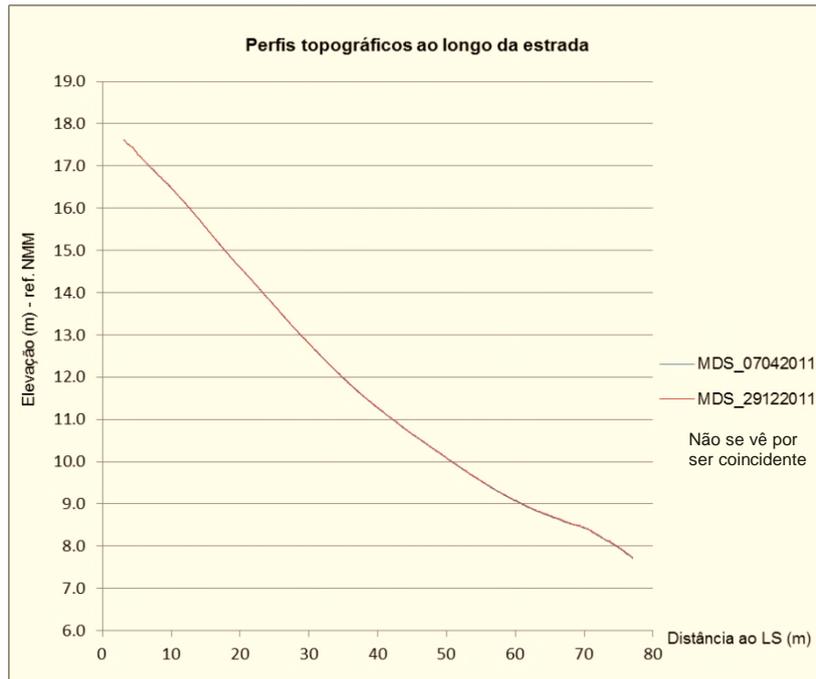


Figura 44 – Perfis topográficos ao longo da estrada de acesso aos Coxos, extraídos a partir dos MDS de Abril e de Dezembro 2011.

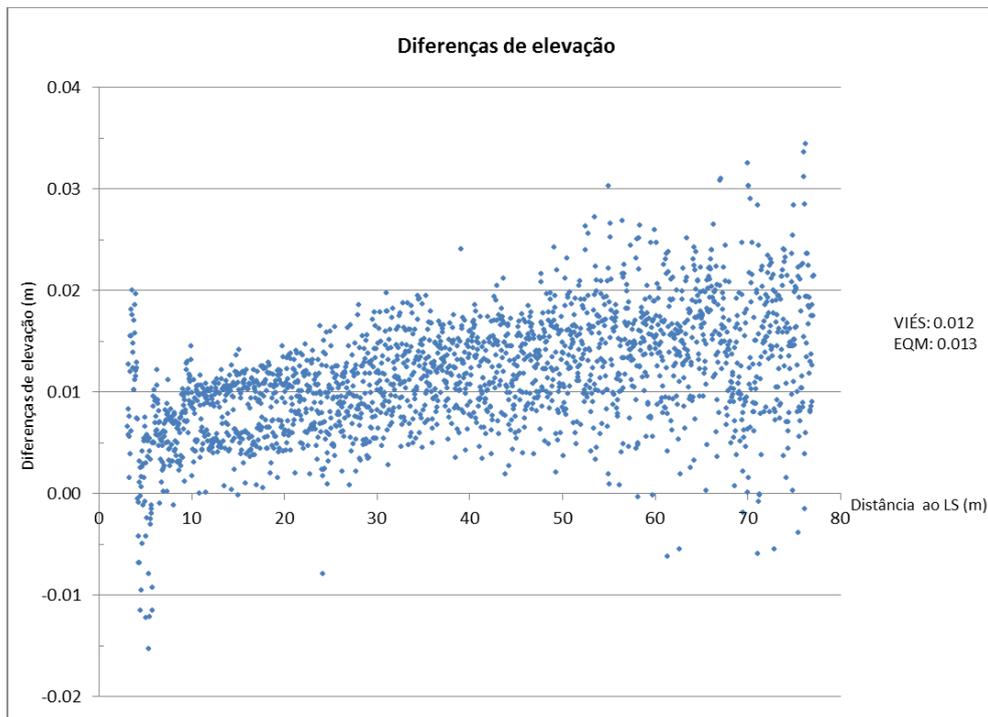


Figura 45– Diferenças de elevação entre os perfis topográficos ao longo da estrada, resultantes da subtração entre os MDS de Abril e Dezembro 2011.

Pela análise da Figura 45 verifica-se que as diferenças de cota registadas não ultrapassam os 0.035 m e na sua esmagadora maioria são inferiores a 0.02 m. Constata-se também que, como as diferenças são no geral positivas, os dados de

Dezembro apresentam-se globalmente com cotas superiores aos dados de Abril. Com o aumento da distância ao LS observa-se uma tendência de aumento da diferença de cota, assim como um aumento da dispersão de valores.

Para descrever os desvios, calculou-se a frequência das diferenças de elevação (em valores absolutos), agrupadas por classes de elevação (**Tabela 15**) e a partir dos resultados construiu-se o histograma abaixo apresentado (**Figura 46**).

CLASSE DE ELEVÇÃO (m)	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)	FREQUÊNCIA RELATIVA ACUMULADA (%)
0 – 0.005	209	9.9	9.9
0.005 – 0.01	619	29.4	39.3
0.01 – 0.015	725	34.4	73.7
0.015 – 0.02	416	19.7	93.4
0.02 – 0.025	114	5.4	98.8
0.025 – 0.03	17	0.8	99.6
0.03 – 0.035	9	0.4	100
Total	2109	100	-

Tabela 15 – Tabela de frequências (perfis de estrada). Cálculos com base em valores absolutos.

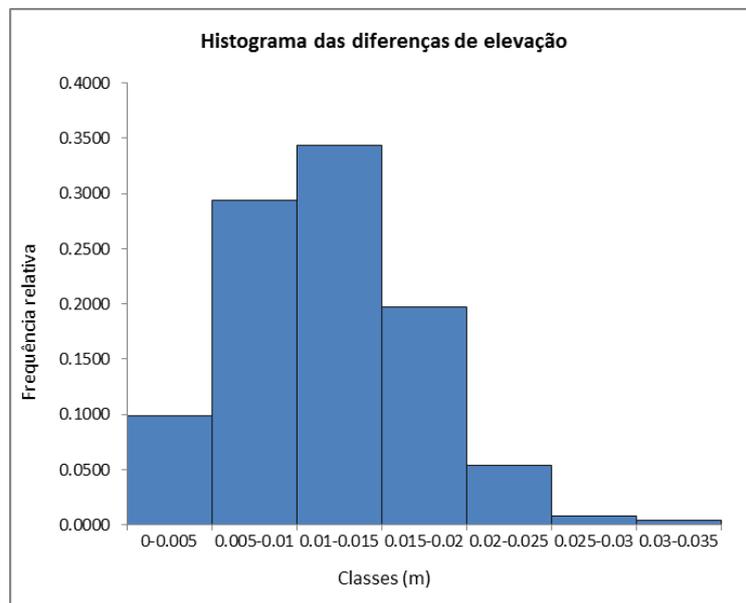


Figura 46 – Histograma das diferenças de elevação (em valores absolutos) resultantes da subtração entre os MDS de Abril e Dezembro 2011 (perfis de estrada).

Verifica-se que cerca de 93 % das diferenças de cota são iguais ou inferiores a 0.02 m e que se distribuem da seguinte forma: aproximadamente 10 % correspondem a uma

diferença máxima de 0.05 m e 83 % correspondem a diferenças entre 0.005 m e 0.02 m.

Dos restantes 7 %, 5.4 % correspondem a diferenças de cota entre 0.02 m e 0.025 m e apenas 1.2 % estão acima desta classe, nunca ultrapassando os 0.035 m.

SÍNTESE DE RESULTADOS

Verificou-se existirem diferenças sistemáticas nas medições topográficas efectuadas ao longo da estrada de acesso à praia, entre Abril e Dezembro de 2011, que se admitem ser consequentes do método utilizado para o posicionamento do LS e do ponto de referência, medidos com GPS-RTK em cada campanha. Estas diferenças, na generalidade (93%) inferiores a 0.02 m, nunca ultrapassam os 0.035 m.

Constatou-se que o erro associado ao aparelho é muito pequeno relativamente ao erro do método e que depende da distância (no perfil de estrada corresponde a 0.002 m), atingindo um máximo de 0.01 m para os 330 m de alcance do LS.

Neste trabalho, a exactidão posicional foi afectada pelo processo de georreferenciação do LS. O erro de posicionamento vertical do GPS-RTK é de 0.01 m (**Tabela 2**), o que é da mesma ordem do erro sistemático calculado (viés: 0.01 m). O erro da fita-métrica foi avaliado em 0.0005 m e o erro de leitura do operador estimado em campo, através de diversas leituras com operadores diferentes, foi de 0.005 m.

Somando-se os erros acima mencionados (aparelho e método) verifica-se que totalizam 0.0175 m, explicando os cerca de 0.02 m de magnitude de erro medida, no perfil de estrada. Todavia, a origem dos erros não explica nem o padrão de dispersão do erro nem o seu aumento com a distância.

6.2.3. REPRODUTIBILIDADE DO MÉTODO

Para verificar se o aumento do erro com a distância, acima evidenciado, está relacionado com a metodologia adoptada ou com o próprio aparelho, efectuou-se uma terceira campanha na praia dos Coxos em Julho de 2012 e cartografou-se duas vezes a estrada (de acesso à praia), mantendo-se todos os parâmetros inalteráveis ou seja, preservando-se a localização e posicionamento do LS e do prisma (que serviu de ponto de referência), assim como os parâmetros de configuração do LS (campo de visão e resolução). O primeiro levantamento abrangeu toda a área de estudo e o segundo apenas uma área reduzida, adjacente à estrada. Foram gerados dois MDS com o método de interpolação AT e o algoritmo da média, tendo-se definido 1 m para a triangulação (**Figura 51**).

Nesse sentido, com base nos MDS, efectuaram-se novos perfis topográficos exactamente coincidentes com os perfis de estrada acima realizados. Calcularam-se as diferenças de elevação bem como a frequência dessas diferenças e o respectivo histograma. Apresentam-se abaixo os resultados (**Figura 47 a Figura 52; Tabela 16 e Tabela 17**).

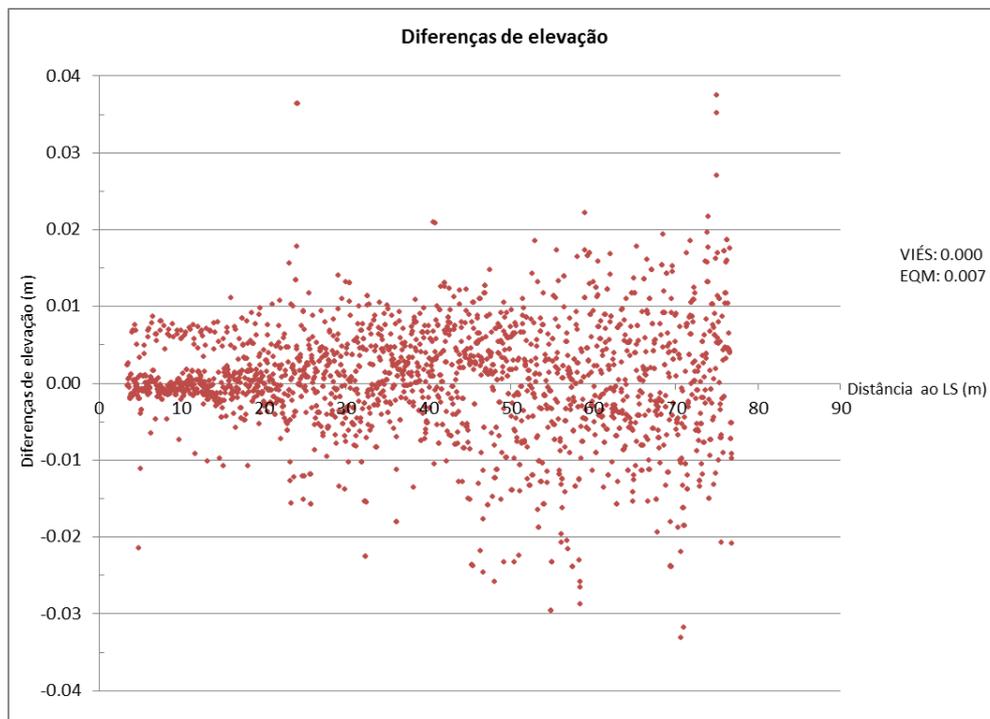


Figura 47 – Diferenças de elevação entre os perfis topográficos ao longo da estrada, resultantes da subtracção entre os MDS de Julho de 2012.

CLASSE DE ELEVÇÃO (m)	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)	FREQUÊNCIA RELATIVA ACUMULADA (%)
0 – 0.005	1261	60.3	60.3
0.005 – 0.01	527	25.2	85.5
0.01 – 0.015	192	9.2	94.7
0.015 – 0.02	70	3.3	98.0
0.02 – 0.025	30	1.4	99.0
0.025 – 0.03	7	0.3	99.7
0.03 – 0.035	2	0.1	99.8
0.035 – 0.04	4	0.2	100
Total	2093	100	-

Tabela 16 – Tabela de frequências (perfis de estrada). Cálculos com base em valores absolutos.

Calculou-se também o desvio padrão (s) (Eq. 5), cujo valor é igual a 0.007m.

$$s = \sqrt{1/n \sum (xi - medx)^2} \tag{Eq. 5}$$

x_i = valores de um conjunto de n dados.

medX = média dos valores de x.

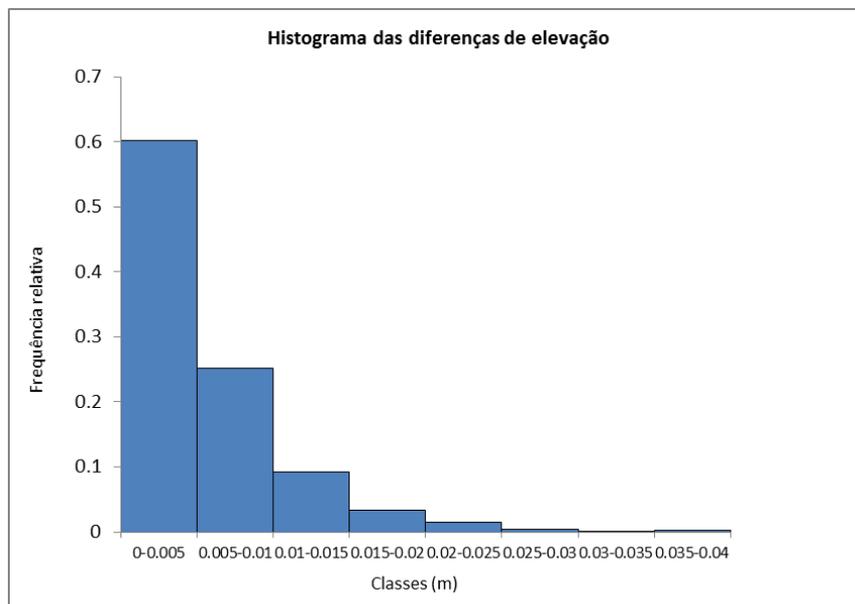


Figura 48 - Histograma das diferenças de elevação (em valores absolutos) resultantes da subtração entre os MDS de Julho de 2012 (perfis de estrada).

Pela observação da Figura 47, verifica-se que as diferenças de cota exibem um padrão de distribuição idêntico aos dos dados anteriormente analisados (Figura 45). A distinção encontra-se na magnitude dessas diferenças (Tabela 16): 95 % situam-se abaixo de 0.015 m dos quais, 60 % estão entre (0-0.05 m), 25 % situam-se entre

(0.005-0.01 m) e 9 % entre (0.01-0.015 m). Verifica-se que valores com erro superior a 0.015 m são relativamente pouco frequentes, representando apenas 5 % do conjunto total dos dados.

Como esperado, existe um aumento na exactidão dos dados e que se traduz essencialmente pelo aumento da frequência da classe (0-0.005 m), à qual correspondem 60 % dos dados, muito acima dos 10% anteriormente contabilizados (ver comparação na **Figura 49**). Contudo e tal como na primeira análise, há um aumento do erro associado ao aumento da dispersão com a distância (diminuição da precisão), que não pode ser atribuído ao método de posicionamento do equipamento. Um factor, ainda não considerado, e que pode influenciar o padrão do erro observado é o ângulo entre o sinal LS e a superfície incidente uma vez que, neste caso, a ortogonalidade do impulso laser vai diminuindo com a distância, sendo que a estrada apresenta uma inclinação aproximada de 8°.

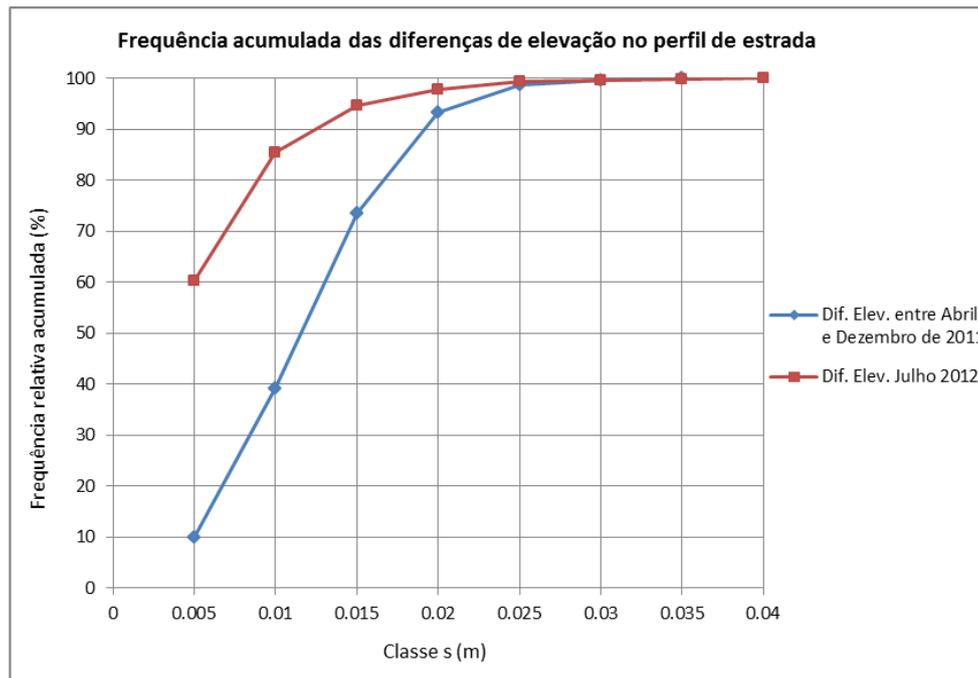


Figura 49 – Frequência acumulada das diferenças de elevação no perfil de estrada.

A partir dos perfis abaixo ilustrados (**Figura 50**) calculou-se a recta de regressão linear, que se assumiu correspondente ao declive aproximado da estrada (**Eq.6 e 7**).

$$\text{Declive} = \text{Tangente (inclinação)} \quad \text{Eq. 6}$$

$$\text{Inclinação} = \text{ArcoTangente}(-0.1345) = -7.7^\circ \quad \text{Eq. 7}$$

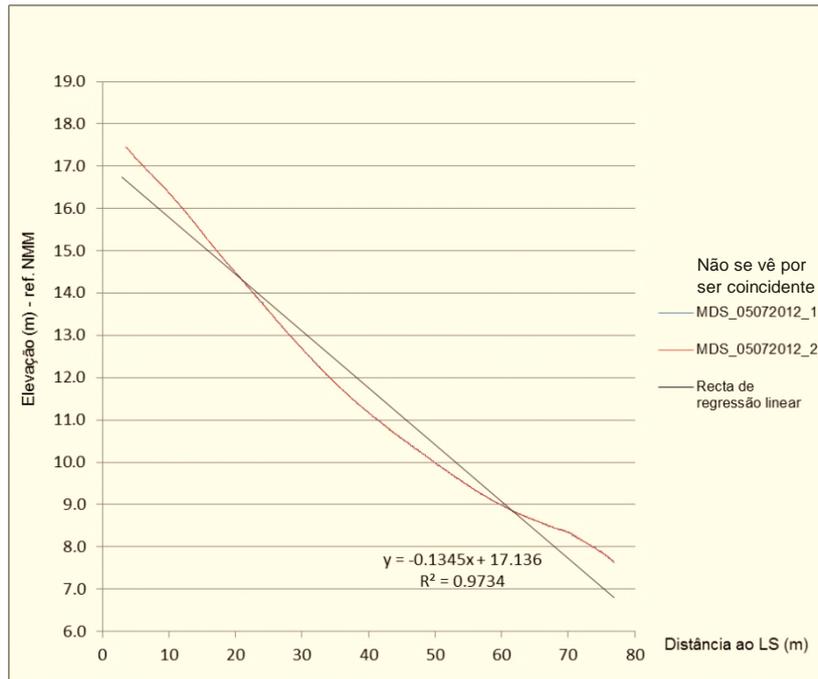


Figura 50 – Perfis topográficos de 7 de Julho de 2012 ao longo da estrada.

De seguida e para avaliar o erro das medições LS relativamente a uma superfície irregular e com declives diferentes, realizaram-se cinco novos perfis no areal (na área de intersecção entre os dois levantamentos LS de 5 de Julho 2012), como ilustrado na **Figura 51**. A área correspondente ao segundo levantamento identifica-se pela indicação da seta vermelha e pela intensificação das cores.

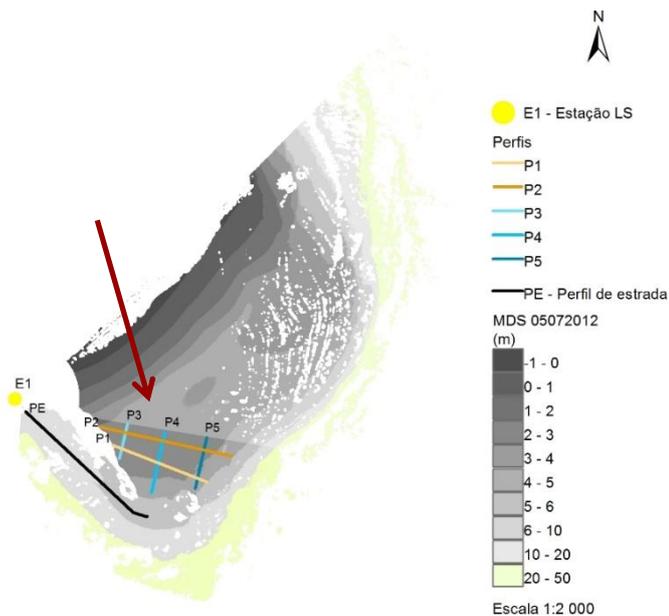


Figura 51 – MDS(s) de 5 de Julho 2012. Localização dos perfis topográficos. A seta vermelha aponta para a área de sobreposição entre os dois MDS.

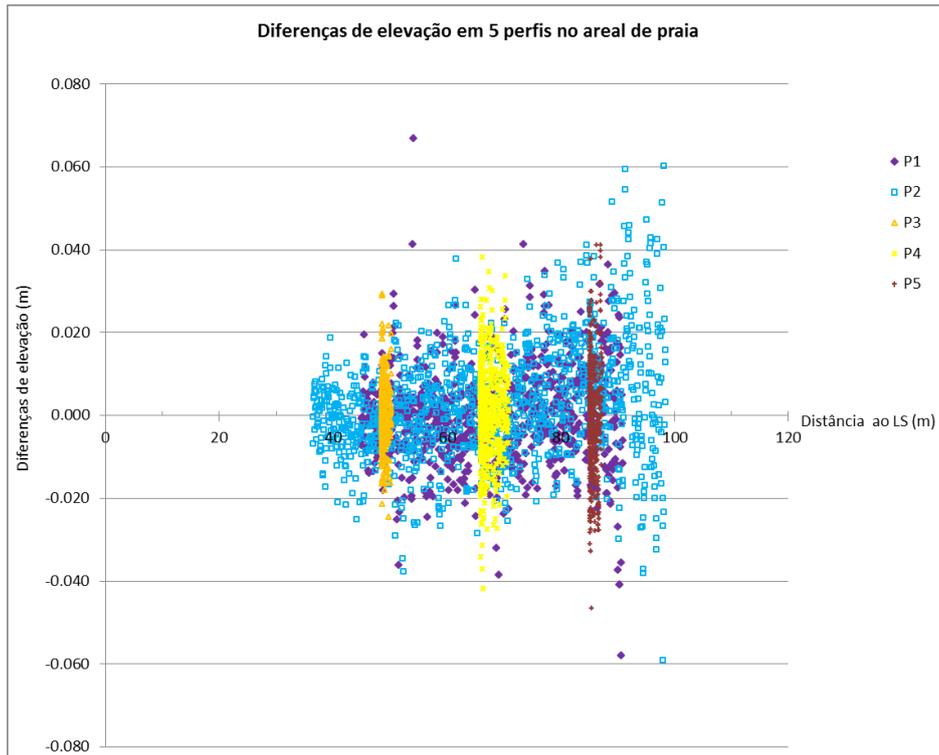


Figura 52 – Diferenças de elevação entre os levantamentos sucessivos de Julho de 2012, ao longo de 5 perfis no areal de praia.

PERFIS	VIÉS (m)	EQM (m)
P1	0.000	0.012
P2	0.003	0.014
P3	0.000	0.009
P4	0.001	0.012
P5	0.001	0.014

Tabela 17 – Cálculo do Viés e EQM das diferenças de elevação para os 5 perfis no areal de praia.

Com base nos dados acima ilustrados (**Figura 52**) e observando-se os perfis P1 e P2 (longitudinais ao impulso laser), verifica-se que existe um ligeiro aumento do erro com a distância ao LS no perfil P2. Comparando-se os perfis 3, 4 e 5 (transversais ao LS e a distâncias progressivamente maiores), verifica-se haver um ligeiro aumento do erro com a distância quando se considera o cálculo do EQM de 0.009 m, 0.012 m e 0.014 m respectivamente (**Tabela 17**). Contudo esta relação não é linear nem muito significativa, sendo que as diferenças entre medições geralmente não excedem os 0.02 m, observando-se apenas alguns dados com maiores discrepâncias. Considerando-se todos os perfis, verificou-se que 80 a 90% das diferenças de cota registadas situam-se abaixo de 0.02 m e 98 % abaixo de 0.03 m (**Anexo B**).

Verificou-se também que os declives nos 5 perfis realizados no areal de praia são suaves (inclinações entre 1° e 3°), não se estabelecendo por isso nenhuma relação entre o declive e o erro (**Anexo C**).

Comparativamente com os resultados anteriormente obtidos, conclui-se que a irregularidade da superfície do areal afecta as medições com o LS, havendo um aumento do erro, muito embora este se mantenha, na generalidade, abaixo dos 0.02 m.

Quanto ao padrão de distribuição das diferenças de elevação observado, este pode ainda estar relacionado com a densidade da nuvem de pontos que diminui com a distância ao LS (**Figura 53**). Este facto implica que ao gerar-se um modelo digital de superfície, o número de pontos que contribui para a aferição do valor duma célula diminui com a distância, pelo que o “peso” de eventuais valores anómalos vai sendo cada vez maior. Para testar esta hipótese recorreu-se, através da aplicação *MATLAB 7.9.0.*, ao desenvolvimento dum exercício teórico.

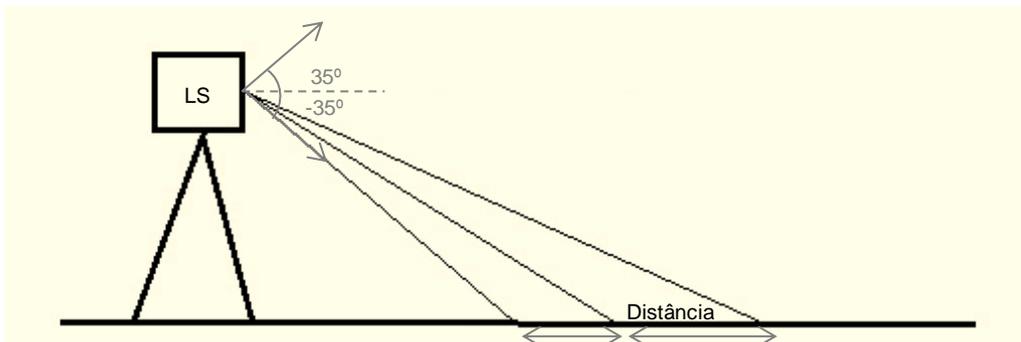


Figura 53- Esquema da emissão de pontos com LS; a cinza campo de visão vertical (70°).

Simulou-se a emissão de pontos a partir duma cota de 18 m (cota aproximada do LS) para uma superfície horizontal (areal) até um alcance de 100 m. Os pontos foram gerados num arco compreendido entre 55° - 80° , em intervalos angulares de $6''$ em $6''$. Assumiu-se que a superfície apresenta uma rugosidade com uma distribuição normal, com média igual a zero e desvio padrão de 0.02 m ou seja ($\mu=0$; $\sigma=0.02$). Para esse conjunto de dados, convencionou-se que x_data era a distância horizontal de cada medição e z_data , a cota associada a cada medição (**Figura 54**).

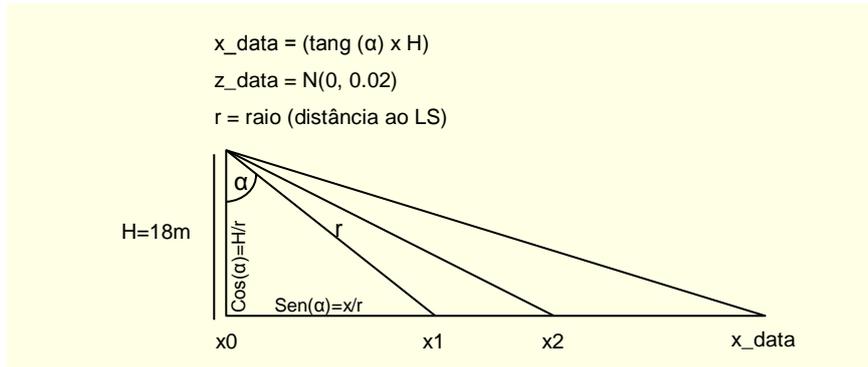


Figura 54 – Esquema dos pressupostos assumidos no exercício teórico em *MATLAB*.

De seguida, para simular a geração de um MDS de malha regular, agruparam-se os valores em intervalos de classe de 0.1 m (Figura 55). Note-se a diminuição acentuada no número total de valores em cada classe com o aumento da distância. Posteriormente calculou-se a média dos pontos em cada classe e através da sua projecção obteve-se o gráfico da Figura 56, cujo padrão é semelhante ao dos gráficos anteriores das diferenças de elevação no perfil de estrada. O programa desenvolvido encontra-se no Anexo D.

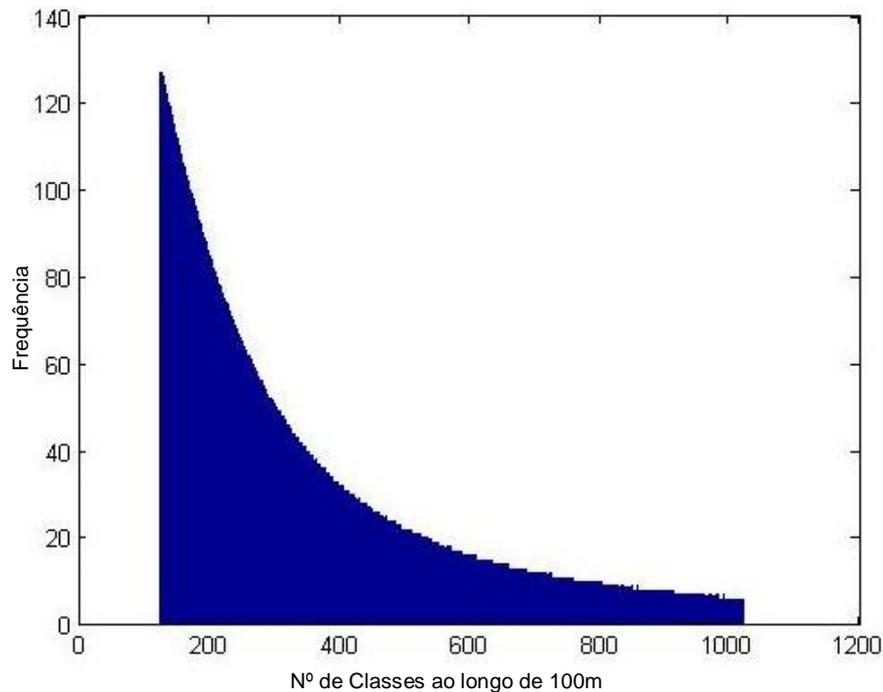
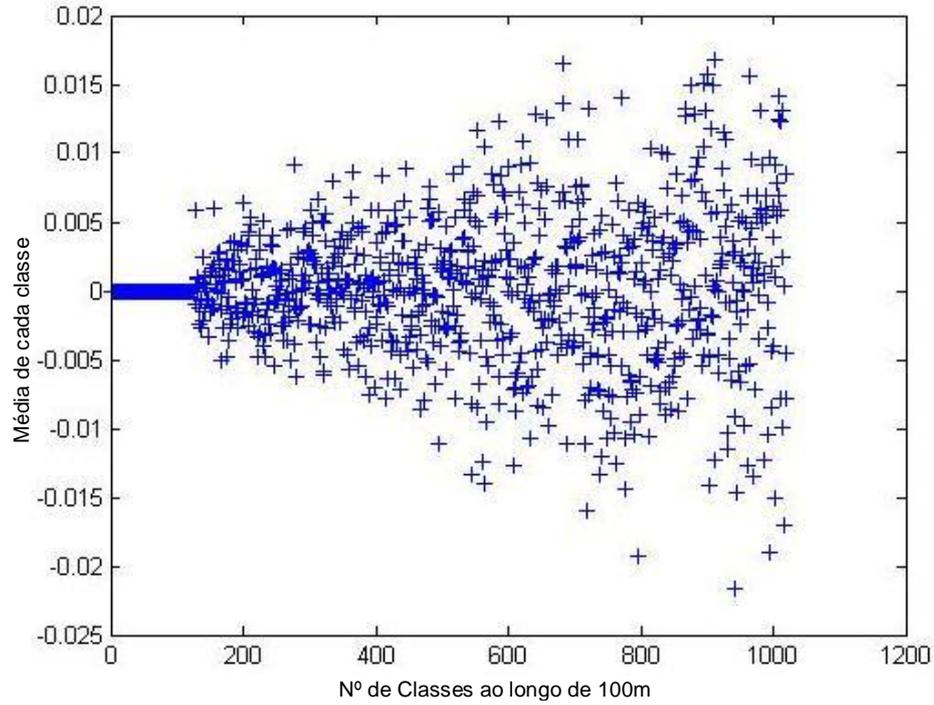


Figura 55 – Histograma de classes com intervalo de 10 cm (aplicação *MATLAB*). Amplitude da classe de 0.1 m.



**Figura 56 – Projecção dos valores da média de cada classe (aplicação *MATLAB*).
Amplitude da classe de 0.1 m.**

Conclui-se, deste modo, que a tendência observada do aumento da dispersão de valores, com o aumento da distância, é compatível com a diminuição da densidade de pontos da nuvem com a distância ao LS.

SÍNTESE DE RESULTADOS

Verificou-se existir uma tendência de aumento do erro com a distância ao LS que não é linear nem muito significativa. Este padrão está relacionado com o facto da densidade da nuvem de pontos (resolução) diminuir com o aumento da distância ao LS. Constatou-se, através duma experiência numérica, que esta circunstância afecta o valor final atribuído a cada célula na geração de um MDS, pelo que a precisão dos dados adquiridos com o LS diminui com a distância ao aparelho.

Verificou-se ainda que a rugosidade do areal afecta a precisão dos dados, sendo que na área levantada, correspondente à berma de praia, 95 % dos dados encontram-se num intervalo até 0.025 m.

Mantém-se a hipótese das medidas de elevação, obtidas com os dados LS, serem afectadas pela ortogonalidade entre o impulso laser e a superfície incidente, uma vez que a superfície ideal é perpendicular ao impulso laser. Quando a radiação electromagnética incide numa superfície, geralmente, a quantidade de energia que é posteriormente reflectida aumenta com o aumento do ângulo de incidência (Heritage & Large, 2009b).

Verificou-se existirem diferenças nas medições topográficas do areal em levantamentos sucessivos e contemporâneos (com uma diferença de 2h), que estão directamente relacionadas com tipo de superfície incidente ondulada (o areal encontrava-se muito pisoteado). Na Secção **6.5.1.3 BALANÇO SEDIMENTAR ENTRE LEVANTAMENTOS SUCESSIVOS**, estima-se a magnitude dessas diferenças e avalia-se a sua relevância no balanço sedimentar.

6.3. CÁLCULO DA MICROTOPOGRAFIA DO AREAL DE PRAIA

Para calcular a magnitude da microtopografia (rugosidade) do areal da praia dos Coxos realizaram-se 2 perfis topográficos (a partir do MDS de Julho de 2012), na berma de praia (areia seca e mais pisoteada), com um comprimento aproximado de 60 m cada e estimou-se a variação da amplitude de elevação. (Figura 57).

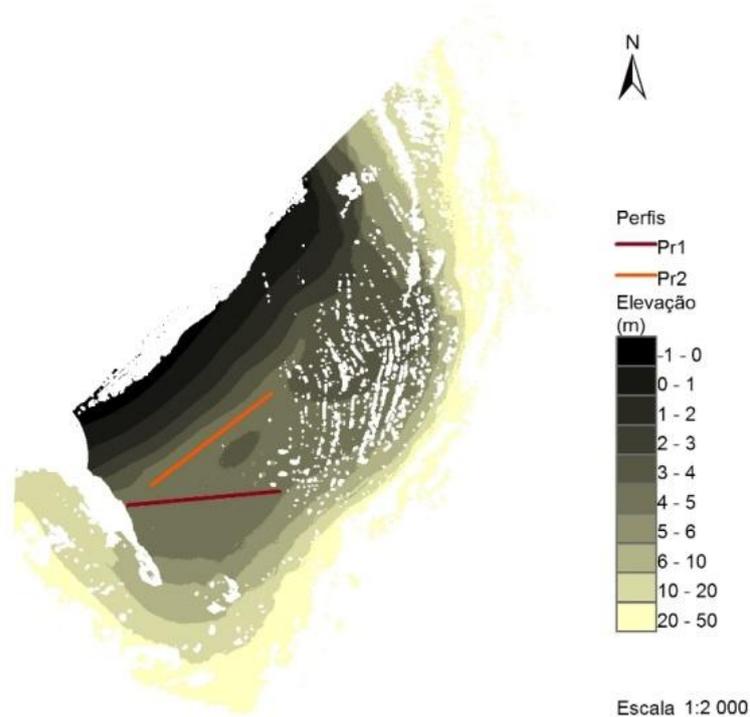


Figura 57 – Localização dos perfis para o cálculo da rugosidade do areal.

Para cada um dos perfis topográficos (Figura 58), procedeu-se ao ajuste das linhas de tendência (polinómios do 6º grau) e com base nas respectivas equações, estimaram-se novos valores de y (elevação) para cada valor de x (distância).

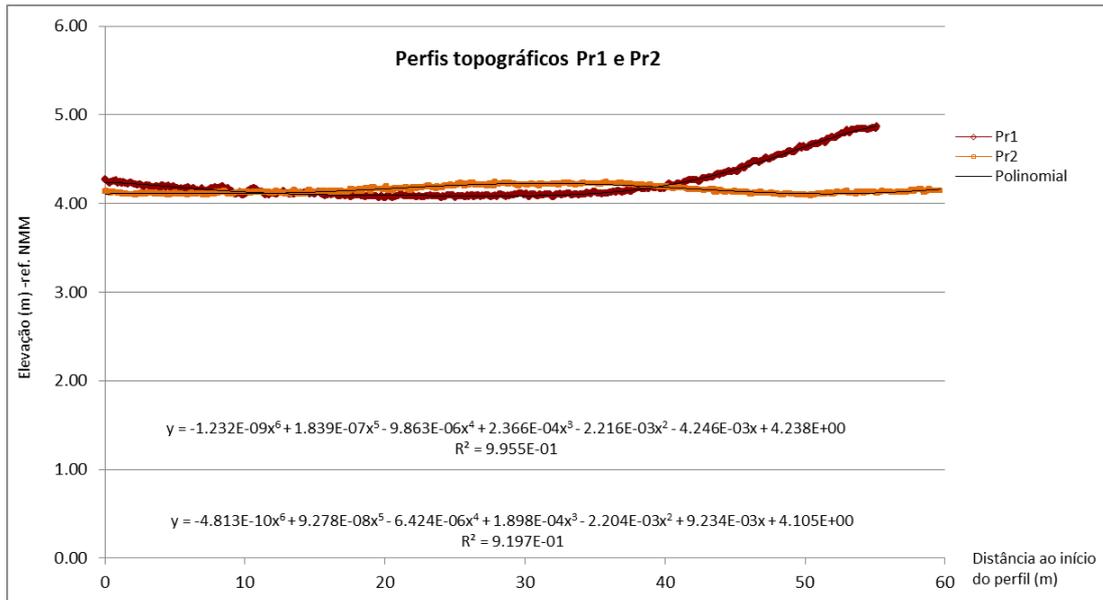


Figura 58 – Perfis topográficos (Pr 1 e Pr 2) e respectivas linhas de tendência.

De seguida para cada valor y real retirou-se o valor y estimado ($y_r - y_e$), obtendo-se desta forma apenas os valores de variação local da elevação (Figura 59).

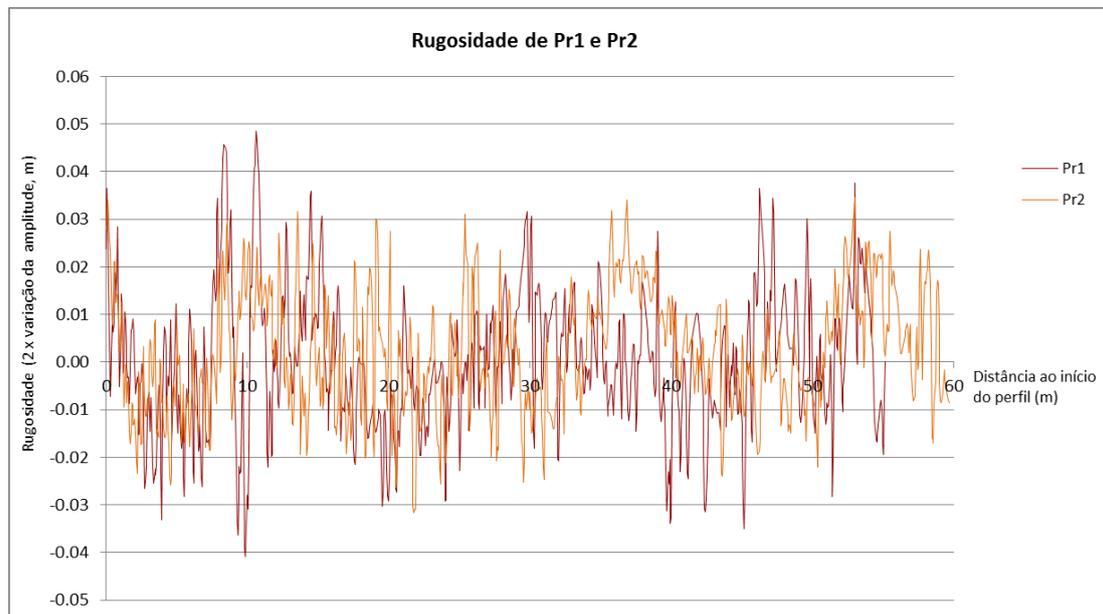


Figura 59 – Rugosidade do areal (variação da amplitude para os perfis Pr 1 e Pr 2).

Posteriormente, calculou-se o desvio padrão (s) tendo-se obtido os valores de 0.0124 e 0.0143 respectivamente para os perfis Pr2 e Pr1. De acordo com estes resultados, estimou-se que 95 % dos dados têm uma amplitude máxima (correspondente a $2s$) até 0.025 m e 0.029 m. Pelo que a altura total de variação da elevação (rugosidade), correspondente a duas vezes a amplitude ($2 \cdot 2s$), está entre 0.050 m e 0.058 m.

Pelo acima exposto, verifica-se que a rugosidade média do areal seco é caracterizada por variações na ordem dos 5 a 6 cm, pelo que se conclui que para estudos de topografia detalhada, é essencial que a metodologia escolhida (equipamento / procedimento), resulte numa precisão dos dados maior que 5 cm.

6.4. AVALIAÇÃO DE ALCANCE E RESOLUÇÃO

Como referido inicialmente, a análise efectuada aos levantamentos das praias de Paredes da Vitória e de São João foram no sentido de determinar alcance máximo do LS e as potencialidades desta técnica no levantamento de praias com elementos morfológicos que apresentam padrões espaciais complexos tais como, secção terminal de linhas de água, dunas embrionárias, escarpas e estruturas de defesa costeira, que pelos meios tradicionais de levantamentos de perfis de praia com GPS não são bem caracterizados.

6.4.1. PRAIA DE PAREDES DA VITÓRIA

A área de estudo em Paredes da Vitória abrangeu um comprimento aproximado de 800 m, englobando cerca de 600m de extensão do areal e parte da vertente (**Figura 60**). Esta praia apresenta morfologias com padrões espaciais complexos, sendo atravessada por uma linha de água e exibindo quer uma escarpa de reduzida altura (associada à linha de água) quer uma duna embrionária junto ao sopé da arriba.

Na **Figura 60** apresenta-se o limite da área levantada, a localização das estações LS, o MDS produzido e a localização do perfil P1.



Figura 60 – Praia de Paredes da Vitória. Limite da área levantada, localização das estações LS, perfil P1 e MDS.

O MDS foi gerado com o método de interpolação AT e o algoritmo da média, tendo-se definido 1 m para a triangulação. Pela observação da **Figura 60**, verifica-se que a duna embrionária, junto à arriba, originou uma lacuna nos dados entre o areal e a arriba. Isto deveu-se ao facto de existir uma cerca a proteger parte da duna embrionária e na restante área, mais para sul, ser a vegetação já existente que funciona como barreira ao impulso do sinal laser (**Fotografia 17**).



Fotografia 17 – Duna com vegetação junto ao sopé da vertente da praia de Paredes da Vitória.

Realizaram-se 3 estações no areal de praia. Na estação E1 (a sul), o alcance máximo foi de 130 m no areal e cerca de 150 m na direcção da arriba. Com a estação E2 a distância máxima obtida no areal foi cerca de 90-100 m e pontualmente 150 m. Na estação E3, pretendeu-se cartografar a morfologia da secção terminal da linha de água e da escarpa associada. Contudo e apesar de se terem obtido ecos a distâncias de 190 m, estes foram dispersos e apenas se conseguiu uma cobertura densa até os 50-70 m (distância máxima entre medições igual a 1 m). Nas figuras seguintes, ilustra-se o perfil de praia construído a partir do MDS (**Figura 61**) e os aspectos da inferência da rugosidade do areal (**Figura 62**).

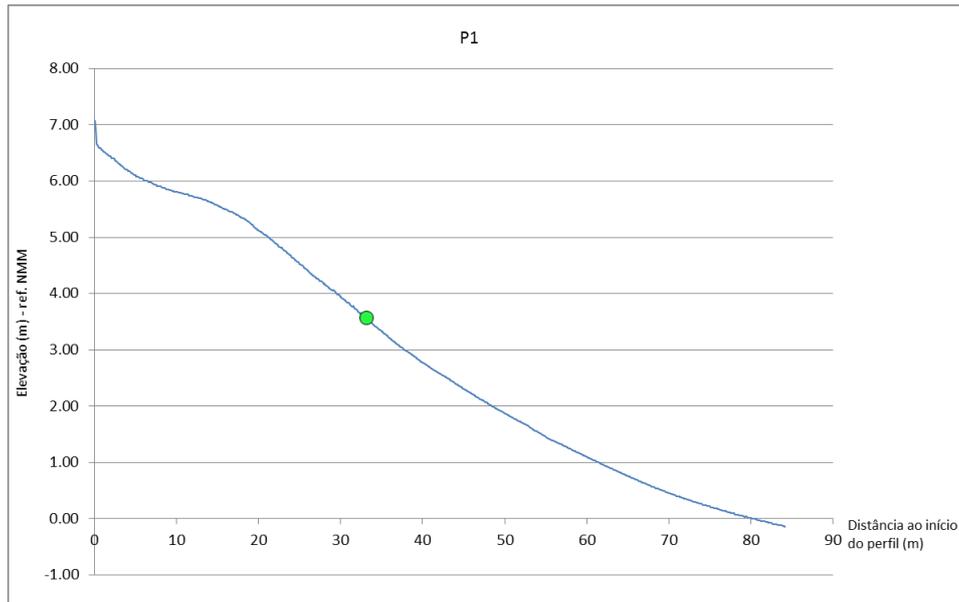


Figura 61 - Perfil de praia (P1). A verde assinala-se o local da estação LS E2.

Observa-se que o perfil de praia P1 começa por exibir a frente da duna embrionária, seguindo-se uma berma de praia pouco desenvolvida com uma crista mal definida e por último uma face de praia bastante extensa.

Para determinar o limite do espraio, aproximadamente coincidente com a localização da estação E2, a partir do perfil P1, calculou-se a rugosidade do areal estimando-se a variação da amplitude de elevação. Nesse sentido, utilizou-se a linha de tendência com melhor ajuste (média móvel com 11 valores) e procedeu-se aos respectivos cálculos. De seguida, ao valor de cota real retirou-se o valor correspondente da média móvel, obtendo-se os resultados exibidos no gráfico representado na **Figura 62**.

Verifica-se que há uma clara diferenciação na amplitude da rugosidade do areal aos 35 m (coincidente com a localização de E2), distinguindo-se a área mais pisoteada da área menos pisoteada, e que é correspondente ao limite do último espraio de preia-mar. Contudo, observa-se no final do perfil que a rugosidade do areal volta aumentar, provavelmente devido à presença de estruturas sedimentares ou a novo pisoteio de utentes da praia junto à beira-mar.

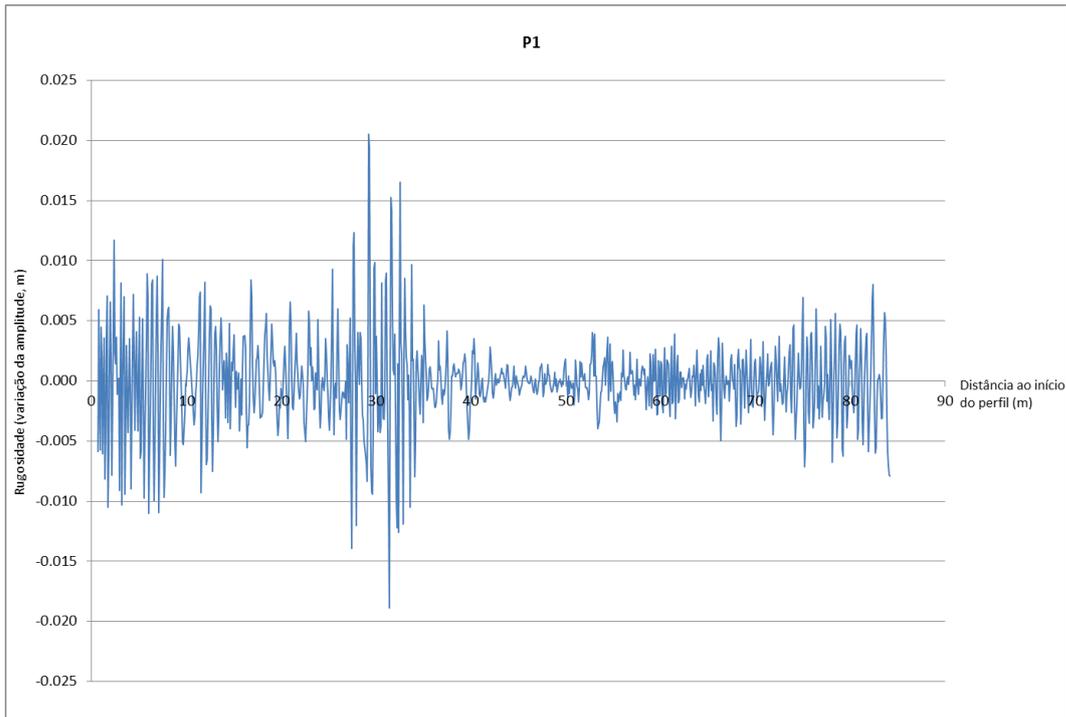


Figura 62 – Rugosidade do areal no perfil P1.

Verifica-se que 95% dos dados têm uma amplitude até 0.007 m (2s), pelo que a magnitude da rugosidade (duas vezes a amplitude) é cerca de 0.014 m. Note-se que os cálculos da rugosidade incluíram toda a área do perfil de praia pelo que o valor estimado, não reflecte a altura média duma pegada na areia seca, sendo para isso necessário efectuar os cálculos apenas na berma de praia e em mais do que um perfil ao longo da praia.

Através da análise das figuras seguintes (**Figura 63 a Figura 66**), constata-se o potencial do LS na identificação e caracterização dos diversos elementos morfológicos presentes nesta praia: areal de praia e linha de espraio de praia-mar, arriba, cerca e duna embrionária, canal de água e escarpa associada. Ainda é possível observar as casas e paliçadas existentes nas imediações. Os círculos pretos no areal correspondem ao local das estações LS.

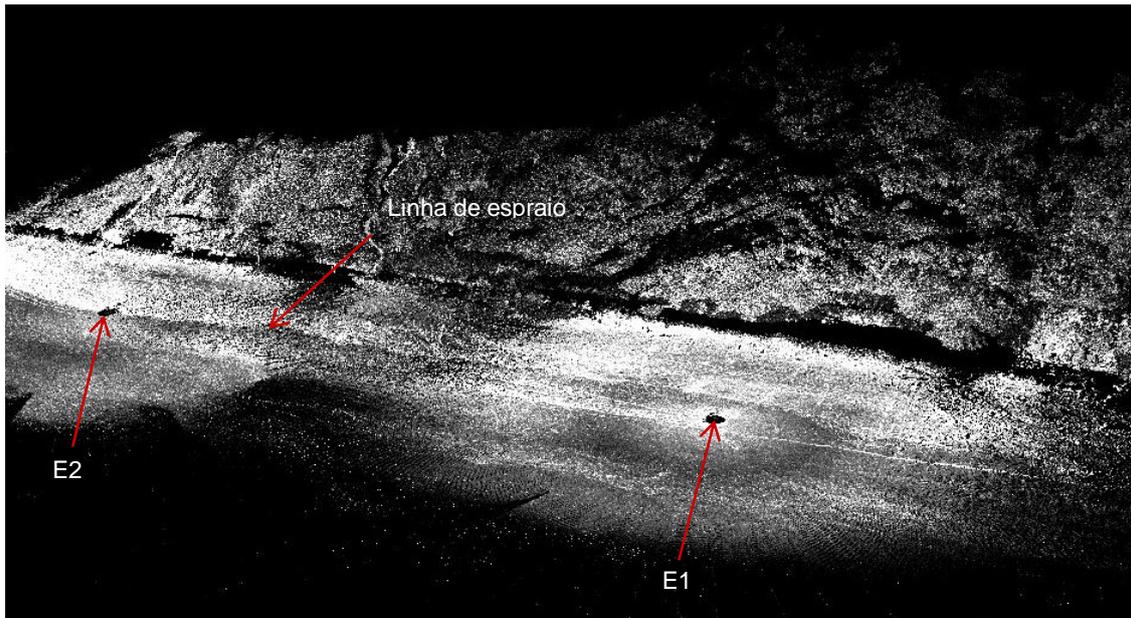


Figura 63 – Praia de Paredes da Vitória, nuvem de pontos e intensidade do areal e arriba. Os círculos escuros correspondem aos locais das estações E1 e E2.

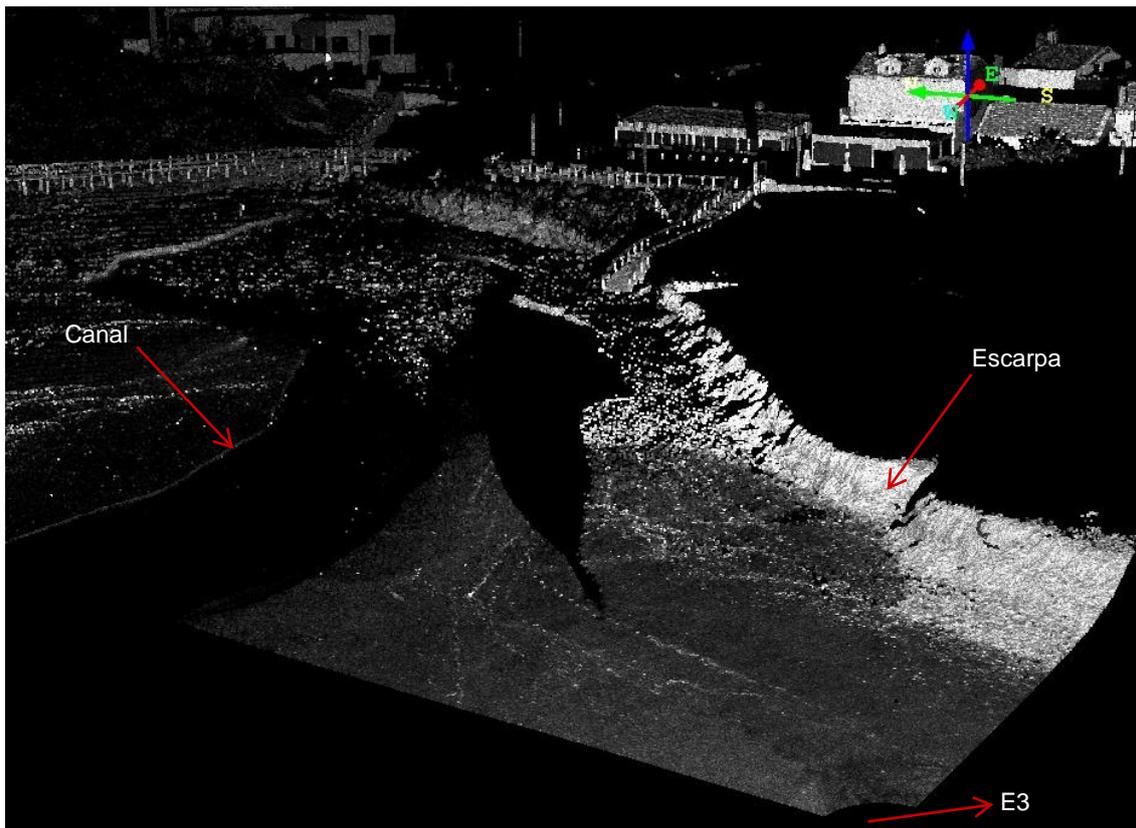


Figura 64 – Praia de Paredes da Vitória, nuvem de pontos e intensidade. Pormenor do canal de linha de água e da escarpa associada.

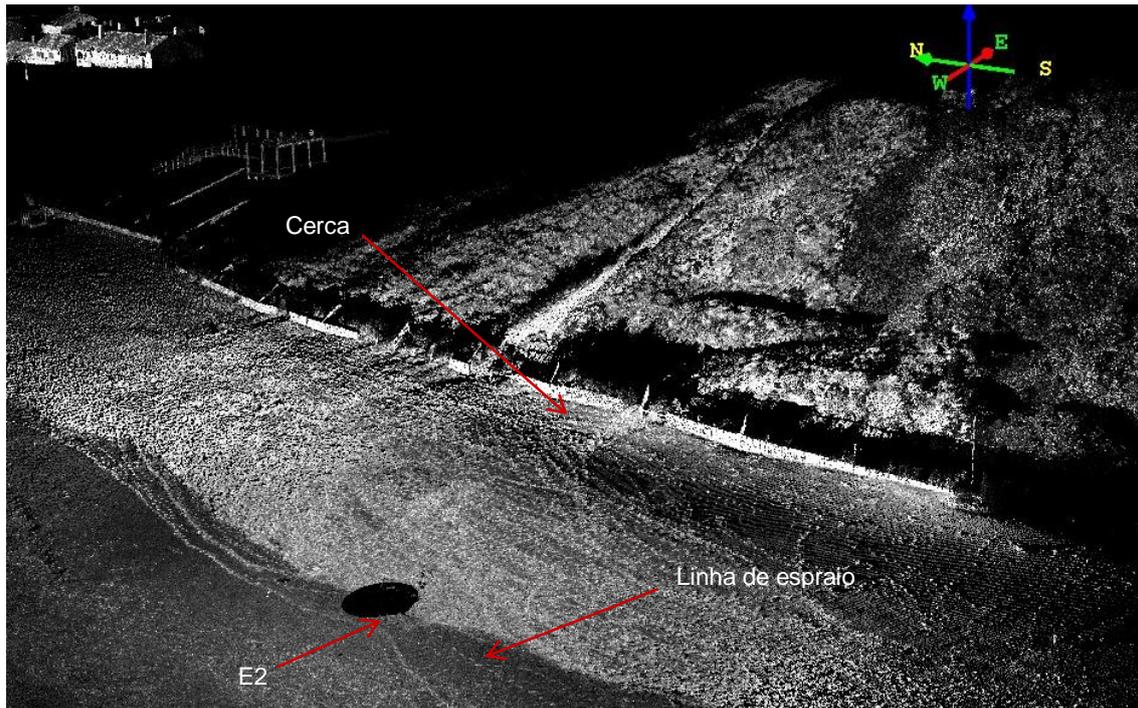


Figura 65 - – Praia de Paredes da Vitória, nuvem de pontos e intensidade. Pormenor do areal, da arriba e da cerca que protege a duna interior.

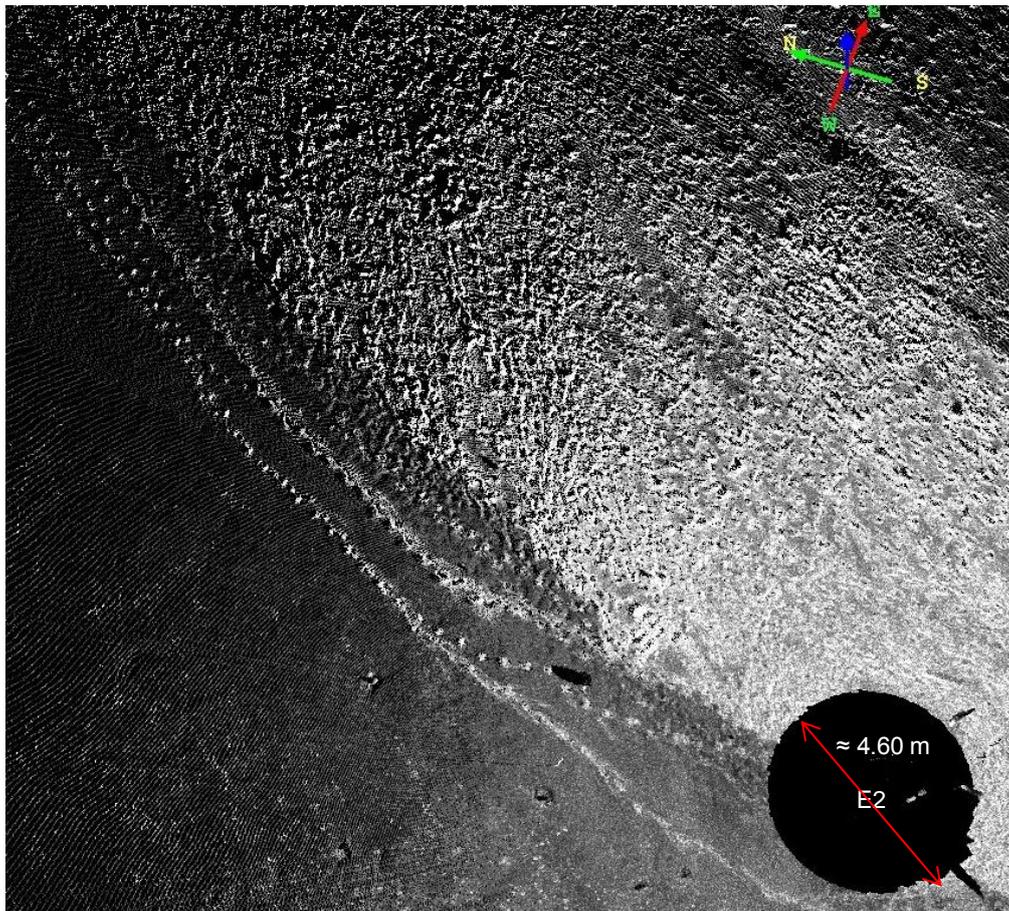


Figura 66 – Praia de Paredes da Vitória, nuvem de pontos e intensidade. Pormenor das pegadas no areal e do limite do último espraio de preia-mar.

Na **Fotografia 18** apresenta-se parte da área correspondente à área ilustrada no levantamento LS da **Figura 66**. Refere-se que este local serviu para o posicionamento do prisma e do LS para as estações E1 e E2 respectivamente.



Fotografia 18 – Praia de Paredes da Vitória. Pormenor do local de posicionamento do prisma e do LS para as estações E1 e E2 respectivamente. Evidência da marca do último espraio de preia-mar através do pisoteio.

Verifica-se que além do detalhe obtido com os levantamentos LS, nesta praia, para se fazer a cartografia do areal (superfície aproximadamente horizontal) com o LS estacionado no areal i.e., com uma altura aproximada de 1.6 m (altura do tripé + altura do aparelho), a distância máxima a que se obteve um levantamento integral da área foi aproximadamente 100 m (de raio), podendo atingir os 130 m ou 150 m dependendo da morfologia do próprio areal e do grau de saturação da areia.

6.4.2. PRAIA DE SÃO JOÃO

O levantamento nesta praia incidiu sobre a zona adjacente ao esporão do limite sul da praia. Na **Figura 67**, apresenta-se o MDS produzido da área em análise (gerado com o método de interpolação AT, algoritmo da média e triangulação de 1 m).



Figura 67 - Praia de São João. Limite da área levantada, localização da estação LS (esporão do limite sul) e MDS.

Através da observação da nuvem de pontos e do modelo de superfície, detectou-se que o comprimento máximo abrangido pelo LS foi cerca de 370 m (para norte) ou seja, a esta distância ainda se obtiveram ecos mas em número muito insuficiente para qualquer tipo de análise. Verificou-se existir intersecção do sinal laser com a superfície livre das ondas. Contudo, verifica-se igualmente que os ecos são pouco frequentes, com pouca expressão, especialmente quando comparados com aqueles detectados na praia dos Coxos.

A seguir apresentam-se imagens sobre o detalhe do levantamento nesta praia, destacando-se, além da areia, o pormenor de estruturas artificiais (esporão, paredão, escadas de acesso à praia e infraestrutura de apoio balnear), **Figura 68** e **Figura 69**.

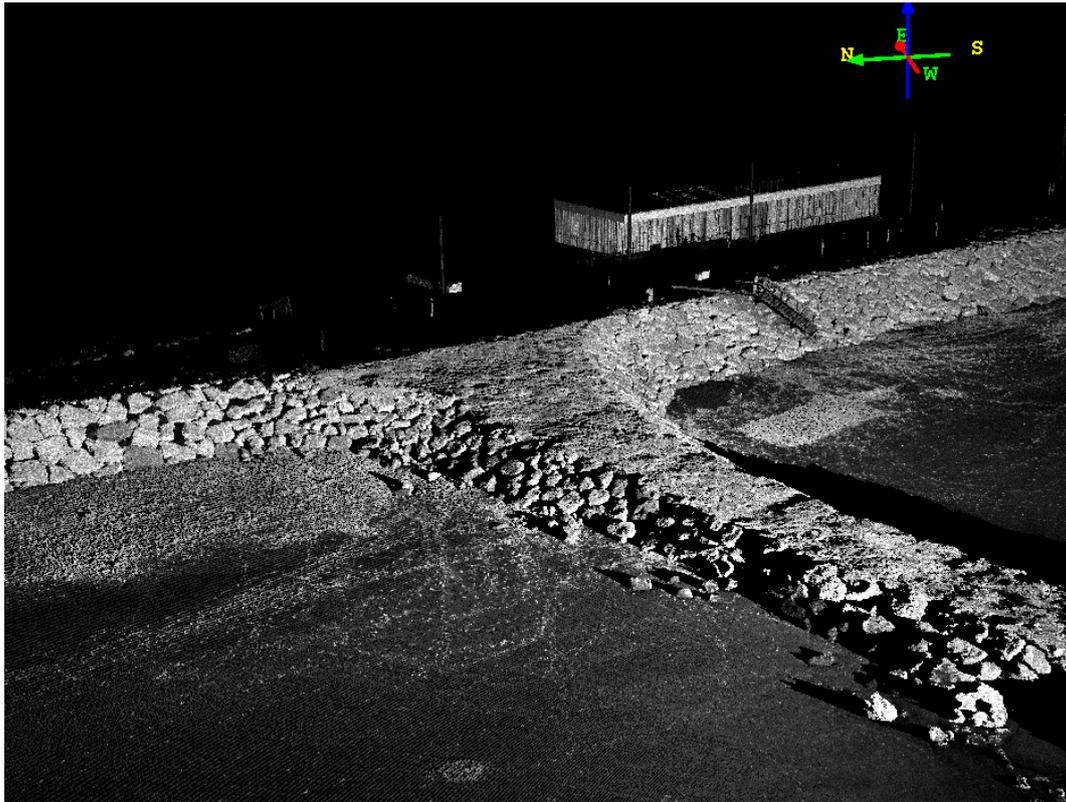


Figura 68 – Praia de São João, nuvem de pontos e intensidade. Pormenor do esporão, paredão e areal.

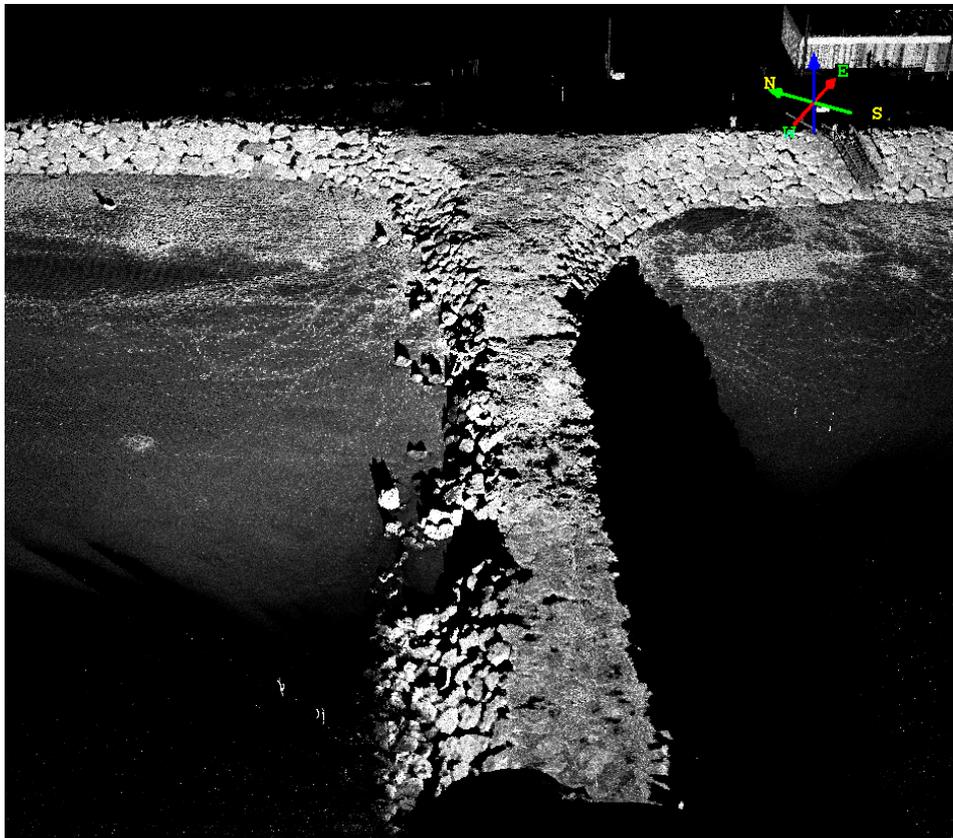


Figura 69 – Praia de São João, nuvem de pontos e intensidade. Pormenor do esporão.

SÍNTESE DE RESULTADOS

As figuras acima (**Figura 63 a Figura 69**) ilustram o potencial que o LS tem para fazer uma cobertura integral de área, permitindo fazer um levantamento detalhado de todos os elementos morfológicos presentes numa praia. O alcance é claramente afectado pelo teor de humidade da areia e como é óbvio, pelas barreiras físicas que limitam a cobertura pelo feixe laser. Inclui-se nestas observações as figuras correspondentes à praia do Magoito (**Figura 9 e Anexo A**) onde se obteve grande pormenor na identificação das várias morfologias: canal de linha de água, arriba, depósitos de sopé e plataforma rochosa.

Verifica-se que as estruturas artificiais, tais como esporão, casas, escadas, cercas e paliçadas são muito bem identificadas pelos dados obtidos pelo LS, uma vez que estas apresentam superfícies regulares, normais ao feixe laser.

Observa-se grande pormenor no levantamento da morfologia do areal, inclusive ao nível de topografia detalhada, identificando-se muito bem pegadas e outras irregularidades.

Verifica-se, tal como nos Coxos, a possibilidade de se cartografar eventos de espraio das ondas, sendo que este é condicionado pelo alcance das ondas e pela altura a que se encontra o LS (na praia dos Coxos a maior altura do LS originou menor obliquidade do impulso laser traduzindo-se em maior intensidade dos ecos emitidos).

Com os dados da praia de Paredes da Vitória, estimou-se uma distância útil para cartografar o areal, com o LS estacionado no areal, até 100m-130m de raio (**Figura 60**). Define-se como distância útil, a distância máxima a que se obtêm dados suficientes para gerar um MDS sem muitas lacunas (com triangulação de 1 m). Todavia, para estudos de topografia detalhada, a distância máxima de triangulação não deve ultrapassar os 0.1 m, pelo que neste caso a distância diminui para 50 m¹⁶. Refere-se que estas estimativas tiveram por base levantamentos LS cuja resolução definida em campo foi de 4 cm, pelo que é espectável conseguir-se uma distância útil maior no caso de se definir uma resolução menor. Efectua-se a seguir um exercício teórico no sentido de determinar a relação da resolução dos dados com a distância ao LS.

¹⁶ Esta distância foi estimada a partir dum MDS gerado para o efeito (dados da praia de Paredes de Victória) com uma distância máxima de triangulação definida em 0.1m.

6.4.3. DETERMINAÇÃO DA RESOLUÇÃO

Para se estimar a variação da resolução obtida com a distância, num levantamento numa superfície horizontal com o LS, efectuou-se um cálculo teórico, considerando-se apenas limitações geométricas resultantes da altura do aparelho e do ângulo de incidência do impulso laser. O propósito foi verificar a distância máxima de digitalização para se obterem pontos de medição que distem entre eles menos de 0.1 m e menos de 1 m (valores assumidos como referência em estudos de topografia de detalhe do areal e em estudos de evolução morfológica do perfil de praia respectivamente).

Considerando-se o campo de visão vertical do LS (**Figura 53**) e acréscimos entre impulsos consecutivos de seis segundos ⁽¹⁷⁾ (6'') através das relações geométricas de um triângulo rectângulo, obteve-se a correspondência entre o ângulo de emissão do impulso laser e a distância horizontal que esse impulso alcança isto é, a distância de um ponto de medição relativamente ao LS (**Figura 70**). Refere-se que α_0 de 55° corresponde ao ângulo mais pequeno do impulso laser (considerando-se a geometria da figura abaixo). Subtraindo-se a distância entre duas medições consecutivas, determina-se o intervalo entre medições ie , a resolução a essa distância.

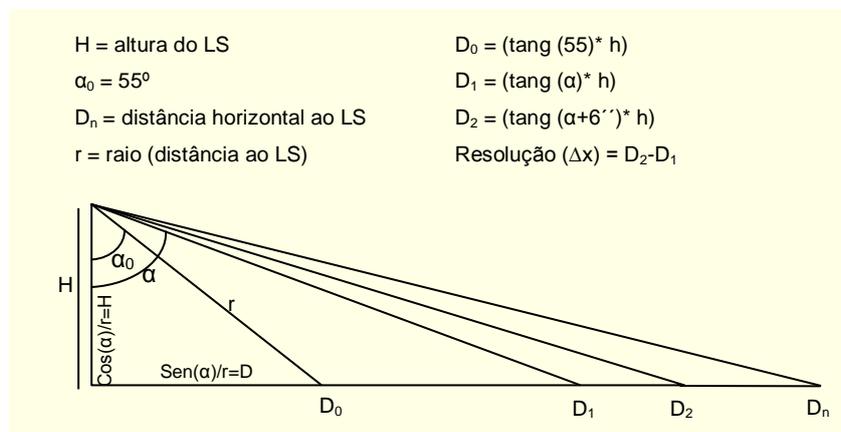


Figura 70 – Esquema dos pressupostos assumidos no cálculo teórico para determinação da resolução de medições LS a uma dada distância horizontal.

Para efeitos de cálculo, definiram-se previamente algumas variáveis: a altura do LS e a distância para a qual se pretende determinar a resolução. De seguida e para um valor de distância D_1 calculou-se o ângulo do impulso laser correspondente (α). Posteriormente determinou-se ($\alpha + 6''$) e conseqüentemente a distância D_2 . Finalmente

¹⁷ Seis segundos (6'') correspondem, segundo as especificações técnicas do aparelho, a uma resolução de 4mm a 150m numa superfície ortogonal ao impulso laser.

e para obter o intervalo entre medições calculou-se Δx . Efectuaram-se os cálculos tendo-se convencionado três alturas para o LS (1.5 m, 3 m e 15 m) e distâncias horizontais de 25 em 25 m até o máximo de 325 m. Com os dados estimados construiu-se o gráfico abaixo ilustrado (**Figura 71**).

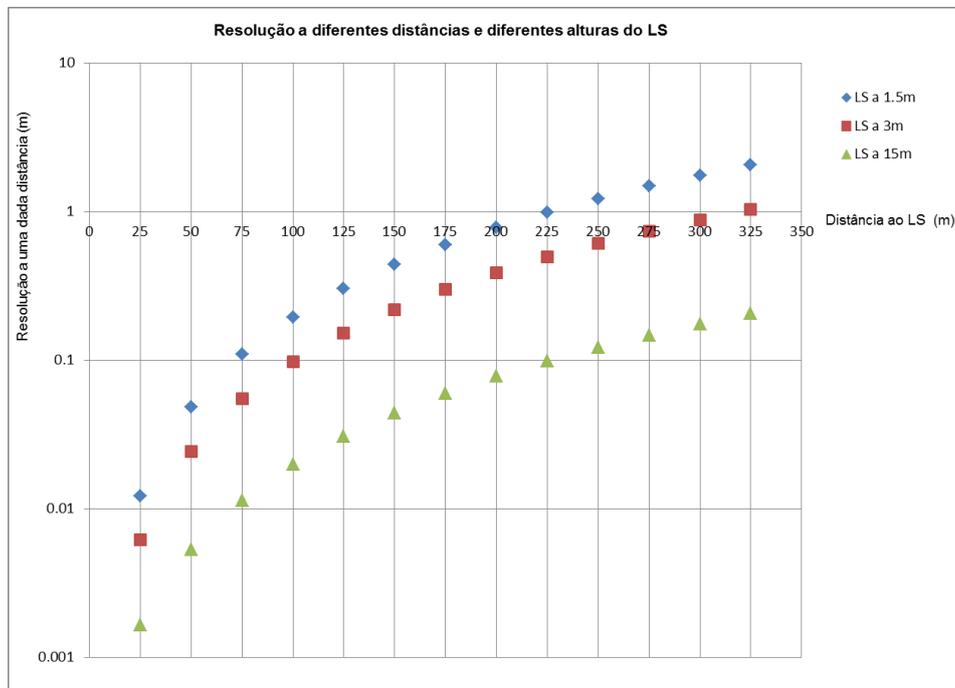


Figura 71 – Resolução de medições LS numa superfície horizontal a diferentes distâncias e para diferentes alturas do LS.

Pela observação do gráfico acima verifica-se que, a altura do LS, relativamente a uma superfície horizontal, influi na resolução obtida dos dados para uma determinada distância. Ou seja, obtém-se melhor resolução dos dados, à mesma distância, a alturas progressivamente maiores do LS. Isto deve-se ao efeito de menor obliquidade, entre o sinal e a superfície, com o aumento da altura do LS.

Estipulando-se o valor de 1 m para resolução mínima dos dados, numa campanha LS ao areal duma praia, verifica-se ser possível alcançar distâncias aproximadas de 225 m e 320 m consoante a altura do LS seja de 1.5 ou 3 m respectivamente. Contudo, é de notar que a intensidade do sinal reflectido diminui com a obliquidade entre o feixe emitido e a superfície alvo e também, com o aumento do teor de humidade da areia, pelo que na prática poder-se-á não obter ecos para as distâncias teóricas calculadas. Para 15 m de altura do LS, toda a área de levantamento apresenta uma resolução superior. Refere-se que o alcance máximo dum levantamento, com este aparelho, é de 330 m. Para estudos de maior detalhe e considerando-se uma resolução de 0.1 m, alcançam-se distanciamentos entre 25, 35 e 70 m consoante o posicionamento do LS.

6.5. EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA

6.5.1. PRAIA DOS COXOS

6.5.1.1. EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA ABRIL / DEZEMBRO 2011

Para avaliar a aplicabilidade do LS na análise da evolução morfológica de praias, foram efectuados levantamentos do areal da praia dos Coxos em Abril e Dezembro de 2011. A partir das nuvens de pontos obtidas (pág. 39), geraram-se os modelos digitais de superfície com os quais se compararam e quantificaram as diferenças ao nível da variação de praia. Nesse sentido, a partir da subtração dos MDS nas duas datas, foram medidas as diferenças de cota e analisados os padrões de erosão e acreção de areia ocorrentes entre Abril e Dezembro de 2011; foi também efectuado o cálculo dos volumes envolvidos nesta dinâmica e determinado o balanço sedimentar da praia emersa.

A geração dos dois MDS foi realizada de acordo com a metodologia previamente descrita (pág. 39). O tamanho de célula escolhido para os dois MDS foi de 0.035 m. Optou-se pelo método de interpolação *Adaptive Triangulation* por apresentar a vantagem de reduzir as áreas sem informação; contudo e para que os modelos representem bem a superfície, contribuiu o facto de existir uma grande densidade de pontos e de se ter definido 1 m para o tamanho máximo de triangulação. O algoritmo seleccionado para a interpolação foi a média (*Mean Z*) para atenuar pequenos erros de medição ou formas impressas na areia, tais como pegadas.

De seguida exportaram-se os respectivos modelos para o formato GEOTIFF DEM e utilizou-se a aplicação *ArcGIS 10* para comparar e quantificar as diferenças ao nível da variação de praia. Para o efeito, subtraiu-se¹⁸ ao MDS de Dezembro o MDS de Abril, gerando-se um *raster* com as diferenças de elevação registadas entre as duas datas.

A **Figura 72** e **Figura 73** abaixo apresentadas, ilustram os resultados obtidos com os MDS e as diferenças de elevação resultantes.

¹⁸ ArcGIS, *ArcToolbox*: Spatial Analyst Tools / Map Algebra / Raster Calculator.

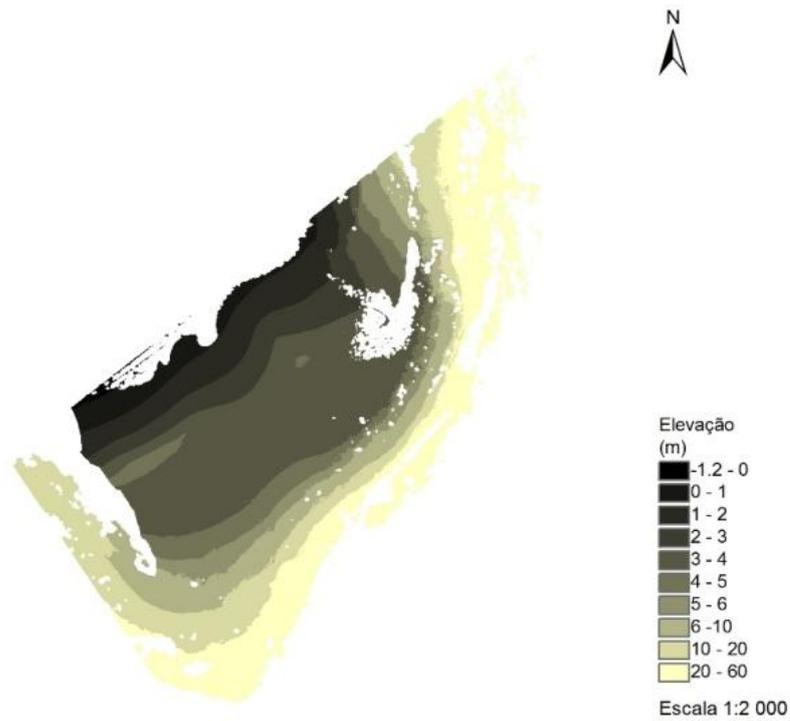


Figura 72 – MDS da praia dos Coxos (*Adaptive Triangulation*) gerado com os dados LS de Abril de 2011.

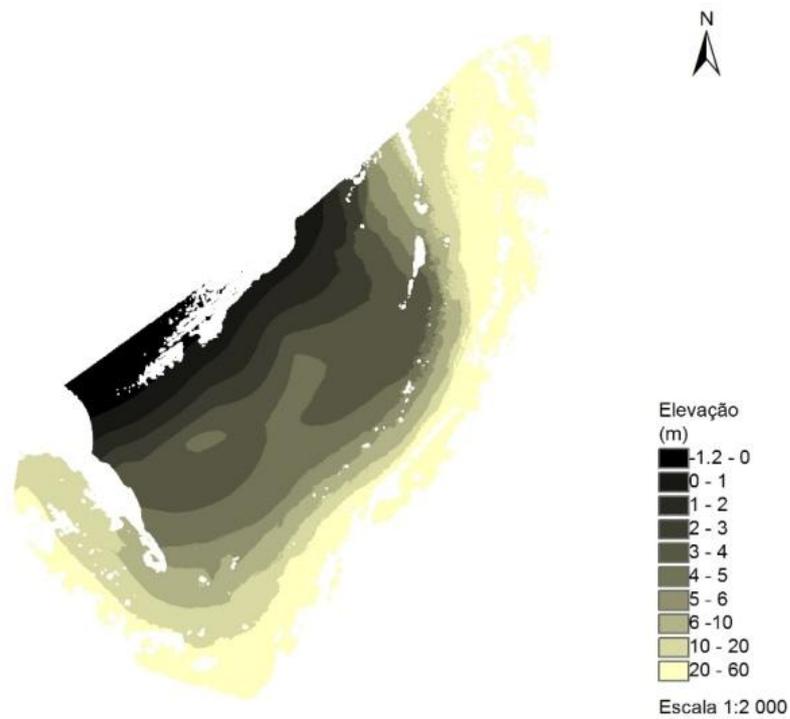


Figura 73 – MDS da praia dos Coxos (*Adaptive Triangulation*) gerado com os dados LS de Dezembro de 2011.

Pela observação dos dois MDS, verifica-se que em Dezembro há mais areia (cotas até 5 m) e inclusive observa-se que, a área a nordeste sem medições no MDS de Abril¹⁹ encontra-se cartografada no MDS de Dezembro. Ainda, na parte superior da praia, junto à arriba (cotas entre 5-6 m), observam-se em ambos os modelos pequenas zonas sem medições LS que ocorrem em áreas onde existem depósitos de sopé. Estes blocos de rocha geram “zonas de sombra” do lado oposto à direcção do impulso laser proveniente da estação E1 (**Figura 17**).

Na **Figura 74** e **Figura 75**, apresentam-se as diferenças de elevação obtidas pela subtracção dos dois modelos anteriores. De um modo geral, observa-se uma diferença no padrão de variações entre o areal e a arriba: no areal as diferenças de elevação exibem um padrão contínuo e regular enquanto na arriba as variações registadas são muito heterogéneas, exibindo valores com grande amplitude, com um padrão muito diferente do esperado.

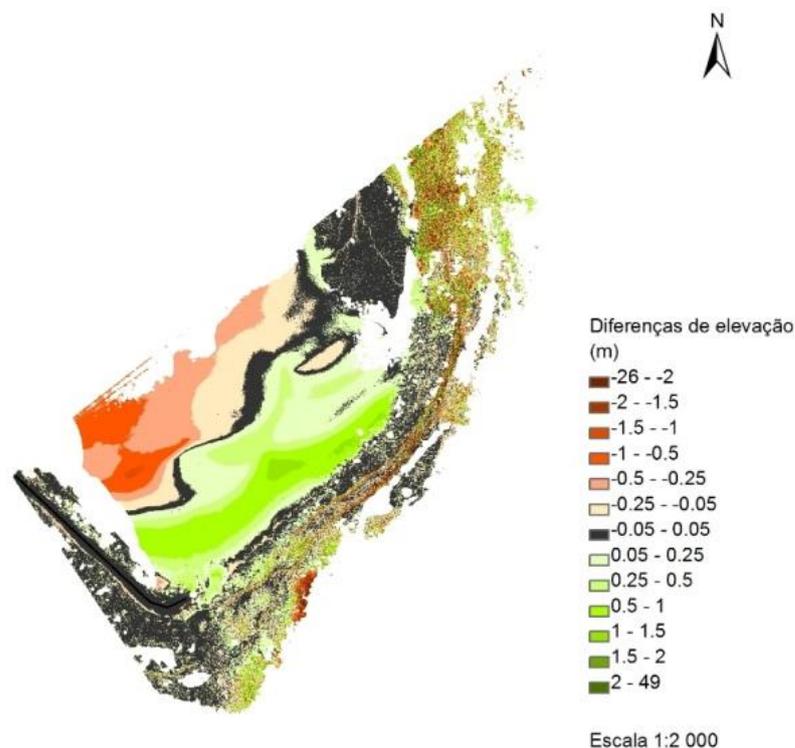


Figura 74 – Diferenças de elevação resultantes da subtracção entre os MDS de Abril e Dezembro 2011.

¹⁹ Área supostamente alagada; a autora não esteve presente nesta campanha e não foi possível confirmar esta informação.

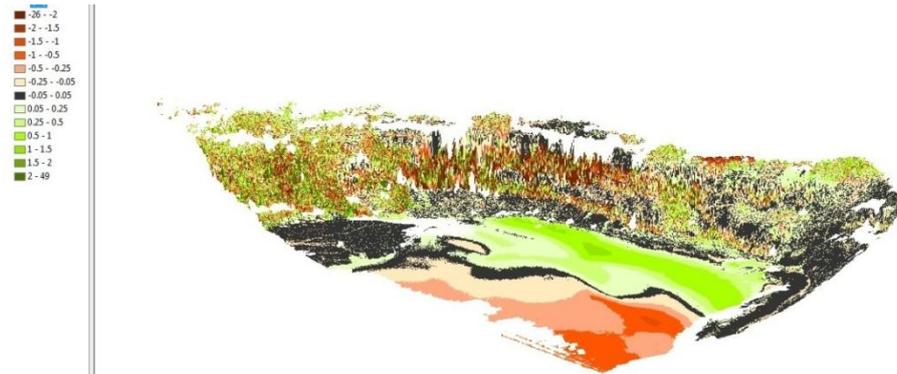


Figura 75 – Diferenças de elevação resultantes da subtração entre os MDS de Abril e Dezembro 2011, em perspectiva (sobre o MDS de Dezembro).

Para facilitar a interpretação dos resultados efectuou-se uma análise separada da superfície do areal e da arriba. Neste sentido, procedeu-se à respectiva individualização com base no *raster* das diferenças de elevação e na curva de nível dos 5 m do MDS de Abril²⁰. No areal foi excluída a área da plataforma rochosa (correspondente à zona cinzento-escuro a nordeste da **Figura 74**), por não representar o comportamento morfodinâmico da superfície de praia em análise.

AREAL

Quando se observa apenas a superfície de areia (**Figura 76**), constata-se que as variações dão-se essencialmente segundo o perfil transversal de praia. Para se compreender melhor a forma como estas alterações se relacionam com o perfil de praia definiram-se 3 perfis topográficos transversais (P1, P2 e P3).



Figura 76 – Diferenças de elevação no areal. Localização de 3 perfis transversais de praia.

²⁰ Foi digitalizado um polígono que depois se utilizou para fazer o recorte dos *raster's*, através do ArcGIS, *Data Management Tools / Raster / Raster Processing / Clip*.

Os perfis de praia foram extraídos²¹ a partir dos modelos digitais de superfície, nas duas datas (Figura 77, Figura 78 e Figura 79).

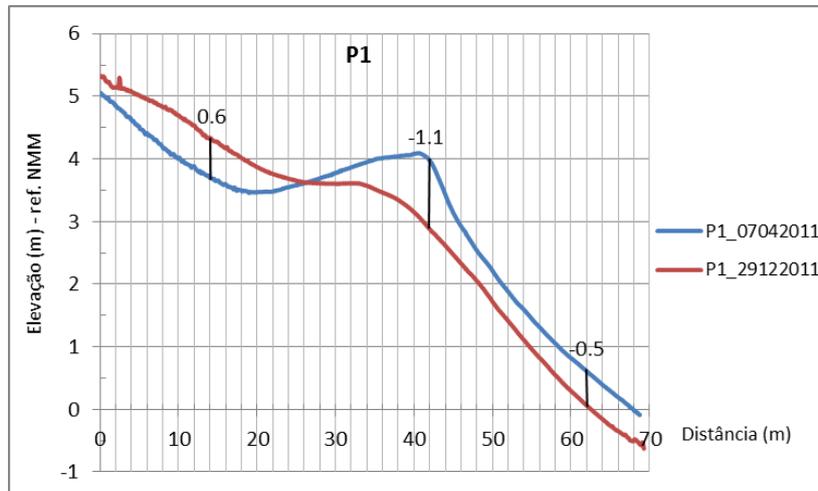


Figura 77 – Perfil P1. Os segmentos de recta a preto correspondem a diferenças de cota.

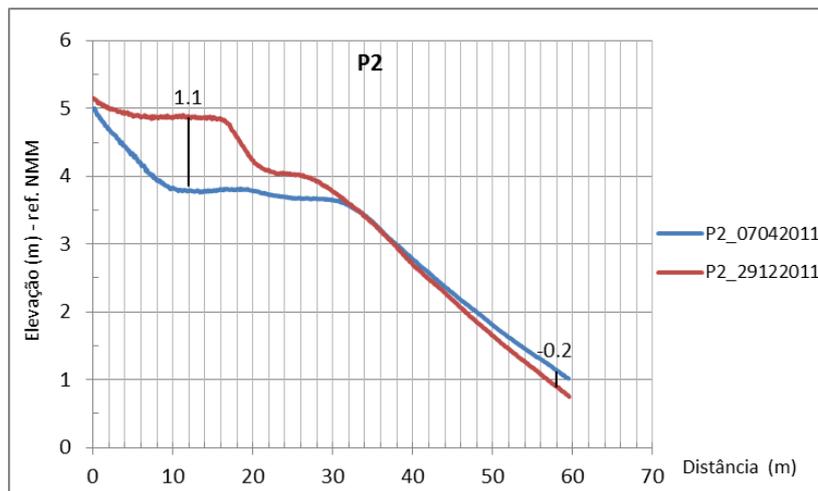


Figura 78 – Perfil P2. Os segmentos de recta a preto correspondem a diferenças de cota.

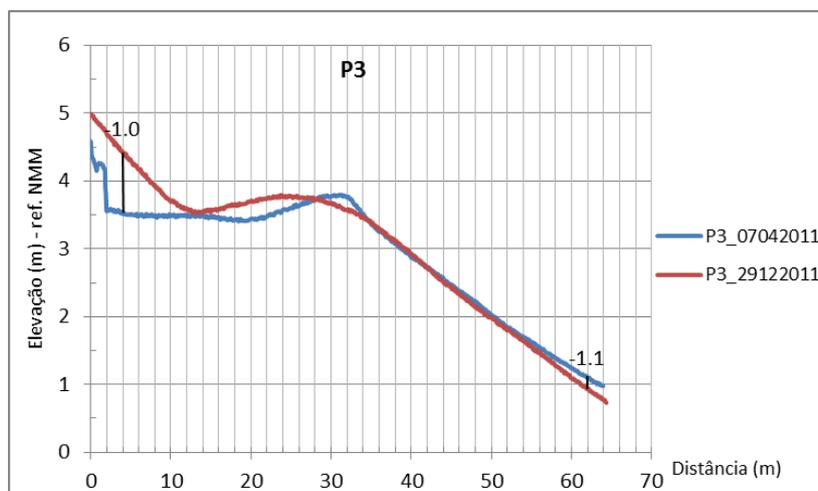


Figura 79 – Perfil P3. Os segmentos de recta a preto correspondem a diferenças de cota.

²¹ Extensão do ArcGIS, 3D Analyst / Interpolate Line / Profile Graph.

Verifica-se que a erosão está directamente relacionada com o recuo da face de praia e consequentemente da crista da berma. Este fenómeno ocorreu fundamentalmente a sudoeste (P1) tendo havido uma redução de cota aproximada de 0.5 m. Em P2 e P3, constata-se que o recuo da face de praia é muito inferior a P1, e apenas tem expressão na secção inferior, junto à zona de rebentação. Pelo contrário, a acreção efectuou-se na berma ao longo de toda a sua extensão (longitudinal e transversal). Contudo, verifica-se que é na zona central (P2), o local onde se deu a maior acumulação de areia, com um aumento de cota de cerca de 1 m.

Balanço Sedimentar

Para estimar o balanço sedimentar no areal da zona estudada entre Abril e Dezembro 2011, procedeu-se ao cálculo da variação de volumes²² (erosão e acreção) entre as duas datas. Para o efeito, utilizou-se o *raster* das diferenças de elevação e realizaram-se 2 operações de cálculo: volumetria e área acima e abaixo dos 0 m. Na **Tabela 18** apresentam-se os resultados obtidos. Constata-se haver um balanço positivo de 411m³ de areia entre as duas datas.

BALANÇO SEDIMENTAR	ÁREA (m ²)	VOLUME (m ³)
Acreção (acima dos 0m)	3752	1342
Erosão (abaixo dos 0m)	3141	931
Balanço	-	411

Tabela 18 – Cálculo de volumes com base no raster das diferenças de elevação.

De seguida, utilizou-se um outro método para a estimativa de volumes²³. Calculou-se o volume das diferenças de elevação directamente a partir dos MDS nas duas datas, com recurso à ferramenta *Cut/Fill*. Na **Tabela 19** e na **Figura 80** apresentam-se os resultados.

BALANÇO SEDIMENTAR	VOLUME (m ³)
Acreção	1344
Erosão	935
Balanço	409

Tabela 19 – Cálculo de volumes com base nos MDS de Abril e Dezembro.

²² ArcGIS, 3D Analyst Tools / Functional Surface / Surface Volume.

²³ ArcGIS, 3D Analyst Tools / Raster Surface / Cut Fill.

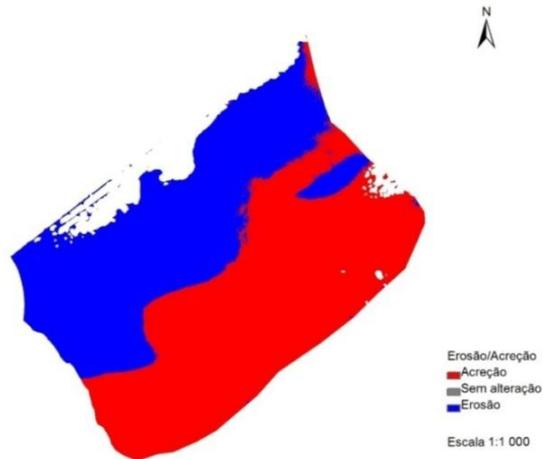


Figura 80 – Resultado gráfico do cálculo da diferença de volumes entre MDS com recurso à ferramenta *Cut/Fill* do ArcGIS.

Constata-se haver um aporte de 409 m^3 de areia entre as duas datas.

Comparando-se os resultados obtidos para o cálculo de volumes, pelos dois métodos, verificou-se existir uma ligeira discrepância de valores no volume total de acreção e de erosão, que gera uma diferença de cerca de 2 m^3 no balanço sedimentar. Considera-se esta diferença irrelevante (aproximadamente 0.5% de 410 m^3) e verificou-se estar relacionada com o domínio dos níveis matriciais a partir dos quais se processaram os cálculos: averiguou-se existirem pequenas diferenças nas fronteiras que sofreram corte para a individualização do areal (**Figura 81**).

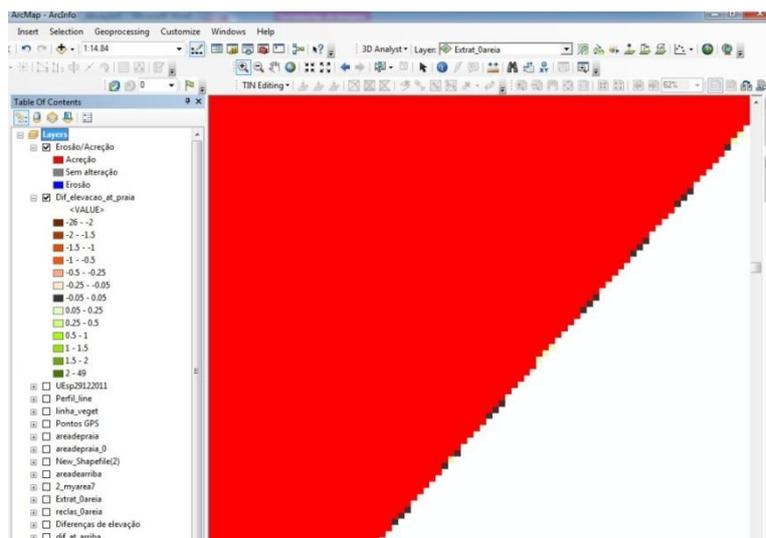


Figura 81 – Diferenças nos limites dos raster's utilizados no cálculo de volumes (por cima e a encarnado, raster do 1º método; por baixo e a preto, raster do 2º método).

Importância Erro Sistemático do Método no Cálculo do Balanço Sedimentar

Para se estimar a relevância do erro sistemático observado nos dados, de valor igual a 0.01 m, no balanço sedimentar, calculou-se o volume correspondente a 0.01 m em altura. Utilizaram-se os resultados de área exibidos na **Tabela 18** e apresentam-se a seguir os resultados (**Tabela 20**).

BALANÇO	ÁREA (m ²)	Altura (m)	VOLUME (m ³)
Acreção (acima dos 0m)	3752	0.01	38
Erosão (abaixo dos 0m)	3141		31

Tabela 20 – Cálculo de área e volume associados ao erro sistemático do método.

Verifica-se que os volumes associados a este erro são pequenos comparativamente com os valores totais, correspondendo a cerca de 3 % do volume total de erosão e de acreção (especificamente 3.3 % e 2.8 % respectivamente).

Importância dos Valores Anómalos na Análise da Evolução Morfológica do Areal

Uma vez que, inicialmente, não foi realizada nenhuma edição às nuvens de pontos para retirar valores anómalos, estes ficaram incluídos nos cálculos acima efectuados. Contudo e através do histograma do *raster* das diferenças de elevação, em *ArcGIS*, verificou-se existirem alguns valores anómalos²⁴ (**Tabela 21**). Assim e no sentido de quantificar a influência destes valores no cálculo do balanço sedimentar, gerou-se um novo *raster* das diferenças de elevação (para o areal) excluindo todos os valores superiores a três vezes o desvio padrão (1.251 m), cujas células tomaram o valor nulo²⁵. De seguida recalcularam-se²⁶ os valores de acreção e erosão. Os resultados obtidos encontram-se sintetizados na **Tabela 21** e **Tabela 22**.

²⁴ Estes valores foram excluídos da representação gráfica apresentada na Figura 76.

²⁵ *ArcGIS*, *Spatial Analyst Tools / Map Algebra / Raster Calculator*. Sintaxe: (Con (Abs(raster_x)<1.251,raster_x,)).

²⁶ *ArcGIS*, *3D Analyst Tools / Functional Surface / Surface Volume*.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	RASTER DAS DIF. ELEVAÇÃO (INICIAL) DO AREAL	RASTER DAS DIF. ELEVAÇÃO DO AREAL SEM VALORES SUPERIORES A 3s
Número de células	5 607 457	5 607 301
Mínimo	-16.311m	-1.248m
Máximo	40.897m	1.244m
Média	-0.052m	0.054m
Desvio padrão	0.417m	0.411m

Tabela 21 – Parâmetros estatísticos do *raster* das diferenças de elevação do areal na versão inicial e após eliminação dos valores superiores a 3s.

Verifica-se que os valores superiores a 1.251 m (3s) correspondem a 156 pixels ou seja representam apenas 0.003% do total de medições.

BALANÇO SEDIMENTAR	VOLUME (m ³)
Acreção (acima dos 0m)	1341
Erosão (abaixo dos 0m)	931
Balanço	410

Tabela 22 – Cálculo de volumes com base no *raster* das diferenças de elevação sem valores superiores a 3s (1.251m).

Constata-se que as diferenças são quase inexistentes, verificando-se apenas a diminuição em 1 m³ dos valores de acreção e do balanço sedimentar. Pelo que se conclui que, os dados de estudo do areal apresentam uma grande consistência, não havendo influência significativa de valores anômalos no cálculo dos volumes sedimentares.

SÍNTESE DE RESULTADOS

Da análise multitemporal da superfície do areal na praia dos Coxos verificou-se que entre Abril e Dezembro 2011, esta alterou o seu perfil através do recuo da face de praia e da elevação da berma, tendo havido um balanço sedimentar positivo de cerca de 410 m³ de areia. A erosão ocorreu maioritariamente na zona sudoeste da face de praia e a acreção, apesar de se distribuir ao longo da berma, acumulou-se mais na zona central da praia. O balanço sedimentar envolveu uma movimentação de areia, que derivou na remoção de cerca de 930 m³ de areia da face de praia e na acumulação de cerca de 1340 m³ de areia na berma de praia, originando uma variação máxima de cota entre -1.3 m e +1.4 m.

Na **Figura 82** e através da geração de curvas de nível (a partir dos MDS), observa-se o recuo da linha de costa com maior intensidade a sudoeste, materializado pela curva de nível de 1 m (e evidenciado pelas setas a vermelho). Observa-se também o recuo de toda a face de praia bem como a sua ondulação no sector NE, constituindo os denominados lobos de praia. Ainda e através da representação da localização da crista de berma, ao longo dos perfis, é visível o seu recuo bem como a existência de 2 cristas na zona central da praia.

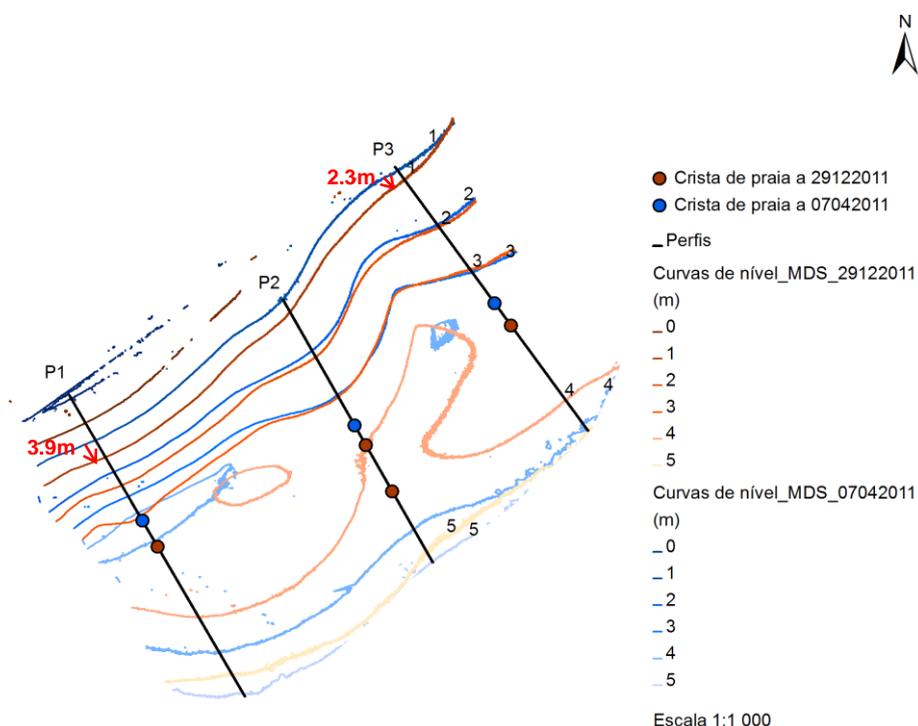


Figura 82 – Evolução da morfologia de praia entre Abril e Dezembro de 2011, materializada pelas curvas de nível.

ARRIBA

Como mencionado atrás e pela observação da **Figura 74** verifica-se que na arriba as variações de elevação são muito heterogéneas exibindo valores com grande amplitude, muito diferentes do esperado.

Contudo, verificou-se que os parâmetros definidos para a interpolação da superfície total da área de estudo não são adequados para o estudo numa arriba, uma vez que o tamanho máximo de triangulação fixado foi de 1m (distância máxima a um ponto real e tamanho máximo para o lado do triângulo). Como a interpolação neste domínio é realizada na vertical (segundo o eixo Z), dada a verticalidade da vertente, este valor é totalmente desajustado para a interpolação de superfícies muito inclinadas.

Desta forma, geraram-se novos MDS (aplicação QTM) apenas para a arriba. Neste sentido, as nuvens de pontos iniciais foram individualizadas pela área de arriba e apresentam as seguintes características (**Tabela 23**):

NUVENS DE PONTOS PARA A ÁREA DE ARRIBA			
Data	Nº de pontos	Densidade	Distância média
7/12/ 2011	3 112 273	436	0.0479
29/12/2011	3 627 267	447	0.0473

Tabela 23 – Características das nuvens de pontos de Abril e de Dezembro para a arriba.

Seleccionou-se para o método de interpolação *No Fill*, pelo que a única interpolação realizada é na geração do modelo matricial (células), não havendo lugar ao preenchimento de células vazias através da interpolação de valores vizinhos nem através de triangulação (**pág. 39**). O algoritmo escolhido foi o mínimo Z (*Minimum_Z*), para despistar o eventual crescimento de vegetação existente.

De acordo com a metodologia definida, exportaram-se os novos MDS para o formato GEOTIFF DEM e utilizou-se a aplicação ArcGIS para efectuar as análises, nomeadamente na geração de um novo *raster* de diferenças de elevação, através da subtração do MDS de Abril ao de Dezembro (**Figura 83**).

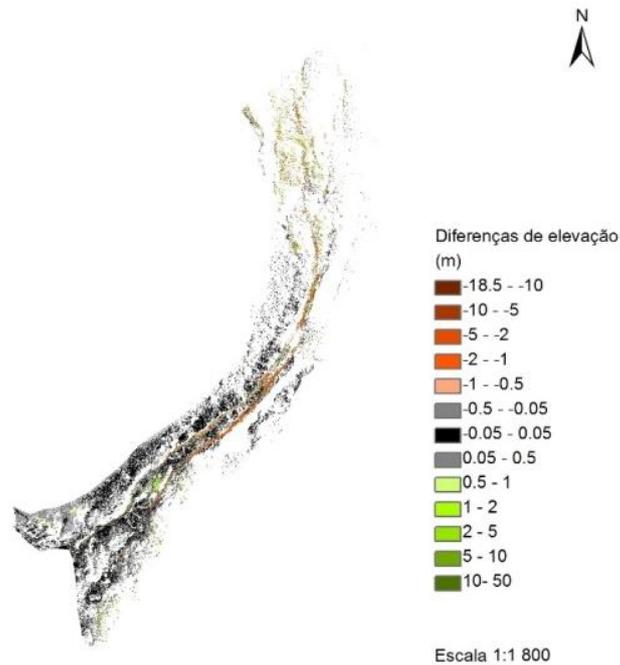


Figura 83 – Raster das diferenças de elevação na arriba resultantes da subtração entre os MDS de Abril e Dezembro de 2011.

Verifica-se igualmente a existência de valores muito anómalos e que não traduzem a realidade observada *in situ*. Considerando-se as áreas que exibem maior diferença de cota (acima de 0.5 m), observa-se que estas se distribuem a norte e em duas faixas ao longo da arriba. Para verificar a relação destes valores com o pendor, gerou-se o mapa de declives a partir do MDS de Dezembro da arriba²⁷ (Figura 84).

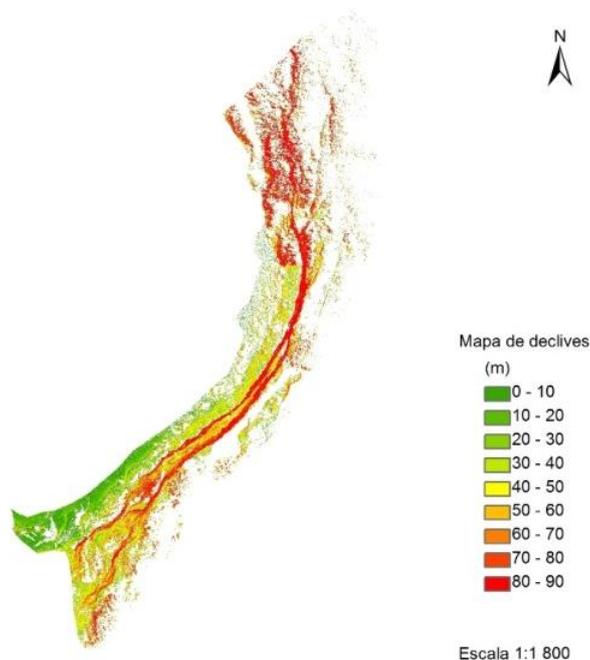


Figura 84 – Mapa de Declives da arriba (gerado com o MDS de Dezembro da arriba).

²⁷ ArcGIS, 3D Analyst Tools / Raster Surface / Slop.

Observa-se que os valores das diferenças de cota estão directamente relacionados com o declive: as zonas que apresentam diferenças de elevação até 0.5 m correspondem aos declives mais baixos (entre 0-40 m); as zonas que apresentam grandes diferenças de elevação correspondem aos declives mais elevados (40-90 m), sendo coincidentes com áreas vegetadas (a norte) e com bancadas em consola, ao longo da arriba (Fotografia 19 e Fotografia 20).



Fotografia 19 – Praia dos Coxos. Ilustração da arriba.



Fotografia 20 – Pormenor das bancadas em consola.

Pelo acima exposto, constata-se que a metodologia habitual e seguida nesta investigação para derivar superfícies não é apropriada para o estudo de relevos muito inclinados, uma vez que é uma interpolação que se faz “na vertical” *i.e.*, baseia-se na geração duma malha horizontal, em que a cada célula é atribuído um valor de Z correspondente a um parâmetro estatístico dos valores de elevação (máximo, mínimo ou média), não havendo sobreposição de valores em altura (Z). Deste modo os declives muito acentuados não são reproduzidos e pelo contrário são como que

“comprimidos” ou seja, para um determinado local de coordenadas (X,Y) todas as medições, entre o topo e a base da arriba, são reduzidas a um valor estatístico de Z (máximo, mínimo ou média).

SÍNTESE DE RESULTADOS

Verificou-se que a metodologia mais frequentemente utilizada para interpolar MDS não se adequa ao estudo de arribas, por haver uma projecção das medições no plano horizontal não sendo por isso possível reproduzir superfícies verticais. Colocam-se duas hipóteses para ultrapassar este problema não tendo sido, contudo, nenhuma testada por se considerar fora do âmbito deste trabalho: representação da face de arriba através duma alteração dos eixos projectados, substituindo a tradicional projecção (X,Y), por uma projecção (Y, Z), sobre a qual e com a metodologia usual se geraria um MDS e /ou utilização de malhas poligonais tridimensionais (*3D meshes*).

6.5.1.2. EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DEZEMBRO 2011 / JULHO 2012

Para fazer a análise da evolução morfológica da praia dos Coxos entre Dezembro de 2011 e Julho de 2012, tal como na secção anterior, procedeu-se à comparação entre os respectivos MDS. Seguiu-se a mesma metodologia para comparar e quantificar as diferenças ao nível da variação de praia. Na geração dos MDS os parâmetros utilizados foram exactamente os mesmos, com excepção do tamanho da célula que foi de 0.053 m.

Constatou-se que, ao gerar-se o *raster* das diferenças de elevação, este exhibe diferenças topográficas na estrada e na plataforma rochosa superiores a 0.05 m (valor acima do qual se consideram as diferenças significativas) o que se considerou ser um erro. Este erro pode estar relacionado com a incerteza existente no posicionamento do ponto de referência na campanha de 5 de Julho 2012²⁸. Desta forma, optou-se por se recalcular o MDS de Julho 2012²⁹, somando-se a todos os pixels o valor de 0.05 m. O resultado foi considerado positivo, tendo-se verificado que na geração das diferenças de elevação, a estrada de acesso à praia e a plataforma passaram a exhibir diferenças topográficas abaixo dos 0.05 m, conforme **Figura 85**.

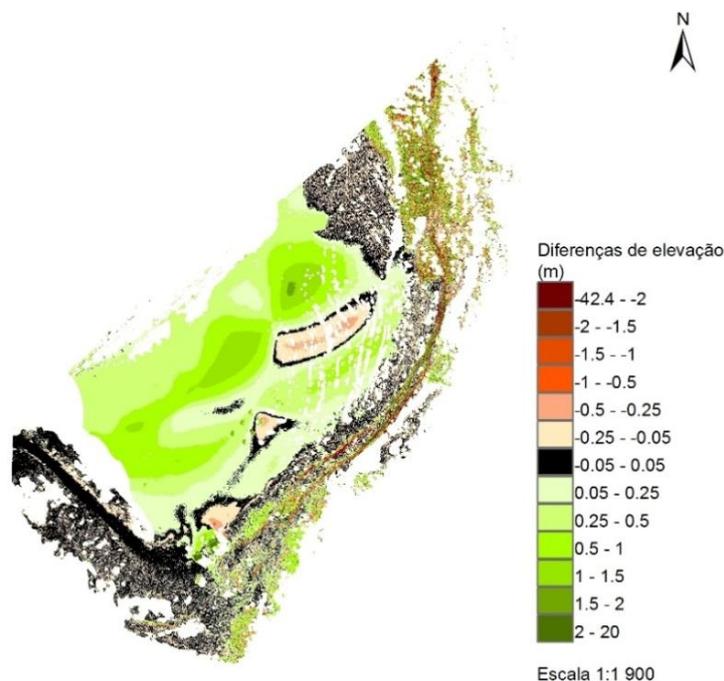


Figura 85 – Diferenças de elevação entre Dezembro 2011 e Julho de 2012, após a soma de 0.05 m a todas as células do MDS de Julho de 2012.

²⁸ Na campanha de 5 de Julho de 2012 utilizou-se o mesmo ponto de referência para o prisma que na campanha anterior (Dezembro 2011), não tendo sido tiradas novas coordenadas e cota com o GPS-RTK. Contudo, verificou-se *a posteriori* que provavelmente o local sofreu movimentações devido a operações de realocização dos apoios de praia.

²⁹ ArcGIS, Spatial Analyst Tools / Map Algebra / Raster Calculator. Sintaxe: (raster_x+0.05).

De seguida e para analisar apenas a superfície de praia, recortou-se o *raster* pelo areal de praia. Posteriormente procedeu-se à eliminação dos pixels correspondentes a 6 chapéus-de-sol³⁰ que se encontravam na praia nesta data e de seguida retiraram-se os valores anómalos, superiores a cinco desvios padrão (5s), ou seja superiores a 1.705 m. Com o *raster* resultante (**Figura 86**), efectuaram-se os cálculos do balanço sedimentar (**Tabela 24**).

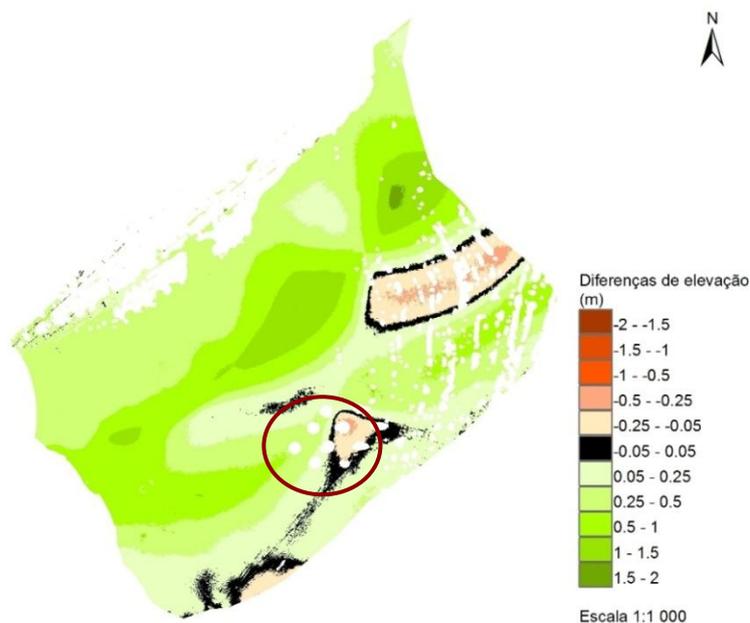


Figura 86 - Diferenças de elevação entre Dezembro 2011 e Julho 2012 no areal da praia dos Coxos. O círculo assinala as áreas eliminadas correspondentes aos chapéus-de-sol.

Balanço Sedimentar	Área (m ²)	Volume (m ³)
Acreção (acima dos 0m)	6237	2778
Erosão (abaixo dos 0m)	409	57
Balanço	-	2721

Tabela 24 – Cálculo do balanço sedimentar com base no *raster* das diferenças de elevação de Julho 2012, do areal da praia dos Coxos.

Verifica-se que houve grande acumulação de areia em toda a extensão de praia com excepção de duas zonas em que houve um ligeiro rebaixamento, traduzindo-se num balanço sedimentar positivo de 2721 m³.

³⁰ Criou-se uma *shape* com 6 círculos, correspondentes aos chapéus-de-sol, e cuja área foi retirada ao *raster* através da ferramenta ArcGIS, *Spatial Analyst Tools / Extraction / Extract by mask*.

Para se compreender a forma como estas alterações se relacionam com o perfil de praia realizaram-se igualmente os 3 perfis topográficos transversais para a data de Julho e compararam-se com os perfis nas datas anteriores (**Figura 87**, **Figura 88** e **Figura 89**).

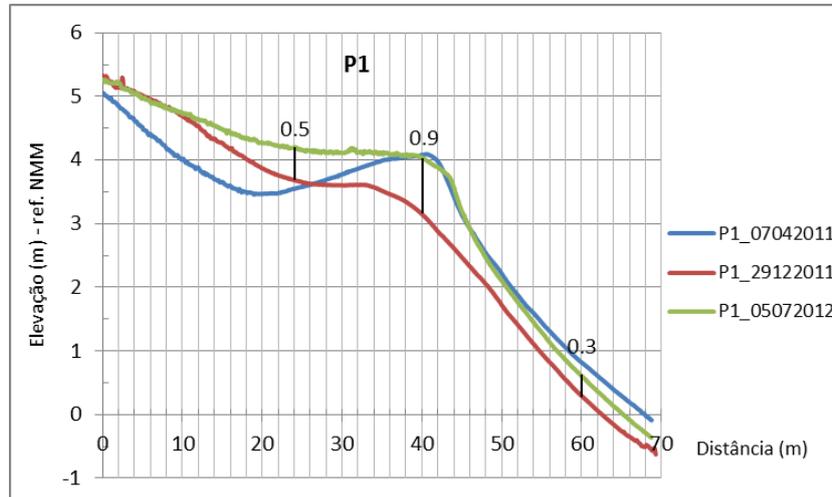


Figura 87 - Perfil de praia P1. Os segmentos de recta a preto correspondem a diferenças de cota entre Dezembro 2011 e Julho 2012.

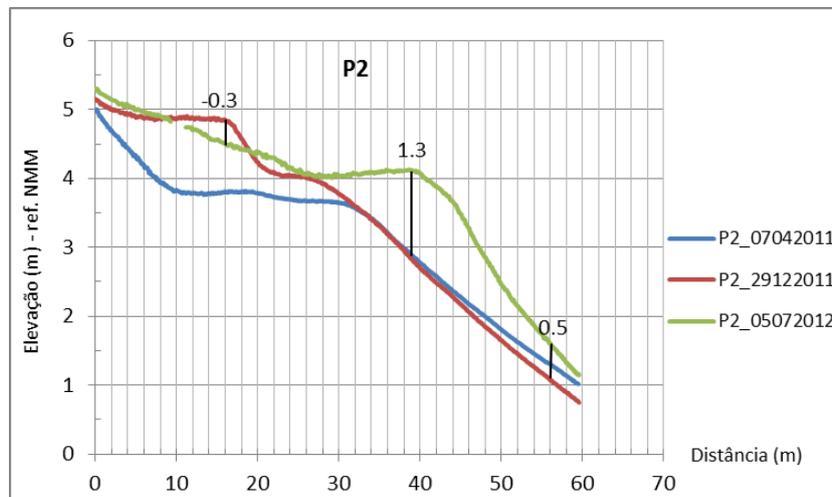


Figura 88 - Perfil de praia P2. Os segmentos de recta a preto correspondem a diferenças de cota entre Dezembro 2011 e Julho 2012.

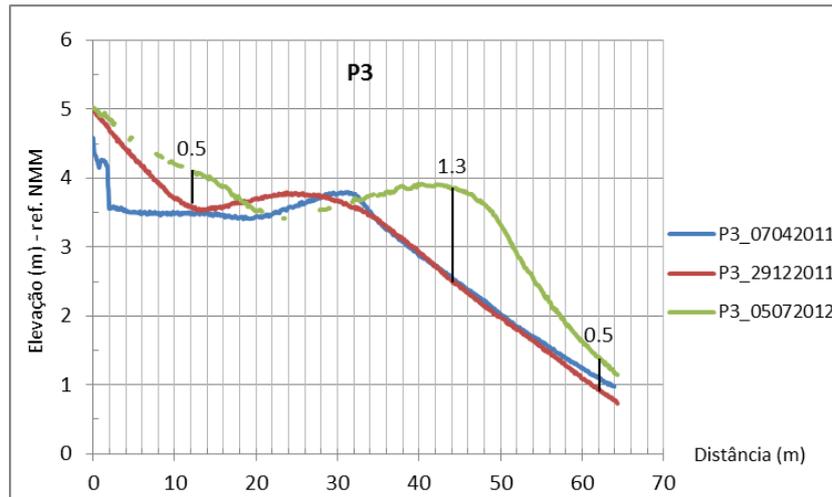


Figura 89 - Perfil de praia P3. Os segmentos de recta a preto correspondem a diferenças de cota entre Dezembro 2011 e Julho 2012.

Observa-se que a acumulação de areia deu-se essencialmente na face de praia, tendo havido um grande aumento de cota com a translação da crista de berma em direcção ao mar, produzindo-se um aumento da área de berma. Estas alterações dão-se essencialmente em P2 e P3 ou seja no centro e a nordeste do areal. Na zona mais sudoeste há um aumento de cota mas o perfil sofre menos alterações.

SÍNTESE DE RESULTADOS

As alterações ocorridas na praia dos Coxos, entre Dezembro de 2011 e Julho de 2012, materializam-se por uma rotação da configuração plana da praia através do avanço da crista progressivamente mais acentuado de SE para NW. Consequentemente a face de praia afigura-se mais rectilínea. Para visualizar todas estas modificações geraram-se curvas de nível (com base nos MDS) que se apresentam na **Figura 90**, onde se representa o recuo e avanço da crista de berma para as três datas estudadas.

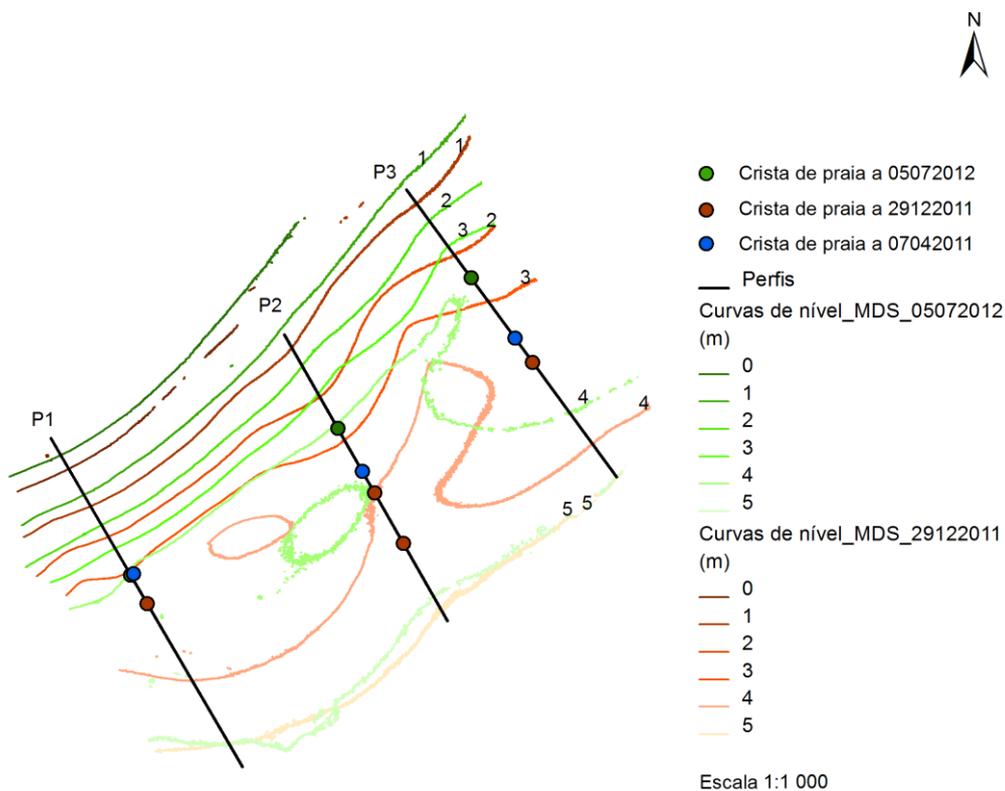


Figura 90 - Materialização, através de curvas de nível, da rotação do perfil de praia e da movimentação da crista.

Fazendo-se uma síntese dos resultados obtidos ao longo de todo o período de estudo, na praia dos Coxos, verificou-se numa primeira fase (entre Abril e Dezembro 2011) ter ocorrido um recuo da crista da berma (juntamente com o recuo da face de praia e elevação da berma) e numa segunda fase (entre Dezembro 2011 e Julho 2012) ter ocorrido reposição de areia na face de praia com translação da crista da berma no sentido do mar. O movimento da crista é mais acentuado no sector NE da praia. Estas alterações resultaram, no final do período em estudo, num aumento da área de berma.

6.5.1.3. BALANÇO SEDIMENTAR ENTRE LEVANTAMENTOS SUCESSIVOS

Para averiguar se as diferenças topográficas encontradas na aferição do erro, entre os dois levantamentos sucessivos efectuados a 5 de Julho, têm alguma expressão em termos de balanço sedimentar, gerou-se, de acordo com a metodologia atrás, um *raster* de diferenças de elevação sem os valores superiores 0.08 m correspondente a 3s (três desvios padrão). De seguida efectuaram-se os cálculos de volume de erosão e acreção. Os resultados apresentam-se na **Figura 91** e na **Tabela 25**.

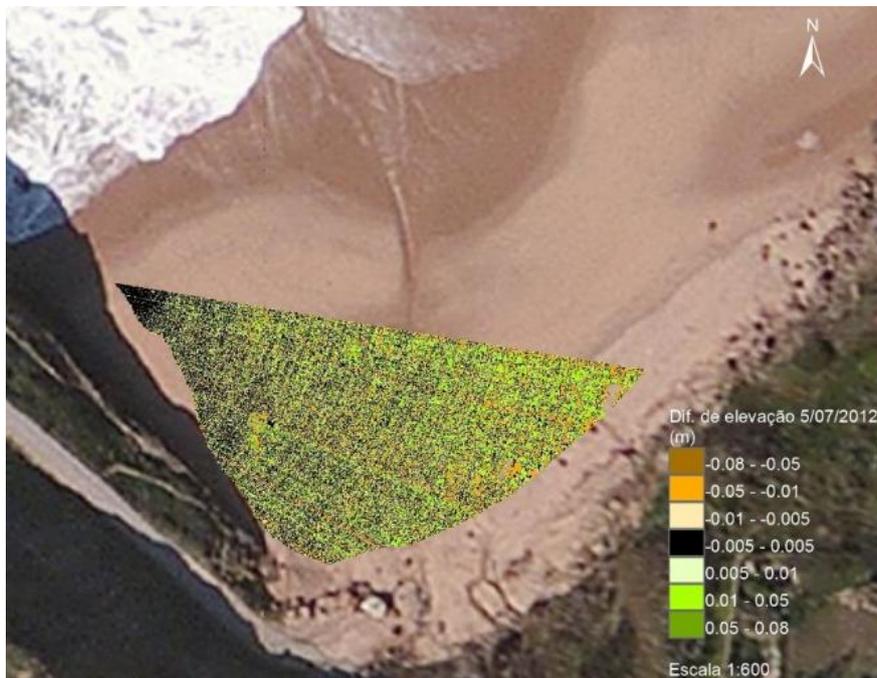


Figura 91 – Diferenças de elevação entre os dois MDS de 5 de Julho 2012.

Balanço Sedimentar	Área (m ²)	Volume (m ³)
Acreção (acima dos 0m)	628	4.8
Erosão (abaixo dos 0m)	505	3.5
Balanço	-	1.3

Tabela 25 – Cálculo do balanço sedimentar entre os MDS de 5 Julho 2012.

Verifica-se, tal como esperado, que as diferenças de cota mensuradas entre os dois levantamentos consecutivos na campanha de 5 de Julho, não têm expressão em termos de balanço sedimentar, tendo-se contabilizado uma variação em cerca de 1 m³.

6.5.2. PRAIA DO MAGOITO (EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DEZEMBRO 2011 / JANEIRO 2012)

Para a análise da evolução morfológica da área de estudo na praia do Magoito (**Figura 18**) ocorrida entre as campanhas de Dezembro 2011 e Janeiro 2012 isto é, ao longo de 19 dias, seleccionou-se apenas os dados que abrangem o areal com os quais se geraram dois MDS (um por campanha). Utilizou-se a mesma metodologia seguida para a praia dos Coxos, tendo-se gerado um *raster* das diferenças de elevação com o qual se analisou e quantificou as diferenças de cota, os padrões de erosão/acreção e o balanço sedimentar.

Nesse sentido, na geração dos modelos usaram-se os mesmos parâmetros atrás definidos e que se sintetizam na **Tabela 26**. O tamanho da célula foi definido em 0.062 m (correspondente ao valor mais elevado, entre as duas nuvens de pontos, da distância média entre pontos).

Método de interpolação	<i>Adaptive Triangulation</i>
Algoritmo	<i>Mean Z</i>
Tamanho máximo de triangulação	1 m

Tabela 26 – Parâmetros utilizados na geração dos MDS para a praia do Magoito.

Após geração dos modelos, utilizou-se o *ArcGIS* para efectuar as análises. A **Figura 92** e **Figura 93**, abaixo apresentadas, ilustram os resultados obtidos.

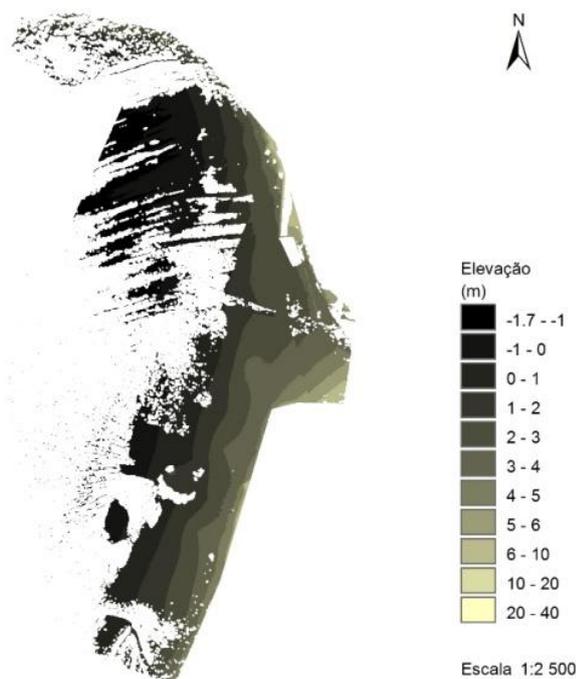


Figura 92 – MDS (AT) gerado com os dados LS de Dezembro 2011.

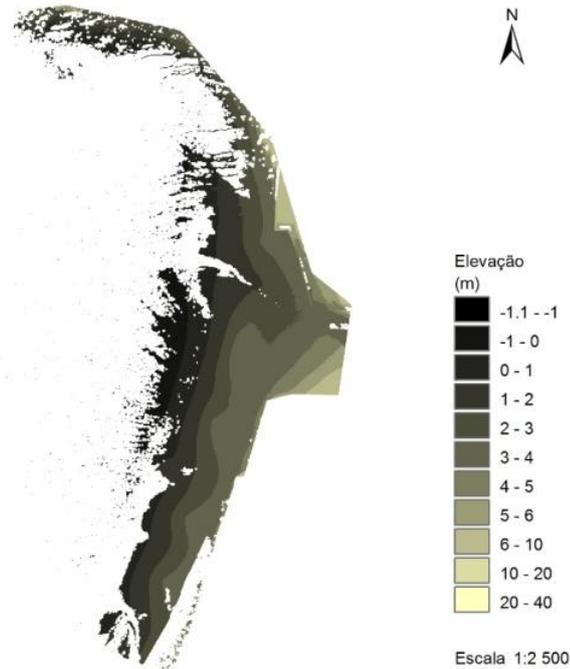


Figura 93 - MDS (AT) gerado com os dados LS de Janeiro 2012.

Observa-se que parte da plataforma rochosa identificada no MDS de Dezembro 2011 (a norte), não o foi na campanha de Janeiro 2012. Isto deveu-se ao facto de, nesta data, esta zona encontrar-se submersa pela maré. Verifica-se, também, existirem diferenças relevantes no canal da linha de água que desagua na praia, apresentando-se este rectilíneo em Dezembro e ligeiramente meandrizado em Janeiro.

Na **Figura 94** apresenta-se o *raster* das diferenças de elevação resultante da subtracção dos modelos acima ilustrados.

Refere-se que as nuvens de pontos não sofreram nenhum tratamento prévio no sentido de serem retiradas medições anómalas (pessoas, equipamento, etc.) pelo que, *a posteriori* e tal como efectuado no estudo anterior (no areal da praia dos Coxos), no *raster* das diferenças de elevação, eliminaram-se³¹ os valores muito díspares, superiores em valor absoluto a 1.74 m (correspondente a 5s). Contudo, averigua-se pelo *raster* resultante que as diferenças de elevação, com representação significativa, não excedem em valores absolutos 1.5 m, correspondendo os valores superiores igualmente a medições anómalas (**Figura 94**).

³¹ ArcGIS, Spatial Analyst Tools / Map Algebra / Raster Calculator. Sintaxe: (Con (Abs(raster_x)<1.74,raster_x,).

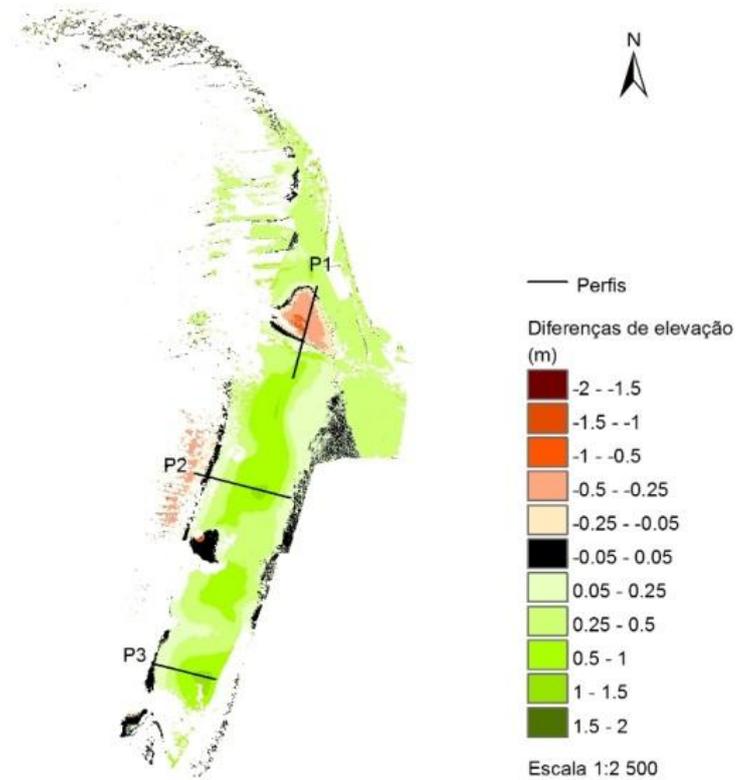


Figura 94 – Diferenças de elevação resultantes da subtração entre o MDS de Dezembro 2011 e de Janeiro 2012. Localização de 3 perfis de praia.

Observa-se um padrão regular, evidenciando-se essencialmente uma acumulação de sedimento ao longo de toda a praia. As áreas onde ocorreu erosão são reduzidas e limitadas a dois locais: um na zona da plataforma rochosa e outro junto à margem direita da secção terminal do rio da Mata.

Para estimar o balanço sedimentar procedeu-se ao cálculo de volumes utilizando-se para o efeito o *raster* das diferenças de elevação³², cujos resultados apresentam-se na **Tabela 27**.

Balanço Sedimentar	Área (m ²)	Volume (m ³)
Acreção (acima dos 0m)	10269	3548
Erosão (abaixo dos 0m)	1355	238
Balanço	--	3310

Tabela 27 – Cálculo de volumes com base no *raster* das diferenças de elevação.

Verifica-se haver um balanço sedimentar positivo de 3310 m³ de sedimento.

³² ArcGIS, 3D Analyst Tools / Functional Surface / Surface Volume.

Para se avaliar a evolução morfológica do areal realizaram-se três perfis topográficos, P1 a P3, como ilustrado na **Figura 94**. O perfil P1 é transversal ao canal da linha de água e os perfis P2 e P3 são transversais à secção de praia. Apresentam-se a seguir os resultados (**Figura 95 a Figura 97**).

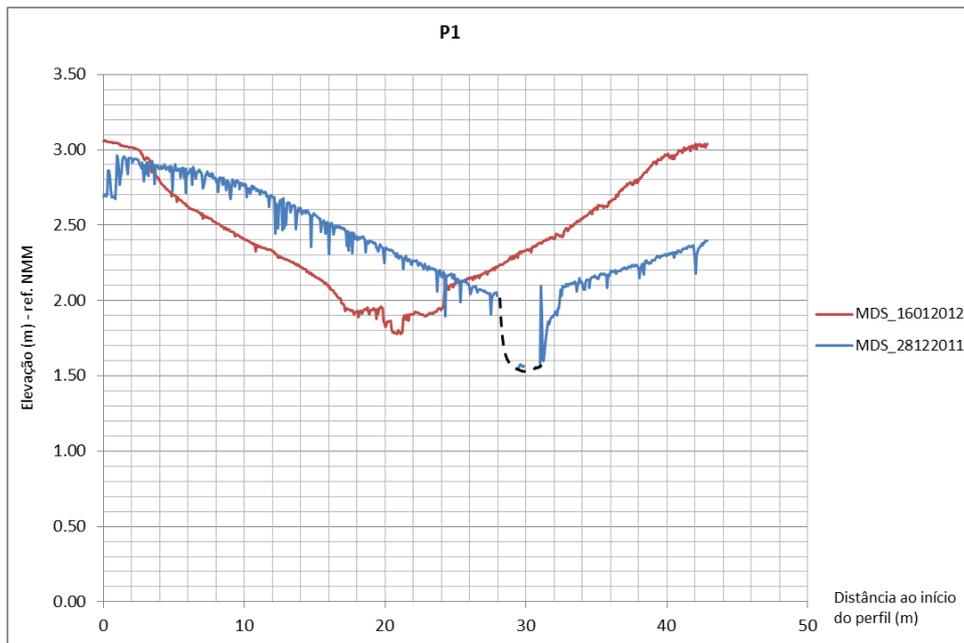


Figura 95 – Perfil transversal ao canal da linha de água na praia do Magoito (P1). A preto e a tracejado, linha imaginária da margem direita do canal da linha de água.

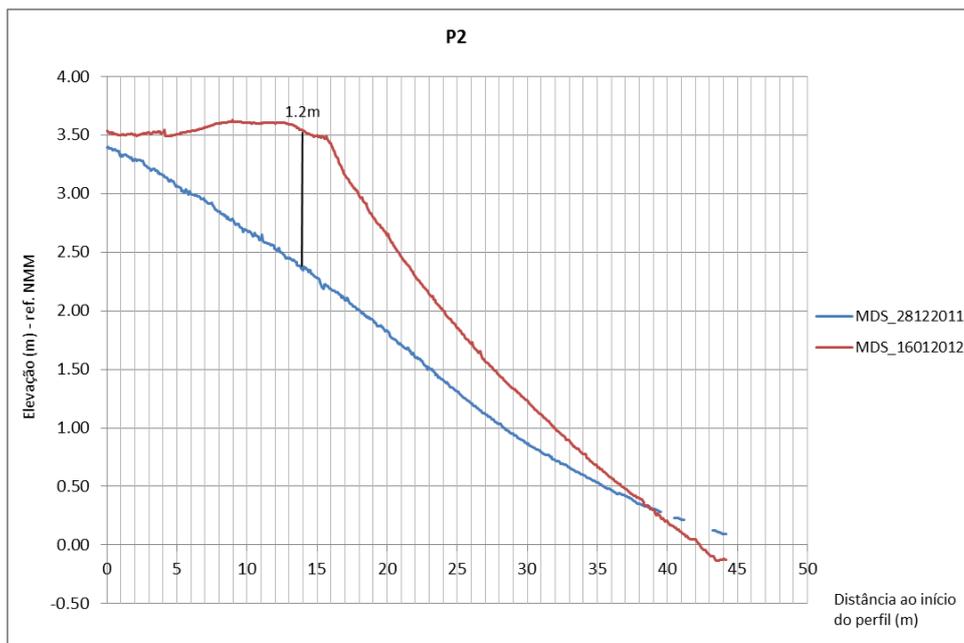


Figura 96 – Perfil de praia no Magoito (P2).

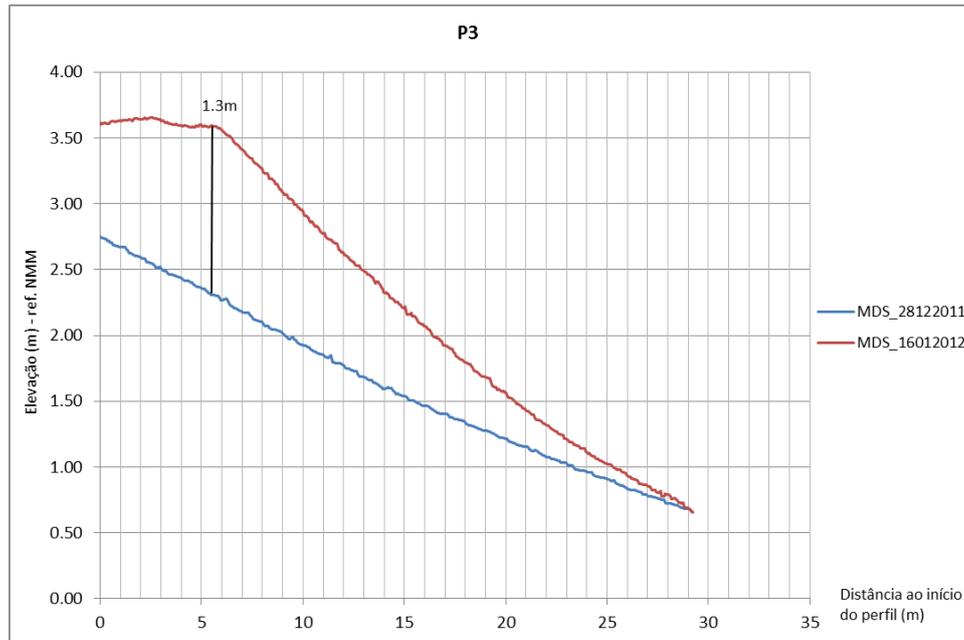


Figura 97 - Perfil de praia no Magoito (P3).

Pela análise do gráfico do perfil P1 (correspondente a uma secção da linha de água), observa-se que, além de erosão da margem direita e acumulação de sedimento na margem esquerda do canal de linha de água (evidenciado no *raster* das diferenças de elevação), este sofreu, nesta secção, um alargamento em cerca de 3.5 m e uma translação para norte aproximada de 10 m. Observa-se também uma subida da cota do fundo do canal em cerca de 0.25 m.

Verifica-se, ainda, que as medições do dia 28 de Dezembro apresentam-se com muitas irregularidades e a explicação para este facto não se encontra esclarecida.

Quanto aos perfis transversais à secção de praia (P2 e P3), observa-se uma grande acumulação de sedimento na face de praia com a formação da crista de berma e consequente encurtamento da face de praia. Para a formação da crista houve uma subida de cota em cerca de 1.2 a 1.3 m.

Na **Figura 98**, através das curvas de nível geradas com os MDS, observa-se o fenómeno de acumulação de areia (pelo avanço das curvas de nível), essencialmente entre as cotas dos 2 e 3 m. Verifica-se que em Dezembro a face de praia se estendia até à base da arriba, sendo praticamente inexistente as morfologias de crista e berma de praia (a separação entre as curvas de nível é aproximadamente constante). Em Janeiro, devido à acumulação de areia, desenvolveu-se uma berma (à cota 3 e 4 m) com crista sensivelmente aos 3 m.

Observa-se, também, que o areal à esquerda da linha de água não é rectilíneo e forma lobos de praia.

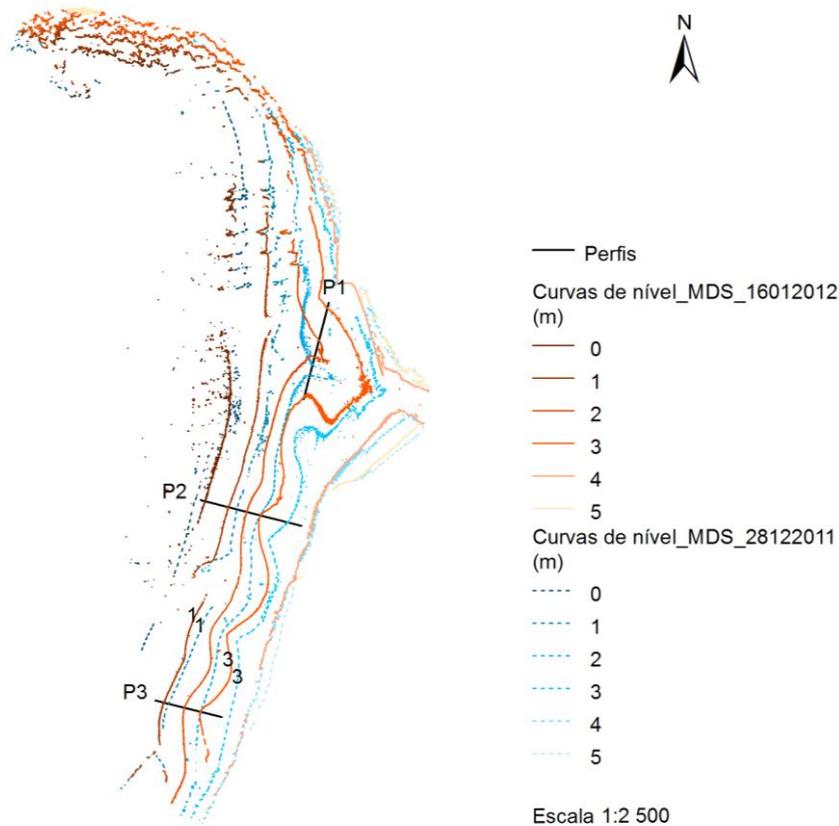


Figura 98 – Evolução da morfologia de praia do Magoito materializada pelas curvas de nível.

SÍNTESE DE RESULTADOS

A análise morfológica da área em estudo na praia do Magoito entre Dezembro de 2011 e Janeiro de 2012 permitiu deduzir as seguintes alterações:

- modificação da secção terminal da linha de água, através de ligeira meandrização, havendo erosão da margem direita e acumulação de sedimento na margem esquerda.
- acumulação de areia ao longo de quase todo o perfil de praia (longitudinal e transversal) materializada pelo desenvolvimento de uma berma de praia, que envolveu aproximadamente 3300 m³ de areia.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho pretendeu avaliar a aplicabilidade do uso do LiDAR terrestre, usualmente referido de LS, ao estudo da morfodinâmica de praias encaixadas. Do estudo acima exposto, conclui-se que esta tecnologia é adequada para o estudo de área porque permite uma cobertura espacial muito detalhada facilitando os estudos de fenómenos à escala alargada do litoral. Tem o constrangimento do alcance máximo, podendo ser necessário a definição de várias estações para um mesmo local. Também, obstáculos ao sinal e que produzam zonas de sombra podem obrigar à aquisição dos dados a partir de várias estações.

Uma das limitações inerentes a este tipo de aparelhos relaciona-se com a cartografia de áreas saturadas de água, sendo o sinal laser usualmente absorvido pela água. Pelo que em estudos costeiros, existem limitações para a cartografia da área intertidal. Nesse sentido e para se cartografar abaixo do plano de água o GPS é o equipamento mais adequado.

Num areal de praia e acima do plano de água averiguou-se que os levantamentos topográficos com o LS e com o GPS apresentam elevada correlação diferindo menos de 0.05 m - 0.07 m para 95 % das medições. Refere-se que uma limitação relacionada com a utilização do GPS, em levantamentos de praias encaixadas limitadas por arribas, respeita à recepção do sinal proveniente dos satélites que é por vezes interrompido pelas barreiras físicas existentes na área. Este facto foi relevante no levantamento da praia dos Coxos, onde a recepção do sinal GPS foi frequentemente interrompida, impedindo medições junto à arriba.

Verificou-se existir um ligeiro aumento do erro com a distância ao LS inerente ao funcionamento do aparelho, que se observou ser consequência da densidade da nuvem de pontos diminuir com a distância. Esta circunstância significa que a resolução dum MDS gerado a partir de dados LS diminui com a distância.

Apesar de teoricamente ser possível obter dados topográficos, relativos ao levantamento LS de um areal de praia, até uma distância de 225 m com uma resolução mínima de 1 m (considerando-se o LS a uma altura de 1.5 m) a prática, neste trabalho, demonstrou que essa distância geralmente não ultrapassa 100-130 m, devido à diminuição da intensidade do sinal reflectido com o aumento da distância e que é consequência de maior obliquidade entre o sinal e o alvo. Refere-se que estas

conclusões se encontram baseadas apenas num levantamento de campo (praia de Paredes da Victória), pelo que estes valores devem ser considerados indicativos.

Constatou-se que o tipo de superfície incidente afecta os resultados obtidos com o LS. Em superfícies artificiais e pouco rugosas (como uma estrada), obteve-se uma precisão de 0.015 m para 95 % dos dados, sendo que 60 % dos dados têm um erro inferior a 0.005 m. Em superfícies onduladas, como o areal duma praia, obteve-se uma precisão de 0.025 m para 95 % dos dados, sendo que cerca de 37 % apresentam um erro inferior a 0.005 m.

A metodologia seguida na georreferenciação dos dados introduziu um erro significativo quando comparado com o erro teórico do próprio aparelho (4mm a 150 m). No estudo presente, este foi de 0.01 m \pm 0.0055 m associado ao método de posicionamento do LS e do prisma que serviu de ponto de referência (com GPS-RTK e fita-métrica).

Verificou-se que para estudos de evolução morfológica de praias, esta técnica pode-se revelar muito vantajosa face a outras já utilizadas (Estação total e equipamentos GPS). O facto de o LS facultar rapidamente uma cobertura integral de área permite, *a posteriori*, quer a identificação dos locais de maior interesse para a realização de perfis de praia, quer a determinação do balanço sedimentar através do cálculo das variações volumétricas.

As análises efectuadas com os dados LS à praia dos Coxos, permitiram concluir que as variações morfológicas nesta praia são assimétricas implicando um mínimo de dois perfis de praia para a caracterizar. Durante o período em estudo deu-se uma rotação do perfil de praia de sudeste para noroeste e vice-versa. Inicialmente observou-se a existência de lobos de praia a nordeste, tendo estes sido atenuados posteriormente. Os dados possibilitaram, ainda, determinar um balanço sedimentar positivo ao fim de 15 meses de 3100 m³.

Igualmente, para a área de estudo definida na praia do Magoito, os dados LS permitiram observar que ao fim de 19 dias, houve uma acumulação de sedimento ao longo de todo o perfil transversal e longitudinal de praia, com excepção da margem direita da linha de água, que a atravessa, onde ocorreu erosão conjuntamente com uma ligeira meandrização do canal, tendo-se estimado um balanço sedimentar positivo de 3300 m³.

Estimou-se uma precisão do método para estudos no areal de 0.025 m, o que permite a realização de pesquisas de topografia detalhada, nomeadamente de rugosidade tendo-se estimado na praia dos Coxos, para o areal seco, um valor entre 0.05 m e 0.06 m. Verificou-se que estes resultados estão em conformidade com Petermans, 2011, estudo no qual é estimado um erro entre 0.01-0.03 m com o método de LiDAR terrestre.

Pelo acima exposto, conclui-se que para estudos de topografia detalhada, é essencial que a metodologia escolhida (equipamento / procedimento) resulte numa precisão dos dados maior que 5 cm. Pelo contrário, na avaliação sazonal da evolução morfodinâmica e cálculo do balanço sedimentar de praias, é aceitável uma precisão na ordem dos 5 cm, pelo que se constata que a utilização do LS adequa-se aos dois tipos de investigação.

Também e contrariamente ao esperado, verificou-se a possibilidade em registar algumas características da agitação incidente sendo uma condicionante o aparelho LS situar-se num ponto elevado de forma a reduzir a obliquidade do sinal com a superfície alvo. Este resultado foi válido nos 3 levantamentos efectuados à praia dos Coxos e com muito menor expressão no levantamento da praia de São João.

Para se poder estimar o tempo envolvido na obtenção de dados, com esta tecnologia, desde a sua aquisição em campo até ao seu processamento, apresenta-se abaixo um fluxograma de procedimentos (**Figura 99**) indispensáveis para o levantamento numa praia semelhante à praia dos Coxos, cuja área digitalizada foi cerca de 2.3 ha. Note-se que apesar da campanha de campo ter abrangido a digitalização do areal e arriba, a análise aos dados aqui contemplada concerne apenas o areal de praia cuja área aproximada é de 0.7 ha.

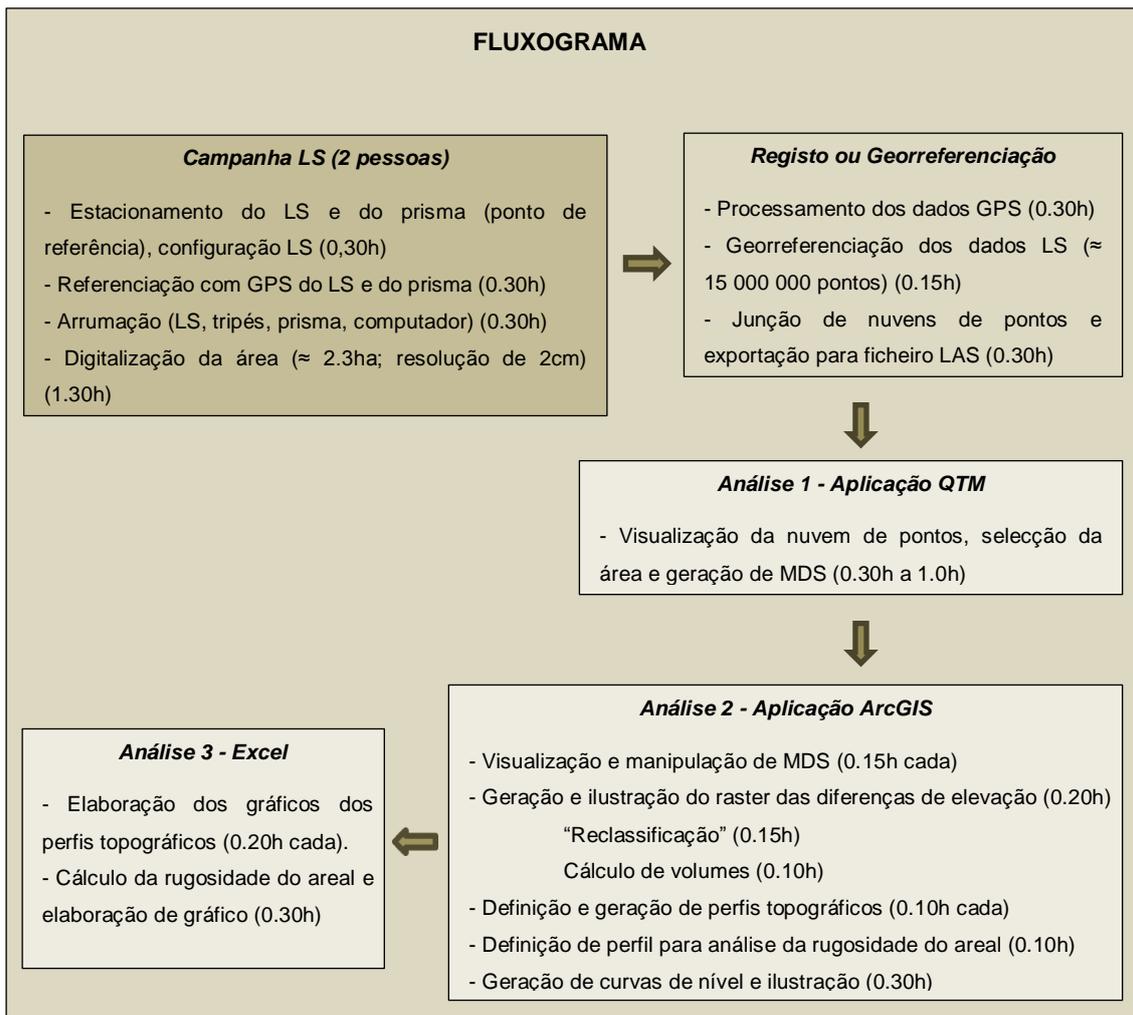


Figura 99 – Fluxograma de procedimentos.

Estimou-se para a campanha de campo uma duração de cerca de **3.00h** (considerando-se que enquanto um operador faz a digitalização o outro pode determinar as coordenadas com o GPS).

Para o registo dos dados e exportação em ficheiro LAS (coordenadas e intensidade do impulso laser) o tempo estimado é de **1.15h**. Note-se que existe a possibilidade de se obter também informação RGB para cada medição da nuvem de pontos, o que demora aproximadamente 0.30h a mais para uma nuvem com cerca de 15 000 000 pontos.

Para a análise de dados e considerando-se que o operador está familiarizado com a metodologia e procedimentos, estima-se um tempo de duração total (análise 1, 2 e 3) de **5.00h** aproximadamente, considerando-se a geração de 2 MDS e a definição de 3 perfis topográficos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para se obter os melhores resultados com esta tecnologia, é necessário avaliar previamente os melhores locais de estacionamento do aparelho. Nesse sentido, deve-se considerar quer o alcance do LS, face à área sob investigação, quer a obliquidade entre o sinal e o alvo (devendo esta ser a menor possível). É vantajoso definir pontos fixos para o estacionamento do LS e para o ponto de referência sempre que se pretende realizar mais do que um levantamento ao mesmo local, de forma a minimizar os efeitos do erro relativo ao método (georreferenciação). Ainda, recomenda-se o estabelecimento dos mesmos critérios respeitantes aos parâmetros de configuração do LS e altura do aparelho, em campanhas sucessivas.

É importante definir previamente a área de investigação, segundo os objectivos, para que durante as campanhas de campo não se proceda ao levantamento excessivo de área. Este facto é muito pertinente quando confrontamos técnicas diferentes de levantamento uma vez que, além de obrigar a mais tempo de campanha significa mais tempo de processamento de dados, condição que pode comprometer a opção por esta tecnologia.

Recomenda-se, sempre que possível, incluir na área sob investigação alguns elementos fixos, tais como estradas, casas, postes, etc., uma vez que permitem aferir a exactidão de várias nuvens de pontos para o mesmo local.

Apesar da portabilidade deste tipo de aparelhos aconselha-se que as campanhas de campo incluam pelo menos 2 pessoas, especialmente se o local de investigação obriga a transportar a pé todo o equipamento (LS, tripés, computador, GPS, etc.).

Refere-se que, neste trabalho, os estudos efectuados foram baseados apenas na posição da superfície e do erro em altura associado às medições. Não foi realizada nenhuma avaliação relativa à intensidade do eco devolvido, tendo este sido utilizado apenas como filtro da nuvem de pontos. O valor da intensidade permitiu a identificação dum conjunto muito variado de padrões espaciais através do reconhecimento de diferentes texturas e revela grande detalhe das superfícies em análise.

Para se avaliar todo o potencial destes aparelhos, é necessário investigar como se relaciona a intensidade do eco devolvido com a distância ao LS, a obliquidade entre o sinal emitido e a superfície incidente, o conteúdo de humidade e textura da superfície incidente.

De seguida resumem-se as limitações e as potencialidades mais relevantes no uso da tecnologia do LiDAR terrestre para o levantamento de praias, através duma análise SWOT³³. Este tipo de análise permite de uma forma simples fazer uma avaliação estratégica da utilidade do LiDAR terrestre relativamente às vantagens e desvantagens associadas ao mesmo (**Tabela 28**).

ANÁLISE SWOT			
ORIGEM DO FACTOR	INTERNA (Aparelho)	AJUDA	PERTURBA
		<p style="text-align: center;">Forças</p> <ul style="list-style-type: none"> - Portabilidade e simplicidade de utilização, permitindo a sua utilização logo após eventos singulares (tempestades, etc.) ou que carecem de vigilância sistemática; - Elevada resolução espacial adequando-se ao levantamento de morfologias litorais com padrão espacial complexo (edifícios dunares, secção terminal de linhas de água, etc.) e de topografia detalhada do areal. - Produção de grande quantidade de dados em pouco tempo, fazendo reduzir o trabalho de campo. - Técnica simples e de baixos custos (comparativamente com a fotografia aérea). 	<p style="text-align: center;">Fraquezas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alcance relativamente reduzido para levantamento de praias pelo que se torna necessário realizar várias estações, para praias de média extensão. - Fraco retorno em áreas saturadas de água o que dificulta o levantamento das áreas intertidais. - Produção de “áreas sombra”, caso não se cartografe de vários ângulos. - Necessidade de <i>software</i> específico para processamento de grandes quantidades de dados.
	EXTERNA (Ambiente)	Oportunidades	Ameaças
	<ul style="list-style-type: none"> - Cobertura espacial integral permitindo o levantamento simultâneo de elementos morfológicos transversais (perfis de praia) e longitudinais (lobos de praia). - Levantamento simultâneo da praia e de morfologias adjacentes de difícil acessibilidade (arriba e plataforma rochosa). - Em condições óptimas permite avaliar as características da agitação marítima incidente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Condições meteorológicas: não se pode cartografar se estiver a chover por interferir com o sinal; muito vento pode também condicionar a aquisição dos dados e temperaturas extremas de calor ou frio afectam a unidade laser. - Pessoas, animais ou objectos no local de investigação são parte integrante dos dados obtidos. 	

Tabela 28 – Análise SWOT.

³³ O termo SWOT deriva do inglês e significa Forças (*Strengths*), Fraquezas (*Weaknesses*), Oportunidades (*Opportunities*) e Ameaças (*Threats*) (*Wikipédia*, http://pt.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lise_SWOT).

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3D Risk Mapping. Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre. (2008). Agencia Flamenca del programa Europeo Leonardo Da Vinci.
- Adam, P. Y., Olsen, M. J., Driscoll, N., Flick, R. E., Gutierrez, R., Guza, R. T., et al. (April de 2010). Comparison of airborne and terrestrial LiDAR estimates of seacliff erosion in southern California. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 76, Nº 4, pp. 421-427.
- Andrade, C. F. (1997). *Dinâmica, Erosão e Conservação das Zonas Costeiras*. Parque EXPO 98, S.A.
- Andrade, C., Freitas, M. C., & Marques, F. (2010). *Prestação de Serviços de Consultadoria para Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização no Litoral Abrangido pela Área de Jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P. – Relatório de progresso #3 Relatório técnico (não public. CeGUL/FFCUL, ARH Tejo I.P.*
- ARH do Tejo, 2011. APA - ARH do Tejo, Agência Portuguesa do Ambiente - Administração da Região Hidrográfica do Tejo, <http://pt.scribd.com/doc/99087253/Perfil-de-Agua-Balnear-Magoito>, acedido a 20/09/2012.
- Bitenc, M., Bloemsma, M. R., Duijn Mayer, K., Lin, K., Pizziol, S., Saleh, M. A., et al. (2008). *Novel Techniques for costal monitoring - A case study near Monster-Ter Heijde*. Delf University of technology.
- Bowman, D., Guillén, J., López, L., & Pellegrino, V. (2009). *Planview Geometry and morphological characteristics of pocket beaches on the Catalan coast (Spain)*. *Geomorphology*, 108, pp. 191-199.
- British Geological Survey (BGS), <http://www.bgs.ac.uk/landslides/surveyingTechniques.html>, acedido a 15/10/2011.
- Catorze, M. G. (2009). *Laser: fundamentos e indicações em dermatologia*. *Medicina cutânea ibero-latino-americana*, vol.37, Nº 1-2, pp. 5-27.
- Charlton, M. E., Large, A. R., & Fuller, I. C. (2003). *Application of Airborne LIDAR in River Evironments: The River Coquet, Nortumberland, UK*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28, pp. 299-306.
- França, J. C., Zbyszewski, G., & Teixeira, C. (1964). *Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000, Folha 22-D (Marinha Grande)*. LNEG.

- Friedman, G. M., & Sanders, J. E. (1978). *Principles of Sedimentology*. New York: Wiley.
- Glossário das Zonas Costeiras - Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/alturasignifonda.html>, acessado a 6 de Novembro 2012.
- Govender, M., Chetty, K., & Bulcock, H. (April de 2007). A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies. *Water SA* Vol. 33 No. 2, pp. 145-152.
- Heritage, G. L., & Large, A. R. (2009a). *Laser Scanning for the Environmental Sciences*. Wiley-Blackwel.
- Heritage, G. L., & Large, A. R. (2009b). Principles of 3D Laser Scanning. In G. L. Heritage, & A. R. Large, *Laser Scanning for the Environmental Sciences*. (pp. 21-34). Wiley-Blackwel.
- Hobbs, P., Gibson, A., Jones, L., Poulton, C., Jenkins, G., Pearson, S., et al. (2010). *Elevation Models For Geoscience. Monitoring coastal change using terrestrial LiDAR*. British Geological Survey.
- ISA - Instituto Superior de Agronomia, http://www.isa.utl.pt/dm/sig/sig19992000/tema10/Fisica-principios_basicos.htm
- Kamphuis, J. W. (2000). *Introduction to Costal Engineering and Management (Vols. Advanced Series on Ocean Engineering, 16)*. World Scientific.
- Kemeny, J., & Turner, K. (September de 2008). Ground-Based LiDAR - Rock slope mapping and assessment. Obtido em Dezembro de 2011, de International Association for Engineering Geology and Environment.
- Komar, P. D. (1998). *Beach Processes and Sedimentation (Second Edition ed.)*. Prentice Hall.
- Kulberg, M. C., Manuppella, G., Rey, J., & Berthou, P. Y. (1991). *Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000, Folha 34-A (Sintra)*. LNEG.
- Large, A. R., & Heritage, G. L. (2009). Laser Scanning - Evolution of the Discipline. In G. L. Heritage, & A. R. Large, *Laser Scanning for the Environmental Sciences*. (pp1-20). Wiley-Blackwel.
- Lim, M., Petley, D. N., Rosser, N. J., Allison, R. J., & Long, A. J. (June de 2005). Combined digital photogrammetry and time-of-flight laser scanning for monitoring cliff evolution. *The Photogrammetric Record* 20 (110), pp. 109-129.

- Mallet, C., & Bretar, F. (January de 2009). Full-waveform topographic lidar: State-of-the-art. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, pp. 1-16.
- Matos, R. (1954). Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000, Folha 30-C (Torres Vedras). LNEG.
- Mitasova, H., Hardin, E., Overton, M., & Kurum, M. (10 de Janeiro de 2010). Geospatial analysis of vulnerable beach-foredune systems from decadal time series of lidar data. pp. 161-172.
- Paredes da Vitória, <http://www.paredesdavitoria.com/#>, acedido em 21/09/2012.
- Petermans, T. (2011). Comparative study of airborne, mobile and static LIDAR for beach monitoring. Blast Conference - Closing the Gap. Ostend, Belgium.
- Physics Forums, <http://www.physicsforums.com/showthread.php?t=186396>, acedido a 15 de Outubro de 2012.
- Piteri, M., Junior, M., Santos, A., & Oliveira, F. (Julho de 2007). Triangulação de Delaunay e o Princípio de Inserção Randomizado. II Simpósio Brasileiro de Geomatemática; V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, pp. 655-663.
- Ravani, B., Hiremagalur, J., Yen, K. S., Akin, K., Buit, T., & L. A. (2007). Creating standards and specifications for the use of laser scanning in Caltrans Projects. AHMCT Research Report UCD-ARR-07-06-30-01. University of California at Davis.
- Rosser, N. J., Dunning, S. A., Lim, M., & Petley, D. N. (2005). Terrestrial laser scanning for quantitative rockfall hazard assessment. Department of Geography, University of Durham, U. K.
- Rosser, N. J., Petley, D. N., Lim, M., Dunning, S. A., & Allison, R. J. (2005). Terrestrial laser scanning for monitoring the process of hard rock coastal cliff erosion. Department of Geography, University of Durham, U. K.
- Starek, M. J., Slatton, K. C., Shrestha, R. L., & Carter, W. E. (2009). Airborn LiDAR Measurements to Quantify Change in Sandy Beaches. In H. G. L, & L. A. G, *Laser Scanning for the Environmental Sciences*. (pp. 147-164). Wiley-Blackwell.
- Trimble. (2007). GPS - The First Global Navigation Satellite System. Trimble Navigation Limited.
- Wikipédia, http://pt.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lise_SWOT, acedido em 19 de Julho 2012; http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit, acedido a 5 de Dezembro 2012.

10. BIBLIOGRAFIA

- Adam, P. Y., Flick, R. E., Gutierrez, R., & Guza, R. T. (2009). Comparison of short-term seacliff retreat measurement methods in Del Mar, California. *Geomorphology*, 112, pp. 318-323.
- Childs, C. (2004). *Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst* (ESRI Education Services).
- Heritage, G. L., Milan, D. J., Large, A. R., & Fuller, I. C. (2009). Influence of survey strategy and interpolation model on DEM quality. *Geomorphology* 112, pp. 334-344.
- Neves, A. (2011). Enquadramento de coberturas de base LiDAR na produção de informação geográfica. *Tardes de Geográfica*.
- Sumerling, G. (2011). *Lidar Analysis in ArcGIS 10 for Forestry Applications (An ESRI White Paper)*. Adelaide, South Australia.

ANEXOS

ANEXO A. FIGURAS DE PORMENOR DOS LEVANTAMENTOS LASER SCANNER

PRAIA DOS COXOS (VISTA GERAL)

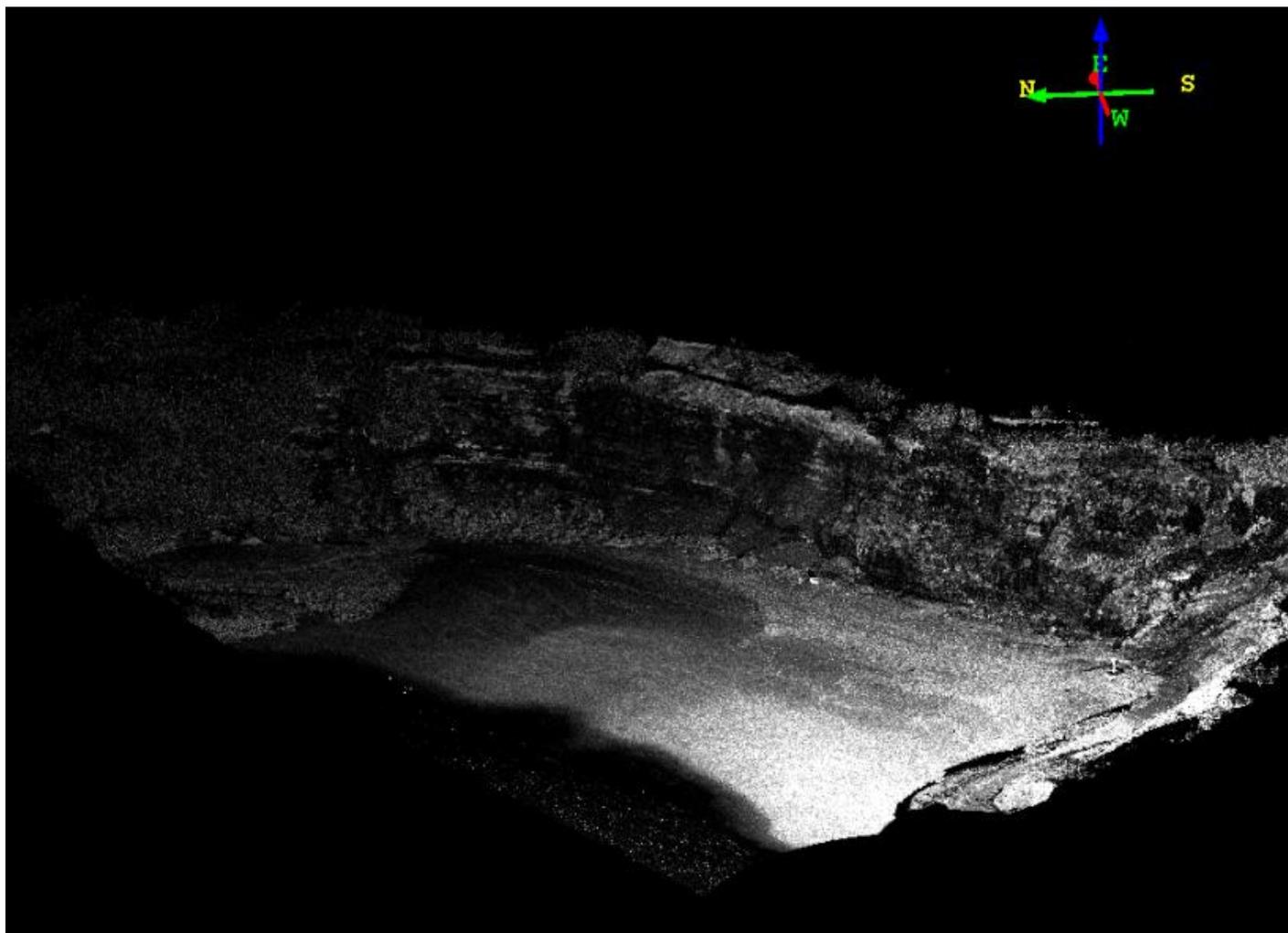


Figura A1 - Nuvem de pontos de 29/12/2011 com filtro de intensidade.

PRAIA DOS COXOS (PLATAFORMA ROCHOSA, AREAL E DEPÓSITOS DE SOPÉ)

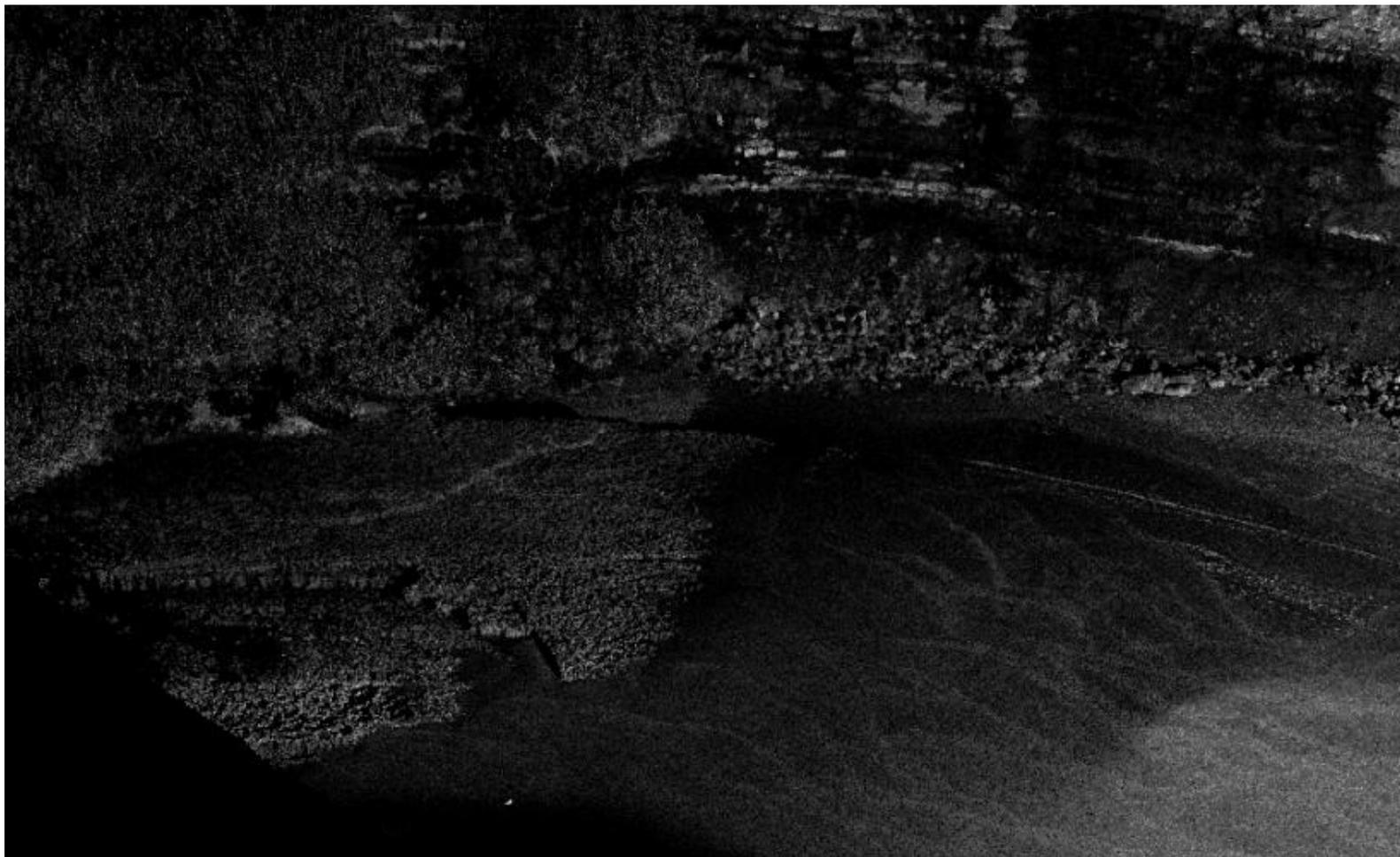


Figura A2 - Nuvem de pontos de 29/12/2011 com filtro de intensidade.

PRAIA DOS COXOS (INTERFERÊNCIA DO SINAL LASER COM A AGITAÇÃO MARÍTIMA INCIDENTE)

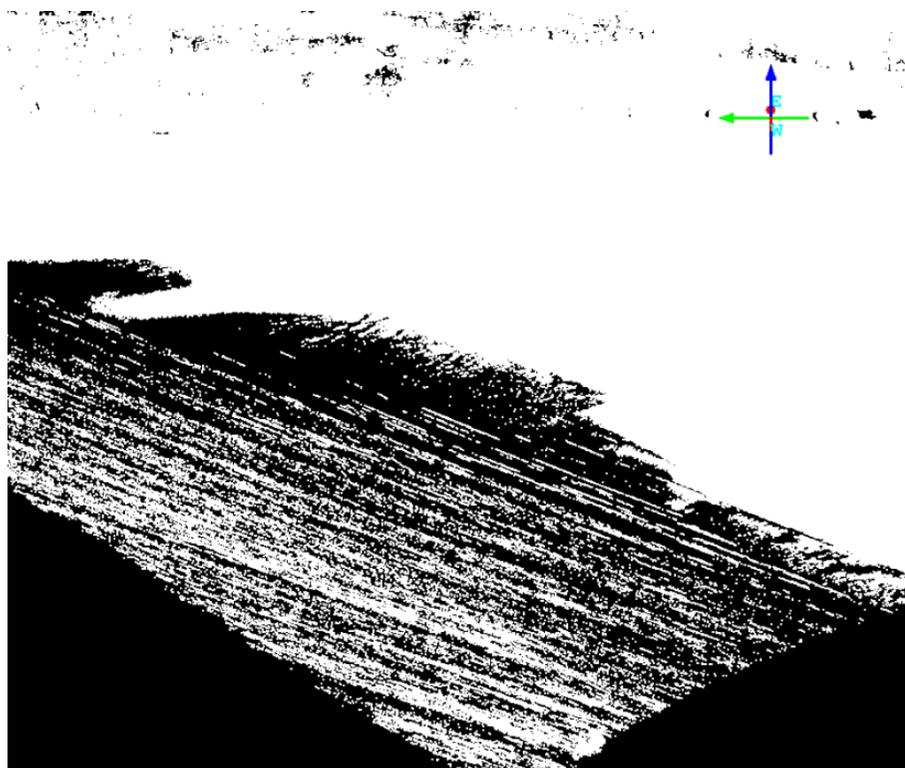


Figura A3 - Nuvem de pontos de 29/12/2011 sem filtro de intensidade.

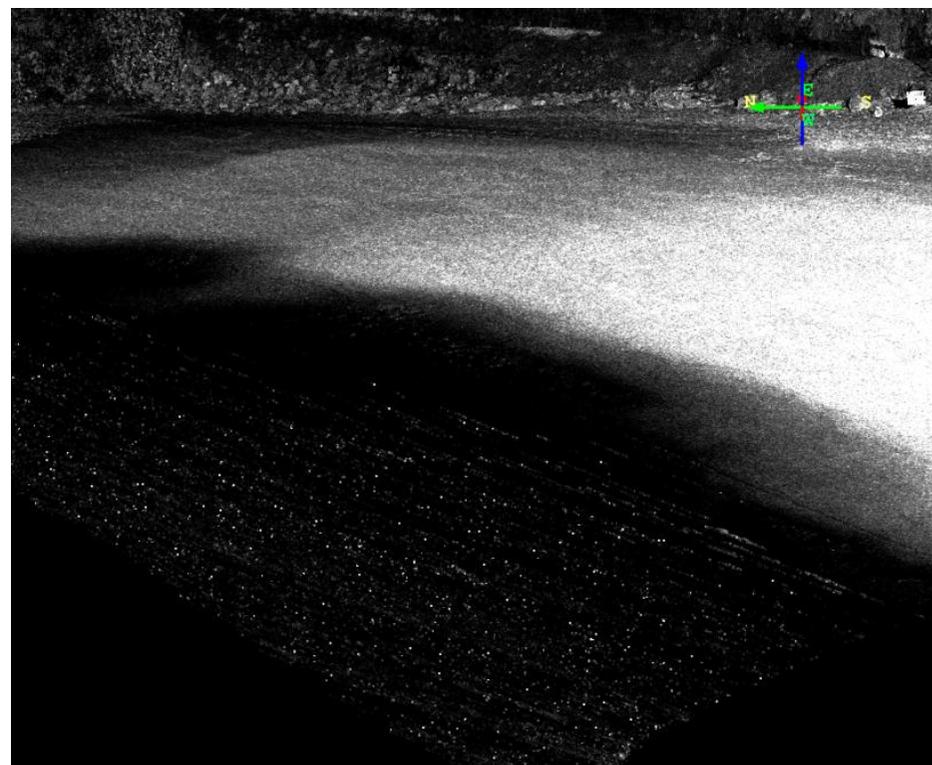


Figura A4 - Nuvem de pontos de 29/12/2011 com filtro de intensidade.

PRAIA DO MAGOITO (VISTA GERAL)



Figura A5 - Nuvens de pontos conjuntas de 28/12/2011 e de 16/01/2012 com filtro de intensidade.

PRAIA DO MAGOITO (SECÇÃO TERMINAL DO RIO DA MATA)

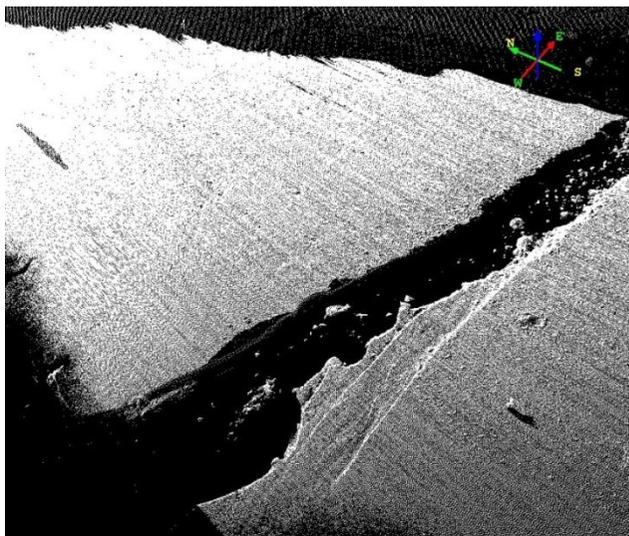


Figura A6 - Nuvem de pontos de 28/12/2011 sem filtro de intensidade.

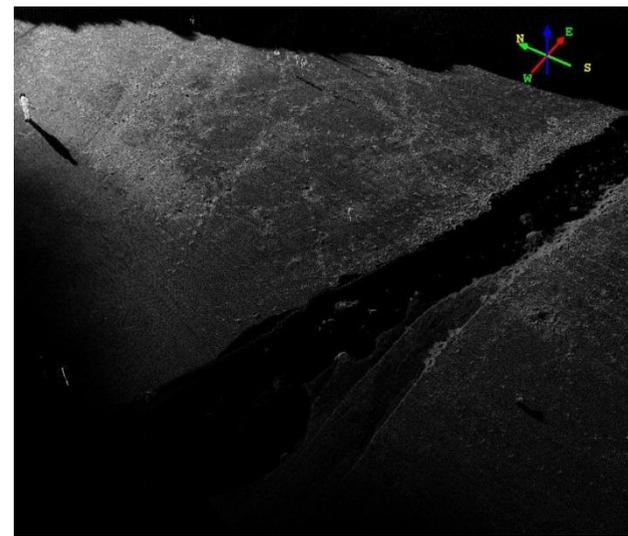


Figura A7 - Nuvem de pontos de 28/12/2011 com filtro de intensidade.

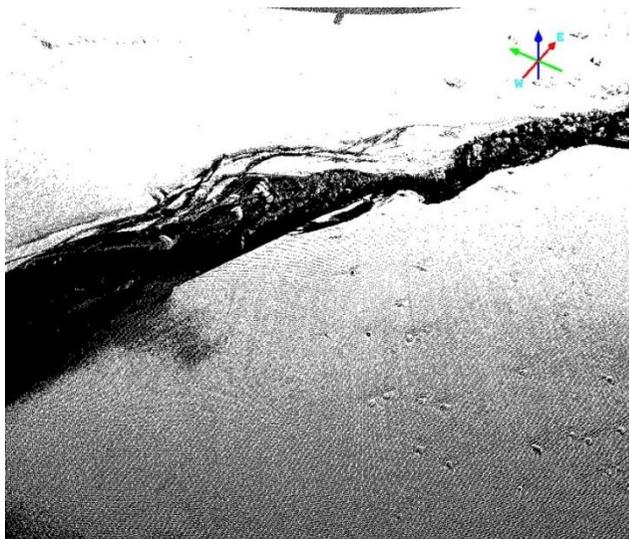


Figura A8 - Nuvem de pontos de 16/01/2012 sem filtro de intensidade.

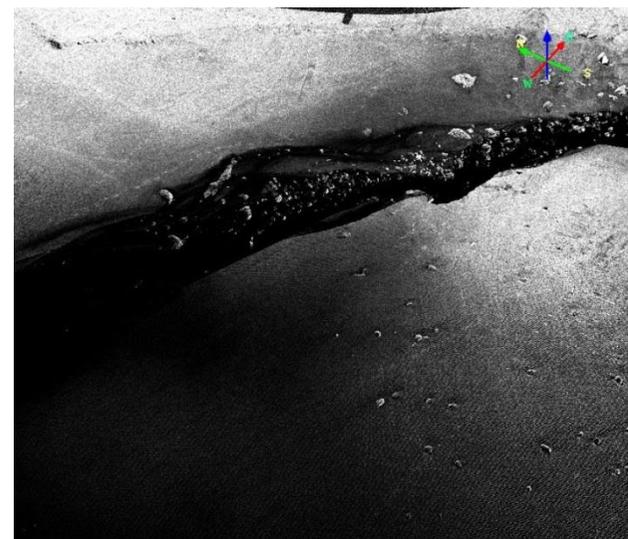


Figura A9 - Nuvem de pontos de 16/01/2012 com filtro de intensidade.

PRAIA DO MAGOITO (PLATAFORMA ROCHOSA)



Figura A10 - Nuvem de pontos de 28/12/2011 sem filtro de intensidade.

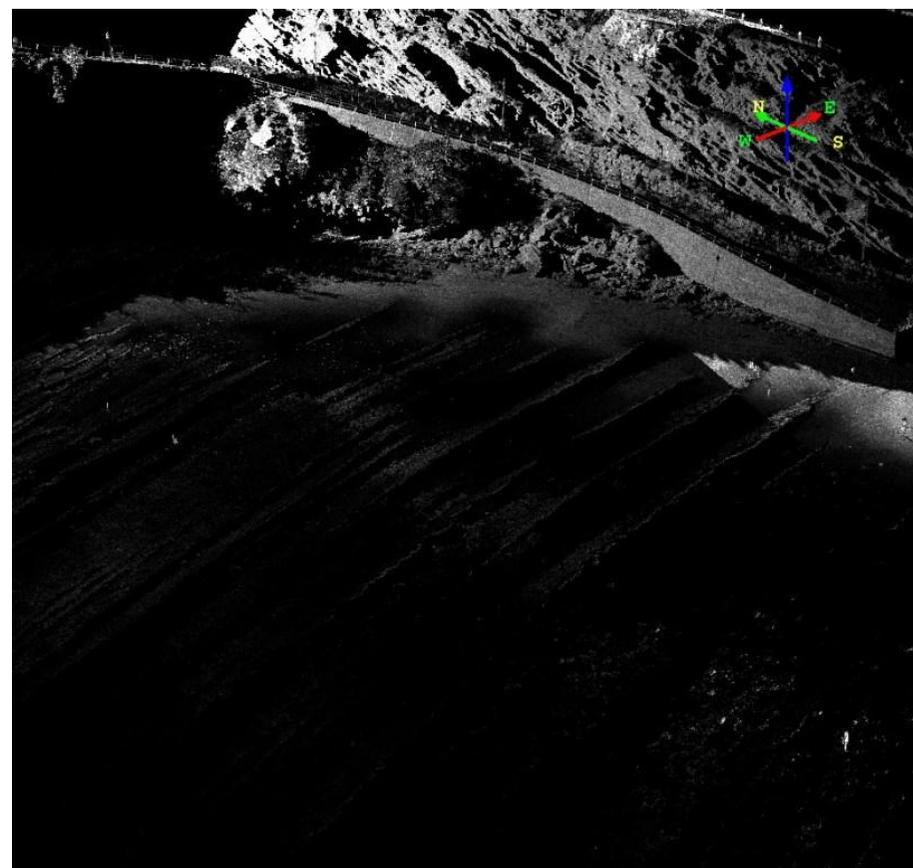


Figura A11 - Nuvem de pontos de 28/12/2011 com filtro de intensidade.

PRAIA DE PAREDES DE VITÓRIA (VISTA GERAL)



Figura A12 - Nuvem de pontos de 30/03/2012 com filtro de intensidade.

PRAIA DE PAREDES DE VITÓRIA (SECÇÃO TERMINAL DA RIBEIRA DE PAREDES)

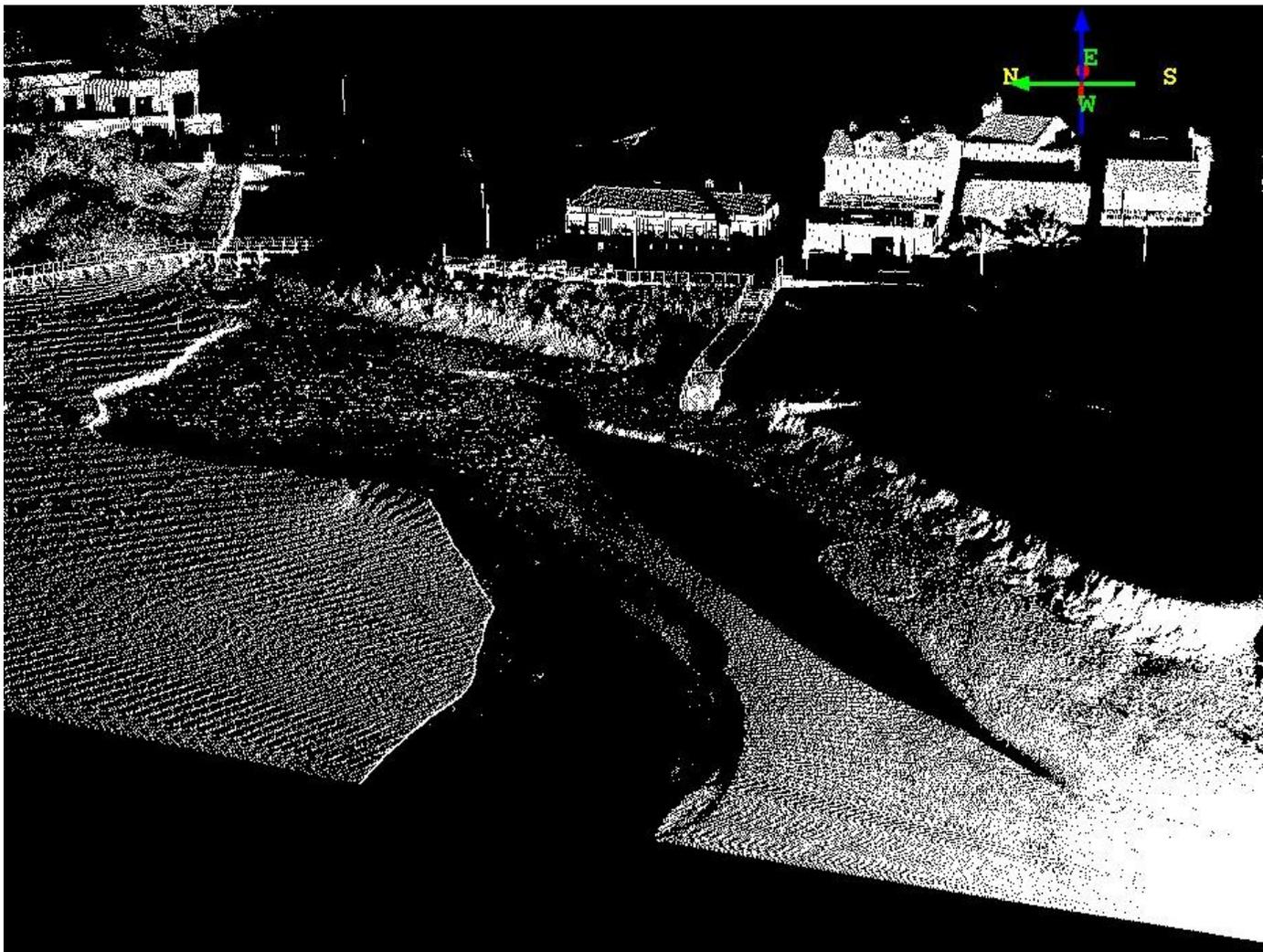


Figura A13 - Nuvem de pontos de 30/12/2011 sem filtro de intensidade.

PRAIA DE PAREDES DE VITÓRIA (SECÇÃO TERMINAL DA RIBEIRA DE PAREDES)

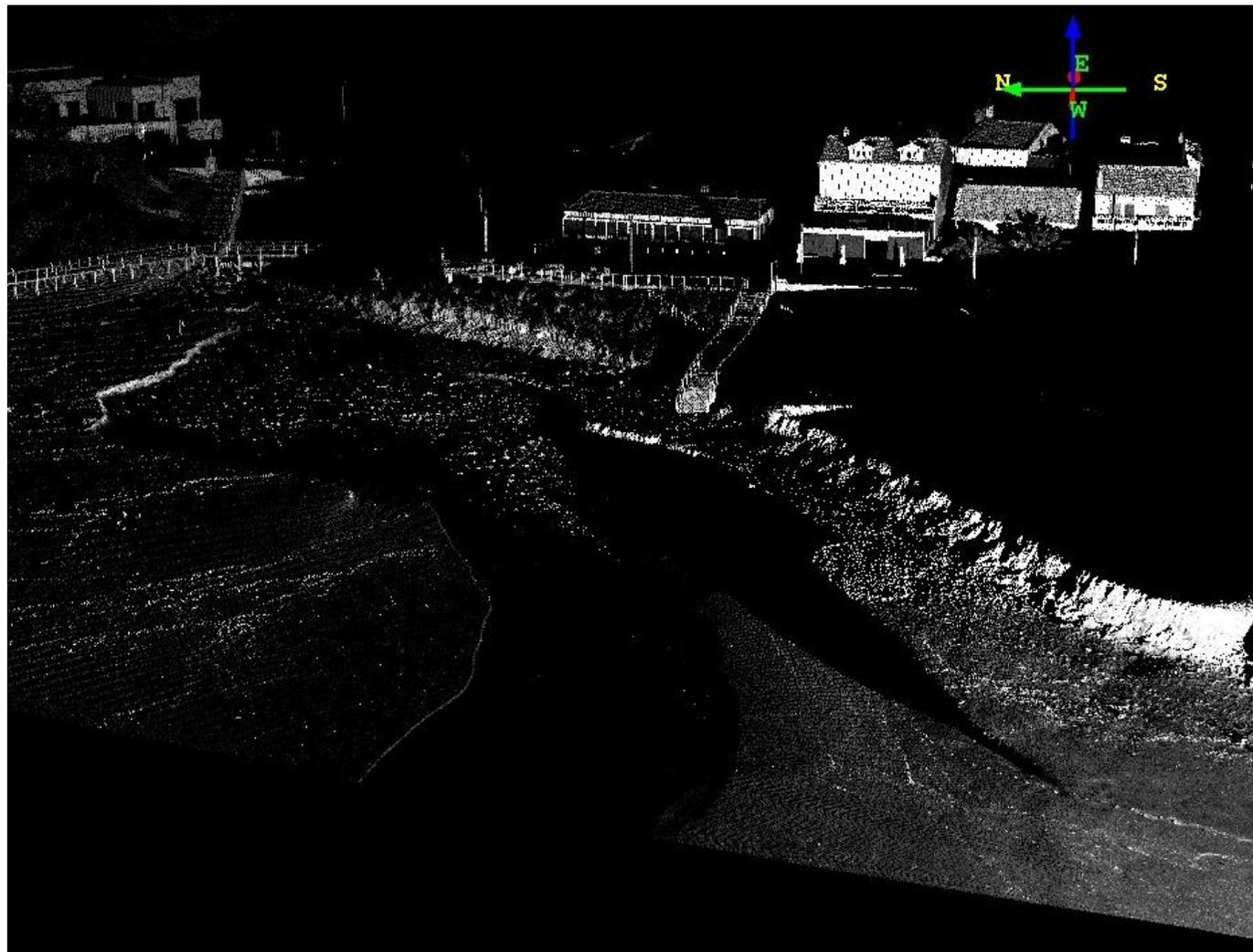


Figura A14 - Nuvem de pontos de 30/12/2011 com filtro de intensidade.

PRAIA S. JOÃO (VISTA GERAL DO ESPORÃO, PAREDÃO E AREAL ADJACENTE)



Figura A15 - Nuvem de pontos de 29/03/2012 com filtro de intensidade.

**ANEXO B. TABELA DE FREQUÊNCIAS DAS DIFERENÇAS TOPOGRÁFICAS DOS
PERFIS GERADOS COM OS DADOS DE JULHO 2012 NO AREAL DA PRAIA DOS
COXOS**

TABELA DE FREQUÊNCIAS DAS DIFERENÇAS TOPOGRÁFICAS DOS
PERFIS GERADOS COM OS MDS DE JULHO 2012 NO AREAL DA PRAIA DOS COXOS

Classe de elevação	P1			P2			P3			P4			P5			PERFIS 1 A 5		
	F	Fr (%)	Fr acumulada(%)	F	Fr (%)	Fr acumulada(%)	F	Fr (%)	Fr acumulada(%)	F	Fr (%)	Fr acumulada(%)	F	Fr (%)	Fr acumulada(%)	F	Fr (%)	Fr acumulada(%)
0.005	318	37.90	37.90	391	34.60	34.60	148	49.83	49.83	188	36.22	36.22	140	32.11	32.11	1185	36.79	36.79
0.01	235	28.01	65.91	296	26.19	60.80	79	26.60	76.43	139	26.78	63.01	90	20.64	52.75	839	26.05	62.84
0.015	144	17.16	83.08	169	14.96	75.75	45	15.15	91.58	89	17.15	80.15	84	19.27	72.02	531	16.49	79.32
0.02	86	10.25	93.33	128	11.33	87.08	17	5.72	97.31	56	10.79	90.94	44	10.09	82.11	331	10.28	89.60
0.025	25	2.98	96.31	67	5.93	93.01	6	2.02	99.33	25	4.82	95.76	45	10.32	92.43	168	5.22	94.82
0.03	14	1.67	97.97	34	3.01	96.02	2	0.67	100.00	13	2.50	98.27	23	5.28	97.71	86	2.67	97.49
0.035	6	0.72	98.69	13	1.15	97.17				6	1.16	99.42	4	0.92	98.62	29	0.90	98.39
0.04	5	0.60	99.28	15	1.33	98.50				2	0.39	99.81	3	0.69	99.31	25	0.78	99.16
0.045	4	0.48	99.76	8	0.71	99.20				1	0.19	100.00	2	0.46	99.77	15	0.47	99.63
0.05	0	0.00	99.76	3	0.27	99.47							1	0.23	100.00	4	0.12	99.75
0.055	0	0.00	99.76	3	0.27	99.73										3	0.09	99.84
0.06	1	0.12	99.88	2	0.18	99.91										3	0.09	99.94
0.065	0	0.00	99.88	1	0.09	100.00										1	0.03	99.97
0.07	1	0.12	100.00													1	0.03	100.00
Total	839	100		1130	100		297	100		519	100.00		436	100		3221	100	

F - Frequência

Fr - Frequência relativa

Perfis	Distância (m)
P1	46
P2	62
P3	16
P4	28
P5	24

Figura B1 – Tabela de frequências e tabela de distâncias.

ANEXO C. PERFIS TOPOGRÁFICOS DO AREAL DA PRAIA DOS COXOS E GRÁFICOS DAS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO GERADOS COM OS DADOS DE JULHO 2012

PERFIS TOPOGRÁFICOS DO AREAL DA PRAIA DOS COXOS E GRÁFICOS DAS DIFERENÇAS DE ELEVAÇÃO, GERADOS COM OS MDS DE JULHO 2012

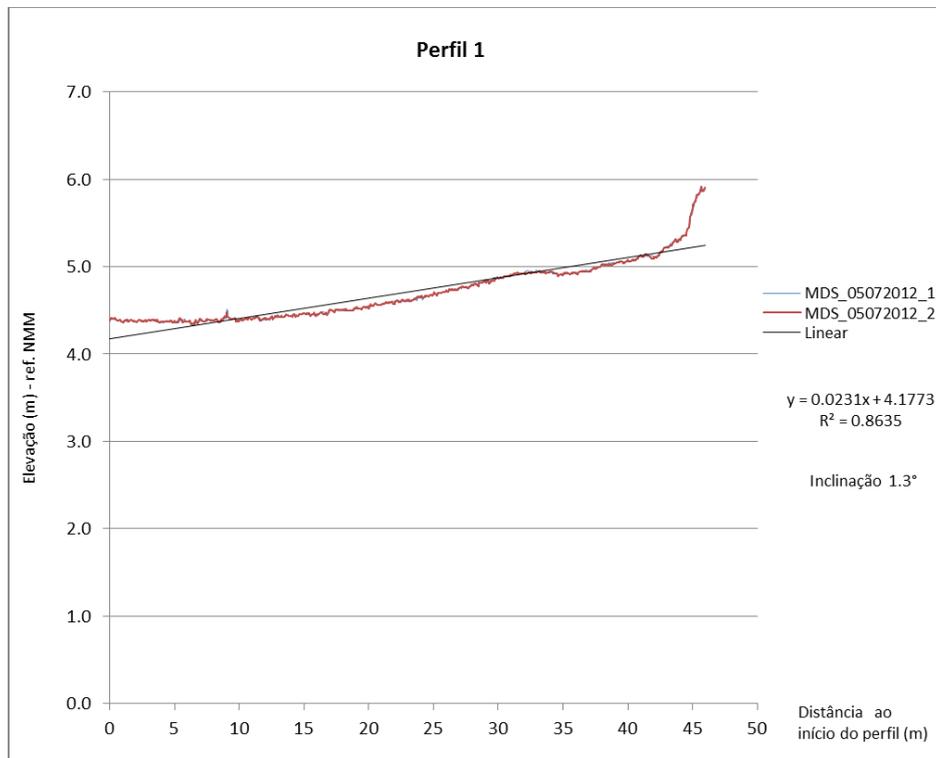


Figura C1 – Praia dos Coxos. Perfil 1 extraído dos MDS de Julho de 2012.

Os valores do MDS_05072012_1 não se vêem por serem coincidentes a esta escala.

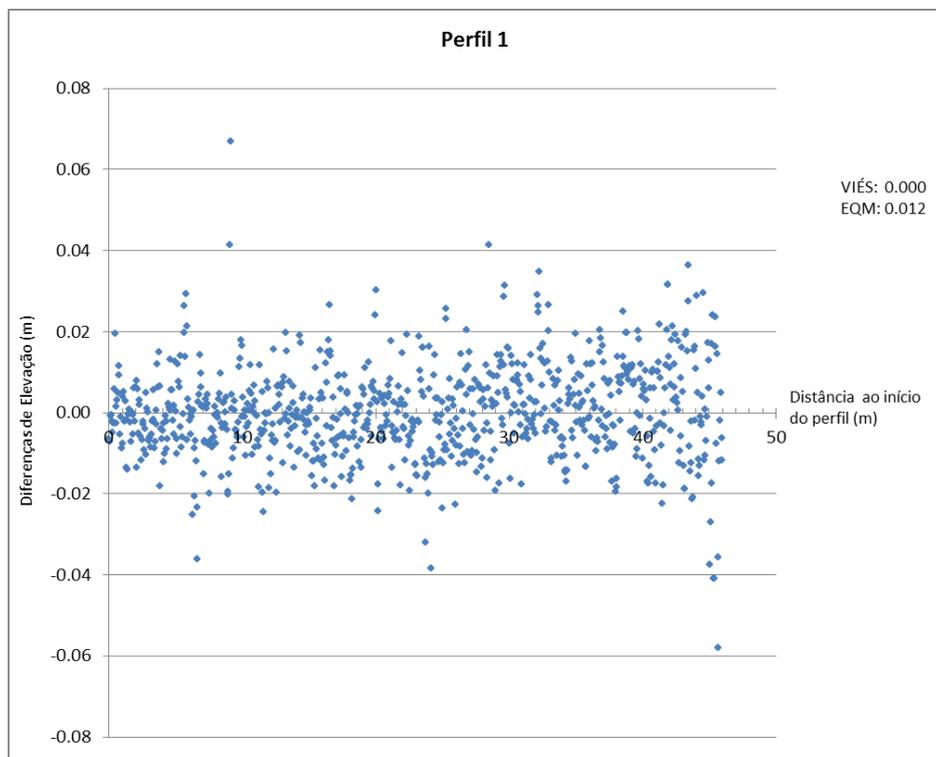


Figura C2 – Praia dos Coxos. Diferenças de elevação entre os dois MDS de Julho de 2012 no Perfil 1.

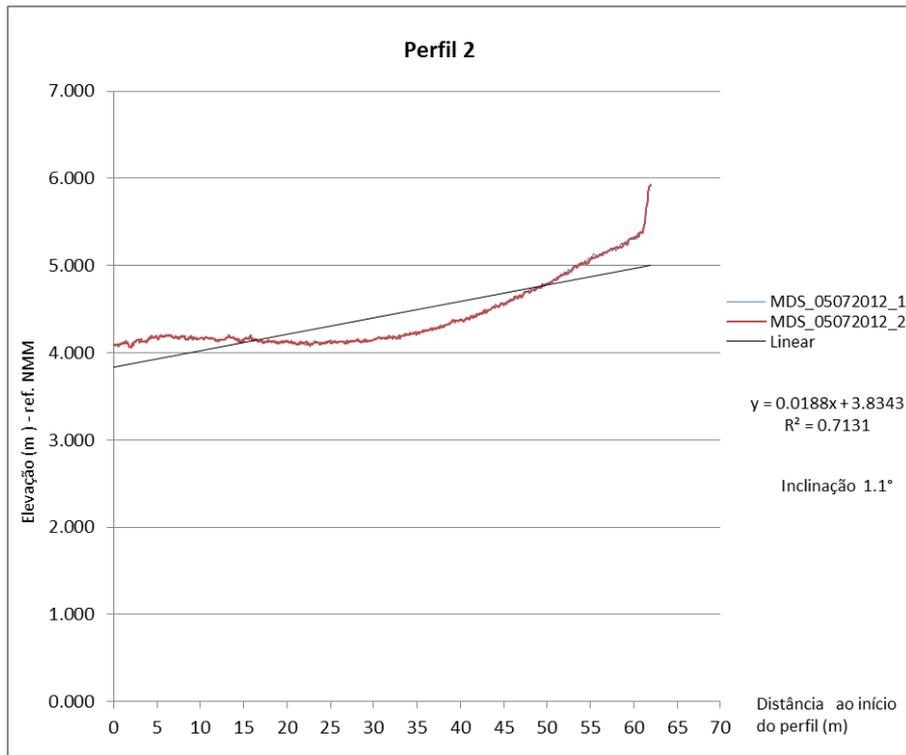


Figura C3 – Praia dos Coxos. Perfil 2 extraído dos MDS de Julho de 2012. Os valores do MDS_05072012_1 não se vêem por serem coincidentes a esta escala.

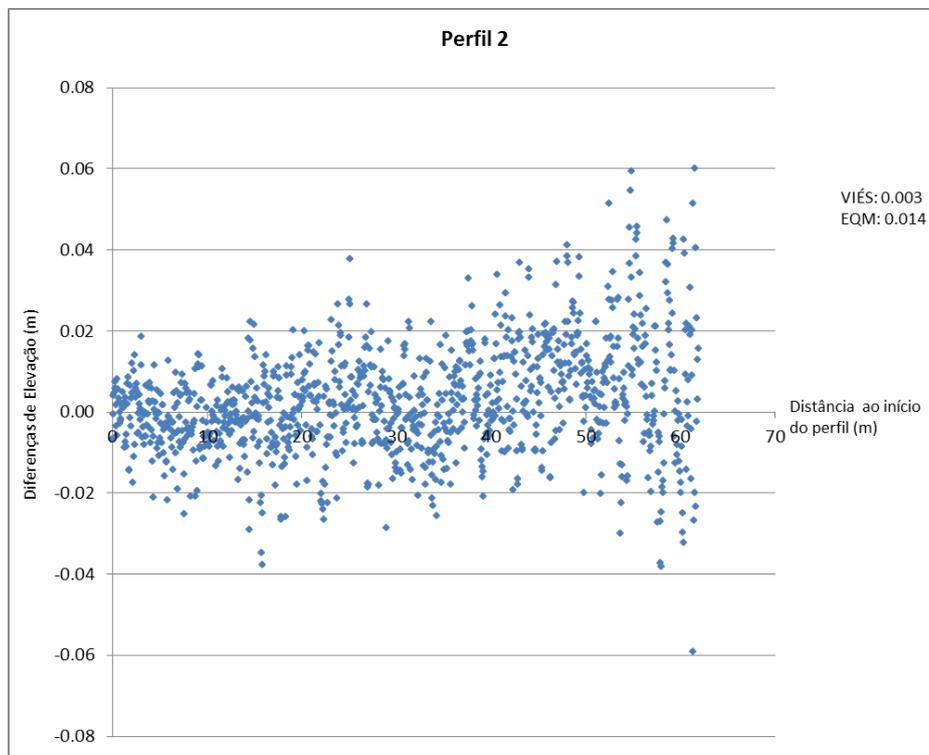


Figura C4 - Praia dos Coxos. Diferenças de elevação entre os dois MDS de Julho de 2012 no Perfil 2.

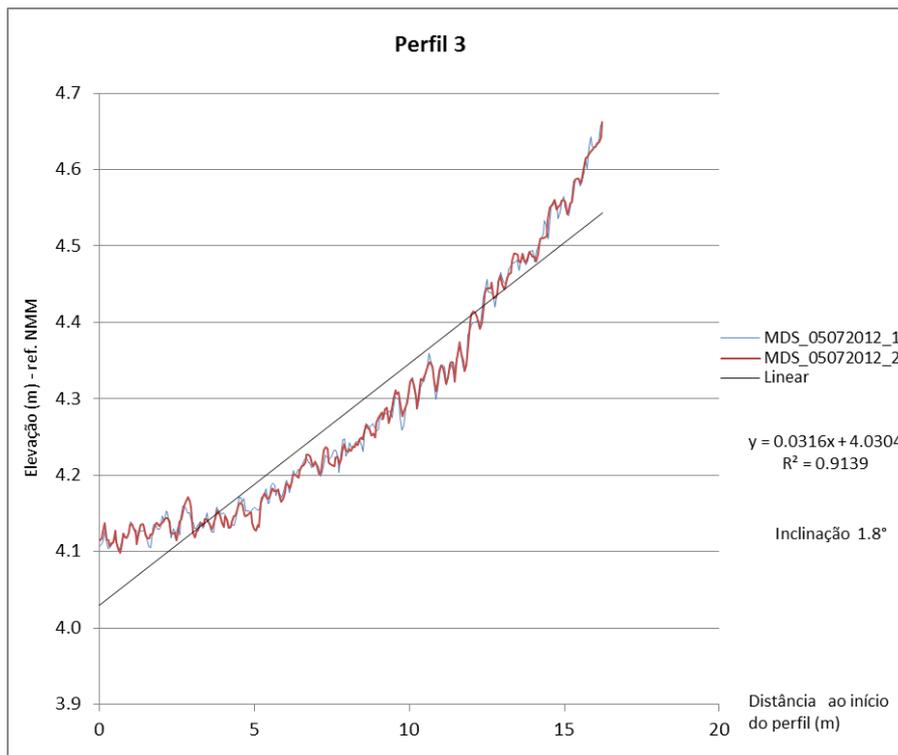


Figura C5 – Praia dos Coxos. Perfil 3 extraído dos MDS de Julho de 2012. Os valores do MDS_05072012_1 não se vêem por serem coincidentes a esta escala.

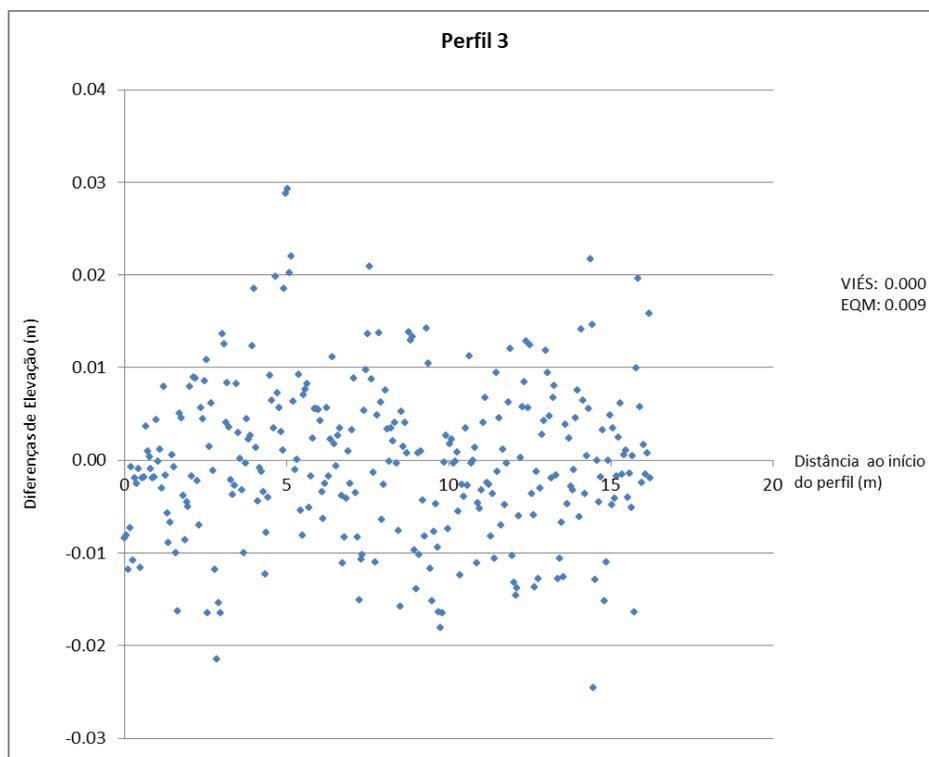


Figura C6 – Praia dos Coxos. Diferenças de elevação entre os dois MDS de Julho de 2012 no Perfil 3.

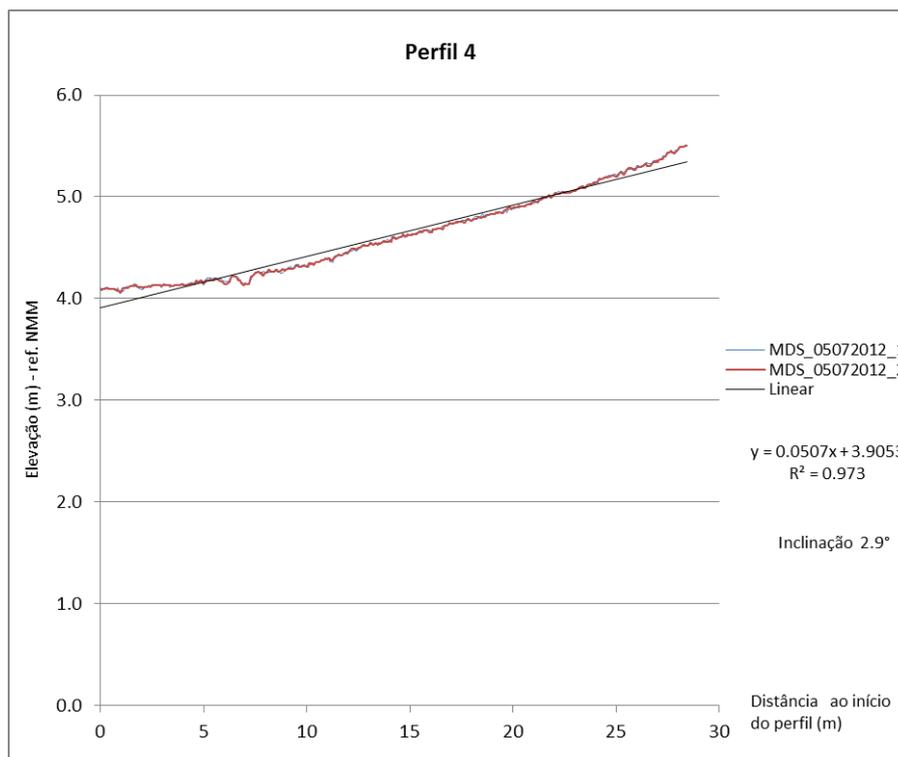


Figura C7 – Praia dos Coxos. Perfil 4 extraído dos MDS de Julho de 2012. Os valores do MDS_05072012_1 não se vêem por serem coincidentes a esta escala.

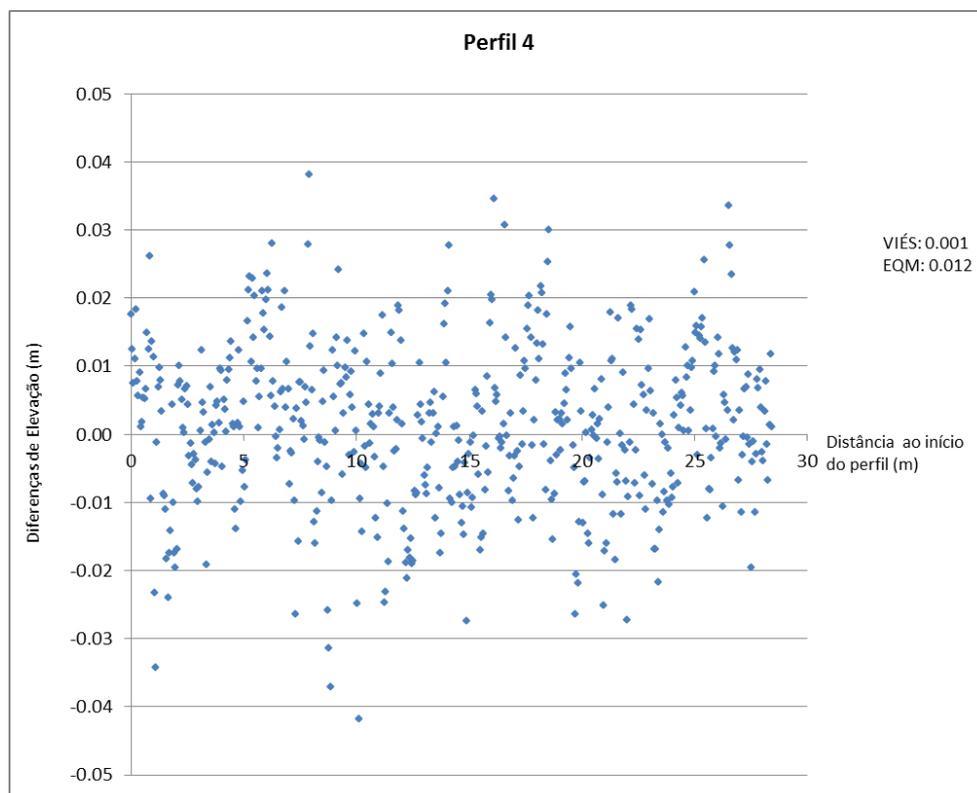


Figura C8 – Praia dos Coxos. Diferenças de elevação entre os dois MDS de Julho de 2012 no Perfil 4.

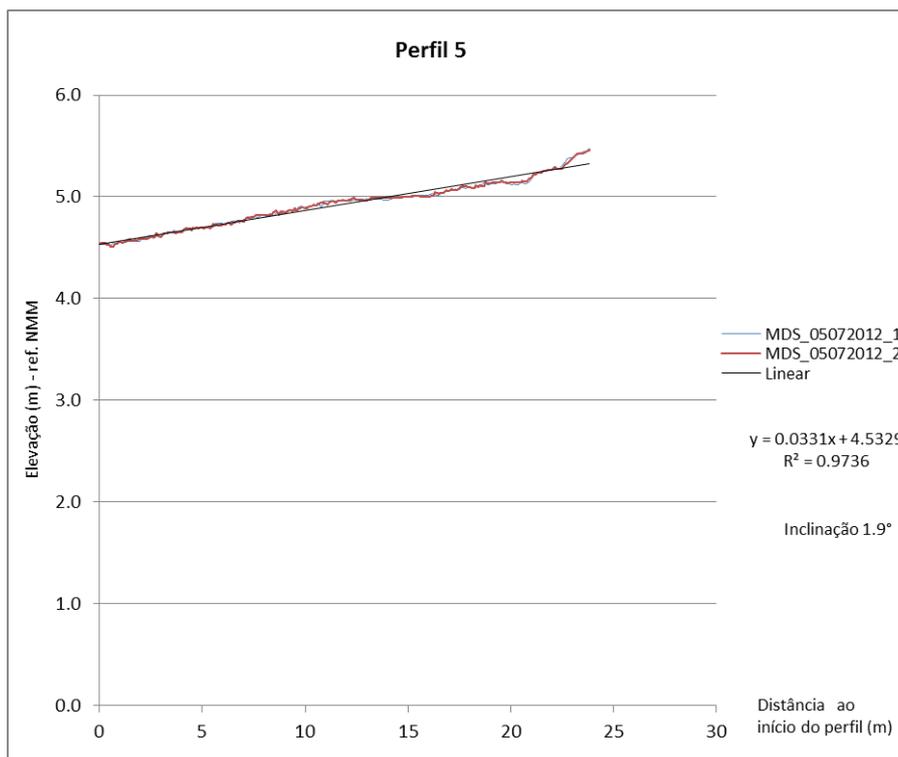


Figura C9 – Praia dos Coxos. Perfil 5 extraído dos MDS de Julho de 2012. Os valores do MDS_05072012_1 não se vêem por serem coincidentes a esta escala.

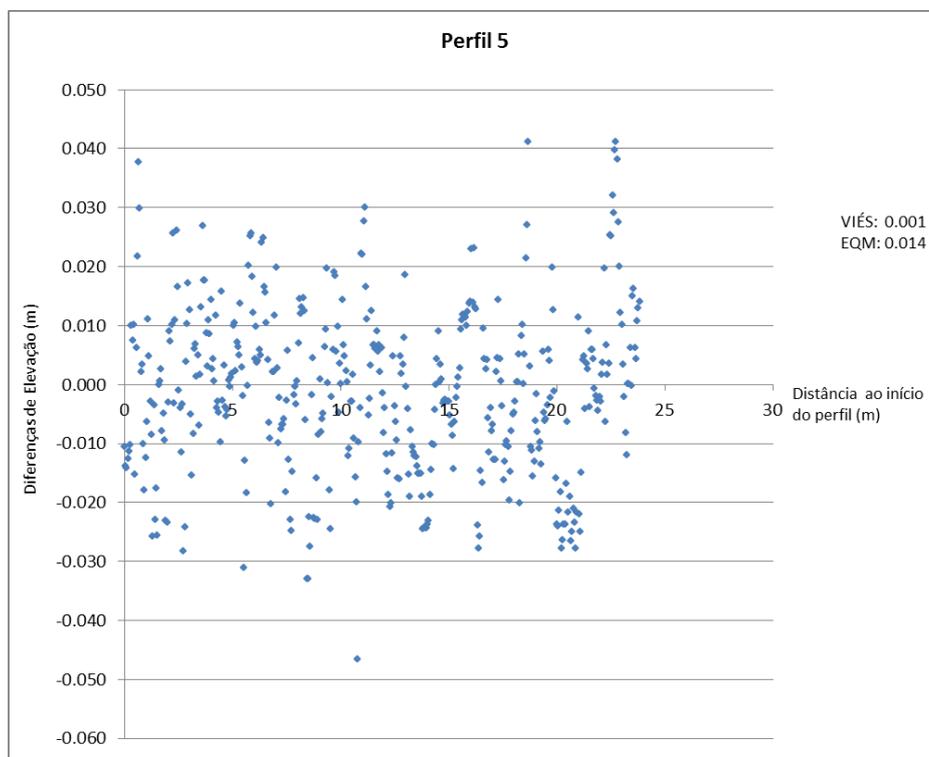


Figura C10 – Praia dos Coxos. Diferenças de elevação entre os dois MDS de Julho de 2012 no Perfil 5.

ANEXO D. PROGRAMA DESENVOLVIDO EM MATLAB

PROGRAMA DESENVOLVIDO EM MATLAB 7.9.0.

AmosTeorica.m 1 of 1

```
clear
close all
h = 18;
dtheta = 6 /3600;
angulo = 55:dtheta:80;
x_data = tand(angulo) * h;
z_data = randn(size(x_data))*0.02;
int_classe = 0.1;
classe = floor(x_data/int_classe);
media = accumarray(classe', z_data', [], @mean);
plot(media, '+')
```


ANEXO E. EXEMPLO DUMA FICHA DE CAMPO

NOTA: para efeitos da ficha de campo o “alvo” corresponde ao prisma que serviu de ponto de referência.

M6 (1)

Ficha de Campo

Informação geral			
Data: <u>22/12/2011</u>		Operadores: <u>Prof. Calvão e Prof. Rui Taborda</u>	
Local: <u>MAGOITO</u>		Equipamento: <u>Laser Scanner TOPCON</u>	Modelo: <u>GLS 1500</u>
Hora: <u>9,00H</u>		Maré baixa (mt): <u>0,8 m em 10,33h</u> Porto ref.: <u>Porcoia</u>	
Trabalho (nome/ref): <u>Aplicações de LIDAR ao Estudo da Morfodinâmica de Praias Encaixadas. - Tes. de Mestrado Ana Bastos</u>			

Informação sobre o levantamento					
Localização do levantamento	Medições	Fotografias	Observações		
1 ^a Estação Norte em cima, junto à serra (E1)	Altura Alvo:	0,215 m	M6-20111227 (3)	Devido à grande distância a que o LS estava e ao ang. baixo, os dois obtidos foram iguais. Não se observaram ecos ao grande parte da área inicialmente definida.	
	Altura L Scanner:	1,395 m			
	Campo de visão	Ângulo ht:			41,2°
		Ângulo vt:			< 35° ?
	Resolução:	2 cm			
	Tempo de Scan:	11 min 4			
2 ^a Estação Sul (na praia) (E2)	Altura Alvo:	1,240 m	M6-20111228 (2)	Neste local, na areia observou-se 1 pilão q se afundou no fundo da praia. observou-se muito impregnado de calcário (superfícies)	
	Altura L Scanner:	1,565 m			
	Campo de visão	Ângulo ht:			?
		Ângulo vt:			< 35°
	Resolução:	4 cm			
	Tempo de Scan:	?			

Outras observações: A foz da praia tem poucas areias, observando-se a plataforma rochosa. A areia encontrava-se mto. molhada no 1^o levantamento.

AREIA - observou-se cometas horizontais de sedimentos arenosos, ondulados e silbo-argilosos. a cometa inferior encontra-se molhada e junto ao sopé há queda de blocos.

Condições meteorológicas:
Dia limpo com sol, sem vento no 1^o levantamento e com vento suave nos outros 2
ou mais este vento (sem "correntes").

Nota: A altura do Laser Scanner é medida até ao meio dos 2 botões de controlo; a altura do alvo é medida até ao meio do espelho.

Janeiro 2012 1/2

Figura E1 – Ficha de campo da campanha LS de 28 de Dezembro 2011 na praia do Magoito (folha1 frente).

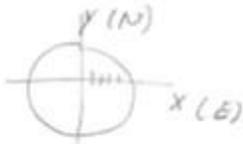
Ficha de Campo

Registo das coordenadas dos pontos de levantamento

Localização do Levantamento	Ponto	Coordenadas			Sistema de Ref ^a
		X	Y	Cota (m) (NMM)	
1 Estação Norte (E1)	LS	-114 268.951	-88 334.9628	29.4142	ETRS 89
	Alvo	-114 207.5736	-88 381.3003	35.9719	
2 Estação Sul (E2)	LS	-114 270.2333	-88 586.4203	3.0109	ETRS 89
	Alvo	-114 254.2529	-88 554.5485	2.2662	

Observações

As cotas englobam a altura do aparelho



Notas: LS = Laser Scanner, NMM = Nível médio da água do mar

Janeiro 2012

2/2

Figura E2 – Ficha de campo da campanha LS de 28 de Dezembro 2011 na praia do Magoito (folha1 verso).

116 (2)

Ficha de Campo

Informação geral

Data: 28/12/2011 Operadores: _____

Local: Maguito - Praia Equipamento: Laser Scanner TOPCON Modelo: GLS 1500

Hora: _____ Maré baixa (m/h): _____ Porto ref.: _____

Trabalho (nome / ref): _____

Informação sobre o levantamento

Localização do levantamento	Medições	Fotografias	Observações	
3 ^o Estação Indemédia Range estacionando (E3)	Altura Alvo:	1,290 m	O Alvo ficou posicionado no local do LS do 1 ^o levantamento.	
	Altura L Scanner:	1,57 m		
	Campo de visão	ângulo hz:		
		ângulo vt:		
	Resolução:	4 cm		
	Tempo de Scan:			
	Altura Alvo:			
	Altura L Scanner:			
Campo de visão	ângulo hz:			
	ângulo vt:			
	Resolução:			
	Tempo de Scan:			

Outras observações:

Condições meteorológicas:

Nota: A altura do Laser Scanner é medida até meio dos 2 botões de controlo; a altura do alvo é medida até meio do espelho.

Janeiro 2012 1/2

Figura E3 – Ficha de campo da campanha LS de 28 de Dezembro 2011 na praia do Maguito (folha2 frente).

Ficha de Campo

Registo das coordenadas dos pontos de levantamento

Localização do Levantamento	Ponto	Coordenadas			Sistema de Ref ^a
		X	Y	Cota (m)*	
Estação 2 12 banda	LS	-114214.946	-88574.012	15.924	ETRS 89 ↳ Topo do estaca
	Alvo	-114184.593	-88471.251	21.128	
	LS				
	Alvo				

Observações

Notas: * cota referente ao nível médio da água do mar (NMM); - LS (Laser Scanner)

Janeiro 2012 2/2

Figura E4 – Ficha de campo da campanha LS de 28 de Dezembro 2011 na praia do Magoito (folha2 verso).