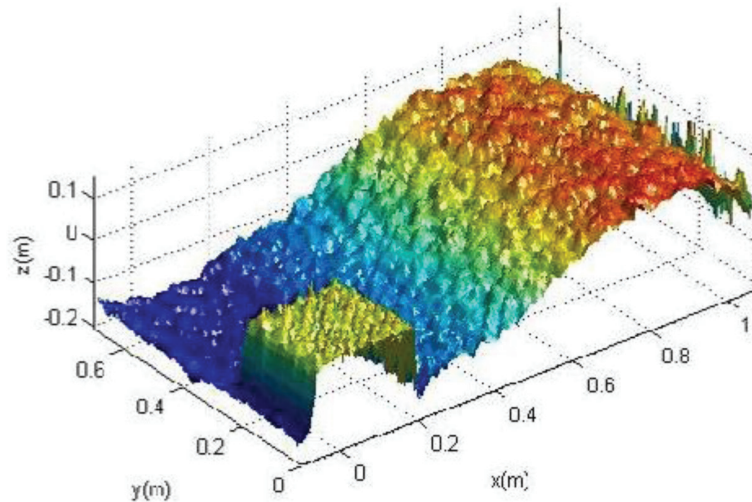




INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Civil



Utilização de Técnicas de Análise Fotogramétricas em Quebra-mares de Taludes

Francisco Gabriel de Lemos Pedro
(Licenciado em Engenharia Civil)

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Civil na Área de Especialização de Hidráulica

Orientadores:

Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos
Mestre Rute Maria Gomes de Lemos

Júri:

Presidente:

Doutora Maria Helena Teixeira Cardoso Gamboa

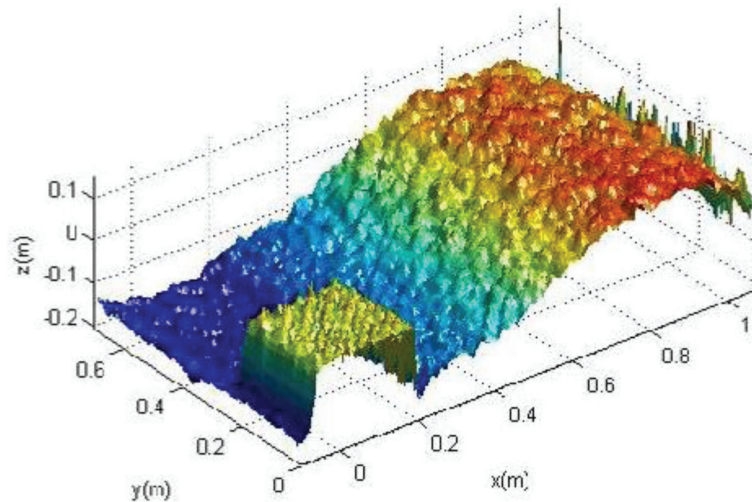
Vogais:

Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos
Doutor Rui Jorge Pereira Capitão

Dezembro de 2015



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Civil



Utilização de Técnicas de Análise Fotogramétrica em Quebra-mares de Taludes

Francisco Gabriel de Lemos Pedro
(Licenciado em Engenharia Civil)

Dissertação de natureza científica elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)
para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização
de Hidráulica no âmbito do protocolo de cooperação entre o ISEL e o LNEC

Orientadores:

Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos
Mestre Rute Maria Gomes de Lemos

Júri:

Presidente:

Doutora Maria Helena Teixeira Cardoso Gamboa

Vogais:

Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos
Doutor Rui Jorge Pereira Capitão

Dezembro de 2015

RESUMO

Os quebra-mares de taludes são estruturas de proteção portuária muito comuns em Portugal. O seu dimensionamento é habitualmente realizado através de fórmulas semiempíricas, sendo necessário recorrer-se a ensaios em modelo físico reduzido de estabilidade e galgamento, a fim de confirmar a sua eficácia.

Nos ensaios de estabilidade, a avaliação do dano é tradicionalmente feita através de contagem visual do número de quedas e movimentos dos blocos que compõem o manto resistente do quebra-mar, técnica morosa e que depende muito da experiência do técnico que efetua os ensaios. A fim de complementar a avaliação do dano nos ensaios em modelo físico reduzido, podem ser utilizados diferentes métodos fotogramétricos de análise de imagens ou de comparação de imagens. No entanto, a sua utilização em ensaios correntes ainda não é expedita.

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi agilizar a análise da evolução do dano em ensaios em modelo físico de quebra-mares, recorrendo a métodos estereofotogramétricos e de comparação de imagens. Pretendeu-se também melhorar/desenvolver procedimentos, quer para a automatização da aplicação das referidas técnicas, quer para a obtenção expedita de resultados. Avaliou-se o desempenho de cada um desses métodos efetuando comparações, quer entre os referidos métodos, quer com o método tradicional de contagem dos blocos removidos.

Para tal, foram realizados ensaios em modelo físico reduzido num canal de ondas para o perfil da seção da zona do cais do quebra-mar sul da Praia da Vitória tendo sido testados os períodos de pico de 10, 14 e 18 s associados a diferentes alturas significativas e dois níveis de maré (Preia-mar e Baixa-mar).

Para se calibrar os algoritmos de quantificação da área modificada, foi efetuada uma análise de sensibilidade aos parâmetros de determinação da área modificada.

Adicionalmente, foi ainda desenvolvido um algoritmo para cálculo do volume erodido a partir da reconstrução tridimensional do quebra-mar de taludes. Este algoritmo permite a quantificação da área erodida e do dano, sem ser necessário recorrer à extração de perfis, tornando esta técnica mais rápida e precisa.

Palavras-Chave: Quebra-mares de taludes, Ensaios em modelo reduzido, Fotogrametria, Reconstrução tridimensional, Pares estereofotogramétricos

ABSTRACT

In Portugal, rubble-mound breakwaters are a very common harbour protection structure. Its concept design is usually based upon semi-empirical formulas being necessary to resort to scale model tests to confirm the effectiveness of the proposed design in what concerns stability and overtopping.

During stability tests, damage is traditionally assessed by visual counting the number of displacements and movements of the armour units. However, this counting is based on visual observation and are very dependent on the technician experience.

In order to automate or supplement damage assessment in scale model tests, photogrammetric analysis methods are used. However, its use in common scale model tests is not yet expeditious.

The objective of this study was to improve the analysis of damage evolution in scale model tests of rubble mound breakwaters, by using stereo-photogrammetric methods and image comparison methods. The aim was also to improve / develop procedures, whether for automating the application of these techniques and for the expeditious delivery of results. The performance of each of these methods was evaluated by comparing those methods between themselves and with the traditional method of counting the removed blocks.

In order to achieve this goal, two-dimensional scale model tests of the Praia da Vitória south breakwater were conducted in a flume. Tests were performed for high water level and for low water level, associated with 10 s, 14 s and 18 s peak periods and with several wave heights.

To calibrate the measurement algorithms of the modified area, a sensitivity analysis to the parameters that characterize the modified area was performed.

In addition, an algorithm was developed to compute the eroded volume from the three-dimensional reconstruction of the rubble-mound breakwater. This algorithm allows one to quantify the eroded area and damage without the need to extract profiles, making this a more rapid and accurate technique.

Keywords: Rubble-mound breakwaters, Scale model test, Photogrammetry, Three-dimensional reconstruction, Stereo image pairs.

AGRADECIMENTOS

Desejo exprimir os meus sinceros agradecimentos às seguintes pessoas, cujo apoio considero ter sido fundamental na concretização deste trabalho.

Quero agradecer aos meus orientadores o Professor Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos, docente no ISEL, à Engenheira Rute Lemos do LNEC e à Doutora Conceição Juana Fortes, Chefe do Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, responsáveis pela orientação deste trabalho. Agradeço não só pelo incrível apoio prestado mas também pelo acompanhamento permanente e pelos ensinamentos transmitidos ao longo deste percurso, com os quais muito aprendi.

Ao André Ramos e ao Miguel Bastos pelo apoio prestado na realização dos ensaios indispensáveis à concretização deste trabalho.

A todos os meus amigos, aos quais devo uma parte deste trabalho, pela companhia permanente e indispensável que demonstraram e por todo o apoio através da sua amizade, compreensão e colaboração.

À Sónia Gomes, que foi um dos grandes “pilares” de apoio na realização deste trabalho, a ela lhe devo um enorme agradecimento pelo tempo que disponibilizou para me ajudar e pelas horas que passou a apoiar-me, e a dar-me motivação em alturas mais complicadas.

Por fim, mas em primeiro plano, desejo exprimir um profundo reconhecimento aos meus pais e aos meus avós pelo apoio demonstrado e por toda a força e incentivo que me deram bem como aos exemplos de vida de cada um que me guiaram até esta etapa e guiarão em etapas futuras.

Aos meus pais agradeço ainda o facto de terem investido e acreditado sempre em mim. Sem eles nunca teria tido a hipótese de estar a terminar um curso superior e de ser o que sou hoje.

ÍNDICE

1 - Introdução	1
1.1 - Motivação, Objetivos e Metodologia do Trabalho	1
1.2 - Estrutura da Dissertação	4
2 - Generalidades Sobre Quebra-Mares	7
2.1 - Tipos de Quebra-mar	7
2.1.1 - Quebra-Mar de Taludes	8
2.1.2 - Quebra-mar Vertical	9
2.1.3 - Quebra-mar Misto	10
2.2 - Principais Ações e Modos de Falha	12
2.3 - Pré-dimensionamento Hidráulico do Manto de um Quebra-mar.....	15
3 - A Modelação Física	21
3.1 - Relação de Semelhança e Escolha da Escala.....	22
3.1.1 - Fontes de Erros e Efeitos de Escala	24
3.2 - A Evolução do Dano do Manto de Quebra-Mares de Taludes em Modelo Físico .	25
3.2.1 - Parâmetros Gerais	25
3.2.2 - Método da Contagem de Blocos Removidos.....	27
3.2.3 - Método Estereofotogramétrico	28
3.2.4 - Método de Comparação de Imagens.....	32
4 - Ensaio de Estabilidade em Modelo Bidimensional.....	35
4.1 - Caso de Estudo do Quebra-mar Sul do Porto de Praia da Vitória	35
4.2 - Descrição das Instalações de Ensaio.....	38
4.3 - Condições Experimentais e Implantação do Modelo Físico.....	39
4.4 - Agitação Incidente e Níveis de Maré.....	40
4.5 - Equipamento de Medição da Agitação	42
4.6 - Calibração do Modelo.....	44
4.7 - Equipamento Utilizado para Aquisição de Imagens.....	46

4.8 - Avaliação do Dano.....	46
4.8.1 - Contagem Visual.....	46
4.8.2 - Método Estereofotogramétrico	48
4.8.3 - Comparação de Imagens	52
5 - Apresentação e Análise de Resultados	55
5.1 - Contagem Visual.....	55
5.1.1 - Manto Resistente.....	56
5.1.2 - Banqueta do Pé de Talude.....	63
5.1.3 - Resumo dos Resultados Obtidos com o Método da Contagem Visual.....	67
5.2 - Estereofotogrametria.....	67
5.2.1 - Manto Resistente.....	68
5.2.2 - Banqueta do Pé de Talude.....	80
5.2.3 - Resumos dos Resultados Obtidos com o Método Estereofotogramétrico	83
5.3 - Comparação de Imagens	84
5.3.1 - Algoritmo em MATLAB “ImageCompair_Area”	84
5.3.2 - Algoritmo em em Scilab “Modif”.....	94
5.3.3 - Resumo dos Resultados Obtidos com os Métodos de Comparação de Imagens	103
5.4 - Análise Comparativa Entre Métodos	104
5.4.1 - Contagem Visual vs Estereofotogrametria	104
5.4.2 - ContagemVisual vs ImageCompair_Area vs modif	114
6 - Cálculo da Área Erodida e do Dano através do Volume Erodido	127
6.1 - Manto Resistente.....	129
6.2 - Banqueta do Pé do Talude	132
7 - Conclusões	137
8 - Referências.....	141
ANEXO 1 – Contagem Visual Quedas	145

ANEXO 2 – Contagem Visual Movimentos.....	151
ANEXO 3 – Superfícies Reconstruídas	157
ANEXO 4 – Perfis.....	163
ANEXO 5 – Dano (S)	289
ANEXO 6 – Comparação de Imagens MATLAB	291
ANEXO 7 – Comparação de Imagens Scilab	297
ANEXO 8 – Análise Comparativa	303
ANEXO 9 – Algoritmo de Cálculo do Volume, Área Erodida e Dano	305

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Quebra-mar de Leixões.....	1
Figura 1.2 – Exemplos de quebra-mares de taludes protegidos por a) enrocamento, b) e c) blocos artificiais.....	2
Figura 2.1 – Quebra-mar de taludes	9
Figura 2.2 – Quebra-mar vertical	10
Figura 2.3 – Quebra-mar misto na vertical (U. S. Army Corps of Engineers, 2006)	11
Figura 2.4 – Quebra-mar misto na horizontal (U. S. Army Corps of Engineers, 2006)	11
Figura 2.5 – Falha de um quebra-mar vertical por: a) deslizamento, b) derrubamento e c) escorregamento do subsolo.....	13
Figura 2.6 – Falha de um quebra-mar vertical por: a) erosão da camada de fundação, b) erosão do fundo marinho e c) instabilidade parcial da estrutura	13
Figura 2.7 – Modos de falha de quebra-mares de taludes.....	14
Figura 2.8 – Intabilidade hidráulica do manto resistente. 1 – Deslocamento do manto resistente próximo do NMM. 2 – Erosão do filtro e do núcleo (desenvolvimento de perfil em S). 3 – Arrastamento do coroamento da estrutura (U. S. Army Corps of Engineers, 2006)	14
Figura 2.9 – Modos de falha da superestrutura por: a) Erosão a barlar, b) Erosão a sotamar, c) Deslizamento, d) Derrubamento, e) Falha dos materiais.....	15
Figura 2.10 – Organigrama ilustrativo das etapas do pré-dimensionamento do manto resistente	16
Figura 2.11 – Blocos artificiais de betão (U. S. Army Corps of Engineers, 2006).....	17
Figura 2.12 – Secção transversal para um quebra-mar de taludes exposto de ambos os lados com condições de galgamento moderadas (U. S. Army Corps of Engineers, 2006).....	19
Figura 3.1 – Exemplo de área erodida (A_e)	26
Figura 3.2 – Visão binocular (Lagendijk, Franich, & Hendriks, 2002).....	28
Figura 3.3 – Camaras dispostas com eixos paralelos	29
Figura 3.4 – Reconstrução tridimensional do modelo reduzido de um quebra-mar	30
Figura 3.5 – Câmara FoV (Field of View)	31
Figura 3.6 – Representação de uma imagem em níveis de cinzento.....	33
Figura 3.7 – Imagem resultante da matriz de diferenças a preto e branco	33
Figura 5.1 – Perfil de projeto do quebra-mar sul, utilizado nos ensaios de estabilidade	35
Figura 4.1 – Porto e baía de Praia da Vitória	36

Figura 4.2 – a) Quebra-mar Sul da Praia da Vitória após tempestade. b) Quebra-mar Sul da Praia da Vitória antes da tempestade	37
Figura 4.3 – Muro cortina com trincheira de drenagem.....	37
Figura 5.2 – Vista lateral do canal de ondas irregulares número 1 (COI1).....	39
Figura 5.3 – Dimensões em planta do canal de ondas irregulares número 1 (COI1).....	39
Figura 5.4 – Fundo e perfil implantado no modelo físico, à escala 1:48	40
Figura 5.5 – Implantação do perfil do cais 12 no canal de ondas irregulares 1 (COI1).....	40
Figura 5.6 – Propagação de ondas no COI1	40
Figura 5.7 – Sonda resistiva para medição da elevação da superfície livre	43
Figura 5.8 – Esquema de distribuição das sondas resistivas ao longo do COI1	43
Figura 5.9 – Equipamento de aquisição Spider 8.....	44
Figura 5.10 – <i>Software</i> de registo de voltagem Catman Easy.....	44
Figura 5.11 – SAM – Interface do programa para geração de espectros	45
Figura 5.12 – SAM – Interface do programa para definição dos parâmetros para geração de espectros	45
Figura 5.13 – <i>Software</i> de calibração (camara_calib_gui).....	49
Figura 5.14 – <i>Software</i> de reconstrução (reconstruct_gui)	49
Figura 5.15 – Refracção na interface ar-água	50
Figura 5.16 – Superfície reconstruída 3D, através de algoritmo TratamentoAutomatico_Envolv	50
Figura 5.17 – Exemplo de perfis extraídos	51
Figura 5.18 – Localização dos perfis a extraídos	51
Figura 5.19 – Imagem resultante da comparação das imagens usando o algoritmo ImageCompair_Area	52
Figura 5.20 – ImageCompair_Area. Etapas para a quantificação das áreas modificadas entre fotos.	53
Figura 6.1 – Percentagem de quedas dos tetrápodos do manto para os ensaios $T_p=10$ s obtido através de contagem visual.....	57
Figura 6.2 – Grau de quedas dos tetrápodos do manto para os ensaios $T_p=10$ s obtido através de contagem visual	58
Figura 6.3 – Percentagem de quedas dos tetrápodos para os ensaios $T_p=14$ s obtido através de contagem visual	60
Figura 6.4 – Grau de quedas dos tetrápodos do manto para $T_p=14$ s obtido através de contagem visual	61

Figura 6.5 – Percentagem de quedas do enrocamento da banquetta do pé do talude para os ensaios $T_p=10$ s obtido através de contagem visual.....	64
Figura 6.6 – Percentagem de quedas do enrocamento para o $T_p=14$ s obtido através de contagem visual	65
Figura 6.7 – Percentagem de quedas do enrocamento da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=18$ s obtido por contagem visual	66
Figura 6.8 – Superfícies reconstruídas para $T_p=10$ s PM, levantamento inicial (L0) e final (L4)	69
Figura 6.9 – Superfícies reconstruídas para $T_p=10$ s BM, levantamento inicial (L0) e final (L4)	69
Figura 6.10 – Perfil P4 da superfície do levantamento inicial (L0) e final (L4), para $T_p=10$ s PM.....	70
Figura 6.11 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente a P4, $T_p=10$ s PM.....	70
Figura 6.12 – Área erodida (A_e) da zona ativa do manto resistente para $T_p=10$ s	71
Figura 6.13 – Superfícies reconstruídas para $T_p=14$ s PM, levantamento inicial (L0) e final (L6)	72
Figura 6.14 – Superfícies reconstruídas para $T_p=14$ s BM, levantamento inicial (L0) e final (L5)	73
Figura 6.15 – Perfil P4 da superfície do levantamento inicial (L0) e final (L6), para $T_p=14$ s PM.....	73
Figura 6.16 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente a P4, $T_p=14$ s PM.....	74
Figura 6.17 – Área erodida (A_e) da zona ativa do manto resistente para $T_p=14$ s	75
Figura 6.18 – Superfície reconstruída para $T_p=18$ s PM, levantamento inicial e final.....	76
Figura 6.19 – Superfície reconstruída para $T_p=18$ s BM, levantamento inicial e final	77
Figura 6.20 – Perfil P4 da superfície do levantamento inicial (L0) e final (L2), para $T_p=18$ s PM.....	77
Figura 6.21 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao P4, $T_p=18$ s PM.....	78
Figura 6.22 – Área erodida (A_e) da zona ativa do manto resistente para $T_p=18$ s	79
Figura 6.23 – Área Erodida (A_e) da banquetta do pé de talude para $T_p=10$ s	81
Figura 6.24 – Área erodida da banquetta do pé de talude (A_e) para $T_p=14$ s.....	82
Figura 6.25 – Área erodida da banquetta do pé de talude (A_e) para $T_p=18$ s.....	83

Figura 6.26 – Imagens inicial (L0) (esquerda) e final (L4) (central) do manto resistente e diferenças a preto e branco (direita) para o $T_p=10$ s PM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area.....	85
Figura 6.27 – Imagens inicial (L0) (esquerda) e final (L4) (central) da banquetta do pé de talude e diferenças a preto e branco (direita) para o $T_p=10$ s PM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area.....	85
Figura 6.28 – Área modificada do manto resistente para $T_p=10$ s, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area	86
Figura 6.29 – Área Modificada da banquetta do pé de talude para $T_p=10$ s, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area.....	87
Figura 6.30 – Imagens inicial (L0) (esquerda) e final (L6) (centro) do manto resistente e diferenças a preto e branco (direita) para $T_p= 14$ s PM, obtido através do algoritmo ImageCompair_Area.....	88
Figura 6.31 – Imagens inicial (L0) (esquerda) e final (L6) (centro) da banquetta do pé de talude e diferenças a preto e branco (direita) para $T_p= 14$ s PM, obtido através do algoritmo ImageCompair_Area.....	88
Figura 6.32 – Área modificada do manto resistente para $T_p=14$ s, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area	90
Figura 6.33 – Área modificada da banquetta do pé de talude para $T_p=14$ s, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area.....	91
Figura 6.34 – Imagens inicial (L0) (esquerda) e final (L2) (centro) do manto resistente e diferenças a preto e branco (direita) para $T_p= 18$ s PM, obtido através do algoritmo ImageCompair_Area.....	92
Figura 6.35 – Imagens dos levantamentos inicial (L0) (esquerda) e final (L2) (centro) da banquetta do pé de talude e diferenças a preto e branco (direita) para $T_p= 18$ s PM, obtido através do algoritmo ImageCompair_Area.....	92
Figura 6.36 – Área modificada do manto resistente para $T_p=18$ s, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area	93
Figura 6.37 – Área modificada da banquetta do pé de talude para $T_p=18$ s, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area.....	94
Figura 6.38 – Imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco do manto resistente para $T_p=10$ s PM, através do algoritmo modif	95

Figura 6.39 – Imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco da banqueta do pé de talude para $T_p=10$ s PM, através do algoritmo modif.....	95
Figura 6.40 – Área modificada do manto para $T_p=10$ s, utilizando o algoritmo modif	96
Figura 6.41 – Área modificada da banqueta para $T_p=10$ s, utilizando o algoritmo modif	97
Figura 6.42 – Imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco do manto para $T_p=14$ s PM, através do algoritmo modif.....	98
Figura 6.43 – Imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco da banqueta para $T_p=14$ s PM, através do algoritmo modif.....	98
Figura 6.44 – Área modificada do manto para $T_p=14$ s, utilizando o algoritmo modif	99
Figura 6.45 – Área modificada da banqueta para $T_p=14$ s, utilizando o algoritmo modif	100
Figura 6.46 – Imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco do manto para $T_p=18$ s PM, através do algoritmo modif.....	101
Figura 6.47 – Imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco da banqueta para $T_p=18$ s PM, através do algoritmo modif.....	101
Figura 6.48 – Área modificada do manto para $T_p=18$ s, utilizando o algoritmo modif	102
Figura 6.49 – Área modificada da banqueta para $T_p=18$ s, utilizando o algoritmo modif. ...	103
Figura 6.50 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, do manto resistente para $T_p=10$ s PM	105
Figura 6.51 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev do manto resistente para $T_p=10$ s BM.....	105
Figura 6.52 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, da banqueta para $T_p=10$ s PM ...	107
Figura 6.53 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, da banqueta para $T_p=10$ s BM... ..	107
Figura 6.54 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, do manto resistente para $T_p=14$ s PM	109

Figura 6.55 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo CompararPerfisVariosLev, do manto resistente para Tp=14 s BM.....	109
Figura 6.56 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, da banquetta para Tp=14 s PM ...	111
Figura 6.57 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, da banquetta para Tp=14 s BM...	111
Figura 6.58 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, da banquetta para Tp=18 s PM ...	113
Figura 6.59 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, da banquetta para Tp=18 s BM...	114
Figura 6.60 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, do manto resistente para Tp=10 s PM.....	116
Figura 6.61 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, do manto resistente para Tp=10 s BM	116
Figura 6.62 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, da banquetta para Tp=10 s PM .	117
Figura 6.63 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, da banquetta para Tp=10 s BM. .	118
Figura 6.64 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, do manto resistente para Tp=14 s PM.....	120
Figura 6.65 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, do manto resistente para Tp=14 s BM	120
Figura 6.66 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, da banquetta para Tp=14 s PM .	121
Figura 6.67 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, da banquetta para Tp=14 s BM. .	122
Figura 6.68 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, do manto resistente para Tp=18 s PM.....	124

Figura 6.69 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, do manto resistente para Tp=18 s BM	124
Figura 6.70 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através dos algoritmos ImageCompair_Area e modif,da banquetta para Tp=18 s PM	125
Figura 6.71 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através dos algoritmos ImageCompair_Area e modif da banquetta para Tp=18 s BM	126
Figura 7.1 – Tronco de prisma	127
Figura 7.2 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, do manto para Tp=10 s PM	130
Figura 7.3 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, do manto para Tp=10 s BM.....	131
Figura 7.4 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, do manto para Tp=14 s PM	131
Figura 7.5 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, do manto para Tp=14 s BM.....	132
Figura 7.6 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, da banquetta para Tp=10 s PM	134
Figura 7.7 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, da banquetta para Tp=10 s BM.....	134
Figura 7.8 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, da banquetta para Tp=14 s PM	135
Figura 7.9 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, da banquetta para Tp=14 s BM.....	135
Figura A.1.1 – Quedas por levantamento dos tetrápodos do manto resistente para Tp=10 s obtido através de contagem visual.....	145
Figura A.1.2 – Quedas acumuladas dos tetrápodos do manto resistente para Tp=10 s obtido através de contagem visual	145
Figura A.1.3 – Quedas por levantamento do enrocamento da banquetta do pé de talude para Tp= 10 s obtido por contagem visual	146
Figura A.1.4 – Quedas acumuladas do enrocamento da banquetta do pé de talude para Tp=10 s obtido por contagem visual	146

Figura A.1.5 – Quedas por levantamento dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=14$ s obtido por contagem visual.....	147
Figura A.1.6 – Quedas acumuladas dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=14$ s obtido por contagem visual	147
Figura A.1.7 – Quedas por levantamento do enrocamento da banquetta do pé de talude para $T_p=14$ s obtido por contagem visual	148
Figura A.1.8 – Quedas acumuladas do enrocamento da banquetta do pé de talude para $T_p=14$ s obtido por contagem visual	148
Figura A.1.9 – Quedas por levantamento do enrocamento da banquetta do pé de talude para $T_p=18$ s obtido por contagem visual	149
Figura A.1.10 – Quedas acumuladas do enrocamento da banquetta do pé de talude para $T_p=18$ s obtido por contagem visual	149
Figura A.2.1 – Movimentos por levantamento dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=10$ s obtido através de contagem visual.....	151
Figura A.2.2 – Movimentos acumulados dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=10$ s obtido através de contagem visual.....	151
Figura A.2.3 – Percentagem de movimentos dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=10$ s obtido por contagem visual	152
Figura A.2.4 – Grau de movimentos dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=10$ s obtido por contagem visual.....	152
Figura A.2.5 – Movimentos por levantamento dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=14$ s obtido por contagem visual	153
Figura A.2.6 – Movimentos acumulados dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=14$ s obtido por contagem visual.....	153
Figura A.2.7 – Percentagem de movimentos dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=14$ s obtido por contagem visual	154
Figura A.2.8 – Grau movimento dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=14$ s obtido por contagem visual.....	154
Figura A.2.9 – Movimentos por levantamento dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=18$ s obtido por contagem visual	155
Figura A.2.10 – Movimentos acumulados dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=18$ s obtido por contagem visual.....	155

Figura A.2.11 – Percentagem de movimentos dos tetrápodos do manto resistente para Tp=18 s obtido por contagem visual	156
Figura A.2.12 – Grau movimento dos tetrápodos do manto resistente para Tp=18 s obtido por contagem visual.....	156
Figura A.3.1 – Superfícies reconstruídas para Tp=10s PM dos levantamentos L1, L2 e L3.	157
Figura A.3.2 – Superfícies reconstruídas para Tp=10 s BM dos levantamentos L1, L2 e L3	158
Figura A.3.3 – Superfícies reconstruídas para Tp=14 s PM dos levantamentos L1, L2, L3, L4 e L5.....	159
Figura A.3.4 – Superfícies reconstruídas para TP=14 s BM para os levantamentos L1, L2, L3 eL4.....	160
Figura A.3.5 – Superfície reconstruída para Tp=18 s PM para o levantamento L1.....	160
Figura A.3.6 – Superfície reconstruída para Tp=18 s BM do levantamento L1	161
Figura A.4.1 – Perfil P1 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com Tp=10 s PM.....	163
Figura A.4.2 – Perfil P2 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com Tp=10 s PM.....	164
Figura A.4.3 – Perfil P3 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com Tp=10 s PM.....	165
Figura A.4.4 – Perfil P4 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com Tp=10 s PM.....	166
Figura A.4.5 – Perfil P5 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com Tp=10 s PM.....	167
Figura A.4.6 – Perfil P6 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com Tp=10 s PM.....	168
Figura A.4.7 – Perfil P7 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com Tp=10 s PM.....	169
Figura A.4.8 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscimos da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com Tp=10 s PM	170

Figura A.4.9 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM	171
Figura A.4.10 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM	172
Figura A.4.11 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM	173
Figura A.4.12 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM	174
Figura A.4.13 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM	175
Figura A.4.14 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM	176
Figura A.4.15 – Perfil P1 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	177
Figura A.4.16 – Perfil P2 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	178
Figura A.4.17 – Perfil P3 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	179
Figura A.4.18 – Perfil P4 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	180
Figura A.4.19 – Perfil P5 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	181
Figura A.4.20 – Perfil P6 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	182
Figura A.4.21 – Perfil P7 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	183

Figura A.4.22 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM.....	184
Figura A.4.23 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM.....	185
Figura A.4.24 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM.....	186
Figura A.4.25 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM.....	187
Figura A.4.26 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM.....	188
Figura A.4.27 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM.....	189
Figura A.4.28 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM.....	190
Figura A.4.29 – Perfil P1 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	191
Figura A.4.30 – Perfil P2 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	192
Figura A.4.31 – Perfil P3 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	193
Figura A.4.32 – Perfil P4 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	194
Figura A.4.33 – Perfil P5 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	195
Figura A.4.34 – Perfil P6 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	196

Figura A.4.35 – Perfil P7 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	197
Figura A.4.36 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	198
Figura A.4.37 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	199
Figura A.4.38 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	200
Figura A.4.39 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	201
Figura A.4.40 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	202
Figura A.4.41 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	203
Figura A.4.42 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	204
Figura A.4.43 – Perfil P1 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	205
Figura A.4.44 – Perfil P2 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	206
Figura A.4.45 – Perfil P3 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	207
Figura A.4.46 – Perfil P4 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	208
Figura A.4.47 – Perfil P5 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	209

Figura A.4.48 – Perfil P6 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	210
Figura A.4.49 – Perfil P7 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	211
Figura A.4.50 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	212
Figura A.4.51 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	213
Figura A.4.52 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	214
Figura A.4.53 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	215
Figura A.4.54 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	216
Figura A.4.55 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	217
Figura A.4.56 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	218
Figura A.4.57 – Perfil P1 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	219
Figura A.4.58 – Perfil P2 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	220
Figura A.4.59 – Perfil P3 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	221
Figura A.4.60 – Perfil P4 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	222

Figura A.4.61 – Perfil P5 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	223
Figura A.4.62 – Perfil P6 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	224
Figura A.4.63 – Perfil P7 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	225
Figura A.4.64 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	226
Figura A.4.65 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	227
Figura A.4.66 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	228
Figura A.4.67 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	229
Figura A.4.68 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	230
Figura A.4.69 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	231
Figura A.4.70 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	232
Figura A.4.71 – Perfil P1 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	233
Figura A.4.72 – Perfil P2 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	234
Figura A.4.73 – Perfil P3 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	235

Figura A.4.74 – Perfil P4 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	236
Figura A.4.75 – Perfil P5 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	237
Figura A.4.76 – Perfil P6 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	238
Figura A.4.77 – Perfil P7 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	239
Figura A.4.78 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	240
Figura A.4.79 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	241
Figura A.4.80 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	242
Figura A.4.81 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	243
Figura A.4.82 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	244
Figura A.4.83 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	245
Figura A.4.84 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	246
Figura A.4.85 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM	247
Figura A.4.86 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM	248

Figura A.4.87 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM	249
Figura A.4.88 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM	250
Figura A.4.89 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM	251
Figura A.4.90 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM	252
Figura A.4.91 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM	253
Figura A.4.92 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	254
Figura A.4.93 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	255
Figura A.4.94 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	256
Figura A.4.95 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	257
Figura A.4.96 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	258
Figura A.4.97 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	259
Figura A.4.98 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM	260
Figura A.4.99 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	261
Figura A.4.100 – v da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM.....	262
Figura A.4.101 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	263
Figura A.4.102 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	264
Figura A.4.103 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	265

Figura A.4.104 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	266
Figura A.4.105 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM	267
Figura A.4.106 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	268
Figura A.4.107 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	269
Figura A.4.108 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	270
Figura A.4.109 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	271
Figura A.4.110 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	272
Figura A.4.111 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	273
Figura A.4.112 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM	274
Figura A.4.113 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	275
Figura A.4.114 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	276
Figura A.4.115 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	277
Figura A.4.116 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	278
Figura A.4.117 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	279
Figura A.4.118 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	280
Figura A.4.119 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM	281
Figura A.4.120 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	282

Figura A.4.121 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM.....	283
Figura A.4.122 – Área erodida da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	284
Figura A.4.123 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	285
Figura A.4.124 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	286
Figura A.4.125 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	287
Figura A.4.126 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM	288
Figura A.5.1 – Dano (S) da zona ativa do manto resistente para $T_p=10$ s.....	289
Figura A.5.2 – Dano (S) da zona ativa do manto resistente para $T_p=14$ s.....	289
Figura A.5.3 – Dano (S) da zona ativa do manto resistente para $T_p=18$ s.....	290
Figura A.6.1 – Imagem inicial (L0) e final (L4) do manto e diferenças a preto e branco para $T_p=10$ s BM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area.....	291
Figura A.6.2 – Imagem inicial (L0) e final (L4) da banquetta e diferenças a preto e branco para $T_p=10$ s BM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area.....	291
Figura A.6.3 – Percentagem de área modificada do manto para $T_p=10$ s, obtida através do algoritmo ImageCompair_Area.....	292
Figura A.6.4 – Percentagem de área modificada da banquetta para $T_p=10$ s, obtida através do algoritmo ImageCompair_Area.....	292
Figura A.6.5 – Imagem inicial (L0) e final (L5) do manto e diferenças a preto e branco para $T_p=14$ s BM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area.....	293
Figura A.6.6 – Imagem inicial (L0) e final (L5) da banquetta e diferenças a preto e branco para $T_p=14$ s BM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area.....	293
Figura A.6.7 – Percentagem de área modificada do manto para $T_p=14$ s, obtida através do algoritmo ImageCompair_Area.....	294
Figura A.6.8 – Percentagem de área modificada da banquetta para $T_p=14$ s, obtida através do algoritmo ImageCompair_Area.....	294

Figura A.6.9 – Imagem inicial (L0) e final (L2) do manto e diferenças a preto e branco para $T_p=18$ s BM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area.....	295
Figura A.6.10 – Imagem do levantamento inicial (L0) e final (L2) da banquetta e diferenças a preto e branco para $T_p=18$ s BM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area	295
Figura A.6.11 – Percentagem de área modificada do manto para $T_p=18$ s, obtida através do algoritmo ImageCompair_Area.....	296
Figura A.6.12 – Percentagem de área modificada da banquetta para $T_p=18$ s, obtida através do algoritmo ImageCompair_Area.....	296
Figura A.7.1 – Imagem em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco do manto para $T_p=10$ s BM, através do algoritmo modif.....	297
Figura A.7.2 – Imagem em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco da banquetta para $T_p=10$ s BM, através do algoritmo modif.....	297
Figura A.7.3 – Percentagem de área modificada do manto para $T_p=10$ s, obtida através do algoritmo modif	298
Figura A.7.4 – Percentagem de área modificada da banquetta para $T_p=10$ s, obtida através do algoritmo modif	298
Figura A.7.5 – Imagem em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco do manto para $T_p=14$ s BM, através do algoritmo modif.....	299
Figura A.7.6 – Imagem em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco da banquetta para $T_p=14$ s BM, através do algoritmo modif.....	299
Figura A.7.7 – Percentagem de área modificada do manto para $T_p=14$ s, obtida através do algoritmo modif	300
Figura A.7.8 – Percentagem de área modificada da banquetta para $T_p=14$ s, obtida através do algoritmo modif	300
Figura A.7.9 – Imagem em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco do manto para $T_p=18$ s BM, através do algoritmo modif.....	301

Figura A.7.10 – Imagem em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco da banqueta para $T_p=18$ s BM, através do algoritmo modif.....	301
Figura A.7.11 – Percentagem de área modificada do manto para $T_p=18$ s, obtida através do algoritmo modif	302
Figura A.7.12 – Percentagem de área modificada da banqueta para $T_p=18$ s, obtida através do algoritmo modif	302
Figura A.8.1 – Grau de quedas obtida por contagem visual e dano (S) obtido pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, do manto para $T_p=10$ s PM.....	303
Figura A.8.2 – Grau de quedas obtida por contagem visual e dano (S) obtido pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, do manto para $T_p=10$ s BM.....	303
Figura A.8.3 – Grau de quedas obtida por contagem visual e dano (S) obtido pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, do manto para $T_p=14$ s PM.....	304
Figura A.8.4 – Grau de quedas obtida por contagem visual e dano (S) obtido pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, do manto para $T_p=14$ s BM.....	304

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Principais escalas de semelhança de Froude	23
Tabela 5.1 – Condições de agitação incidente	41
Tabela 5.2 – Duração do tempo de cada ensaio	41
Tabela 5.3 – Correspondência entre as condições de agitação ensaiadas e os levantamentos realizados	42
Tabela 5.4 – Quantidades de elementos constituintes do quebra-mar	46
Tabela 5.5 – Critério de classificação de quedas de blocos do manto resistente em ensaios bidimensionais (LNEC)	47
Tabela 5.6 – Critério de classificação de movimentos de blocos do manto resistente em ensaios bidimensionais (LNEC)	48
Tabela 6.1 – Resumo de resultados relativos à estabilidade do manto para os ensaios com $T_p=10$ s através do método de contagem visual.....	57
Tabela 6.2 – Resumo de resultados relativos à estabilidade do manto para os ensaios com $T_p=14$ s, através do método de contagem visual.....	60
Tabela 6.3 – Resumo de resultados relativos à estabilidade do manto para os ensaios com $T_p=18$ s, através do método de contagem visual.....	62
Tabela 6.4 – Resumo de resultados relativos à estabilidade da banquetta do pé do talude com $T_p=10$ s através do método de contagem visual.....	63
Tabela 6.5 – Resumo de resultados relativos à estabilidade da banquetta do pé do talude com $T_p=14$ s, através do método de contagem visual.....	65
Tabela 6.6 – Resumo de resultados relativos à estabilidade da banquetta do pé do talude com $T_p=18$ s através do método de contagem visual.....	66
Tabela 6.7 – Correspondência entre os levantamentos (L) e as alturas significativas (H_s)	68
Tabela 6.8 – Resumo do Dano (S) e Área Erodida (A_e), da zona ativa do manto resistente, sem considerar acreção, para $T_p=10$ s.....	71
Tabela 6.9 – Resumo do Dano (S) e Área erodida (A_e) da zona ativa do manto para $T_p=14$ s.....	75
Tabela 6.10 – Resumo Dano (S) e Área erodida (A_e cm ²) da zona ativa do manto resistente para $T_p=18$ s	79
Tabela 6.11 – Resumo da Área erodida (A_e cm ²) da banquetta do pé de talude para $T_p=10$ s	80
Tabela 6.12 – Resumo Área erodida da banquetta do pé de talude (A_e cm ²) para $T_p=14$ s.....	81
Tabela 6.13 – Área erodida da banquetta do pé de talude (A_e cm ²) para $T_p=18$ s.....	82

Tabela 6.14 – Área modificada (A_m) para $T_p=10$ s, calculado através do algoritmo ImageCompair_Area	86
Tabela 6.15 – Área modificada (A_m) para $T_p=14$ s, calculado através do algoritmo ImageCompair_Area	89
Tabela 6.16 – Área modificada (A_m) para $T_p=18$ s, calculada utilizando o algoritmo ImageCompair_Area	93
Tabela 6.17 – Área modificada (A_m) para $T_p=10$ s, calculado através do algoritmo modif...	96
Tabela 6.18 – Área modificada (A_m) para $T_p=14$ s, utilizando o algoritmo modif	99
Tabela 6.19 – Área modificada (A_m) para $T_p=18$ s, calculado através do algoritmo modif.	102
Tabela 6.20 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com o algoritmo CompararPerfisVariosLev.mat. Manto resistente sujeito ao estado de agitação com $T_p=10$ s	104
Tabela 6.21 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com o algoritmo CompararPerfisVariosLev.mat. Banqueta do pé de talude sujeita ao estado de agitação com $T_p=10$ s	106
Tabela 6.22 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com o algoritmo CompararPerfisVariosLev.mat. Manto resistente sujeito ao estado de agitação com $T_p=14$ s	108
Tabela 6.23 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com o algoritmo CompararPerfisVariosLev.mat. Banqueta do pé de talude sujeita ao estado de agitação com $T_p=14$ s	110
Tabela 6.24 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com o algoritmo CompararPerfisVariosLev.mat. Manto resistente sujeito ao estado de agitação com $T_p=18$ s	112
Tabela 6.25 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com o algoritmo CompararPerfisVariosLev.mat. Banqueta do pé de talude sujeita ao estado de agitação com $T_p=18$ s	113
Tabela 6.26 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com os algoritmos ImageCompair_Area.mat e modif.sci para os ensaios realizados com $T_p=10$ s	115
Tabela 6.27 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com os algoritmos ImageCompair_Area.mat e modif.sci para os ensaios realizados com $T_p=14$ s	119

Tabela 6.28 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com os algoritmos ImageCompair_Area.mat e modif.sci para os ensaios realizados com $T_p=18$ s	123
Tabela 7.1 – Resumo de dados da área erodida (A_e) e dano (S) através do método do volume e dos perfis, do manto para $T_p= 10$ s.....	129
Tabela 7.2 – Resumo de dados da área erodida (A_e) e dano (S) através do método do volume e dos perfis, do manto para $T_p= 14$ s.....	130
Tabela 7.3 – Resumo de dados da área erodida (A_e) e dano (S) através do método do volume e dos perfis, da banquetta para $T_p= 10$ s	133
Tabela 7.4 – Resumo de dados da área erodida (A_e) e dano (S) através do método do volume e dos perfis, da banquetta para $T_p= 14$ s	133

SIMBOLOGIA

Ae	Volume erodido por unidade de comprimento ou área erodida do perfil transversal do manto (m ²)
Am	Área modificada (m ²)
Ab	Área da base (m ²)
b	Distância entre os eixos das câmaras (m)
BM	Baixa-mar (m)
D _n	Diâmetro nominal de um bloco (mm)
D _{n50}	Diâmetro nominal do enrocamento (mm)
f	Distância focal (m)
g	Aceleração da gravidade (m ² /s)
Hs	Altura de onda significativa (m)
H	Altura da onda de projeto (m)
K _D	Coefficiente de estabilidade de Hudson (-)
Ks	Constante de calibração das sondas resistivas (cm/cV)
k _Δ	Coefficiente de forma (-)

M_{50}	Massa mediana do bloco de enrocamento na curva de distribuição de massa (kg)
n	Número de camadas de blocos do manto
PM	Preia-mar (m)
r	Espessura do manto resistente (m)
R_e	Número de Reynolds (-)
S	Parâmetro adimensional do dano (-)
S_{LR}	Erro da profundidade (m)
T_p	Período de pico (s)
V	Volume (m ³)
W	Peso característico dos blocos do manto resistente (kN)
W_m	Massa dos blocos no modelo (g)
W_p	Massa dos blocos no protótipo (kg)
x_l	Coordenada x do ponto na imagem da esquerda (m)
x_r	Coordenada x do ponto na imagem da direita (m)
x_o	Coordenada segundo x do ponto a calcular (m)
Z	Profundidade do ponto (m)

ZH	Zero hidrográfico (m)
α	Ângulo do talude com a horizontal ($^{\circ}$)
γ_r	Peso específico do material constituinte do bloco de betão (24 kN/m ³)
γ_w	Peso específico da água (9 800 N/m ³)
Δ_m e Δ_p	Densidade submersa no modelo e no protótipo, respetivamente (-)
ε	Erro associado a determinação da coordenada xr (m)
θ	Ângulo do campo de visão da câmara ($^{\circ}$)
λ	Escala do modelo (1/ λ)
ν	Viscosidade cinemática da água (10 ⁻⁶ m ² /s)
$\rho_{a,m}$	Massa volúmica dos blocos de proteção no modelo (kg/m ³)
$\rho_{a,p}$	Massa volúmica dos blocos de proteção no protótipo (kg/m ³)
ρ_s	Massa volúmica dos blocos de enrocamento que constituem o manto (kg/m ³)

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Motivação, Objetivos e Metodologia do Trabalho

O incremento das trocas comerciais, da náutica de recreio e da ocupação da orla costeira para fins turísticos levam à necessidade de intervenções na costa, para o aumento, melhoramento e manutenção das obras marítimas existentes, quer com a resolução de problemas ambientais. As condições severas a que normalmente as estruturas marítimas estão sujeitas, conduzem a situações de obras muito complexas e dispendiosas, quer ao nível do primeiro investimento, quer da sua manutenção.



Figura 1.1 – Quebra-mar de Leixões

Os quebra-mares de taludes são as estruturas mais utilizadas para a criação de condições de abrigo nos portos portugueses instalados em costa aberta (Silva, 1995). Estes quebra-mares são constituídos por um núcleo de materiais soltos indiferenciados que é protegido por uma ou mais camadas de material, também solto, mas de peso mais selecionado, de enrocamento ou elementos artificiais de betão (Figura 1.1 e Figura 1.2).



Figura 1.2 – Exemplos de quebra-mares de taludes protegidos por a) enrocamento, b) e c) blocos artificiais

Os projetos destas estruturas são realizados no pressuposto de que, durante o período de vida útil das mesmas, serão necessárias obras de reparação quando as solicitações excederem as condições de projeto e de manutenção ou quando o estado de fadiga dos materiais puser em causa a estabilidade das estruturas (Lemos, 2010).

Aquando do dimensionamento de um quebra-mar é conveniente a validação, em modelo físico reduzido, dos resultados do pré-dimensionamento, onde é feita uma análise do comportamento hidráulico/estrutural do manto resistente.

Nos ensaios de estabilidade (tridimensionais ou bidimensionais) avaliam-se as quedas e movimentos do manto resistente (blocos artificiais e/ou enrocamento) para cada troço da estrutura em estudo, quando sujeita a agitação marítima incidente, cujas características se

pretendem semelhantes às dos estados de agitação de dimensionamento do manto protetor do protótipo.

Avaliam-se os estragos produzidos pela agitação incidente em cada um dos troços do manto resistente da estrutura. Esta avaliação pode ser realizada apenas através da contagem dos elementos do manto (blocos artificiais e/ou enrocamento) que alteram a sua posição devido à ação da agitação marítima incidente (os chamados “movimentos”), e dos elementos do manto que são deslocados da sua posição inicial mais do que uma dimensão característica do elemento (as chamadas “quedas”). Em geral, essa avaliação é efetuada apenas visualmente, sendo calculada a percentagem de quedas e movimentos em relação ao número total de blocos. Trata-se, assim, de uma metodologia muito dependente da experiência e da sensibilidade do técnico que realiza o ensaio.

Assim, para tentar facilitar e tornar mais eficiente as tarefas associadas à avaliação do dano em modelos reduzidos deste tipo de estruturas, foram desenvolvidas algumas metodologias baseadas em processamento digital de imagem (Lemos, 2010) e (Rodrigues, 2014). Estas metodologias consistem na análise comparativa de fotografias do manto no final de ensaios consecutivos e na comparação de perfis obtidos, recorrendo a técnicas de estereofotogrametria (o que permite extrair um número ilimitado de perfis). Desta forma, é possível avaliar e quantificar a evolução do dano ao longo dos ensaios em modelo reduzido, no que diz respeito a quedas de blocos do manto resistente. Nota-se, no entanto que a aplicação destas metodologias a ensaios correntes não é ainda eficiente.

A motivação da presente dissertação foi, pois, agilizar a análise da evolução do dano em ensaios em modelo físico de quebra-mares, recorrendo a métodos estereofotogramétricos e de comparação de imagens.

Assim, este trabalho teve, como objetivos:

- A utilização de diferentes técnicas de análise fotogramétricas na avaliação da evolução do dano em modelos físicos reduzidos de quebra-mares de taludes;
- Desenvolvimento/aperfeiçoamento de procedimentos quer para a automatização da aplicação das referidas técnicas aos ensaios em modelo físico quer para a obtenção expedita de resultados dessa aplicação;
- Comparação da evolução do dano obtida através dos diferentes métodos;

- Identificação das vantagens e limitações de cada método, contribuindo, assim, para a eventual melhoria dos métodos de análise fotogramétrica.

Para atingir estes objetivos, foram realizados ensaios em modelo físico reduzido em canal de ondas com vista à avaliação da progressão do dano, recorrendo a diferentes métodos de análise fotogramétrica, tendo sido feita a comparação destes métodos entre si, bem como com o tradicional método de contagem do número de blocos removidos (contagem visual).

Os ensaios foram efetuados para o perfil da seção da zona do cais do quebra-mar sul da Praia da Vitória tendo sido testados os períodos de pico de 10, 14 e 18 segundos associados a diferentes alturas significativas e dois níveis de maré (Preia-mar e Baixa-mar). Efetuou-se a contagem dos blocos removidos quer no manto resistente quer na banquetta do pé de talude, bem como a aquisição de pares de fotografias no início e no fim de cada ensaio (correspondente a um nível de maré, período de pico e altura significativa).

Com vista à avaliação da progressão do dano, foi utilizado um método de análise estereofotogramétrico, (Lemos, 2010), o qual permite a reconstrução tridimensional da superfície do modelo do quebra-mar e a partir dela, a extração de perfis e a contabilização da área e cálculo do dano. Foram depois utilizados dois algoritmos de análise fotogramétrica, desenvolvidos em MATLAB (Lemos, 2015) e em Scilab (Rodrigues, 2014), que permitem a identificação das diferenças e quantificação da área modificada entre as imagens obtidas no final de ensaios consecutivos. Foi efetuada uma análise de sensibilidade aos parâmetros de determinação da área modificada. Adicionalmente, foi ainda desenvolvido um algoritmo para cálculo do volume a partir da superfície reconstruída do quebra-mar de taludes. Este algoritmo permite a quantificação da área erodida e do dano, sem ser necessário recorrer à extração de perfis, tornando esta técnica mais rápida e precisa.

1.2 - Estrutura da Dissertação

O trabalho desenvolve-se em 7 capítulos. Após o capítulo introdutório, apresenta-se no Capítulo 2 algumas generalidades sobre quebra-mares, nomeadamente é feita a descrição dos diferentes tipos de quebra-mares, seus constituintes, modos de falha e dos fundamentos de pré-dimensionamento do caso particular dos quebra-mares de taludes.

No Capítulo 3 é feita a descrição dos conceitos fundamentais da modelação física, sendo abordadas as condições de semelhança entre o modelo físico e o protótipo. São também apresentados os conceitos de dano em quebra-mares de taludes, bem como os métodos utilizados nesta para a sua quantificação.

O Capítulo 4 é dedicado ao caso de estudo do quebra-mar sul da Praia da Vitória, descrevendo-se a sua localização, bem como o enquadramento do estudo. São também apresentados os procedimentos efetuados nos ensaios de estabilidade do modelo físico do quebra-mar sul da Praia da Vitória, sendo descritas as instalações de ensaio e as condições experimentais. É também apresentado o equipamento utilizado na geração e medição da agitação, na aquisição de imagens e na avaliação do dano.

No Capítulo 5 é feita a análise dos resultados experimentais obtidos através das diferentes metodologias, bem como a sua comparação.

No Capítulo 6 é descrito o algoritmo para cálculo da área erodida e do dano do quebra-mar de talude, a partir do cálculo do volume.

A dissertação termina, no Capítulo 7, com a apresentação das conclusões advindas do trabalho realizado e das perspetivas de desenvolvimento das metodologias utilizadas, bem como algumas recomendações para estudos futuros.

2 - GENERALIDADES SOBRE QUEBRA-MARES

2.1 - Tipos de Quebra-mar

Os quebra-mares são estruturas construídas com o intuito de criar zonas de abrigo em áreas costeiras, constituindo um obstáculo à propagação normal de ondas de gravidade geradas pelo vento sobre uma superfície de água. Exemplos das funções dos quebra-mares são:

- Permitir a atracação de navios;
- Garantir a segurança das operações de carga e descarga de navios;
- Proteger as instalações portuárias;
- Melhorar as condições de manobra na entrada de portos.

A ação da onda é reduzida através de uma combinação de reflexão e de dissipação da energia da agitação incidente.

Os principais tipos de quebra-mares convencionais podem classificar-se em:

- Quebra-mar de talude;
- Quebra-mar vertical;
- Quebra-mar misto.

Para estes quebra-mares, no caso de existir ligação a terra, são denominados enraizados, caso contrário serão denominados destacados.

A seleção do quebra-mar a utilizar depende:

- Disponibilidade de materiais utilizados na construção;
- Disponibilidade do equipamento adequado a construção;
- Profundidade do local de implantação;
- Função do quebra-mar no porto.

2.1.1 - Quebra-Mar de Taludes

Os quebra-mares de taludes são o tipo de quebra-mar mais comum em Portugal. Nestes, a onda perde energia por rebentação, por atrito e pela formação de uma emulsão ar-água, sendo a restante energia refletida para o largo.

Este tipo de quebra-mar tem como principais vantagens:

- Facilidade de construção, pois não são necessários equipamentos especializados;
- Pode ser construído em fundos sem características de resistência especiais e irregulares;
- Manutenção simples, do ponto de vista técnico;
- Não existe limitações quanto à profundidade.

Contudo, tem desvantagens tais como, por exemplo, a necessidade de grandes quantidades de materiais de construção e a manutenção periódica.

De uma forma simplificada, os quebra-mares de taludes são constituídos por: (Figura 2.1):

1. Núcleo: zona de enchimento, de forma prismática, situada no interior do quebra-mar, e geralmente constituída material de dimensões variadas designado T.O.T. (todo o tamanho). Tem como função atenuar a propagação das ondas, suportar o manto resistente e o submanto;
2. Submanto: zona constituída por uma ou mais camadas de enrocamentos selecionados, de pesos iguais ou diferentes. Destina-se a evitar a saída de finos do núcleo, protegendo-o da erosão, e aumentar a porosidade do talude, apresenta a função de filtro separando o material mais fino do núcleo do material do manto resistente;
3. Manto resistente: faixa externa do talude e sobre o qual se dá o embate direto das ondas. É constituído por blocos (naturais ou artificiais) dispostos, em geral, em duas camadas. Tem como função dissipar a energia das ondas da agitação e prevenir a erosão do submanto e do núcleo devido a ação da agitação marítima;
4. Superestrutura: bloco de betão ou alvenaria, em geral maciço, de coroamento. Destina-se a facilitar o acesso a veículos, incluindo gruas para a sua manutenção, permitindo ainda a instalação de infra-estruturas, como por exemplo “pipe-lines”. Poderá ainda ter um muro-cortina, cuja função é melhorar a segurança ao galgamento;

5. Pé do talude ou Risberma: constituído por enrocamento ou blocos, tem como função o suporte da camada resistente do manto.

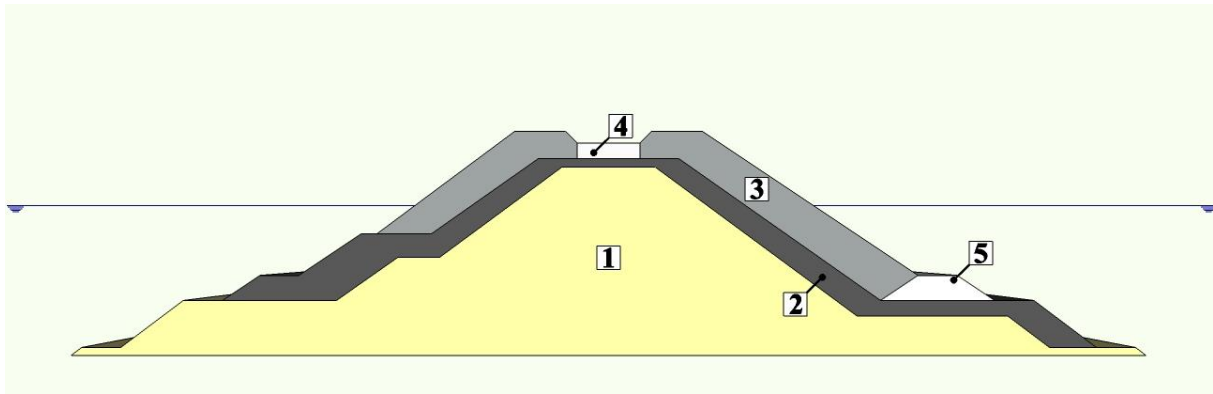


Figura 2.1 – Quebra-mar de taludes

2.1.2 - Quebra-mar Vertical

Os quebra-mares verticais (Figura 2.2) são formados como o nome indica, por uma parede vertical, impermeável que reflete para o largo a onda incidente. Este tipo de quebra-mar é normalmente fundado por enrocamento sobre o qual são assentes caixotões ou blocos, normalmente de betão. A principal desvantagem deste tipo de quebra-mar passa pela ruína repentina no caso de a estrutura sofrer uma ação atuante superior ao valor de projeto (Pita, 1985).

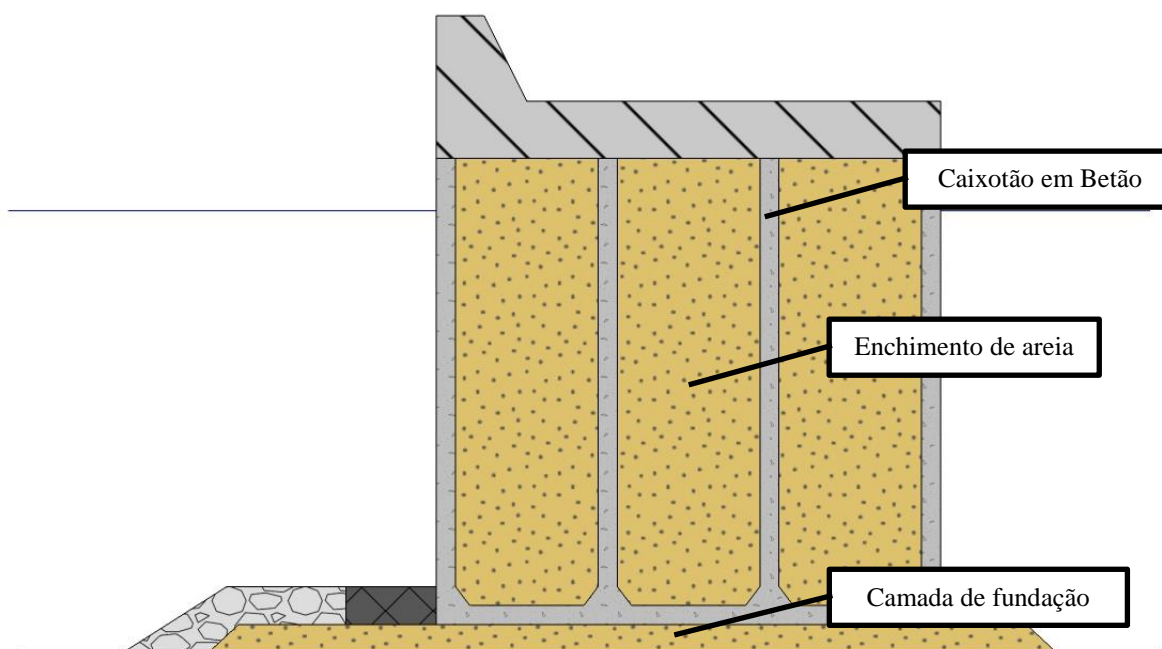


Figura 2.2 – Quebra-mar vertical

2.1.3 - Quebra-mar Misto

Os quebra-mares mistos na vertical (Figura 2.3) são constituídos por um prisma de enrocamento que se estende desde o fundo até uma determinada cota, a partir da qual se desenvolve uma estrutura idêntica à dos quebra-mares verticais.

O seu funcionamento depende da altura de onda.

O quebra-mar reflete as ondas de menor altura comportando-se como um quebra-mar vertical enquanto que as ondas maiores reventam no talude comportando-se então como um quebra-mar de talude.

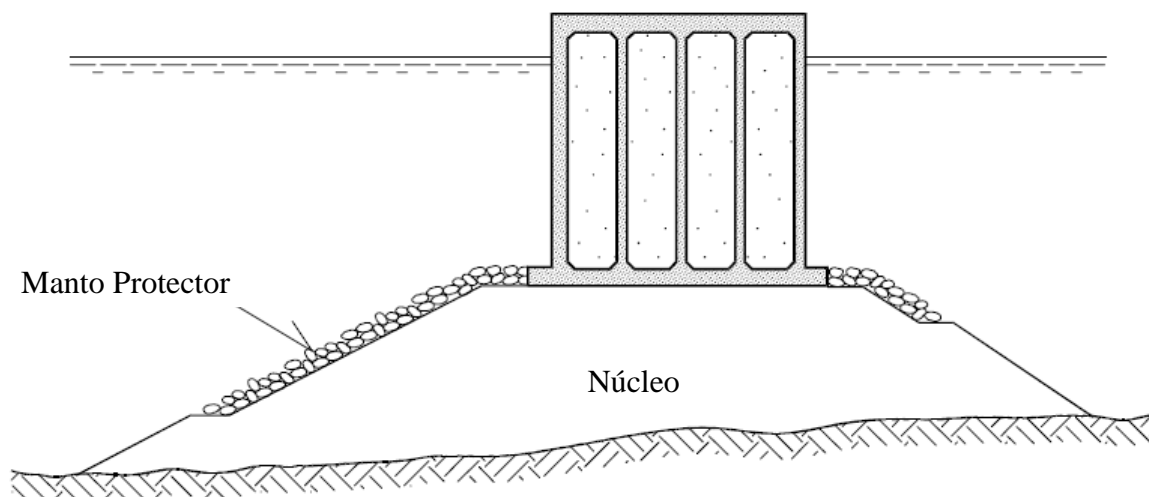


Figura 2.3 – Quebra-mar misto na vertical (U. S. Army Corps of Engineers, 2006)

Os quebra-mares mistos na horizontal são constituídos por um manto resistente em blocos de betão ou enrocamento que se estende até ao topo dos caixotões (Figura 2.4).

Os quebra-mares mistos na horizontal são tipicamente utilizados em águas pouco profundas. O objetivo do manto resistente, colocado na frente do caixotão, é reduzir a reflexão, o impacto e o galgamento da agitação incidente.

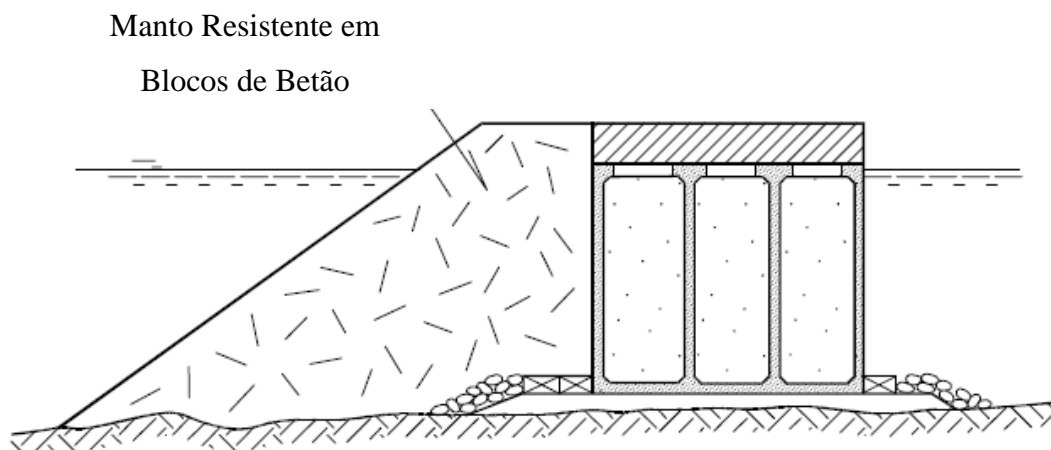


Figura 2.4 – Quebra-mar misto na horizontal (U. S. Army Corps of Engineers, 2006)

2.2 - Principais Ações e Modos de Falha

As principais ações num quebra-mar são: a agitação marítima, as correntes, as marés, os sismos e os *tsunamis*. De todas estas ações, a agitação marítima é, sem dúvida, a ação mais importante, por ser a mais recorrente e a que mais contribui para as falhas da estrutura.

Pode definir-se falha como o resultado de um dano, provocado na estrutura, que resulte num desempenho ou funcionalidade inferior ao mínimo antecipado pelo projetista.

Os modos de falha podem ser divididos em:

- Falha de projeto: a estrutura ou partes da mesma não resistem às solicitações estabelecidas no projeto;
- Falha por excesso de solicitação: as solicitações estabelecidas no projeto são excedidas;
- Falha de construção: resulta da utilização de procedimentos, técnicas ou de materiais de construção incorretos ou de má qualidade;
- Falha por deterioração: é consequência da deterioração da estrutura e da falta de manutenção da mesma.

Os modos de falha mais associados aos quebra-mares verticais são:

- Deslizamento do caixotão: devido ao facto da força horizontal da agitação exceder a força de atrito entre a base do caixotão e a camada de fundação (Figura 2.5 a));
- Assentamento vertical: devido à consolidação do solo;
- Falha por escorregamento do subsolo: ocorre quando a carga devido ao caixotão excede a resistência do solo. A superfície de rotura provoca a rotação do caixotão e seu assentamento (Figura 2.5 c));
- Derrubamento do caixotão por rotação em torno da aresta da base: ocorre quando o momento induzido pela agitação incidente supera o momento estabilizante devido ao peso do caixotão. Isto acontece quando o solo de fundação é rochoso ou muito resistente (Figura 2.5 b));
- Erosão da fundação de enrocamento: ocorre devido a erosão da camada de enrocamento de fundação por parte da agitação que conseqüentemente conduz ao assentamento dos caixotões (Figura 2.6 a));

- Falha da parede frontal dos caixotões: a falha pode ser causada devido ao excesso das cargas associadas a agitação marítima, deteriorando o betão armado ou devido a impactos de navios. Se existir uma fuga do enchimento do caixotão, este pode escorregar ou ser derrubado devido a diminuição da estabilidade.

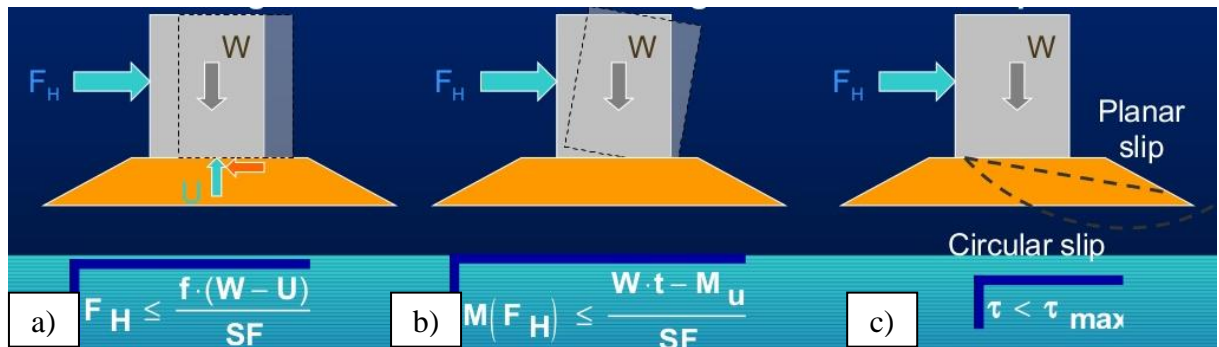


Figura 2.5 – Falha de um quebra-mar vertical por: a) deslizamento, b) derrubamento e c) escorregamento do subsolo

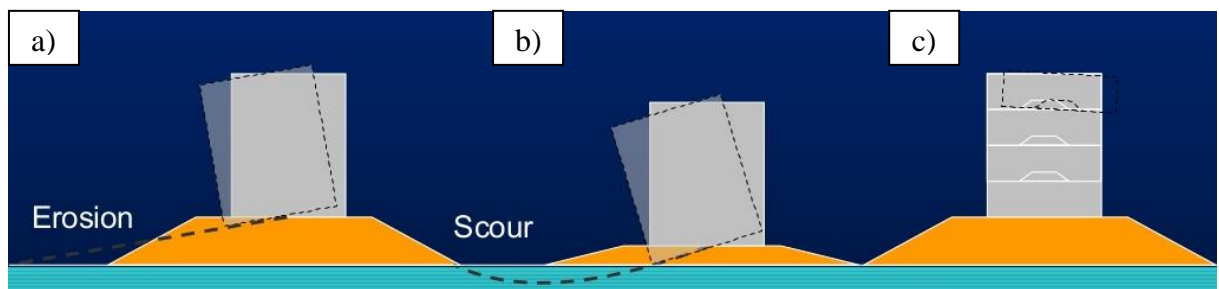


Figura 2.6 – Falha de um quebra-mar vertical por: a) erosão da camada de fundação, b) erosão do fundo marinho e c) instabilidade parcial da estrutura

Do exposto, verifica-se que a quantificação das forças que atuam sobre um quebra-mar vertical são mais fáceis de quantificar do que as forças que atuam sobre um quebra-mar de taludes. No entanto, em caso de ocorrerem danos em quebra-mares verticais, estes serão mais graves uma vez que implica o movimento de grandes parcelas comparativamente com os quebra-mares de taludes.

Os modos de falha de um quebra-mar de taludes estão representados na Figura 2.7. Destes merecem destaque a erosão do manto resistente e a erosão da parte interna do coroamento.

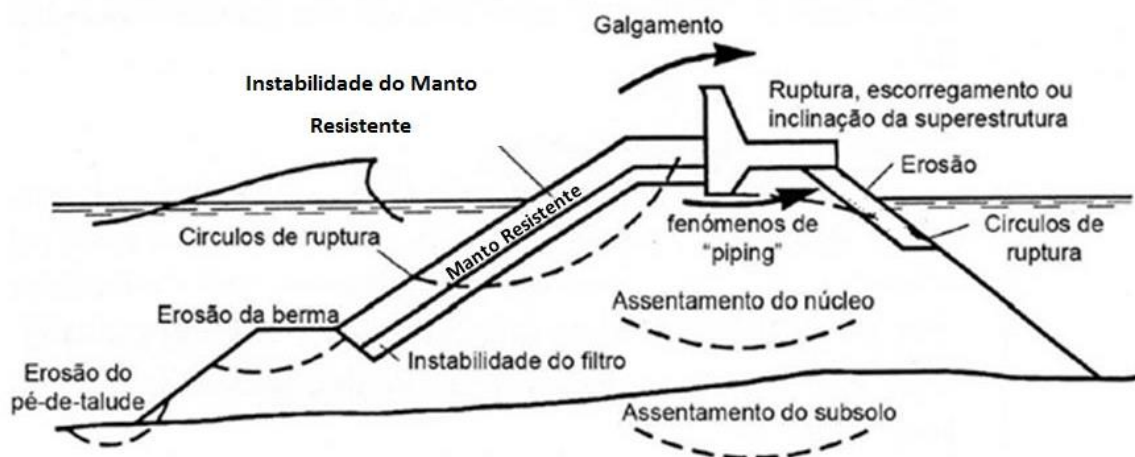


Figura 2.7 – Modos de falha de quebra-mares de taludes

A instabilidade hidráulica do manto resistente é um modo de falha de desenvolvimento lento: começa com o deslocamento do material que compõe o manto protetor para próximo do nível médio do mar (NMM); depois vai evoluindo até se dar a erosão do filtro e do núcleo desenvolvendo-se um perfil em S e, por último, dá-se o arrastamento do coroamento da estrutura (Figura 2.8).

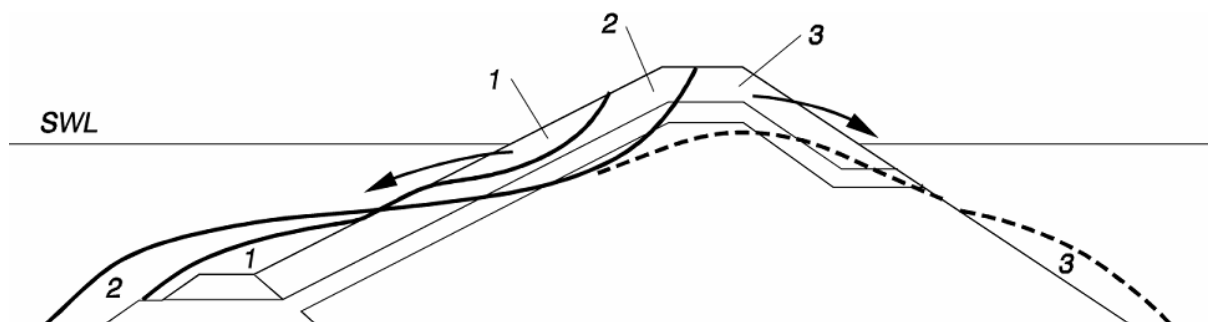


Figura 2.8 – Instabilidade hidráulica do manto resistente. 1 – Deslocamento do manto resistente próximo do NMM. 2 – Erosão do filtro e do núcleo (desenvolvimento de perfil em S). 3 – Arrastamento do coroamento da estrutura (U. S. Army Corps of Engineers, 2006)

Os modos de falha associados à superestrutura são (Figura 2.9):

- Assentamento, devido a erosão na frente da superestrutura (barlamar) (a);
- Erosão da parte traseira do quebra-mar (sotamar) que conduz ao colapso da superestrutura (b);

- Deslizamento da superestrutura, que ocorre quando a força horizontal devida a agitação excede a força de atrito (c);
- Derrubamento em torno da aresta da base mais afastada da zona exposta (d);
- Falha nos materiais (e);

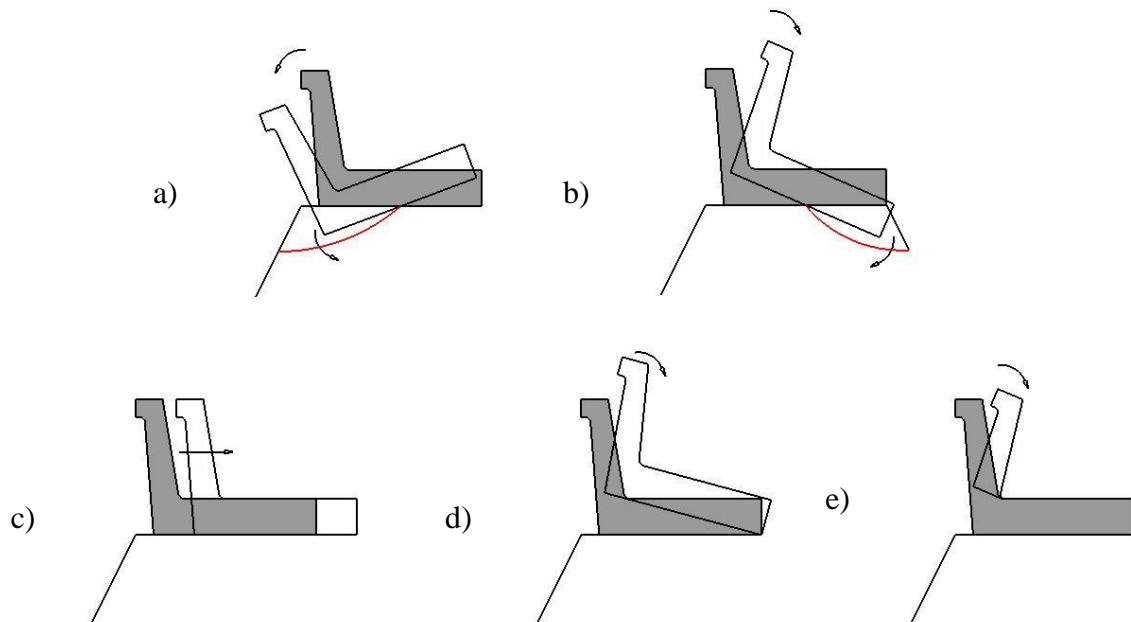


Figura 2.9 – Modos de falha da superestrutura por: a) Erosão a barlamar, b) Erosão a sotamar, c) Deslizamento, d) Derrubamento, e) Falha dos materiais

2.3 - Pré-dimensionamento Hidráulico do Manto de um Quebra-mar

O pré-dimensionamento de um quebra-mar passa por duas fases de grande importância: o dimensionamento da estabilidade hidráulica do manto resistente e a definição do seu perfil transversal.

A estabilidade dos quebra-mares de taludes depende grandemente da estabilidade hidráulica do manto resistente, sendo a seleção cuidadosa das características dos blocos a utilizar e a determinação dos seus pesos uma parte importante da sua conceção. Métodos empíricos foram desenvolvidos, os quais dão uma representação satisfatória da estabilidade do manto resistente.

O organigrama apresentado na Figura 2.10 representa uma primeira abordagem de pré-dimensionamento hidráulico para a seleção das características dos blocos a utilizar.

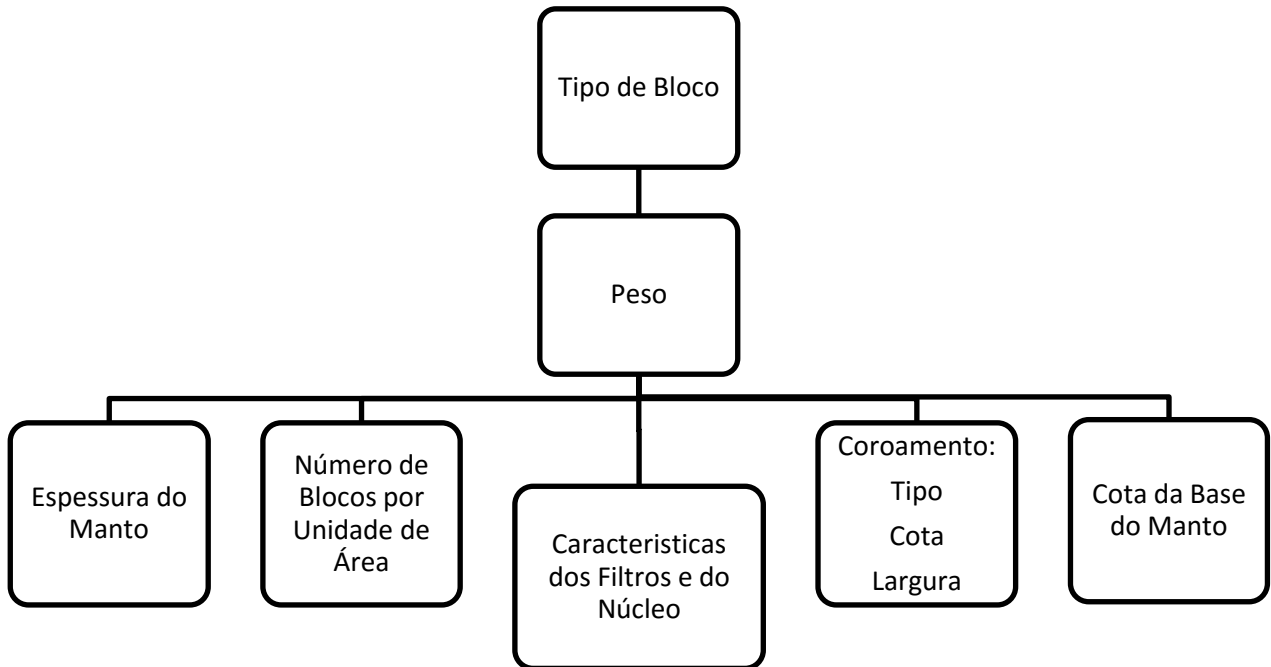


Figura 2.10 – Organigrama ilustrativo das etapas do pré-dimensionamento do manto resistente

O projetista começa por escolher o tipo de bloco que satisfaça as duas condições seguintes:

- Estabilidade hidráulica com o menor peso possível;
- Eficácia na dissipação de energia da agitação, a fim de reduzir o espraiamento.

Os blocos podem ser classificados em naturais ou artificiais. Os blocos naturais de enrocamento foram o principal material utilizado na construção de quebra-mares até ao aparecimento dos blocos artificiais. Os blocos artificiais foram concebidos para responder à necessidade de aumentar o peso dos blocos e permitir novas geometrias 3D que melhoram a capacidade de imbricamento. Como efeito, o peso necessário a satisfazer para estabilidade hidráulica do quebra-mar está, por vezes, muito acima da capacidade de fornecimento das pedreiras.

Os blocos artificiais podem assumir diferentes formas, a fim de tomar partido não só do peso mas também da sua geometria, como forma de dissipar energia da agitação e também aumentar a capacidade de imbricamento, trabalhando o manto protetor como um todo. A Figura 2.11 ilustra alguns tipos de blocos artificiais.

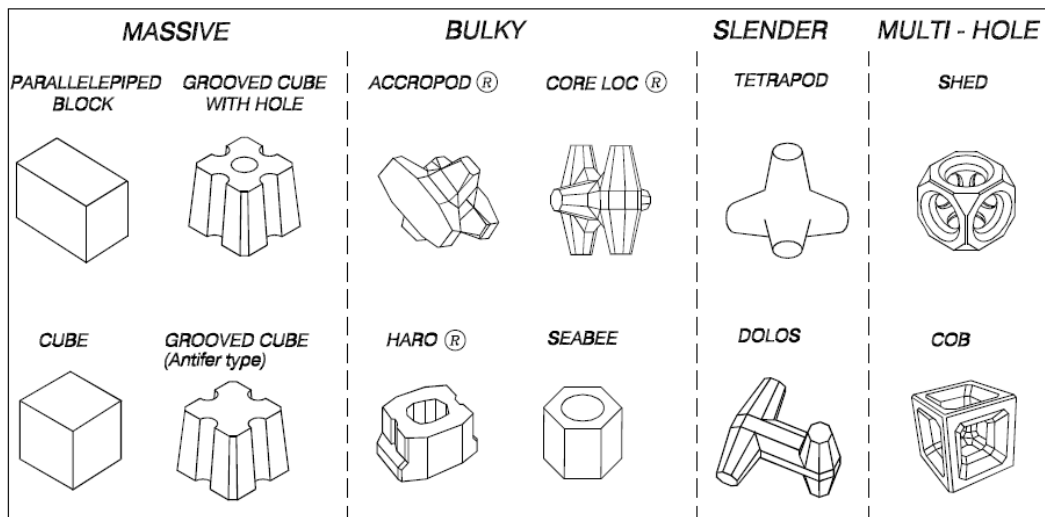


Figura 2.11 – Blocos artificiais de betão (U. S. Army Corps of Engineers, 2006)

Após a escolha do tipo de bloco é possível calcular o peso individual dos blocos, e o número necessários para assegurar a estabilidade a uma dada inclinação do talude. Para a determinação do peso dos blocos é usual recorrer-se à fórmula de Hudson (Eq. 2.1), sendo a mais utilizada pelos projetistas.

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cot \alpha} \quad \text{Eq. 2.1}$$

sendo:

- W – Peso de cada bloco do manto resistente (kN);
- γ_r – Peso específico do material constituinte do bloco de betão (24 kN/m³);
- γ_w – Peso específico da água (1024 kg/m³, água salgada);
- H – Altura da onda de projeto (m);
- α – Ângulo do talude com a horizontal (°);
- K_D – Coeficiente de estabilidade de Hudson (-);

A espessura do manto resistente (r) é calculada através da Eq. 2.2.

$$r = n k_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} \quad \text{Eq. 2.2}$$

sendo:

- r – Espessura do manto resistente (m);
- n – O número de camadas de blocos do manto;
- k_{Δ} – O coeficiente de forma (-);
- W – Peso de cada bloco do manto resistente (kN);
- γ_r – Peso específico do material constituinte do bloco de betão (24 kN/m^3).

O número de camadas a utilizar está relacionada com o tipo de bloco utilizado podendo variar entre três a quatro camadas quando são utilizados blocos naturais de enrocamento e duas camadas nos blocos artificiais de betão. Alguns tipos de blocos artificiais de betão, como é o caso dos ACCROPODE, XBlock e CORE-LOC, podem mesmo ser dispostos em camada única devido a sua ótima capacidade de imbricamento.

O peso do material a utilizar no filtro dos quebra-mares pode ser estimado a partir do peso dos elementos do manto resistentes. As dimensões do pé do talude são estimadas a partir da espessura do manto resistente, o tipo de exposição e condições de galgamento conforme exemplificado na Figura 2.12.

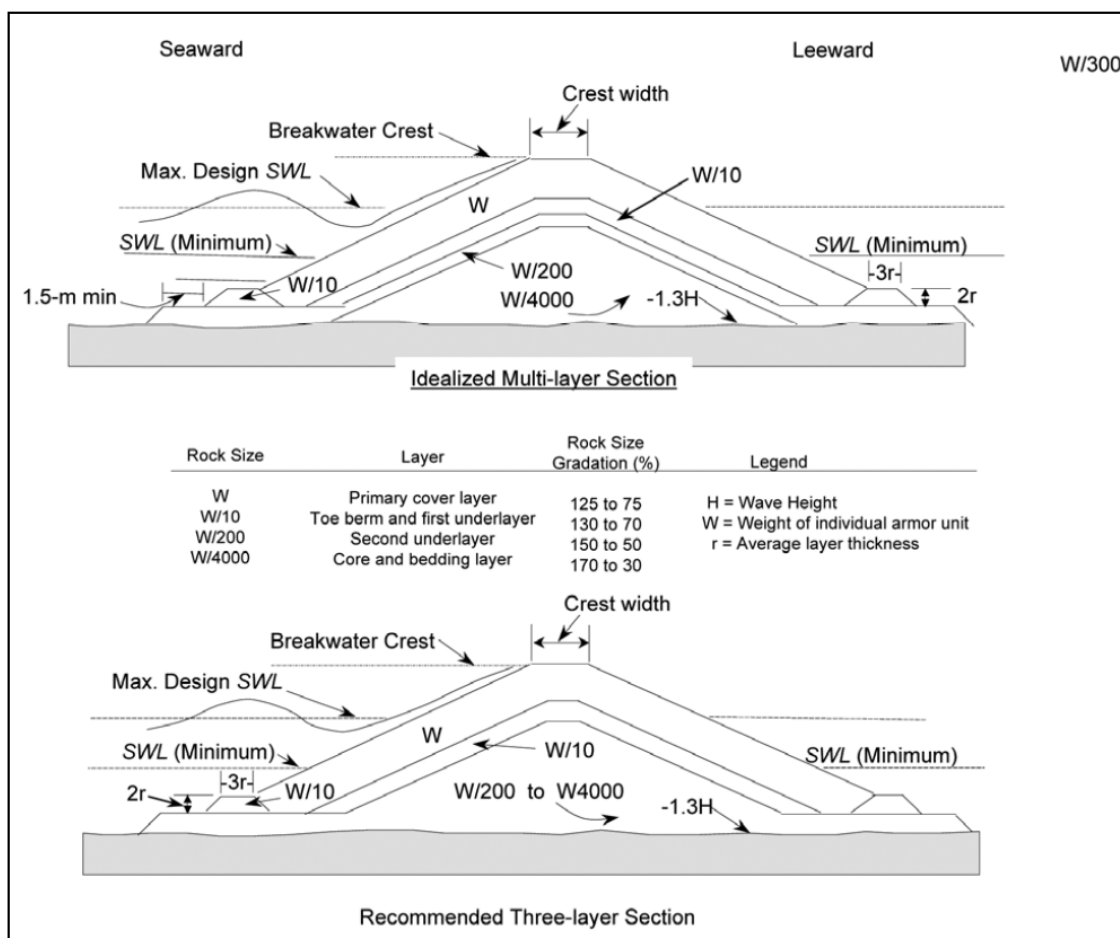


Figura 2.12 – Secção transversal para um quebra-mar de taludes exposto de ambos os lados com condições de galgamento moderadas (U. S. Army Corps of Engineers, 2006)

Este pré-dimensionamento do manto resistente do quebra-mar carece, no entanto, de confirmação da sua eficácia através de ensaios em modelo físico reduzido, onde é feita uma análise do comportamento hidráulico e/ou estrutural do manto resistente. Estes ensaios são realizados à escala, utilizando-se a menor escala possível, de modo a obter um modelo o mais próximo possível do tamanho real por forma a reduzir efeitos de escala.

3 - A MODELAÇÃO FÍSICA

De acordo com a zona da estrutura representada, os estudos em modelo físico podem dividir-se em tridimensionais e bidimensionais. Nos ensaios tridimensionais é reproduzida a linha de costa da zona em estudo, a batimetria e a geometria das obras, de modo a simular o melhor possível os fatores intervenientes nas características da agitação reproduzidas. Este tipo de ensaios é realizado em tanques de ondas. Nos ensaios bidimensionais reproduz-se apenas um trecho (secção transversal) da obra em estudo, sendo construídos e explorados em canais de ondas irregulares. Em ambos os casos, o objetivo dos ensaios é a análise do comportamento hidráulico e/ou estrutural, face à ação da agitação marítima.

Um ensaio consiste, normalmente, na atuação de um estado de agitação caracterizado por uma altura de onda significativa (H_s), um período de pico (T_p) proveniente de uma determinada direção de agitação (rumo), para um determinado nível de maré.

Os ensaios em modelo físico (tridimensionais ou bidimensionais) podem ainda ser classificados segundo os seus objetivos. Poderão classificar-se, segundo os critérios do LNEC, em:

- Ensaio de estabilidade: têm como finalidade avaliar as quedas e os movimentos do manto resistente (blocos artificiais e/ou enrocamento) para cada troço da estrutura em estudo, quando sujeita à agitação marítima incidente. Em geral, essa avaliação é visual, permitindo determinar a percentagem de quedas e movimentos totais. Com base nessa percentagem, é atribuído um grau de classificação de quedas e movimentos de acordo com uma tabela em uso no LNEC (Lemos & Silva, 2004). É de notar que sendo esta observação visual, ela é fortemente condicionada pela experiência e sensibilidade do observador;
- Ensaio de galgamento: contemplam a qualificação visual dos galgamentos e a respetiva atribuição do grau do critério de classificação de galgamentos em uso no LNEC;
- Ensaio de agitação, nos quais é feita a aquisição dos dados das sondas colocadas nos locais onde se pretende estudar a agitação marítima. Usualmente, com os dados adquiridos durante este tipo de ensaios, são calculados os índices de agitação em cada ponto de interesse, determinados através da relação entre as alturas de onda significativas (H_s) verificadas em cada ponto e as verificadas à saída do gerador.

- Ensaios de pressão, os quais, tal como o próprio nome indica, têm como finalidade avaliar as pressões exercidas pela agitação marítima sobre determinados pontos da estrutura, através da utilização de sensores de pressão.

Todos os tipos de modelo físico contemplam uma 1ª fase de construção, onde é feita a preparação dos elementos a reproduzir, seguindo-se-lhe a implantação da batimetria e a construção do modelo. Numa 2ª fase é feita a exploração do modelo, a qual contempla a calibração da agitação marítima e a realização do programa de ensaios previsto. Finalmente, numa 3ª fase, procede-se à análise e interpretação dos dados obtidos bem como à preparação dos relatórios finais.

3.1 - Relação de Semelhança e Escolha da Escala

É importante garantir que o comportamento do modelo e do protótipo é semelhante (semelhança modelo-protótipo) de modo a permitir inferir dos ensaios o que se passa na realidade. Para tal, é necessário verificar-se a semelhança geométrica (relação constante entre comprimentos homólogos), cinemática (relação constante entre movimentos homólogos) e dinâmica (relação constante entre forças homólogas).

Para que todos os fenómenos envolvidos sejam bem reproduzidos à escala, ou seja, sejam os mesmos no modelo e no protótipo, os números de Froude, Weber, Reynolds, e Cauchy deveriam ser iguais no modelo e no protótipo. No entanto, estes critérios não podem ser satisfeitos simultaneamente. Assim, de acordo com os principais fenómenos em jogo, opta-se por um destes números e com base nele definem-se as escalas do modelo.

Nos ensaios em modelo reduzido de quebra-mares, os principais fenómenos são associados a escoamentos em superfície livre, ou seja, as forças da gravidade e inércia são extremamente importantes. A fim de garantir a semelhança entre os escoamentos no modelo e no protótipo é necessário respeitar a semelhança de Froude, isto é, terá de se garantir a igualdade entre o número de Froude no modelo e o número de Froude no protótipo.

É necessário ter em conta que a semelhança de Froude só será relevante quando as forças de viscosidade, sempre presentes, forem desprezáveis em relação às forças de gravidade e de inércia. Quando essas forças não são desprezáveis, terá de ser respeitada, também, a semelhança de Reynolds.

De modo a assegurar que o escoamento nas camadas do manto de proteção é turbulento no modelo (tal como no protótipo, sob as condições de projeto), deverá ser cumprido o seguinte critério relativo ao número de Reynolds (R_e) (Eq. 3.1):

$$R_e = \frac{\sqrt{g H_s} \cdot D_n}{\nu} > 3 \cdot 10^4 \quad \text{Eq. 3.1}$$

sendo:

- R_e – Número de Reynolds (-);
- H_s – Altura significativa (m);
- D_n – Diâmetro nominal de um bloco (m);
- g – Aceleração da gravidade (m/s^2);
- ν – Viscosidade cinemática da água ($= 10^{-6} m^2/s$) (m^2/s).

Os principais fatores de conversão entre o modelo e protótipo, tendo em conta a semelhança de Froude, estão apresentados na seguinte tabela (Tabela 3.1):

Tabela 3.1 – Principais escalas de semelhança de Froude

Parâmetros	Froude
Equação	$\frac{u}{\sqrt{g l}} = \text{Constante}$
Comprimento/ Altura	$L_p = L_m \cdot \lambda$
Área	$A_p = A_m \cdot \lambda^2$
Volume	$V_p = V_m \cdot \lambda^3$
Tempo/ Período	$T_p = T_m \cdot \sqrt{\lambda}$
Velocidade	$U_p = U_m \cdot \sqrt{\lambda}$

A relação entre as massas dos blocos no modelo e no protótipo é dada pela Eq. 3.2. Esta equação é essencial para a determinação da escala do modelo, pois garante que o número de estabilidade entre o protótipo e o modelo são iguais, e permite determinar a mesma conhecendo o peso dos blocos do modelo que se querem utilizar e vice versa.

$$W_m = \left(\Delta_p \cdot \frac{(W_p \cdot 1000)^{1/3}}{\Delta_m \cdot \lambda} \cdot \left(\frac{\rho_{a,m}}{\rho_{a,p}} \right)^{1/3} \right)^3 \quad \text{Eq. 3.2}$$

sendo:

- W_m – Massa dos blocos no modelo (g);
- W_p – Massa dos blocos no protótipo (kg);
- $\rho_{a,m}$ – Massa volúmica dos blocos de proteção no modelo (kg/m^3);
- $\rho_{a,p}$ – Massa volúmica dos blocos de proteção no protótipo (kg/m^3);
- λ – Escala do modelo ($1/\lambda$);
- Δ_m e Δ_p – Densidade submersa no modelo e no protótipo, dada por (Eq. 3.3):

$$\Delta = \frac{\rho_a - \rho_w}{\rho_w} \quad \text{Eq. 3.3}$$

3.1.1 - Fontes de Erros e Efeitos de Escala

Uma das principais fontes de erro deve-se ao comportamento do modelo, o qual não é uma reprodução exata do protótipo devido a distorções provocadas pela construção à escala e a impossibilidade de cumprir todas as razões de semelhança em simultâneo. Estes efeitos denominam-se efeitos de escala. Alguns exemplos de efeitos de escala são:

- Salpicos no modelo representam também salpicos no protótipo;
- Escoamento através dos filtros do núcleo (a menor porosidade no modelo introduzirá maiores perdas de carga);
- Galgamentos diferentes no modelo e no protótipo resultantes de uma incorreta reprodução da porosidade do manto no modelo (o galgamento aumenta com a diminuição da porosidade);

- Influência da viscosidade da água na garantia de obtenção de escoamento ser turbulento.

Outra fonte de erro designada por efeitos de modelo, deve-se a distorções provocadas pelas condições de fronteira devido a limitações na construção e à exploração dos modelos, estando associado a reproduções incorretas de aspetos como a reflexão, rugosidade e materiais. Um aspeto importante a considerar nos efeitos de modelo é a não reprodução à escala da resistência mecânica dos materiais constituintes dos blocos. Os blocos no modelo têm, à escala, uma resistência superior à do protótipo, pelo que não se verificam fissuras e roturas resultantes do choque entre eles ou de quedas (como acontece no protótipo).

Uma fonte de erro em todos os ensaios em modelo físico são as que resultam de medições e as incertezas inerentes à medida os quais poderão estar associados ao equipamento e sua calibração.

Estas fontes de erro e incertezas refletem-se nos diferentes resultados obtidos, por exemplo:

- Na repetição dos testes (que necessitam de tratamento estatístico);
- Nas várias constantes de calibração do equipamento de medição do nível da superfície livre;
- Nos diferentes resultados quando comparados diferentes sistemas de medição;
- Nas várias metodologias de avaliação dos danos.

3.2 - A Evolução do Dano do Manto de Quebra-Mares de Taludes em Modelo Físico

3.2.1 - Parâmetros Gerais

O dano no manto resistente é caracterizado através da contagem do número de quedas de blocos ou da medição da área erodida do perfil transversal da estrutura. Em ambos os casos, o dano está relacionado com as características do estado de agitação e da sua duração.

Deve ser definida uma área de referência, já que os movimentos e quedas dos blocos não se distribuem uniformemente ao longo do talude. A maior parte do dano tem lugar na chamada

zona ativa, que pode ser limitada à superfície entre os níveis $SWL \pm H_s$, sendo SWL o nível da superfície da água em repouso e H_s a altura de onda significativa.

O método de cálculo da área erodida consiste na avaliação do dano através do levantamento de perfis com a ajuda de um perfilador mecânico ou do método fotogramétrico. Para definir o dano é feita a média dos levantamentos de diversos perfis ao longo do quebra-mar para determinar um perfil médio que será posteriormente subtraído a um perfil médio não danificado, de modo a obter uma área erodida média ao longo da zona ativa do manto. A Figura 3.1 esquematiza a área erodida (A_e) de um perfil.

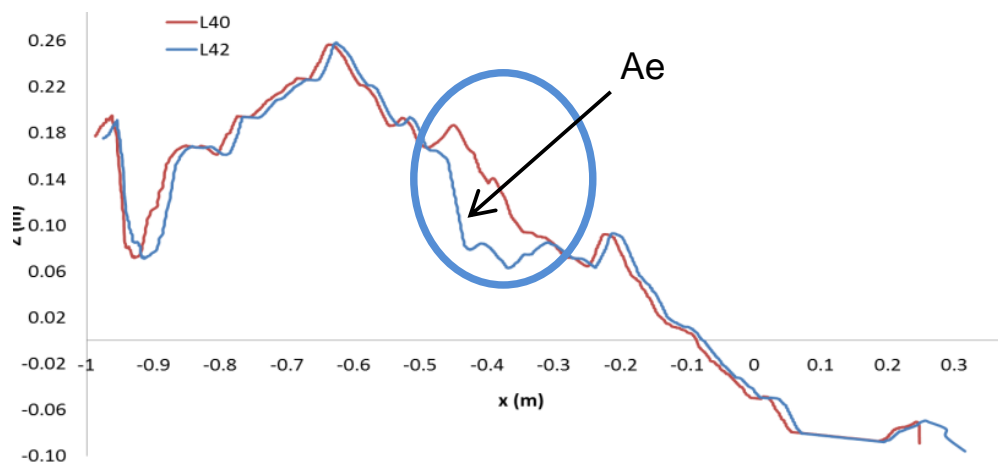


Figura 3.1 – Exemplo de área erodida (A_e)

A área média erodida, A_e , é depois dividida pela área média do perfil original (não danificado), conforme a Eq. 3.4

$$D\% = \frac{\text{Média da área erodida nos perfis}}{\text{Área média do perfil original}} 100\% \quad \text{Eq. 3.4}$$

A percentagem considerada como dano nulo, segundo Hudson (1959) corresponde a $D\% < 1\%$.

Segundo o USACE (1984), o critério de dano nulo (corresponde a $D\% < 5\%$), não estando bem clara a razão deste critério menos restritivo.

Broderick e Ahrens (Broderick & Ahrens, 1982) e Van der Meer (Van der Meer, 1988) definiram um parâmetro adimensional caracterizador do dano, definido pela Eq. 3.5, onde A_e é a área da secção transversal erodida em torno do nível da água e D_n o diâmetro nominal dos blocos do manto resistente

$$S = \frac{Ae}{\left(\frac{M_{50}}{\rho_s}\right)^{2/3}} = \frac{Ae}{D_{n50}^2} \quad \text{Eq. 3.5}$$

onde:

- S – Parâmetro adimensional do dano;
- Ae – Área erodida por unidade de comprimento ou área erodida do perfil transversal do manto;
- M_{50} – Massa mediana do bloco de enrocamento na curva de distribuição de massa;
- ρ_s – Massa volúmica dos blocos de enrocamento que constituem o manto;
- D_{n50} – Diâmetro nominal do enrocamento dado pela Eq. 3.6.

$$D_{n50} = \left(\frac{M_{50}}{\rho_s}\right)^{1/3} \quad \text{Eq. 3.6}$$

A diferença entre o método tradicional da área erodida e o método de Broderick e Ahrens reside no método tradicional ser uma fração da área total do perfil transversal enquanto o método de Broderick e Ahrens é uma medida do número de blocos retirados.

3.2.2 - Método da Contagem de Blocos Removidos

Hedar (Hedar, 1960), Owen e Allsop (Owen & Allsop, 1983), Hughes (Hughes, 1993) e Davies (Davies, Mansard, & Cornett, 1994) descreveram a medida do dano através da contagem de blocos removidos. Para valores relativamente baixos de estragos, os métodos de contagem de blocos revelam-se bastante eficazes. No entanto, revelam o mesmo problema do método da área erodida: a concentração dos danos não é especificada e a máxima profundidade erodida não é contabilizada (Lemos, 2010).

A quantidade de quedas está relacionada com o número total de blocos existentes no manto resistente sendo o dano quantificado em termos de percentagem. Este método permite obter uma relação entre o número de blocos removidos e o número total de blocos da área em estudo.

Os resultados deste método são fortemente condicionados pela experiência do observador que realiza os ensaios.

3.2.3 - Método Estereofotogramétrico

A fotogrametria pode ser definida como a técnica de extrair de fotografias, a forma, as dimensões e a posição dos objetos nelas contidas. No caso da estereofotogrametria, esse processo permite obter imagens tridimensionais a partir de pares de fotografias do mesmo cenário, tiradas de localizações ligeiramente desfasadas (Lemos, 2010).

A estereofotogrametria, baseia-se no mesmo princípio da visão binocular, onde a imagem captada por cada olho, individualmente, é transmitida ao cérebro, o qual deverá ser capaz de fundir as duas imagens, ligeiramente diferentes devido à diferente perspetiva, criando uma representação 3D da cena observada, resultando daí a chamada a visão estéreo ou estereopsia (Figura 3.2).

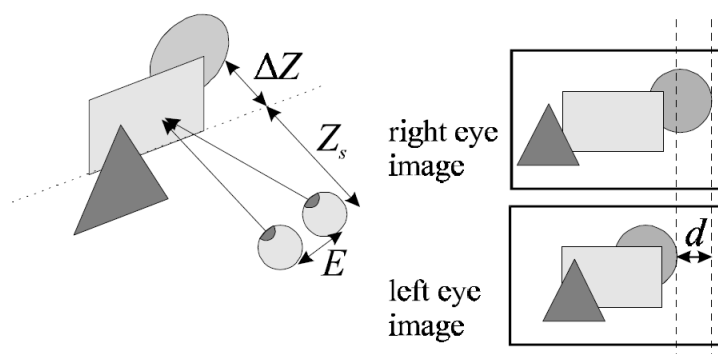


Figura 3.2 – Visão binocular (Legendijk, Franich, & Hendriks, 2002)

Um sistema de estereofotogrametria necessita de duas imagens de uma mesma cena tiradas de perspetivas diferentes. Normalmente, é atribuído o nome de imagem esquerda e direita, a cada uma das imagens do par.

Dado que as imagens esquerda e direita são ligeiramente diferentes devido ao desfasamento entre as duas câmaras, torna-se necessário fazer a correlação entre a disparidade dos diferentes pontos de cada par de imagens, dada pela diferença entre a coordenada segundo x da imagem da esquerda e a coordenada segundo x da imagem da direita.

A nível de programação, a determinação da profundidade de cada ponto da imagem implica fazer a correspondência entre os pontos (pixels) da imagem da esquerda com os da direita. Isto não é um processo muito fácil pois pode conduzir a falsas correspondências, que levam a profundidade erradas. Surge assim a necessidade de um processo designado retificação.

No entanto, de modo a tornar possível esta retificação, é necessária uma calibração prévia das câmaras. O processo de calibração permite definir os parâmetros intrínsecos das duas câmaras (distância focal, centro da imagem, parâmetros da distorção das lentes) bem como os parâmetros extrínsecos (métrica usada para medir distâncias e ângulos, bem como as posições absolutas do cenário tridimensional reconstruído

Por simplificação do método e do processo de cálculo é normalmente utilizado um esquema de colocação e configuração das câmaras de eixos paralelos de forma a otimizar o processo de calibração/correção. Esta abordagem permite simplificar o processo pois entre a imagem esquerda e direita só existe translação e não é necessário ter em conta a rotação (Figura 3.3).

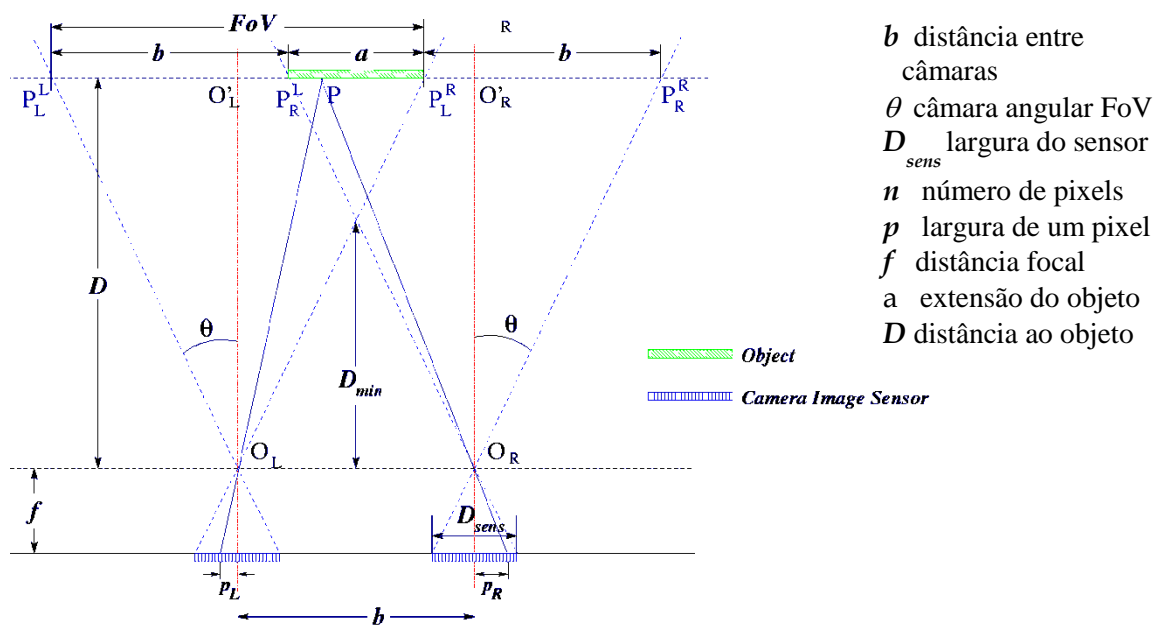


Figura 3.3 – Camaras dispostas com eixos paralelos

Outro dos problemas da correspondência é a oclusão. A oclusão é devida a existência de obstáculos na imagem que ocultam um determinado ponto de uma imagem que é visível na outra. Este problema também leva a falsas correspondências entre pontos da imagem da esquerda e da direita.

O mapa de disparidades é um mapa que indica, para cada pixel, a diferença da sua localização entre a imagem esquerda e a direita. Através do mapa de disparidades e utilizando Eq. 3.7., é possível determinar a profundidade a que se encontra um determinado ponto do par de imagens, se forem conhecidas, a distância focal (f), a distância entre eixos das câmaras e as coordenadas do ponto, segundo o eixo x .

$$Z = f + \frac{f \cdot b}{x_l - (x_r + b)}$$

Eq. 3.7

sendo:

- Z – profundidade do ponto;
- f – distância focal;
- b – distância entre os eixos das câmaras;
- x_l – coordenada do ponto na imagem da esquerda segundo x ;
- x_r – coordenada do ponto na imagem da direita segundo x .

Conhecendo a profundidade de cada ponto da imagem é possível fazer a reconstrução tridimensional da cena, que é comum a ambas as imagens (Figura 3.4).

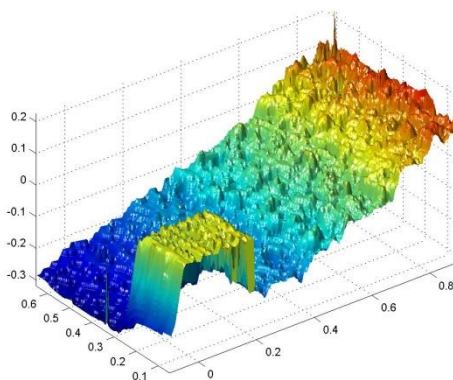


Figura 3.4 – Reconstrução tridimensional do modelo reduzido de um quebra-mar

Como se pode constatar um dos fatores importantes da determinação da profundidade é o afastamento entre câmaras (b), pois a fórmula da profundidade é proporcional ao mesmo. Também é fácil de demonstrar que quanto menor o afastamento entre câmaras, maior é o FoV (campo de visão, field of view) (Figura 3.3 e Figura 3.5), embora se tenha de garantir que é sempre diferente de zero, pois nesse caso deixaria de existir visão binocular.

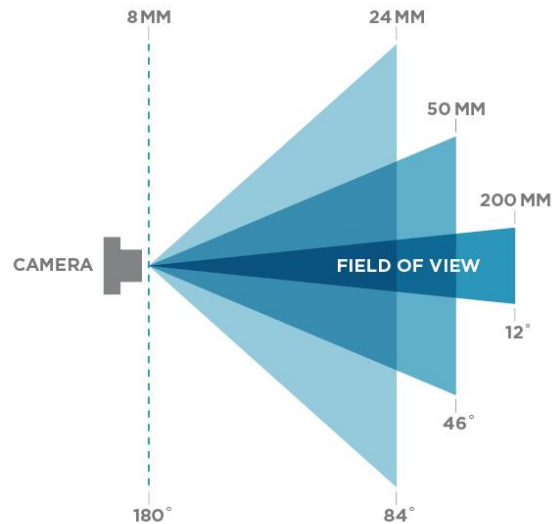


Figura 3.5 – Câmara FoV (Field of View)

Se se considerar um erro associado a determinação da coordenada x_r , pode-se escrever a equação da profundidade tendo em conta esse erro, dada pela Eq. 3.8.

$$Z_{\varepsilon} = f + \frac{f \cdot b}{x_l - (x_r + \varepsilon + b)} \quad \text{Eq. 3.8}$$

sendo:

- ε – erro associado a determinação da coordenada x_r .

Tendo isto, pode escrever-se a equação que permite determinar o erro na profundidade, dada pela Eq. 3.9.

$$S_{LR} = Z_{\varepsilon} - Z = \frac{\varepsilon \cdot f \cdot x_o^2}{x_l \cdot (x_l \cdot b + \varepsilon \cdot b)} \quad \text{Eq. 3.9}$$

sendo:

- S_{LR} – Erro da profundidade;
- x_o – a coordenada segundo x do ponto a calcular.

Se se considerar que S_{LR} pode ser escrita como uma função em ordem a “ b ” e derivando a mesma em ordem a “ b ”, obtém-se (Eq. 3.10):

$$\frac{df(b)}{db} = - \frac{\varepsilon \cdot f \cdot xo^2}{(xl \cdot b + \varepsilon \cdot xo)^2} \quad \text{Eq. 3.10}$$

Esta expressão permite concluir que, com o aumento do afastamento entre câmaras, b , o erro associado ao cálculo da profundidade diminui. Assim, o afastamento entre câmaras deve ser tão grande quanto possível de modo a diminuir o erro no cálculo da profundidade, sem que no entanto, impeça a correlação entre pontos homólogos dos pares estereofotogramétricos.

Resumindo, o aumento do afastamento entre câmaras leva a:

- Diminuição do FoV;
- Diminuição do erro no cálculo profundidade.

A partir da reconstrução 3D é possível extrair os perfis necessários à avaliação do dano segundo o método da área erodida. A área erodida, A_e , é obtida calculando a área entre os perfis referente ao levantamento inicial e o final.

Para tal, a metodologia a seguir passa pela aquisição dos pares de imagens, com o alvo a ser utilizado como ponto de referência entre ambas.

3.2.4 - Método de Comparação de Imagens

A técnica de comparação de imagens não necessita de pares de imagens nem de alvo, pois as diferenças são quantificadas apenas em termos de superfície, não existindo necessidade de calcular a profundidade de cada ponto.

As metodologias de comparação de imagens têm subjacente a conversão das fotos a cores para níveis de cinzento.

Uma imagem em níveis de cinzento (Figura 3.6) é normalmente resultado do cálculo da intensidade de luz em cada pixel e pode ser representada por uma matriz em que cada elemento tem um valor inteiro entre 0 e 255. Para facilitar a leitura e análise os valores são divididos por 255, passando a variar entre 0 e 1, onde 0 representa o preto e o branco é representado por 1.

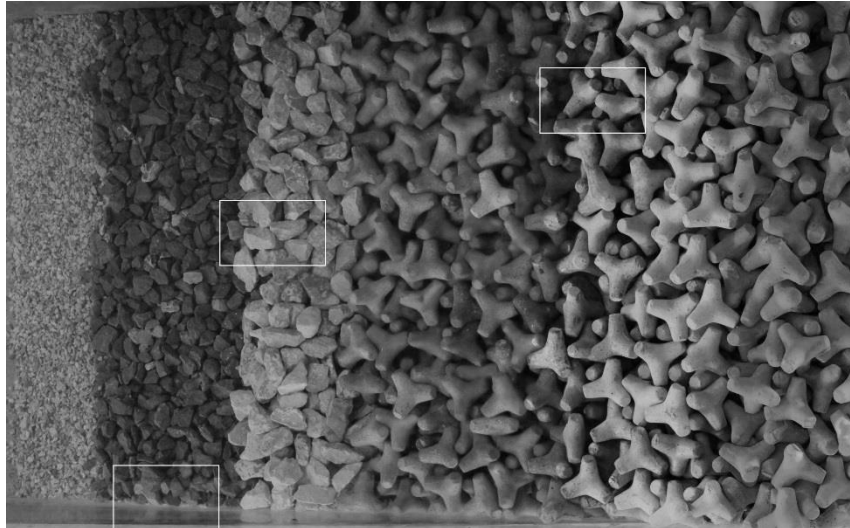


Figura 3.6 – Representação de uma imagem em níveis de cinzento

Esta conversão é fundamental para a quantificação da área modificada. Através da subtração das matrizes de duas imagens, em níveis de cinzento, da mesma zona antes e após alteração, o resultado obtido vai ser uma matriz de diferenças, com valores nulos para as zonas que se mantiveram e valores não nulos para as zonas modificadas.

A matriz de diferenças é então convertida para preto e branco mantendo-se os valores nulos iguais a zero (preto) e os valores não nulos iguais a 1 (branco) (Figura 3.7).

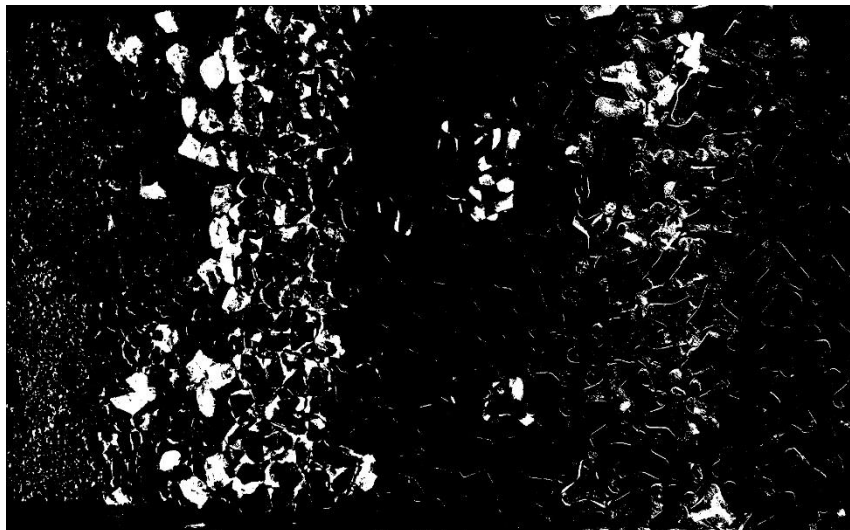


Figura 3.7 – Imagem resultante da matriz de diferenças a preto e branco

Contabilizando o número de pixéis com valor igual a 1 na matriz das diferenças, é possível converter esse número para um valor de área. Para tal, basta fazer uma calibração prévia introduzindo no cenário a fotografar um objeto de área bem conhecida, o qual seja a única

diferença entre dois levantamentos consecutivos. Torna-se, assim, possível relacionar a área real desse objeto com o seu número de pixéis e determinar a unidade de área (área correspondente a um pixel).

Há o detalhe não desprezável de ter que se assegurar que as duas imagens a comparar mostram a mesma zona, sendo para tal necessário garantir que a máquina fotográfica se mantém no mesmo local e com as mesmas características focais.

4 - ENSAIOS DE ESTABILIDADE EM MODELO BIDIMENSIONAL

No âmbito do projeto de investigação HIDRALERTA (Fortes, et al., 2015), foi necessária a realização de ensaios em modelo físico com vista à caracterização da estabilidade e galgamentos do perfil-tipo da solução de projeto (Figura 4.1) do quebra-mar Sul do porto da Praia da Vitória, os quais tiveram como objetivo:

- Análise da propagação de ondas ao longo do canal de ondas irregulares (COI1);
- Verificação da estabilidade do pé do talude para diferentes níveis de maré, períodos de pico e alturas significativa de onda;
- Utilização de diferentes técnicas de deteção e análise da evolução do dano.

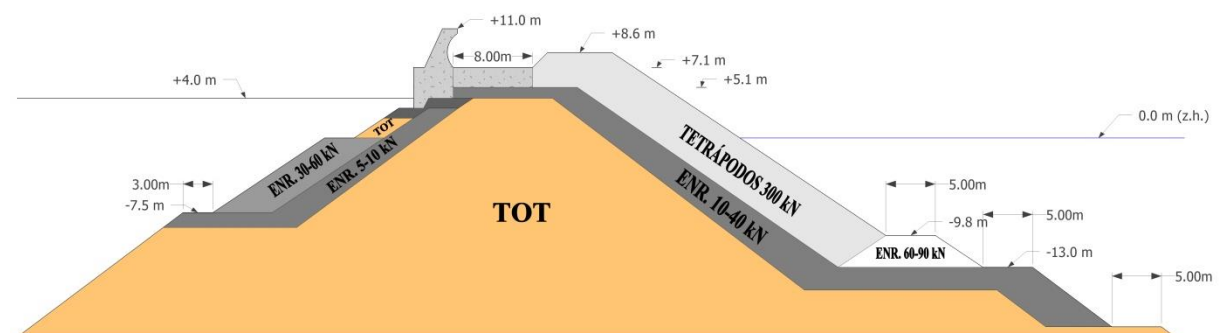


Figura 4.1 – Perfil de projeto do quebra-mar sul, utilizado nos ensaios de estabilidade

4.1 - Caso de Estudo do Quebra-mar Sul do Porto de Praia da Vitória

O porto e a baía de Praia da Vitória localizam-se na costa este da ilha Terceira, uma das nove ilhas do arquipélago dos Açores, Portugal (Figura 4.2). A baía, limitada a norte pela Ponta da Má Merenda e a sul pela Ponta do Espírito Santo, tem cerca de 2400 m de comprimento e 1100 m de largura máxima. A linha de costa da baía caracteriza-se pela existência de uma defesa frontal aderente com cerca de 1 km de comprimento e de um campo de cinco esporões na zona central que enraízam na defesa frontal. Existem algumas praias ao longo da baía,

onde se destaca a Praia Grande, no lado norte. Junto a esta praia encontra-se uma marina com cerca de 210 postos de amarração, cais de receção e infraestruturas de apoio.



Figura 4.2 – Porto e baía de Praia da Vitória

Enraizado na Ponta da Má Merenda e com a direção norte-sul, encontra-se o chamado quebra-mar norte, com 560 m de comprimento, destinado a dar abrigo às instalações portuárias de apoio à Base Aérea das Lajes (Estruturas portuárias 2).

O quebra-mar sul, com cerca de 1300 m de comprimento e um traçado curvo, encontra-se enraizado no lado sul da baía, para abrigar o Cais 12 e as instalações portuárias dos setores comercial e das pescas do porto da Praia da Vitória (Estruturas portuárias 1).

Durante uma tempestade, que afetou o arquipélago dos Açores em Dezembro de 2001, muitas das estruturas costeiras foram gravemente danificadas, incluindo o quebra-mar sul da Praia da Vitória (Figura 4.3 a).

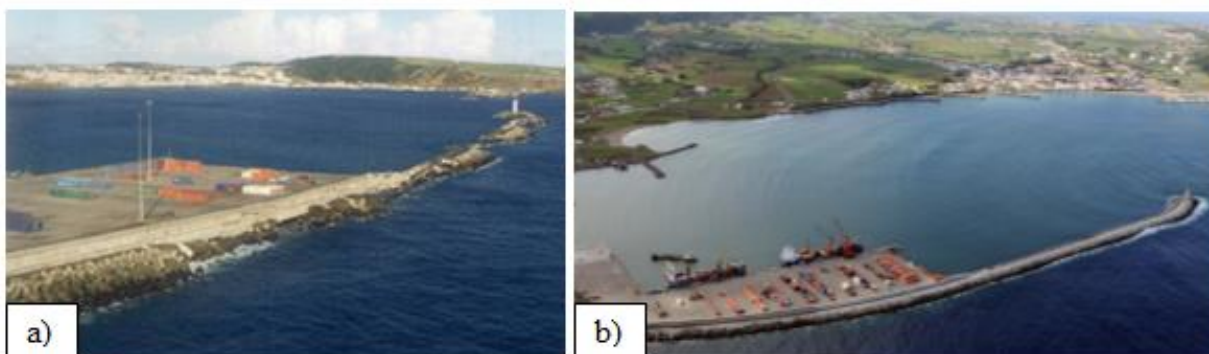


Figura 4.3 – a) Quebra-mar Sul da Praia da Vitória após tempestade. b) Quebra-mar Sul da Praia da Vitória antes da tempestade

Como resultado dos estragos e a fim de alcançar a total operacionalidade do porto, foi necessário dar início a um projeto de reabilitação do quebra-mar sul. A solução de projeto passou pela reconstrução do manto resistente de tetrápodos de 300 kN, o qual se desenvolve em talude inclinado a 3:2 (H:V), aproveitando como fundação a mistura existente de tetrápodos partidos e enrocamento. Algumas das soluções alternativas foram alvo de ensaios em modelo físico reduzido de estabilidade e galgamentos realizados em 2004 no LNEC (Lemos & Silva, 2004).

Na solução final, para melhorar a proteção ao galgamento foi reconstruído o muro cortina que inclui uma trincheira de drenagem (Figura 4.4).



Figura 4.4 – Muro cortina com trincheira de drenagem

A solução adotada foi validada com base em estudos de estabilidade e galgamento em modelo físico reduzido realizados no LNEC. Contudo, houve detalhes, como o muro cortina apresentado na Figura 4.4, que não constavam na solução ensaiada.

4.2 - Descrição das Instalações de Ensaio

Os ensaios em modelo físico foram realizados nas instalações do pavilhão de Hidráulica Marítima do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), nomeadamente no canal de ondas irregulares (COI1).

Este canal tem uma geometria retangular (Figura 4.5 e Figura 4.6), com dimensão exterior de 50 m de comprimento e 1.95 m de largura, com 1.20 m de altura. As dimensões interiores são 49.60 m de comprimento e 1.60 m de largura.

Este canal atualmente está equipado com um gerador hidráulico do tipo pistão, controlado por uma placa de geração de sinais ligada a um computador, permitindo a simulação de ondas regulares e irregulares. Associado a esta placa, está ainda um sistema de absorção ativa da reflexão, AWASYS (Active Wave Absorption System) (Troch, 2005). Este sistema requer o uso de duas sondas resistivas de medição de altura da superfície livre da água, que estão colocadas no canal, a uma distância de cerca de 3 m do batedor. A posição exata destas sondas é dependente da configuração adotada aquando do dimensionamento dos filtros digitais FIR (*Finite Impulse Response*), componentes fundamentais do sistema AWASYS.

Estes filtros condicionam o funcionamento do sistema de absorção ativa de onda e deverão ter em conta, entre outros, as frequências mínimas e máximas dos espectros de agitação a reproduzir durante os ensaios. O dimensionamento dos filtros deve ser realizado sempre que seja necessário efetuar nova configuração do sistema.



Figura 4.5 – Vista lateral do canal de ondas irregulares número 1 (COI1)

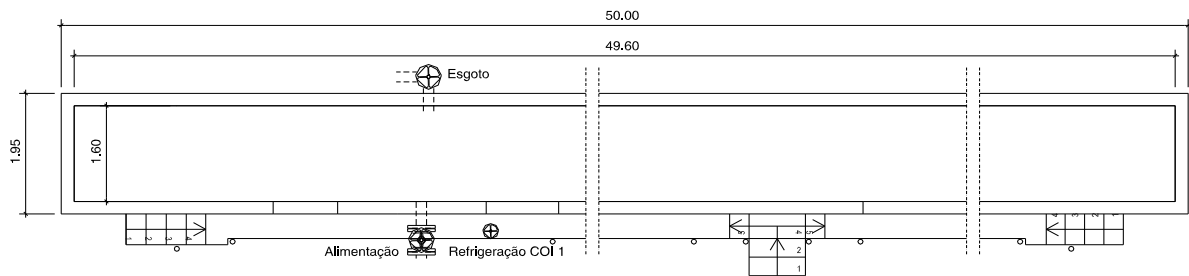


Figura 4.6 – Dimensões em planta do canal de ondas irregulares número 1 (COI1)

4.3 - Condições Experimentais e Implantação do Modelo Físico

O modelo foi construído à escala 1:48 e explorado de acordo com a lei de semelhança de Froude. Os fundos em frente ao local de implantação do perfil foram reproduzidos por intermédio de uma rampa com uma inclinação de 1:27 a partir da cota do pé do talude do perfil (18.0 m (ZH)), até à cota 20.0 m (ZH), a partir da qual se desenvolve numa inclinação de cerca de 1:50 até à cota -30.0 m (ZH) (Figura 4.7). Todos os valores anteriormente indicados referem-se ao protótipo.

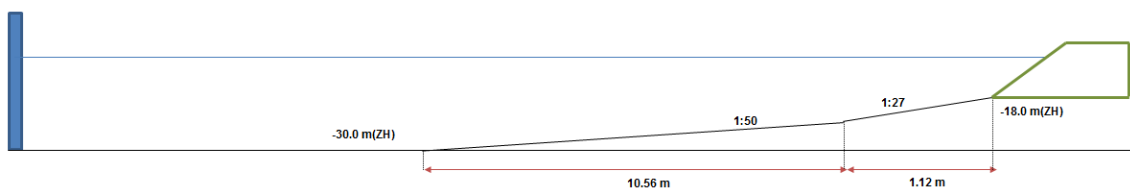


Figura 4.7 – Fundo e perfil implantado no modelo físico, à escala 1:48

A Figura 4.8 ilustra a implantação do perfil no COI1, enquanto a Figura 4.9 ilustra a propagação de ondas ao longo do canal de ondas irregulares COI1.



Figura 4.8 – Implantação do perfil do cais 12 no canal de ondas irregulares 1 (COI1)



Figura 4.9 – Propagação de ondas no COI1

4.4 - Agitação Incidente e Níveis de Maré

A agitação incidente segue um espectro de distribuição de ondas irregulares com uma configuração espectral empírica de JONSWAP.

Os níveis de maré ensaiados foram os de Baixa-mar (BM), correspondente a 0.0 m (ZH), e de Preia-mar (PM), correspondente a +2.0 m (ZH). Os períodos de pico (T_p) ensaiados foram de

10 s, 14 s e 18 s para os dois níveis de maré. Na Tabela 4.1 apresentam-se as diferentes condições de agitação irregular incidente, nomeadamente a altura significativa de onda, H_s , o nível de maré (BM ou PM), assim como os diferentes períodos de pico ensaiados.

Tabela 4.1 – Condições de agitação incidente

Hs (m)	Nível de BM			Nível de PM		
	Tp = 10 s	Tp = 14 s	Tp = 18 s	Tp = 10 s	Tp = 14 s	Tp = 18 s
5.5	X	X	X	X	X	X
6.5	X	X	X	X	X	X
7.0	X	-	-	-	-	-
7.5	X	X		X	X	
8.0		X		X	X	
8.5		X			X	
9.0					X	

A duração dos ensaios foi definida de modo a que em cada ensaio fossem reproduzidas no mínimo 1000 ondas. Nesse sentido, consoante o período de onda a ensaiar, adotaram-se as seguintes durações dos sinais de geração gerados, a fim de garantir o número mínimo de 1000 ondas (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Duração do tempo de cada ensaio

Tp (s)		Duração do ensaio no modelo (Esc.: 1/48)		
Protótipo	Modelo	Tempo de ensaio 1000 ondas (s)	Tempo de ensaio 1000 ondas (min)	Tempo considerado para o sinal de geração (min)
10	1.44	1443.38	24	25
14	2.02	2020.73	34	35
18	2.60	2598.08	43	44
20	2.89	2886.75	48	49

Após a análise dos dados adquiridos pelas sondas resistivas, da agitação no modelo, a altura significativa de cada estado de agitação ensaiado é dado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Correspondência entra as condições de agitação ensaiadas e os levantamentos realizados

Tp (s)	Nível	Nw	Hs pretendido (m)	Hs obtido (m)	Levantamento correspondente
10	PM	1000	5.50	5.69	L1
		2000	6.50	6.48	L2
		3000	7.50	7.34	L3
		4000	8.00	7.81	L4
	BM	1000	5.50	5.76	L1
		2000	6.50	6.60	L2
		3000	7.00	6.97	L3
		4000	7.50	7.49	L4
14	PM	1000	5.50	5.77	L1
		2000	6.50	6.71	L2
		3000	7.50	7.56	L3
		4000	8.00	8.19	L4
		5000	8.50	8.64	L5
		6000	9.00	9.31	L6
	BM	1000	5.50	5.47	L1
		2000	6.50	6.44	L2
		3000	7.50	7.44	L3
		4000	8.00	8.11	L4
18	PM	1000	5.50	5.54	L1
		2000	6.50	6.37	L2
	BM	1000	5.50	5.57	L1
		2000	6.50	6.24	L2

4.5 - Equipamento de Medição da Agitação

Para medição da elevação da superfície livre, em ensaios em modelo reduzido, o LNEC dispõe de um conjunto de sondas resistivas (Figura 4.10). O funcionamento das sondas resistivas é baseado na variação da sua resistência elétrica em função da profundidade imersa da sonda. O método experimental assenta na medição da diferença de tensão entre os fios condutores, que é diretamente proporcional à profundidade imersa da sonda.

A calibração das sondas é feita através da medição da tensão das mesmas quando colocadas em duas posições de medição a diferentes profundidades, permitindo relacionar a diferença de

tensão (em centivolts) com a diferença de valores de cota (em centímetros) da escala da régua e assim determinadas as constantes de cada sonda, K_s , em cm/cV. Este procedimento é efetuado no início de cada dia dos ensaios.



Figura 4.10 – Sonda resistiva para medição da elevação da superfície livre

As sondas resistivas foram dispostas ao longo do canal conforme esquematizado na Figura 4.11.

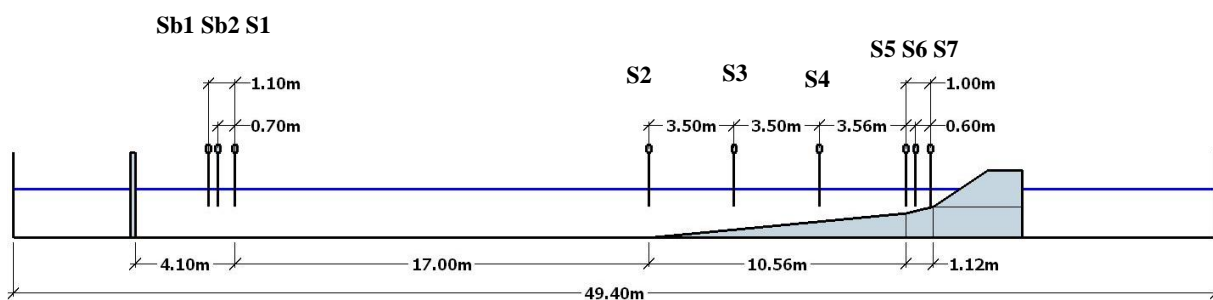


Figura 4.11 – Esquema de distribuição das sondas resistivas ao longo do COI1

Para possibilitar a conversão do sinal analógico das sondas para digital, é necessário as sondas estarem ligadas a um equipamento de aquisição tendo sido utilizado o equipamento de aquisição de dados *Spider 8* (Figura 4.12), da firma HBM. Este sistema usa o *software* *Catman Easy* (Figura 4.13) para a configuração dos canais de aquisição e para a aquisição de dados propriamente dita.



Figura 4.12 – Equipamento de aquisição Spider 8

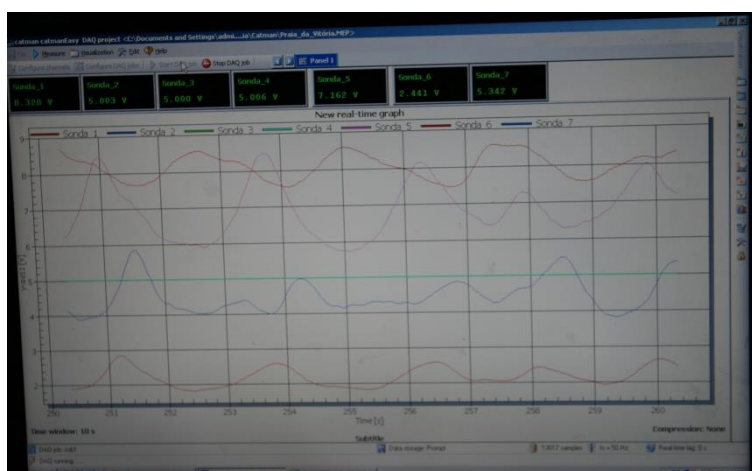


Figura 4.13 – Software de registo de voltagem Catman Easy

4.6 - Calibração do Modelo

A primeira etapa dos ensaios corresponde à calibração da agitação no modelo físico. Esta calibração consiste na definição dos parâmetros dos espetros a utilizar nos ensaios em modelo físico, a fim de serem cumpridas as condições de ensaio indicadas na Tabela 4.1.

Para a calibração do modelo, utilizaram-se as medições referentes à sonda S1, utilizada para o controlo da agitação à saída do gerador de ondas, e às sondas S5, S6 e S7, utilizadas para controlar as condições de agitação junto à obra.

A geração de espetros é realizada recorrendo ao *software* SAM (Simulação de Agitação Marítima) (Capitão & Carvalho, 2001), realizando uma simulação numérica para ensaio físico (Figura 4.14), e introduzindo no programa os diferentes parâmetros para cada uma das

condições de agitação incidentes (Figura 4.15), nomeadamente, os valores para H_s (altura significativa pretendida para o estado de agitação), T_p (período de pico do espectro pretendido) e d (altura de água junto ao batedor). Para o espectro de ondas irregulares adotou-se o espectro “JONSWAP”.

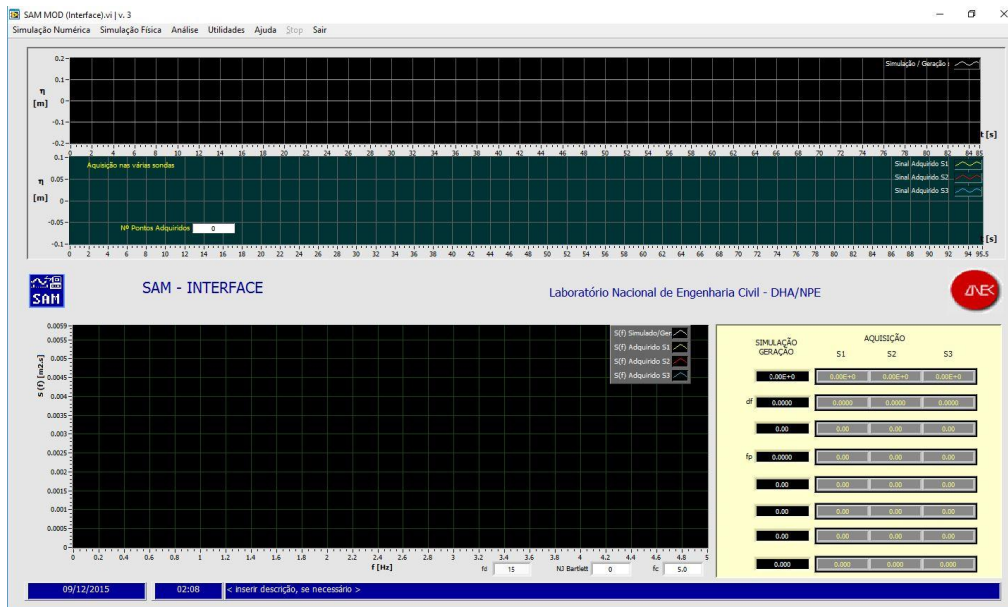


Figura 4.14 – SAM – Interface do programa para geração de espectros

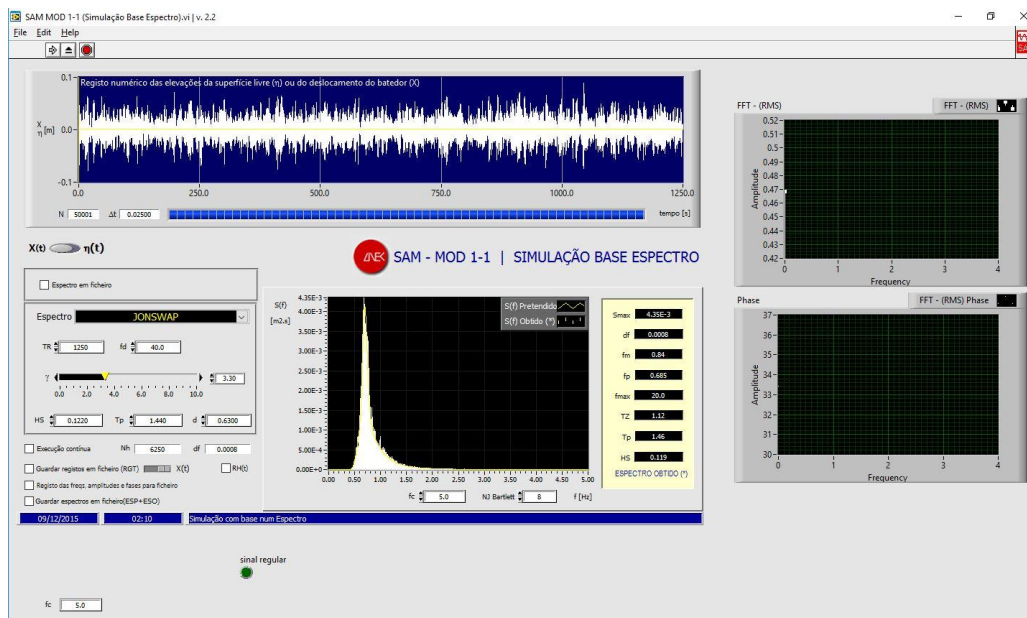


Figura 4.15 – SAM – Interface do programa para definição dos parâmetros para geração de espectros

4.7 - Equipamento Utilizado para Aquisição de Imagens

Os equipamentos utilizados na aquisição das imagens são duas câmaras fotográficas digitais (Canon EOS 600D), equipadas com uma objetiva de distância focal fixa (Canon EF 35mm f/2).

Adicionalmente, é necessário uma estrutura de suporte das câmaras fotográficas, para garantir que não existem movimentos indesejados, e um alvo, necessário à calibração.

A distância entre o centro das lentes é habitualmente de 16 cm, pois apresenta um compromisso entre uma distância generosa entre objetivas, a fim de facilitar a reconstrução 3D, e uma distância que garante que o cenário fotografado por ambas as máquinas é o mesmo, de modo a não impossibilitar a reconstrução.

Foi também utilizada uma câmara de filmar Canon LEGRIA HF M56 e uma câmara GoPro Hero3 para fazer o registo em vídeo dos ensaios.

4.8 - Avaliação do Dano

Os métodos de avaliação do dano utilizados foram a contagem visual de movimentos e de quedas de blocos, a comparação de imagens através de dois algoritmos desenvolvidos em Scilab e MATLAB e a extração de perfis através do método estereofotogramétrico para determinação da área erodida.

4.8.1 - Contagem Visual

Para a aplicação deste método foi necessário contar o número total de elementos que constituíam o manto resistente e o pé do talude (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Quantidades de elementos constituintes do quebra-mar

Elementos	Quantidade
Tetrápodos	350
Enrocamento 60-90 kN	175
Enrocamento 10-40 kN	1345

Conhecido o número de elementos, foi feito o registo, durante os ensaios de estabilidade, do número de quedas e movimentos de cada tipo de elemento, para cada condição de agitação incidente. Com o número de quedas de tetrápodos foi calculada a percentagem de quedas dos mesmos, em relação ao número total de tetrápodos das duas camadas que constituíam o manto, a fim de atribuir um grau de classificação correspondente à tabela de classificação de estragos para ensaios bidimensionais do LNEC (Lemos & Silva, 2004) (Tabela 4.5). Para a classificação dos movimentos de tetrápodos foi utilizado o mesmo procedimento, tendo sido, no entanto, utilizado apenas o número de blocos da camada superior do manto e aplicada a Tabela 4.6.

Tabela 4.5 – Critério de classificação de quedas de blocos do manto resistente em ensaios bidimensionais (LNEC)

GRAU	DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	
0	Muito Ligeiras	Removidos 0-1 % do número total de blocos (1ª e 2ª camadas)	As falhas na 1ª camada são inferiores a 5 blocos
1	Ligeiras	Removidos 1-2 % do número total de blocos	
2	Pequenas	Removidos 2-3 % do número total de blocos	
3	Moderadas	Removidos 3-5 % do número total de blocos ou falhas de 5-10 unidades na 1ª camada	
4	Muitas	Grandes falhas na 1ª camada (superiores a 10 blocos)	
5	Sérias	A 1ª camada foi removida numa grande área; falhas na 2ª camada; núcleo ou filtros do quebra-mar visíveis	
6	Destruição	As duas camadas foram removidas numa grande área; núcleo do quebra-mar afectado	

Tabela 4.6 – Critério de classificação de movimentos de blocos do manto resistente em ensaios bidimensionais (LNEC)

GRAU	DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	
0	Muito Ligeiros	Têm movimentos 0-2 % do número de blocos da 1ª camada	Não há movimentos de conjunto
1	Ligeiros	Têm movimentos 2-5 % do número de blocos da 1ª camada	
2	Pequenos	Têm movimentos 5-10 % do número de blocos da 1ª camada	
3	Moderados	Têm movimentos 10-15 % do número de blocos da 1ª camada	
4	Muitos	Têm movimentos 15-20 % do número de blocos da 1ª camada ou movimentos de conjunto de vários grupos de blocos	
5	Sérios	Têm movimentos 20-30 % do número de blocos da 1ª camada ou movimentos de conjunto de vários grupos de blocos	
6	Muito Sérios	Têm movimentos mais de 30 % do número de blocos da 1ª camada ou movimentos de conjunto de vários grupos de blocos	

No final de cada série de ensaios correspondente a um determinado período e nível de maré, o modelo era reconstruído com o fim de repor as suas condições geométricas originais.

4.8.2 - Método Estereofotogramétrico

O *software* utilizado no LNEC (Ferreira, Silvestre, Sousa, & Santos, 2006), contempla duas aplicações com finalidades distintas: a calibração das câmaras fotográficas e a reconstrução 3D.

O processo de calibração é realizado através da marcação dos quatro cantos internos do alvo de calibração (padrão axadrezado com quadricula 3x3 cm), cuja dimensão da quadricula servirá de referência para as dimensões da estrutura reconstruída (Figura 4.16).

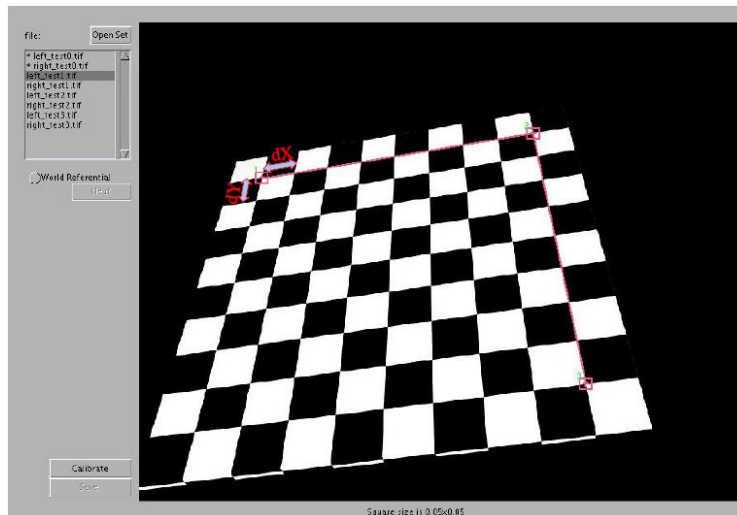


Figura 4.16 – Software de calibração (camara_calib_gui)

A reconstrução 3D consiste na identificação das dimensões e profundidade a partir das duas imagens ligeiramente desfasadas do mesmo cenário. É possível reconstruir a parte emersa, submersa ou ambas as partes, pois o *software* faz a correção da refração da interface ar-água (Figura 4.17 e Figura 4.18).

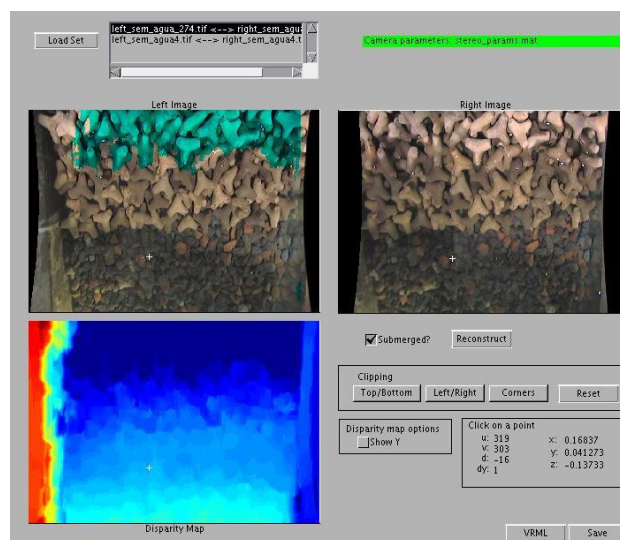


Figura 4.17 – Software de reconstrução (reconstruct_gui)

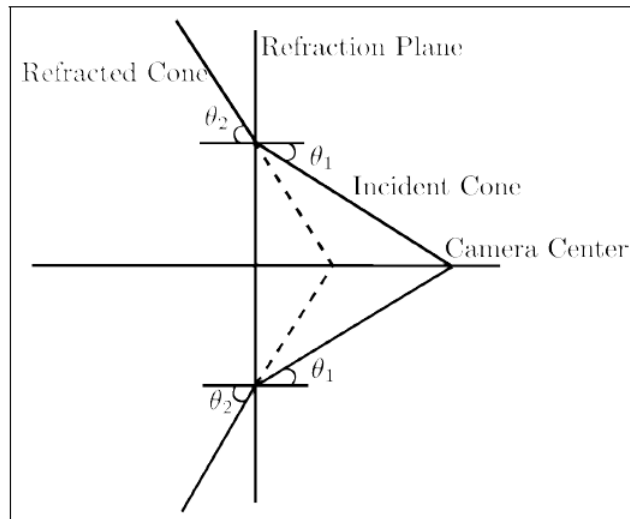


Figura 4.18 – Refracção na interface ar-água

No pós-processamento dos dados resultantes das reconstruções são utilizados ainda três algoritmos automatizados (TratamentoAutomatico_Envolv, ExtrairPerfis_AUTO, CompararPerfisVariosLev), de análise de imagem, com vista à obtenção de superfícies, de perfis e comparação de perfis para todos os levantamentos efetuados.

Para a obtenção da nuvem de pontos correspondente à reconstrução das superfícies submersa, e obtenção da superfície tridimensional do manto, através da geração de uma grelha, é utilizado o algoritmo TratamentoAutomatico_Envolv, desenvolvido em MATLAB. (Lemos, 2013) (Figura 4.19).

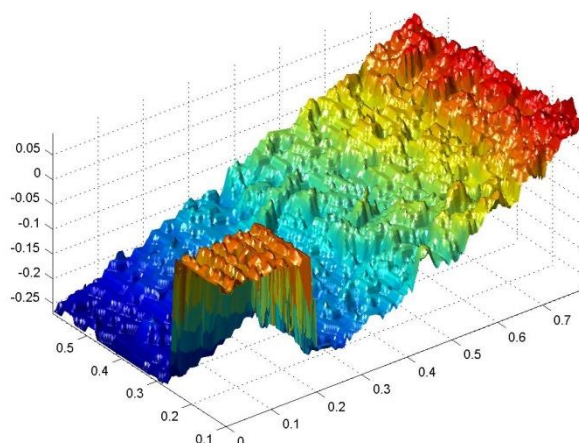


Figura 4.19 – Superfície reconstruída 3D, através de algoritmo TratamentoAutomatico_Envolv

Com base nas reconstruções tridimensionais da superfície, da estrutura em estudo, antes e após os ensaios, pode fazer-se a extração de perfis da estrutura em análise, através da utilização de algoritmo de análise de imagem ExtrairPerfis_AUTO, elaborado em MATLAB (Lemos, 2013) (Figura 4.20). Estes levantamentos têm especial importância pois permitem quantificar o dano ocorrido através do método da área erodida.

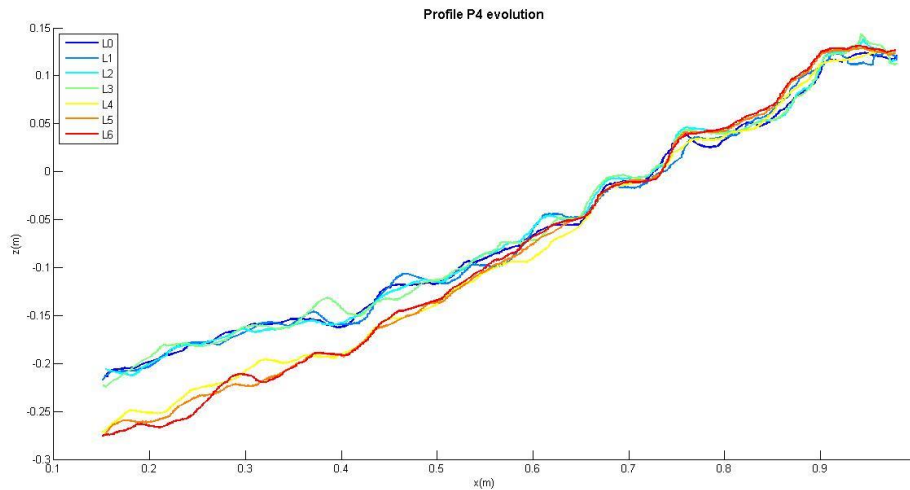


Figura 4.20 – Exemplo de perfis extraídos

Em cada levantamento efetuado, (Figura 4.21) é calculada a área erodida para cada um dos 7 perfis extraídos através do algoritmo CompararPerfisVariosLev, em MATLAB. A área erodida em cada levantamento é representada pela média da área erodida dos perfis extraídos, considerados representativos do dano observado.

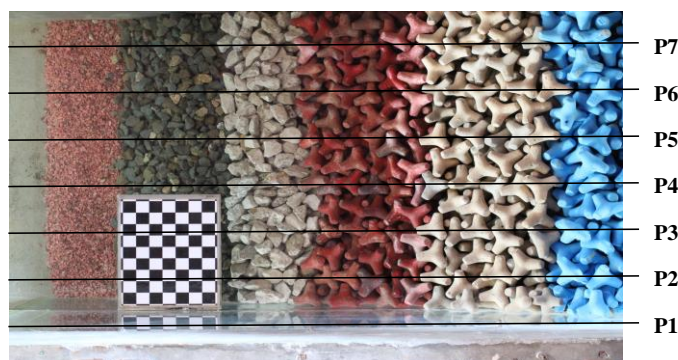


Figura 4.21 – Localização dos perfis a extraídos

4.8.3 - Comparação de Imagens

As técnicas de comparação de imagens utilizadas consistiram em dois algoritmos de tratamento digital de imagem (Lemos, 2015) e (Rodrigues, 2014) que permitem calcular a área modificada e identificar as zonas alteradas entre ensaios, sendo para tal necessário apenas as fotografias tiradas no final de ensaios consecutivos, ao longo dos quais se pretende avaliar a evolução em relação à situação inicial.

Os dois algoritmos utilizados conduzem ao mesmo tipo de resultado (quantificação da área modificada comparativamente à situação inicial), no entanto, são usadas metodologias diferentes no tratamento das imagens.

O primeiro algoritmo, em MATLAB, ImageCompair_Area (Lemos, 2015) permite obter a imagem das diferenças entre levantamentos, através da sobreposição de imagens. Nesta imagem, as diferenças são representadas a verde (imagem inicial) e magenta (imagem final) (Figura 4.22).

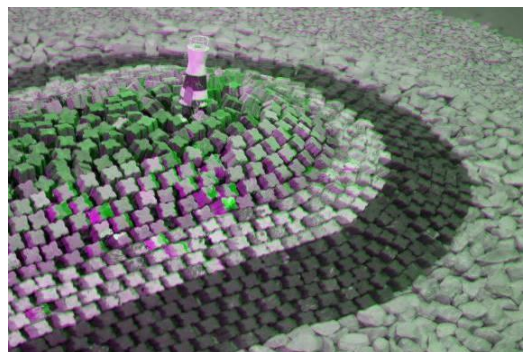


Figura 4.22 – Imagem resultante da comparação das imagens usando o algoritmo ImageCompair_Area

Numa segunda fase, o algoritmo utiliza a matriz da imagem que representa as diferenças entre levantamentos e converte-a para preto e branco (imagem binária). Nesta imagem, os pixels brancos representam as diferenças detetadas. Tendo sido previamente calibrada a relação entre a área de um objeto bem conhecido (por exemplo: os quadrados do alvo de calibração) e o seu número de pixels na imagem, é possível obter a área realmente modificada entre cada levantamento. Este tipo de calibração só é possível porque as câmaras têm objetivas fixas, a focagem é feita em modo manual no início dos ensaios e as câmaras não foram removidas ou alterada a sua posição durante cada série de ensaios, permitindo manter a relação entre as dimensões das imagens e o número de pixels.

Para além da calibração do número de pixels por unidade de área, também foi realizada a otimização da conversão da imagem para preto e branco. Para tal, o algoritmo dispõe de uma função (`im2bw(I, level)`) que converte uma imagem em escala de cinzentos, “I”, numa imagem a preto e branco, em função do valor da luminosidade de cada pixel da imagem “I”. Todos os pixels com valor de luminosidade superior ao parâmetro “level”, que está compreendido entre 0 (preto) e 1 (branco), serão convertidos em branco (1) e todos os pixels com valor inferior ao parâmetro “level” em preto (0).

A calibração do algoritmo através da comparação de duas imagens com alteração de um objeto de dimensões conhecidas, permitiu estabelecer um valor ótimo de “level”=0.21, o que significa que os pixels com valores de luminosidade superiores a 0.21 serão substituídos por o valor 1 (branco).

A fim de evitar a contabilização de falsas áreas modificadas, este algoritmo utiliza a função `bwareaopen(BW,P)`, do MATLAB, a qual remove pequenos objetos da imagem a preto e branco (BW), que tenham menos de “P” pixels. O valor utilizado para “P” foi de 178 pixels, o que corresponde, utilizando este conjunto de equipamento e distâncias de focagem, a 1 cm². Assim sendo, diferenças inferiores à área do menor enrocamento utilizado no modelo do quebra-mar não serão tidas em conta no cálculo da área modificada.

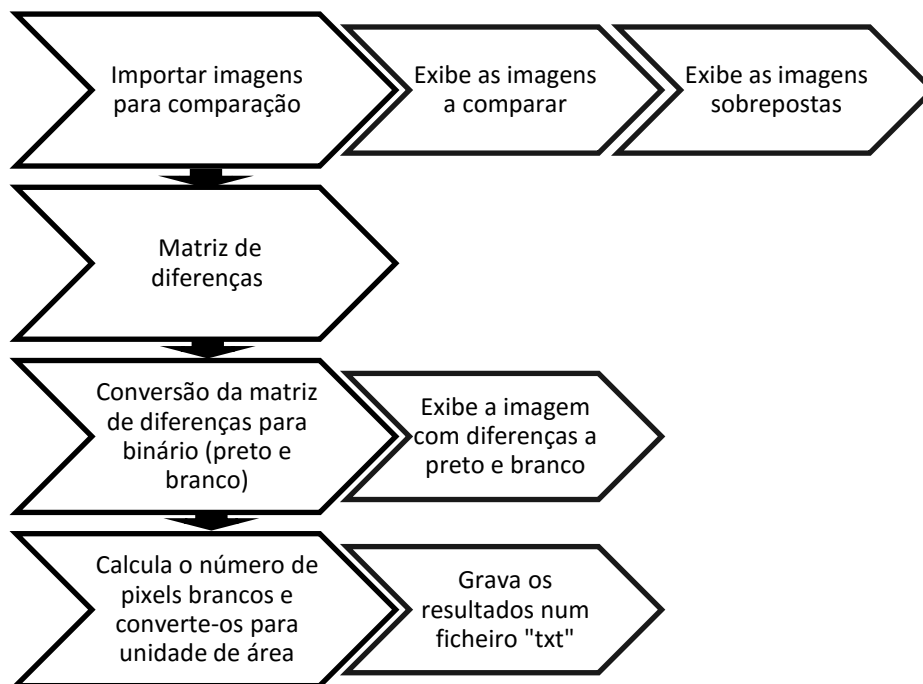


Figura 4.23 – ImageCompare_Area. Etapas para a quantificação das áreas modificadas entre fotos.

O segundo algoritmo é idêntico ao primeiro, sendo executados em simultâneo duas funções, a função_norma e a modif, desenvolvidos em Scilab (Rodrigues, 2014) (Lemos et al. 2015). O algoritmo modif determina, além das diferenças entre levantamentos, as zonas de maior alteração e a percentagem de área modificada.

Também com este algoritmo houve necessidade de otimizar a conversão em níveis de cinzentos, controlado pelo parâmetro “eps”. Foi adotado um valor de “eps” igual a 0.315 para as imagens da banqueta e um valor de “eps” igual a 0.22 quando analisada a totalidade do modelo.

Ambos os algoritmos são particularmente úteis na deteção de movimentos nos elementos compostos por enrocamento, que são muito difíceis de visualizar. Também apresentam a vantagem de não necessitarem de alvo nem pares de imagens pois só é tida em conta a área modificada em planta.

5 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se e analisam-se os resultados dos ensaios em modelo físico, obtidos para cada condição de agitação marítima, utilizando as três diferentes técnicas, contagem visual, Estereofotogrametria e Comparação de Imagens.

Numa primeira fase apresentam-se e analisam-se os resultados correspondentes a cada uma das técnicas utilizadas, tendo sido feita uma análise separada quer do manto resistente, quer da banqueteta do pé do talude do perfil, Posteriormente, é feita uma análise comparativa entre os métodos utilizados.

5.1 - Contagem Visual

Através do método de contagem visual, no final de cada ensaio (correspondente a uma determinada altura de onda significativa associada a um determinado período de pico e a um determinado nível de maré) é contabilizado o número de blocos removidos (quedas) no manto resistente do perfil bem como os movimentos desses blocos. No final de cada ensaio é contabilizado o número de quedas e movimentos acumulados ao longo da série de ensaios (correspondente a uma sequência de estados de agitação de altura significativa diferentes e período de pico constante, para o mesmo nível de maré).

Apresentam-se de seguida, os resultados (quedas e movimentos) obtidos nos diferentes ensaios realizados, para o manto resistente e para a banqueteta do pé do talude do perfil em estudo, em função do período da onda (10 s, 14 s e 18 s). No caso da banqueteta do pé do talude uma vez que é de enrocamento, apenas se efetua a contabilização das quedas.

Em termos de quedas, os resultados consistem no número de quedas (Q), no número de quedas acumulados (QA) ao longo de vários ensaios com o mesmo período e o mesmo nível de maré, para as diferentes alturas significativas testadas, na percentagem de quedas (%QA) e no grau atribuído a essas quedas (GQ). O grau de quedas de blocos do manto resistente (GQ) foi determinado através da aplicação dos critérios de classificação do LNEC para quedas de blocos artificiais em ensaios bidimensionais, tendo em conta a percentagem de quedas (%QA) e a existência ou não de falhas na camada inferior (núcleo ou filtros do quebra-mar visíveis) do manto resistente.

Em termos de movimentos, os resultados consistem no número de movimentos (M), no número de movimentos acumulados (MA) ao longo de vários ensaios com o mesmo período e o mesmo nível de maré, para as diferentes alturas de onda testadas, na percentagem de movimentos (%MA) e no grau atribuído a esses movimentos (GM). A percentagem de movimentos é o número de blocos removidos em relação ao número total de blocos do manto resistente e da banqueteta do pé do talude. O grau de movimentos de blocos do manto resistente (GM) foi determinado através da aplicação dos critérios de classificação do LNEC para movimentos de blocos artificiais em ensaios bidimensionais, tendo em conta a percentagem de movimentos (%MA) e a existência ou não de falhas na camada inferior do manto resistente.

5.1.1 - Manto Resistente

5.1.1.1 - $T_p=10$ s

Na Tabela 5.1 e na Figura 5.1 são apresentados os resultados para o período de pico (T_p) de 10 s realizado com os níveis de maré de Baixa-mar (BM) e Preia-mar (PM), referentes à estabilidade do manto resistente constituído por tetrápodos. No anexo 1 são apresentados os gráficos ilustrativos do número de quedas de tetrápodos por ensaio (Q) (Figura A.1.1), bem como o número de quedas acumuladas (QA) (Figura A.1.2) relativos a $T_p=10$ s.

Note-se que no caso do ensaio realizados com o nível de maré da Baixa-mar foram ensaiadas as alturas significativas de 7.0 m e 7.5 m, para as 3000 e 4000 ondas (N_w), respetivamente, enquanto para os ensaios realizados com o nível de maré da Preia-mar foram ensaiadas as alturas significativas de 7.5 m e 8.0 m, para o mesmo número de ondas.

Tabela 5.1 – Resumo de resultados relativos à estabilidade do manto para os ensaios com $T_p=10$ s através do método de contagem visual

Tetrápodos	Hs	5.5	6.5	7.0(BM)-7.5(PM)	7.5(BM)-8.0(PM)
	Nw	1000	2000	3000	4000
Tp=10 s PM	Q	1	1	4	1
	QA	1	2	6	7
	%QA	0.29	0.57	1.71	2.00
	GQ	0	0	3	3
	M	7	7	9	5
	MA	7	14	23	28
	%MA	4.00	8.00	13.14	16.00
	GM	1	2	3	4
Tp=10 s BM	Q	0	0	2	1
	QA	0	0	2	3
	%QA	0.00	0.00	0.57	0.86
	GQ	0	0	0	0
	M	7	4	2	2
	MA	7	11	13	15
	%MA	4.00	6.29	7.43	8.57
	GM	1	2	2	2

Legenda: Q (Quedas); QA (Quedas Acumuladas); %QA (Percentagem de Quedas); GQ (Grau de Quedas); M (Movimentos); MA (Movimentos Acumulados); %MA (Percentagem de Movimentos); GM (Grau de Movimentos).

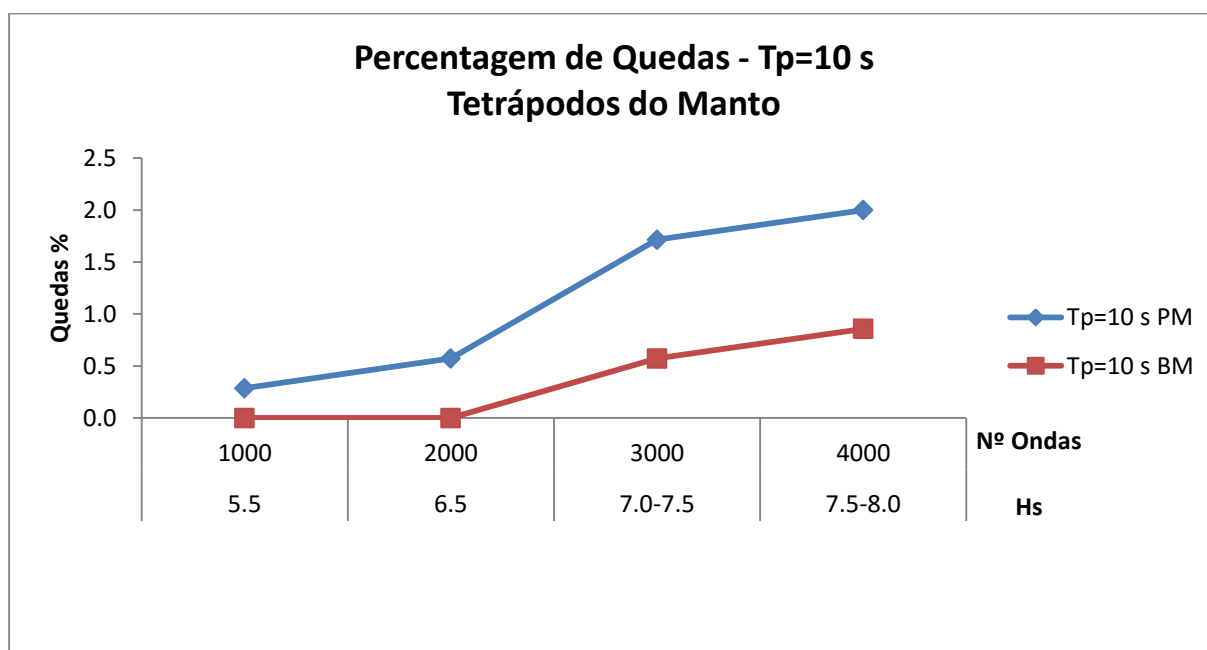


Figura 5.1 – Percentagem de quedas dos tetrápodos do manto para os ensaios $T_p=10$ s obtido através de contagem visual

Durante os ensaios de estabilidade realizados com $T_p=10$ s verificou-se uma percentagem de quedas de tetrápodos (%QA), ilustrado na Figura 5.1 e na Tabela 5.1, superior para o nível da Preia-mar (PM) pois devido à dissipação de energia por rebentação ocorrer junto à obra, provoca um maior número de blocos removidos no manto resistente. No caso dos ensaios de Baixa-mar, a rebentação ocorre na zona do pé do talude e não sobre o manto resistente.

A Figura 5.2 ilustra a evolução do grau de quedas ao longo dos ensaios correspondentes a $T_p=10$ s. O grau mais elevado de quedas (grau 3) ocorreu para o nível PM correspondendo à designação de quedas moderadas.

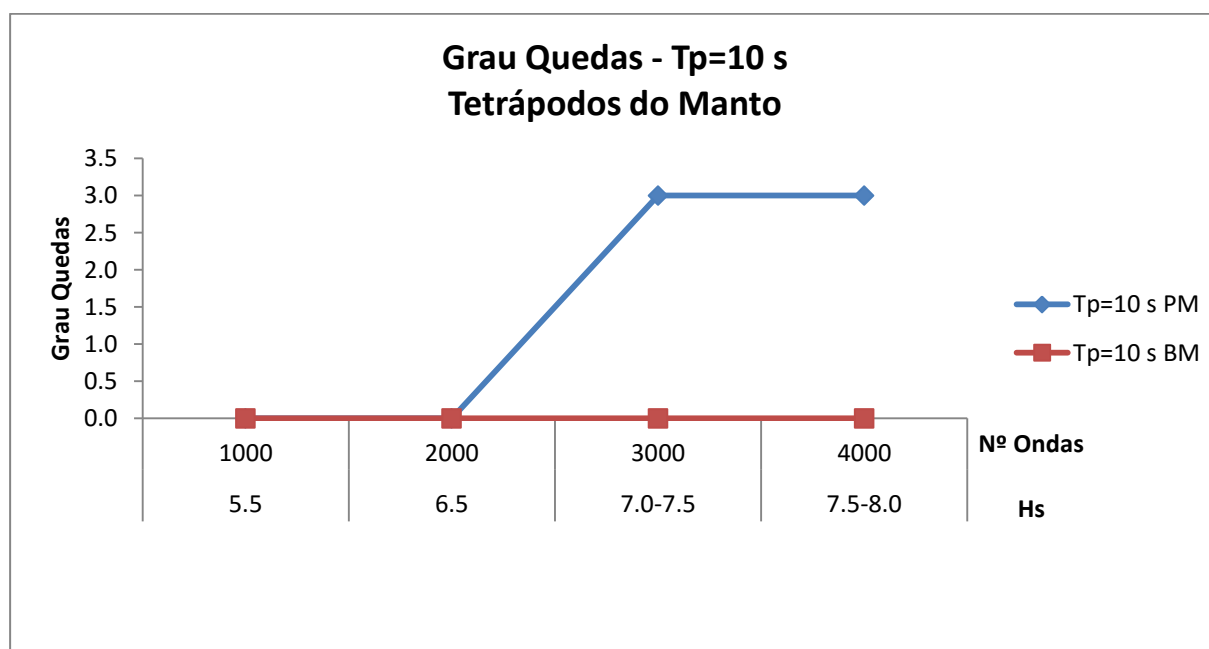


Figura 5.2 – Grau de quedas dos tetrápodos do manto para os ensaios $T_p=10$ s obtido através de contagem visual

No Anexo 2 apresentam-se os gráficos do número de movimentos por levantamento (Figura A.2.1), o número de movimentos acumulados (Figura A.2.2), a percentagem de movimentos (Figura A.2.3) e o grau de movimento (Figura A.2.4), referente aos tetrápodos do manto resistente para os ensaios realizados com $T_p=10$ s.

Relativamente aos movimentos dos tetrápodos para os ensaios realizados com $T_p=10$ s, a sua percentagem de movimentos (%MA) ao longo dos ensaios apresentou a mesma tendência da percentagem de quedas (%QA), sendo superior nos ensaios correspondentes ao nível de PM.

Tendo em conta que não existiram movimentos de conjunto, o grau dos movimentos (GM) apresentou um valor máximo de 4 para o nível de maré da PM, segundo os critérios de classificação de movimentos de blocos do manto resistente em ensaios bidimensionais do LNEC.

5.1.1.2 - $T_p=14$ s

Na Tabela 5.2 e na Figura 5.3 são apresentados os resultados obtidos para o período de pico (T_p) de 14 s realizados com os níveis de maré de Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM) referentes aos tetrápodos do manto resistente. No anexo 1 estão ilustrados os gráficos do número de quedas por ensaio (Figura A.1.5), o número de quedas acumuladas (Figura A.1.6), referentes aos tetrápodos do manto para os ensaios realizados com $T_p=14$ s.

Os ensaios realizados com $T_p=14$ s Preia-mar tiveram a particularidade de devido a sua duração (35 min) ter sido realizado em dois dias, sendo realizado no primeiro dia as alturas significativas entre 5.5 m e 8.0 m e no segundo dia as alturas de 8.5 m e os 9.0 m.

Durante os ensaios de estabilidade realizados com $T_p=14$ s verificou-se que a percentagem de quedas de tetrápodos, Figura 5.3 e Tabela 5.2, é superior para o nível da Preia-mar (PM), em concordância com o verificado nos ensaios realizados com $T_p=10$ s.

Tabela 5.2 – Resumo de resultados relativos à estabilidade do manto para os ensaios com $T_p=14$ s, através do método de contagem visual

Tetrápodos	Hs	5.5	6.5	7.0	8.0	8.5	9.0
	Nw	1000	2000	3000	4000	5000	6000
Tp=14 s PM	Q	1	0	2	2	4	3
	QA	1	1	3	5	9	12
	%QA	0.29	0.29	0.86	1.43	2.57	3.43
	GQ	0	0	0	3	3	4
	M	3	1	2	4	8	6
	MA	3	4	6	10	18	24
	%MA	1.71	2.29	3.43	5.71	10.29	13.71
	GM	0	1	1	2	3	3
Tp=14 s BM	Q	0	0	0	1	0	-
	QA	0	0	0	1	1	-
	%QA	0.00	0.00	0.00	0.29	0.29	-
	GQ	0	0	0	0	0	-
	M	3	4	6	4	10	-
	MA	3	7	13	17	27	-
	%MA	1.71	4.00	7.43	9.71	15.43	-
	GM	0	1	2	2	4	-

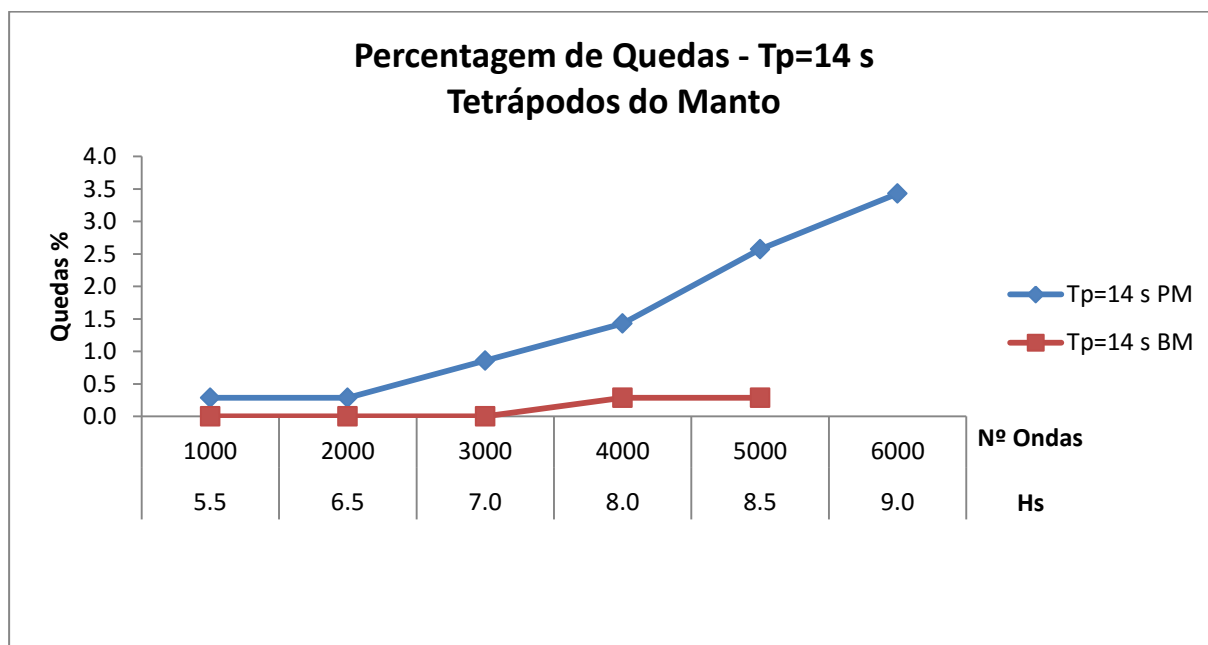


Figura 5.3 – Percentagem de quedas dos tetrápodos para os ensaios $T_p=14$ s obtido através de contagem visual

Tendo em conta que não existiram falhas na segunda camada, a Figura 5.4 ilustra a evolução do grau de quedas ao longo dos ensaios realizados com $T_p=14$ s. O grau mais elevado de quedas (grau 4) ocorreu para o nível Preia-mar correspondendo à designação de muitas quedas, segundo as tabelas de estragos do LNEC.

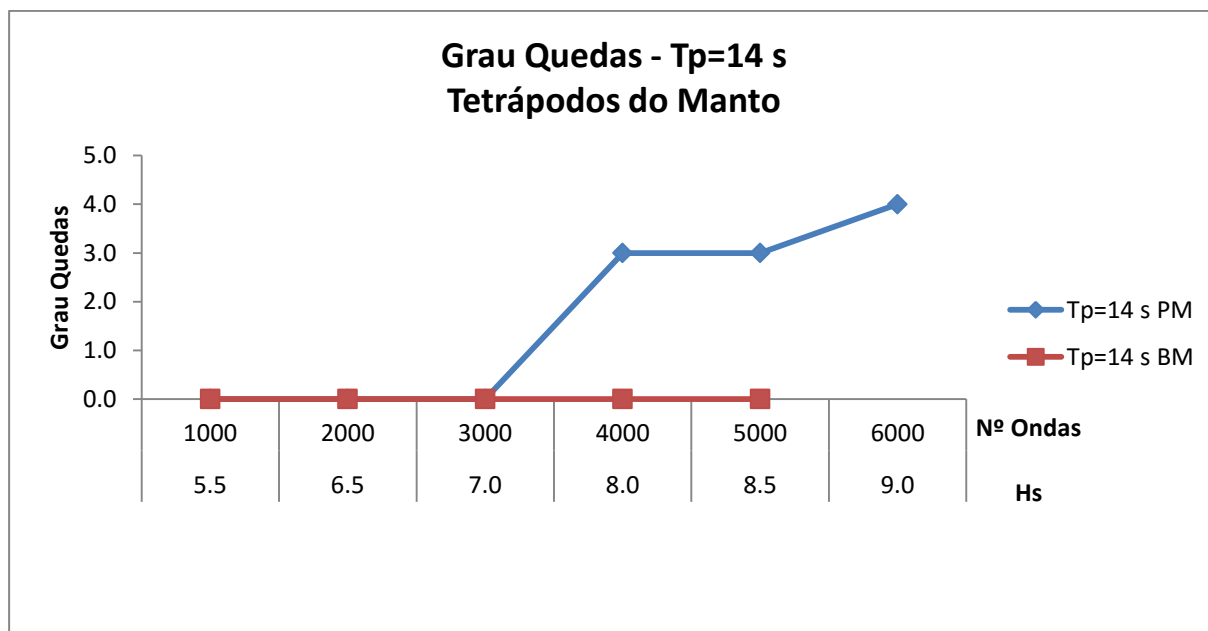


Figura 5.4 – Grau de quedas dos tetrápodos do manto para $T_p=14$ s obtido através de contagem visual

No Anexo 2 são ilustrados os gráficos relativos ao número de movimentos por levantamento (Figura A.2.5), o número de movimentos acumulados (Figura A.2.6), a percentagem de movimentos (Figura A.2.7) e o grau de movimento (Figura A.2.8), referente aos tetrápodos do manto resistente para os ensaios realizados com $T_p=14$ s.

Relativamente aos movimentos dos tetrápodos para os ensaios realizados com $T_p=14$ s a percentagem de movimentos ao longo dos ensaios verificou uma tendência contrária à percentagem de quedas, sendo a sua percentagem superior no nível da Baixa-mar.

Tendo em conta que não existiram movimentos de conjunto, o grau dos movimentos apresentou um valor máximo de 4 para o nível de maré da Baixa-mar, segundo os critérios de classificação de movimentos de blocos do manto resistente em ensaios bidimensionais do LNEC.

5.1.1.3 - $T_p=18$ s

Na Tabela 5.3 são apresentados os resultados relativos aos ensaios com $T_p=18$ s realizados com os níveis de Preia-mar e de Baixa-mar. Para estes ensaios não se verificaram quedas de tetrápodos, o que conduz a um grau de quedas 0, a que corresponde a designação de “muito ligeiras”.

Tabela 5.3 – Resumo de resultados relativos à estabilidade do manto para os ensaios com $T_p=18$ s, através do método de contagem visual

Tetrápodos	Hs	5.5	6.5
	Nw	1000	2000
Tp=18 s PM	Q	0	0
	QA	0	0
	%QA	0.00	0.00
	GQ	0	0
	M	1	5
	MA	1	6
	%MA	0.57	3.43
	GM	0	1
Tp=18 s BM	Q	0	0
	QA	0	0
	%QA	0.00	0.00
	GQ	0	0
	M	0	4
	MA	0	4
	%MA	0.00	2.29
	GM	0	1

No Anexo 2 são ilustrados os gráficos relativos ao número de movimentos por ensaio (Figura A.2.9), o número de movimentos acumulados (Figura A.2.10), a percentagem de movimentos (Figura A.2.11) e o grau de movimento (Figura A.2.12), referente aos tetrápodos do manto resistente para os ensaios realizados com $T_p=18$ s.

Relativamente aos movimentos dos tetrápodos para os ensaios realizados com $T_p=18$ s a percentagem de movimentos ao longo dos ensaios foi superior no nível da Preia-mar.

Tendo em conta que não existiram movimentos de conjunto, o grau dos movimentos apresentou um valor máximo de 1 para ambos os níveis de maré ensaiados, segundo os

critérios de classificação de movimentos de blocos do manto resistente em ensaios bidimensionais do LNEC.

5.1.2 - Banqueta do Pé de Talude

5.1.2.1 - $T_p=10$ s

Na Tabela 5.4 e na Figura 5.5, são apresentados os resultados para os ensaios realizados com $T_p=10$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), referentes ao enrocamento com 60-90 kN do qual é composto a banqueteta do pé de talude. No Anexo 1 são apresentados os gráficos com o número de quedas por ensaio (Q) (Figura A.1.3) e o número de quedas acumuladas (QA) (Figura A.1.4), para o enrocamento 60-90 kN da banqueteta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=10$ s.

Tabela 5.4 – Resumo de resultados relativos à estabilidade da banqueteta do pé do talude com $T_p=10$ s através do método de contagem visual

Enroc. 60-90 kN	Hs	5.5	6.5	7.0(BM)-7.5(PM)	7.5(BM)-8.0(PM)
	Nw	1000	2000	3000	4000
$T_p=10$ s PM	Q	15	5	7	3
	QA	15	20	27	30
	%QA	8.57	11.43	15.43	17.14
$T_p=10$ s BM	Q	15	5	14	4
	QA	15	20	34	38
	%QA	8.57	11.43	19.43	21.71

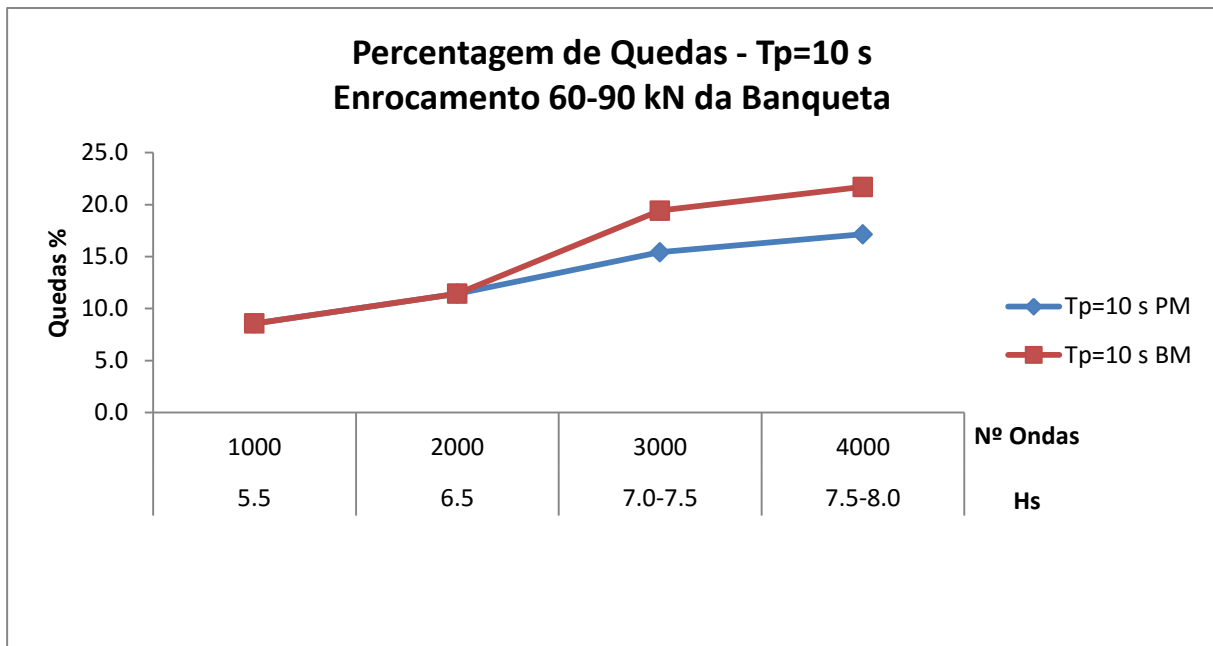


Figura 5.5 – Percentagem de quedas do enrocamento da banquetta do pé do talude para os ensaios $T_p=10$ s obtido através de contagem visual

No que diz respeito à banquetta do pé de talude (Figura 5.5) verificou-se que a percentagem de quedas do enrocamento para o nível de maré da Baixa-mar (BM) é superior à ocorrida com o nível da Preia-mar (PM), como seria expetável, pois a banquetta encontra-se mais sujeita às condições de agitação e rebentação quando o nível é mais baixo

5.1.2.2 - $T_p=14$ s

Na Tabela 5.5 e na Figura 5.6 são apresentados os resultados para os ensaios realizados com $T_p=14$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), referentes ao enrocamento com 60-90 kN. No Anexo 1 são apresentados os os gráficos com o número de quedas por levantamento (Figura A.1.7) e o número de quedas acumuladas (Figura A.1.8), para o enrocamento 60-90 kN da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=14$ s.

Tabela 5.5 – Resumo de resultados relativos à estabilidade da banquetta do pé do talude com $T_p=14$ s, através do método de contagem visual

Enroca. 60-90 kN	Hs	5.5	6.5	7.0	8.0	8.5	9.0
	Nw	1000	2000	3000	4000	5000	6000
Tp=14 s PM	Q	17	4	4	8	17	17
	QA	17	21	25	33	50	67
	%QA	9.71	12.00	14.29	18.86	28.57	38.29
Tp=14 s BM	Q	8	5	11	28	29	-
	QA	8	13	24	52	81	-
	%QA	4.57	7.43	13.71	29.71	46.29	-

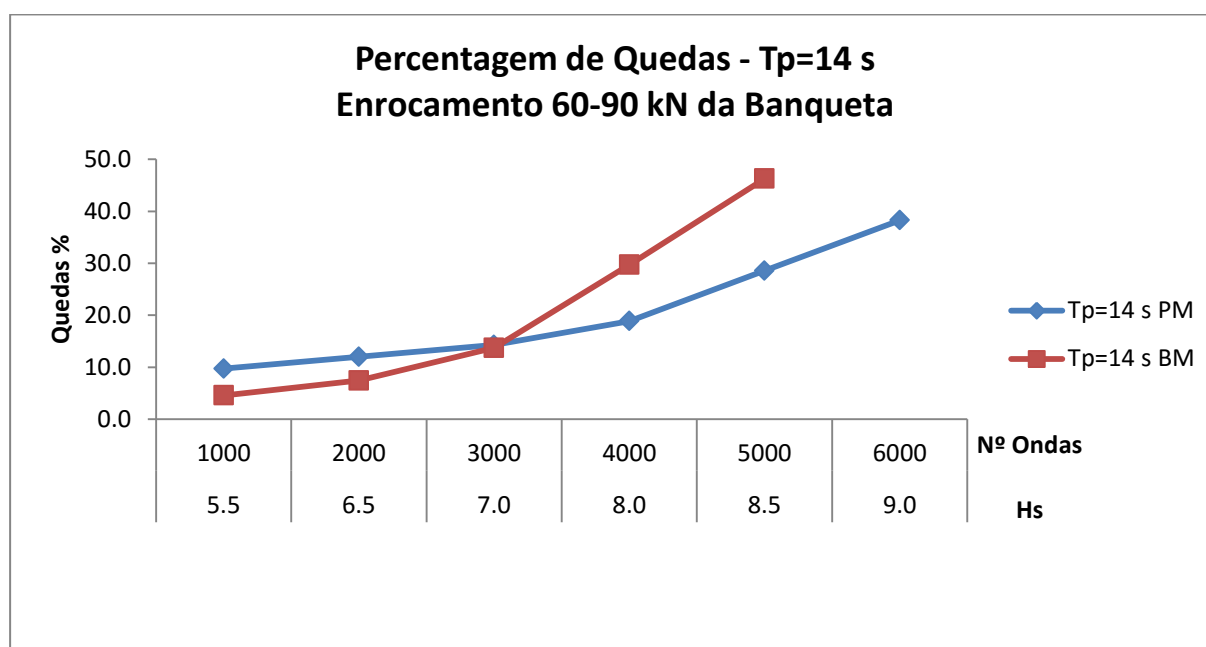


Figura 5.6 – Percentagem de quedas do enrocamento para o $T_p=14$ s obtido através de contagem visual

No que diz respeito à percentagem de quedas do enrocamento da banquetta do pé de talude (Figura 5.6), verificou-se uma tendência contrária à percentagem de quedas de tetrápodos do manto resistente, sendo esta superior para o nível da Baixa-mar (BM). A justificação baseia-se no facto de a banquetta se encontrar mais sujeita às condições de agitação e rebentação quando o nível é mais baixo

5.1.2.3 - $T_p=18$ s

Na Tabela 5.6 e na Figura 5.7 são apresentados os resultados para os ensaios realizados com $T_p=18$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), referentes ao enrocamento com 60-90 kN do

qual é composto a banquetta do pé de talude. No Anexo 1 são apresentados os gráficos com o número de quedas por ensaio (Figura A.1.9) e o número de quedas acumuladas (Figura A.1.10), para o enrocamento 60-90 kN da banquetta do pé de talude para os ensaios do $T_p=18$ s.

Tabela 5.6 – Resumo de resultados relativos à estabilidade da banquetta do pé do talude com $T_p=18$ s através do método de contagem visual

Enroca. 60-90 kN	Hs	5.5	6.5
	Nw	1000	2000
Tp=18 s PM	Q	15	18
	QA	15	33
	%QA	8.57	18.86
Tp=18 s BM	Q	25	13
	QA	25	38
	%QA	14.29	21.71

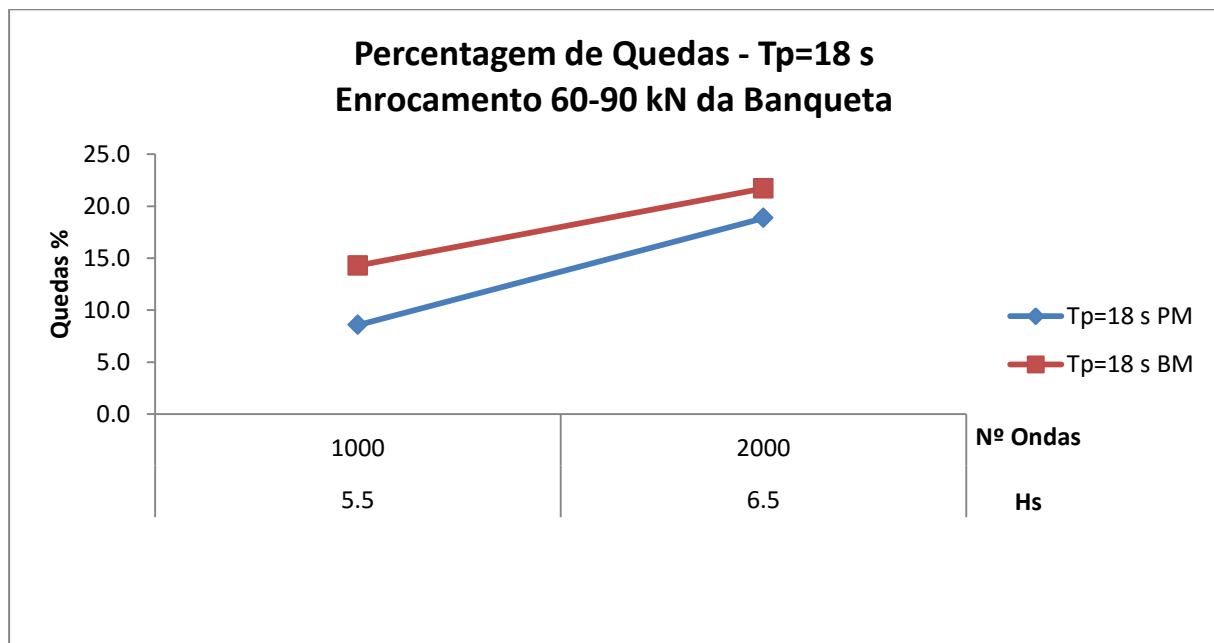


Figura 5.7 – Percentagem de quedas do enrocamento da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=18$ s obtido por contagem visual

A percentagem de quedas do enrocamento da banquetta do pé de talude (Figura 5.7) para os ensaios realizados com $T_p=18$ s verificou a mesma tendência apresentada nos restantes

períodos, sendo superior para o nível de maré da Baixa-mar (BM), pois é quando o nível de maré é mais baixo que a banquetta se encontra mais exposta a agitação incidente.

5.1.3 - Resumo dos Resultados Obtidos com o Método da Contagem Visual

Através da análise dos gráficos apresentados nos pontos anteriores e que ilustram a percentagem de quedas de tetrápodos do manto resistente, verifica-se a tendência para a ocorrência de maiores percentagens de quedas de blocos do manto resistente com o nível de maré da Preia-mar. É de salientar que se verificou uma maior percentagem de quedas para o $T_p=10$ s quando comparados com os outros períodos de pico, para uma altura de onda significativa homologa, devido à zona de rebentação tender a afastar-se do manto com o aumento do período de pico. Contrariamente, no que diz respeito à banquetta do pé de talude, a tendência para maiores percentagens de quedas verificou-se com o nível de maré de Baixa-mar, verificando-se um aumento da percentagem de quedas com o período de pico. Isto deve-se à zona de rebentação, com a diminuição do período de pico, ocorrer sobre a zona da banquetta.

Quanto aos movimentos no manto resistente para o $T_p=14$ s, verificou-se uma tendência contrária às quedas, sendo os movimentos para o nível de Baixa-mar superiores ao de Preia-mar. Nos restantes períodos o comportamento foi semelhante ao das quedas.

5.2 - Estereofotogrametria

No final de cada ensaio (correspondente a um dado nível de maré e a uma agitação incidente de período de pico e altura de onda significativa) são efetuadas 2 fotografias.

No final de cada série de ensaios (correspondente a um dado nível de maré e a um dado período de onda T_p), todos os pares de fotografias correspondentes aos diversos levantamentos foram objeto da reconstrução fotogramétrica, resultando de cada uma dessas reconstruções, um ficheiro a partir do qual foi possível extrair coordenadas (x,y,z).

Com essas coordenadas foram definidas as superfícies e os perfis necessários à avaliação do dano em cada levantamento com vista à sua comparação, um a um, com o perfil do levantamento de referência (perfil não danificado).

A correspondência entre as alturas significativas (Hs) para cada período de pico ensaiado e o nome dado a cada levantamento correspondente é apresentada na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Correspondência entre os levantamentos (L) e as alturas significativas (Hs)

Hs (m)	Preia-mar (PM)			Baixa-mar (BM)		
	Tp = 10 s	Tp = 14 s	Tp = 18 s	Tp = 10 s	Tp = 14 s	Tp = 18 s
L1	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
L2	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
L3	7.5	7.5	-	7.0	7.5	-
L4	8.0	8.0	-	7.5	8.0	-
L5	-	8.5	-	-	8.5	-
L6	-	9.0	-	-	-	-

Tal como para a técnica de contagem visual, os resultados obtidos nos diferentes ensaios realizados são apresentados para o manto resistente e para a banquetta do pé do talude do perfil em estudo, em função do período da onda (Tp=10 s, 14 s e 18 s).

Apresentam-se as superfícies reconstruídas, os perfis com as área de erosão e acreção e os perfis de área erodida, bem como os o dano e a área erodida.

5.2.1 - Manto Resistente

5.2.1.1 - Tp=10 s

As reconstruções iniciais e finais para os ensaios realizados com Tp=10 s e para os níveis de maré da Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM) são apresentadas na Figura 5.8 e na Figura 5.9, respectivamente, sendo o levantamento inicial (L0) correspondente à estrutura sem danos e o levantamento final (L4) correspondente à Hs=7.5 m para o nível da Baixa-mar (BM) e Hs=8.0 m para o nível da Preia-mar (PM).

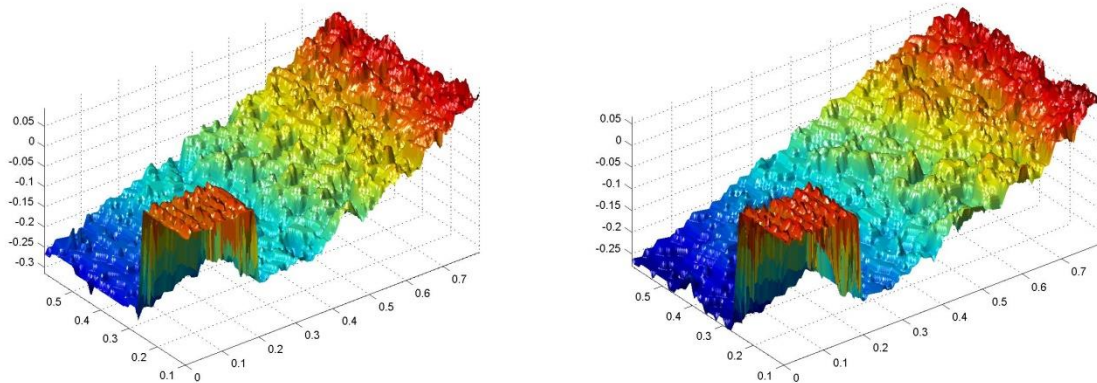


Figura 5.8 – Superfícies reconstruídas para $T_p=10$ s PM, levantamento inicial (L0) e final (L4)

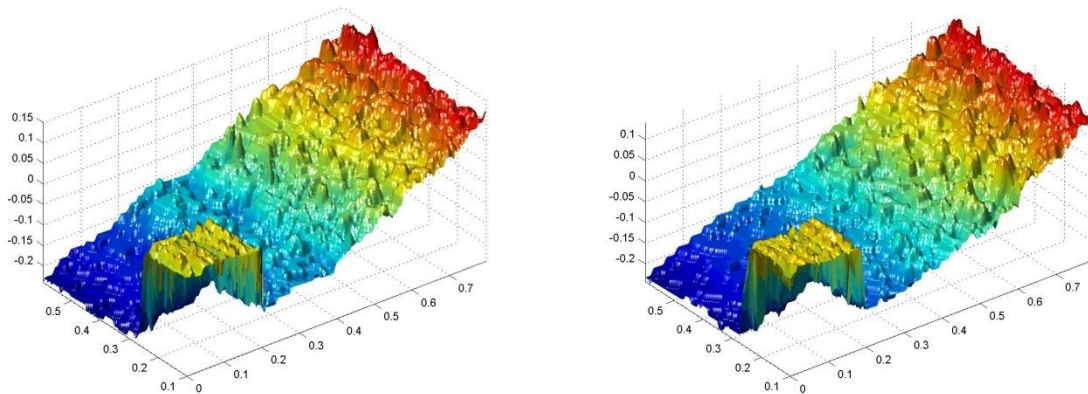


Figura 5.9 – Superfícies reconstruídas para $T_p=10$ s BM, levantamento inicial (L0) e final (L4)

No Anexo 3 são ilustradas as superfícies de reconstrução correspondentes aos levantamentos intermédios (L1, L2 e L3) para o $T_p=10$ s Preia-mar (PM) (Figura A.3.1) e $T_p=10$ s Baixa-mar (BM) (Figura A.3.2).

Na Figura 5.10 é apresentado o perfil P4 (Figura 4.21) (perfil central) do ensaio realizado com $T_p=10$ s e o nível de maré da Preia-mar (PM). Para cada perfil é possível verificar as alterações da superfície entre o levantamento inicial, sendo possível contabilizar as respetivas áreas de erosão e acreção.

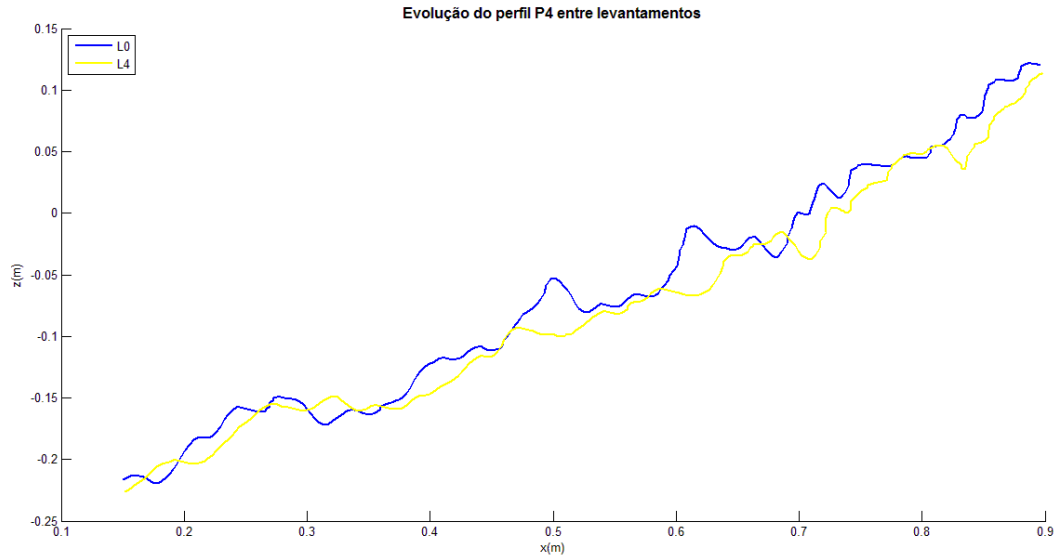


Figura 5.10 – Perfil P4 da superfície do levantamento inicial (L0) e final (L4), para $T_p=10$ s PM

No Anexo 4 são ilustrados todos os perfis da superfície dos levantamentos para os ensaios realizados com $T_p=10$ s e os níveis de maré da Preia-mar (Figura A.4.1 à Figura A.4.7) e Baixa-mar (Figura A.4.15 à Figura A.4.21).

Sendo contabilizado para o cálculo do dano (S) apenas a área erodida da zona ativa do manto, são apresentados na Figura 5.11, os perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto do perfil P4 para o $T_p=10$ s Preia-mar (PM).

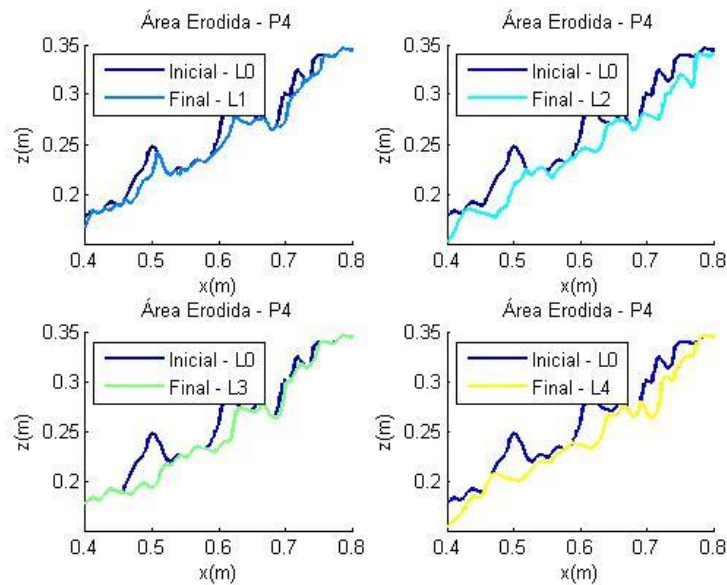


Figura 5.11 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente a P4, $T_p=10$ s PM

No Anexo 4 são ilustrados todos os perfis da área erodida da zona ativa do manto resistente, para os ensaios realizados com $T_p=10$ s e os níveis de maré da Preia-mar (Figura A.4.8 à Figura A.4.14) e Baixa-mar (Figura A.4.22 à Figura A.4.28)

O resumo do dano (S) e da área erodida (A_e) da zona ativa do manto para os ensaios realizados com $T_p=10$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), é apresentado na Tabela 5.8. Em cada levantamento efetuado, é calculada a área erodida para cada um dos 7 perfis extraídos através do algoritmo CompararPerfisVariosLev, em MATLAB. A área erodida em cada levantamento é representada pela média da área erodida dos perfis extraídos, considerados representativos do dano observado. Não são apresentados resultados para o ensaio realizado com $T_p=10$ s com $H_s=7.0$ m, 3000 ondas, pois houve uma falha na aquisição das fotografias.

Tabela 5.8 – Resumo do Dano (S) e Área Erodida (A_e), da zona ativa do manto resistente, sem considerar acreção, para $T_p=10$ s

Manto	Hs	5.5	6.5	7.0(BM)-7.5(PM)	7.5(BM)-8.0(PM)
	Nw	1000	2000	3000	4000
Tp=10 s PM	\bar{A}_e	27.86	68.23		62.49
	\bar{S}	1.44	3.52		3.23
Tp=10 s BM	\bar{A}_e	28.73	27.98	25.94	30.98
	\bar{S}	1.48	1.45	1.34	1.60

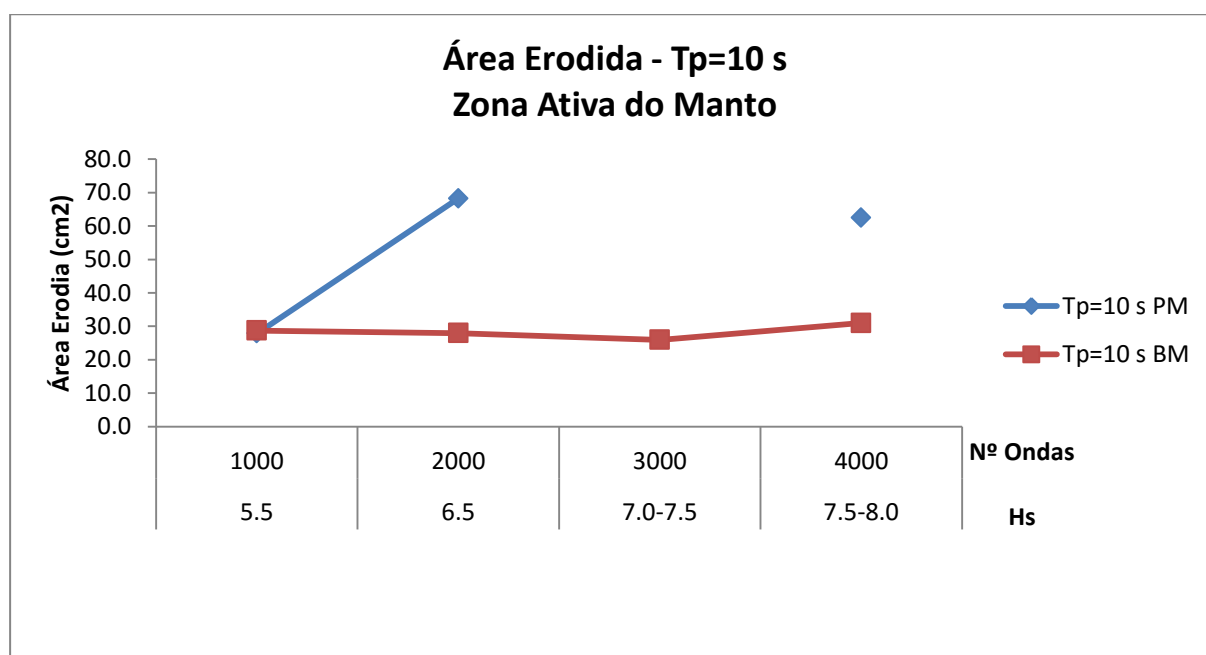


Figura 5.12 – Área erodida (A_e) da zona ativa do manto resistente para $T_p=10$ s

Na Figura 5.12 é representada a área erodida da zona ativa do manto resistente para os ensaios $T_p=10$ s. Pode-se verificar um aumento da área erodida para o nível de maré da Preia-mar, como espectável, pois é quando a dissipação de energia da agitação ocorre mais próximo da obra, estando então o manto resistente mais sujeito à ação da rebentação. Para o nível de maré da Baixa-mar existe pouca variação da área erodida. Tal poderá ser justificado pelo facto da rebentação das ondas de maior altura ocorrer antes de atingir o quebra-mar, devido à diminuição da profundidade. A diferença é ainda justificada pelo facto de, para os dois últimos levantamentos, se estarem a comparar alturas de onda significativas (H_s) 0.5 m mais baixas para o nível de Baixa-mar.

No Anexo 5 é ilustrado o gráfico do dano da zona ativa do manto resistente para os ensaios realizados com $T_p=10$ s (Figura A.5.1), que apresenta o mesmo andamento da área erodida, pois é a representação adimensional da mesma.

5.2.1.2 - $T_p=14$ s

As superfícies reconstruídas, iniciais e finais dos ensaios realizados com $T_p=14$ s nas situações de Preia-mar (PM) e de Baixa-mar (BM) são apresentadas na Figura 5.13 e na Figura 5.14, respectivamente, sendo o levantamento inicial (L0) correspondente à estrutura sem danos e o levantamento final (L6) correspondente a $H_s=8.5$ m para o nível da Baixa-mar (BM) e $H_s=9.0$ m para o nível da Preia-mar (PM).

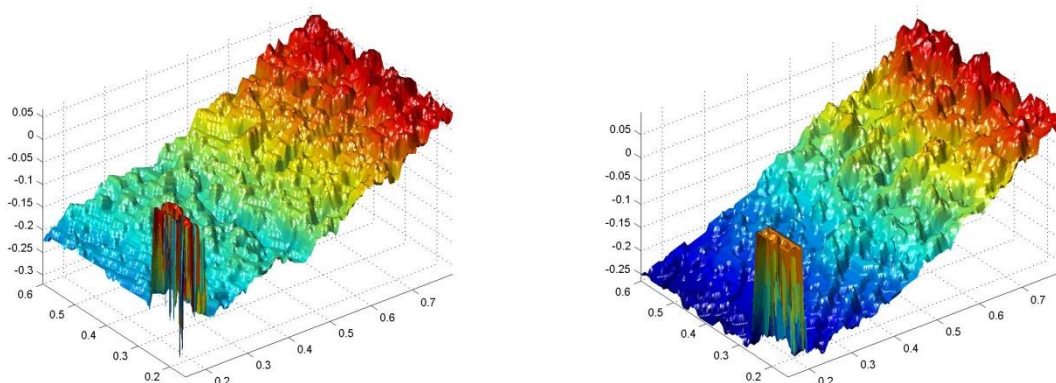


Figura 5.13 – Superfícies reconstruídas para $T_p=14$ s PM, levantamento inicial (L0) e final (L6)

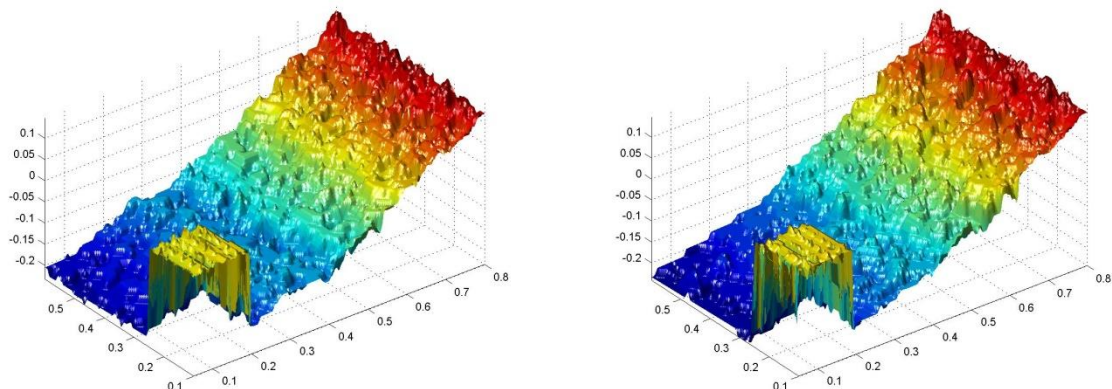


Figura 5.14 – Superfícies reconstruídas para $T_p=14$ s BM, levantamento inicial (L0) e final (L5)

No Anexo 3 são ilustrados as superfícies de reconstrução correspondentes aos levantamentos intermédios (L1, L2, L3, L4 e L5) para o $T_p=14$ s Preia-mar (PM) (Figura A.3.3) e $T_p=14$ s Baixa-mar (BM) (Figura A.3.4).

Na Figura 5.15 é apresentado o perfil P4 do ensaio realizado com $T_p=14$ s Preia-mar (PM). Para cada perfil é possível verificar as alterações da superfície entre o levantamento inicial e final respetivas áreas de erosão e acreção.

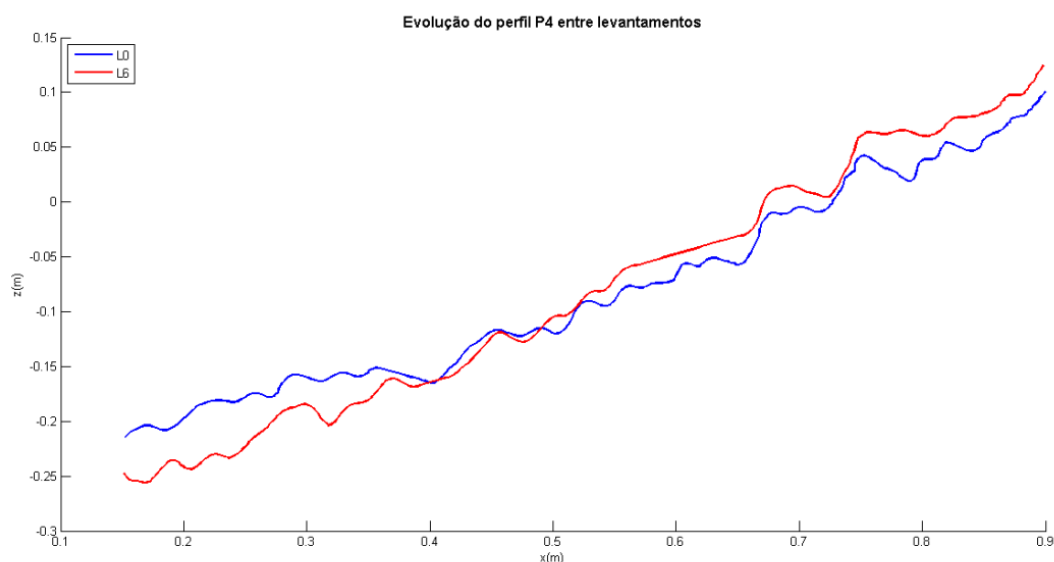


Figura 5.15 – Perfil P4 da superfície do levantamento inicial (L0) e final (L6), para $T_p=14$ s PM

No Anexo 4 são ilustrados todos os perfis da superfície dos levantamentos para os ensaios realizados com $T_p=14$ s e os níveis de maré da Preia-mar (Figura A.4.29 à Figura A.4.35) e Baixa-mar (Figura A.4.43 à Figura A.4.49).

Na Figura 5.16 são apresentados os perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto do perfil P4 para o $T_p=14$ s Preia-mar (PM).

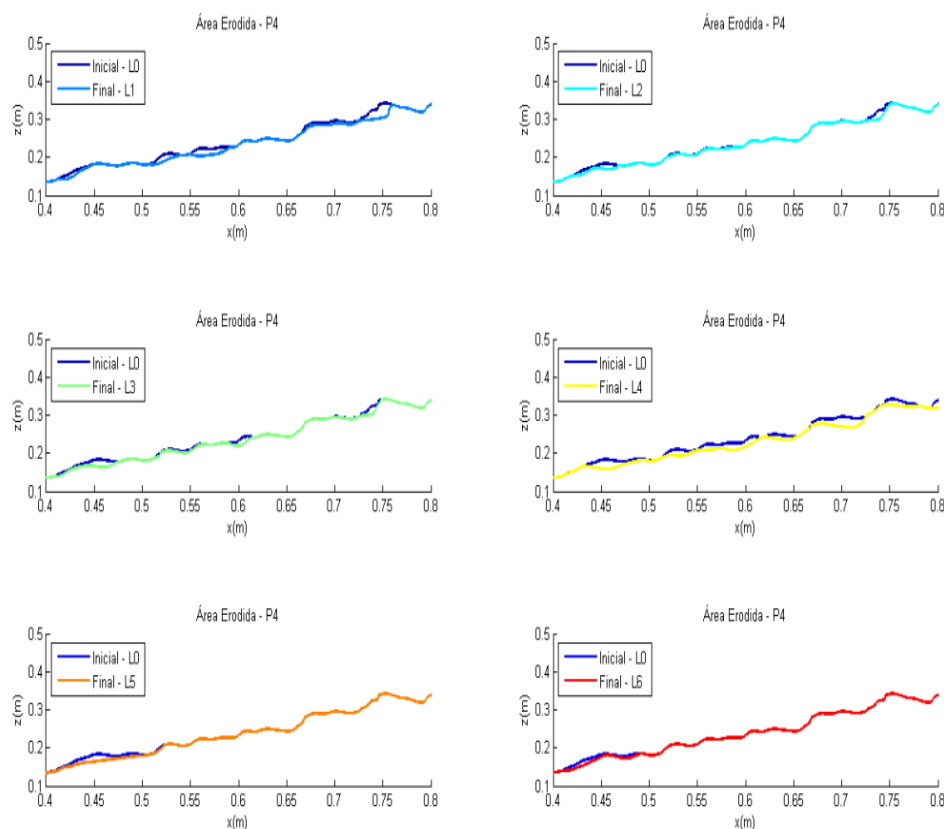


Figura 5.16 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente a P4, $T_p=14$ s PM

No Anexo 4 são ilustrados todos os perfis da área erodida da zona ativa do manto resistente, para os ensaios realizados com $T_p=14$ s e os níveis de maré da Preia-mar (Figura A.4.36 à Figura A.4.42) e Baixa-mar (Figura A.4.50 à Figura A.4.56)

O resumo dos valores do dano (S) e da área erodida da zona ativa do manto resistente para os ensaios realizados com $T_p=14$ s e o nível de maré da Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), é apresentado na Tabela 5.9.

O cálculo da área erodida e do dano (S), para cada levantamento, é feito a partir da média dos 7 perfis extraídos. Os ensaios realizados com $T_p=14$ s e nível de maré de Preia-mar (PM), como já referido anteriormente, foram realizados em dois dias consecutivos devido à sua duração.

Tabela 5.9 – Resumo do Dano (S) e Área erodida (Ae) da zona ativa do manto para Tp=14 s

Manto	Hs	5.5	6.5	7.5	8.0	8.50	9.00
	Nw	1000	2000	3000	4000	5000	6000
Tp=14 s PM	\bar{Ae}	17.40	9.11	13.92	43.44	9.02	12.13
	\bar{S}	0.90	0.47	0.72	2.24	0.47	0.63
Tp=14 s BM	\bar{Ae}	7.97	5.29	3.61	11.01	7.34	
	\bar{S}	0.41	0.27	0.19	0.57	0.38	

Na Figura 5.17 é representada a área erodida da zona ativa do manto resistente, para os ensaios realizados com Tp=14 s. No anexo 5 é apresentado o gráfico do dano ocorrido da zona ativa do manto resistente para os ensaios realizados com Tp=14 s (Figura A.5.2).

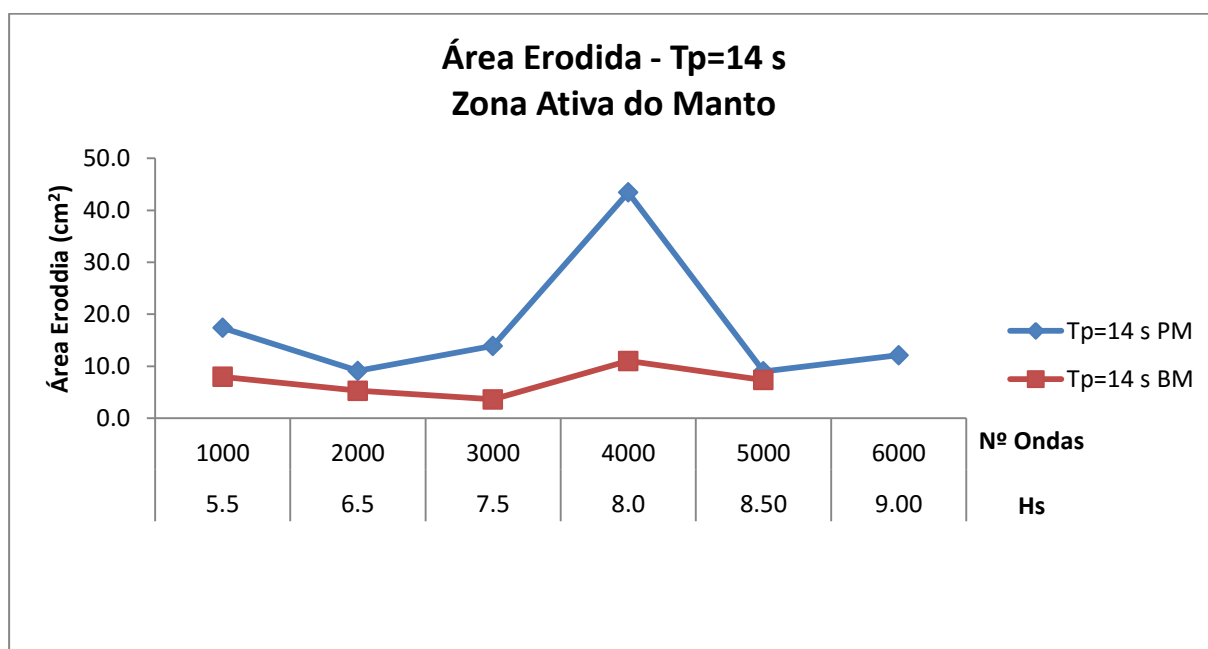


Figura 5.17 – Área erodida (Ae) da zona ativa do manto resistente para Tp=14 s

Verifica-se que ocorreu um aumento da área erodida para os ensaios correspondentes ao nível de maré de Preia-mar (PM) até ao levantamento referente à Hs=8.0 m com 4000 ondas incidentes, o que é expetável pois a área erodida é cumulativa ao longo dos levantamentos e sendo os tetrápodos elementos de grandes dimensões não é comum verificarem-se movimentos ascendentes dos mesmos que possam vir a diminuir a área erodida.

Para os dois últimos levantamentos verifica-se um decréscimo da área erodida, que pode dever-se às diferenças resultantes dos ensaios se terem realizado em dias diferentes. Estas diferenças podem dever-se a alterações nas condições de captação das imagens quer devidas a

variações de luminosidade quer na quantidade de poeiras em suspensão na água, resultando em diferenças na refração da água e incorreções na reconstrução da superfície.

Também se pode verificar que a área erodida é superior para os ensaios realizados com o nível de maré da Preia-mar (PM). Isto deve-se ao facto de o manto resistente estar sujeito a mais rebentação quando o nível de maré é superior.

Para o nível de maré da Baixa-mar (BM) existe pouca variação da área erodida, o que é resultado de haver menor rebentação no manto resistente, quando comparado com a Preia-mar.

5.2.1.3 - $T_p=18$ s

As superfícies reconstruídas iniciais e finais dos ensaios realizados com $T_p=18$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM) são apresentadas na Figura 5.18 e na Figura 5.19, respetivamente.

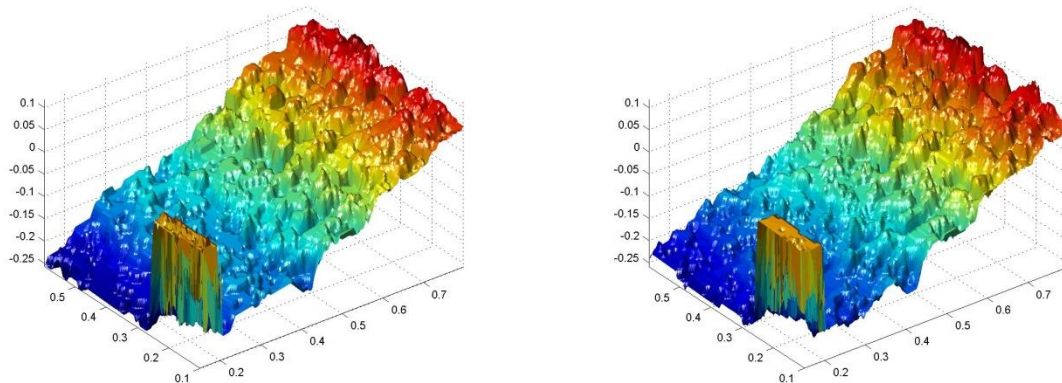


Figura 5.18 – Superfície reconstruída para $T_p=18$ s PM, levantamento inicial e final

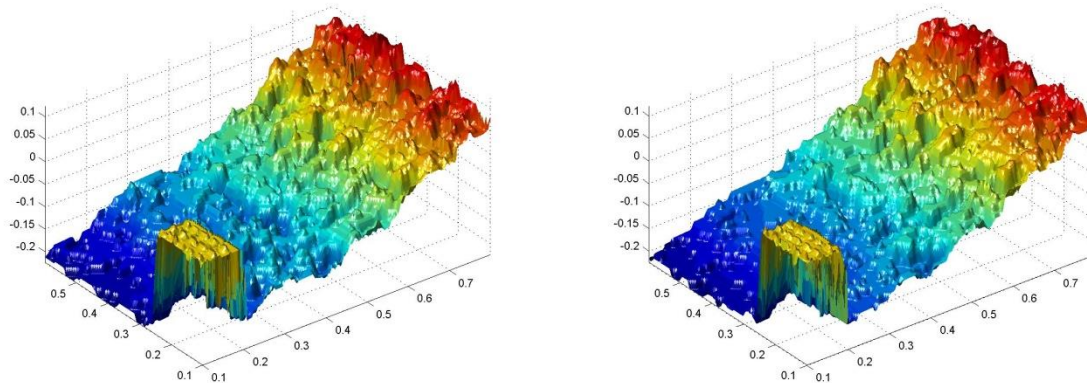


Figura 5.19 – Superfície reconstruída para $T_p=18$ s BM, levantamento inicial e final

No Anexo 3 é ilustrada a superfície reconstruída do levantamento correspondente ao levantamento intermédio (L1) para os ensaios realizados com $T_p=18$ s e nível de maré da Preia-mar (Figura A.3.5) e $T_p=18$ s Baixa-mar (Figura A.3.6).

Na Figura 5.20 é apresentado o perfil P4 do ensaio realizado com $T_p=18$ s Preia-mar (PM). Para cada perfil é possível verificar as alterações da superfície entre o levantamento inicial e final e as respetivas áreas de erosão e acreção.

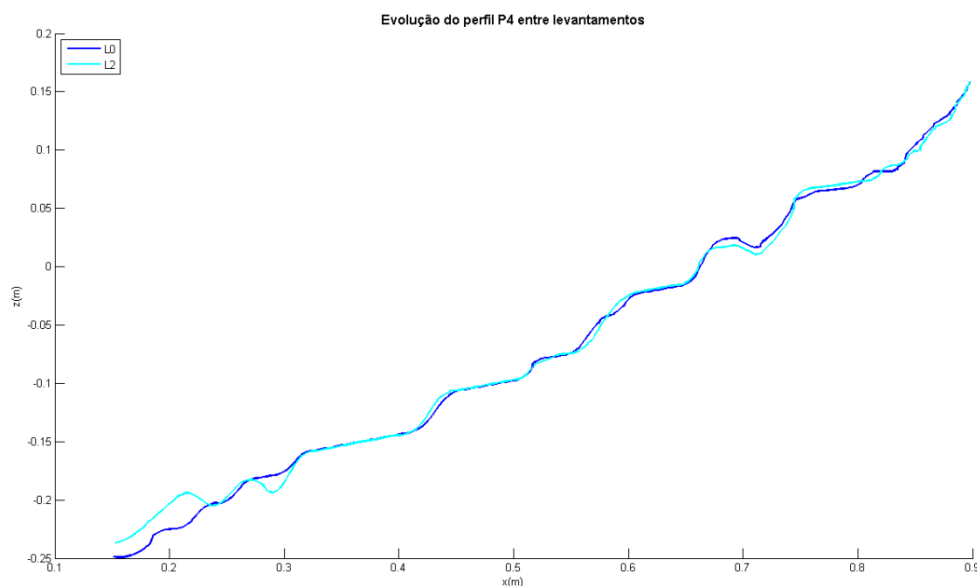


Figura 5.20 – Perfil P4 da superfície do levantamento inicial (L0) e final (L2), para $T_p=18$ s PM

No Anexo 4 são ilustrados todos os perfis da superfície dos levantamentos para os ensaios realizados com $T_p=18$ s e os níveis de maré da Preia-mar (Figura A.4.57 à Figura A.4.63) e Baixa-mar (Figura A.4.71 à Figura A.4.77).

Na Figura 5.21 é apresentada a área erodida da zona ativa do manto do perfil P4 para o ensaio realizado com $T_p=18$ s Preia-mar (PM).

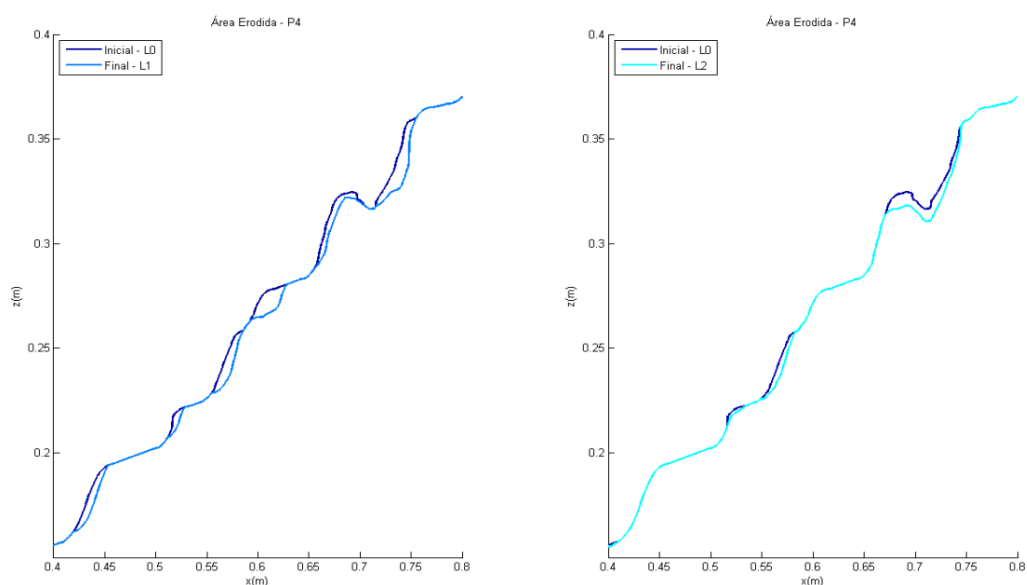


Figura 5.21 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao P4, $T_p=18$ s PM

No Anexo 4 são ilustrados todos os perfis da área erodida da zona ativa do manto resistente, para os ensaios realizados com $T_p=18$ s e os níveis de maré da Preia-mar (Figura A.4.64 à Figura A.4.70) e Baixa-mar (Figura A.4.78 à Figura A.4.84).

O resumo dos dados referentes ao dano e à área erodida da zona ativa do manto resistente para os ensaios realizados com $T_p=18$ s e nível de maré da Preia-mar e Baixa-mar, é apresentado na Tabela 5.10. Para o cálculo da área erodida e do dano é tida em conta a média dos 7 perfis gerados, para cada levantamento.

Tabela 5.10 – Resumo Dano (S) e Área erodida (Ae cm²) da zona ativa do manto resistente para Tp=18 s

Manto	Hs	5.5	6.5
	Nw	1000	2000
Tp=18 s PM	\bar{Ae}	11.43	7.01
	\bar{S}	0.59	0.36
Tp=18 s BM	\bar{Ae}	9.23	4.52
	\bar{S}	0.48	0.23

Na Figura 5.22 é representada a área erodida da zona ativa do manto resistente para os ensaios realizados com Tp=18 s. No anexo 5 é ilustrado também o gráfico do dano da zona ativa do manto resistente para os ensaios realizados com Tp=18 s (Figura A.5.2), mas em forma adimensional. Pode verificar-se um decréscimo da área erodida embora estes valores não sejam representativos pois foram só realizados dois levantamentos.

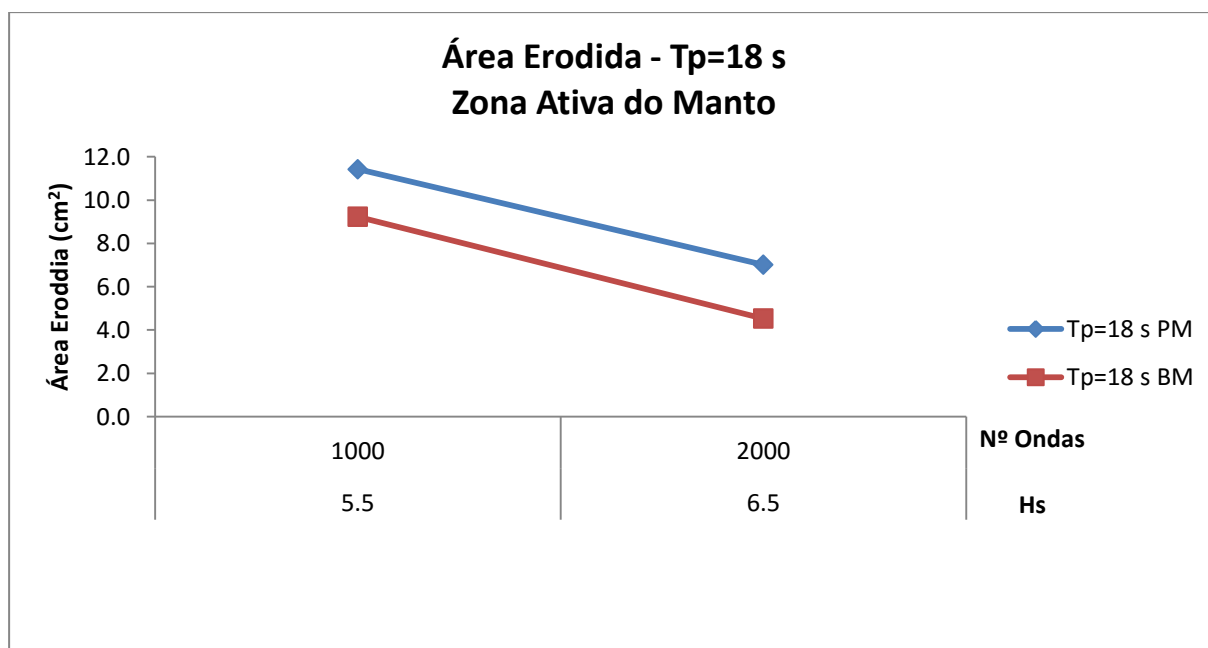


Figura 5.22 – Área erodida (Ae) da zona ativa do manto resistente para Tp=18 s

5.2.2 - Banqueta do Pé de Talude

5.2.2.1 - $T_p=10$ s

No Anexo 4 são ilustrados todos os perfis da área erodida da banqueteta do pé de talude, para os ensaios realizados com $T_p=10$ s e os níveis de maré da Preia-mar (Figura A.4.85 à Figura A.4.91) e Baixa-mar (Figura A.4.92 à Figura A.4.98)

Na Tabela 5.11 é apresentado o resumo da área erodida da banqueteta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=10$ s nas situações de Preia-mar (PM) e de Baixa-mar (BM).

Tabela 5.11 – Resumo da Área erodida (A_e cm²) da banqueteta do pé de talude para $T_p=10$ s

Banqueta	Hs	5.5	6.5	7.0(BM)-7.5(PM)	7.5(BM)-8.0(PM)
	Nw	1000	2000	3000	4000
$T_p=10$ s PM	\bar{A}_e	16.79	25.25	11.71	25.80
$T_p=10$ s BM	\bar{A}_e	16.42	21.03	24.33	26.39

Na Figura 5.23 é ilustrada a área erodida (A_e) da banqueteta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=10$ s, onde se pode verificar uma tendência crescente para ambos os níveis de maré. O decréscimo de área erodida para o levantamento referente ao nível de maré da Preia-mar (PM) e $H_s=7.5$ m pode ser justificado pelo comportamento “auto-regenerativo” da banqueteta, isto é, no local onde num determinado levantamento existia uma considerável área erodida, no levantamento seguinte essa área pode voltar a ser preenchida devido a arrastamento de outros bloco do manto resistente ou reposição do próprio enrocamento.

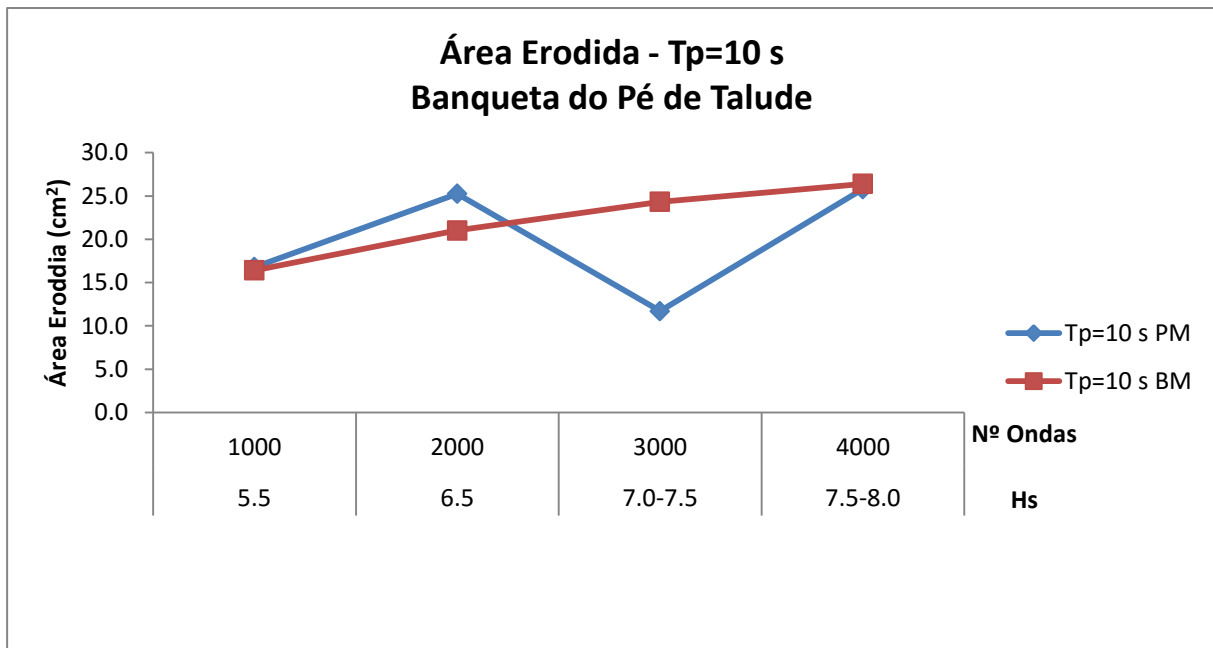


Figura 5.23 – Área Erodida (A_e) da banquetta do pé de talude para $T_p=10$ s

5.2.2.2 - $T_p=14$ s

No Anexo 4 são ilustrados todos os perfis da área erodida da banquetta do pé de talude, para os ensaios realizados com $T_p=14$ s e os níveis de maré da Preia-mar (Figura A.4.99 à Figura A.4.105) e Baixa-mar (Figura A.4.106 à Figura A.4.112)

Na Tabela 5.12 é apresentado o resumo da área erodida da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=14$ s e nível de maré da Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM).

Tabela 5.12 – Resumo Área erodida da banquetta do pé de talude (A_e cm²) para $T_p=14$ s

Banqueta	Hs	5.5	6.5	7.5	8.0	8.50	9.00
	Nw	1000	2000	3000	4000	5000	6000
Tp=14 s PM	\bar{A}_e	12.93	15.46	13.94	15.87	58.05	65.45
Tp=14 s BM	\bar{A}_e	15.78	9.64	12.28	25.13	32.32	

Na Figura 5.24 é ilustrada a área erodida da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=14$ s, onde se pode verificar uma tendência crescente para ambos os níveis de maré. O crescimento acentuado que se verifica no nível de maré da Preia-mar (PM) para o

levantamento referente a $H_s=8.5$ m pode dever-se a diferenças associadas às condições de aquisição das imagens do primeiro e do segundo dia.

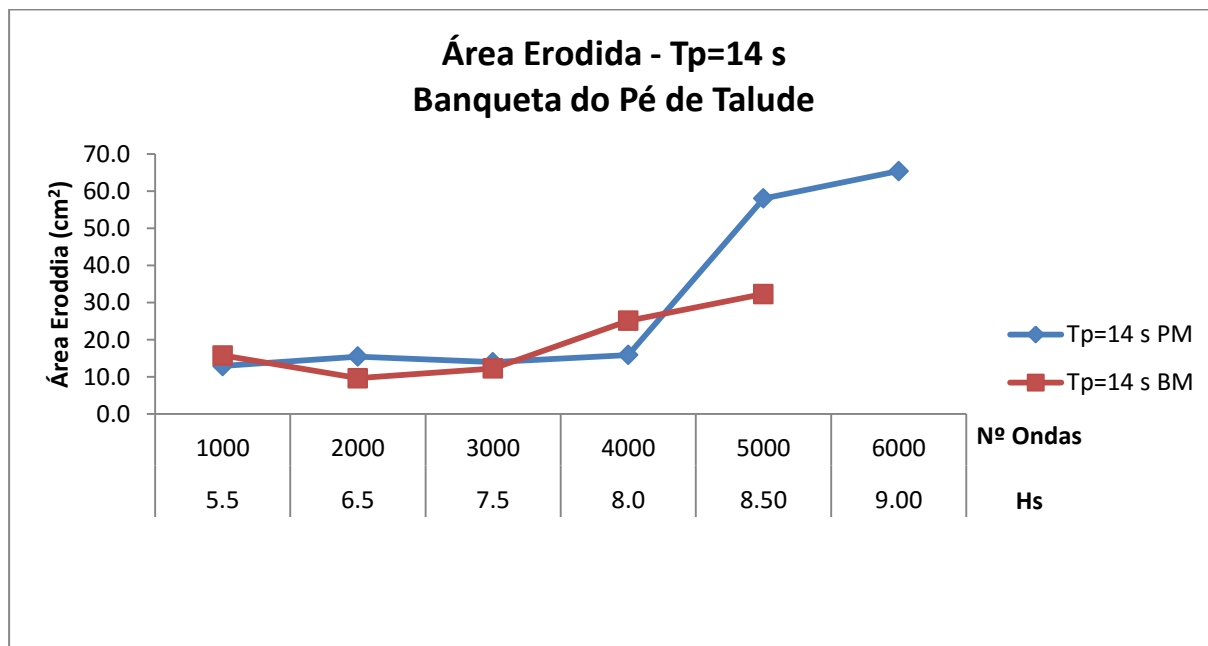


Figura 5.24 – Área erodida da banquetta do pé de talude (A_e) para $T_p=14$ s

5.2.2.3 - $T_p=18$ s

No Anexo 4 são ilustrados todos os perfis da área erodida da banquetta do pé de talude, para os ensaios realizados com $T_p=18$ s e os níveis de maré da Preia-mar (Figura A.4.113 à Figura A.4.119) e Baixa-mar (Figura A.4.120 à Figura A.4.126).

Na Tabela 5.13 é apresentado o resumo da área erodida da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=18$ s e os níveis de maré da Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM).

Tabela 5.13 – Área erodida da banquetta do pé de talude (A_e cm²) para $T_p=18$ s

Banqueta	Hs	5.5	6.5
	Nw	1000	2000
$T_p=18$ s PM	\bar{A}_e	16.58	23.75
$T_p=18$ s BM	\bar{A}_e	21.94	20.96

Na Figura 5.25 é ilustrada a área erodida da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=18$ s, onde se pode verificar um crescimento para o nível de maré da

Preia-mar e um decréscimo para o da Baixa-mar. Pelo mesmo motivo já anteriormente referido, estes valores não se consideram representativos, pois foram só realizados dois levantamentos.

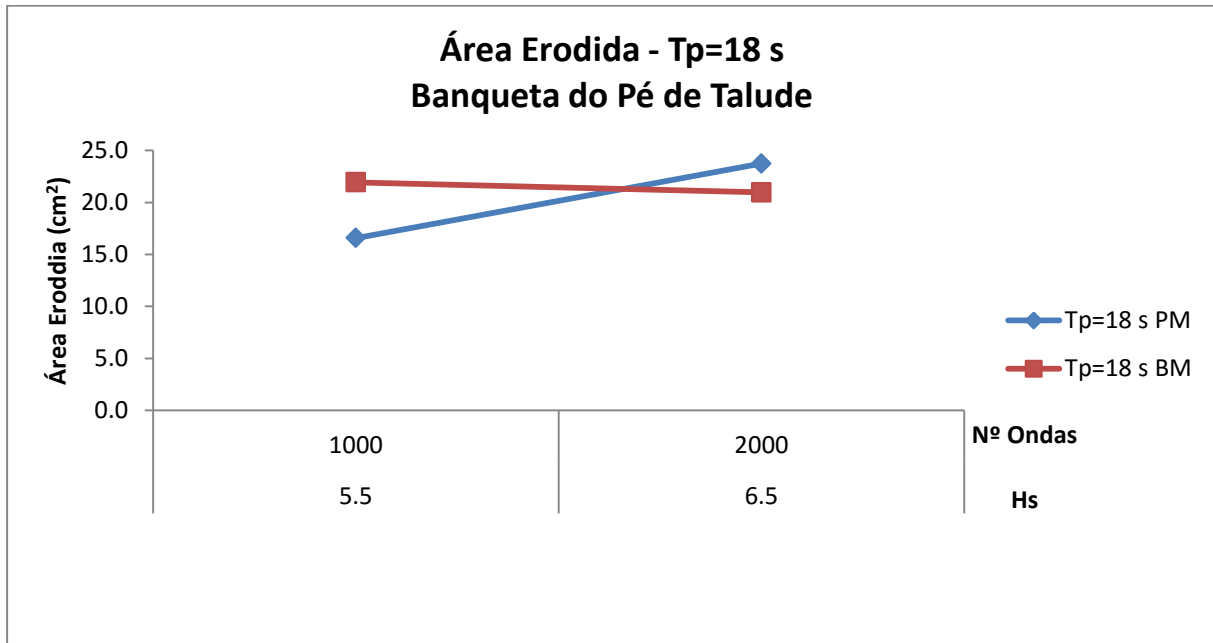


Figura 5.25 – Área erodida da banquetta do pé de talude (A_e) para $T_p=18$ s

5.2.3 - Resumos dos Resultados Obtidos com o Método Estereofotogramétrico

Através da análise dos gráficos apresentados nos pontos anteriores, verifica-se a tendência para o valor da área erodida do manto resistente ser superior nos ensaios realizados com o nível de maré da Preia-mar. Verifica-se também que a área erodida do manto resistente diminui com o aumento do período de pico. Isto deve-se à zona de rebentação tender a afastar-se do manto com o aumento do período de pico, pois à medida que o período de pico aumenta, o comprimento de onda aumenta e, portanto, a rebentação dá-se mais cedo.

No que diz respeito à banquetta do pé do talude, não se verificam grandes diferenças na área erodida entre os ensaios realizados com os diferentes níveis de maré notando-se, contudo, que o fenómeno alternante entre erosão/acreção é mais visível com o nível de maré da Preia-mar. Verifica-se também que há relação direta entre o aumento da área erodida e o aumento do período de pico, devido à zona de rebentação, com a diminuição do período de pico, aproximar-se da zona da banquetta.

5.3 - Comparação de Imagens

No final de cada série de ensaios, todas as fotografias obtidas sem alvo, correspondentes aos diversos levantamentos, foram utilizadas para o cálculo da área modificada através dos algoritmos ImageCompair_Area (Lemos, 2015) e modif (Rodrigues, 2014), desenvolvidos em MATLAB e Scilab respectivamente.

Os resultados obtidos (das fotografias iniciais e finais nos diferentes ensaios realizados bem como as diferenças a preto e branco entre fotografias e os valores da área modificada obtida com cada uma das técnicas) são apresentados para cada uma dos algoritmos, em função do período de pico do espectro de agitação ($T_p=10$ s, 14 s e 18 s).

Na aplicação dos algoritmos modif (Rodrigues, 2014) e ImageCompair_Area (Lemos, 2015), foram utilizadas exatamente as mesmas fotografias em todas as comparações e para obtenção da área modificada.

5.3.1 - Algoritmo em MATLAB “ImageCompair_Area”

5.3.1.1 - $T_p=10$ s

As imagens iniciais e finais e as diferenças a preto e branco para o ensaio realizado com $T_p=10$ s Preia-mar (PM), do manto resistente e da banqueta do pé de talude são ilustrados na Figura 5.26 e na Figura 5.27, respetivamente.

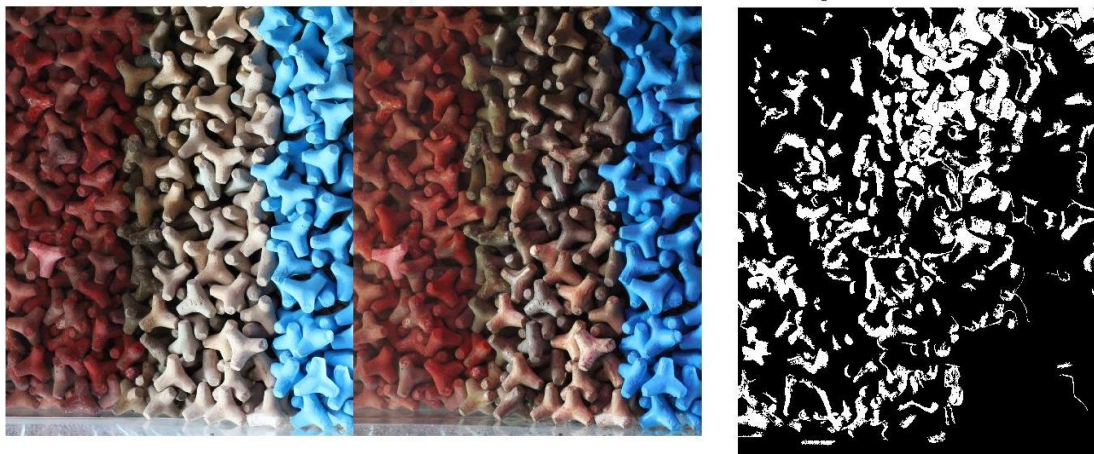


Figura 5.26 – Imagens inicial (L0) (esquerda) e final (L4) (central) do manto resistente e diferenças a preto e branco (direita) para o $T_p=10$ s PM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area



Figura 5.27 – Imagens inicial (L0) (esquerda) e final (L4) (central) da banqueta do pé de talude e diferenças a preto e branco (direita) para o $T_p=10$ s PM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area

No Anexo 6 são apresentadas as imagens do levantamento inicial (L0) e final (L4) e as diferenças a preto para o ensaio realizado com $T_p=10$ s Baixa-mar (BM), utilizando o algoritmo ImageCompair_Area, do manto resistente (Figura A.6.1) e da banqueta do pé de talude (Figura A.6.2).

Na Tabela 5.14 estão resumidos os resultados referentes a área modificada para os ensaios realizados com $T_p=10$ s e os níveis de maré da Preia-mar (PM) e de Baixa-mar (BM), obtidos através do algoritmo ImageCompair_Area em MATLAB. Note-se que a área modificada foi obtida por detecção de diferenças entre imagens da área em estudo.

Tabela 5.14 – Área modificada (Am) para Tp=10 s, calculado através do algoritmo ImageCompair_Area

Am	Hs	Nw	5.5	6.5	7.0(BM)-7.5(PM)	7.5(BM)-8.0(PM)
			1000	2000	3000	4000
Tp=10s PM	Manto	cm ²	606.7	659.7	1092.5	1184.3
		%	11.0	12.0	19.8	21.5
	Banq.	cm ²	639.6	665.7	976.0	749.4
		%	11.1	11.6	17.0	13.0
Tp=10s BM	Manto	cm ²	155.4	182.7	236.1	705.0
		%	2.8	3.3	4.3	12.8
	Banq.	cm ²	399.8	506.2	647.9	801.1
		%	6.9	8.8	11.3	13.9

Na Figura 5.28 ilustra-se a evolução da área modificada (Am) do manto resistente ao longo dos ensaios realizados com Tp=10 s. Pode observar-se neste gráfico um crescimento ao longo de ambos os ensaios, sendo superior para o nível da Preia-mar (PM). Este facto é devido à dissipação de energia por rebentação ocorrer mais próximo da obra provocando mais quedas dos tetrápodos que compõem o manto resistente.

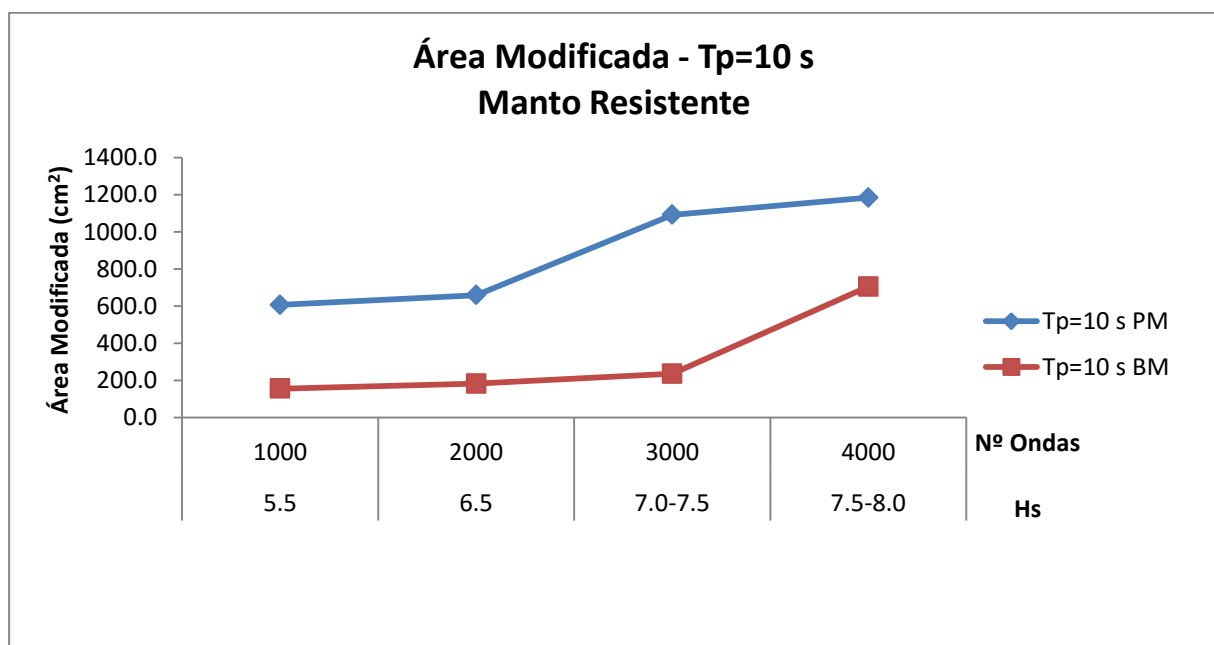


Figura 5.28 – Área modificada do manto resistente para Tp=10 s, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area

A evolução da área modificada da banquetta do pé de talude, para os ensaios realizados com $T_p=10$ s, é ilustrado na Figura 5.29. Contrariamente ao expetável, a área modificada da banquetta é ligeiramente superior com o nível de Preia-mar (PM). Isto poderá ser justificado com as pequenas mudanças nas condições de luz e às diferenças originadas pelas poeira em suspensão na água de um ensaio para outro. Além disso, verificou-se que as alturas significativas (H_s) para os dois últimos levantamentos da Baixa-mar foram menores.

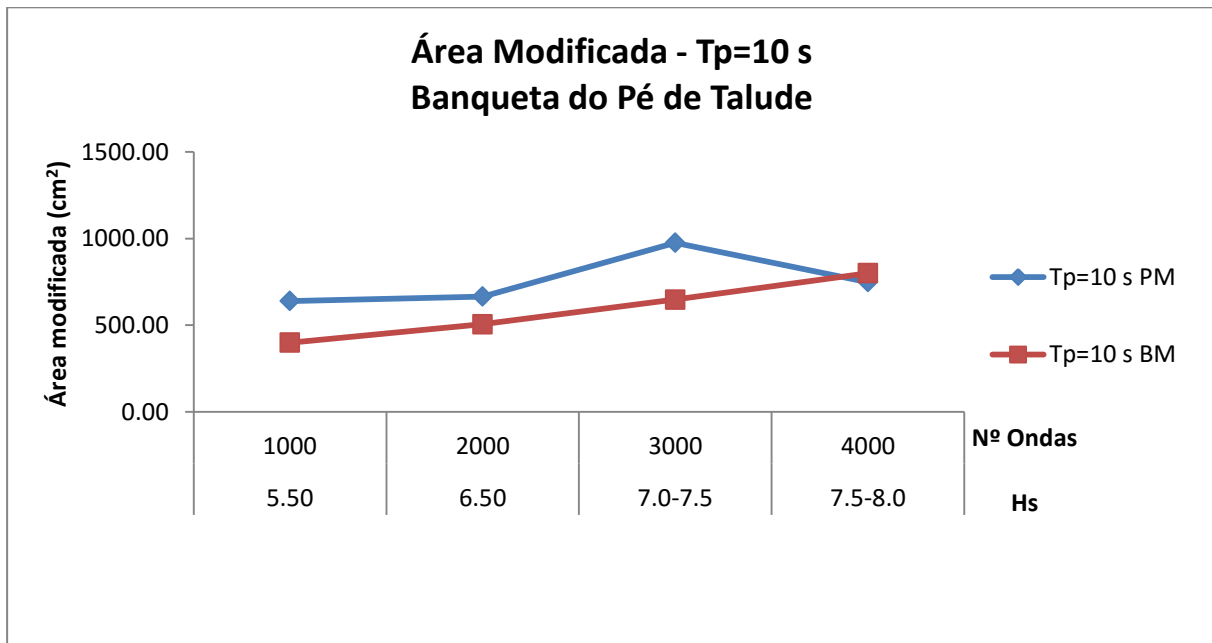


Figura 5.29 – Área Modificada da banquetta do pé de talude para $T_p=10$ s, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area

No Anexo 6 estão ilustrados os gráficos com a área modificada em percentagem do manto (Figura A.6.3) e da banquetta (Figura A.6.4), para os ensaios realizados com $T_p=10$ s.

5.3.1.2 - $T_p=14$ s

Na Figura 5.30 e na Figura 5.31 estão ilustradas as imagens inicial e final e as diferenças a preto e branco, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s Preia-mar (PM), do manto resistente e da banquetta do pé de talude, respetivamente.

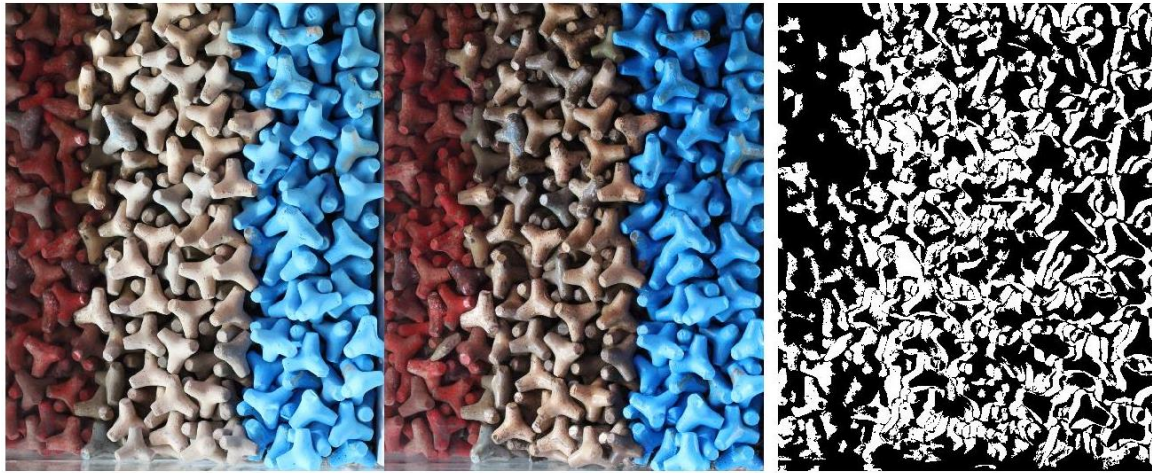


Figura 5.30 – Imagens inicial (L0) (esquerda) e final (L6) (centro) do manto resistente e diferenças a preto e branco (direita) para $T_p=14$ s PM, obtido através do algoritmo ImageCompair_Area



Figura 5.31 – Imagens inicial (L0) (esquerda) e final (L6) (centro) da banqueta do pé de talude e diferenças a preto e branco (direita) para $T_p=14$ s PM, obtido através do algoritmo ImageCompair_Area

No Anexo 6 são apresentadas as imagens inicial (L0) e final (L5) e as diferenças a preto para o ensaio realizado com $T_p=14$ s Baixa-mar (BM), utilizando o algoritmo ImageCompair_Area, do manto resistente (Figura A.6.5) e da banqueta do pé de talude (Figura A.6.6).

Na Tabela 5.15 é apresentado o resumo dos resultados referentes à área modificada (A_m) para os ensaios realizados com $T_p=14$ s e níveis de maré da Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), obtidos através do algoritmo ImageCompair_Area em MATLAB. O ensaio deste período de

pico com o nível de maré da Preia-mar foi realizado em dois dias devido à sua grande duração.

Tabela 5.15 – Área modificada (Am) para Tp=14 s, calculado através do algoritmo ImageCompair_Area

Am	Hs		5.5	6.5	7.5	8.0	8.5	9.0
	Nw		1000	2000	3000	4000	5000	6000
Tp=14s PM	Manto	cm ²	303.6	357.5	433.1	695.0	2266.5	2284.2
		%	5.5	6.5	7.9	12.6	41.2	41.5
	Banq.	cm ²	411.0	474.2	475.0	625.4	844.5	887.5
		%	7.1	8.2	8.3	10.9	14.7	15.4
Tp=14s BM	Manto	cm ²	398.6	631.0	782.7	878.5	959.0	-
		%	7.2	11.5	14.2	16.0	17.4	-
	Banq.	cm ²	284.6	368.5	674.7	940.6	1231.0	-
		%	4.9	6.4	11.7	16.3	21.4	-

O gráfico com a representação da área modificada do manto resistente para os ensaios realizados com Tp=14 s, obtido através do algoritmo ImageCompair_Area é ilustrado na Figura 5.32. Pode verificar-se que existe um crescimento da área modificada, como expetável, ao longo dos ensaios realizados com Tp=14 s. O acréscimo acentuado de área modificada entre o ensaio referente a Hs=8.0 m e a Hs=8.5 m pode dever-se a alterações das condições de captação de imagem, como intensidade de luz e poeiras em suspensão na água entre os dois dias de ensaio.

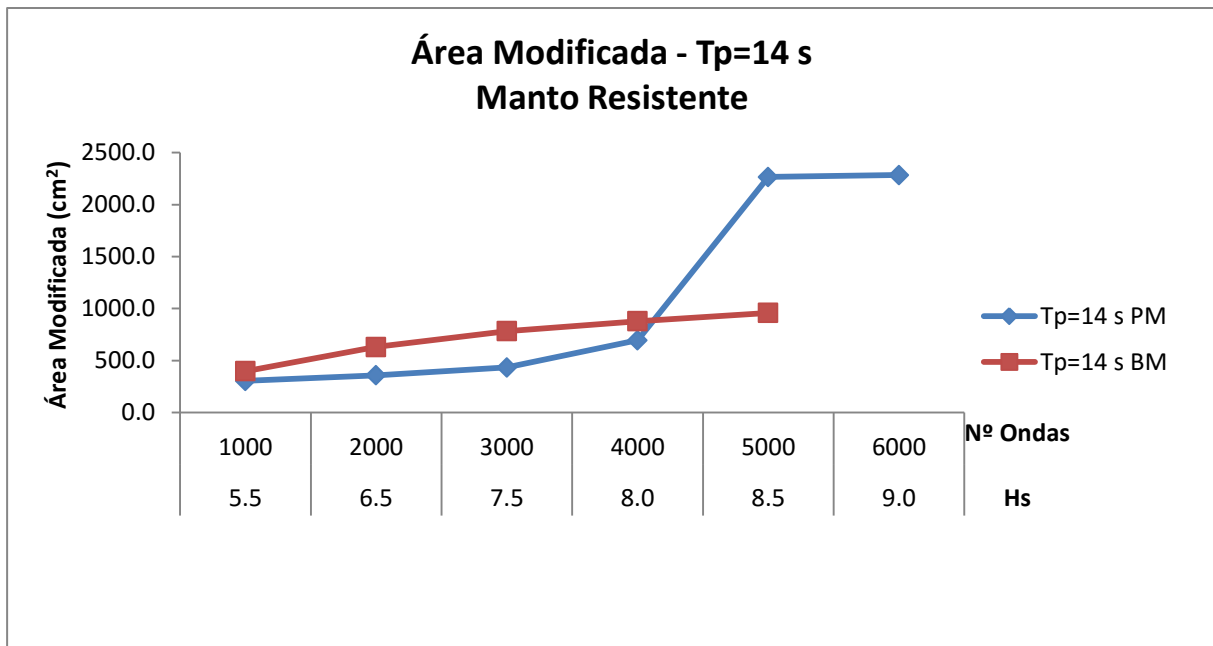


Figura 5.32 – Área modificada do manto resistente para $T_p=14$ s, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area

A Figura 5.33 ilustra a área modificada da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=14$ s. Através da sua análise, verifica-se um crescimento da área modificada ao longo dos ensaios, sendo o valor correspondente ao nível de maré da Baixa-mar superior ao da Preia-mar, como expetável, pois a banquetta encontra-se mais sujeita às condições de agitação e rebentação quando o nível é mais baixo.

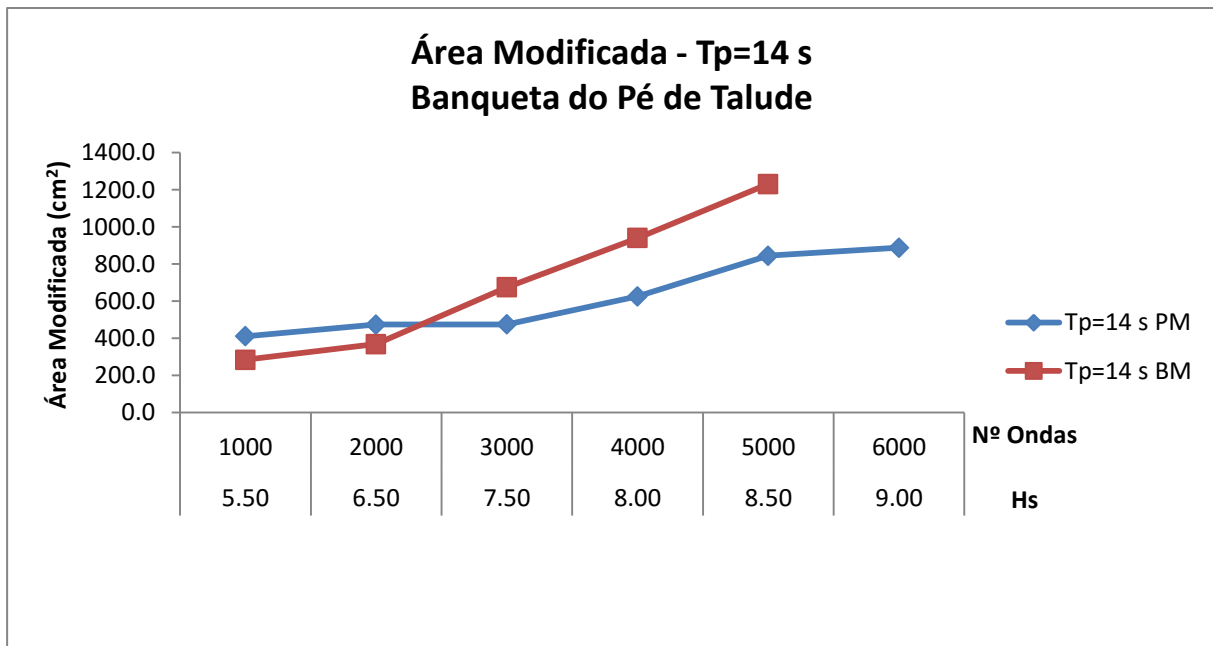


Figura 5.33 – Área modificada da banquetta do pé de talude para $T_p=14$ s, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area

No Anexo 6 estão ilustrados os gráficos com a área modificada em percentagem do manto (Figura A.6.7) e da banquetta (Figura A.6.8) para os ensaios realizados com $T_p=14$ s.

5.3.1.3 - $T_p=18$ s

Na Figura 5.34 e na Figura 5.35 estão ilustradas as imagens inicial e final e as diferenças a preto e branco para o ensaio realizado com $T_p=18$ s Preia-mar (PM), do manto resistente e da banquetta do pé de talude, respetivamente.



Figura 5.34 – Imagens inicial (L0) (esquerda) e final (L2) (centro) do manto resistente e diferenças a preto e branco (direita) para $T_p=18$ s PM, obtido através do algoritmo ImageCompair_Area



Figura 5.35 – Imagens dos levantamentos inicial (L0) (esquerda) e final (L2) (centro) da banquetta do pé de talude e diferenças a preto e branco (direita) para $T_p=18$ s PM, obtido através do algoritmo ImageCompair_Area

No Anexo 6 são apresentadas as imagens inicial (L0) e final (L2) e diferenças a preto para o ensaio realizado com $T_p=18$ s Baixa-mar (BM), utilizando o algoritmo ImageCompair_Area, do manto resistente (Figura A.6.9) e da banquetta do pé de talude (Figura A.6.10).

Na Tabela 5.16 é apresentado o resumo dos resultados referentes à área modificada do manto resistente e da banquetta do pé de talude, para os ensaios realizados com $T_p=18$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), obtidos através do algoritmo ImageCompair_Area em MATLAB.

Tabela 5.16 – Área modificada (Am) para $T_p=18$ s, calculada utilizando o algoritmo ImageCompair_Area

Am	Hs		5.5	6.5
	Nw		1000	2000
Tp=18s PM	Manto	cm ²	175.1	237.4
		%	3.2	4.3
	Banq.	cm ²	434.7	721.5
		%	7.6	12.5
Tp=18s BM	Manto	cm ²	6.2	37.1
		%	0.1	0.7
	Banq.	cm ²	480.9	660.8
		%	8.4	11.5

Na Figura 5.36 ilustra-se a evolução da área modificada do manto resistente ao longo dos ensaios realizados com $T_p=18$ s. Pode observar-se neste gráfico um crescimento ao longo de ambos os ensaios, sendo superior para o nível da Preia-mar. Este facto é devido à dissipação de energia por rebentação ocorrer mais próximo da obra provocando mais quedas dos tetrápodos que compõem o manto resistente.

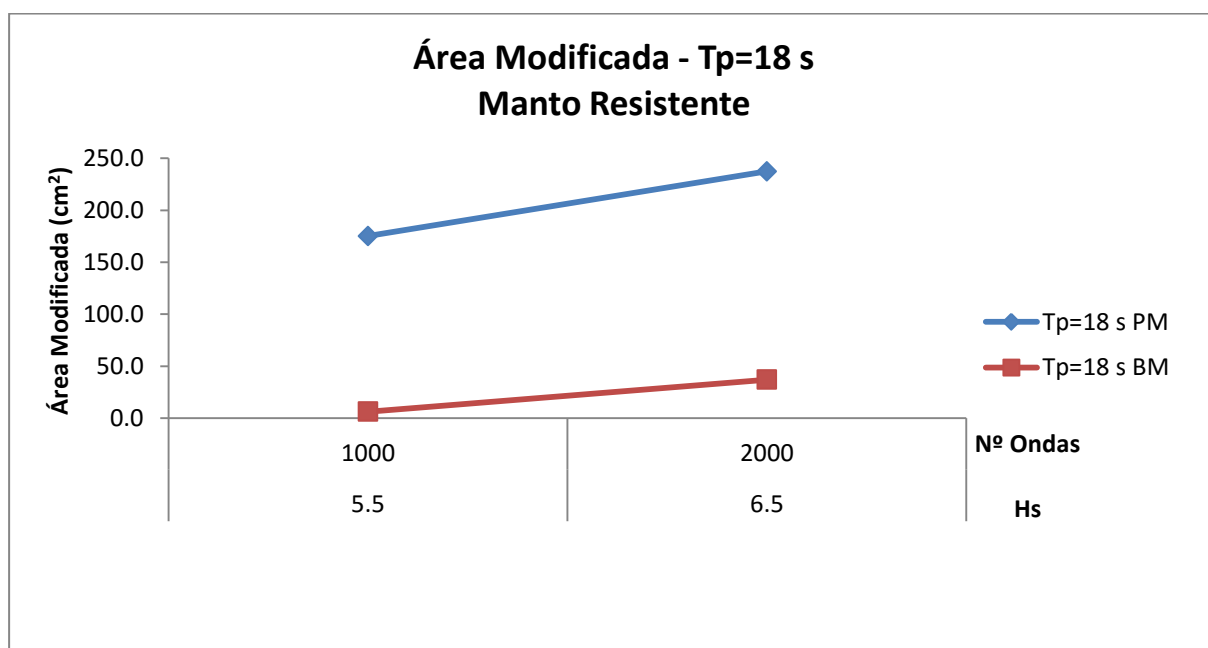


Figura 5.36 – Área modificada do manto resistente para $T_p=18$ s, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area

A evolução da área modificada da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=18$ s, é ilustrada na Figura 5.37. Pode verificar-se um crescimento da área modificada em

ambos os níveis, não sendo possível prever qual será o maior pois apenas com dois levantamentos esses não são significativos.

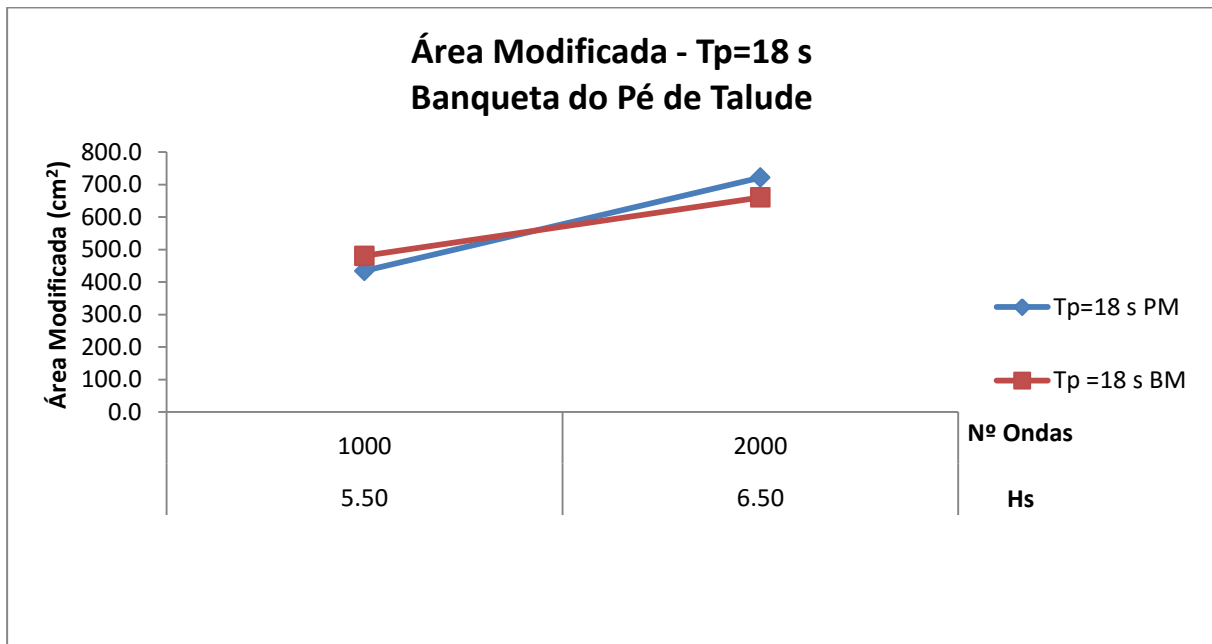


Figura 5.37 – Área modificada da banquetta do pé de talude para Tp=18 s, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area

No Anexo 6 estão ilustrados os gráficos com a área modificada em porcentagem do manto (Figura A.6.11) e da banquetta (Figura A.6.12) para os ensaios realizados com Tp=18 s.

5.3.2 - Algoritmo em em Scilab “Modif”

5.3.2.1 - Tp=10 s

Na Figura 5.38 e na Figura 5.39 são ilustradas as imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e as imagens com as diferenças a preto e branco para o ensaio realizado com Tp=10 s Preia-mar (PM) através de algoritmo modif em Scilab e para o manto resistente e para a banquetta do pé de talude respectivamente.

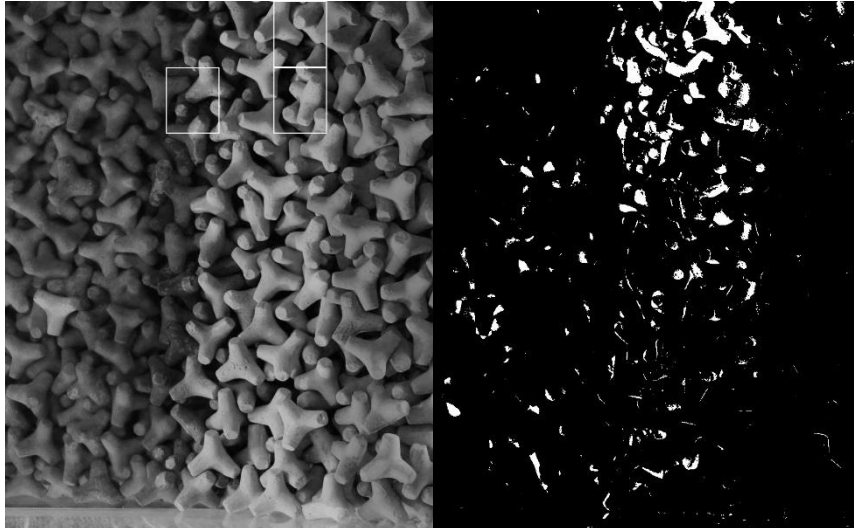


Figura 5.38 – Imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco do manto resistente para $T_p=10$ s PM, através do algoritmo modif

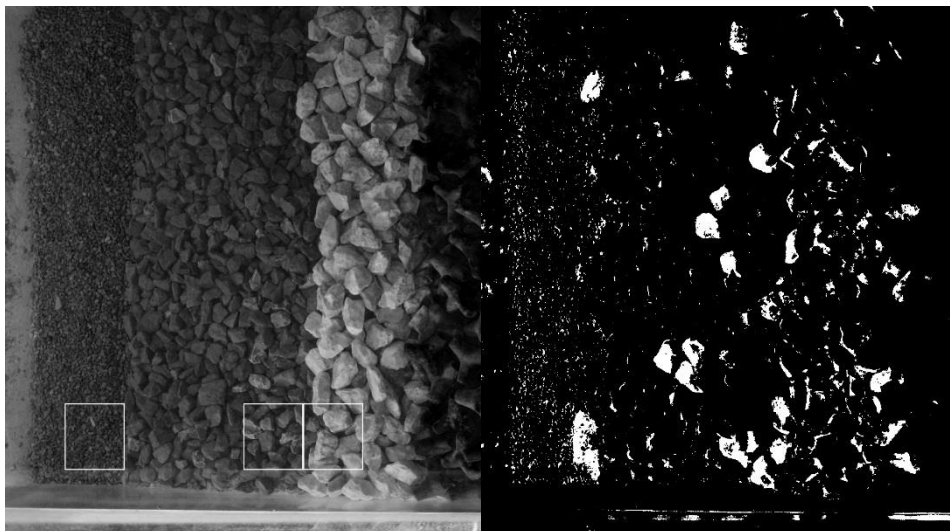


Figura 5.39 – Imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco da banquetta do pé de talude para $T_p=10$ s PM, através do algoritmo modif

No Anexo 7 são ilustradas as imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e as imagens com as diferenças a preto e branco para o ensaio realizado com $T_p=10$ s Baixa-mar, para o manto resistente (Figura A.7.1) da banquetta do pé de talude (Figura A.7.2).

Na Tabela 5.17 estão resumidos os resultados referentes a área modificada (A_m) do manto resistente e banquetta do pé de talude, para os ensaios realizados com $T_p=10$ s Preia-mar e Baixa-mar.

Tabela 5.17 – Área modificada (Am) para Tp 10=s, calculado através do algoritmo modif

Am	Hs Nw		5.5	6.5	7.0(BM)-7.5(PM)	7.5(BM)-8.0(PM)
			1000	2000	3000	4000
Tp=10 s PM	Manto	cm ²	61.4	107.3	154.9	236.1
		%	1.1	1.9	2.8	4.3
	Banq.	cm ²	644.1	538.3	1417.5	351.1
		%	10.51	8.79	23.14	5.73
Tp=10 s BM	Manto	cm ²	30.2	34.0	40.4	46.2
		%	0.5	0.6	0.7	0.8
	Banq.	cm ²	611.1	549.4	798.8	894.7
		%	10.6	9.5	13.9	15.5

Na Figura 5.40 é apresentado o gráfico com a evolução da área modificada do manto para os ensaios realizados com Tp=10 s. Através da sua análise pode verificar-se um aumento da área modificada ao longo dos ensaios, sendo o valor correspondente ao nível de maré da Preia-mar superior, como expetável, pois para este nível de maré a dissipação de energia por rebentação dá-se junto à obra, provocando um maior número de quedas, comparativamente ao nível de maré da Baixa-mar.

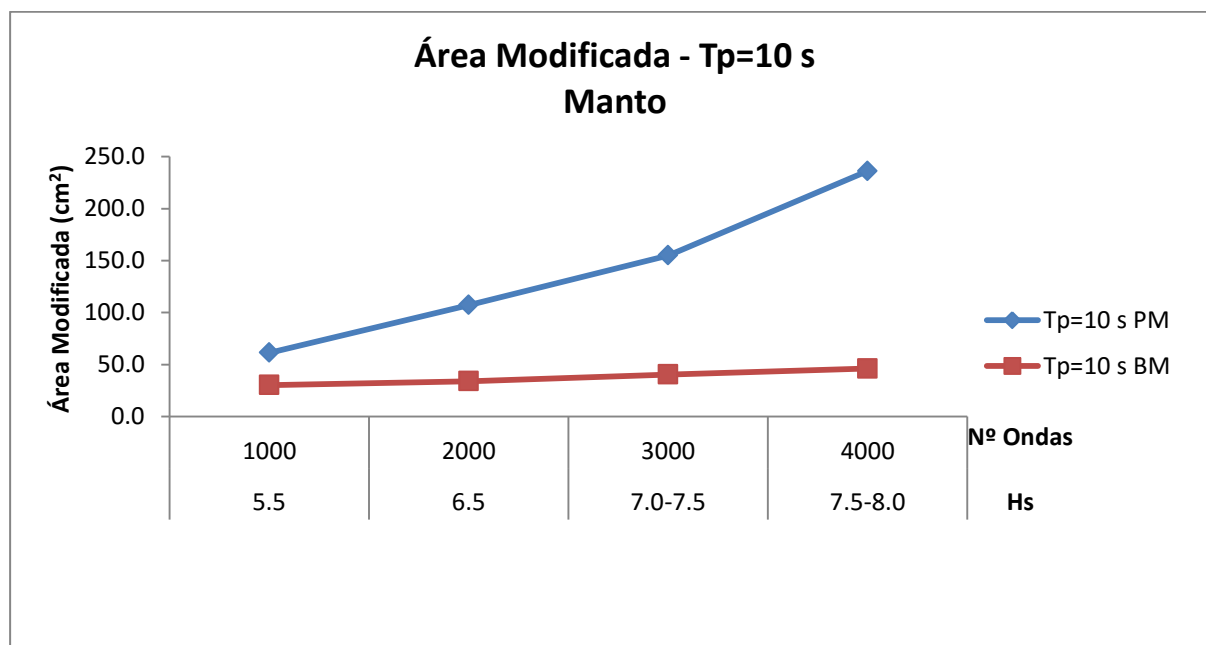


Figura 5.40 – Área modificada do manto para Tp=10 s, utilizando o algoritmo modif

A evolução da área modificada da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com Tp=10 s é ilustrada na Figura 5.41. Através da sua análise, verifica-se uma tendência para a

área modificada ser superior para o nível de maré da Baixa-mar (BM), dado que quanto menor é o nível de maré, maior é a suscetibilidade da banqueteta à ação da agitação incidente.

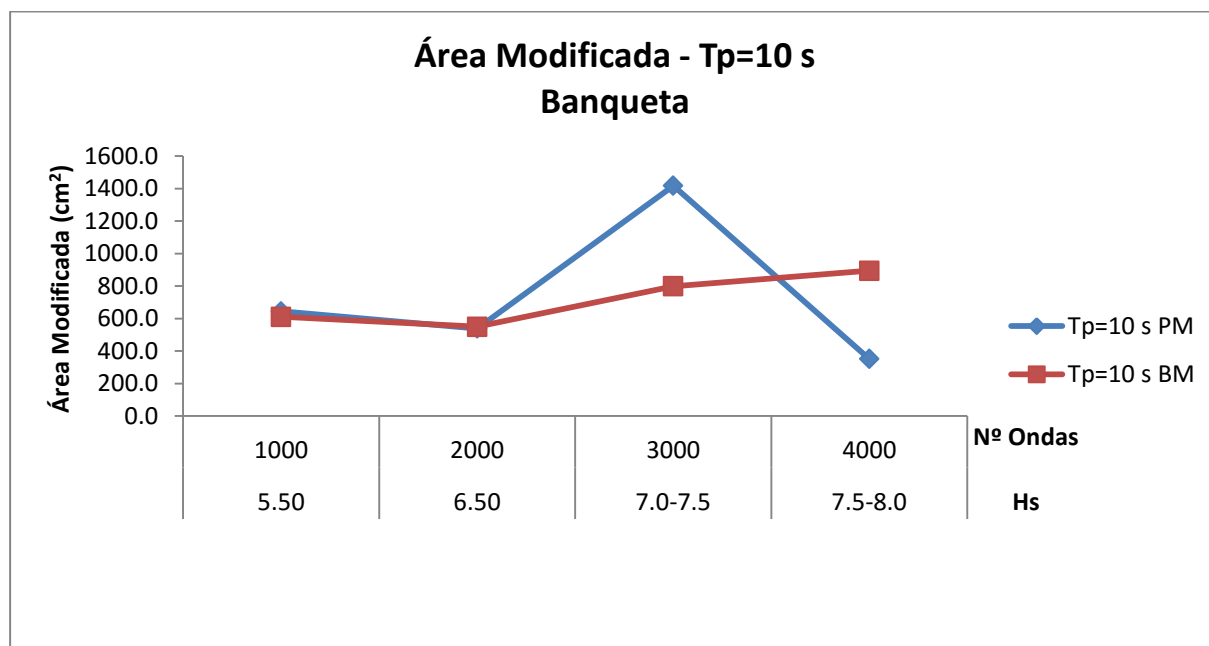


Figura 5.41 – Área modificada da banqueteta para $T_p=10$ s, utilizando o algoritmo modif

O pico no valor da área modificada para o levantamento correspondente à $H_s=7.5$ m do ensaio realizado com o nível de maré da Preia-mar seguido por um decréscimo da área modificada no levantamento seguinte, pode ser justificado pelo comportamento “auto-regenerativo” da banqueteta, isto é, no local onde num determinado levantamento existia uma considerável área erodida, no levantamento seguinte nesse local pode voltar a ser preenchida devido a arrastamento de outros bloco do manto resistente ou reposição do próprio enrocamento.

No Anexo 7 estão ilustrados os gráficos com a área modificada em percentagem do manto (Figura A.7.3) e da banqueteta (Figura A.7.4) para os ensaios realizados com $T_p=10$ s, obtidos através de algoritmo modif.

5.3.2.2 - $T_p=14$ s

Na Figura 5.42 e na Figura 5.43 são ilustradas as imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e as imagens com as diferenças a preto e branco para o ensaio realizado com $T_p=14$ s Preia-mar (PM), para o manto resistente e para a banqueteta do pé de talude, respetivamente.

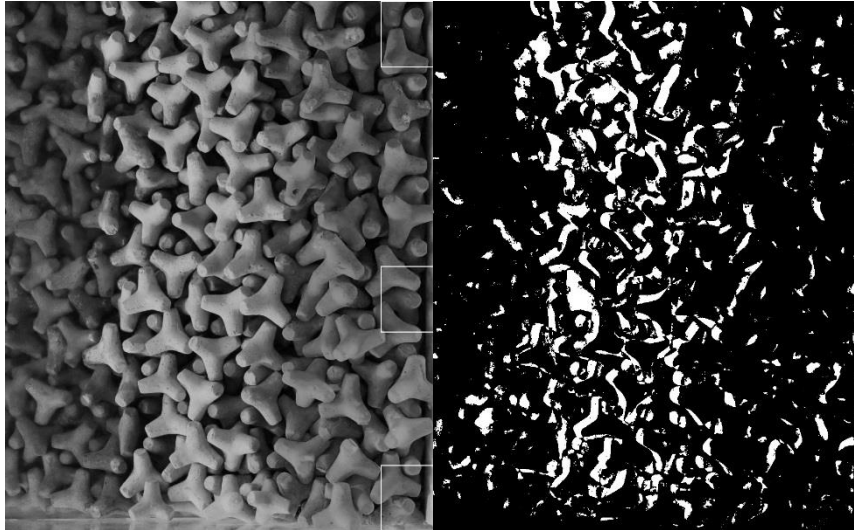


Figura 5.42 – Imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco do manto para $T_p=14$ s PM, através do algoritmo modif

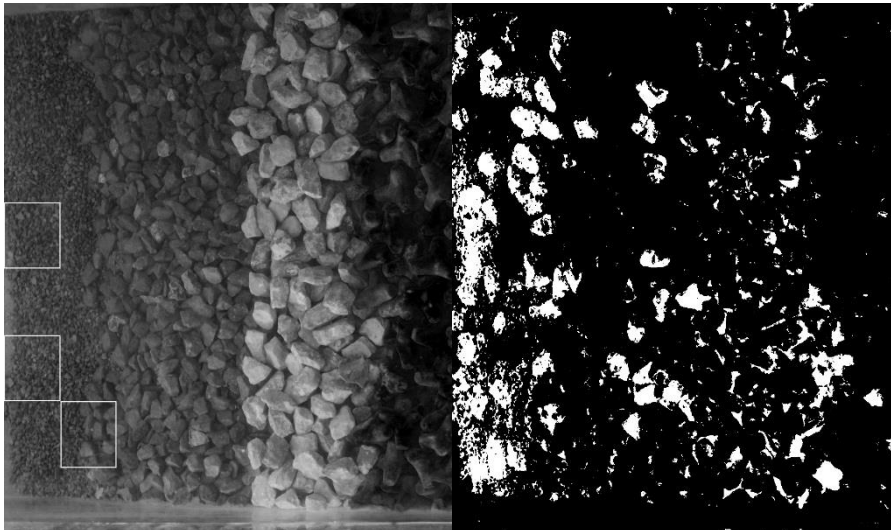


Figura 5.43 – Imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco da banquetta para $T_p=14$ s PM, através do algoritmo modif

No Anexo 7 são ilustradas as imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e as imagens com as diferenças a preto e branco para o ensaio realizado com $T_p=14$ s Baixa-mar, para o manto resistente (Figura A.7.5) e para a banquetta do pé de talude (Figura A.7.6).

Na Tabela 5.18 estão resumidos os resultados referentes à área modificada do manto resistente e da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=14$ s Preia-mar e Baixa-mar. O ensaio do $T_p=14$ s com o nível de maré da Preia-mar tem a particularidade de ter sido realizado em dois dias, como já referido anteriormente, devido à sua duração.

Tabela 5.18 – Área modificada (Am) para Tp=14 s, utilizando o algoritmo modif

Am	Hs Nw		5.5	6.5	7.5	8.0	8.5	9.0
			1000	2000	3000	4000	5000	6000
Tp=14 s PM	Manto	cm ²	84.6	107.7	124.5	174.8	736.0	734.3
		%	1.5	2.0	2.3	3.2	13.4	13.3
	Banq.	cm ²	218.7	291.7	318.2	523.6	590.6	704.9
		%	3.80	5.07	5.53	9.10	10.26	12.25
Tp=14 s BM	Manto	cm ²	287.9	440.5	504.7	596.1	581.9	-
		%	5.2	8.0	9.2	10.8	10.6	-
	Banq.	cm ²	375.4	451.4	1041.1	1343.9	1354.9	-
		%	6.5	7.8	18.1	23.4	23.5	-

Na Figura 5.44 é apresentado o gráfico com a evolução da área modificada do manto resistente para os ensaios realizados com Tp=14 s. Através da sua análise pode verificar-se um aumento da área modificada ao longo dos ensaios, sendo o valor correspondente ao nível da PM inferior. Isto pode dever-se a condições de luz e poeiras em suspensão na água que adulterem os valores da área modificada.

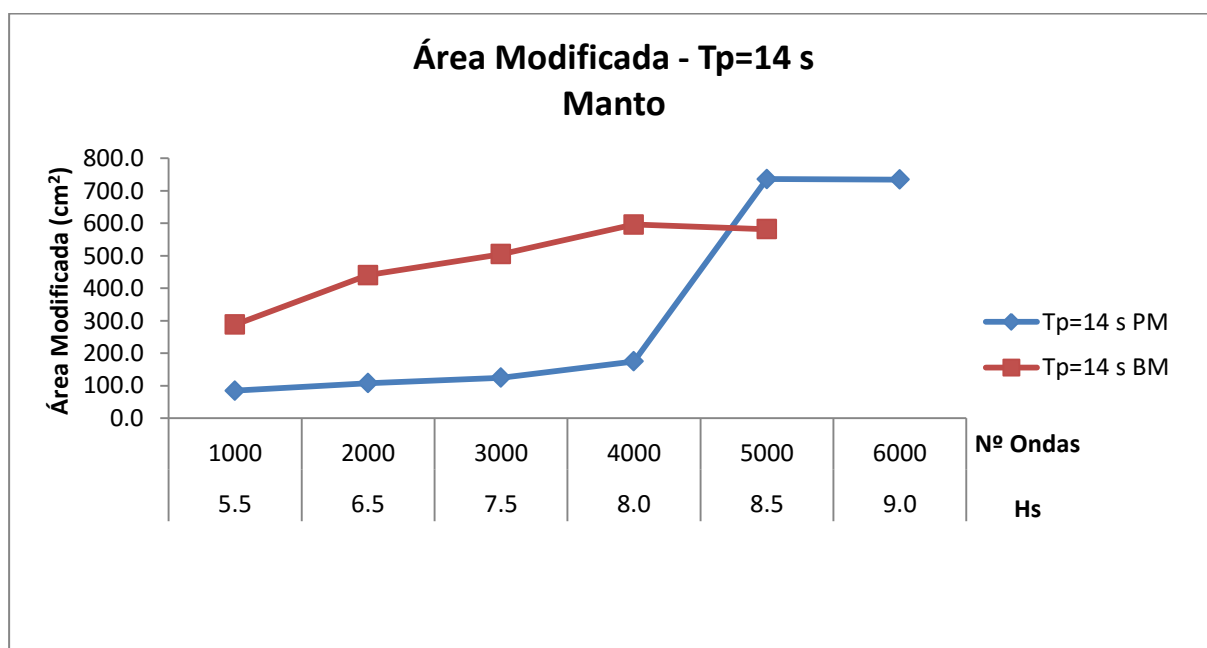


Figura 5.44 – Área modificada do manto para Tp=14 s, utilizando o algoritmo modif

A evolução da área modificada da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com Tp=14 s é ilustrada na Figura 5.45. Pode verificar-se um crescimento da área modificada ao longo do ensaio, sendo o valor correspondente ao nível de maré da Baixa-mar superior ao do

respetivo valor da Preia-mar, tal como seria expectável, pois a banquetta está mais sujeita à ação da rebentação quando o nível da maré é inferior.

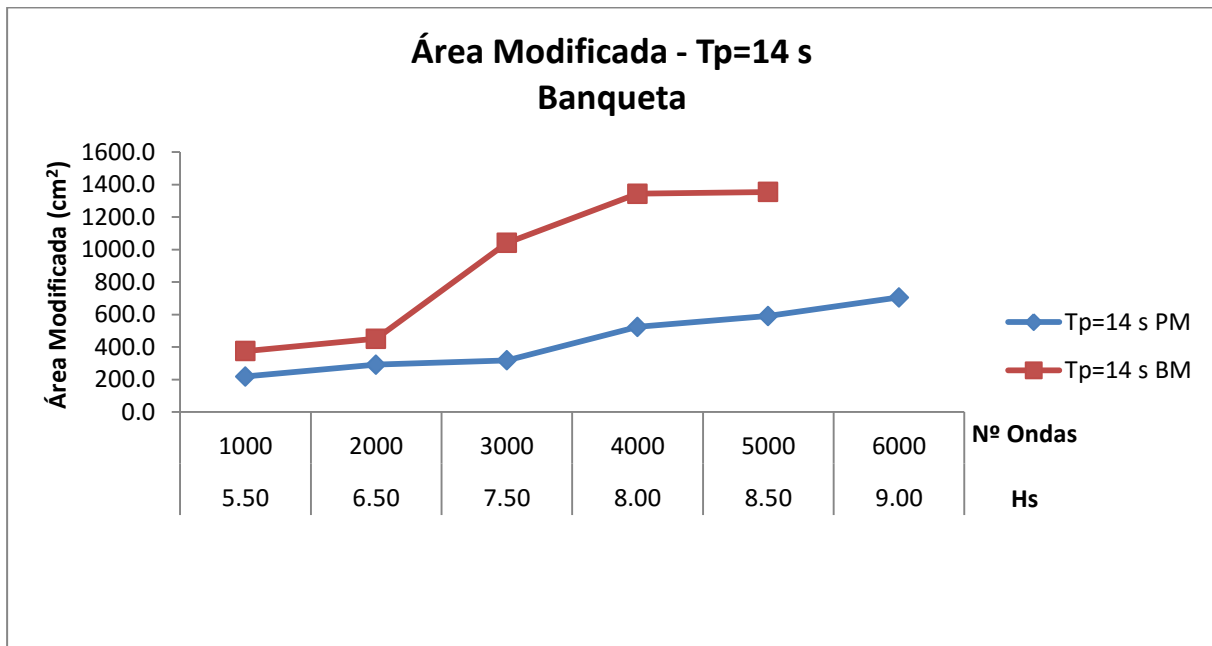


Figura 5.45 – Área modificada da banquetta para $T_p=14$ s, utilizando o algoritmo modif

No Anexo 7 estão ilustrados os gráficos ilustrativos da percentagem de área modificada do manto (Figura A.7.7) e da banquetta (Figura A.7.8), para os ensaios realizados com $T_p=14$ s.

5.3.2.3 - $T_p=18$ s

Na Figura 5.46 e na Figura 5.47 são ilustradas as imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e as imagens com as diferenças a preto e branco para o ensaio realizado com $T_p=18$ s Preia-mar (PM) para o manto resistente e para a banquetta do pé de talude, respetivamente.

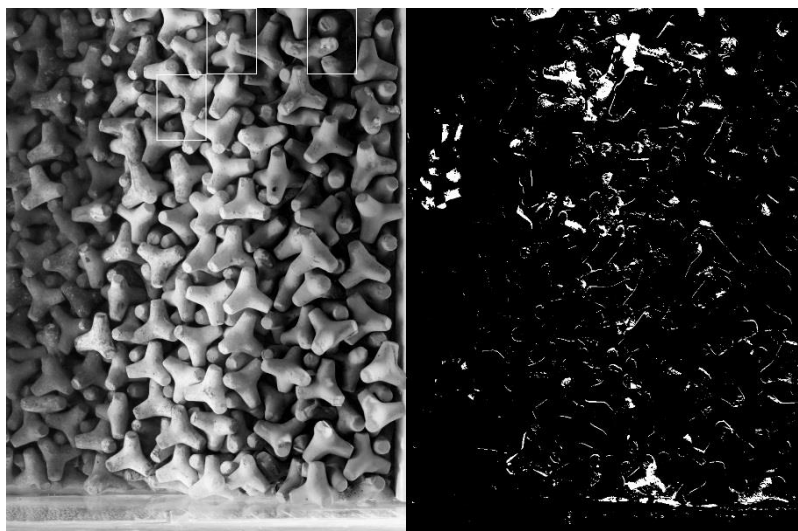


Figura 5.46 – Imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco do manto para $T_p=18$ s PM, através do algoritmo modif

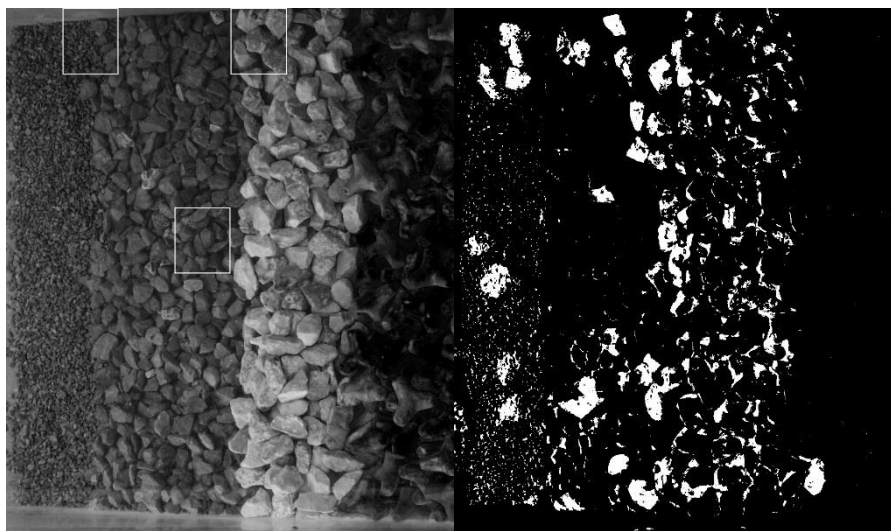


Figura 5.47 – Imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco da banquetta para $T_p=18$ s PM, através do algoritmo modif

No Anexo 7 são ilustradas as imagens em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e as imagens com as diferenças a preto e branco para o ensaio realizado com $T_p=18$ s Baixa-mar (BM) para o manto resistente (Figura A.7.9) e para a banquetta do pé de talude (Figura A.7.10).

Na Tabela 5.19 estão resumidos os resultados referentes a área modificada do manto resistente e da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=18$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM).

Tabela 5.19 – Área modificada (Am) para $T_p=18$ s, calculado através do algoritmo modif

Am	Hs Nw		5.5	6.5
			1000	2000
Tp=18 s PM	Manto	cm ²	176.1	253.2
		%	3.0	4.3
	Banq.	cm ²	303.8	487.6
		%	5.28	8.47
Tp=18 s BM	Manto	cm ²	2.2	9.7
		%	0.0	0.2
	Banq.	cm ²	216.7	209.0
		%	3.8	3.6

Na Figura 5.48 é apresentado o gráfico com a evolução da área modificada do manto resistente para os ensaios realizados com $T_p=18$ s. Pode verificar-se um aumento da área modificada ao longo dos ensaios, sendo o valor correspondente ao nível de maré da Preia-mar (PM) superior ao da Baixa-mar (BM), como expetável pois a dissipação de energia por rebentação ocorrer mais próximo da obra provocando mais quedas dos tetrápodos que compõem o manto resistente

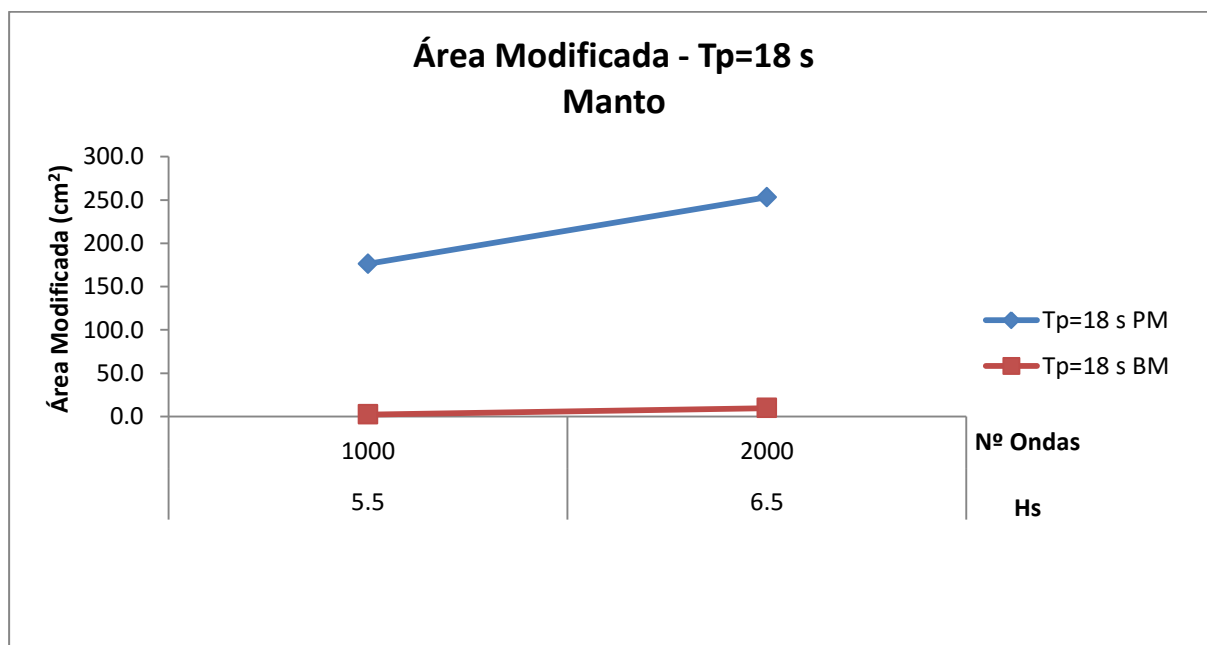


Figura 5.48 – Área modificada do manto para $T_p=18$ s, utilizando o algoritmo modif

Na Figura 5.49 é apresentado o gráfico com a evolução da área modificada da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=18$ s. Pode verificar-se um aumento da área

modificada ao longo do ensaio realizado com o nível de maré da Preia-mar (PM), sendo o valor correspondente ao nível de maré da Preia-mar superior ao da Baixa-mar (BM), ao contrário do esperado, visto que a banquetta se encontra mais sujeita à ação da rebentação quando o nível de maré é mais baixo.

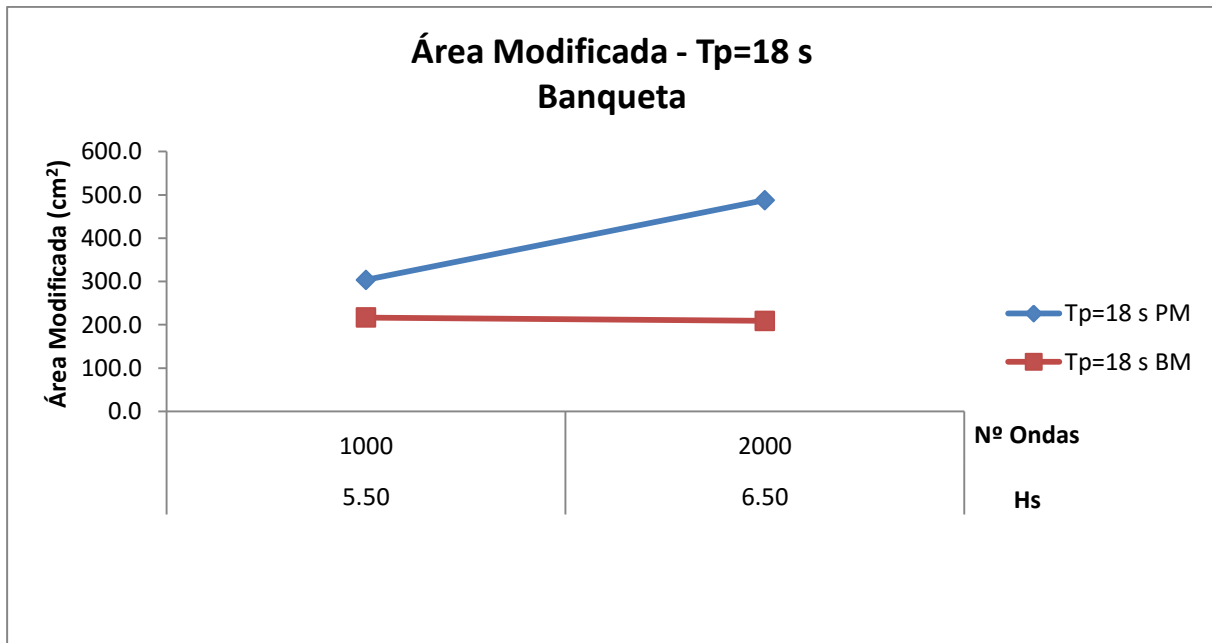


Figura 5.49 – Área modificada da banquetta para Tp=18 s, utilizando o algoritmo modif.

No Anexo 7 estão ilustrados os gráficos com a área modificada em percentagem do manto (Figura A.7.11) e da banquetta (Figura A.7.12) para os ensaios realizados com Tp=18 s.

5.3.3 - Resumo dos Resultados Obtidos com os Métodos de Comparação de Imagens

Verificou-se que, de um modo geral, para ambos os algoritmos de comparação de imagens, que a área modificada do manto resistente era superior com os ensaios realizados com o nível de maré da Preia-mar. Pelo contrário, a área modificada da banquetta do pé de talude teve mais significado com o nível de maré da Baixa-mar, à exceção dos ensaios realizados com Tp=10 s obtido através do algoritmo ImageCompair_Area e os ensaios realizados com Tp=18 s utilizando o algoritmo modif.

Quanto aos períodos de pico, não há uma clara tendência entre o período da onda e a área modificada devido às condições de luz e turbidez da água, em que foram tiradas as fotografias.

5.4 - Análise Comparativa Entre Métodos

Efetua-se neste subcapítulo uma análise comparativa entre os três métodos utilizados para a avaliação do dano, em função do período da onda, tomando-se como base de referência a evolução do dano obtida através da contagem de blocos removidos (contagem visual).

5.4.1 - Contagem Visual vs Estereofotogrametria

5.4.1.1 - $T_p=10$ s

Para o manto resistente, na Tabela 5.20 é apresentado o resumo dos resultados para os ensaios realizados com $T_p=10$ s obtidos através de contagem de blocos removidos e do algoritmo CompararPerfisVariosLev, a fim de efectuar uma análise comparativa e avaliar a correlação entre os mesmos.

Tabela 5.20 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com o algoritmo CompararPerfisVariosLev.mat. Manto resistente sujeito ao estado de agitação com $T_p=10$ s

Manto		Hs	5.5	6.5	7.0(BM)-7.5(PM)	7.5(BM)-8.0(PM)
		Nw	1000	2000	3000	4000
Tp=10 s PM	Visual	QA	1	2	6	7
		%QA	0.3	0.6	1.7	2.0
		GQ	0	0	3	3
	Foto.	Ae	27.9	68.2	-	62.5
		S	1.4	3.5	-	3.2
Tp=10 s BM	Visual	QA	0	0	2	3
		%QA	0.0	0.0	0.6	0.9
		GQ	0	0	0	0
	Foto.	Ae	28.7	28.0	25.9	31.0
		S	1.5	1.4	1.3	1.6

Na Figura 5.50 e na Figura 5.51 são ilustrados os gráficos que correlacionam a percentagem de quedas de tetrápodos do manto resistente e a área erodida do manto resistente, para os ensaios realizado com $T_p=10$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), respetivamente.

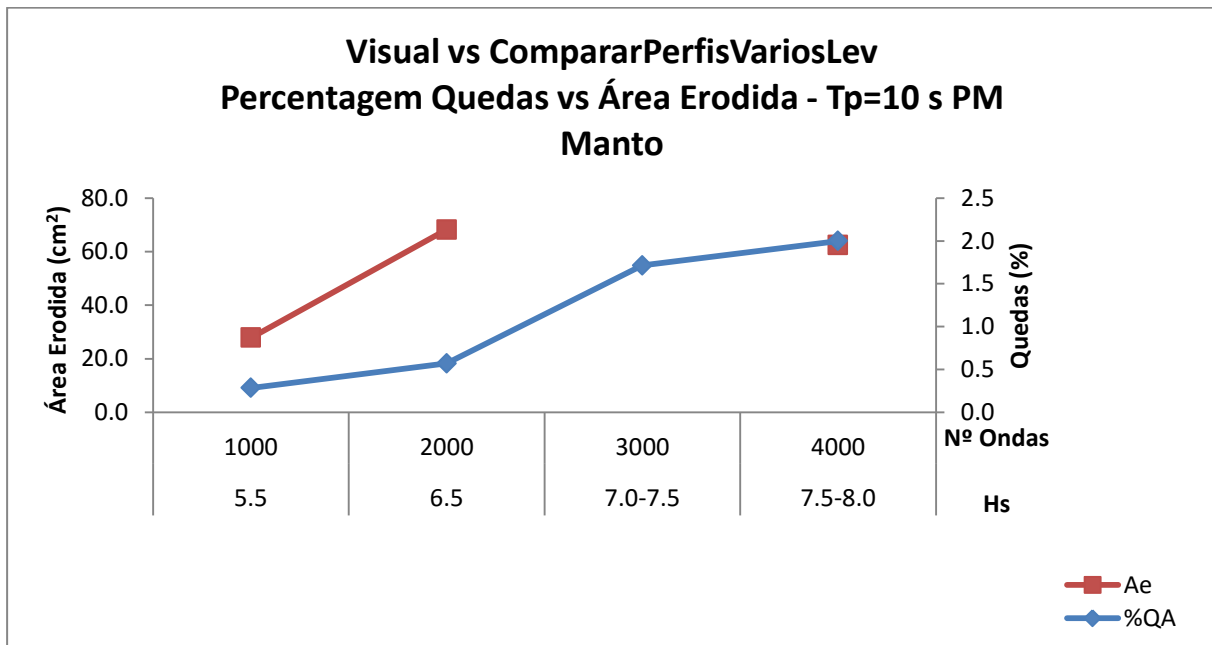


Figura 5.50 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, do manto resistente para $T_p=10$ s PM

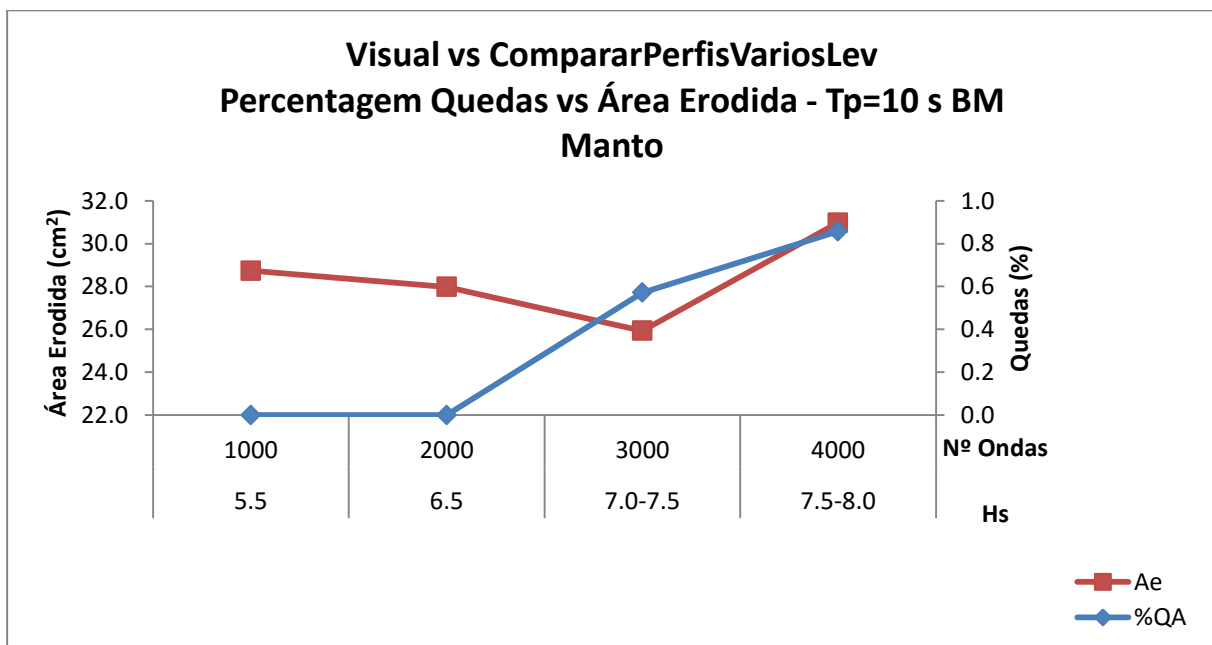


Figura 5.51 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev do manto resistente para $T_p=10$ s BM

Pela análise do gráfico referente aos ensaios realizados com $T_p=10$ s Preia-mar, Figura 5.50, pode verificar-se que o andamento de ambos os métodos é idêntico, existindo em ambos um crescimento ao longo dos ensaios.

Da análise do gráfico comparativo do ensaio realizado com $T_p=10$ s Baixa-mar, Figura 5.51, constata-se que a área erodida inicialmente sofre um ligeiro decréscimo nos dois primeiros levantamentos, assumindo a mesma tendência que a percentagem de quedas do método visual no último ensaio. Este decréscimo inicial na área erodida pode ser devido às condições de captação das imagens, visto que não existiram quedas que justificassem o aumento da área erodida.

No Anexo 8 estão ilustrados os gráficos com a comparação entre o grau de quedas, obtido por contagem visual, e o dano (S) obtido através do algoritmo CompararPerfisVariosLev, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s Preia-mar (Figura A.8.1) e $T_p=10$ s Baixa-mar (Figura A.8.2). A correlação entre estes valores é menor pois o grau de quedas dado pelas tabelas de classificação de quedas em ensaios bidimensionais do LNEC funciona por patamares, não sendo tão gradual a sua evolução.

Para a banqueta do pé de talude, na Tabela 5.21 é apresentado o resumo dos resultados dos ensaios realizados com $T_p=10$ s obtidos através de contagem visual e do algoritmo CompararPerfisVariosLev.

Tabela 5.21 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com o algoritmo CompararPerfisVariosLev.mat. Banqueta do pé de talude sujeita ao estado de agitação com $T_p=10$ s

Banqueta		Hs	5.5	6.5	7.0(BM)-7.5(PM)	7.5(BM)-8.0(PM)
		Nw	1000	2000	3000	4000
$T_p=10$ s PM	Visual	QA	15	20	27	30
		%QA	8.6	11.4	15.4	17.1
	Foto	Ae	16.8	25.3	11.7	25.8
$T_p=10$ s BM	Visual	QA	15	20	34	38
		%QA	8.6	11.4	19.4	21.7
	Foto	Ae	16.4	21.0	24.3	26.4

Na Figura 5.52 e na Figura 5.53 são ilustrados os gráficos que correlacionam a percentagem de quedas do enrocamento da banqueteta do pé de talude e a área erodida da mesma, para os ensaios realizados com $T_p=10$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM) respetivamente.

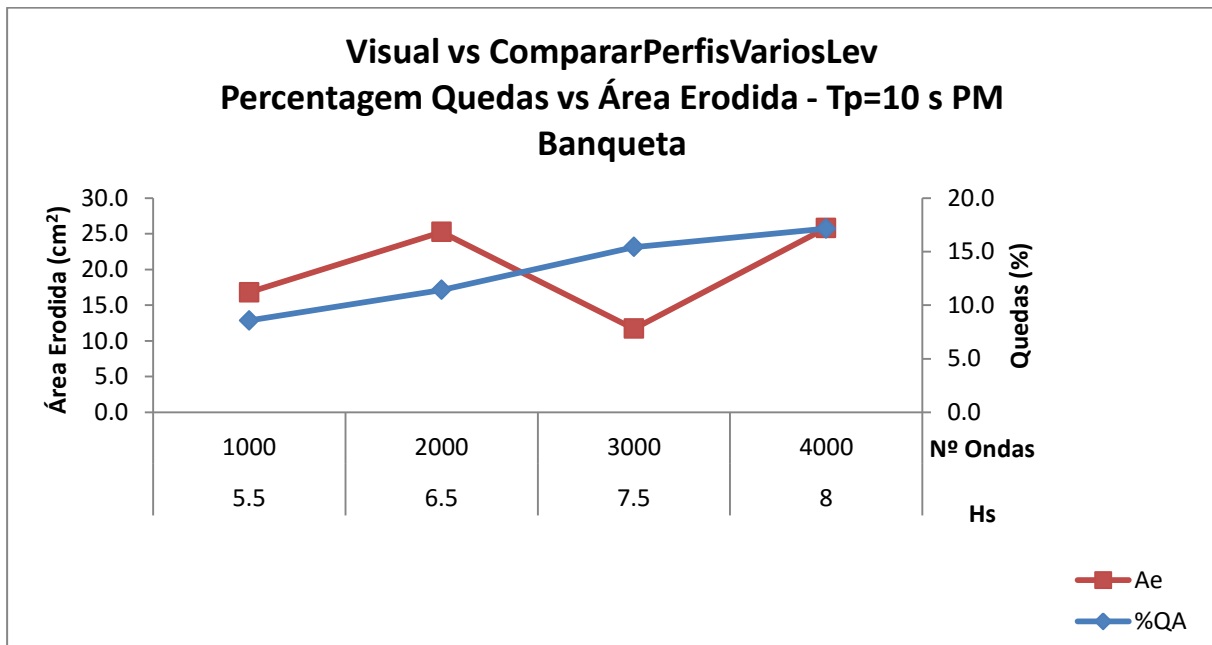


Figura 5.52 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, da banqueteta para $T_p=10$ s PM

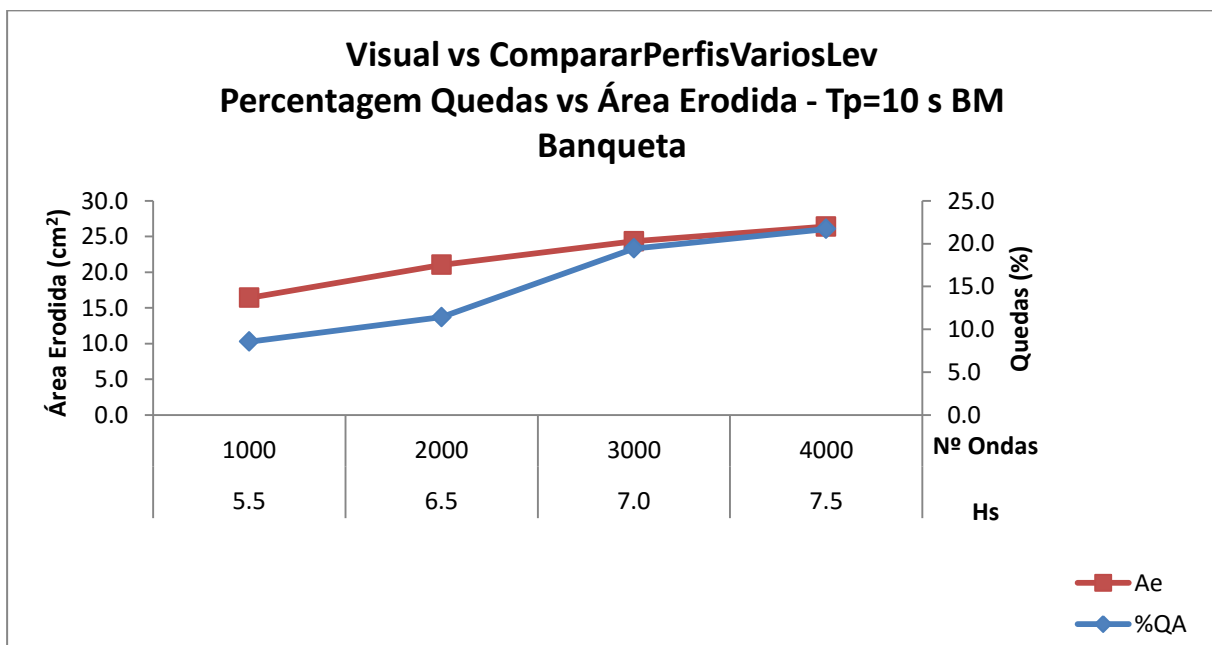


Figura 5.53 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, da banqueteta para $T_p=10$ s BM

Através da análise de ambos os gráficos verifica-se uma tendência de crescimento em ambos os métodos. O decréscimo verificado na área erodida, no levantamento correspondente a $H_s=7.5$ m, pode ser justificado pelo comportamento “auto-regenerativo” da banqueteta. Verifica-se que no local onde num determinado levantamento existia uma considerável área erodida, no levantamento seguinte esse local pode voltar a ser preenchido devido a arrastamento de outros blocos do manto resistente ou reposição do próprio enrocamento.

5.4.1.2 - $T_p=14$ s

Para o manto resistente, na Tabela 5.22 é apresentado o resumo dos resultados dos ensaios realizados com $T_p=14$ s, obtidos através de contagem visual e pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev. Como já referido o ensaio realizado com $T_p=14$ s Preia-mar (PM) tem a particularidade de ter sido realizado em dois dias devido a sua grande duração.

Tabela 5.22 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com o algoritmo CompararPerfisVariosLev.mat. Manto resistente sujeito ao estado de agitação com $T_p=14$ s

Manto		Hs	5.5	6.5	7.5	8.0	8.5	9.0
		Nw	1000	2000	3000	4000	5000	6000
Tp=14 s PM	Visual	QA	1	1	3	5	9	12
		%QA	0.3	0.3	0.9	1.4	2.6	3.4
		GQ	0	0	0	3	3	4
	Foto.	Ae	17.4	9.1	13.9	43.4	9.0	12.1
		S	0.9	0.5	0.7	2.2	0.5	0.6
Tp=14 s BM	Visual	QA	0	0	0	1	1	-
		%QA	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	-
		GQ	0	0	0	0	0	-
	Foto.	Ae	8.0	5.3	3.6	11.0	7.3	-
		S	0.4	0.3	0.2	0.6	0.4	-

Na Figura 5.54 e na Figura 5.55 são ilustrados os gráficos que correlacionam a percentagem de quedas de tetrápodos do manto resistente e a área erodida do manto resistente, para os ensaios realizados com $T_p=14$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM) respetivamente.

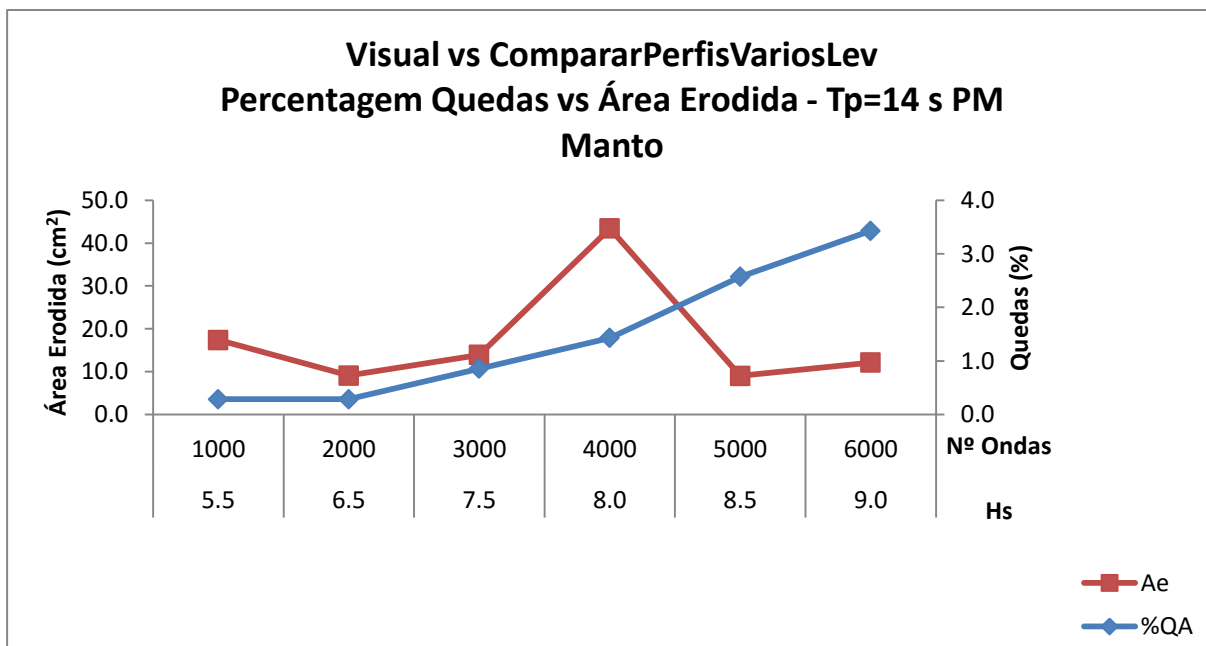


Figura 5.54 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, do manto resistente para Tp=14 s PM

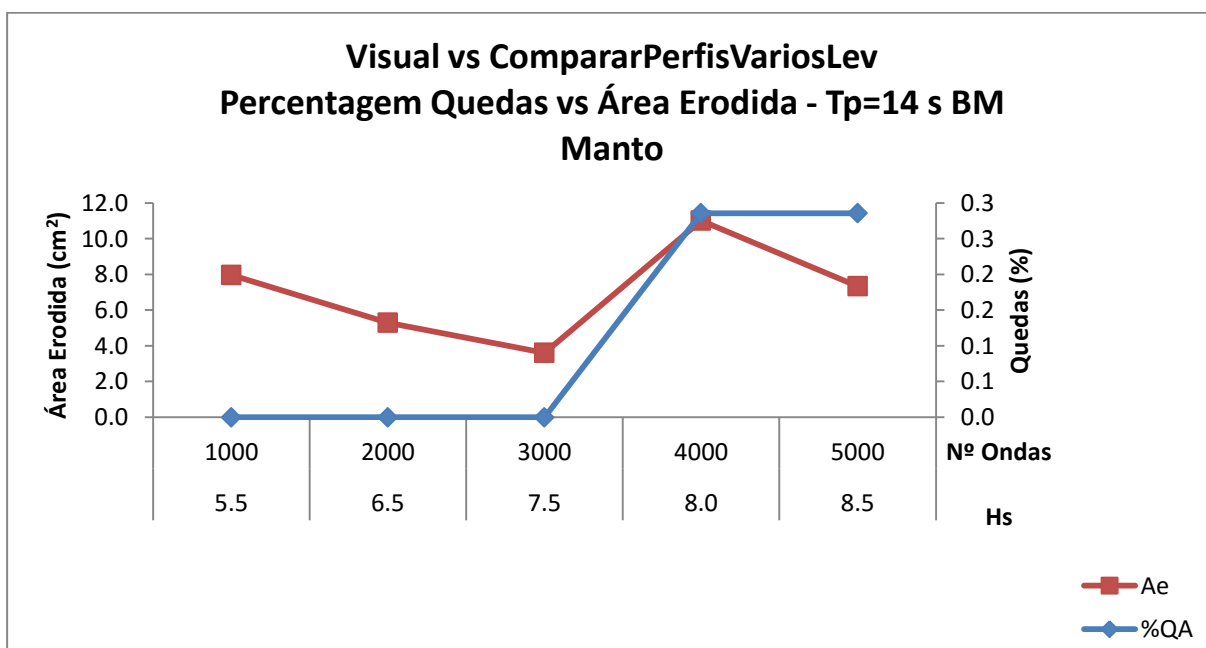


Figura 5.55 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo CompararPerfisVariosLev, do manto resistente para Tp=14 s BM

Pela análise do gráfico referente ao ensaio realizado com Tp=14 s Preia-mar, Figura 5.54, pode verificar-se que o andamento de ambos os métodos é idêntico, existindo em ambos um crescimento ao longo dos levantamentos realizados no primeiro dia de ensaios (até Hs=8.0 m). O decréscimo da área erodida nos dois levantamentos obtidos no segundo dia de ensaio

pode ser justificada por alterações nas condições de luz e poeiras em suspensão na água que influenciam a captação das imagens e por sua vez influenciam o método fotogramétrico.

Da análise do gráfico comparativo do ensaio realizado com $T_p=14$ s Baixa-mar, Figura 5.55, constata-se que a área erodida inicialmente sofre um ligeiro decréscimo nos três primeiros levantamentos, assumindo a mesma tendência que a percentagem de quedas do método visual no quarto levantamento. Este decréscimo inicial na área erodida pode ser devido às condições de captação das imagens, visto que não se verificaram quedas que justificassem uma maior área erodida.

No Anexo 8 estão ilustrados os gráficos com a comparação entre o grau de quedas, obtido por contagem visual, e o dano (S) obtido através do algoritmo CompararPerfisVarios, para os ensaios realizados com $T_p=14$ s Preia-mar (Figura A.8.3) e $T_p=14$ s Baixa-mar (Figura A.8.4). Tal como anteriormente para $T_p=10$ s, a correlação entre estes valores é menor pois o grau de quedas dado pelas tabelas de classificação de quedas em ensaios bidimensionais do LNEC funciona por patamares, não sendo tão gradual a sua evolução.

Para a banquetta do pé de talude, na Tabela 5.23 é apresentado o resumo dos resultados dos ensaios realizados com $T_p=14$ s obtidos através de contagem visual e do algoritmo CompararPerfisVariosLev.

Tabela 5.23 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com o algoritmo CompararPerfisVariosLev.mat. Banqueta do pé de talude sujeita ao estado de agitação com $T_p=14$ s

Banqueta		Hs	5.5	6.5	7.5	8.0	8.5	9.0
		Nw	1000	2000	3000	4000	5000	6000
Tp=14 s PM	Visual	QA	17	21	25	33	50	67
		%QA	9.7	12.0	14.3	18.9	28.6	38.3
	Foto	Ae	12.9	15.5	13.9	15.9	58.0	65.4
Tp=14 s BM	Visual	QA	8	13	24	52	81	-
		%QA	4.6	7.4	13.7	29.7	46.3	-
	Foto	Ae	15.8	9.6	12.3	25.1	32.3	-

Na Figura 5.56 e na Figura 5.57 são apresentados os gráficos que correlacionam a percentagem de quedas do enrocamento da banquetta do pé de talude e a área erodida da

mesma, para os ensaios realizados com $T_p=14$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM) respectivamente.

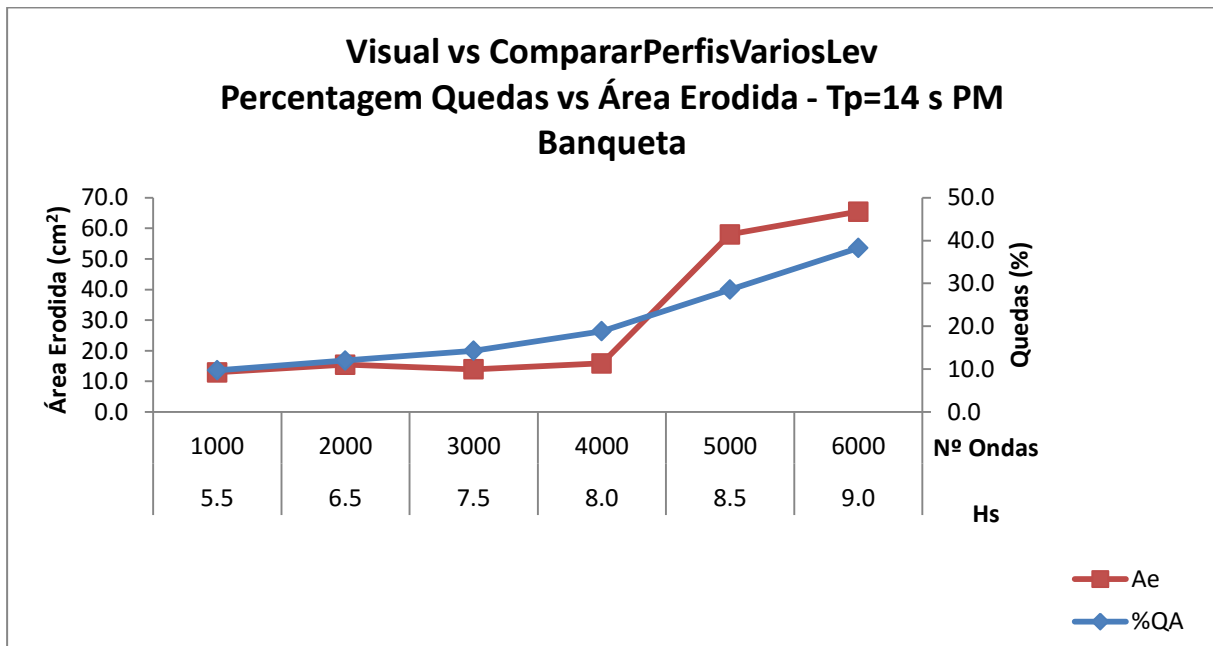


Figura 5.56 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, da banquetta para $T_p=14$ s PM

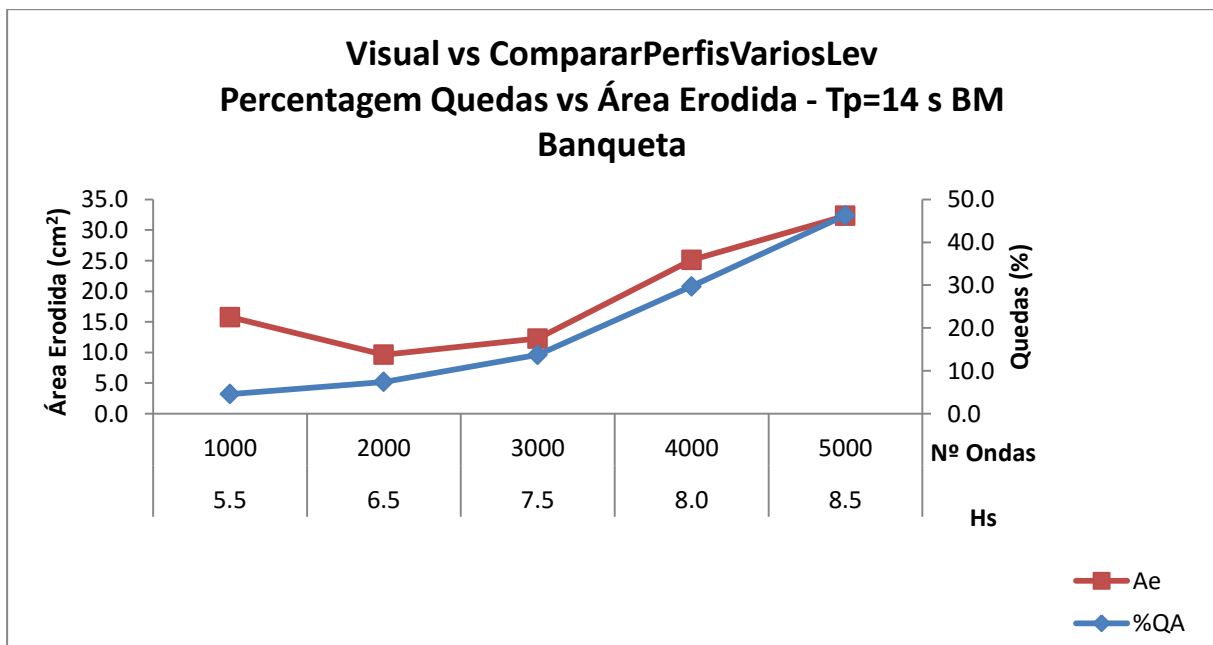


Figura 5.57 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, da banquetta para $T_p=14$ s BM

Através da análise de ambos os gráficos, pode constatar-se uma tendência de crescimento ao longo dos ensaios, com um andamento semelhante, para ambos os métodos comparados.

5.4.1.3 - $T_p=18$ s

Para o manto resistente, na Tabela 5.24 é apresentado o resumo dos resultados dos ensaios realizados com $T_p=18$ s obtidos através de contagem visual e do algoritmo CompararPerfisVariosLev. Para este T_p não são apresentados gráficos comparativos para o manto visto que a contagem visual não houve registo de quedas dos tetrápodos que compõem o manto resistente no decorrer dos ensaios.

Tabela 5.24 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com o algoritmo CompararPerfisVariosLev.mat. Manto resistente sujeito ao estado de agitação com $T_p=18$ s

Manto		Hs	5.5	6.5
		Nw	1000	2000
Tp=18 s PM	Visual	QA	0	0
		%QA	0.0	0.0
		GQ	0	0
	Foto.	Ae	11.4	7.0
		S	0.6	0.4
Tp=18 s BM	Visual	QA	0	0
		%QA	0.0	0.0
		GQ	0	0
	Foto.	Ae	9.2	4.5
		S	0.5	0.2

Para a banquetta do pé do talude, na Tabela 5.25 é apresentado o resumo dos resultados dos ensaios realizados com $T_p=18$ s obtidos através de contagem visual e do algoritmo CompararPerfisVariosLev.

Tabela 5.25 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com o algoritmo CompararPerfisVariosLev.mat. Banqueta do pé de talude sujeita ao estado de agitação com Tp=18 s

Banqueta		Hs	5.5	6.5
		Nw	1000	2000
Tp=18 s PM	Visual	QA	15	33
		%QA	8.57	18.86
	Foto.	Ae	16.6	23.7
Tp=18 s BM	Visual	QA	25	38
		%QA	14.29	21.71
	Foto.	Ae	21.9	21.0

Na Figura 5.58 e na Figura 5.59 são apresentados os gráficos que correlacionam a percentagem de quedas do enrocamento da banquetta do pé de talude e a área erodida da mesma, para os ensaios realizados com Tp=18 s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM) respetivamente.

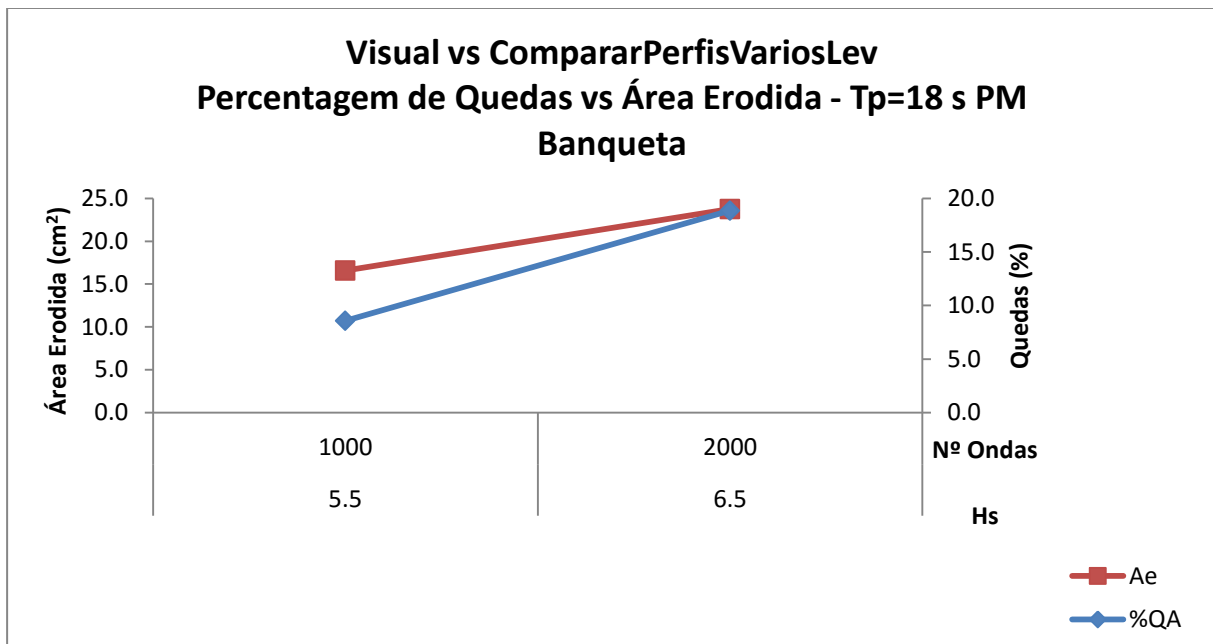


Figura 5.58 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, da banquetta para Tp=18 s PM

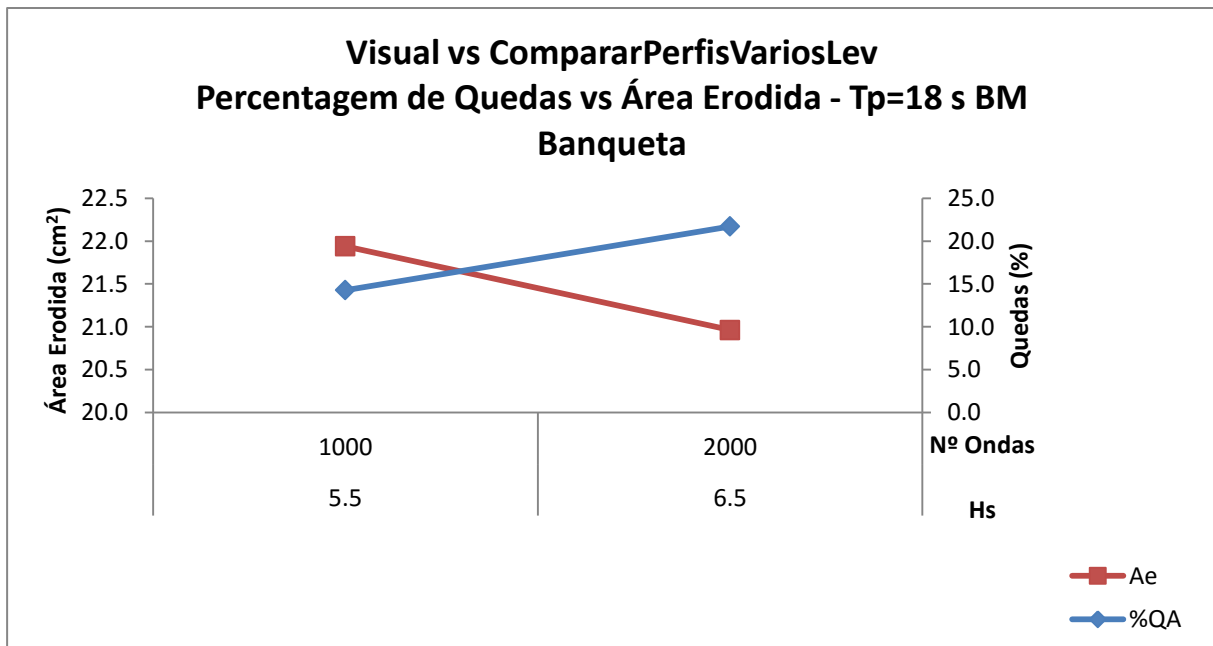


Figura 5.59 – Percentagem de quedas obtida por contagem visual e área erodida obtida pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, da banquetta para Tp=18 s BM

Através da análise do gráfico referente ao ensaio realizado com Tp=18 s Preia-mar, Figura 5.58, pode constatar-se uma tendência de crescimento ao longo do ensaio, com um andamento semelhante, para ambos os métodos comparados.

Da análise do gráfico referente ao ensaio realizado com Tp=18 s Baixa-mar, Figura 5.59, verifica-se um decréscimo da área erodida no segundo levantamento que pode ser justificado com a capacidade auto-regenerativa da banquetta, isto é, no local onde num determinado levantamento existia uma considerável área erodida, no levantamento seguinte esse local pode voltar a ser preenchido devido a arrastamento de outros bloco do manto resistente ou reposição do próprio enrocamento. Contudo, como para este nível de maré não foram realizados mais ensaios não se pode prever qual será a tendência futura.

5.4.2 - ContagemVisual vs ImageCompair_Area vs modif

Neste subcapítulo, apresenta-se, por período de pico, os resultados dos ensaios com os níveis de maré da Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), obtidos com o método de contagem visual e com os métodos de comparação de imagens, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area, e o algoritmo modif. Os resultados apresentados para o método de contagem visual correspondem

à percentagem de quedas e para os métodos de comparação de imagem à percentagem de área modificada.

5.4.2.1 - $T_p=10$ s

Para o manto resistente e para a banquetta do pé de talude, na Tabela 5.26 é apresentado o resumo dos resultados dos ensaios realizados com $T_p=10$ s com os níveis de maré da Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), obtidos com o método de contagem visual e os métodos de comparação de imagens utilizando o algoritmo ImageCompair_Area e o algoritmo modif.

Tabela 5.26 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com os algoritmos ImageCompair_Area.mat e modif.sci para os ensaios realizados com $T_p=10$ s

Am (%) & Q(%)		Hs	5.5	6.5	7.0(BM)-7.5(PM)	7.5(BM)-8.0(PM)
		Nw	1000	2000	3000	4000
Tp=10 s PM	MatLab	Manto	11.0	12.0	19.8	21.5
		Banq.	11.1	11.6	17.0	13.0
	Scilab	Manto	1.1	1.9	2.8	4.3
		Banq.	10.5	8.8	23.1	5.7
	Visual	Manto	0.3	0.6	1.7	2.0
		Banq.	8.6	11.4	15.4	17.1
Tp=10 s BM	MatLab	Manto	2.8	3.3	4.3	12.8
		Banq.	6.9	8.8	11.3	13.9
	Scilab	Manto	0.5	0.6	0.7	0.8
		Banq.	10.6	9.5	13.9	15.5
	Visual	Manto	0.0	0.0	0.6	0.9
		Banq.	8.6	11.4	19.4	21.7

Para o manto resistente, na Figura 5.60 e na Figura 5.61 são apresentadas os gráficos com a comparação entre o método de contagem visual e os métodos de comparação de imagens utilizando o algoritmo ImageCompair_Area e o modif, para os ensaios realizados com $T_p=10$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM) respetivamente.

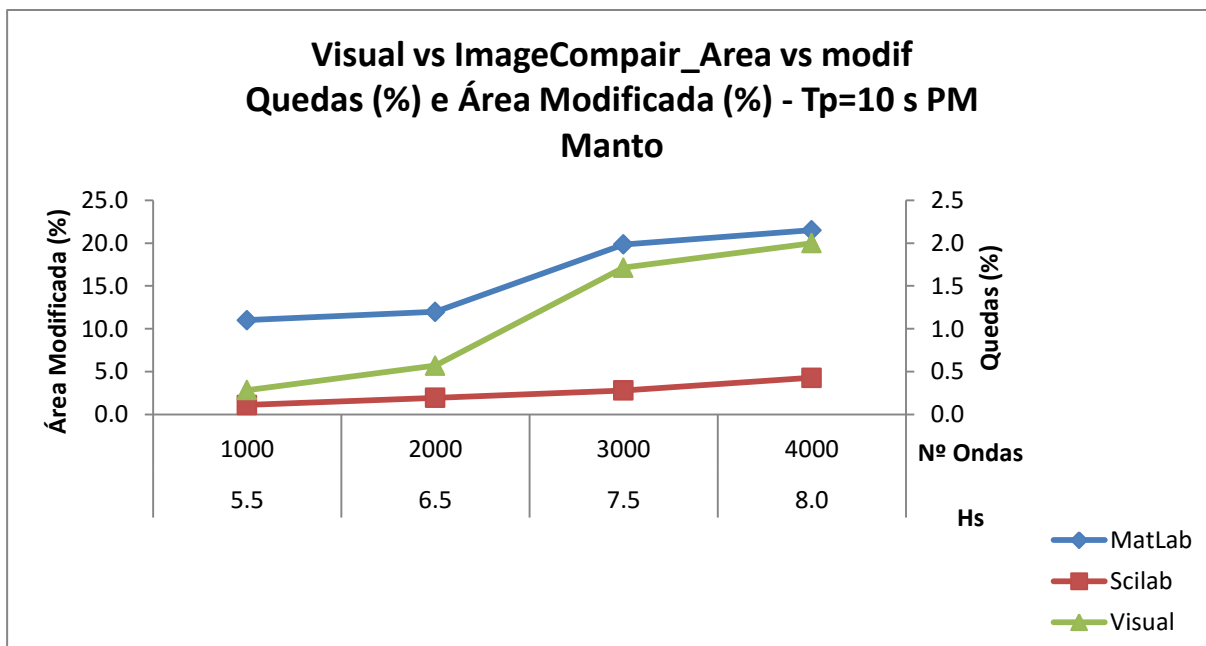


Figura 5.60 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, do manto resistente para Tp=10 s PM

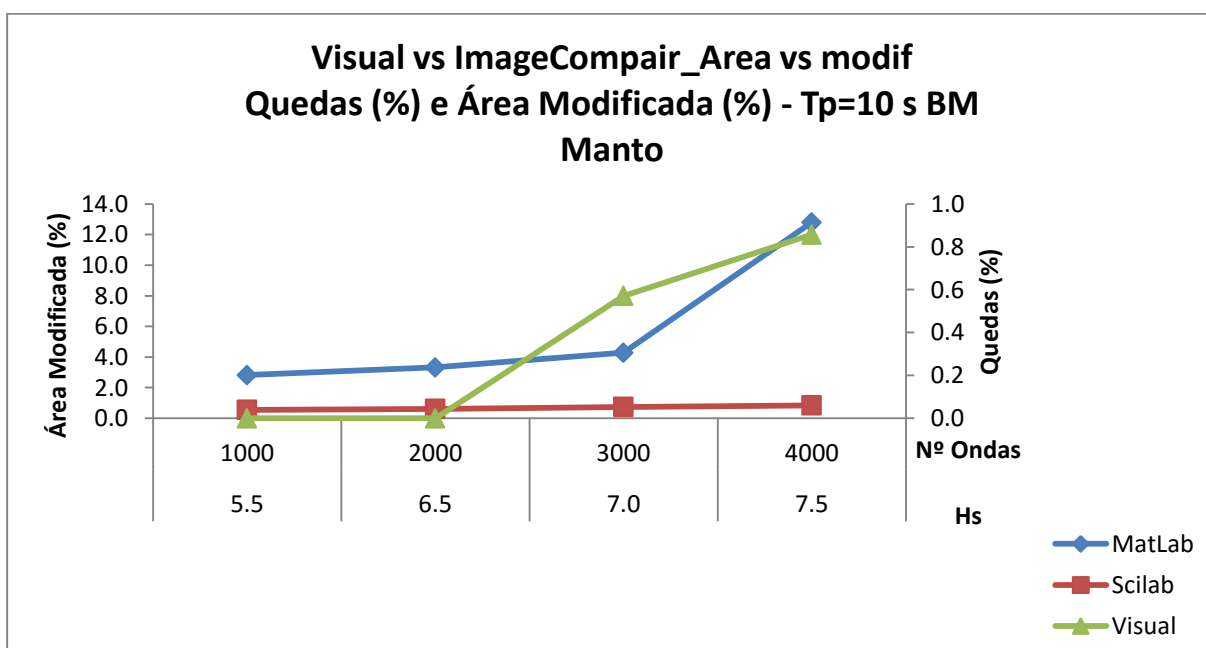


Figura 5.61 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, do manto resistente para Tp=10 s BM

Da análise do gráfico referente ao ensaio realizado com Tp=10 s Preia-mar (Figura 5.60) do manto resistente, é de notar que os três métodos apresentam um crescimento ao longo dos levantamentos realizados. Os resultados obtidos através do algoritmo ImageCompair_Area apresentam um andamento mais coincidente com o registado pela contagem visual.

Analisando os dois algoritmos de comparação de imagens é de notar que o algoritmo ImageCompair_Area apresenta valores da percentagem de área modificada superiores ao do algoritmo modif..

Relativamente à análise do gráfico referente ao ensaio realizado com $T_p=10$ s Baixa-mar (Figura 5.61) do manto resistente pode verificar-se que o algoritmo ImageCompair_Area é o único que acompanha o andamento da percentagem de quedas registado através de contagem visual. Comparando os dois métodos de comparação de imagens, é de notar que o algoritmo ImageCompair_Area é o único que apresenta um aumento da percentagem da área erodida ao longo do ensaio, ao contrário do que se verifica com o algoritmo modif onde não se regista mesmo qualquer crescimento significativo ao longo do ensaio.

Para a banquetta do pé de talude, na Figura 5.62 e na Figura 5.63 são apresentados os gráficos com a comparação entre o método de contagem visual e os métodos de comparação de imagens utilizando o algoritmo ImageCompair_Area e o modif, dos ensaios realizados com $T_p=10$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM) respetivamente.

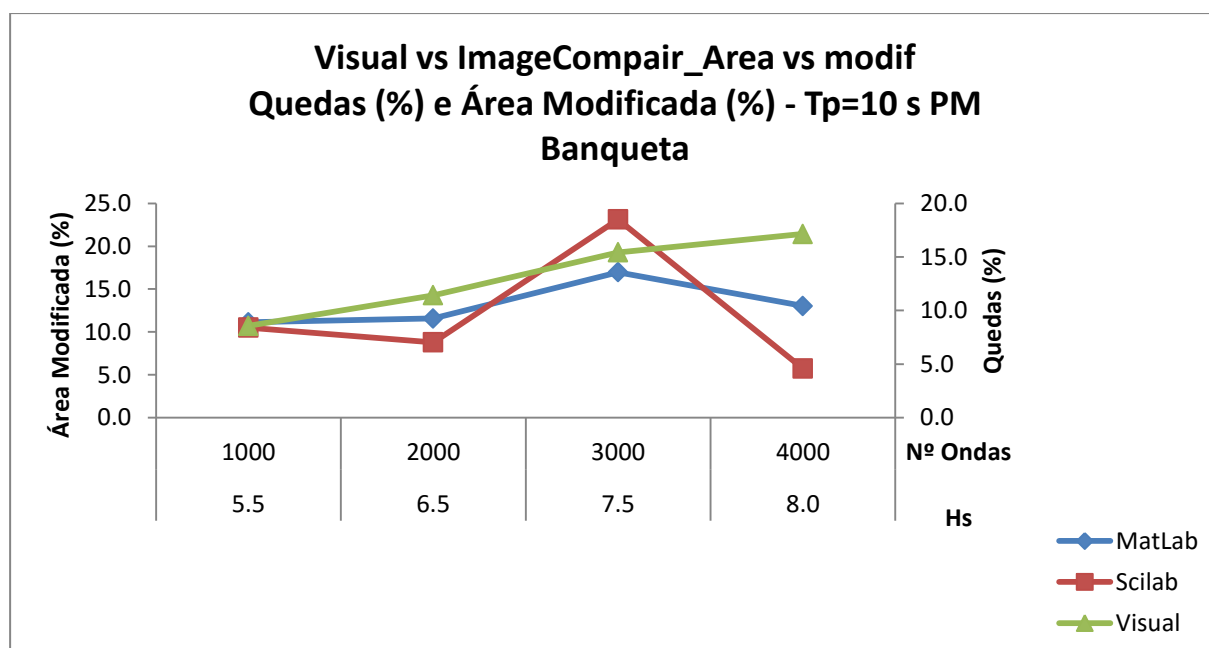


Figura 5.62 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, da banquetta para $T_p=10$ s PM

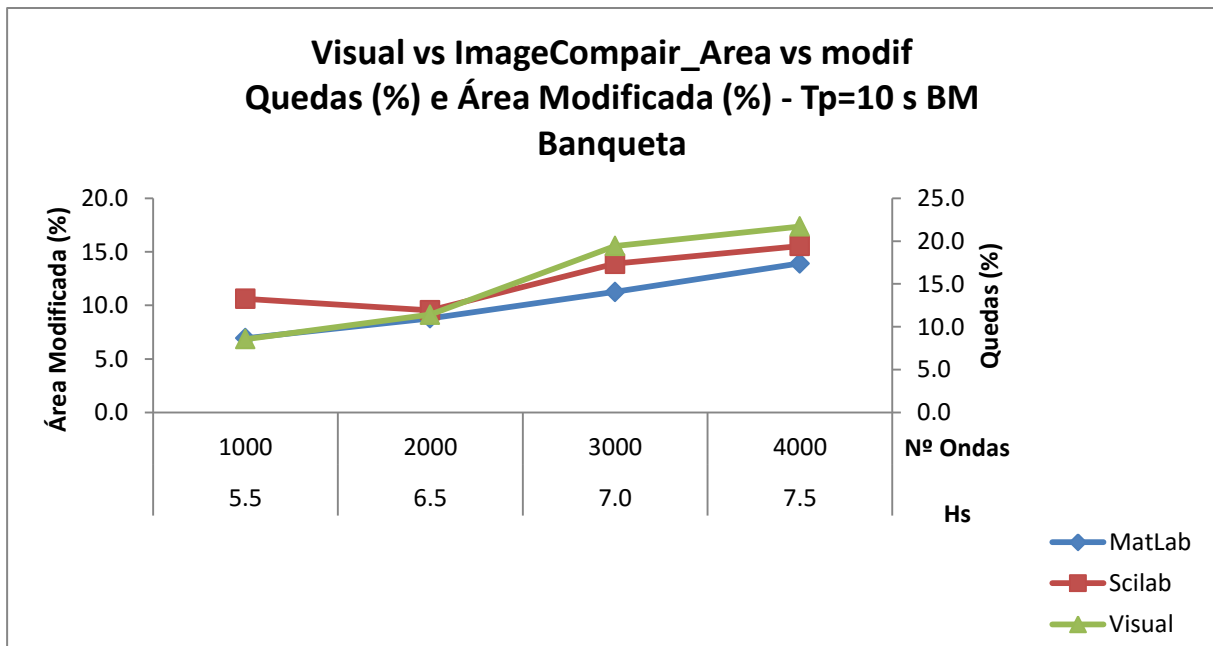


Figura 5.63 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, da banquetta para Tp=10 s BM

Da análise do gráfico referente à banquetta do pé de talude para o ensaio realizado com Tp=10 s e Preia-mar (Figura 5.62), ocorreu um crescimento da percentagem de quedas ao longo dos ensaios, sendo o método de comparação de imagens que utiliza o algoritmo ImageCompair_Area que mais o que mais se aproxima do método de contagem visual.

Comparando os dois algoritmos, é de notar que o algoritmo modif é o que apresenta maiores variações ao longo do ensaio, podendo essas variações ser justificadas pela capacidade “auto-regenerativa” da banquetta, isto é, no local onde num determinado levantamento existia uma considerável área removida, no levantamento seguinte podem voltar a ser preenchido devido a arrastamento de outros bloco do manto resistente ou reposição do próprio enrocamento. As variações são mais significativas no caso do algoritmo modif (maiores) do que no caso ImageCompair_Area (menores) e podem dever-se a sensibilidade de cada algoritmo e ao facto do algoritmo ImageCompair_Area desprezar alterações com dimensões inferiores a 1 cm².

Da análise do gráfico correspondente à banquetta do pé de talude nos ensaios realizados com Tp=10 s Baixa-mar (Figura 5.63), verifica-se que todos os métodos comparados apresentam uma evolução semelhante ao longo dos ensaios, sendo o crescimento da percentagem de área modificada para os dois algoritmos compatível com a percentagem de quedas. Comparando os algoritmos de comparação de imagens, o algoritmo modif apresenta uma percentagem de área modificada superior ao obtido através do algoritmo ImageCompair_Area. Embora se

verifique um ligeiro decréscimo da área modificada obtida através do algoritmo modif, no levantamento correspondente a Hs=6.5 m, este pode ser justificado também pela capacidade “auto-regeneradora” da banquetta.

5.4.2.2 - $T_p=14$ s

Para o manto resistente e para a banquetta do pé de talude, na Tabela 5.27 é apresentado o resumo dos resultados, dos ensaios realizados com $T_p=14$ s, para comparação entre o método de contagem visual e o método de comparação de imagens utilizando o algoritmo ImageCompair_Area, em MATLAB, e o algoritmo modif, em Scilab. Os resultados apresentados para o método de contagem visual correspondente à percentagem de quedas e para os métodos de comparação de imagem à percentagem de área modificada.

Tabela 5.27 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com os algoritmos ImageCompair_Area.mat e modif.sci para os ensaios realizados com $T_p=14$ s

Am (%) & Q%		Hs	5.5	6.5	7.5	8.0	8.5	9.0
		Nw	1000	2000	3000	4000	5000	6000
Tp=14 s PM	MatLab	Manto	5.5	6.5	7.9	12.6	41.2	41.5
		Banq.	7.1	8.2	8.3	10.9	14.7	15.4
	Scilab	Manto	1.5	2.0	2.3	3.2	13.4	13.3
		Banq.	3.8	5.1	5.5	9.1	10.3	12.2
	Visual	Manto	0.3	0.3	0.9	1.4	2.6	3.4
		Banq.	9.7	12.0	14.3	18.9	28.6	38.3
Tp=14 s BM	MatLab	Manto	7.2	11.5	14.2	16.0	17.4	-
		Banq.	4.9	6.4	11.7	16.3	21.4	-
	Scilab	Manto	5.2	8.0	9.2	10.8	10.6	-
		Banq.	6.5	7.8	18.1	23.4	23.5	-
	Visual	Manto	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	-
		Banq.	4.6	7.4	13.7	29.7	46.3	-

São apresentados os gráficos que permitem relacionar a percentagem de quedas dos tetrápodos do manto resistente obtido através de contagem visual e a percentagem de área modificada do manto resistente, obtido por dois algoritmos, o ImageCompair_Area e pelo algoritmo modif, sendo a Figura 5.64 referente ao ensaio realizado com $T_p=14$ s Preia-mar (PM) e a Figura 5.65 ao ensaio realizado com $T_p=14$ s Baixa-mar (BM).

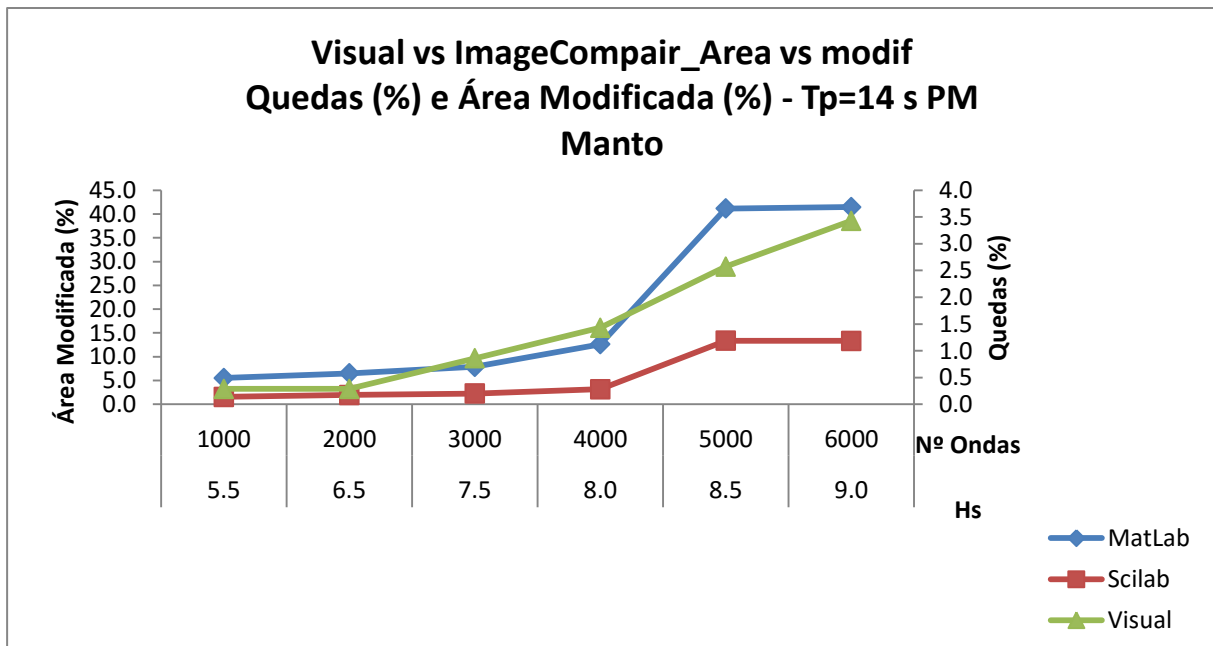


Figura 5.64 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, do manto resistente para $T_p=14$ s PM

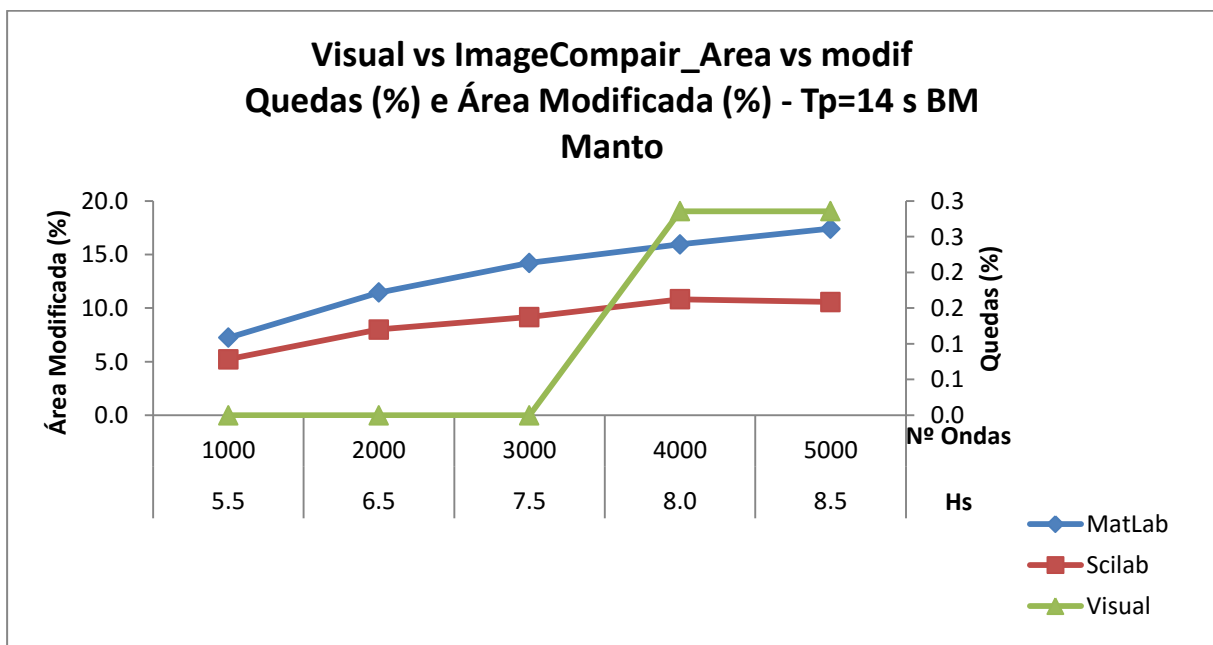


Figura 5.65 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, do manto resistente para $T_p=14$ s BM

Observando o gráfico referente ao ensaio realizado com $T_p=14$ s Preia-mar (Figura 5.64) verifica-se que a evolução da percentagem da área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area é a que mais se aproxima da percentagem de quedas de tetrápodos do manto resistente. Comparando os dois algoritmos de comparação de imagens, é de notar que

embora tenham os dois uma evolução semelhante, a percentagem da área modificada obtida pelo algoritmo ImageCompair_Area é superior ao do algoritmo modif. O aumento acentuado entre o levantamento referente a Hs=8.0 m, realizado no primeiro dia de ensaios, e o levantamento referente a Hs=8.5 m pode dever-se a diferenças nas condições de captação das imagens, como a intensidade de luz e poeiras em suspensão na água.

Da análise do gráfico referente ao ensaio realizado com o $T_p=14$ s Baixa-mar (Figura 5.65) não é possível estabelecer uma relação entre a evolução da percentagem de quedas e os métodos de comparação de imagens, pois não se registaram quedas para os três primeiros levantamentos. Comparando os métodos de comparação é de notar a obtenção de uma área modificada superior através do algoritmo ImageCompair_Area, embora ambos os algoritmos apresentem uma evolução semelhante.

Na Figura 5.66 e na Figura 5.67 são apresentados os gráficos com a comparação entre o método de contagem visual e os métodos de comparação de imagens utilizando o algoritmo ImageCompair_Area e o modif, da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com $T_p=14$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM) respetivamente.

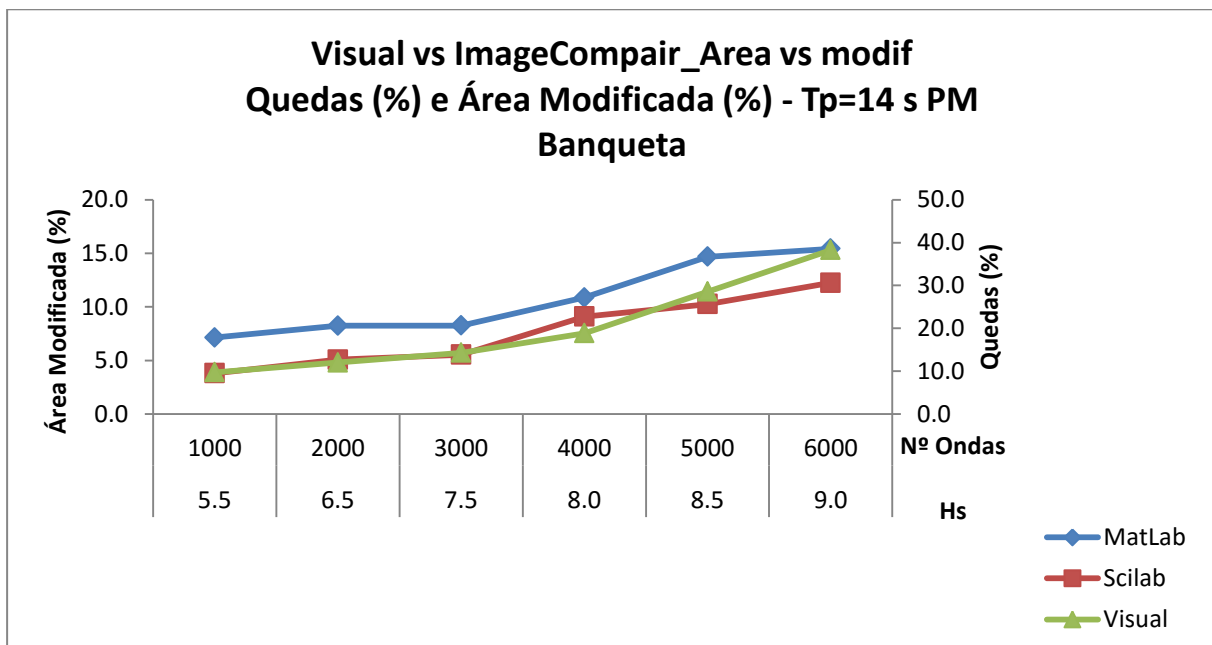


Figura 5.66 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, da banquetta para $T_p=14$ s PM

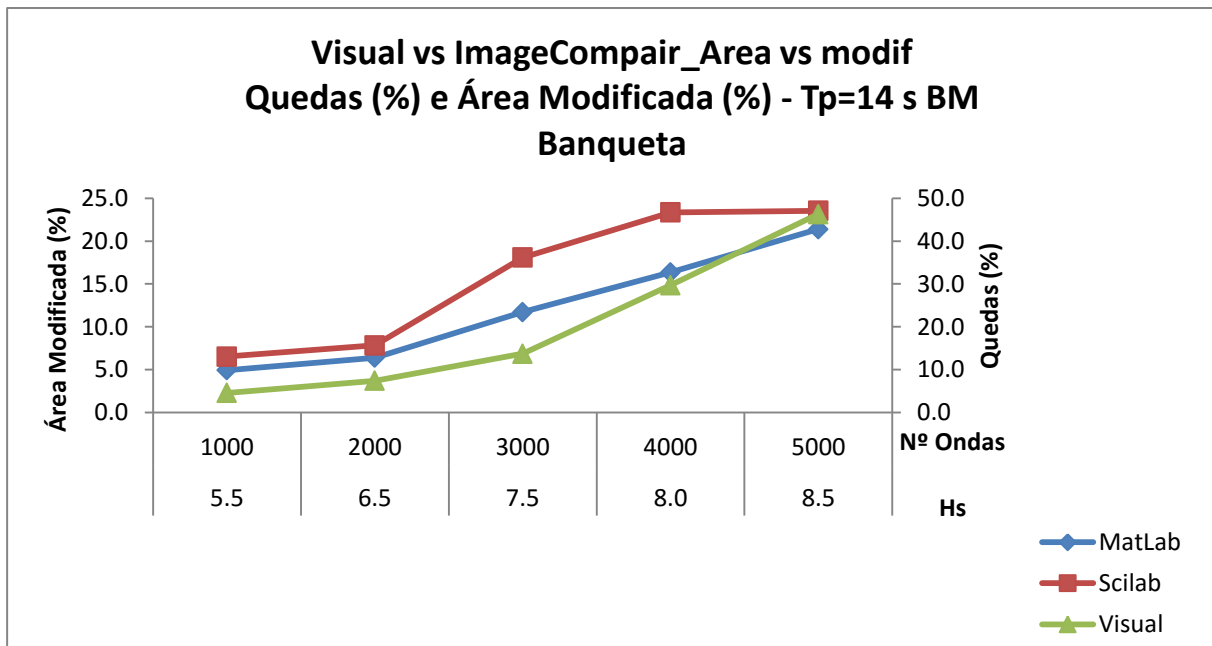


Figura 5.67 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, da banquetta para Tp=14 s BM

Da análise do gráfico comparativo para o ensaio realizado com Tp=14s Preia-mar (Figura 5.66) é de notar um crescimento semelhante entre a percentagem de quedas do enrocamento que compõe a banquetta do pé de talude e a percentagem de área modificada obtida por ambos os algoritmos de comparação de imagens. Comparando os dois algoritmos pode verificar-se que a percentagem de área modificada é superior para o algoritmo ImageCompair_Area.

Analisando o gráfico referente ao ensaio realizado com Tp=14 s Baixa-mar (Figura 5.67) é visível que todos os métodos comparados verificam um aumento ao longo do ensaio. Também se pode observar que o andamento da percentagem de área modificada obtido pelo algoritmo modif não coincide com a percentagem de quedas obtidas por contagem visual, apresentando uma tendência a estabilizar. Por outro lado a evolução da percentagem de área modificada pelo algoritmo ImageCompair_Area é a que mais se aproxima da percentagem de quedas obtido por contagem visual, isto pode dever-se a este algoritmo não considerar áreas modificadas inferiores a 1 cm². Comparando os dois algoritmos de comparação de imagens, o algoritmo modif é o que apresenta valores superiores de percentagem de área modificada embora apresente uma tendência a estabilizar nos últimos levantamentos.

5.4.2.3 - $T_p=18$ s

Para o manto resistente e para a banquetta do pé do talude, na Tabela 5.28 é apresentado o resumo dos resultados dos ensaios realizados com $T_p=18$ s, para comparação entre o método de contagem visual e o método de comparação de imagens utilizando o algoritmo ImageCompair_Area, em MATLAB, e o algoritmo modif, em Scilab.

Tabela 5.28 – Comparação entre os resultados obtidos com o método de contagem visual e com os algoritmos ImageCompair_Area.mat e modif.sci para os ensaios realizados com $T_p=18$ s

Am (%) & Q%		Hs	5.5	6.5
		Nw	1000	2000
Tp=18 s PM	MatLab	Manto	3.2	4.3
		Banq.	7.6	12.5
	Scilab	Manto	3.0	4.3
		Banq.	5.3	8.5
	Visual	Manto	0.0	0.0
		Banq.	8.6	18.9
Tp=18 s BM	MatLab	Manto	0.1	0.7
		Banq.	8.4	11.5
	Scilab	Manto	0.0	0.2
		Banq.	3.8	3.6
	Visual	Manto	0.0	0.0
		Banq.	14.3	21.7

Na Figura 5.68 e na Figura 5.69 são apresentados os gráficos que relacionam a percentagem de quedas dos tetrápodos do manto resistente e o a percentagem de área modificada do manto obtida através de dois algoritmos, o ImageCompair_Area e o modif, para o $T_p=18$ s PM e BM respetivamente.

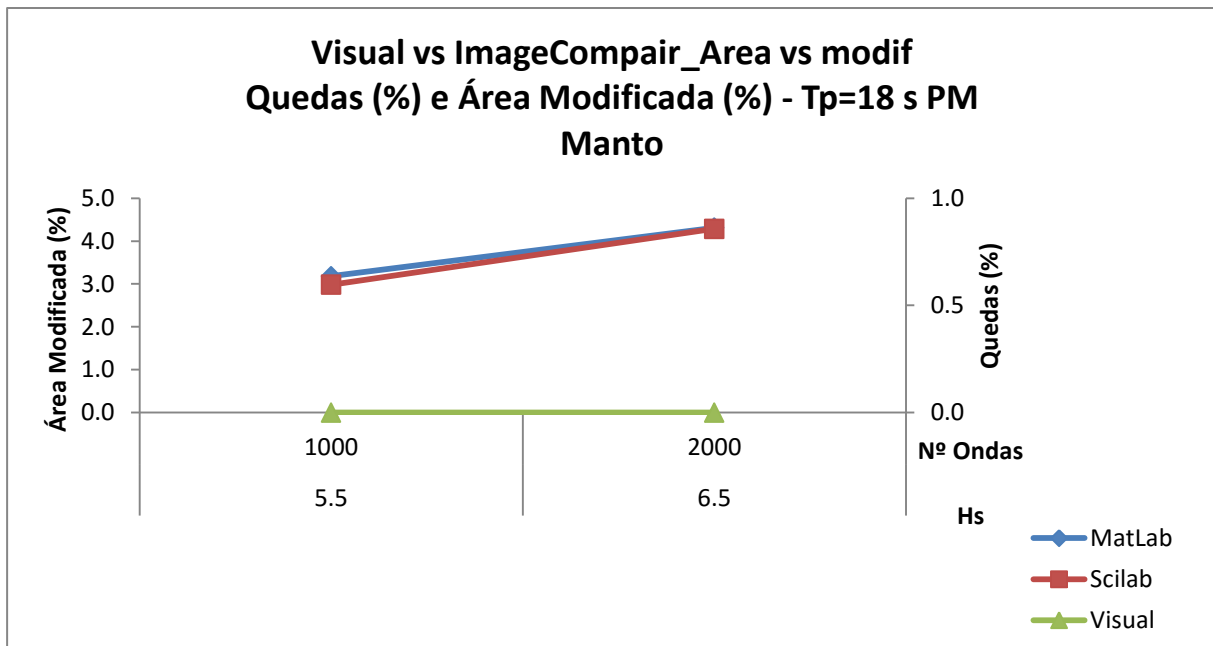


Figura 5.68 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, do manto resistente para Tp=18 s PM

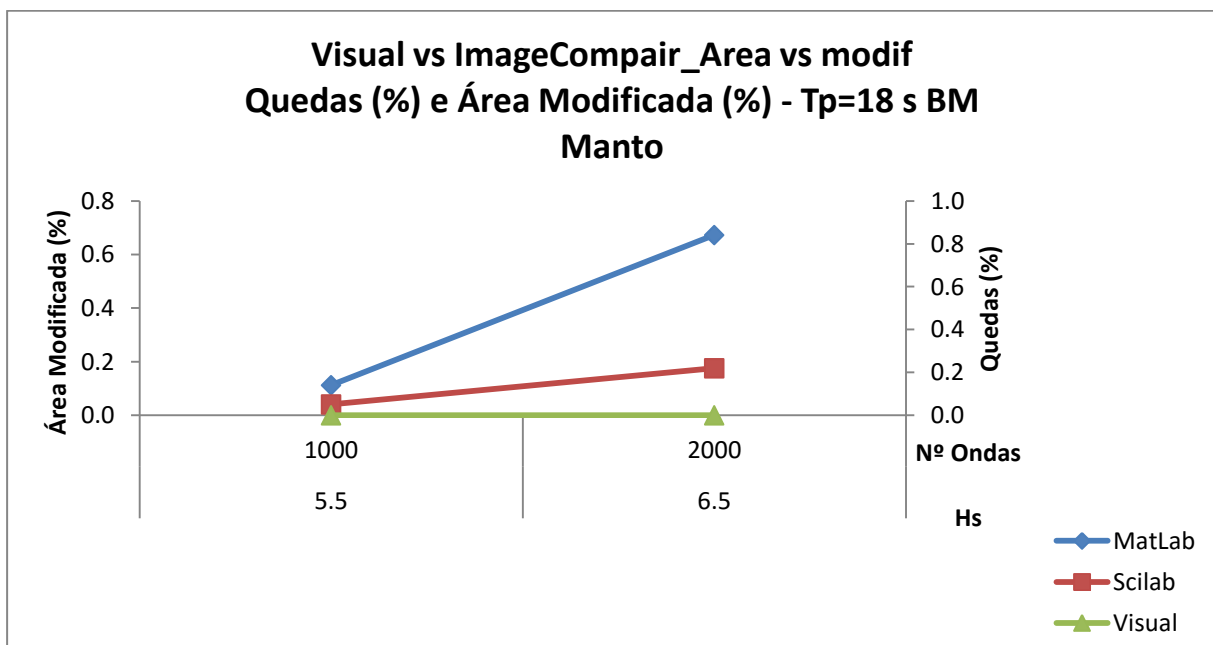


Figura 5.69 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através do algoritmo ImageCompair_Area e do modif, do manto resistente para Tp=18 s BM

Para os ensaios realizados com Tp=18 s, não é possível relacionar a percentagem de quedas dos tetrápodos do manto resistente com a área modificada obtida pelos algoritmos de comparação de imagens pois não se registaram quedas de tetrápodos, sendo a percentagem de quedas nula.

Da análise do gráfico referente ao ensaio realizado com $T_p=18$ s Preia-mar (Figura 5.68) é possível comparar os dois algoritmos de comparação de imagens, que apresentaram valores idênticos para os dois levantamentos efetuados, existindo um aumento da percentagem de área modificada ao longo do ensaio.

Analisando o gráfico relativo ao ensaio com o $T_p=18$ s Baixa-mar (Figura 5.69) e comparando ambos os algoritmos de comparação de imagens, é visível que o algoritmo ImageCompair_Area apresenta um aumento da percentagem de área modificada superior ao algoritmo modif, embora não se possa prever o andamento futuro da mesma devido ao número reduzido de levantamentos.

Na Figura 5.70 e na Figura 5.71 são apresentados os gráficos com a comparação entre o método de contagem visual e os métodos de comparação de imagens utilizando o algoritmo ImageCompair_Area e o modif, da banquetta do pé de talude para o $T_p=18$ s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), respetivamente.

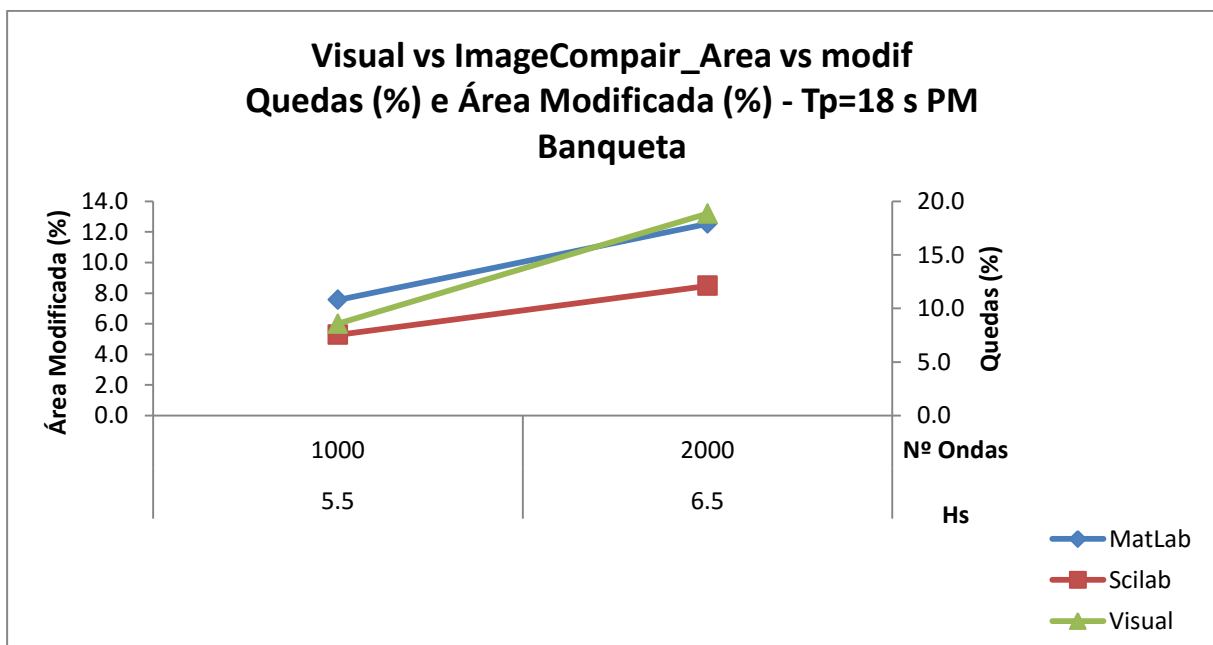


Figura 5.70 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através dos algoritmos ImageCompair_Area e modif, da banquetta para $T_p=18$ s PM

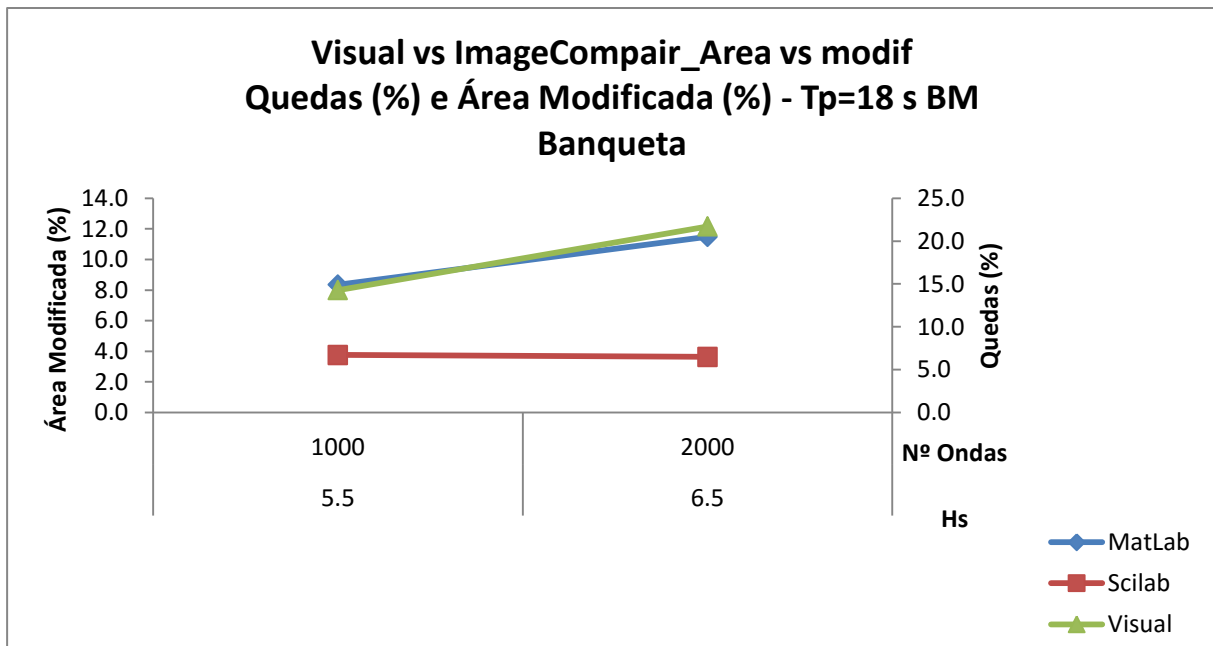


Figura 5.71 – Percentagem de quedas e percentagem de área modificada obtida através dos algoritmos ImageCompair_Area e modif da banquetta para Tp=18 s BM

Analisando o gráfico que compara os métodos para o ensaio realizado com Tp=18 s Preia-mar (Figura 5.70) verifica-se que todos apresentam um crescimento semelhante, contudo não se pode prever a evolução futura de cada método devido ao reduzido número de levantamentos. Analisando os dois algoritmos de comparação de imagens, estes apresentam um crescimento da percentagem de área modificada semelhante, sendo o valor obtido pelo algoritmo ImageCompair_Area maior comparativamente ao obtido pelo algoritmo modif.

Da análise do gráfico que ilustra o ensaio realizado com Tp= 18 s Baixa-mar (Figura 5.71), é de notar que a percentagem de área modificada obtida pelo algoritmo ImageCompair_Area é o único que segue a tendência da percentagem de quedas da banquetta obtida por contagem visual. Também se pode constatar que existe um decréscimo da percentagem da área modificada obtida pelo algoritmo modif, contudo não se pode afirmar que essa seja a tendência real, dada por esse algoritmo, devido ao número reduzido de levantamentos.

6 - CÁLCULO DA ÁREA ERODIDA E DO DANO ATRAVÉS DO VOLUME ERODIDO

Ao longo do presente trabalho e com o aumento dos conhecimentos na área da estereofotogrametria e das formas de avaliação do dano, surgiu a necessidade de agilizar os procedimentos utilizados. Para tal, foi desenvolvida uma extensão do algoritmo TratamentoAutomatico_Envolv, já existente, a fim de calcular o volume sob a superfície reconstruída.

O cálculo do volume é baseado no cálculo do volume de um tronco de prisma (Figura 6.1), que é dado pela Eq. 6.1.

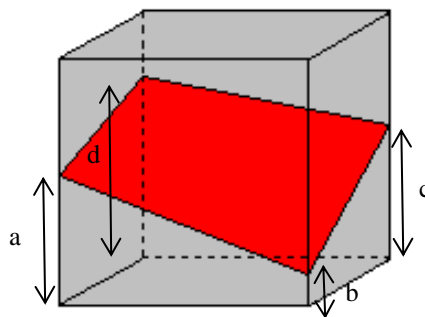


Figura 6.1 – Tronco de prisma

$$V = \frac{(a + b + c + d)}{4} \cdot Ab$$

Eq. 6.1

sendo:

- V – Volume do tronco de prisma;
- a, b, c e d – Comprimento das arestas verticais do tronco de prisma;
- Ab – Área da base.

O algoritmo TratamentoAutomatico_Envolv faz a reconstrução da superfície sob uma malha retangular com as coordenadas de cada ponto da quadrícula segundo o eixo xx definido pela matriz XI e as coordenadas segundo o eixo yy definido pela matriz YI. A cota z de cada ponto da malha é dada pela matriz ZI.

A partir destas matrizes pode dividir-se a superfície reconstruída em n troncos de prisma, sendo: $n = (n^{\circ} \text{ colunas da matriz XI}-1) \times (n^{\circ} \text{ linhas da matriz XI}-1)$.

O algoritmo de cálculo do volume utiliza as matrizes XI e YI, que definem as coordenadas da malha segundo o eixo xx (XI) e o eixo yy (YI) para calcular a área da base (A_b) de todos os prismas que compõem a superfície reconstruída. Para tal, multiplica-se a diferença de pontos coordenados dados pela matriz XI, pela diferença de pontos coordenados dado pela matriz YI, referentes a cada tronco de prisma. Os pontos da malha, são igualmente espaçados, segundo o eixo x e segundo o eixo y.

Para se assegurar que a malha de levantamentos distintos é a mesma, tem de se assegurar que não existem alterações na posição das câmaras em relação a zona em estudo e nos parâmetros de focagem das câmaras.

Após calculado a área da base (A_b), é determinado o comprimento das quatro arestas associadas a cada tronco de prisma, sendo estas fornecidas pela matriz ZI, e feita a sua média aritmética.

A determinação do volume do tronco de prisma é efetuada através do produto da média aritmética das quatro arestas pela área da base. Como a superfície reconstruída é composta por múltiplos troncos de prisma, basta fazer-se a soma do volume de todos os troncos de prismas individuais para se obter o volume total abaixo da superfície reconstruída.

É necessário ter em atenção que se a superfície a calcular se encontrar submersa, visto que, nesse caso, o resultado do volume será negativo, o que não corresponde à realidade. Para evitar volumes negativos, é necessário somar à matriz ZI um valor superior à maior profundidade no modelo, a fim de não existirem cotas negativas.

Ao desenvolver este algoritmo, verificou-se que o mesmo permitia calcular a área erodida média (A_e) do talude, sem a necessidade de extração de perfis e o correspondente dano (S), tendo sido criado o algoritmo final TratamentoAutomatico_Vol em MATLAB.

Para calcular a área erodida média (A_e) entre levantamentos da mesma série de ensaios a partir do volume das suas superfícies reconstruídas é necessário filtrar a diferença entre volumes, das superfícies reconstruídas a comparar, removendo-se o volume referente a acreção. Para tal, é feita a diferença entre os troncos de prisma correspondentes ao levantamento inicial e os restantes levantamentos e sempre que essa diferença for menor que 0 então esse valor vai ser igualado a 0. Sabendo as diferenças de volumes filtrados, obtemos o volume total erodido da secção. A partir deste volume, bastará dividi-lo pela largura da secção

transversal em estudo, para se obter a área erodida. É então possível calcular o dano (S), introduzindo no algoritmo, o valor do diâmetro nominal (Dn)

Para se limitar o cálculo à zona ativa do manto ou a outra zona de interesse o algoritmo permite introduzir manualmente o intervalo de coordenadas x e y que se pretende analisar.

No Anexo 9 é apresentado o código do algoritmo TratamentoAutomatico_Vol para cálculo do volume erodido, da área erodida e do dano a ela associado.

6.1 - Manto Resistente

Na Tabela 6.1 e na Tabela 6.2 é apresentado o resumo comparativo entre o método do volume e o da extração de perfis, para o manto resistente e para os ensaios realizados com $T_p=10$ s e $T_p=14$ s respetivamente.

Tabela 6.1 – Resumo de dados da área erodida (Ae) e dano (S) através do método do volume e dos perfis, do manto para $T_p= 10$ s

Manto	Hs		5.5	6.5	7.0(BM)-7.5(PM)	7.5(BM)-8.0(PM)
	Nw		1000	2000	3000	4000
Tp=10 s PM	Vol.	sV	1565.48	3551.36	1313.11	3314.61
		\bar{Ae}	26.99	61.23	22.64	57.15
		\bar{S}	1.39	3.16	1.17	2.95
	Perfis	\bar{Ae}	27.86	68.23	27.68	62.49
		\bar{S}	1.44	3.52	1.43	3.23
Tp=10 s BM	Vol.	sV	1846.02	1724.10	1426.18	1899.22
		\bar{Ae}	31.83	29.73	24.59	32.75
		\bar{S}	1.64	1.54	1.27	1.69
	Perfis	\bar{Ae}	28.73	27.98	25.94	30.98
		\bar{S}	1.48	1.45	1.34	1.60

Tabela 6.2 – Resumo de dados da área erodida (Ae) e dano (S) através do método do volume e dos perfis, do manto para Tp= 14 s

Manto	Hs	5.5	6.5	7.5	8.0	8.50	9.00	
	Nw	1000	2000	3000	4000	5000	6000	
Tp=14 s PM	Vol.	sV	908.5	535.9	737.3	2476.2	747.3	851.0
		\bar{Ae}	15.7	9.2	12.7	42.7	12.9	14.7
		\bar{S}	0.8	0.5	0.7	2.2	0.7	0.8
	Perfis	\bar{Ae}	17.4	9.1	13.9	43.4	9.0	12.1
		\bar{S}	0.9	0.5	0.7	2.2	0.5	0.6
Tp=14 s BM	Vol.	sV	512.4	403.1	385.2	809.0	547.7	-
		\bar{Ae}	8.8	6.9	6.6	13.9	9.4	-
		\bar{S}	0.5	0.4	0.3	0.7	0.5	-
	Perfis	\bar{Ae}	8.0	5.3	3.6	11.0	7.3	-
		\bar{S}	0.4	0.3	0.2	0.6	0.4	-

Na Figura 6.2 e na Figura 6.3 é ilustrada a área erodida do manto resistente dos ensaios realizados com Tp=10s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), respetivamente, calculado pelo algoritmo TratamentoAutomatico_Vol e pelo CompararPerfisVariosLev.

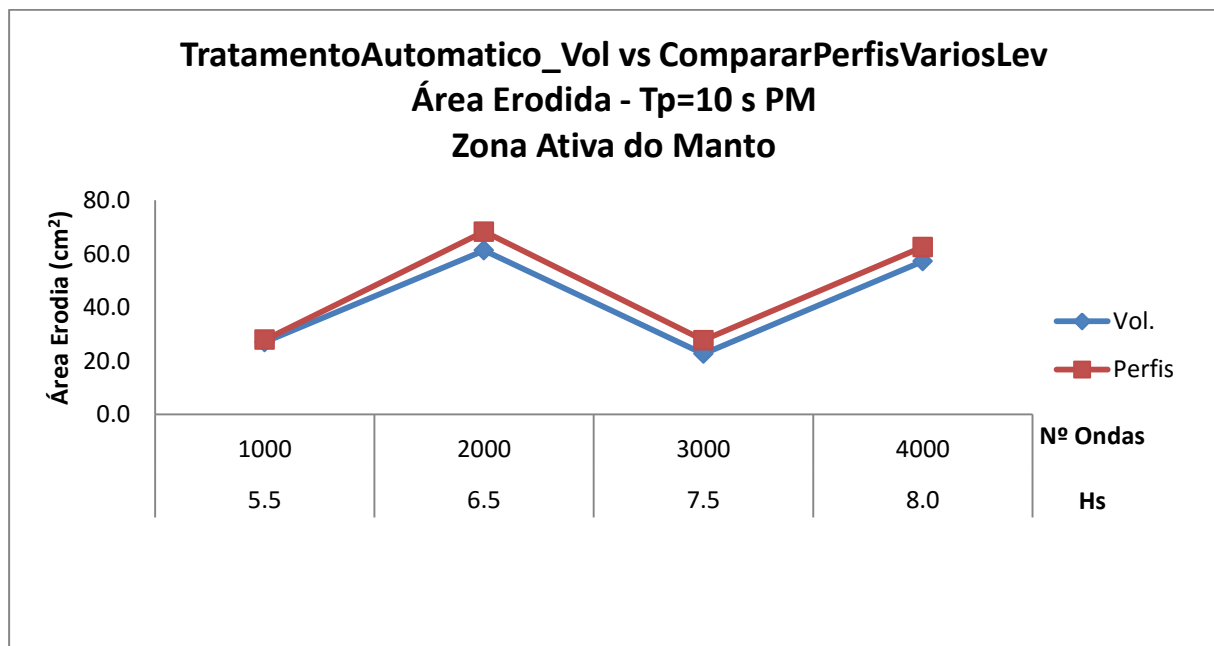


Figura 6.2 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, do manto para Tp=10 s PM

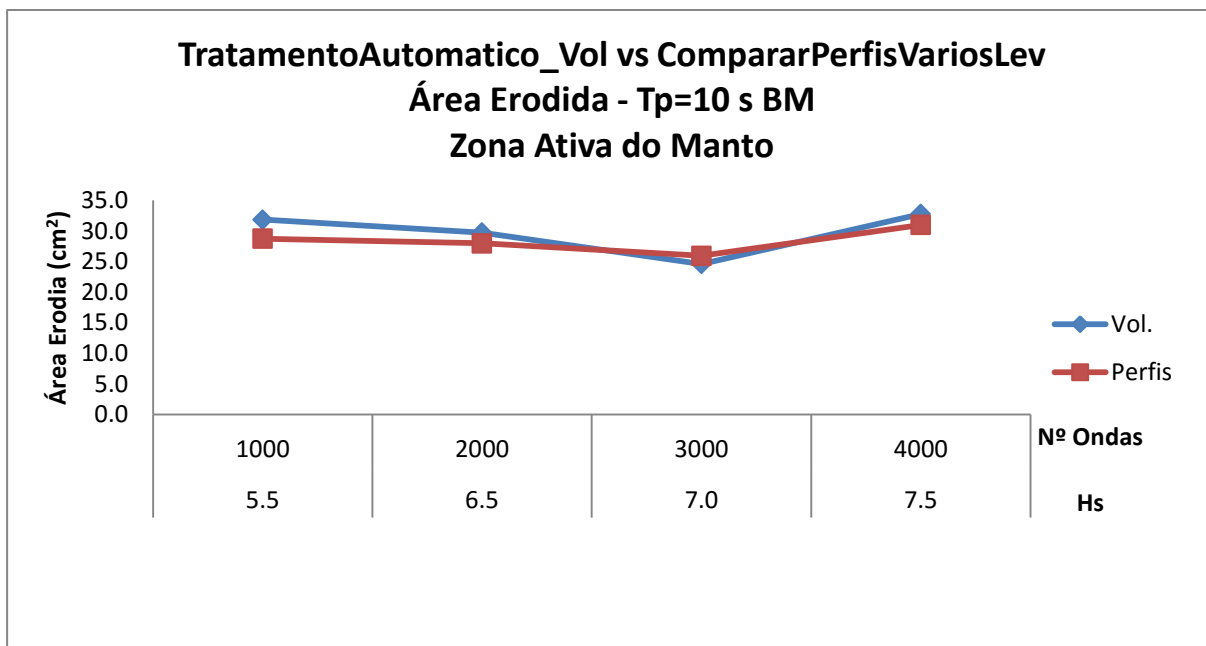


Figura 6.3 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, do manto para Tp=10 s BM

Na Figura 6.4 e na Figura 6.5 é ilustrada a área erodida do manto resistente dos ensaios realizados com Tp=14s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), respetivamente, calculado pelo algoritmo TratamentoAutomatico_Vol e pelo CompararPerfisVariosLev.

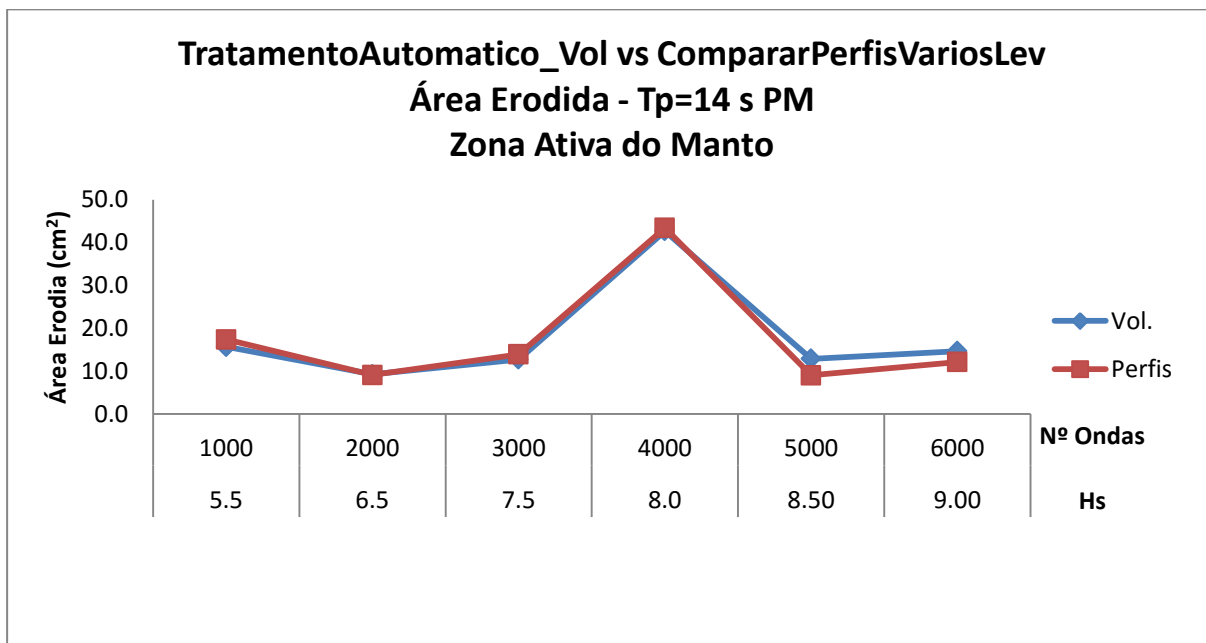


Figura 6.4 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, do manto para Tp=14 s PM

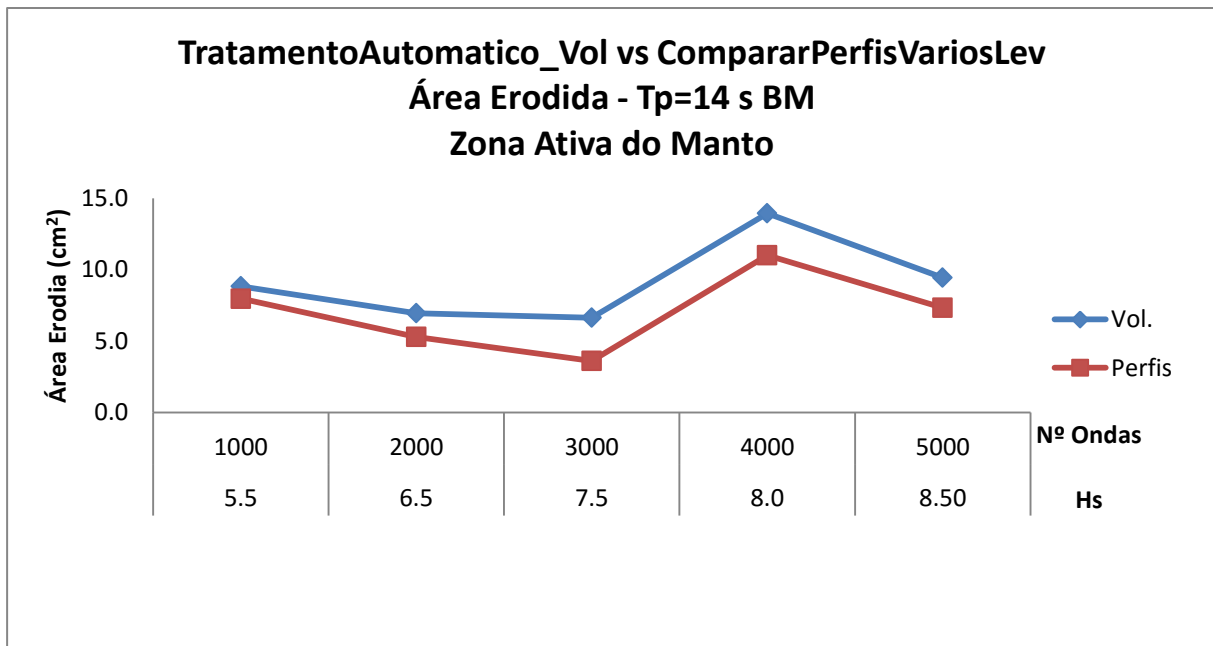


Figura 6.5 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, do manto para Tp=14 s BM

Como se pode se pode verificar, e seria expetável, não existem diferenças significativas entre ambos os algoritmos à exceção do ensaio realizado com Tp=14 s Baixa-mar (Figura 6.5) onde os valores obtidos através do algoritmo TratamentoAutomatico_Vol são superiores aos obtidos através do algoritmo CompararPerfisVariosLev. Este fato pode dever-se ao local onde foram extraídos os perfis para cálculo da área erodida ser por algum motivo menos afetado, existindo uma minoração da área erodida.

6.2 - Banqueta do Pé do Talude

Na Tabela 6.3 e na Tabela 6.4 é apresentado o resumo comparativo entre o método do volume e o da extração de perfis, para a banquetta do pé de talude dos ensaios realizados com Tp=10 s e Tp=14 s, respetivamente.

Tabela 6.3 – Resumo de dados da área erodida (Ae) e dano (S) através do método do volume e dos perfis, da banquetta para Tp= 10 s

Banqueta		Hs	5.5	6.5	7.0(BM)-7.5(PM)	7.5(BM)-8.0(PM)
		Nw	1000	2000	3000	4000
Tp=10 s PM	Vol.	sV	873.63	1479.74	703.06	1631.33
		\bar{Ae}	15.06	25.51	12.12	28.13
	Perfis	\bar{Ae}	16.79	25.25	11.71	25.80
Tp=10 s BM	Vol.	sV	1131.80	1362.27	1594.02	1662.76
		\bar{Ae}	19.51	23.49	27.48	28.67
	PERfis	\bar{Ae}	16.42	21.03	24.33	26.39

Tabela 6.4 – Resumo de dados da área erodida (Ae) e dano (S) através do método do volume e dos perfis, da banquetta para Tp= 14 s

Banqueta		Hs	5.5	6.5	7.5	8.0	8.50	9.00
		Nw	1000	2000	3000	4000	5000	6000
Tp=14 s PM	Vol.	sV	862.91	1069.56	981.29	987.74	3605.37	4130.04
		\bar{Ae}	14.88	18.44	16.92	17.03	62.16	71.21
	Perfis	\bar{Ae}	12.93	15.46	13.94	15.87	58.05	65.45
Tp=14 s BM	Vol.	sV	742.77	503.92	639.84	1361.58	1867.10	-
		\bar{Ae}	12.81	8.69	11.03	23.48	32.19	-
	Perfis	\bar{Ae}	15.78	9.64	12.28	25.13	32.32	-

Na Figura 6.6 e na Figura 6.7 apresentam-se os gráficos com a comparação da área erodida da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com Tp=10s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), respetivamente, calculado pelo algoritmo TratamentoAutomatico_Vol e pelo CompararPerfisVariosLev.

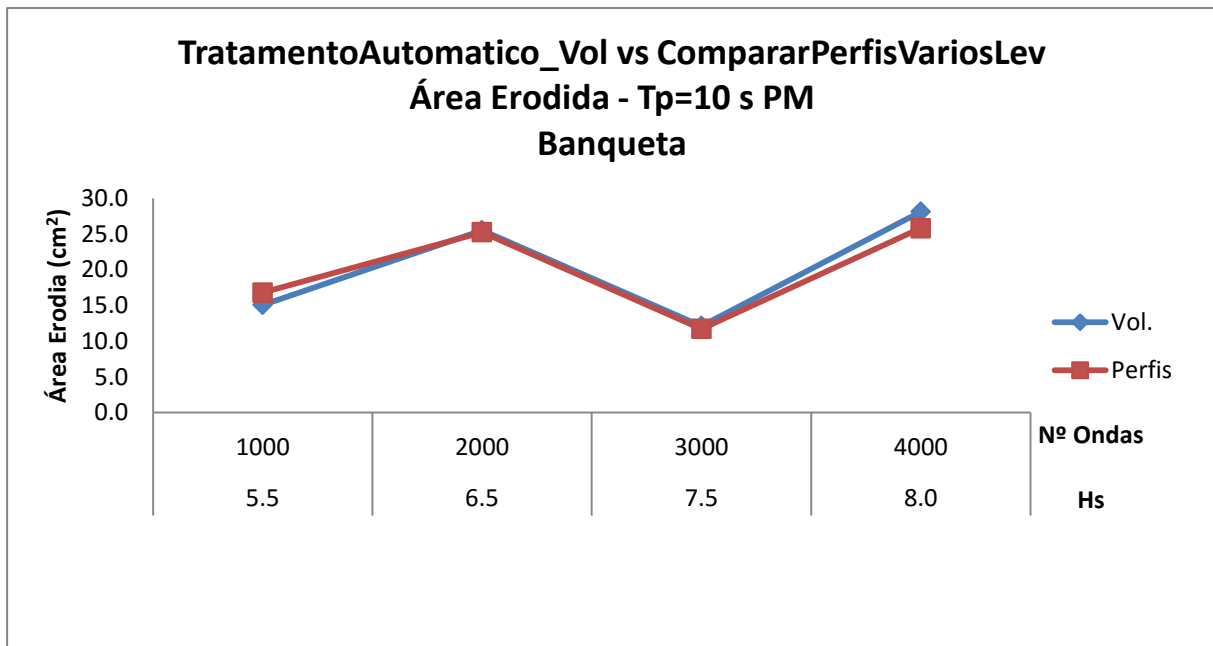


Figura 6.6 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, da banquetta para Tp=10 s PM

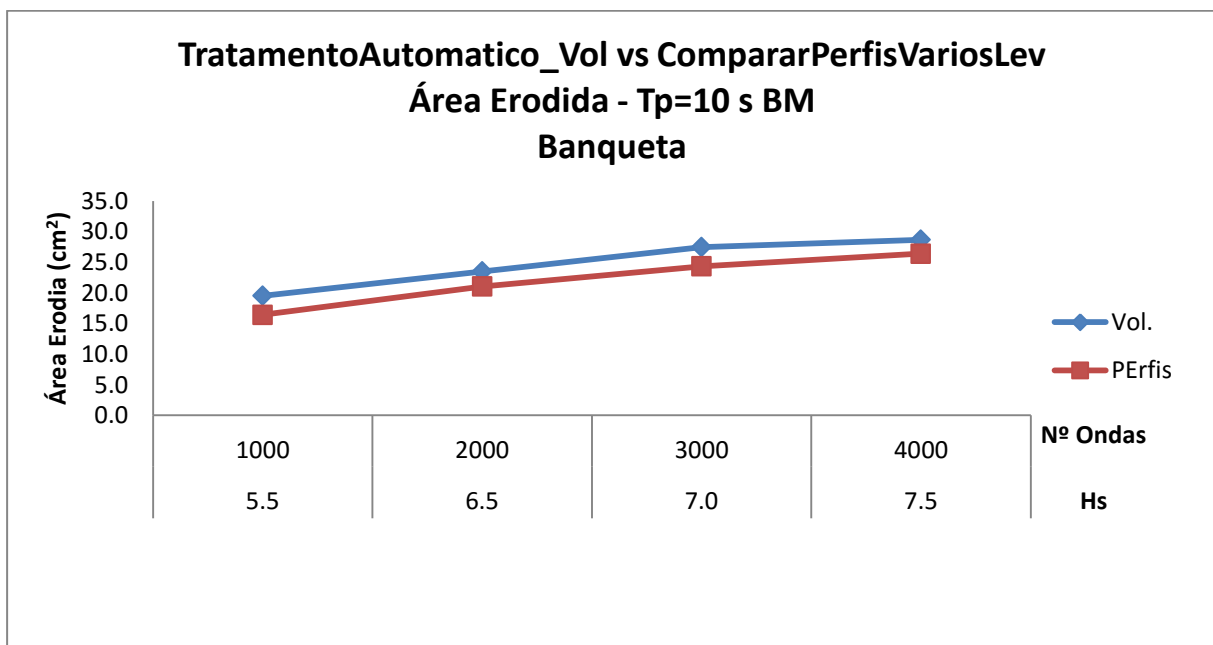


Figura 6.7 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, da banquetta para Tp=10 s BM

Na Figura 6.8 e na Figura 6.9 apresentam-se os gráficos com a comparação da área erodida da banquetta do pé de talude para os ensaios realizados com Tp=14 s Preia-mar (PM) e Baixa-mar (BM), respetivamente, calculado pelo algoritmo TratamentoAutomatico_Vol e pelo CompararPerfisVariosLev.

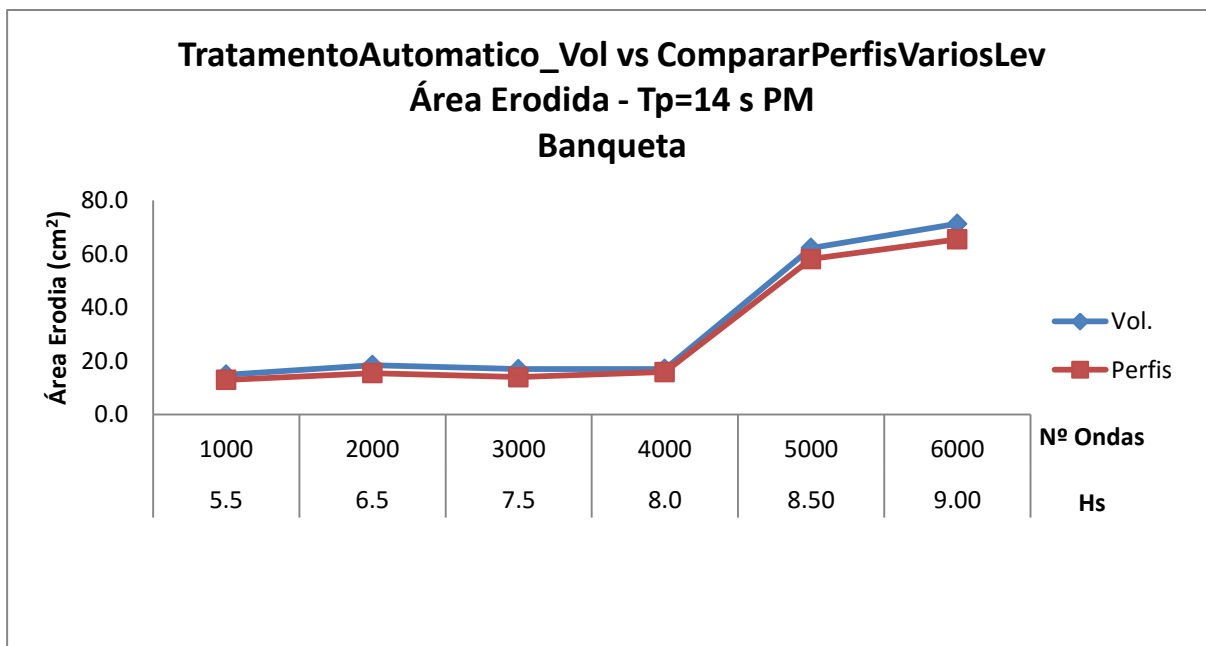


Figura 6.8 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, da banquetta para Tp=14 s PM

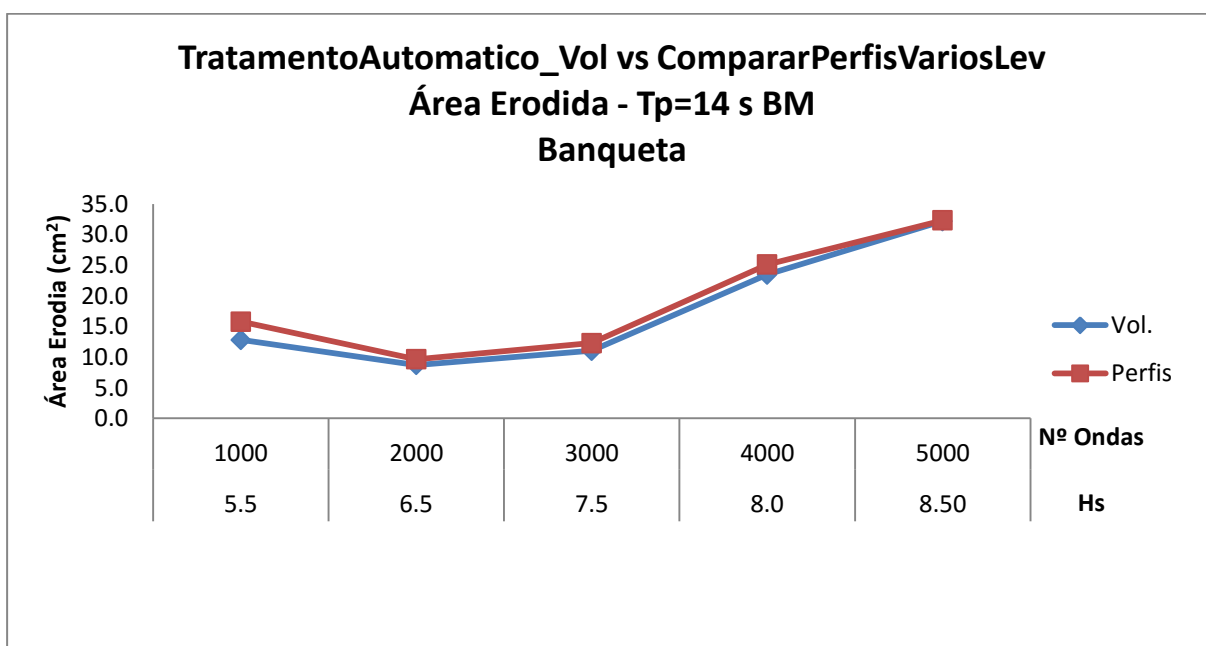


Figura 6.9 – Área erodida obtida através do método do volume e dos perfis, da banquetta para Tp=14 s BM

Como se pode verificar da análise dos gráficos anteriormente referidos, pode concluir-se que as diferenças entre os métodos são muito reduzidas, podendo estas apenas estar relacionadas pelo local onde é efetuado a extração dos perfis no caso do método dos perfis.

Após a comparação de ambos os métodos, é clara a vantagem do método dos volumes, dado a área erodida não ser influenciada pelo local onde se extraem os perfis. Também a obtenção do valor da área erodida (A_e) e do dano (S) se torna mais célere visto que o método foi desenvolvido como uma extensão do algoritmo já existente de reconstrução das superfícies. Apresenta como desvantagem não ser graficamente visível quais as zonas onde existe erosão, ao contrário do método dos perfis, onde se consegue identificar essas zonas ao longo dos perfis.

7 - CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como objetivo principal a aplicação de diferentes técnicas de análise fotogramétricas na avaliação da evolução do dano em modelos físicos reduzidos de quebra-mares de taludes. Foram também implementados procedimentos para facilitar quer a aplicação dessas técnicas quer a obtenção de resultados. De modo a identificar as vantagens e limitações de cada método, foi feito um estudo comparativo entre a evolução do dano obtida através dos métodos utilizados, tomando como base de referência a evolução do dano obtida através da contagem de blocos removidos (contagem visual).

No capítulo 2 foi feito o enquadramento do presente trabalho na temática da avaliação do dano em quebra-mares de taludes, descrevendo-se os principais tipos de quebra-mares, as ações a que estão sujeitos e modos de falha, bem como os princípios de pré-dimensionamento dos quebra-mares de taludes.

No Capítulo 3, foram apresentados alguns conceitos sobre modelação física, bem como algumas considerações sobre a sua importância no dimensionamento de quebra-mares. Foram ainda apresentados alguns métodos de avaliação do dano em modelos físicos de quebra-mares de taludes.

No Capítulo 4 foi apresentado o caso de estudo, descrevendo-se a localização e as características do quebra-mar sul do Porto da Praia da Vitória. Foram ainda descritas as instalações e as condições experimentais dos ensaios de estabilidade realizados e respetivos níveis de maré e condições de agitação incidentes. Apresentou-se também o equipamento utilizado na medição da agitação e o utilizado para aquisição de imagens, assim como os diferentes métodos de avaliação do dano e o procedimento aplicado especificamente aos ensaios de estabilidade do quebra-mar da Praia da Vitória.

No Capítulo 5 foram apresentados e analisados os resultados dos métodos de contagem visual, estereofotogrametria e comparação de imagens e efetuada uma análise comparativa entre os resultados destes métodos.

No Capítulo 6 descreveu-se o novo algoritmo desenvolvido para quantificação da área erodida e do dano a partir do cálculo do volume da superfície reconstruída do quebra-mar. Foi ainda feita a análise comparativa entre este algoritmo e o de extração de perfis (CompararPerfisVariosLev.mat).

Do trabalho realizado, resultam algumas conclusões e recomendações quanto à utilização das diferentes técnicas.

No que diz respeito à avaliação da evolução da área erodida através do método estereofotogramétrico, os resultados deste método são bastante satisfatórios, tanto quantitativos como qualitativos, merecendo, no entanto, os seguintes cuidados durante a sua aplicação:

- Na fase de calibração e aquisição das imagens, recomenda-se a verificação da posição do alvo necessário à calibração, devendo estar imóvel e sempre na mesma posição entre levantamentos;
- Deve ser controlado o nível da água e se possível devem ser molhados os blocos emersos antes do início do ensaio para evitar grandes diferenças de brilho;
- É aconselhável limitar as variações de luminosidade no decorrer dos ensaios, embora isso seja um aspeto difícil devido à extensão dos ensaios;
- Deve evitar-se poeiras em suspensão na água, devendo-se esperar algum tempo para que assentem.

O método estereofotogramétrico é um método que apesar de ter de obedecer a alguns cuidados é simples e relativamente económico, sendo o que permite extrair mais informação (perfis, envolventes, áreas erodidas, dano e volumes erodidos) mesmo após a conclusão do estudo.

No que diz respeito à avaliação da evolução da área modificada através da comparação de imagens, onde foram utilizados os algoritmos ImageCompare_Area, em MATLAB e o modif, em Scilab, constata-se que esta metodologia é simples e complementar da contagem de movimentos e quedas, uma vez que possibilita a deteção de zonas modificadas não visualizadas pelo experimentador no decorrer do ensaio.

Nesta técnica, para ambos os algoritmos, é preciso ter alguns cuidados, nomeadamente:

- Evitar poeiras em suspensão na água, devendo-se, se possível, esperar que estas assentem;
- Evitar variações no brilho dos blocos e na luminosidade durante os ensaios, devendo-se molhar os blocos emersos antes do início dos ensaios;

- Escolher cuidadosamente a cor dos materiais a utilizar, sendo de evitar o preto e o branco. Os elementos que possuírem estas cores irão permanecer sempre pretos e brancos independentemente de terem sofrido ou não modificações, alterando a quantificação da área modificada.

O algoritmo ImageCompair_Area possibilita a calibração da conversão da imagem a cores para uma com escala de cinzentos e da área mínima considerada para a contabilização da área modificada, e apresenta como resultados:

- Área modificada;
- A imagem inicial e a imagem final, apresentadas lado a lado;
- A imagem inicial e a imagem final sobrepostas, com as diferenças apresentadas em tons de verde e magenta;
- Imagens com as diferenças a preto e branco.

O algoritmo modif possibilita a calibração do parâmetro de conversão da imagem a cores para uma com escala cinzentos e apresenta como resultados:

- Área modificada e área modificada em percentagem;
- Imagem das diferenças em escala de cinza;
- Imagem com as principais diferenças assinaladas;
- Imagem com as diferenças a preto e branco.

Foram obtidos resultados mais semelhantes ao método de contagem de blocos removidos (contagem visual) com a utilização do algoritmo ImageCompair_Area, dado este possibilitar a calibração do algoritmo a fim de desprezar áreas modificadas com dimensões pouco significativas. Isso evita a contabilização dessas áreas modificadas que são resultantes de fatores extrínsecos aos ensaios, como por exemplo, poeiras em suspensão na água ou elementos de dimensão considerada irrelevante.

Quanto ao algoritmo para o cálculo de volume erodido, TratamentoAutomatico_Vol.mat, permitiu otimizar o processo de cálculo da área erodida e o dano através da estereofotogrametria. Com efeito, este algoritmo foi desenvolvido como extensão do algoritmo já existente para reconstrução das superfícies e apresenta a grande vantagem, comparativamente a técnica de cálculo da área erodida através da extração de perfis, de a área erodida e o conseqüentemente o dano, não serem influenciados pelo local onde se extrai os

perfis. A obtenção da área erodida e do dano também se torna mais célere visto serem obtidos na sequência da reconstrução da superfície.

O algoritmo TratamentoAutomatico_Vol.mat apresenta como resultados:

- Volume erodido;
- Área erodida;
- Dano (S).

Como trabalho futuro pretende-se:

- Melhorar o algoritmo TratamentoAutomatico_Vol, de cálculo da área erodida através do volume, introduzindo um bloco de código que permita a visualização das zonas erodidas da superfície, bem como o registo dos resultados em ficheiro;
- Automatização e melhoramento do processo de calibração do algoritmo ImageCompair_Area, de modo a agilizar e melhorar a quantificação da área modificada;
- Melhorar o modo de calibração do algoritmo modif, com através da introdução de um parâmetro que permita desprezar as áreas modificadas de pequenas dimensões, à semelhança do algoritmo ImageCompair_Area.

8 - REFERÊNCIAS

- Broderick, L., & Ahrens, J. (1982). *Rip-rap Stability Scale Effects*. Technical Paper, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg.
- Capitão, R., & Carvalho, M. (2001). Pacote de Software Geral para Tratamento e Geração de Agitação Marítima de Curto Prazo (SAM). *Seminário sobre a Hidroinformática em Portugal*, Lisboa, Portugal (pp. 1-20).
- Contente, J. (2012). *Desenvolvimento de uma Técnica Fotogramétrica, Aplicada à Evolução do Dano em Ensaios em Modelo Reduzido de Quebra-mares de Taludes*. Estágio de final de curso, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Davies, M., Mansard, E., & Cornett, A. (1994). Damage analysis for rubble mound breakwaters., *24th International Conference on Coastal Engineering*, In B. L. Edge (Ed.), ASCE, Kobe, Japan (pp. 1001-1015).
- Ferreira, R., Silvestre, J.P., Sousa, I., & Santos, J.A. (2006). Using Stereo Image Reconstruction to Survey Scale Models of Rubble-mound Structures. *1st CoastLab 2006 - International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection*, Porto, Portugal (pp. 107-116).
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M., Neves, M., Silva, L., Capitão, R., & Lemos, R. (2014). A Modelação Física no Apoio ao Projeto de Obras Marítimas. *Construção Magazine*, Julho/Agosto (pp. 34-38).
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Poseiro, P., Santos, J.A., Garcia, T., Capitão, R., et al. (2015). Ferramenta de Apoio à Gestão Costeira e Portuária: O sistema HIDRALERTA. *VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Aveiro (versão electrónica).
- Hedar, P.A. (1960). *Stability of Rock-fill Breakwaters*. PhD. thesis, University of Goteborg, Sweden.

- Hughes, S. (1993). *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*. In *Advanced Series on Ocean Engineering* (Vol. 7). World Scientific.
- Lagendijk, R.L., Franich, R.E., & Hendriks, E.A. (2002). *Stereoscopic IMAGE Processing*. Delft University of Technology, Electrical Engineering, Delft, The Netherlands.
- Lemos, R. (2010). *Verificação de Fórmulas para a Evolução da Erosão em Taludes de Quebra-mares*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Lemos, R. (2013). *Aplicação da Modelação Computacional em Matlab ao Pós-Processamento de Dados de Levantamentos Estereofotogramétricos em Modelos Físicos de Quebra-mares de Taludes*. Relatório HIDRALERTA 04/2013, LNEC, Lisboa, Portugal.
- Lemos, R. (2015). *Algoritmo para Análise Comparativa de Imagens com Vista à Análise da Progressão do Dano em Modelos Físicos de Quebra-mares de Taludes*. Relatório /15, LNEC, Lisboa, Portugal (em publicação).
- Lemos, R. & Santos, J.A. (2009). *Verificação de Fórmulas Para a Evolução da Erosão em Taludes de Quebra-mares*. 6ª Jornadas de Engenharia Costeira e Portuária. Funchal, Madeira, Portugal, 8-9 Outubro.
- Lemos, R., & Silva, L.G. (2004). *Ensaios de Estabilidade e Galgamento em Modelo Reduzido Bidimensional do Perfil de Reparação do Molhe Sul do Porto da Praia da Vitória - Açores*. Relatório 219/04 - NPE, LNEC, NPE, Lisboa, Portugal.
- Lemos, R., Loja, A. Rodrigues, J., & Rodrigues, J. (2015). *Photogrametric Techniques to Health Monitoring Control of Breakwaters Structure using Scilab*. SYMCOMP 2015 e ECCOMAS, Faro, Portugal, 26-27 Março.
- Lemos, R., Fortes, C.J.E.M., Capitão, R., & Abecassis Jalles, B. (2013). *Novas Ferramentas para Exploração de Ensaios em Modelo Físico*. 8ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, LNEC, Lisboa, Portugal (versão electrónica).
- Lemos, R., Fortes, C.J. E.M., Capitão, R., Santos, J.A., & Silva, L.G. (2014). *Contribuição para uma Automatização da Visualização, Análise e Partilha de Ensaios em Modelo*

- Físico Reduzido de Estruturas Marítimas. *12.º Congresso da Água / 16.º ENASB / XVI SILUBESA*. FIL, Lisboa, Outubro (versão electrónica).
- Owen, M.W., & Allsop, N.W. (1983). Hydraulic Modelling of Rubble-mound Breakwaters. In *Breakwaters: Design and Construction*, U.K., ICE London (pp. 71-78).
- Pedro, F., Bastos, M., Lemos, R., Fortes, C.J.E.M., & Santos, J.A. (2015). Toe Berm Damage Progression Analysis Using a Stereophotogrammetric Survey Technique. *7th SCACR - International Short Course and Conference on Applied Coastal Research*. Florence, Italia (versão eletrónica).
- Pita, C. (1985). *Dimensionamento Hidráulico do Manto Resistente de Quebramares de Talude*. Boletim de informação 37, LNEC, Lisboa, Portugal.
- Rodrigues, J. (2014). *Controlo Fotogramétrico da Condição de Estruturas Quebra-mar*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Silva, L.G. (1995). *Observação Sistemática de Obras Marítimas. Acção de Formação de Observadores de Obras Marítimas*. Relatório 203/95-NPP, LNEC, Lisboa.
- Troch, P. (2005). *Active Wave Absortion System*. User manual, Ghent University, Department of Civil Engineering, Belgium.
- USACE - U. S. Army Corps of Engineers (2006). *Coastal Engineering Manual. Engineer Manual 1110-2-1100*. Washington, D.C: U. S. Army Corps of Engineers.
- Van der Meer, J. (1988). *Rock Slopes and Gravel Beaches Under Wave Attack*. Delft University of Technology. The Netherlands: Delft Hydraulics Publications 396.

ANEXO 1 – CONTAGEM VISUAL QUEDAS

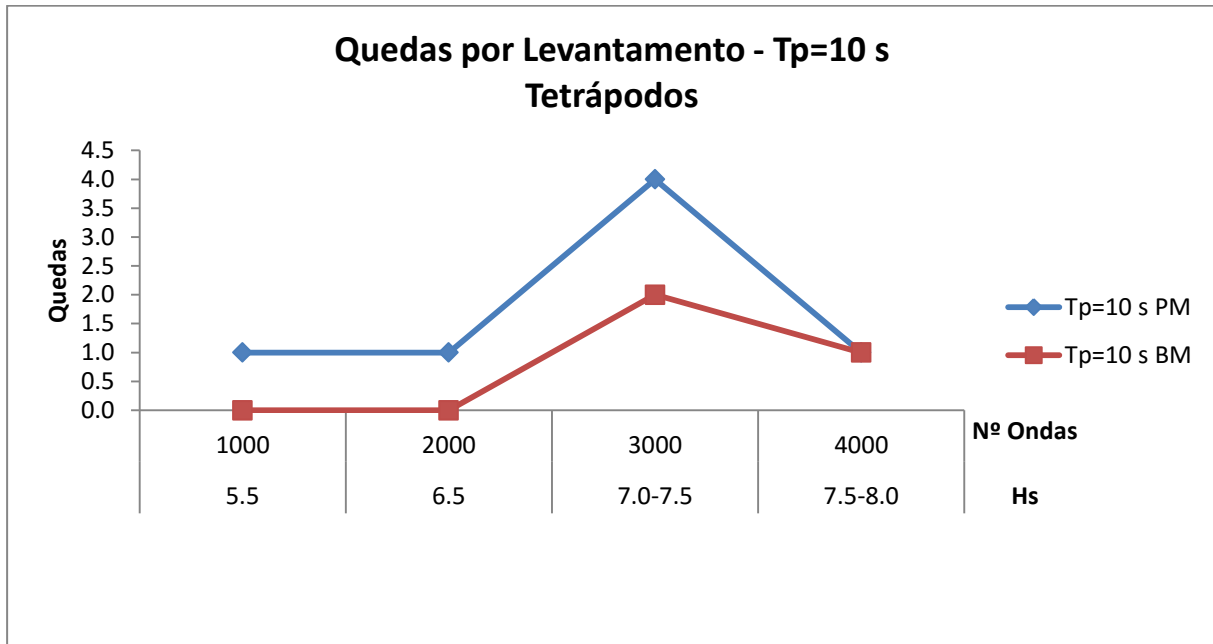


Figura A.1.1 – Quedas por levantamento dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=10$ s obtido através de contagem visual

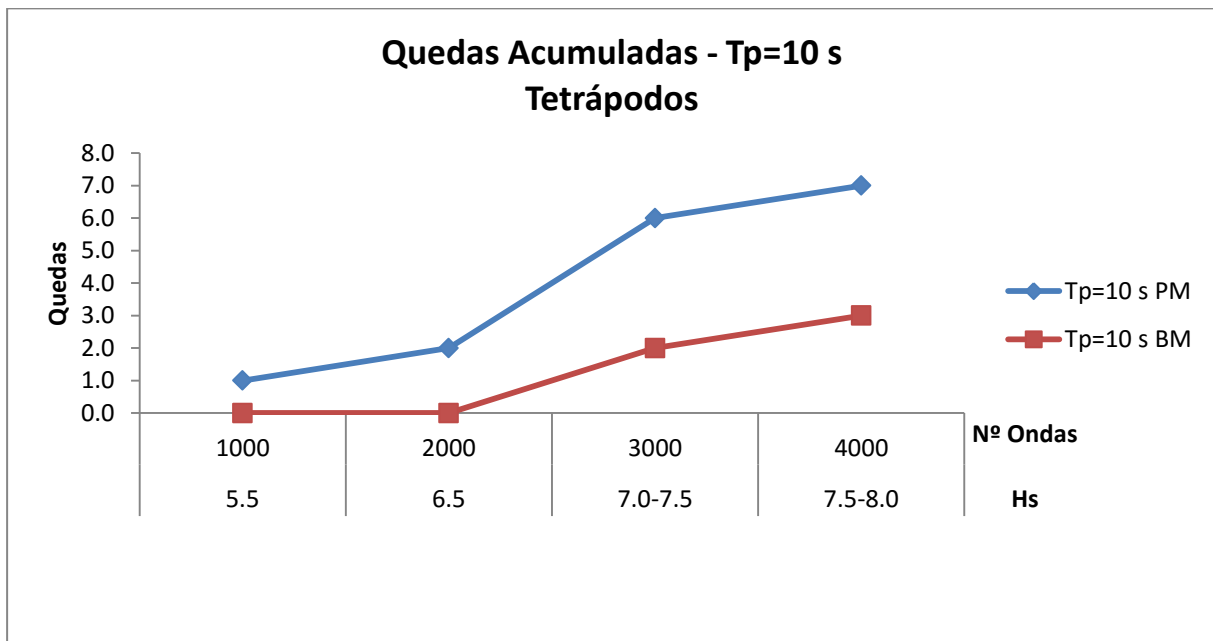


Figura A.1.2 – Quedas acumuladas dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=10$ s obtido através de contagem visual

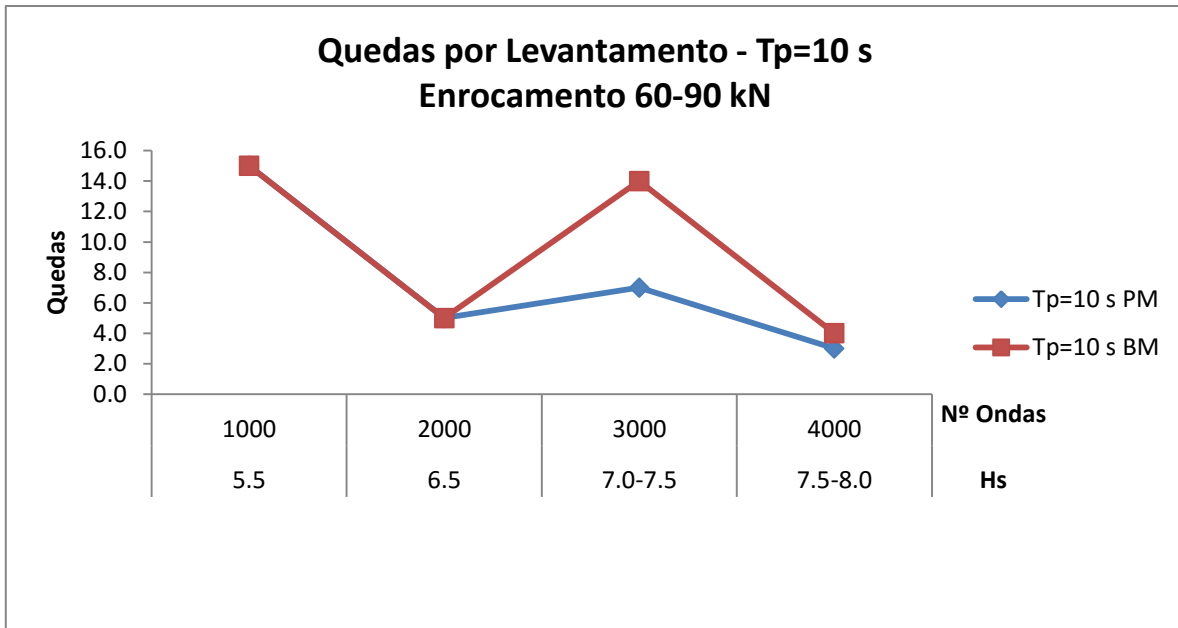


Figura A.1.3 – Quedas por levantamento do enrocamento da banquetta do pé de talude para $T_p=10$ s obtido por contagem visual

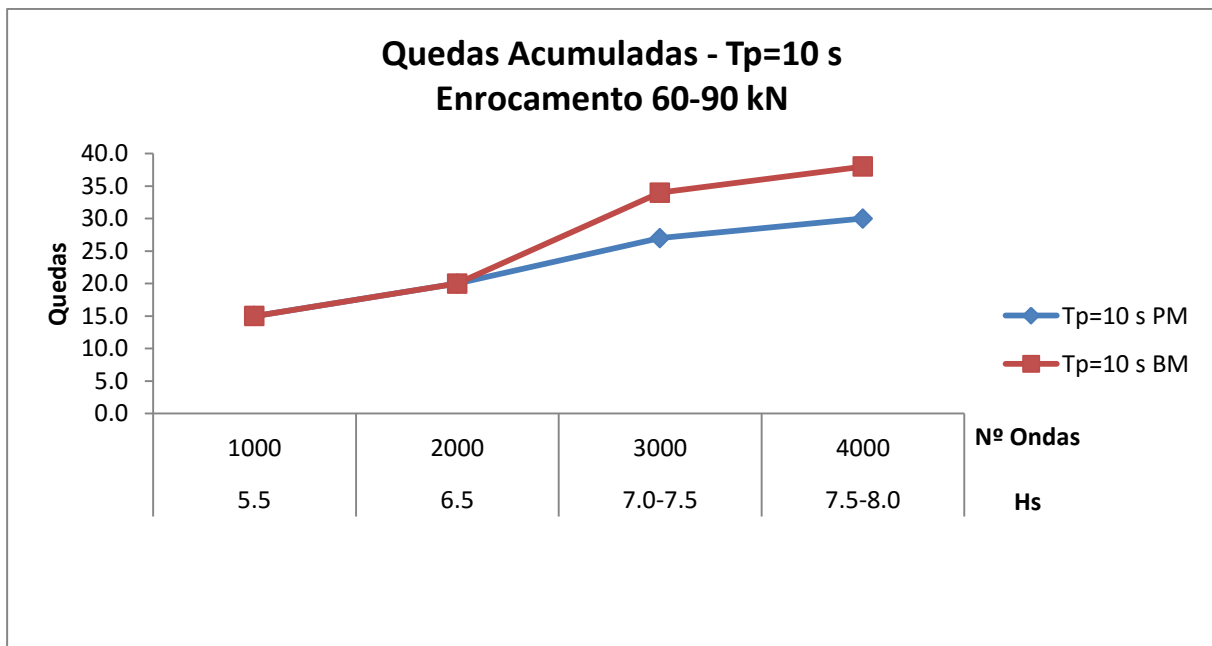


Figura A.1.4 – Quedas acumuladas do enrocamento da banquetta do pé de talude para $T_p=10$ s obtido por contagem visual

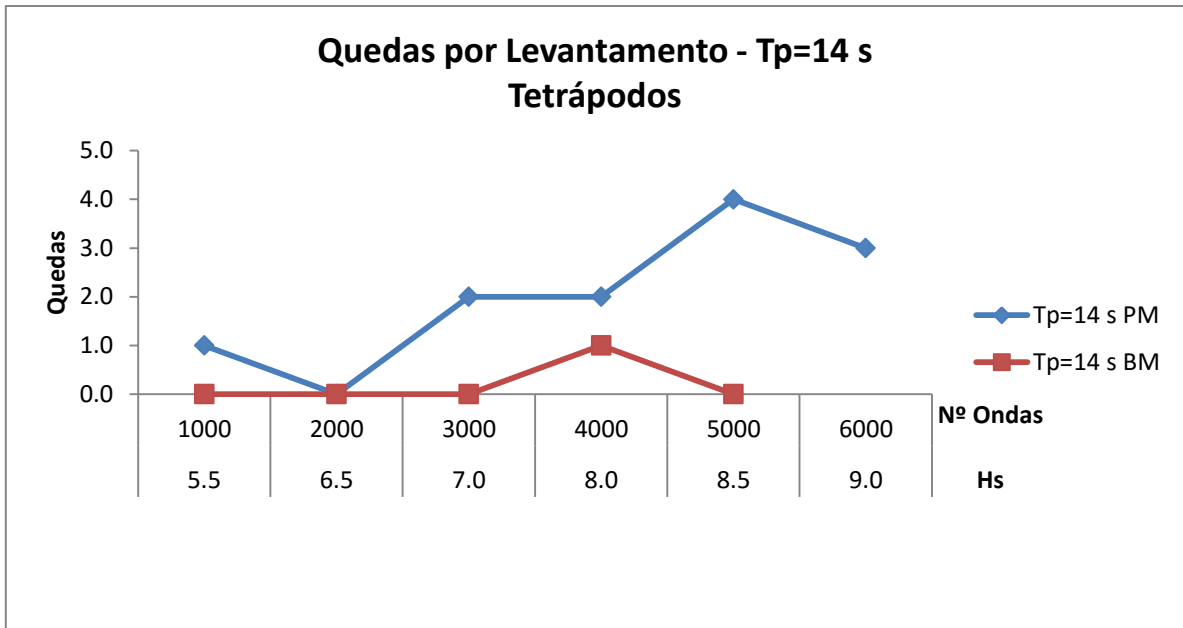


Figura A.1.5 – Quedas por levantamento dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=14$ s obtido por contagem visual

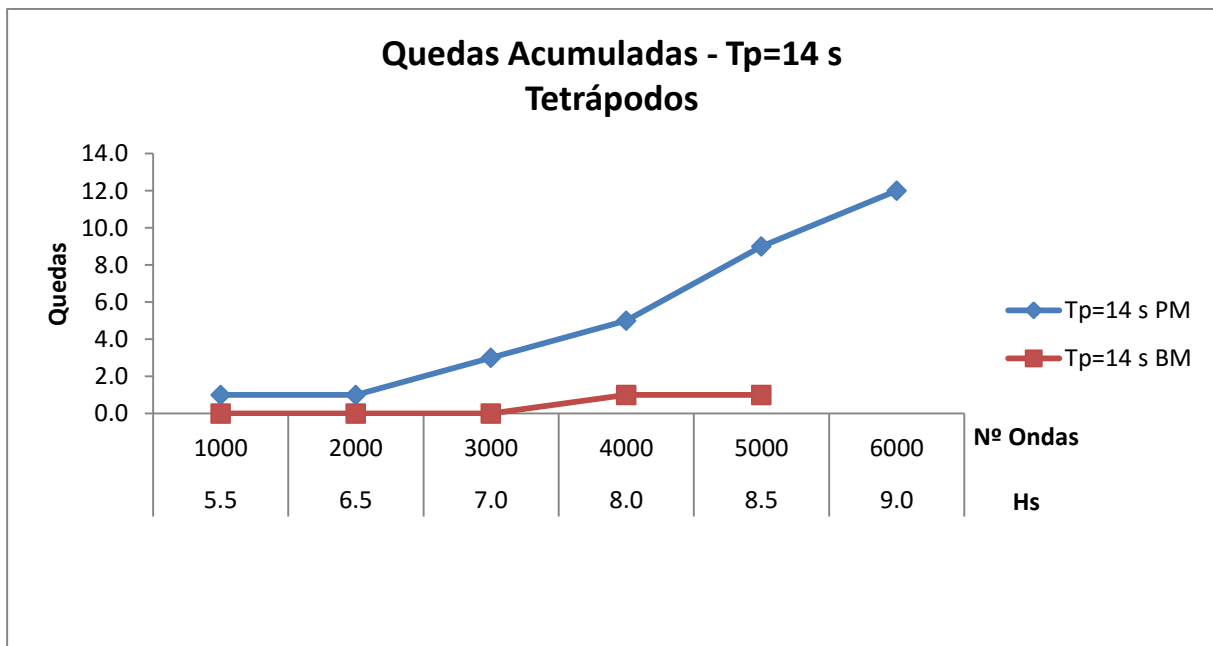


Figura A.1.6 – Quedas acumuladas dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=14$ s obtido por contagem visual

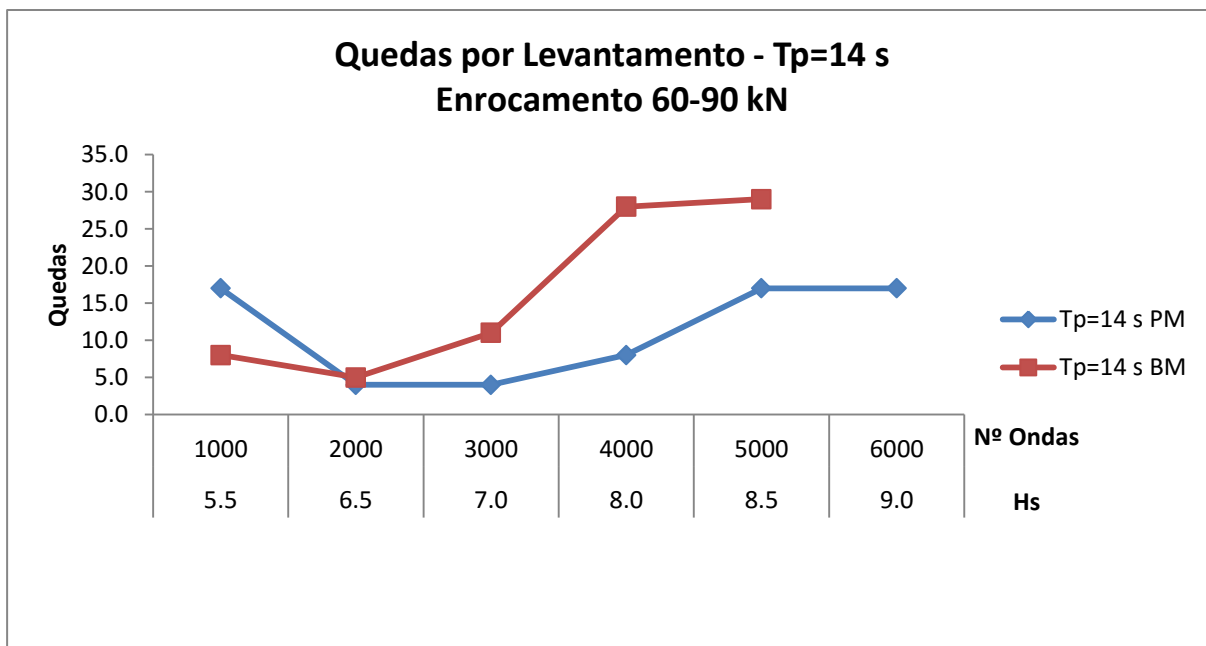


Figura A.1.7 – Quedas por levantamento do enrocamento da banquetta do pé de talude para $T_p=14$ s obtido por contagem visual

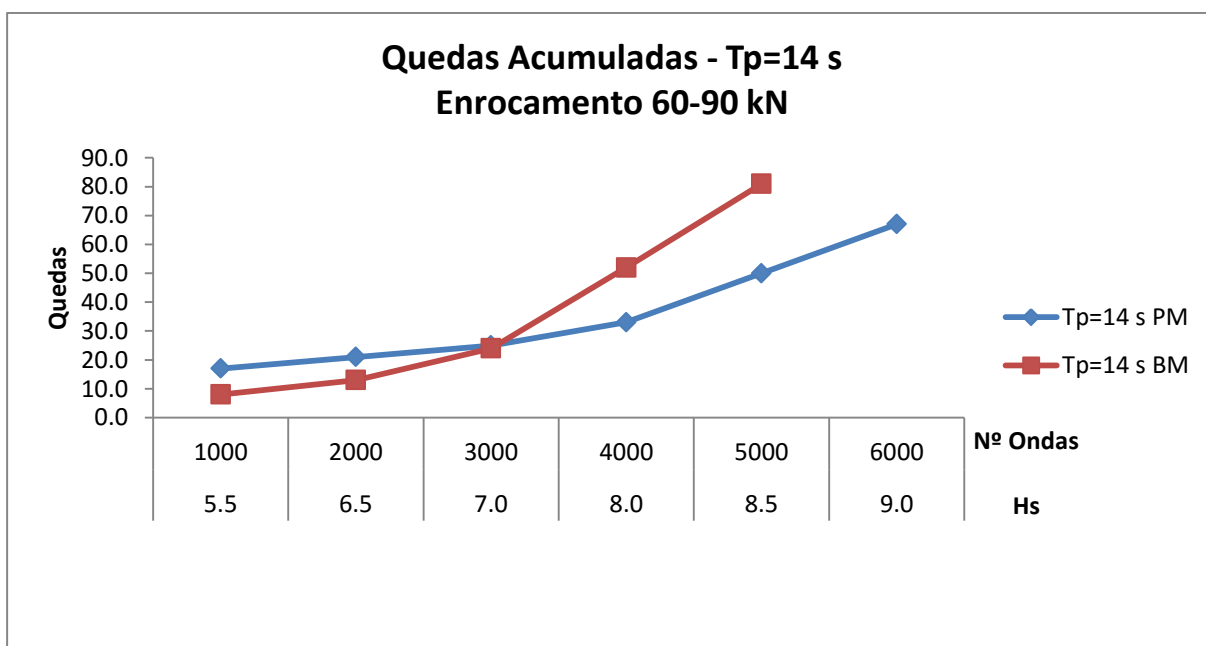


Figura A.1.8 – Quedas acumuladas do enrocamento da banquetta do pé de talude para $T_p=14$ s obtido por contagem visual

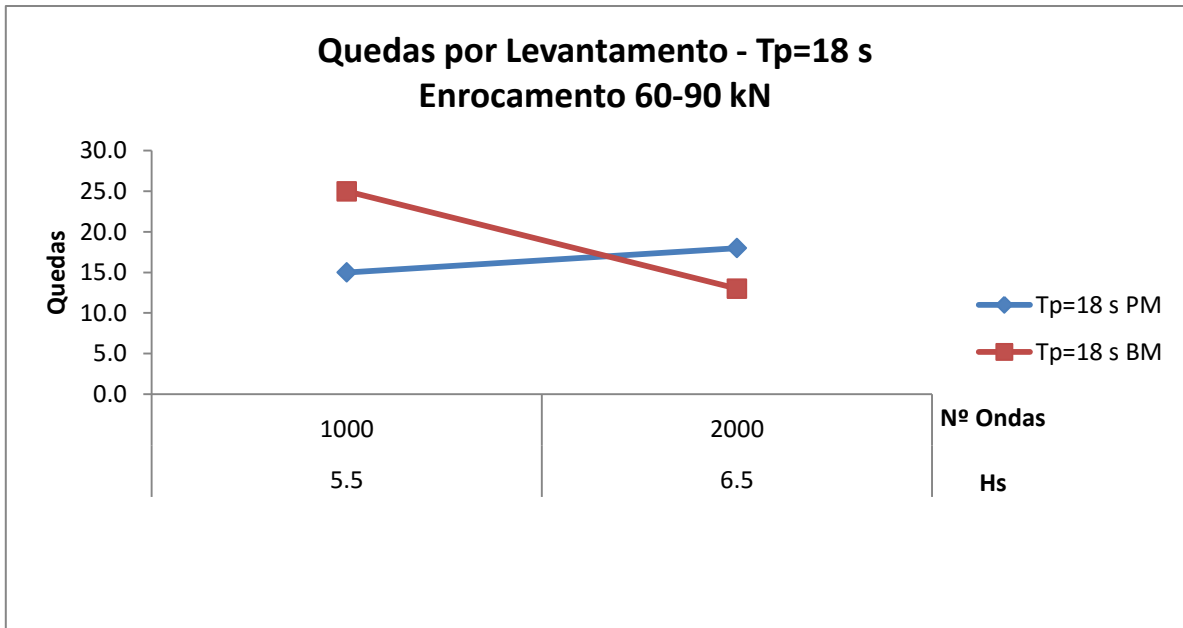


Figura A.1.9 – Quedas por levantamento do enrocamento da banquetta do pé de talude para $T_p=18$ s obtido por contagem visual

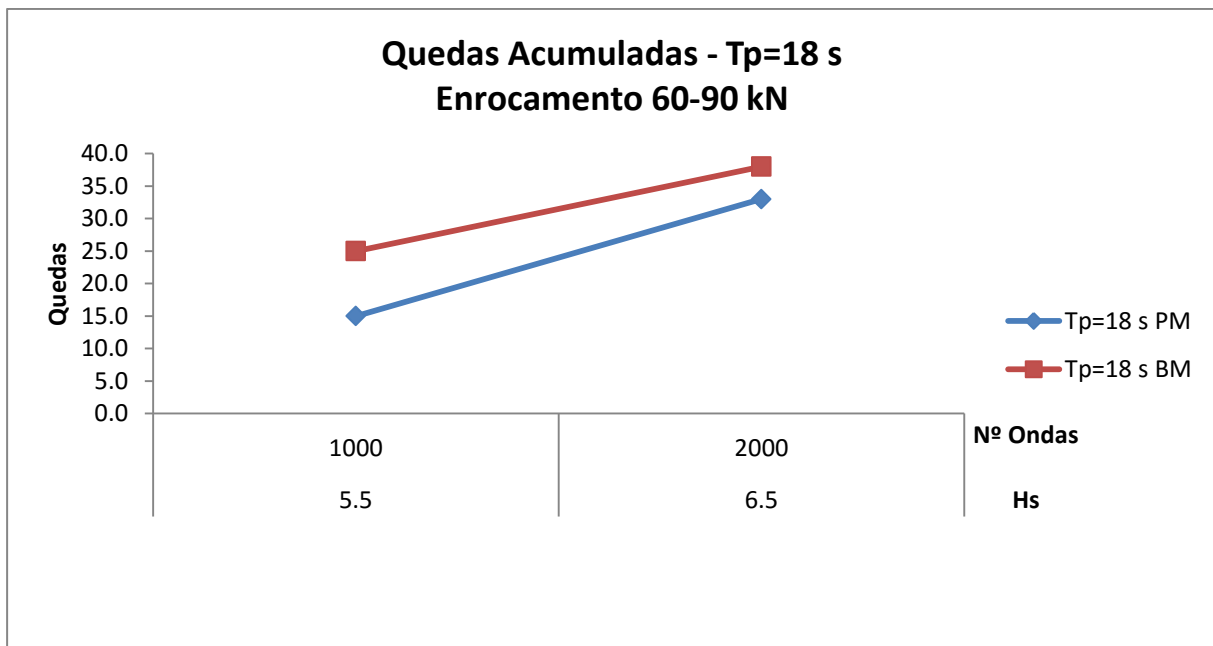


Figura A.1.10 – Quedas acumuladas do enrocamento da banquetta do pé de talude para $T_p=18$ s obtido por contagem visual

ANEXO 2 – CONTAGEM VISUAL MOVIMENTOS

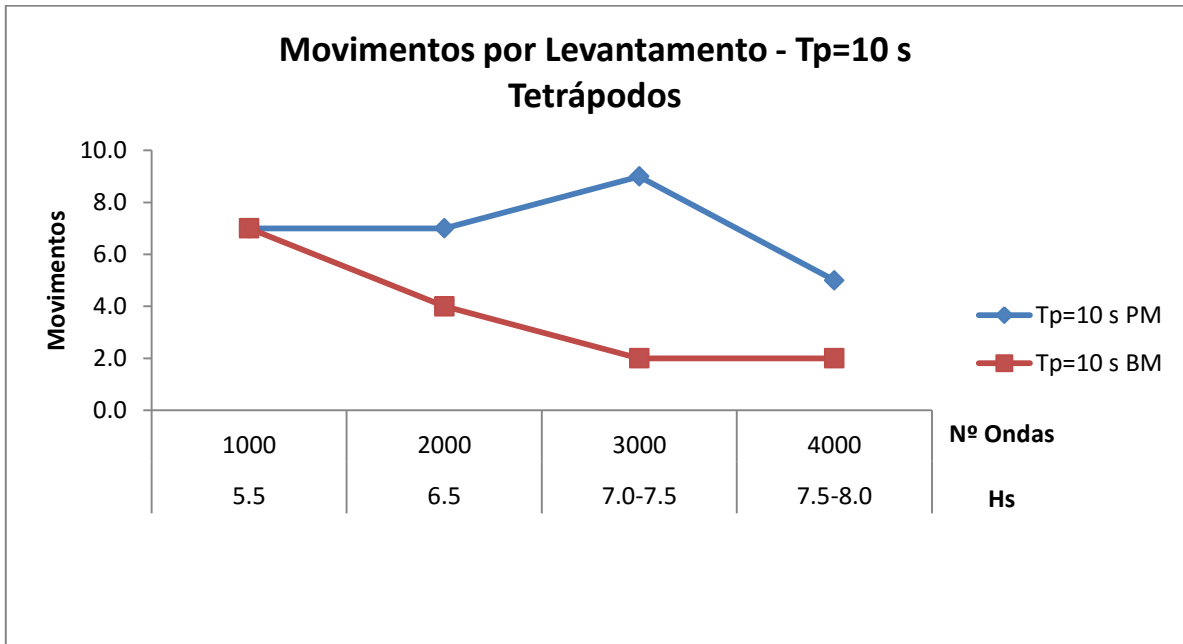


Figura A.2.1 – Movimentos por levantamento dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=10$ s obtido através de contagem visual

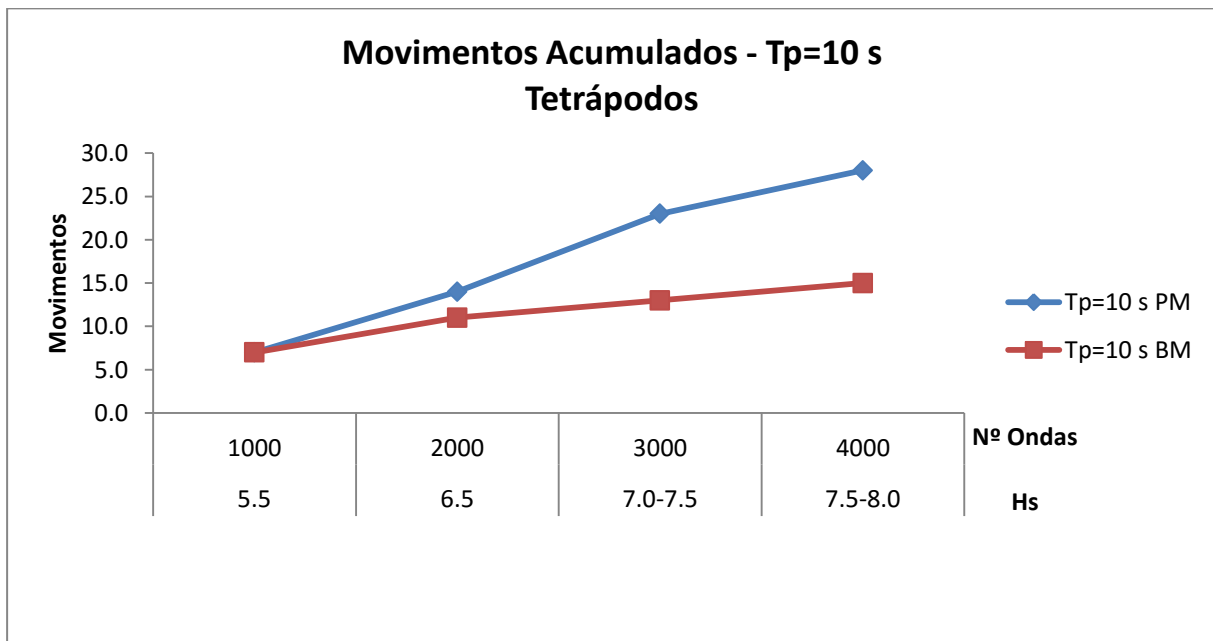


Figura A.2.2 – Movimentos acumulados dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=10$ s obtido através de contagem visual

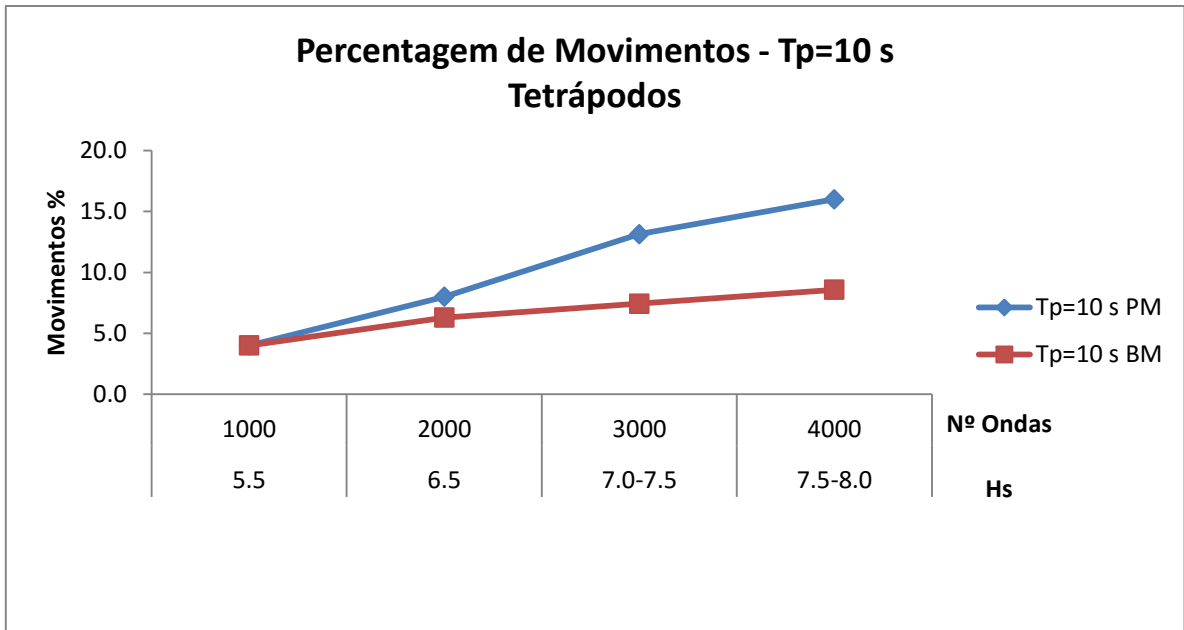


Figura A.2.3 – Percentagem de movimentos dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=10$ s obtido por contagem visual

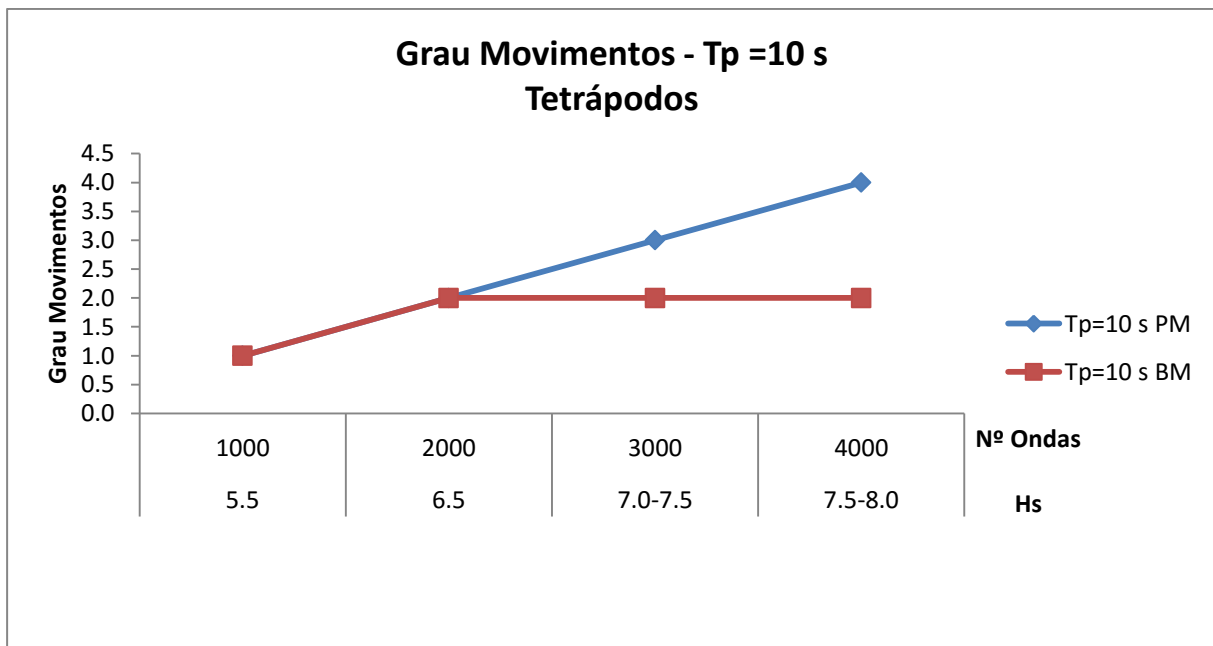


Figura A.2.4 – Grau de movimentos dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=10$ s obtido por contagem visual

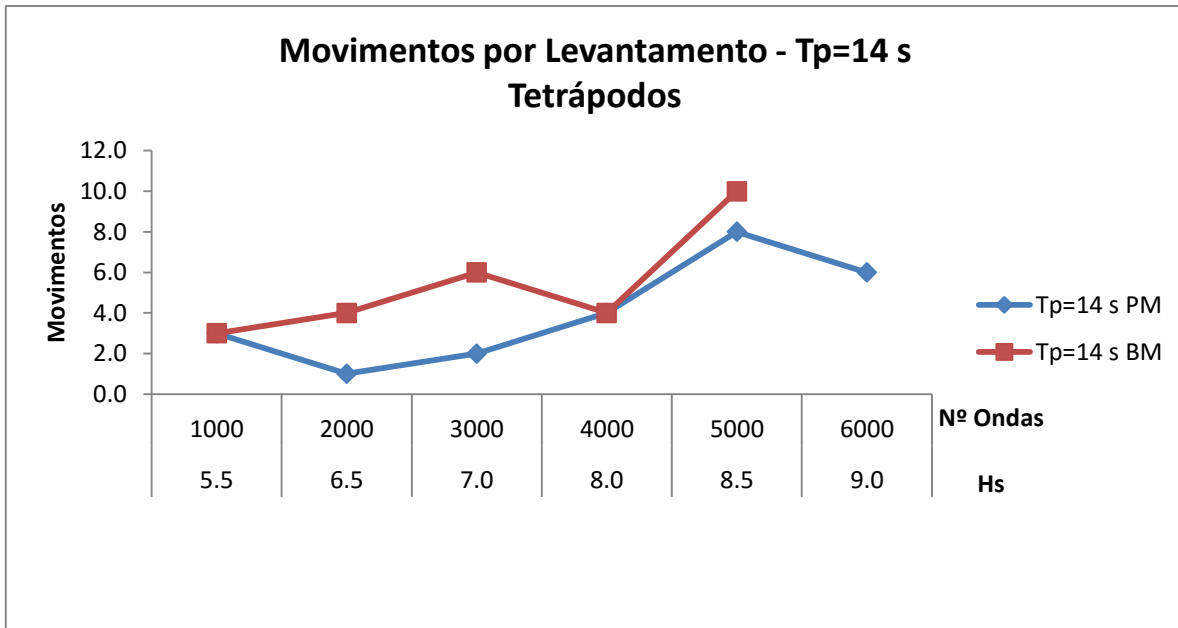


Figura A.2.5 – Movimentos por levantamento dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=14$ s obtido por contagem visual

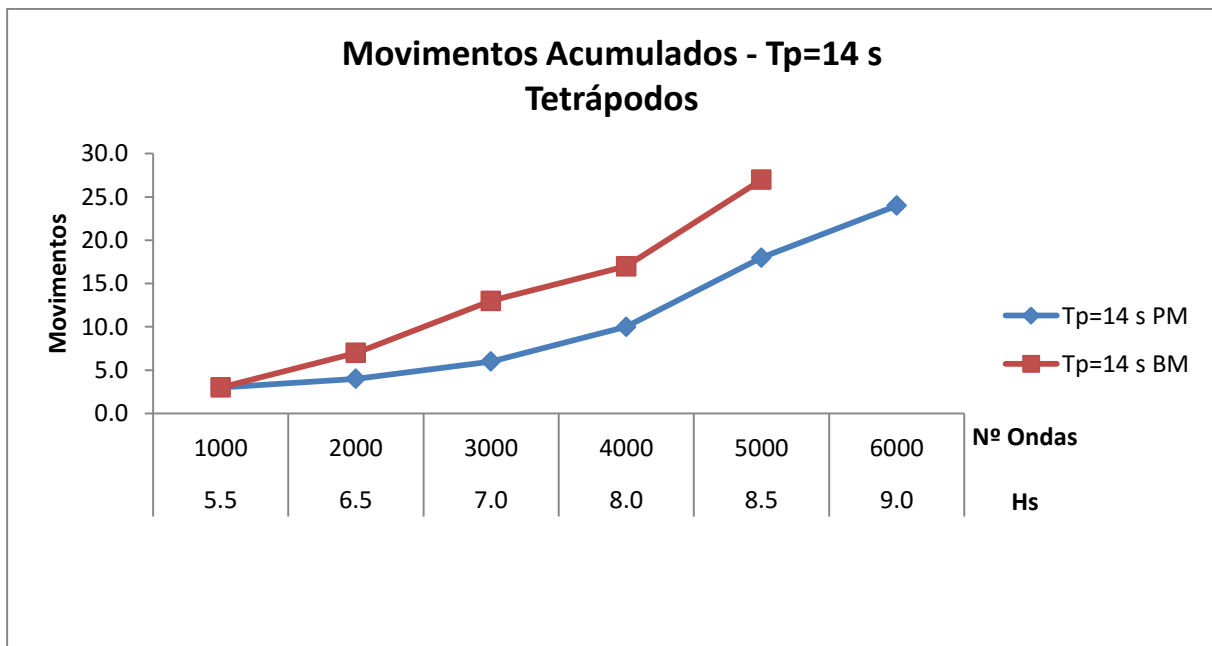


Figura A.2.6 – Movimentos acumulados dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=14$ s obtido por contagem visual

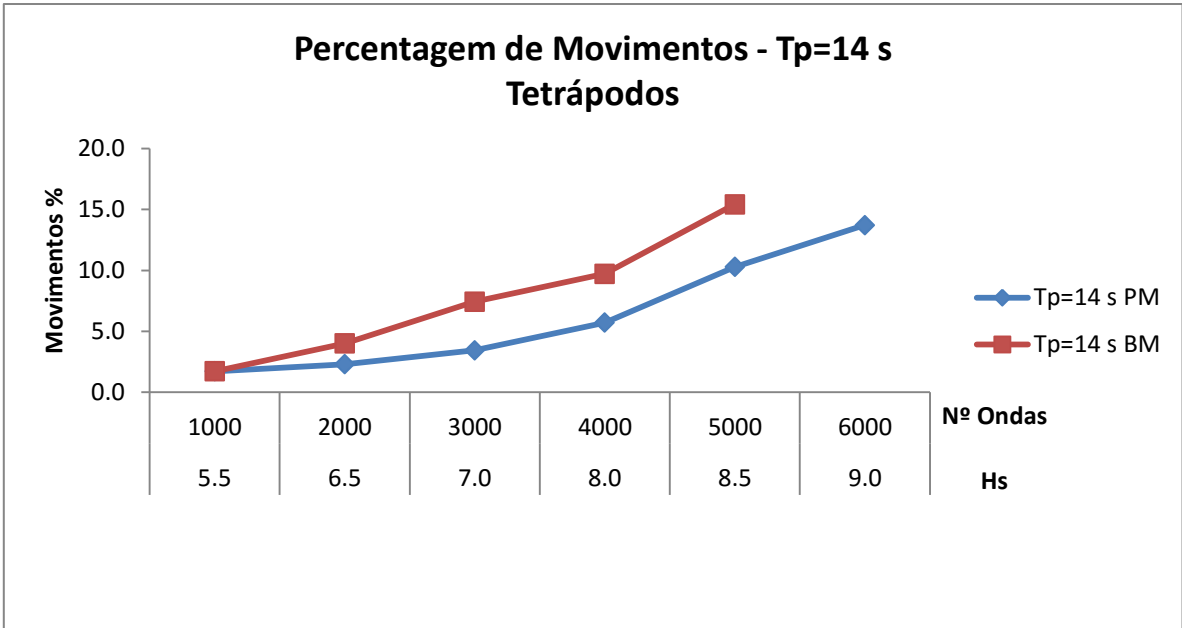


Figura A.2.7 – Percentagem de movimentos dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=14$ s obtido por contagem visual

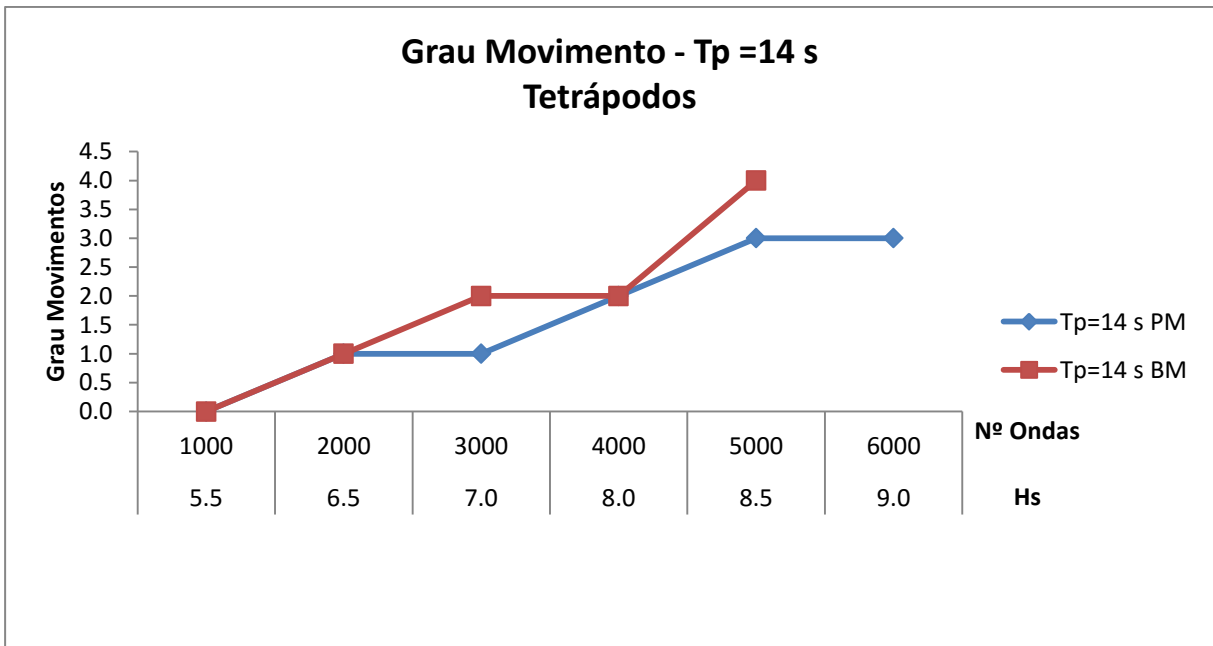


Figura A.2.8 – Grau movimento dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=14$ s obtido por contagem visual

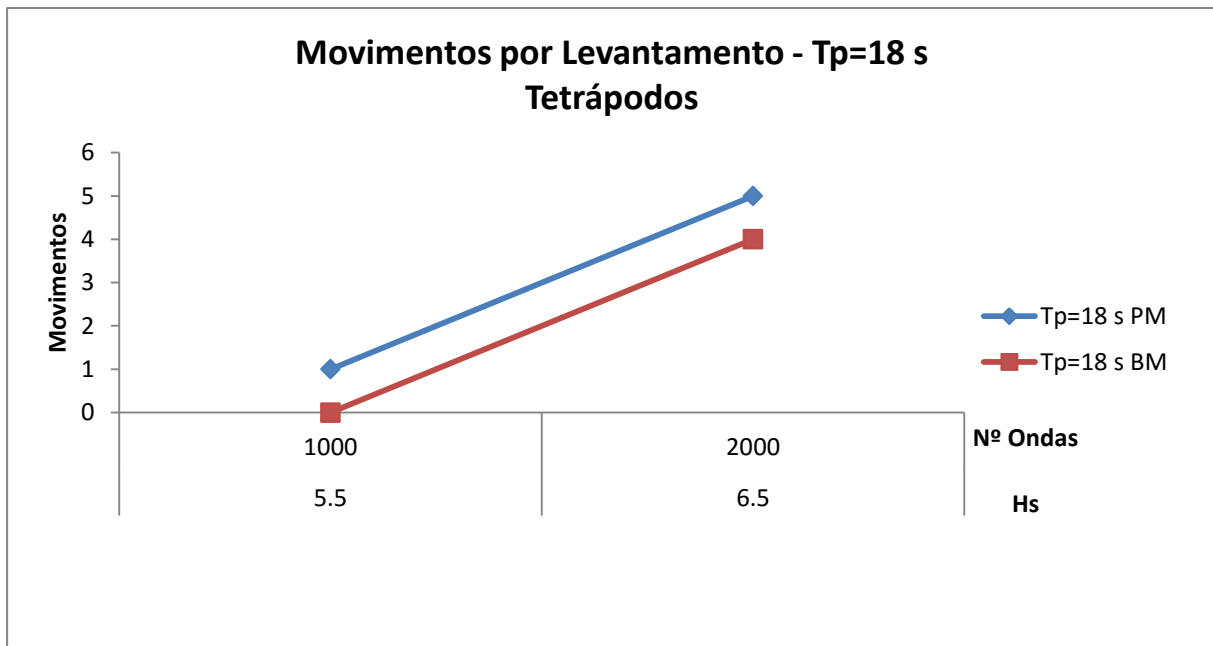


Figura A.2.9 – Movimentos por levantamento dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=18$ s obtido por contagem visual

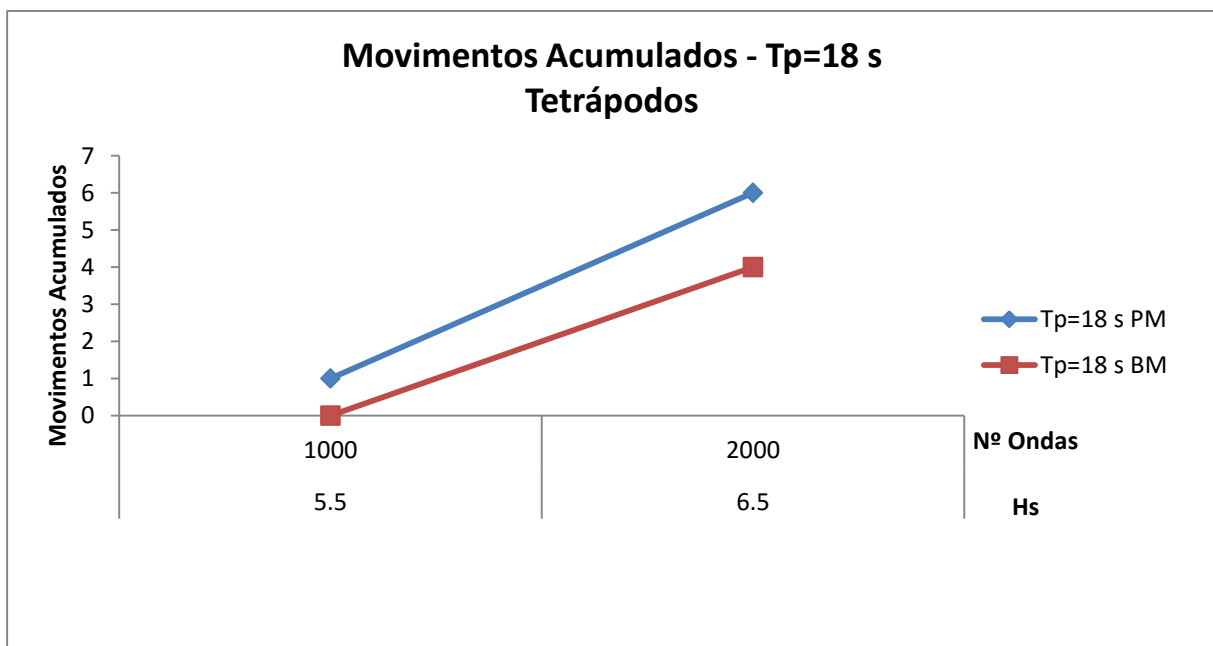


Figura A.2.10 – Movimentos acumulados dos tetrápodos do manto resistente para $T_p=18$ s obtido por contagem visual

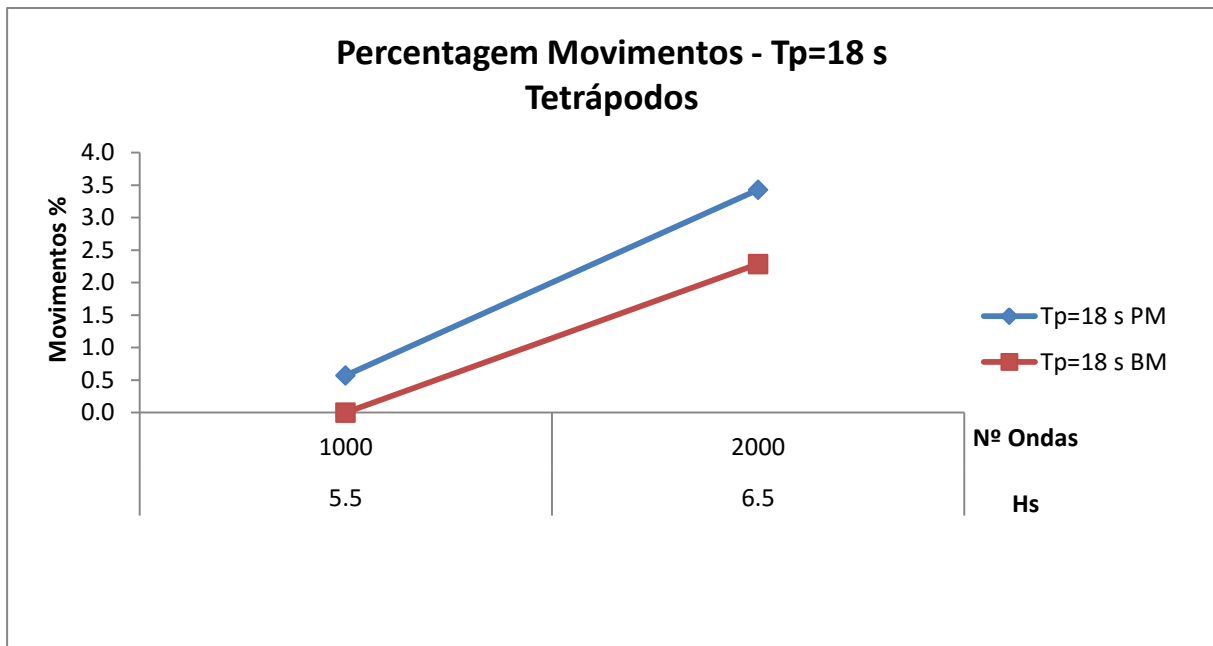


Figura A.2.11 – Percentagem de movimentos dos tetrápodos do manto resistente para Tp=18 s obtido por contagem visual

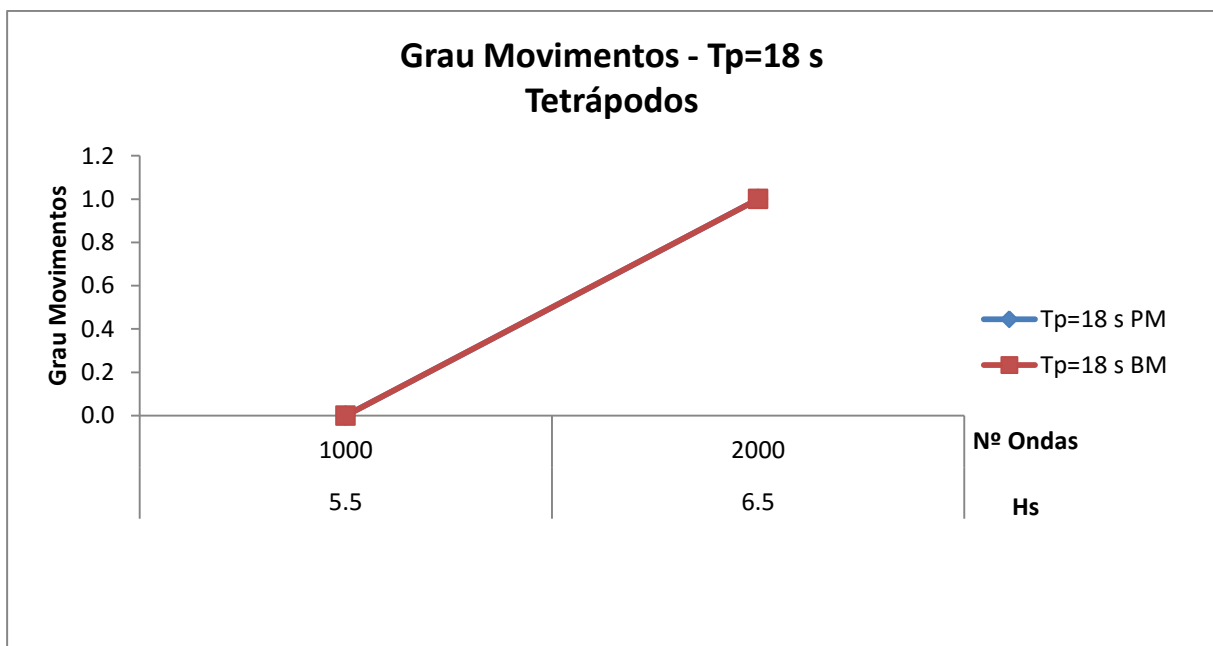


Figura A.2.12 – Grau movimento dos tetrápodos do manto resistente para Tp=18 s obtido por contagem visual

ANEXO 3 – SUPERFÍCIES RECONSTRUÍDAS

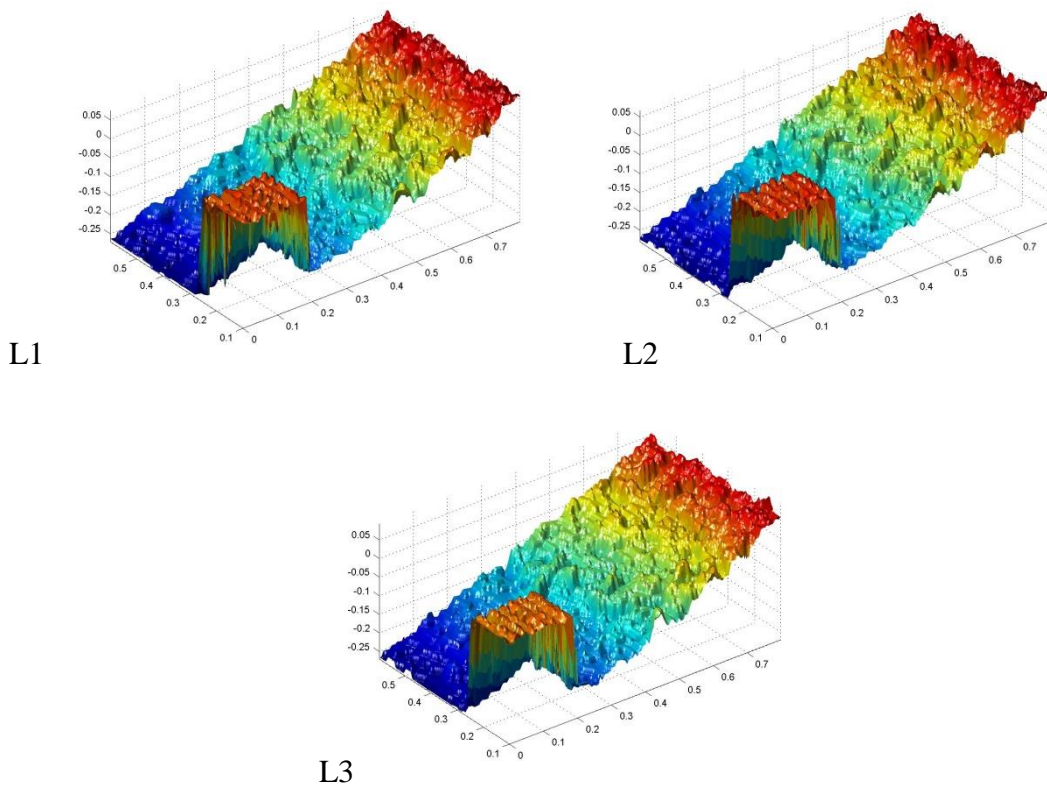


Figura A.3.1 – Superfícies reconstruídas para $T_p=10s$ PM dos levantamentos L1, L2 e L3

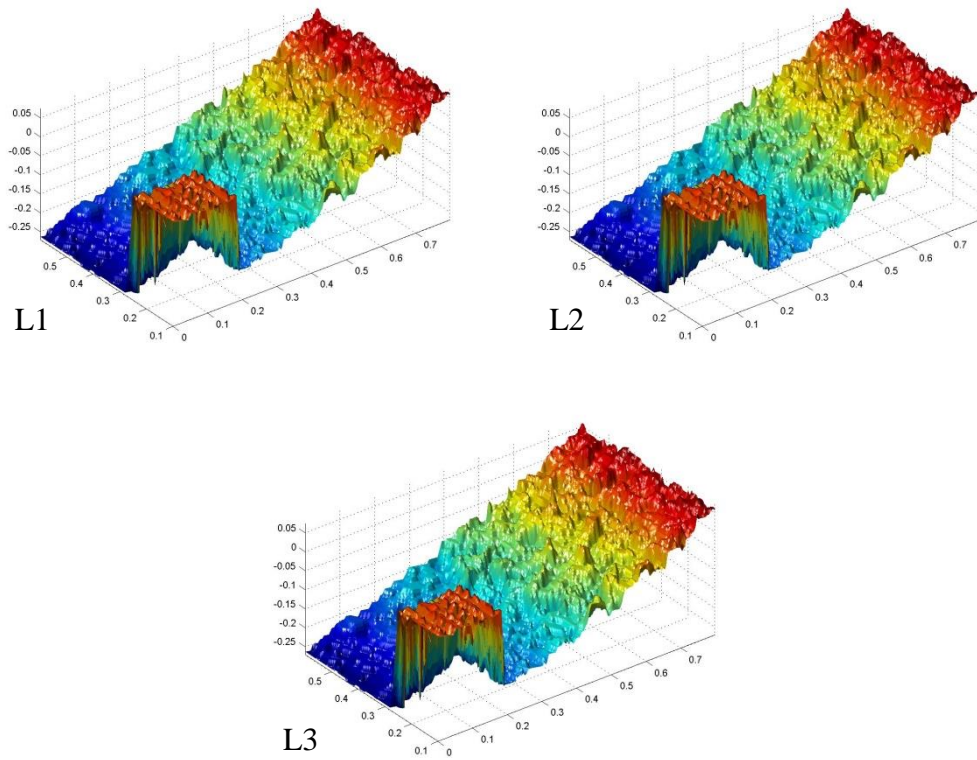


Figura A.3.2 – Superfícies reconstruídas para $T_p=10$ s BM dos levantamentos L1, L2 e L3

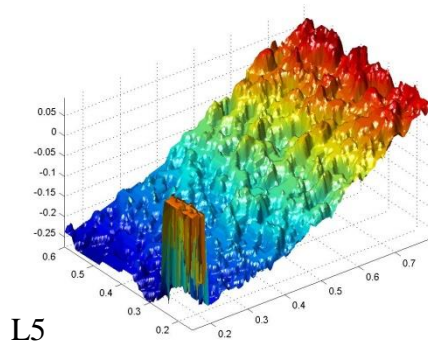
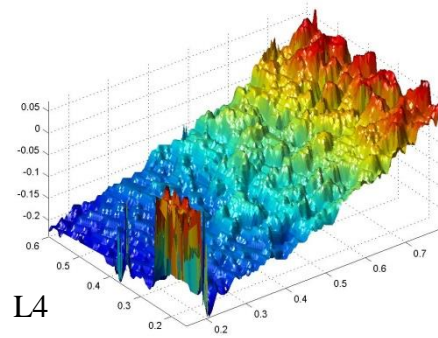
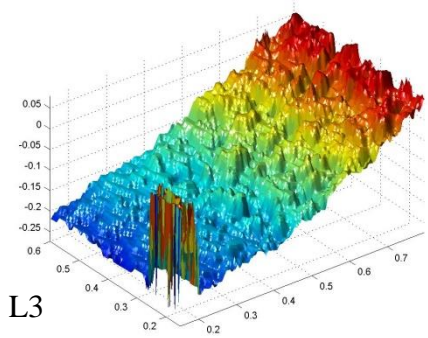
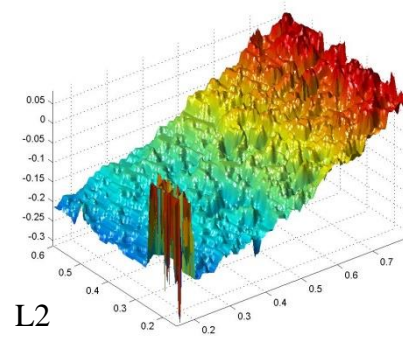
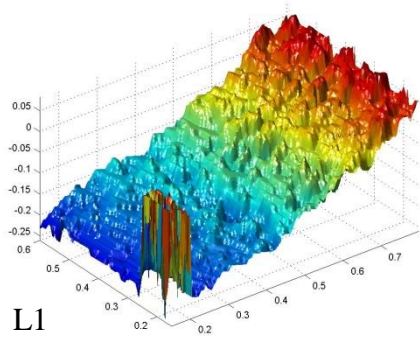


Figura A.3.3 – Superfícies reconstruídas para $T_p=14$ s PM dos levantamentos L1, L2, L3, L4 e L5

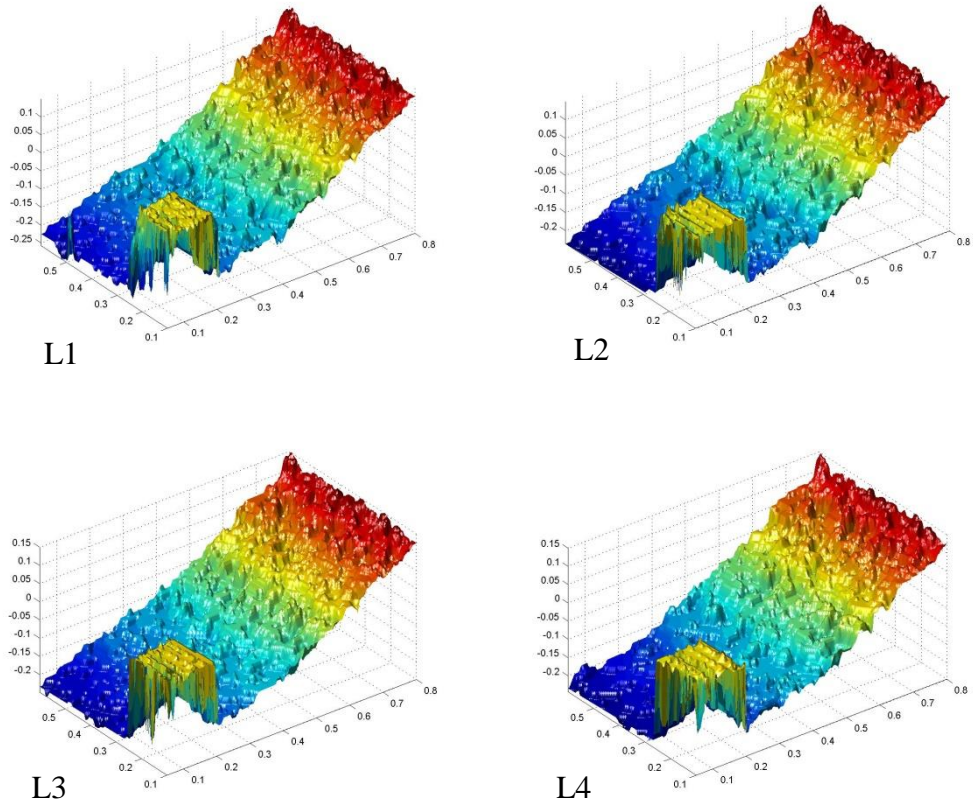


Figura A.3.4 – Superfícies reconstruídas para TP=14 s BM para os levantamentos L1, L2, L3 e L4

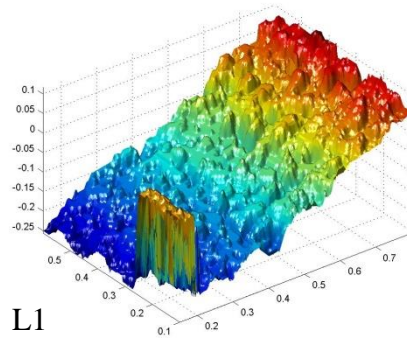


Figura A.3.5 – Superfície reconstruída para Tp=18 s PM para o levantamento L1

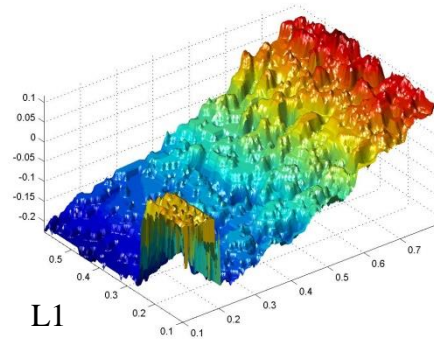


Figura A.3.6 – Superfície reconstruída para $T_p=18$ s BM do levantamento L1

ANEXO 4 – PERFIS

Tp=10 s PM – Manto Resistente

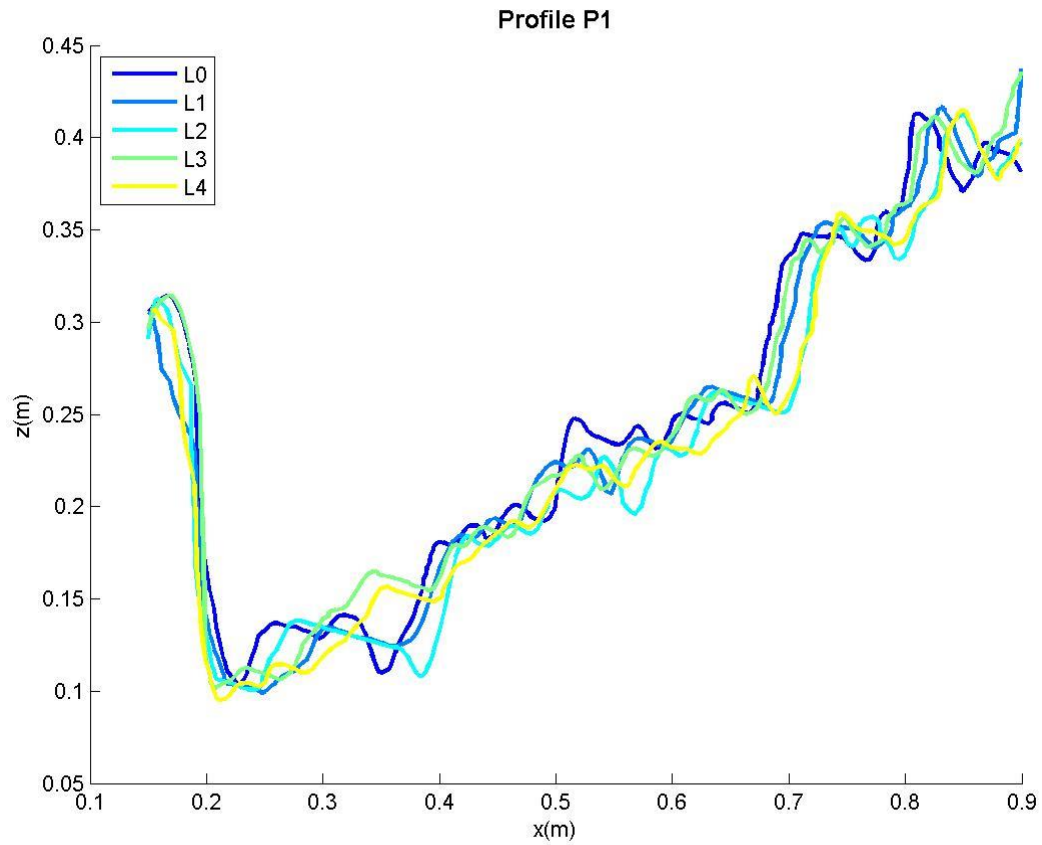


Figura A.4.1 – Perfil P1 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com Tp=10 s PM

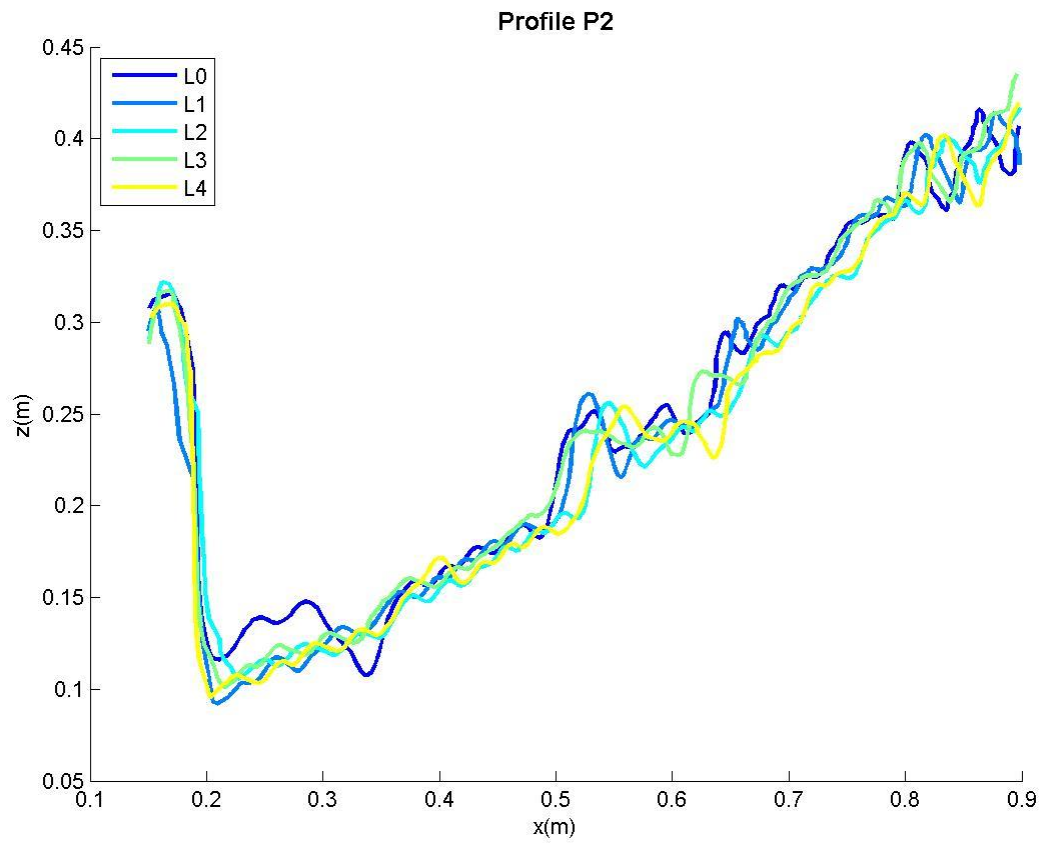


Figura A.4.2 – Perfil P2 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

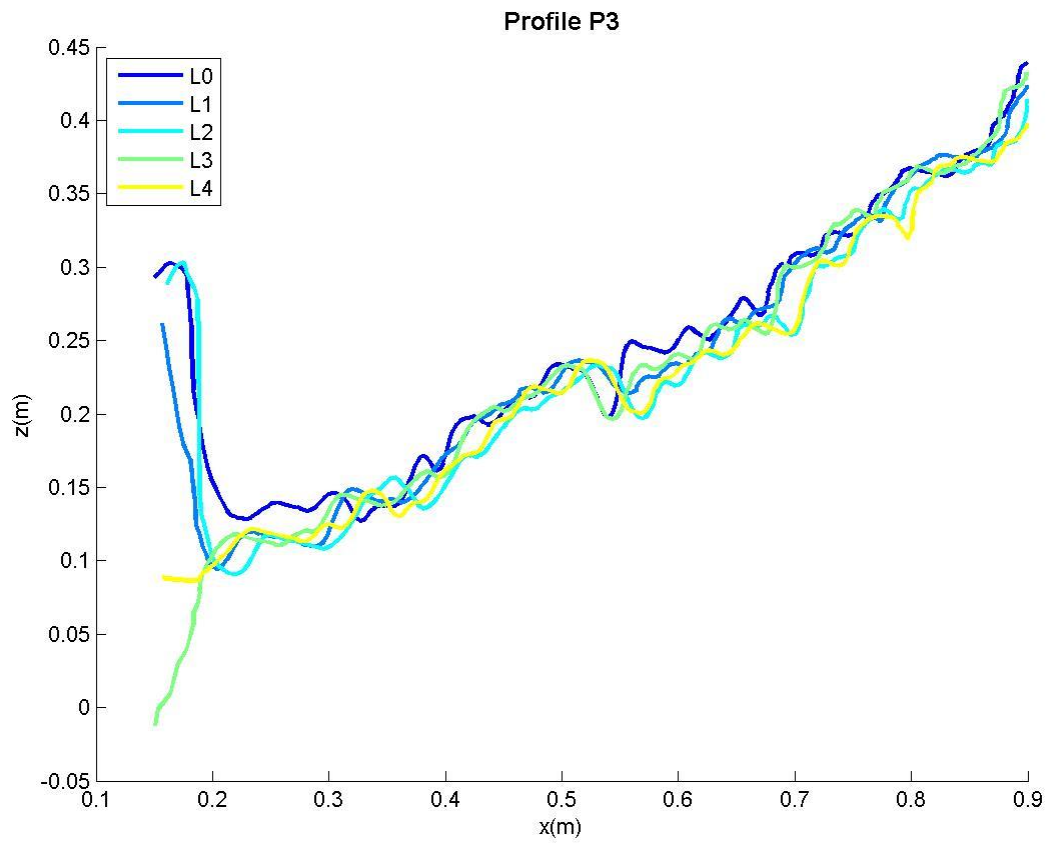


Figura A.4.3 – Perfil P3 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

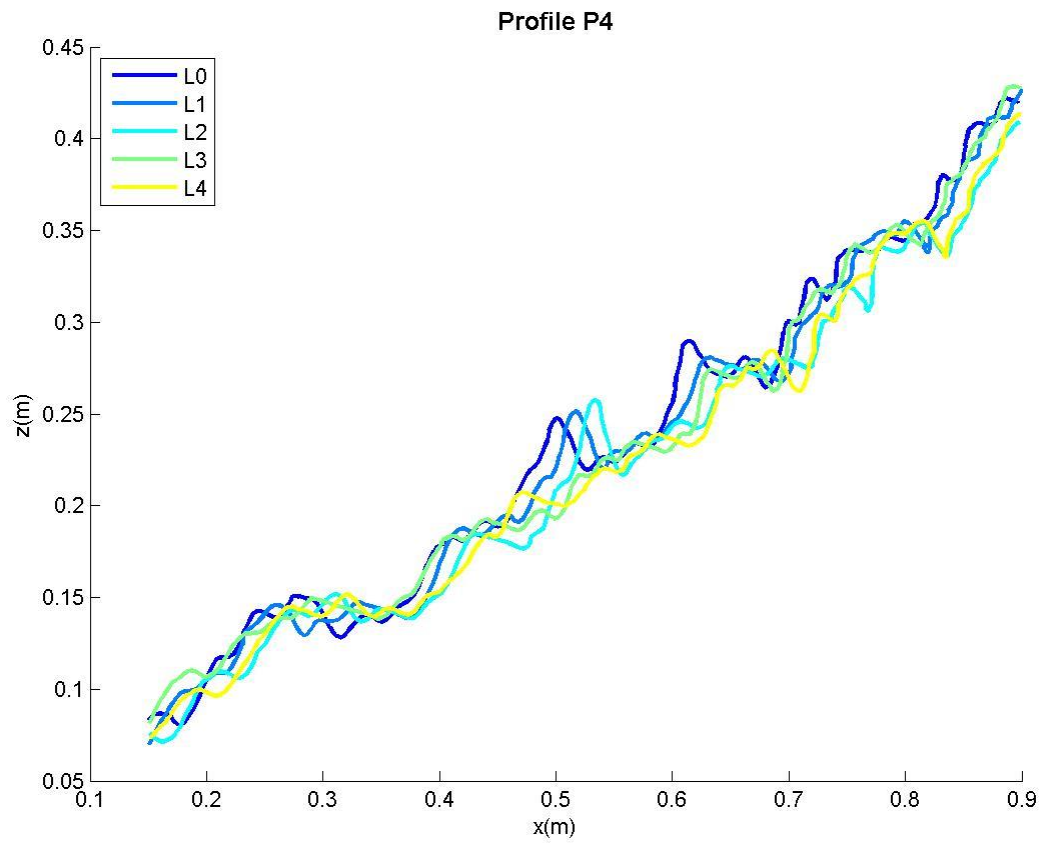


Figura A.4.4 – Perfil P4 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

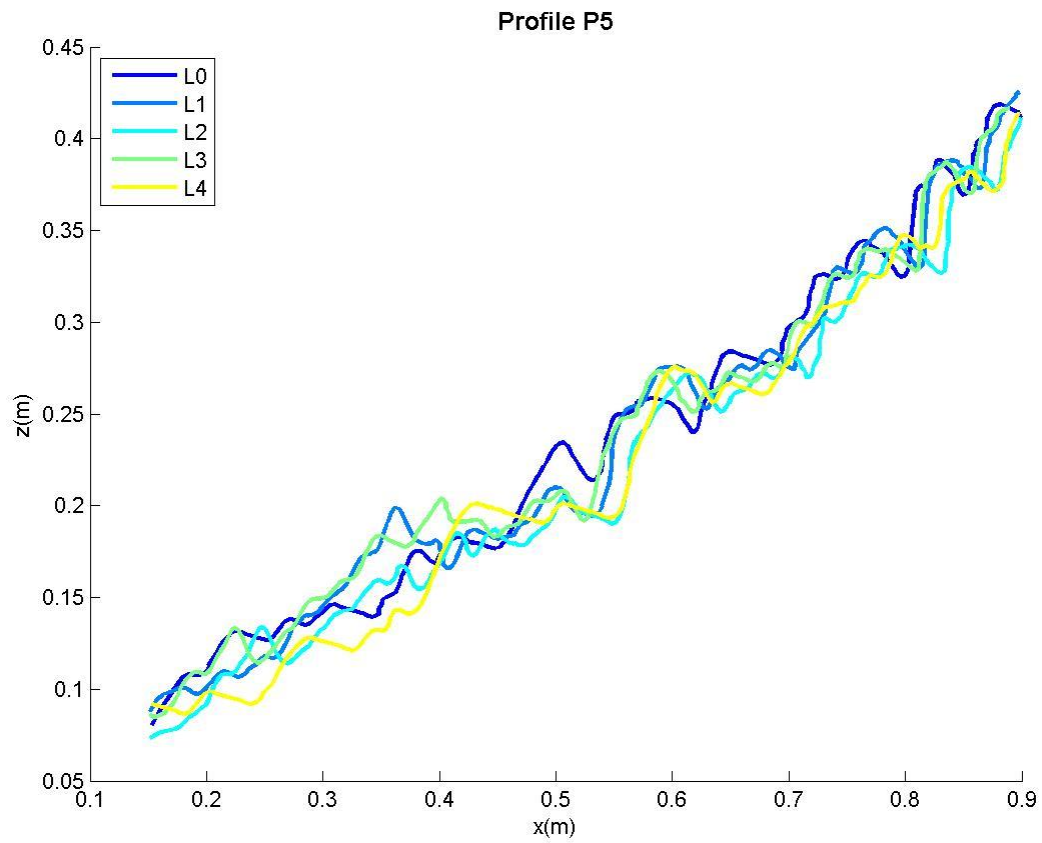


Figura A.4.5 – Perfil P5 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

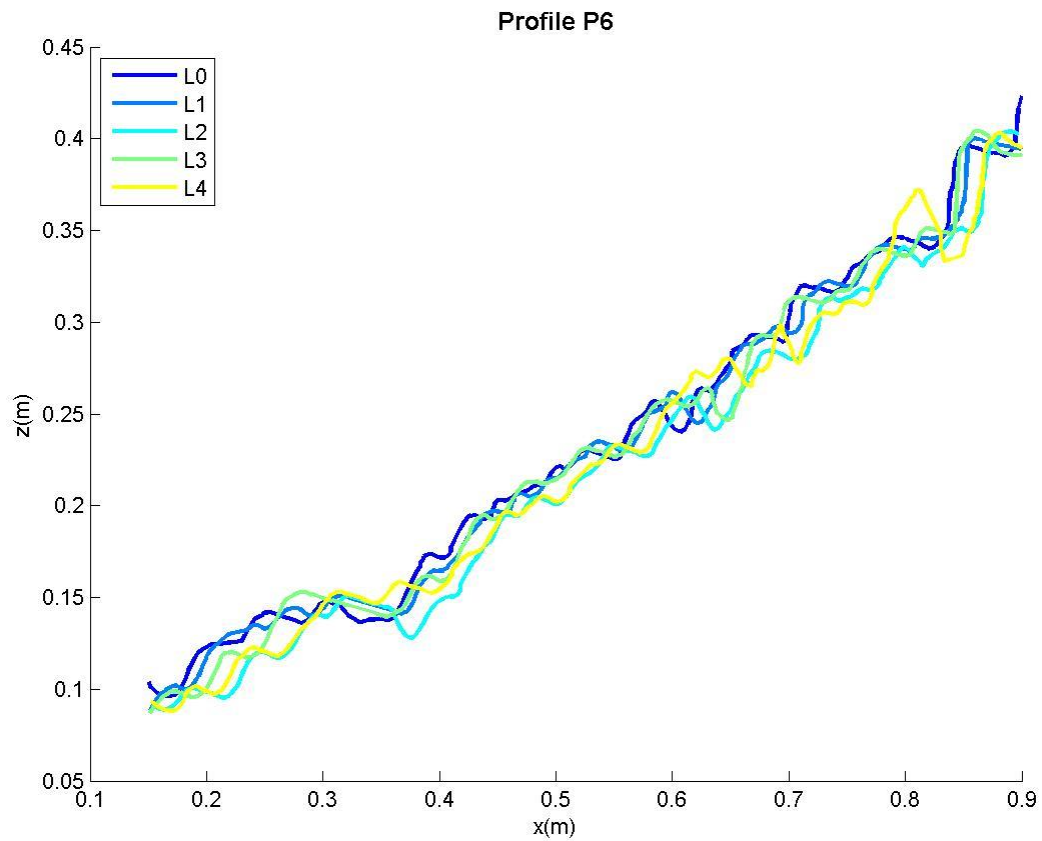


Figura A.4.6 – Perfil P6 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

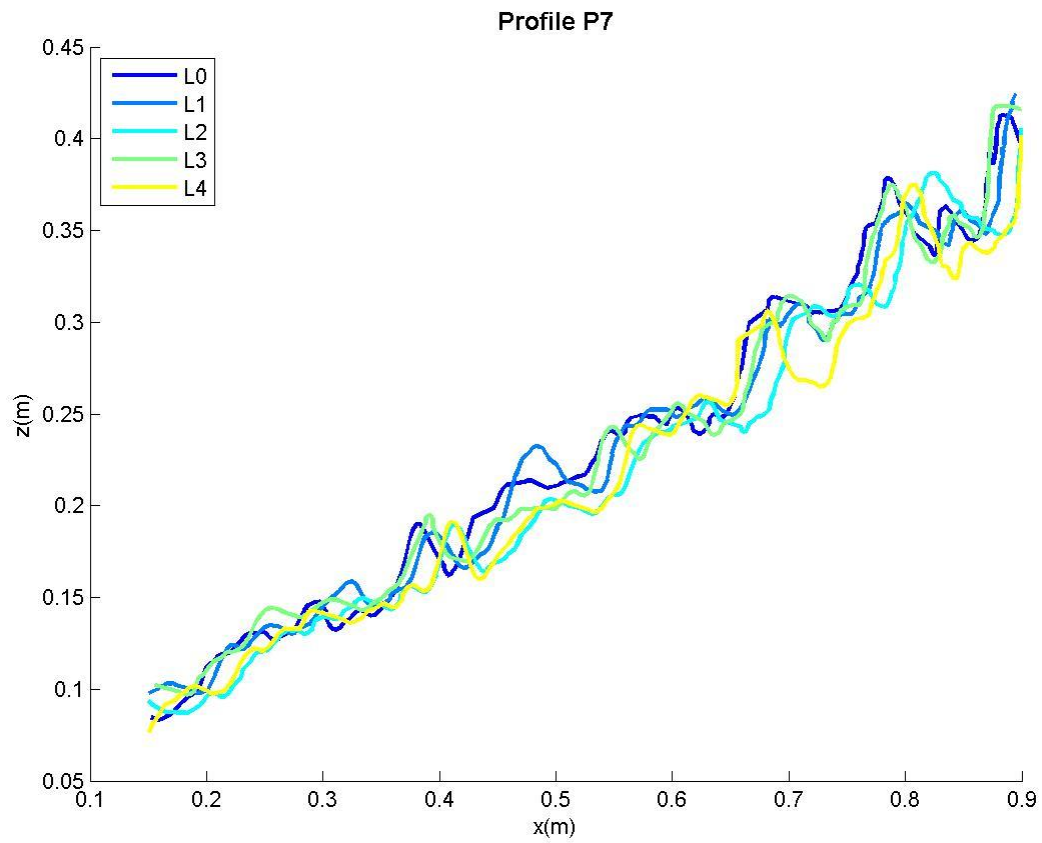


Figura A.4.7 – Perfil P7 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

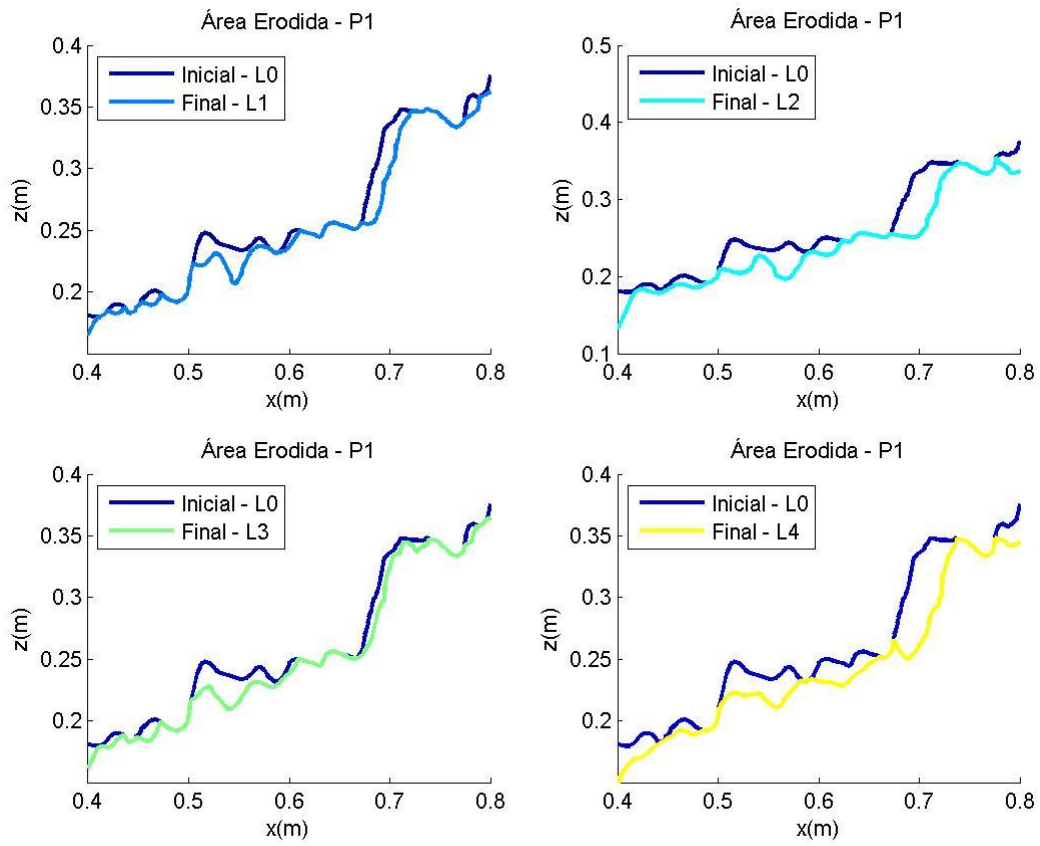


Figura A.4.8 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

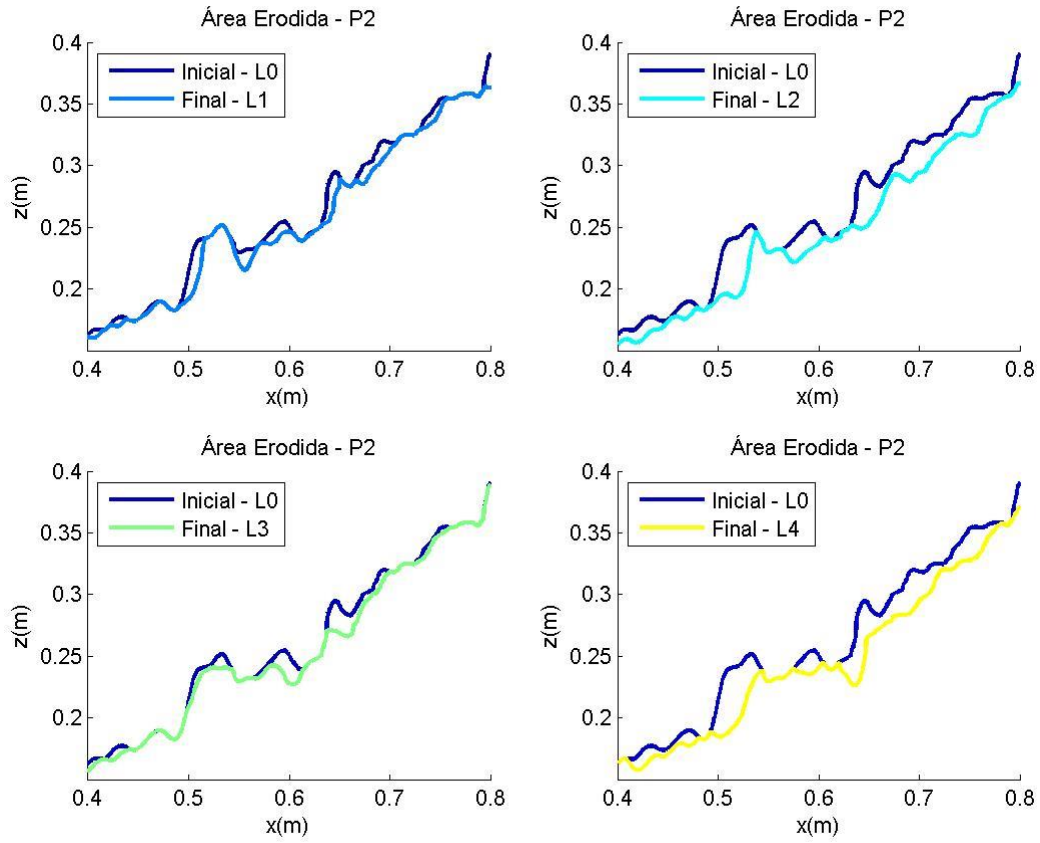


Figura A.4.9 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

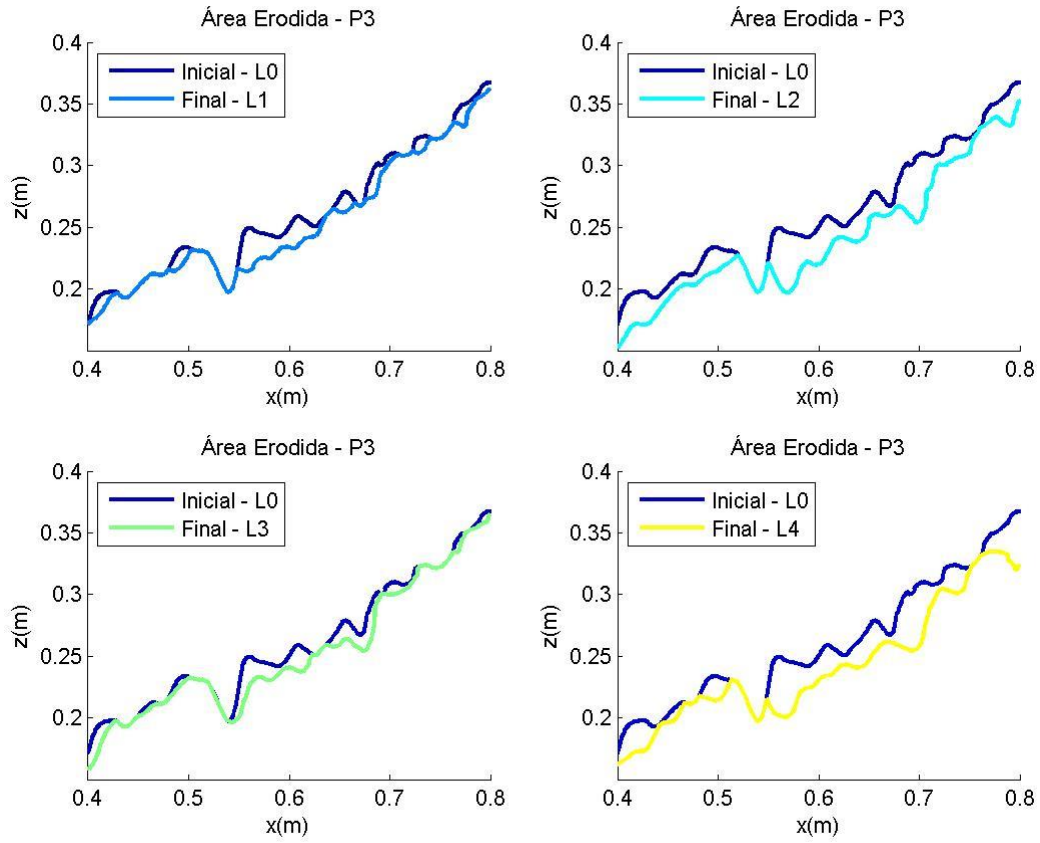


Figura A.4.10 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

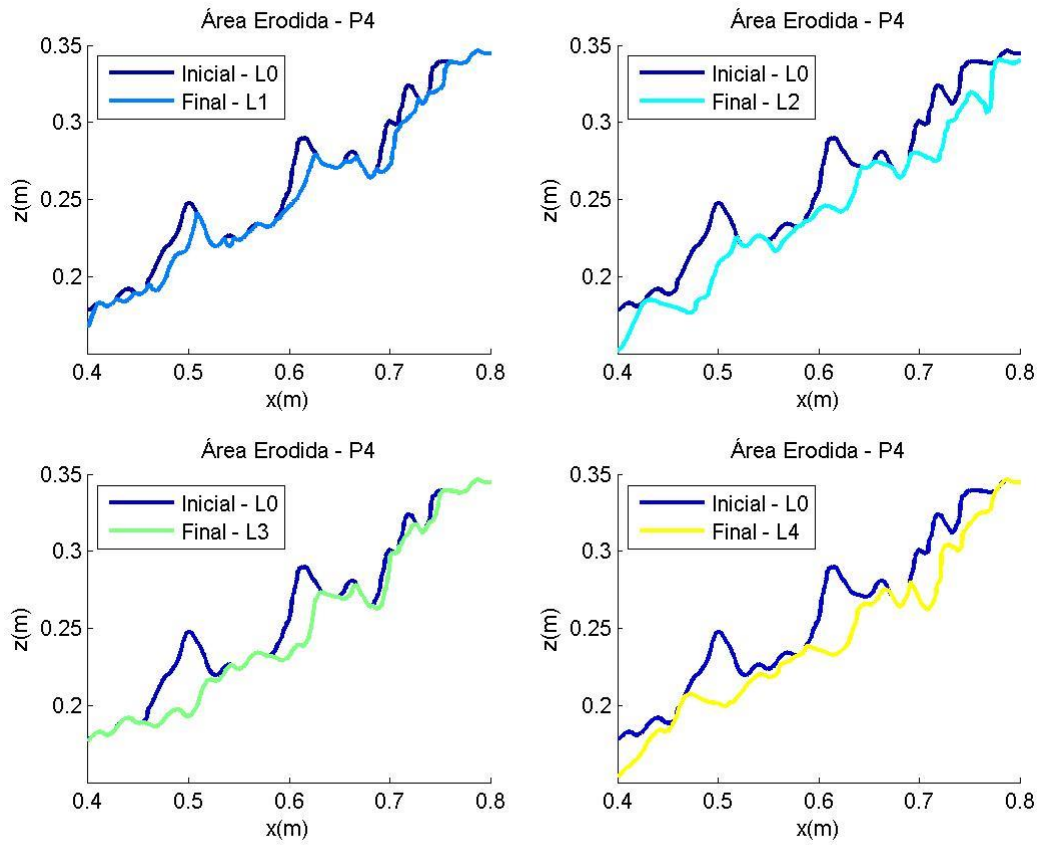


Figura A.4.11 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

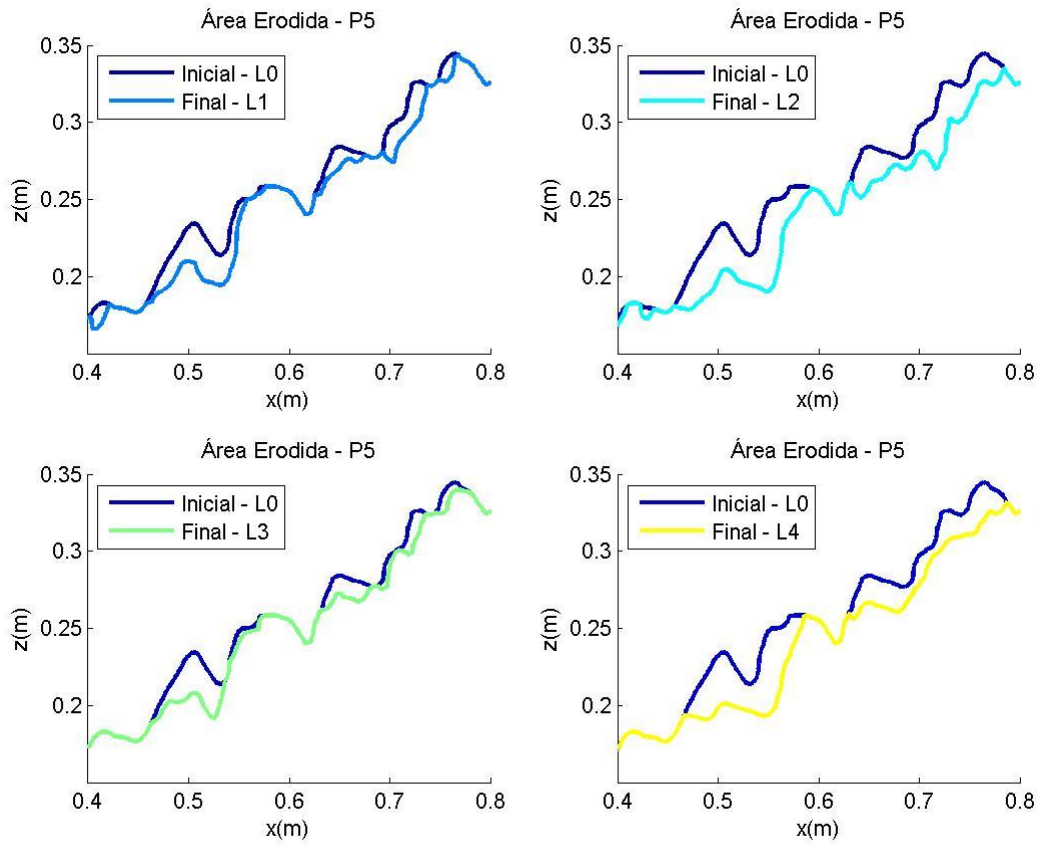


Figura A.4.12 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

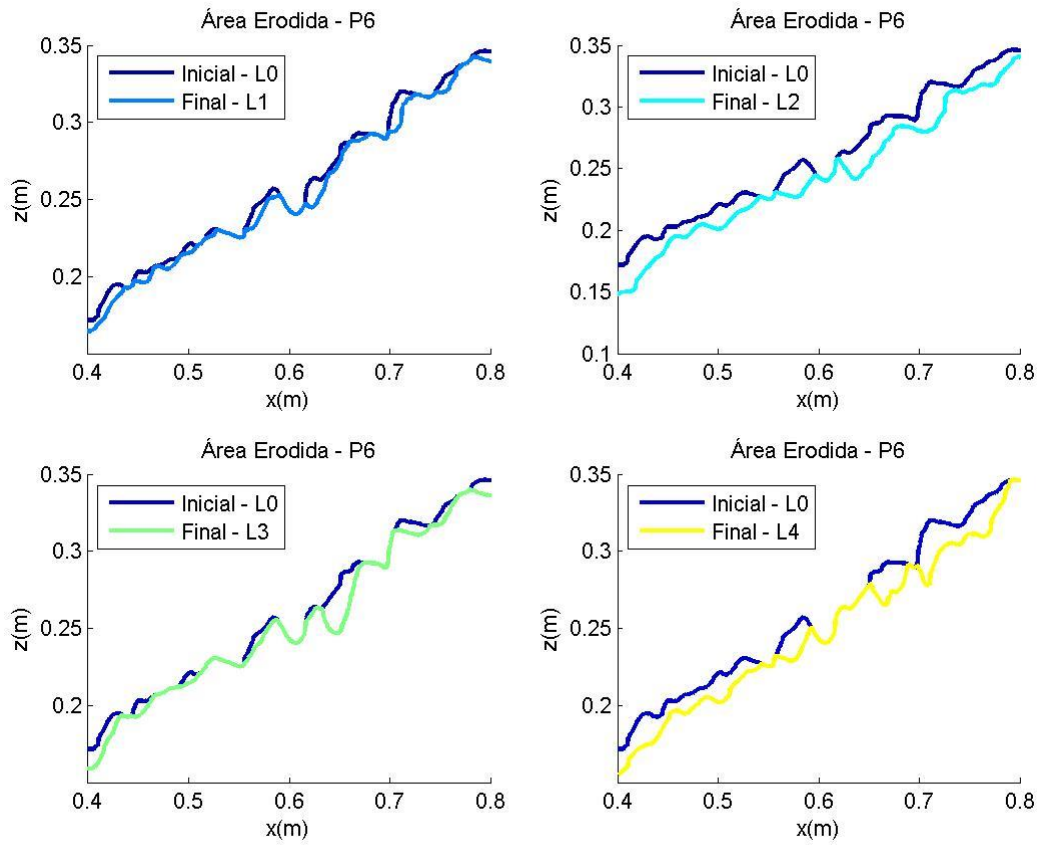


Figura A.4.13 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

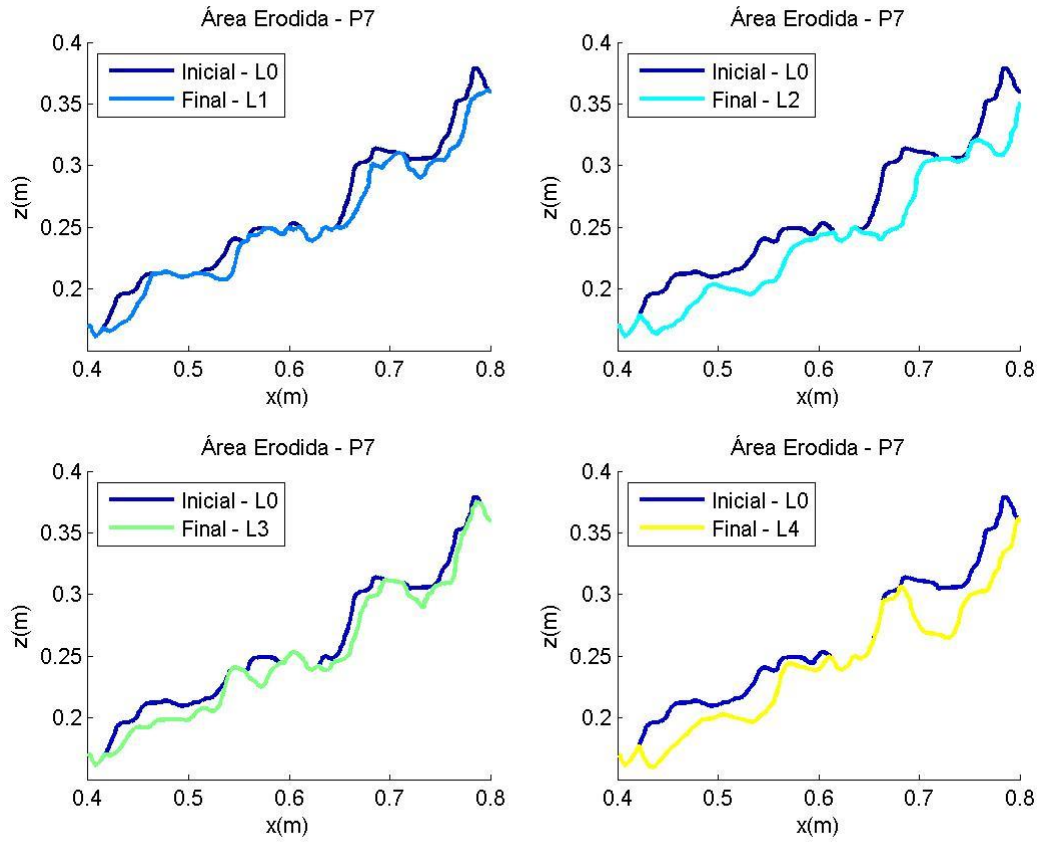


Figura A.4.14 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

Tp= 10 s BM – Manto Resistente

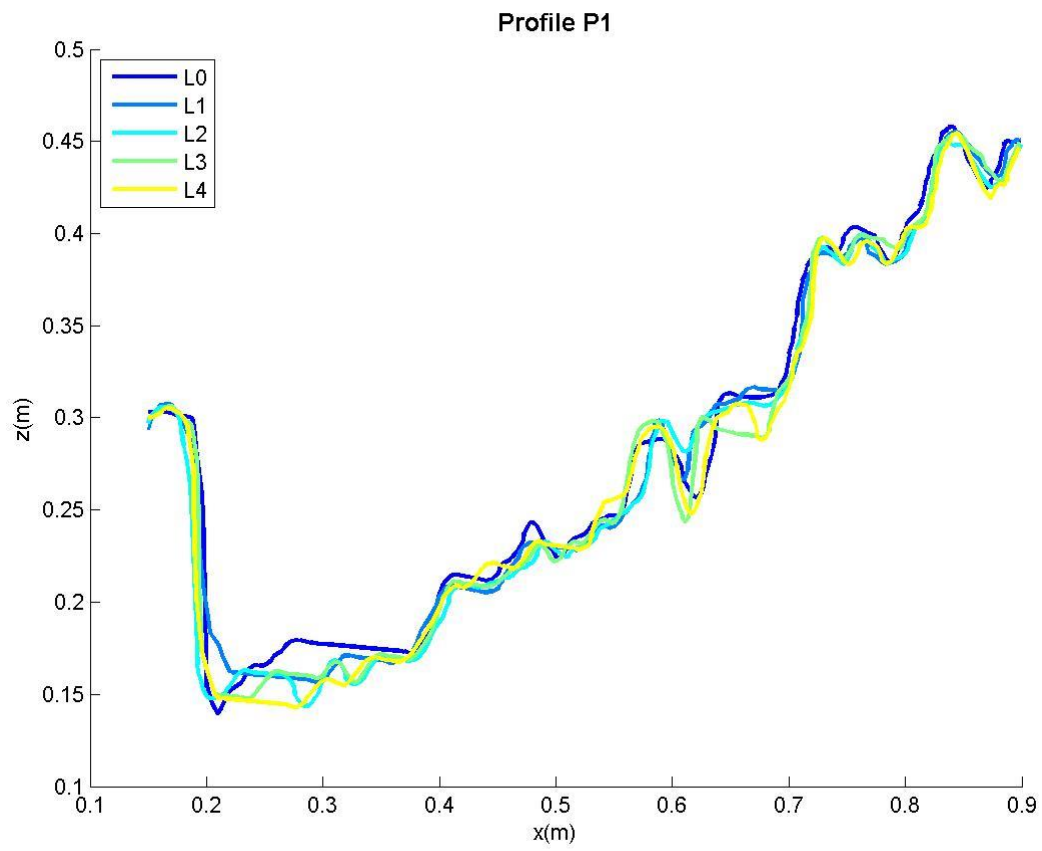


Figura A.4.15 – Perfil P1 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com Tp=10 s BM

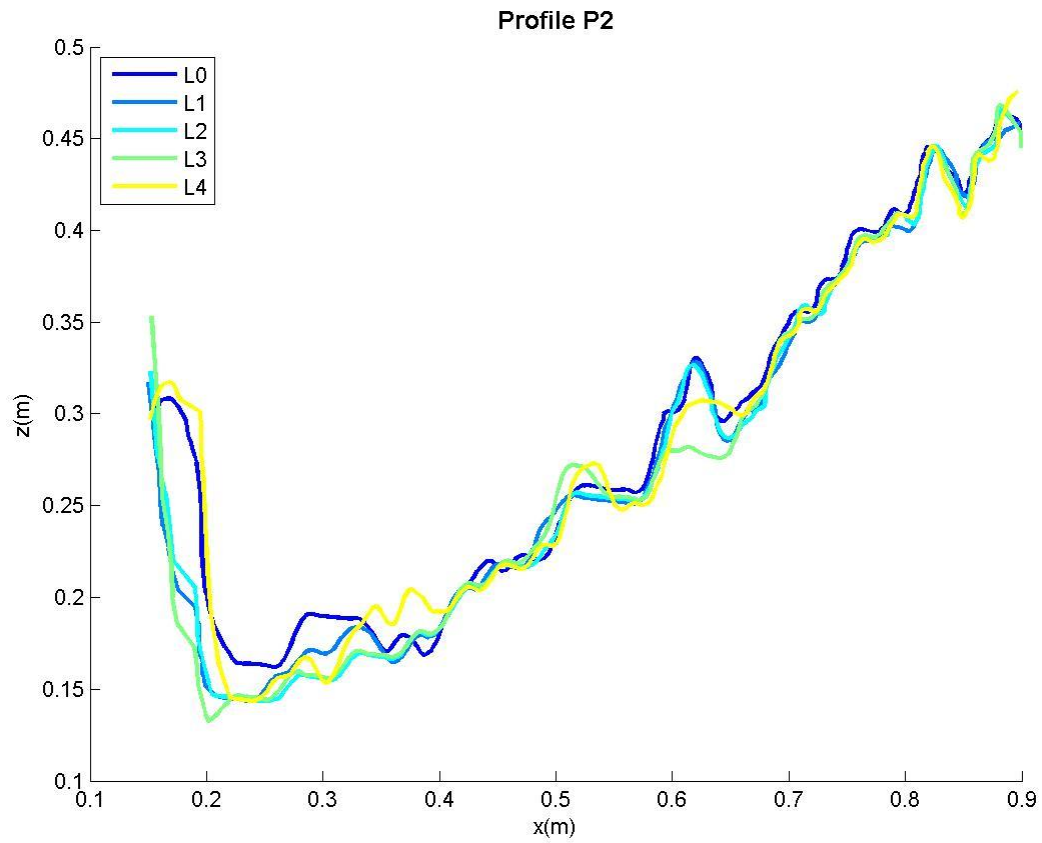


Figura A.4.16 – Perfil P2 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

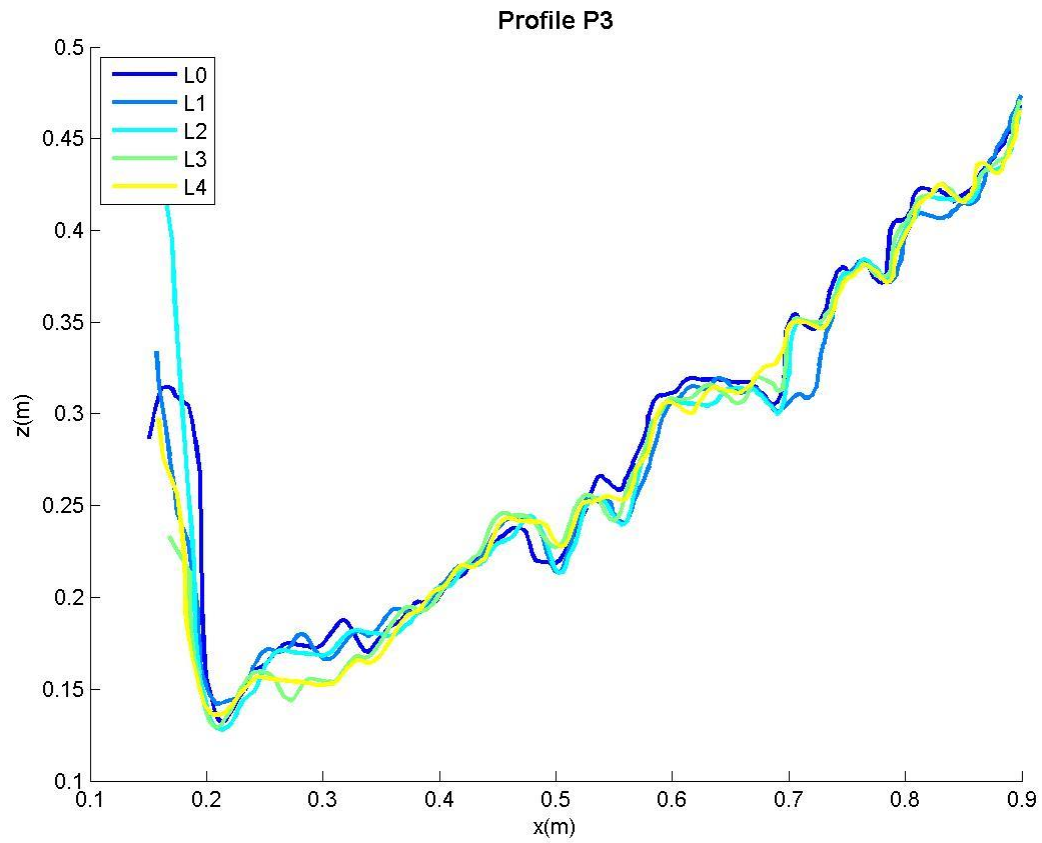


Figura A.4.17 – Perfil P3 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

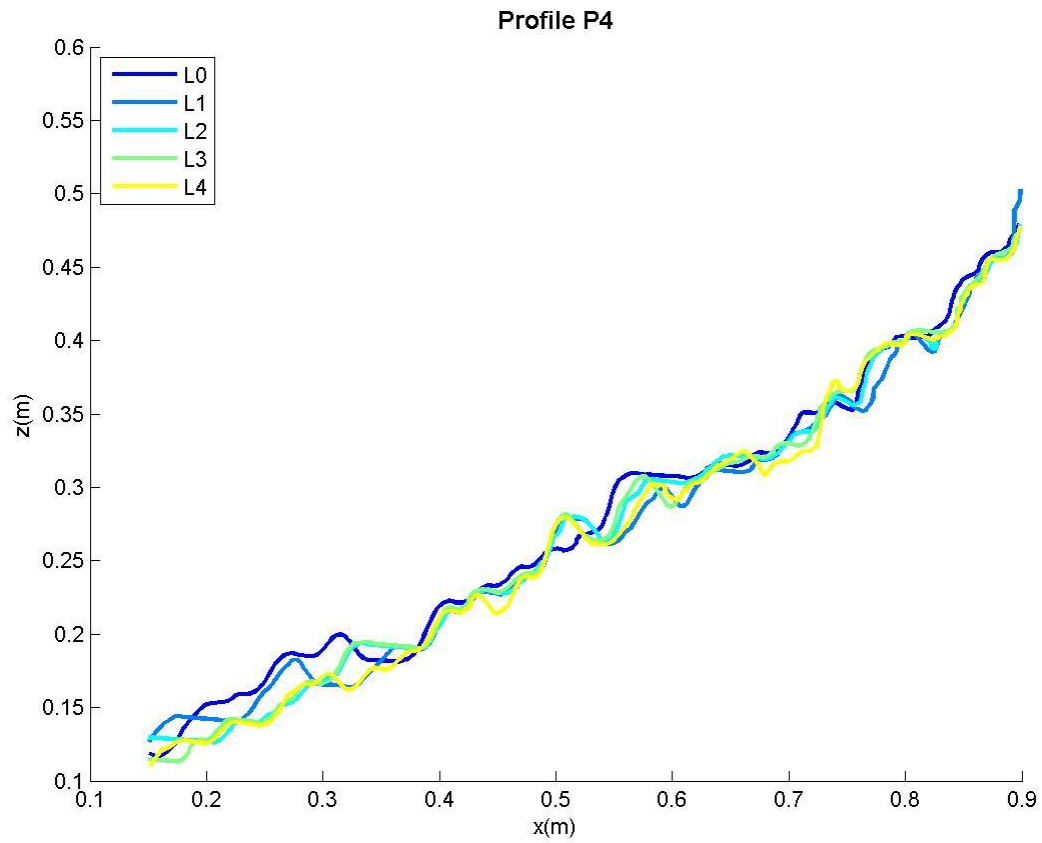


Figura A.4.18 – Perfil P4 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

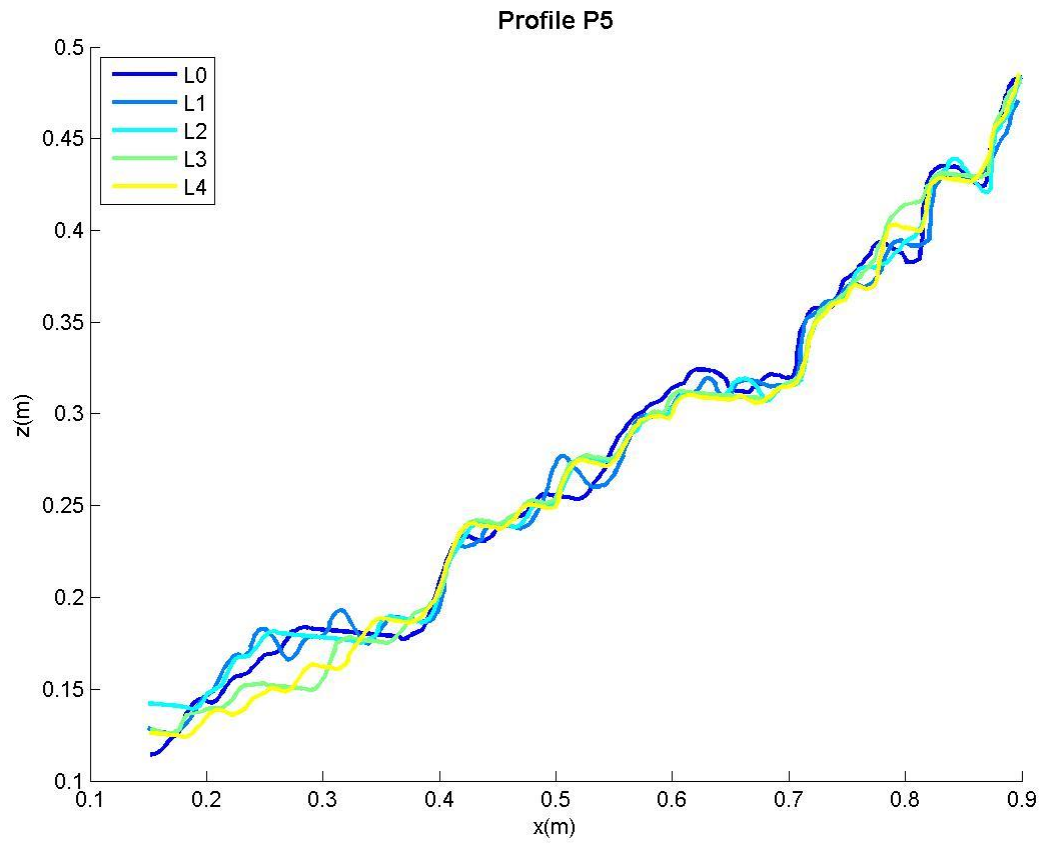


Figura A.4.19 – Perfil P5 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

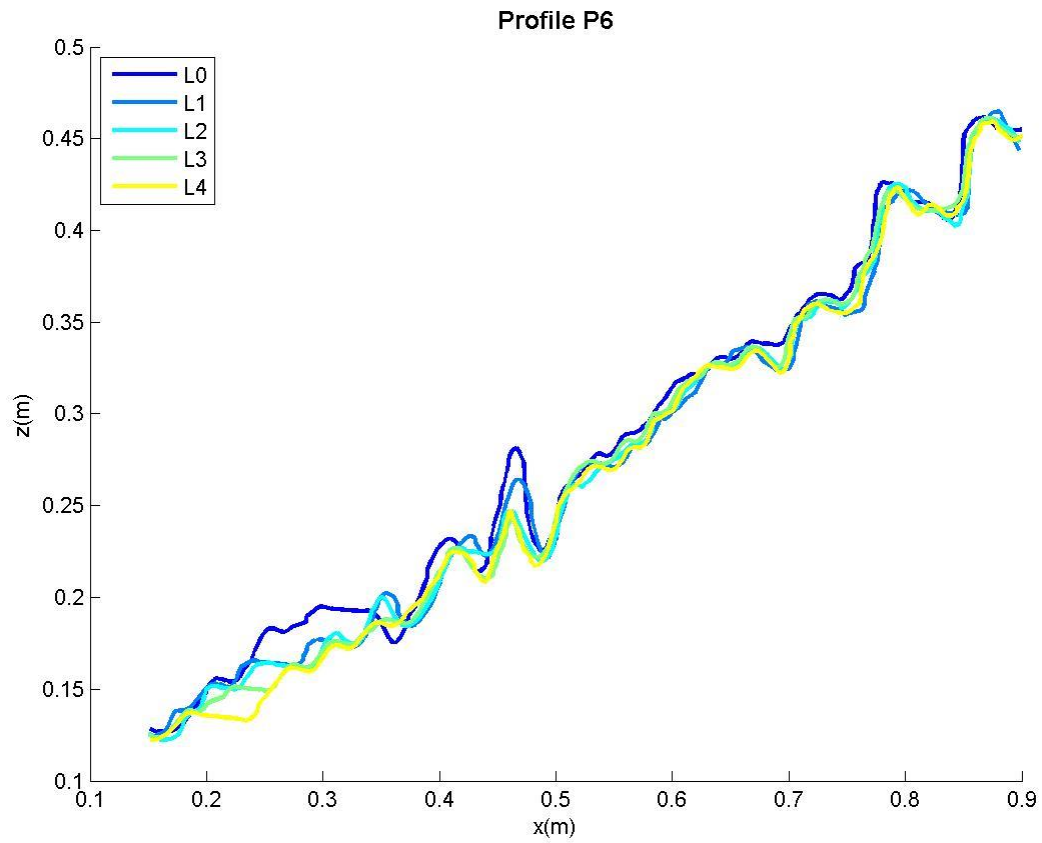


Figura A.4.20 – Perfil P6 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

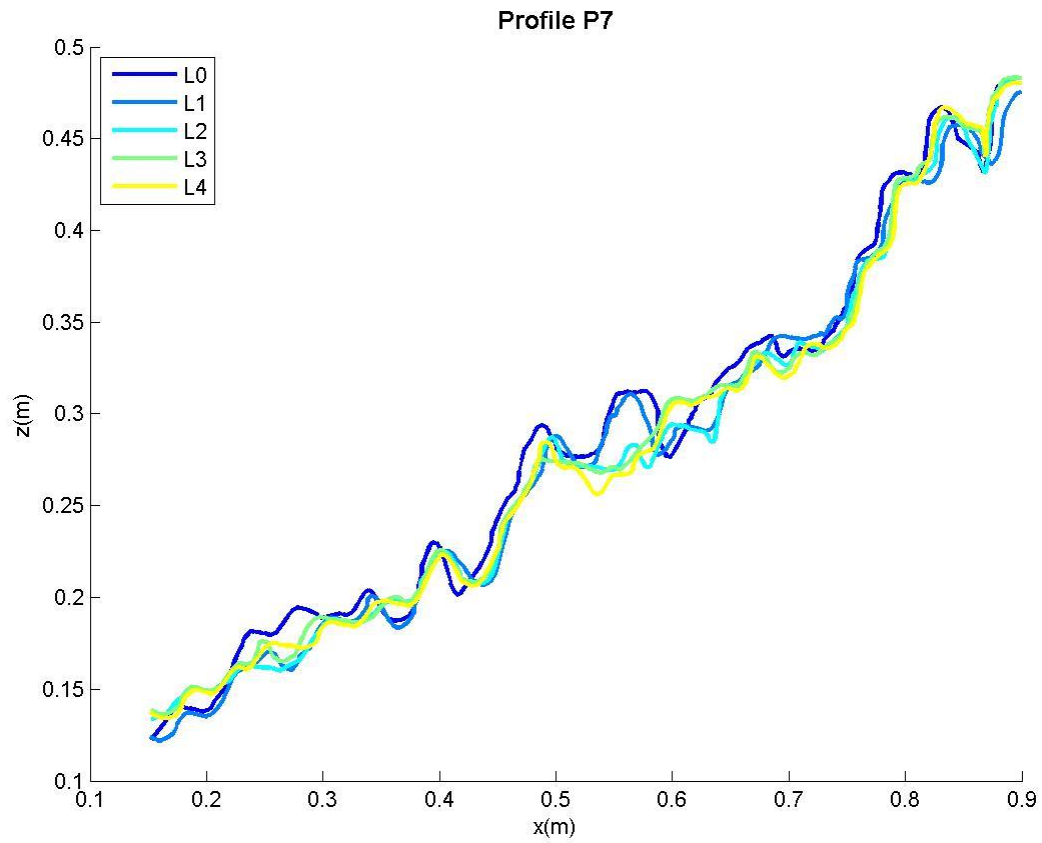


Figura A.4.21 – Perfil P7 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3 e L4 (final), para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

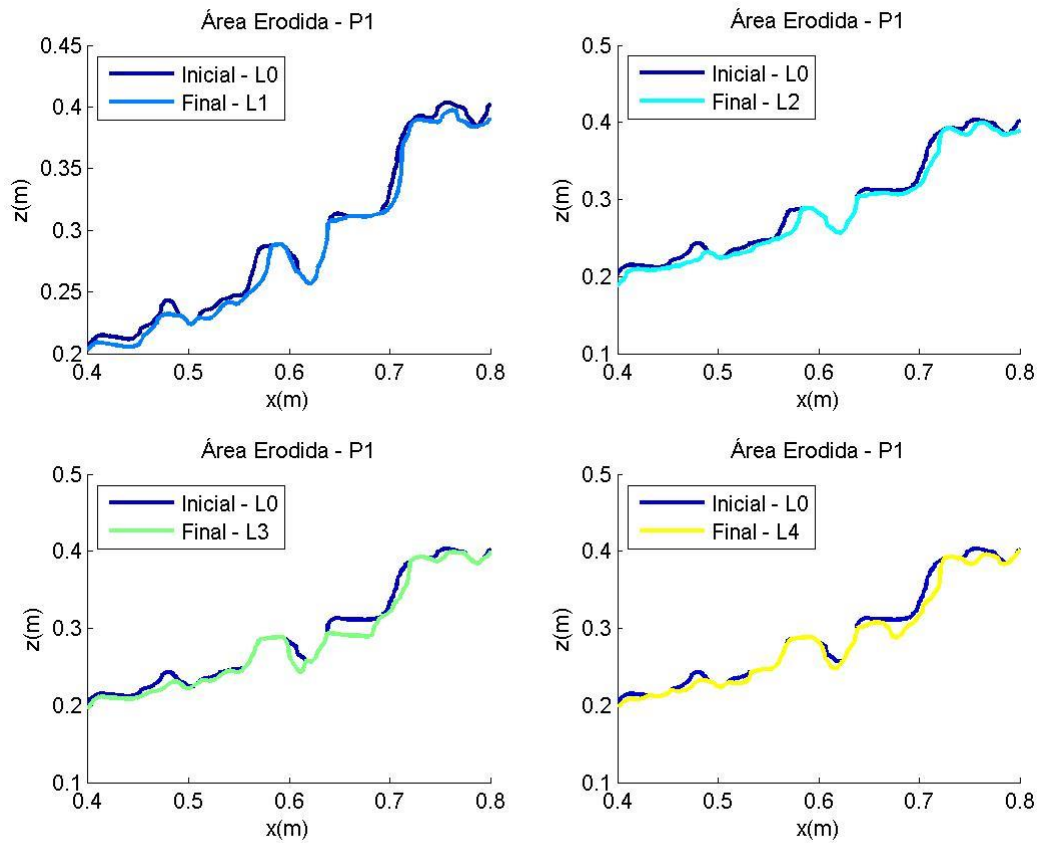


Figura A.4.22 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

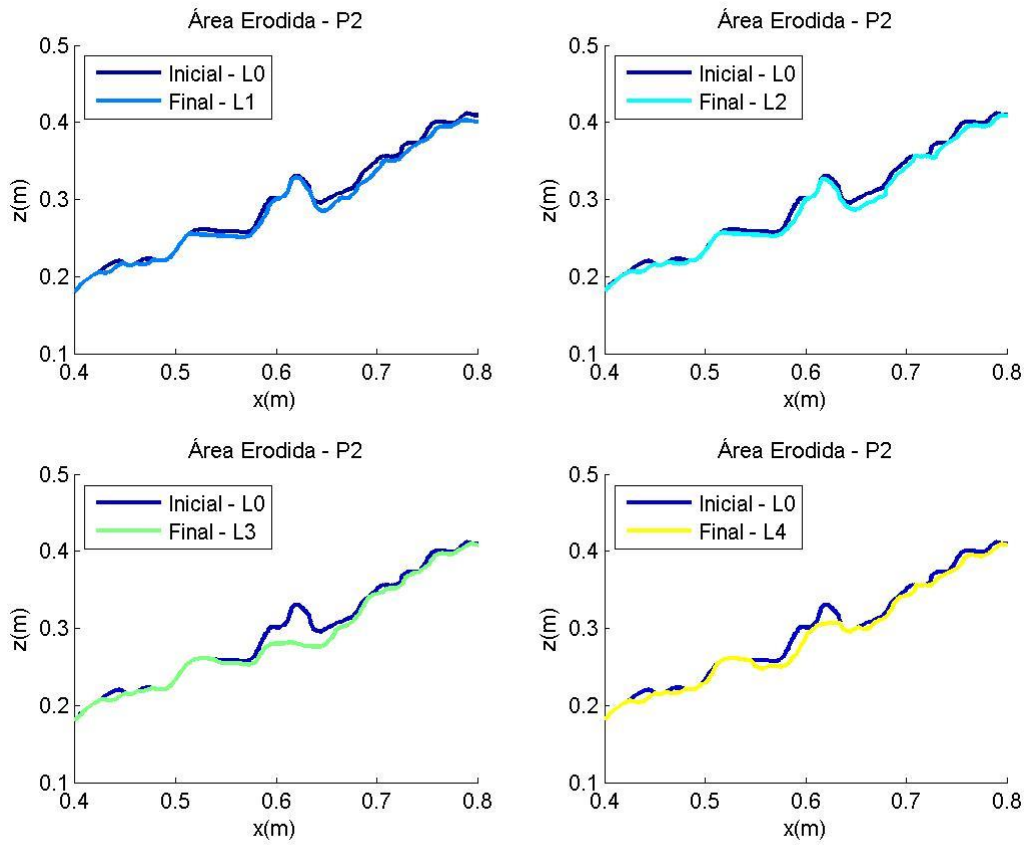


Figura A.4.23 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

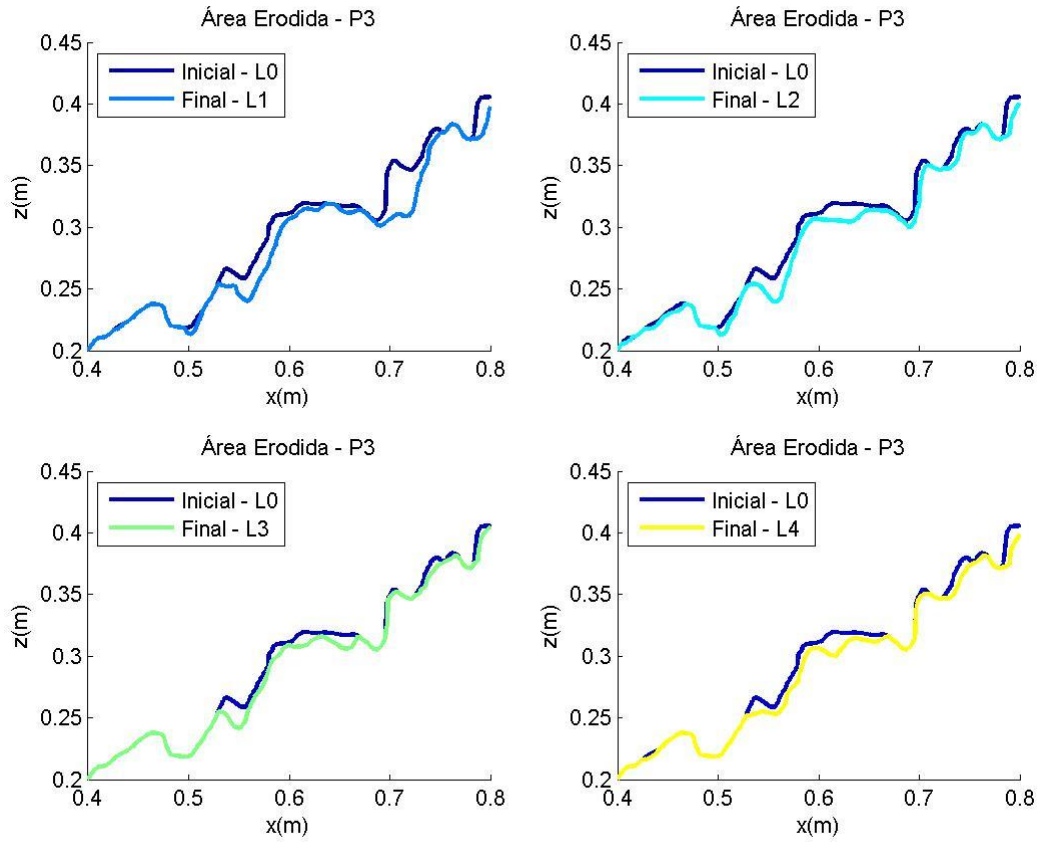


Figura A.4.24 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

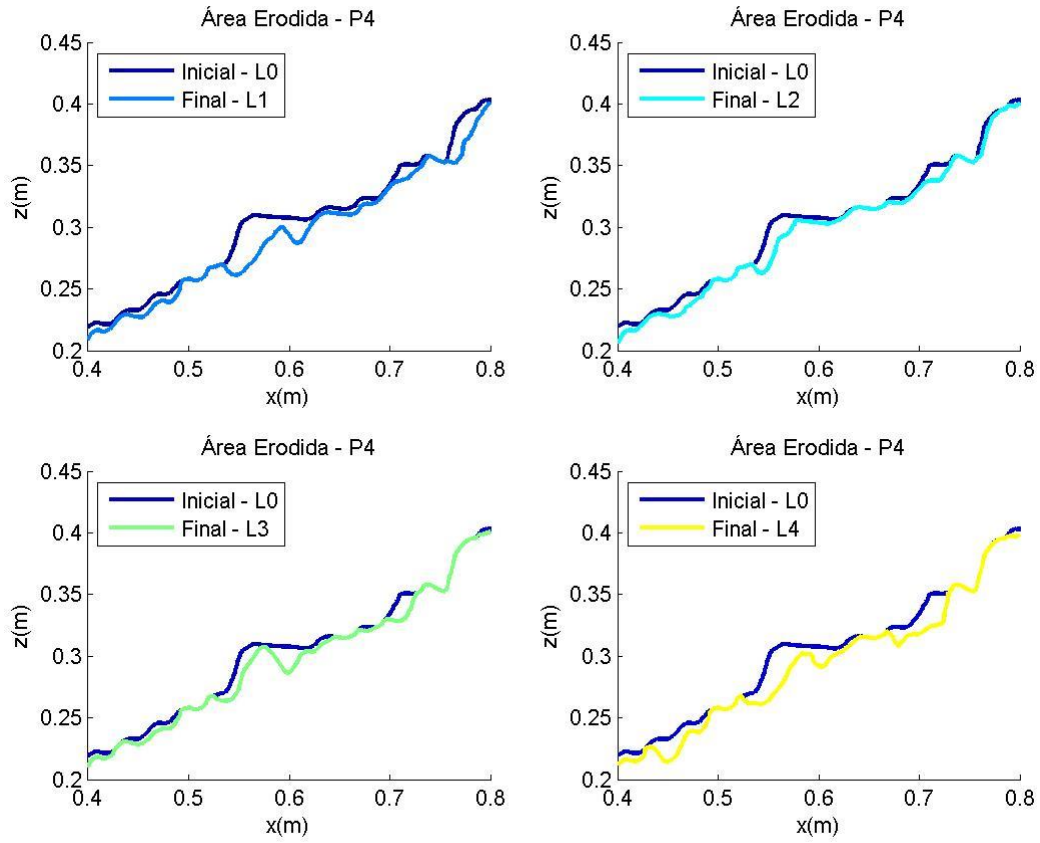


Figura A.4.25 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

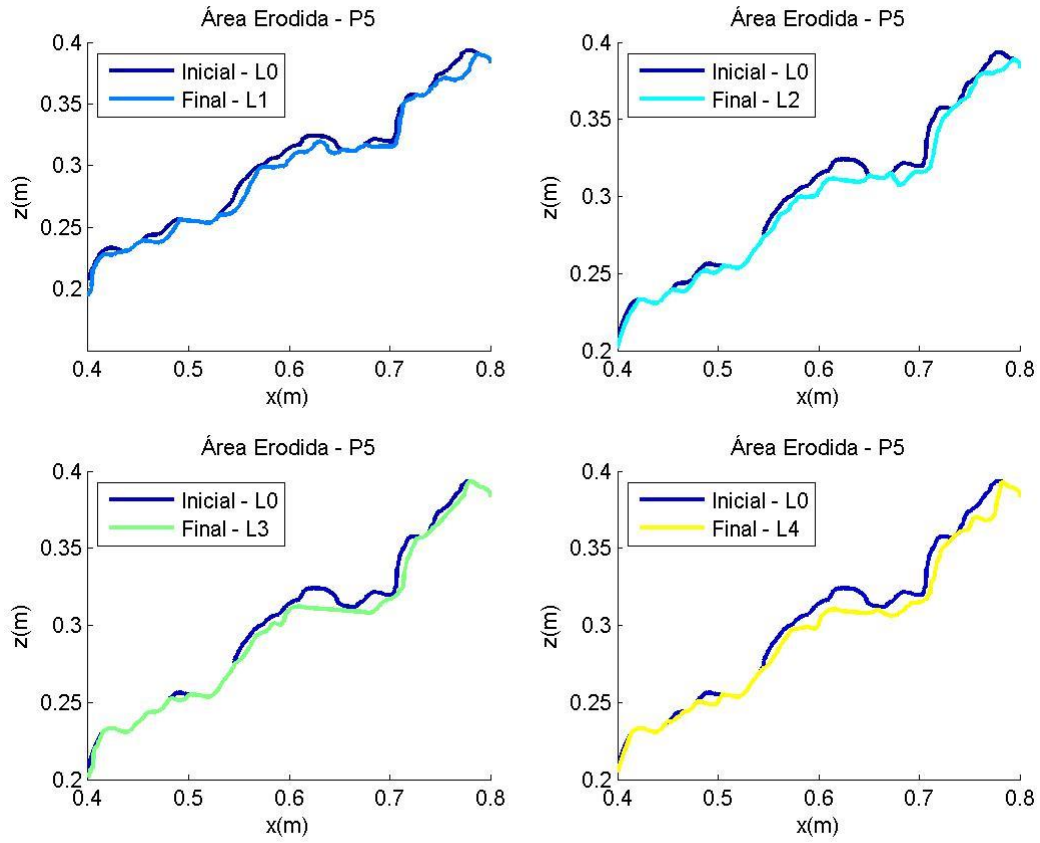


Figura A.4.26 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

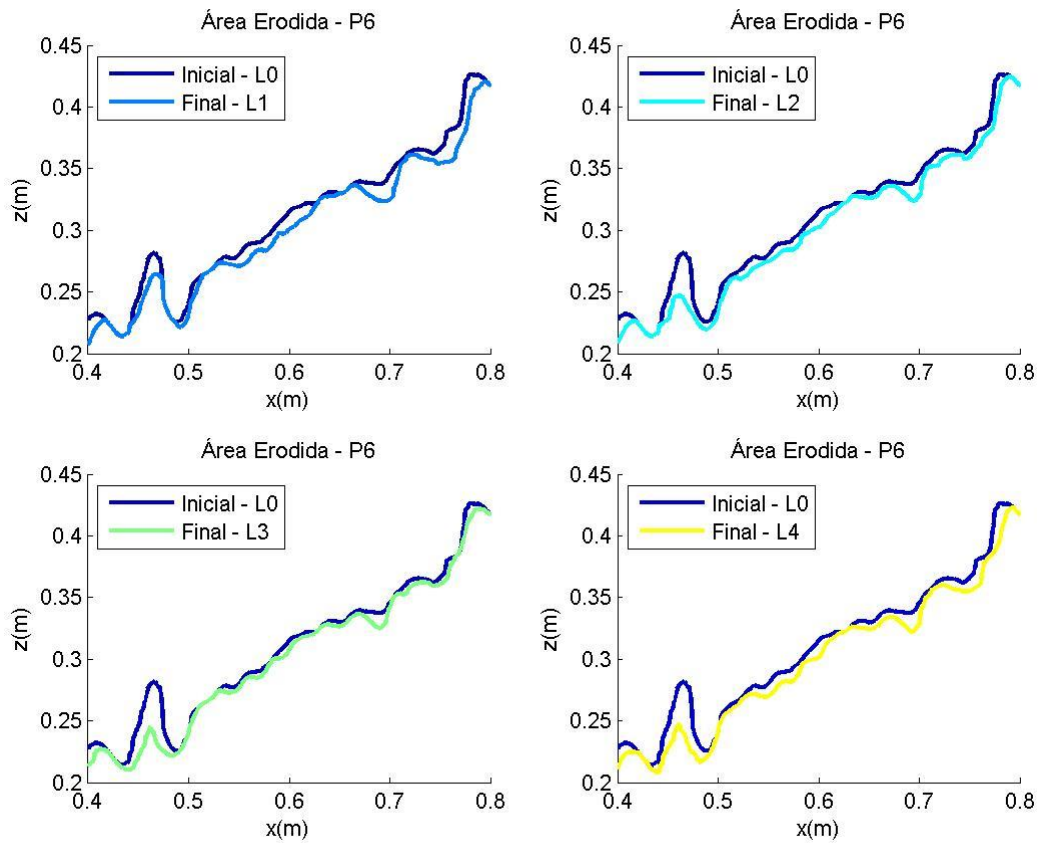


Figura A.4.27 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

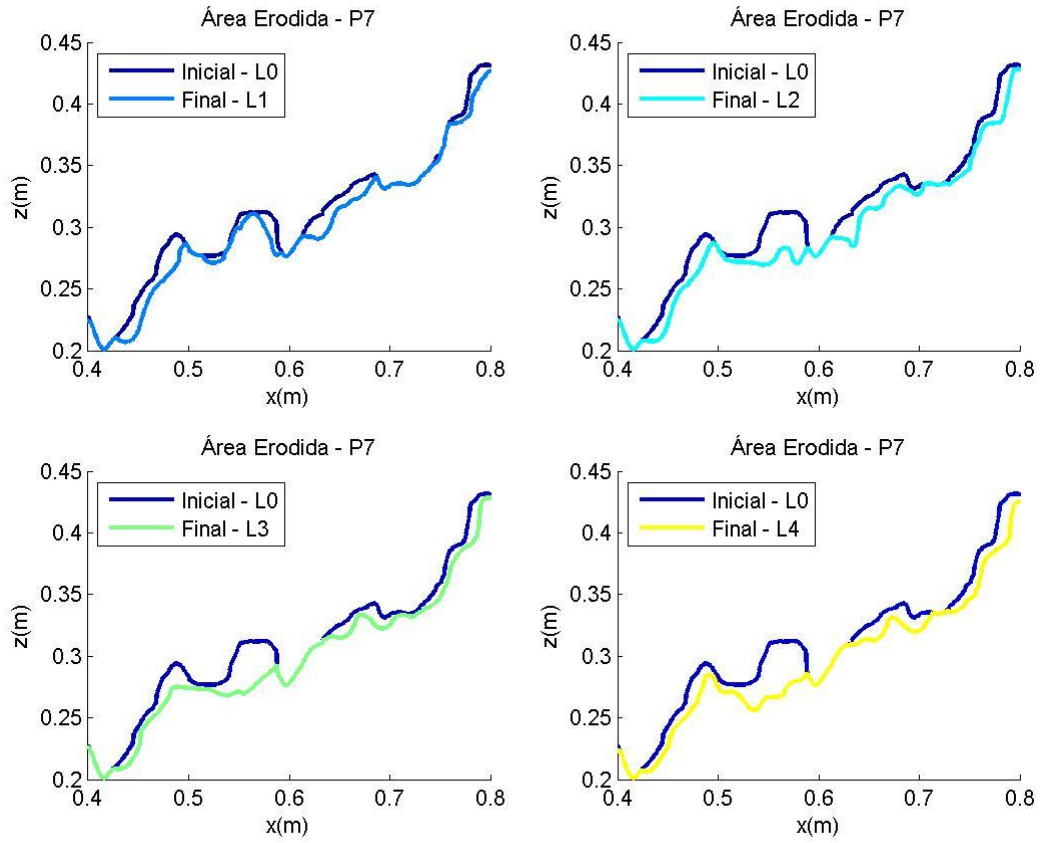


Figura A.4.28 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

Tp=14 s PM – Manto Resistente

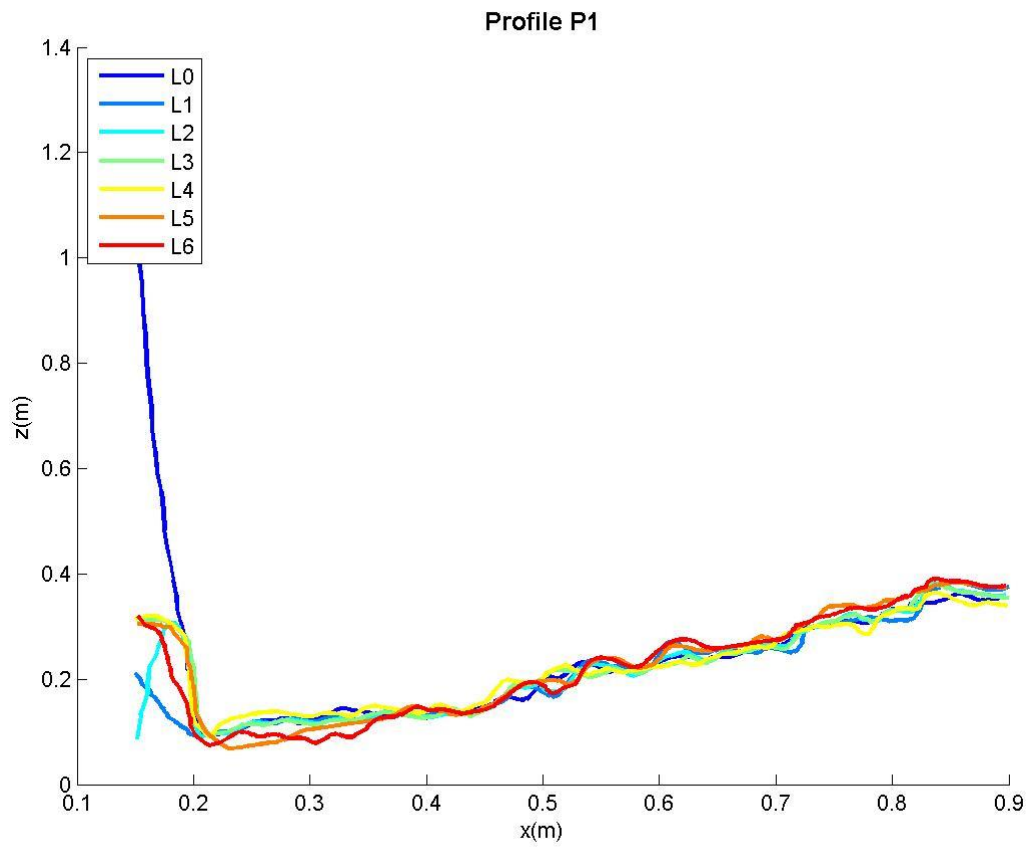


Figura A.4.29 – Perfil P1 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com Tp=14 s PM

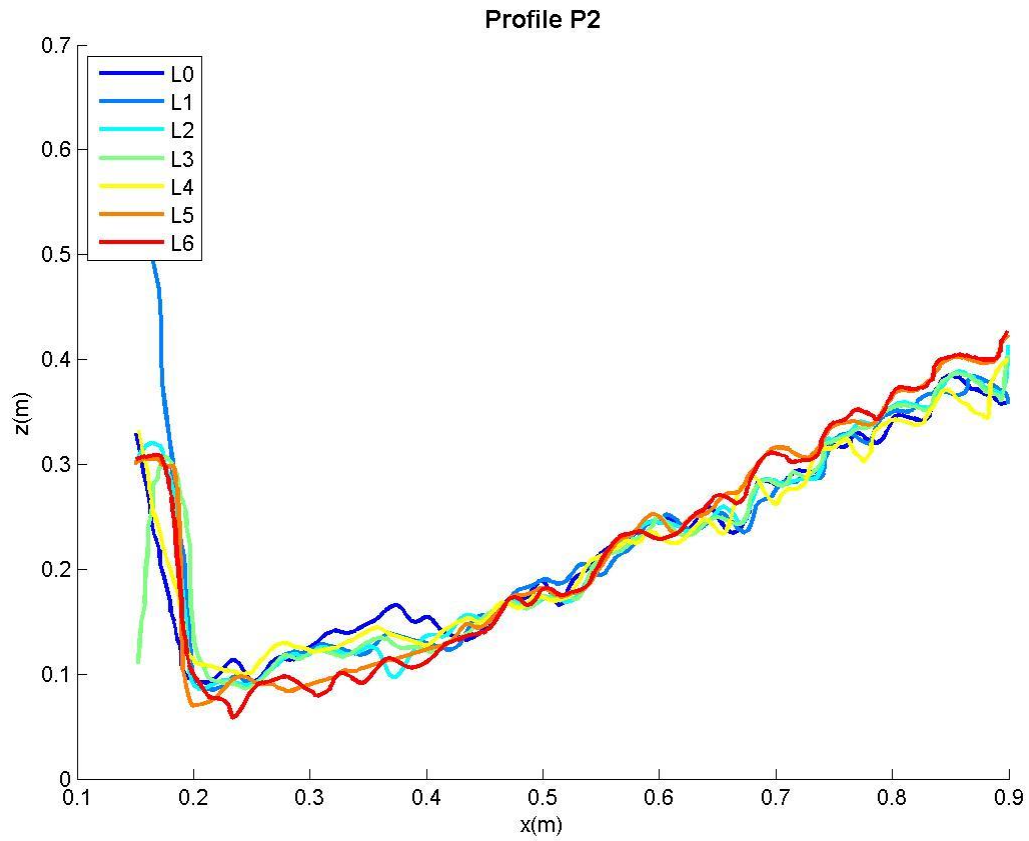


Figura A.4.30 – Perfil P2 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

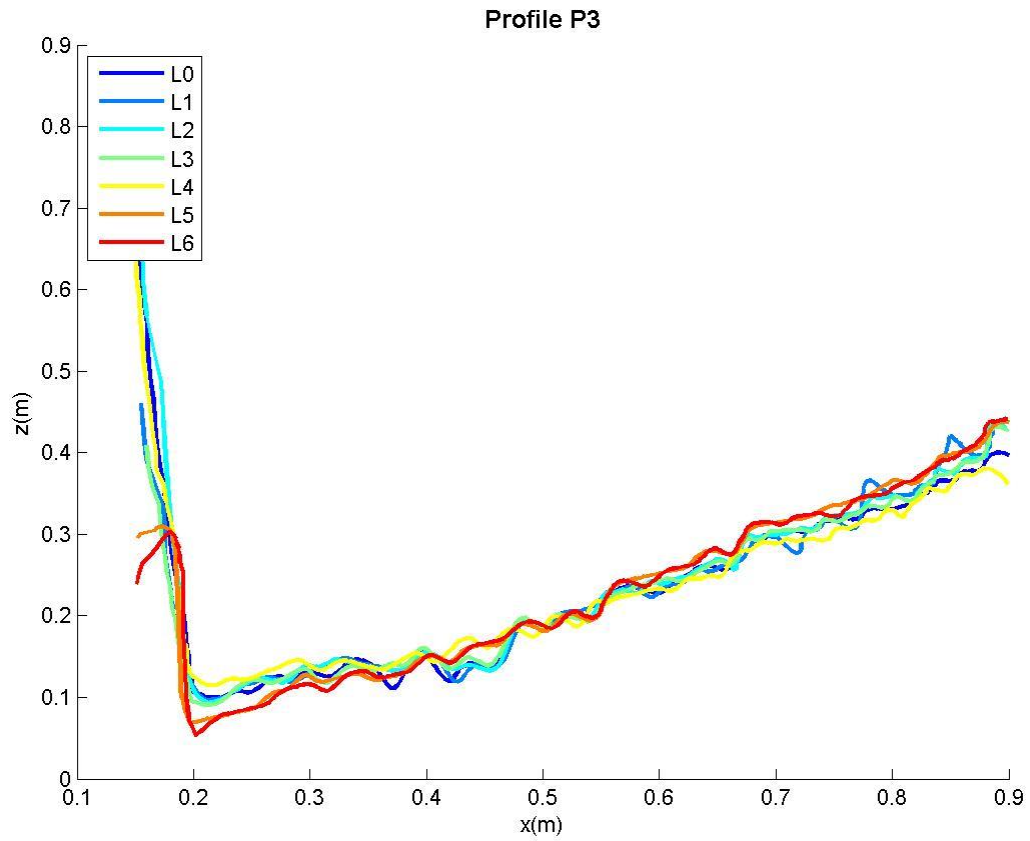


Figura A.4.31 – Perfil P3 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

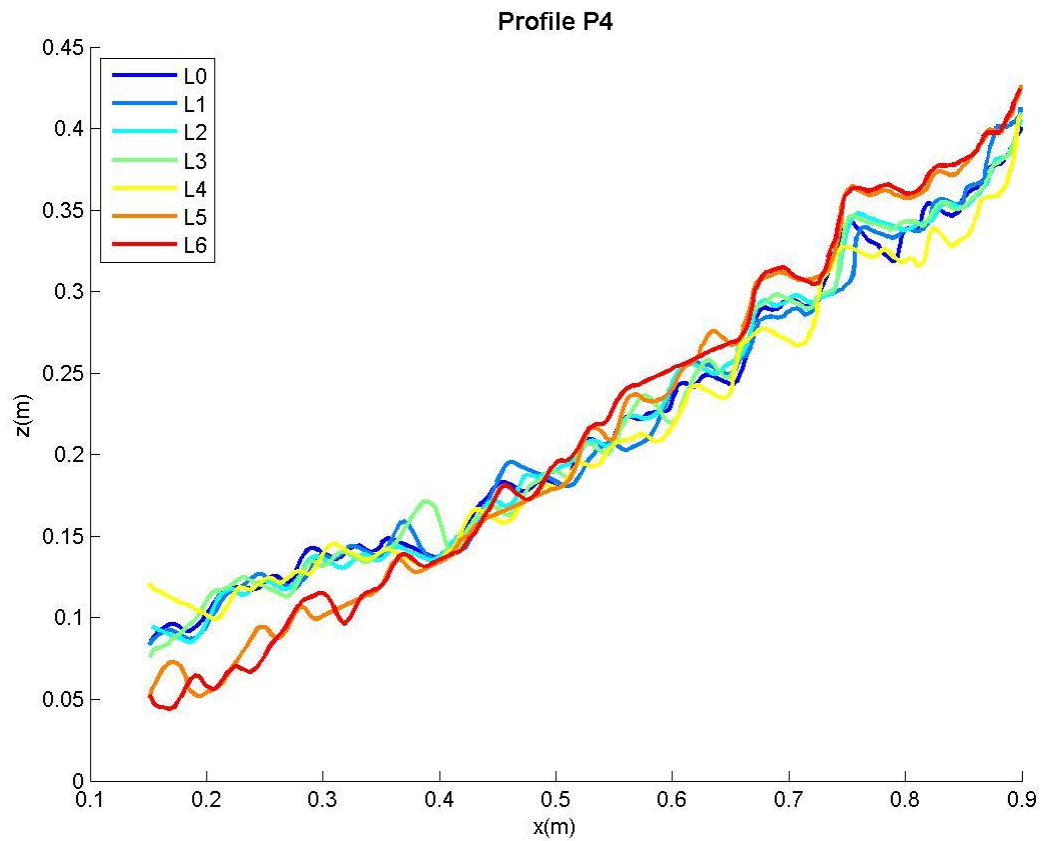


Figura A.4.32 – Perfil P4 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

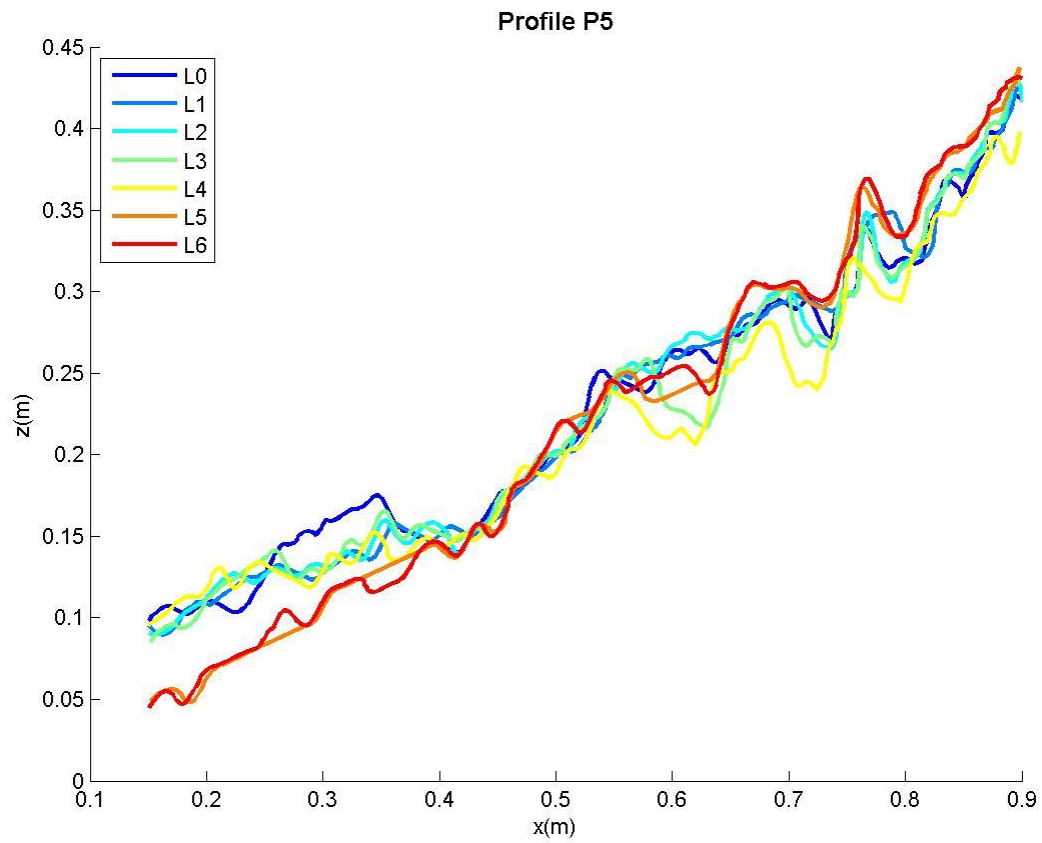


Figura A.4.33 – Perfil P5 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

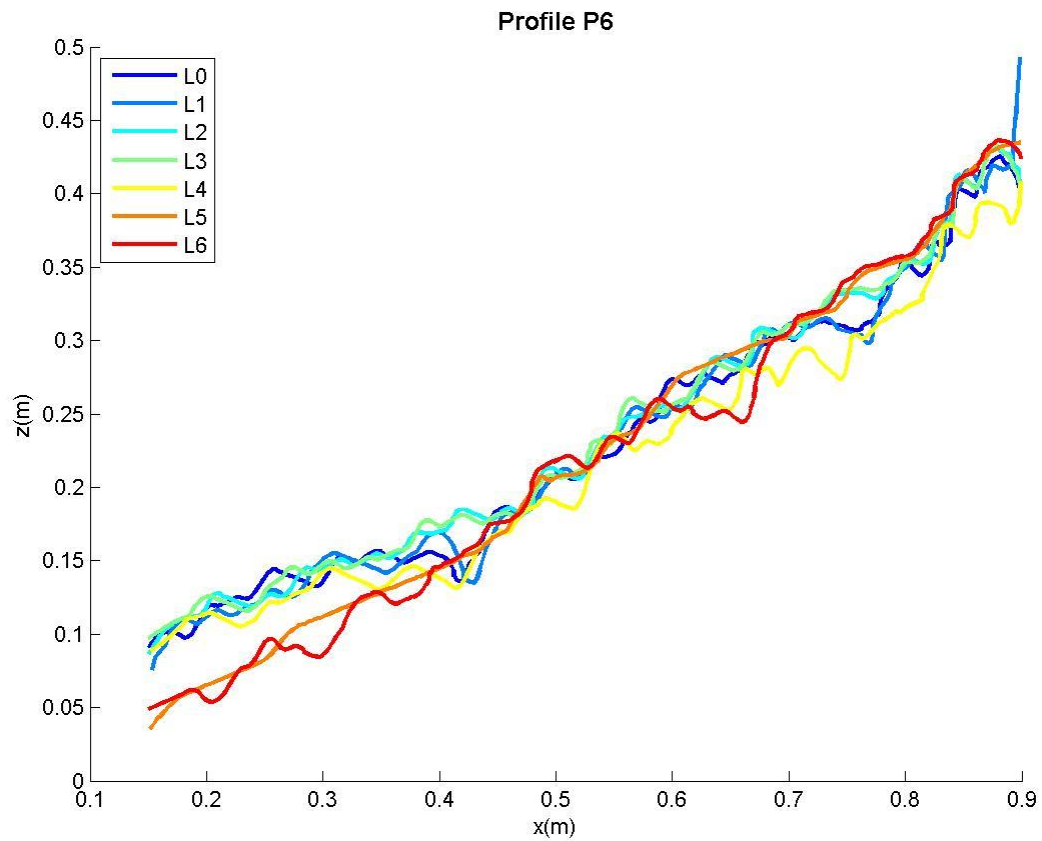


Figura A.4.34 – Perfil P6 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

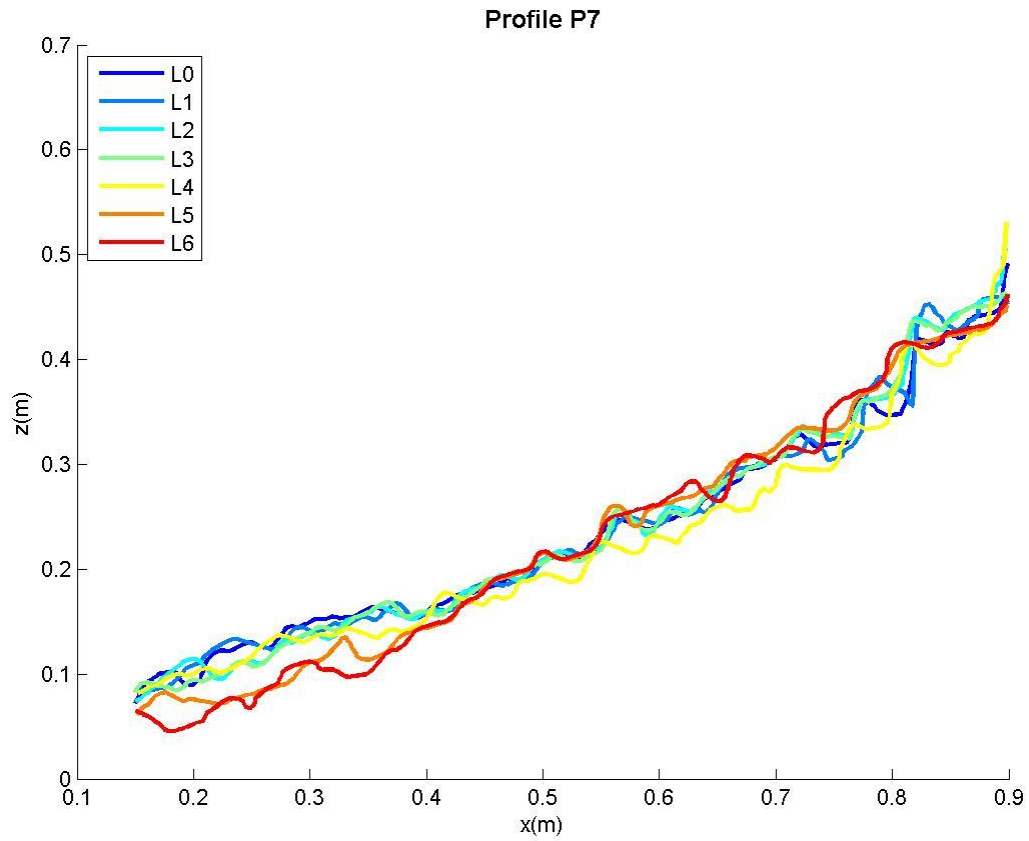


Figura A.4.35 – Perfil P7 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4, L5 e L6 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

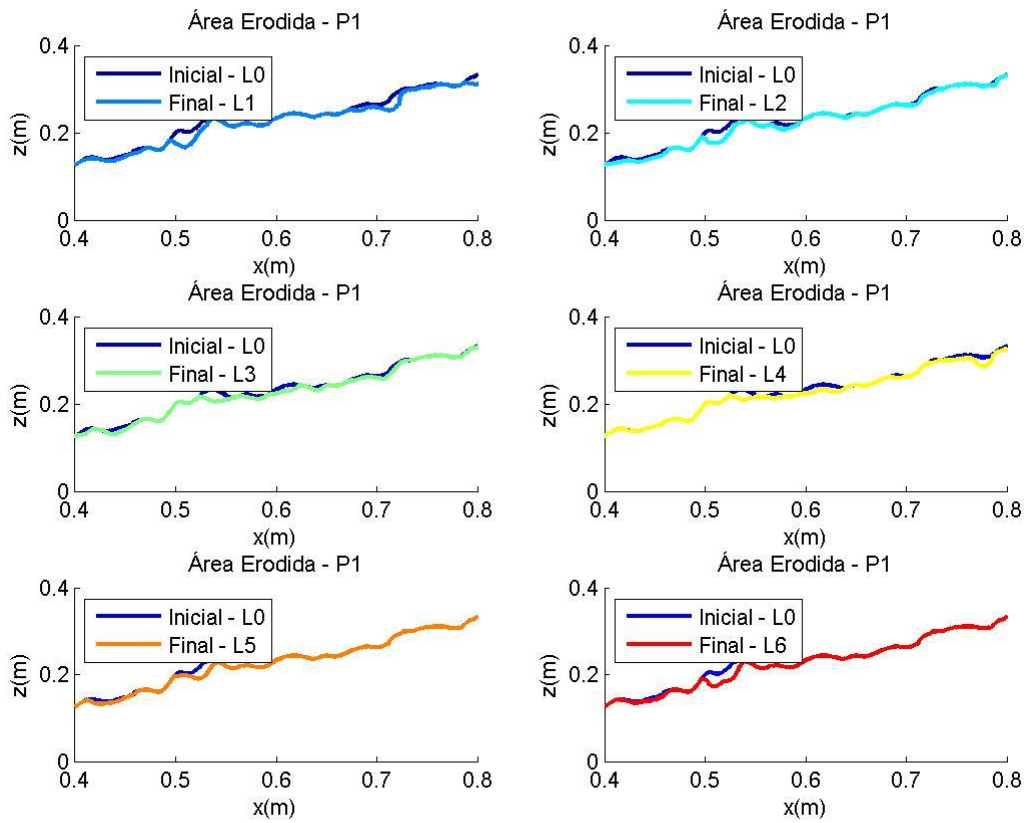


Figura A.4.36 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

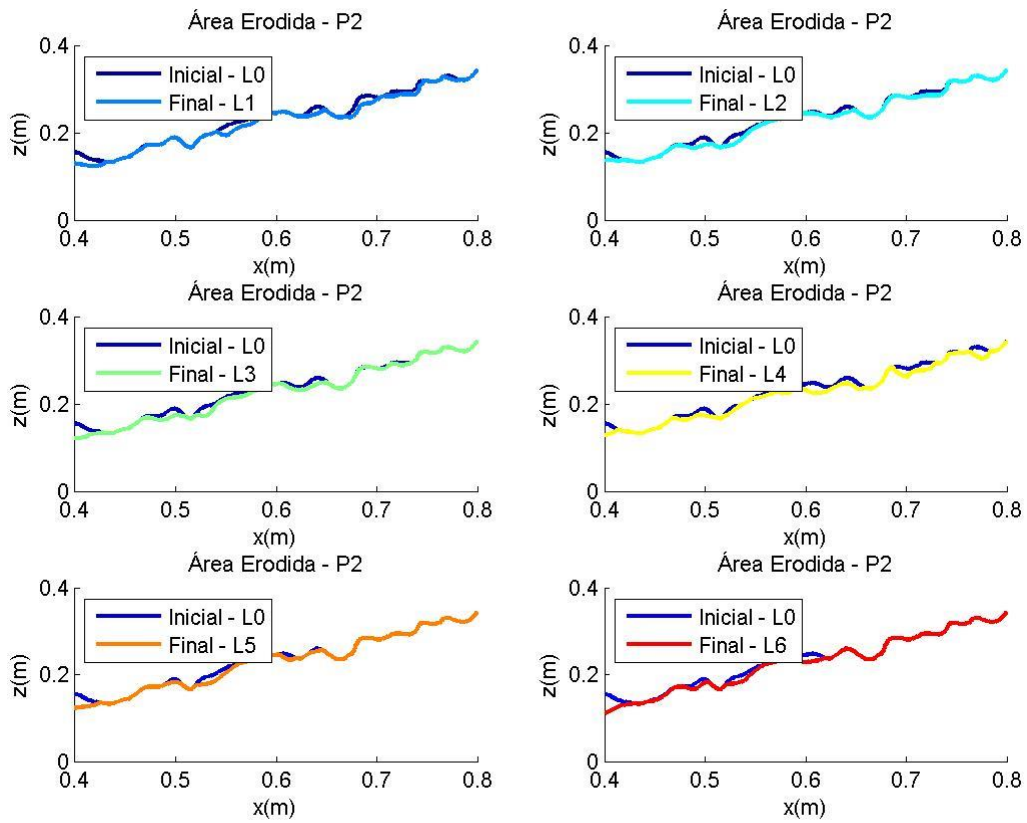


Figura A.4.37 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

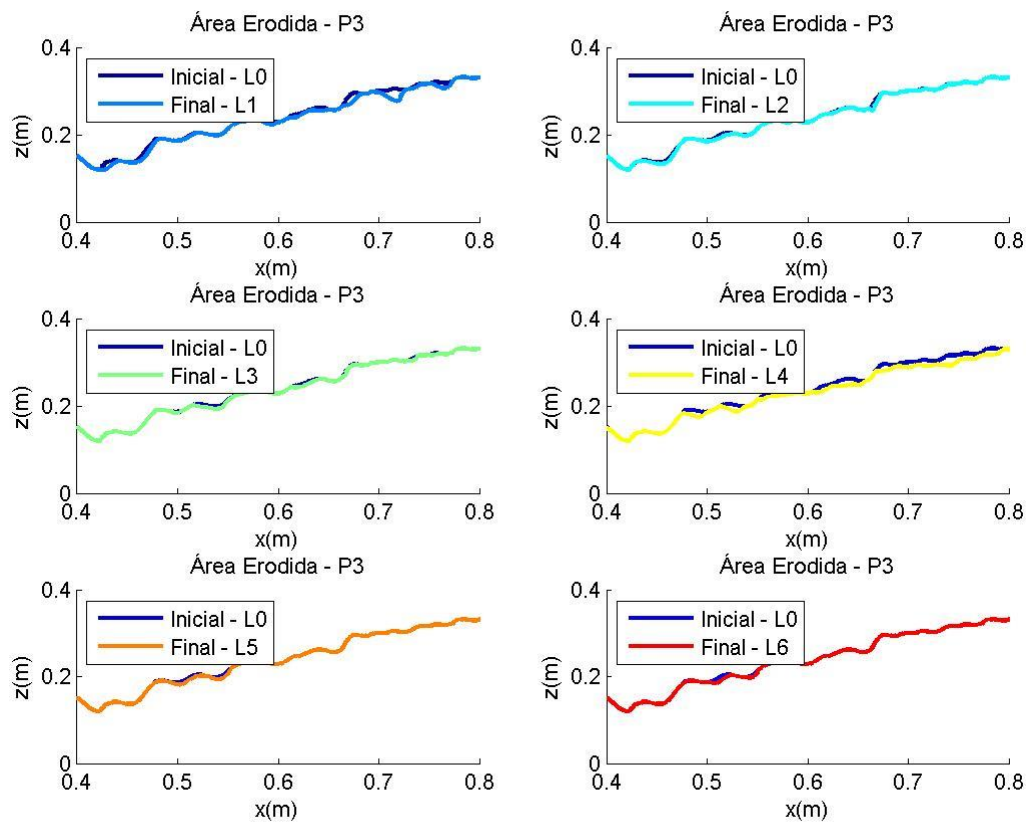


Figura A.4.38 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

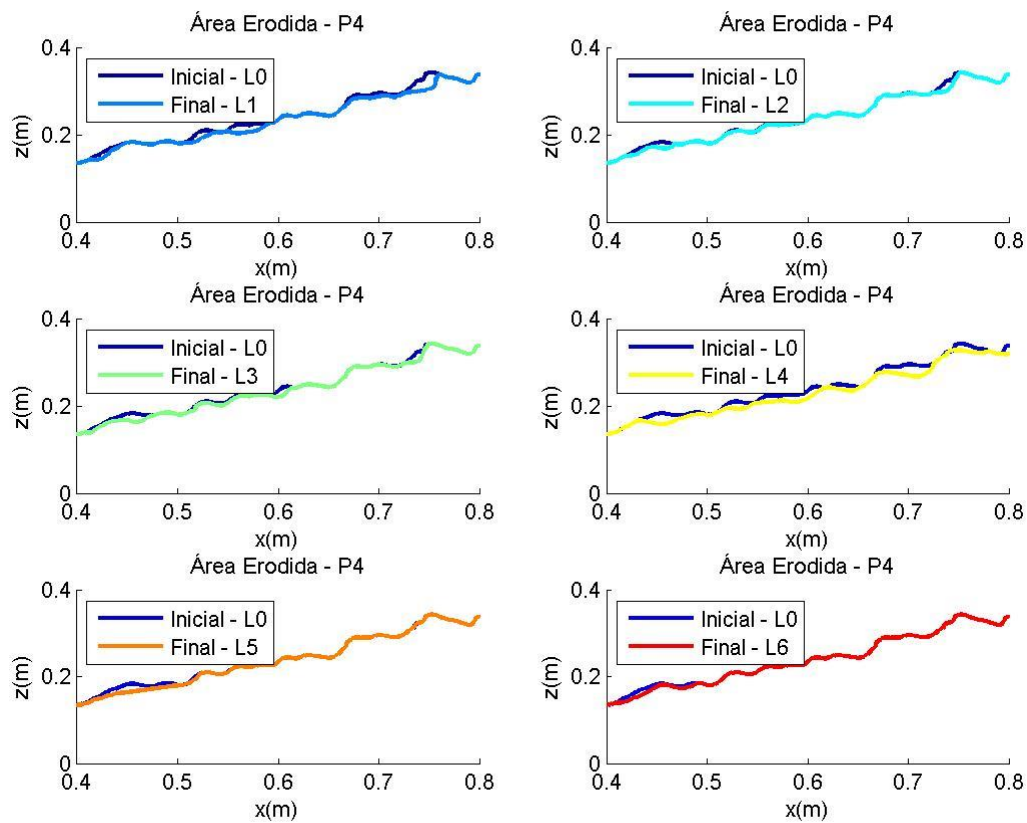


Figura A.4.39 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

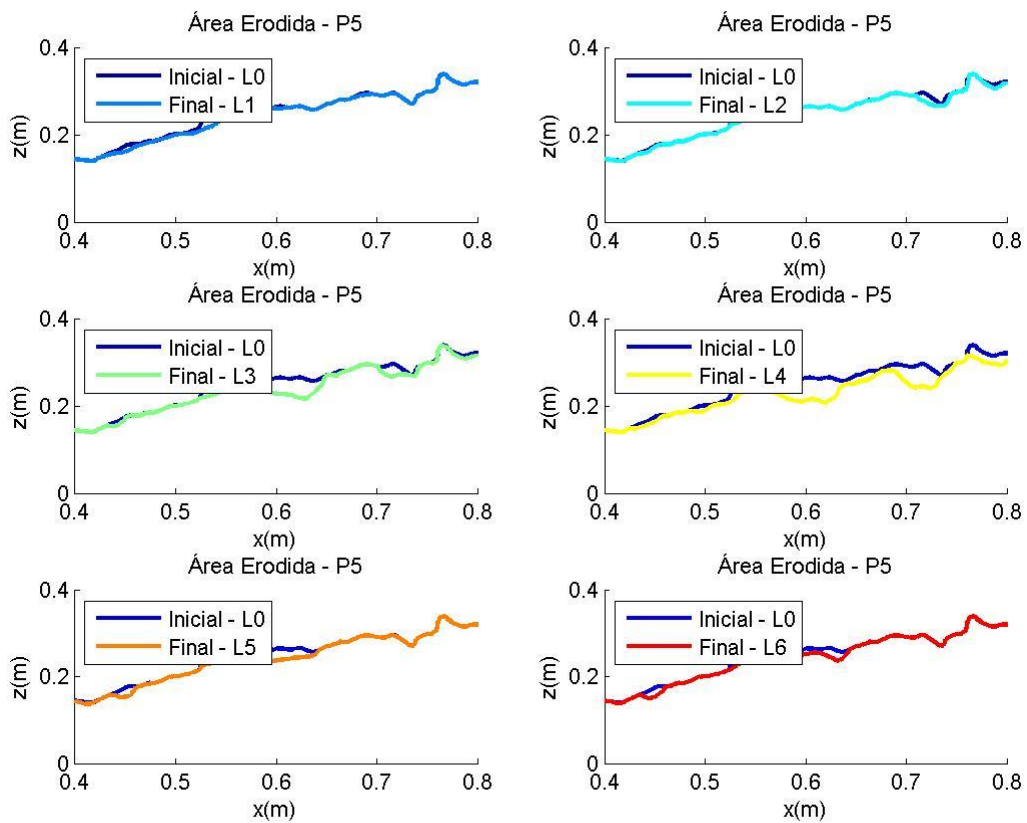


Figura A.4.40 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

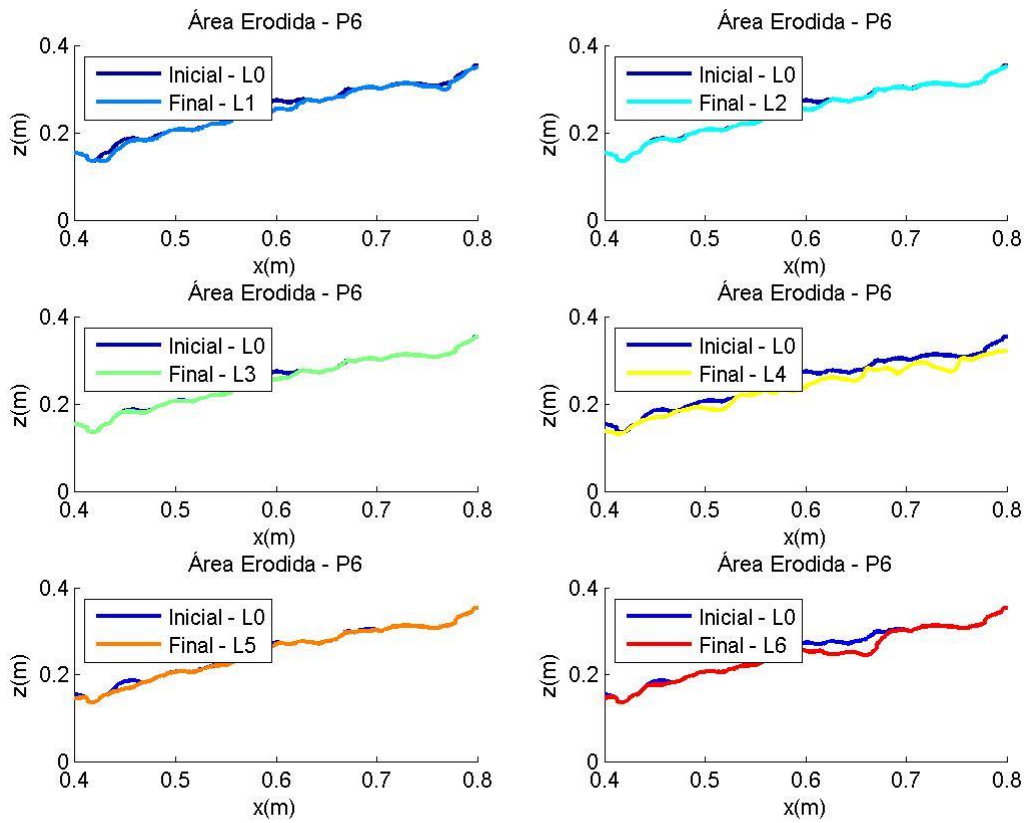


Figura A.4.41 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

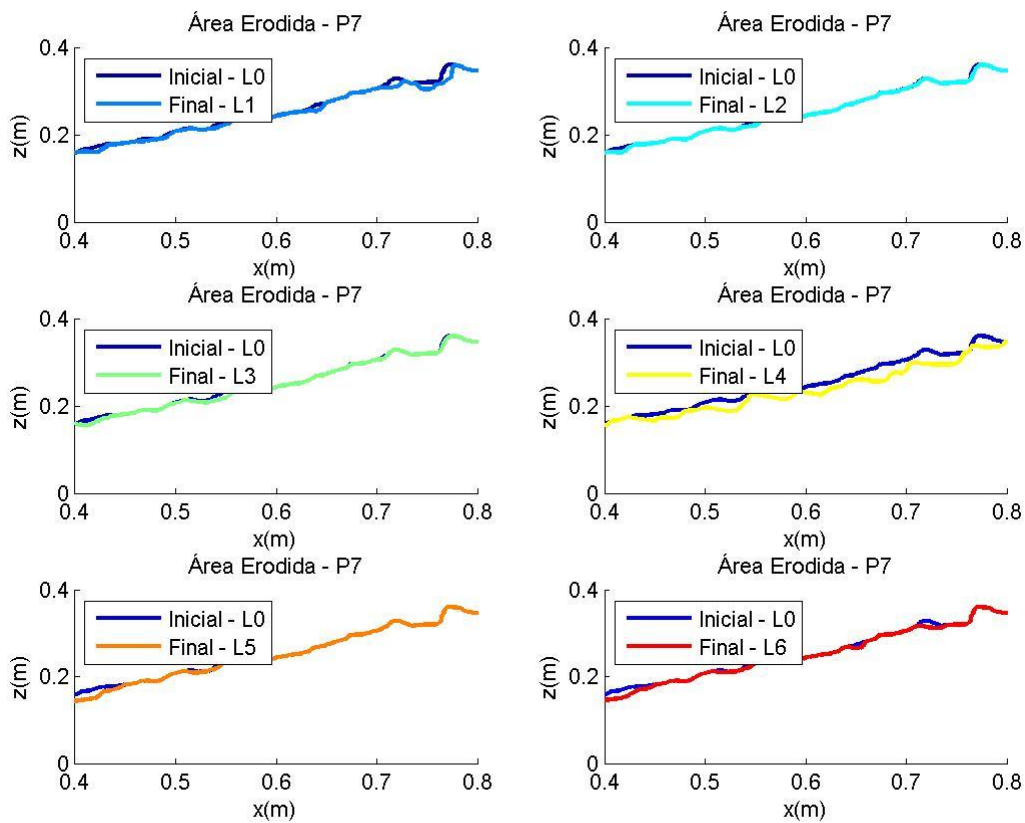


Figura A.4.42 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

Tp=14 s BM – Manto Resistente

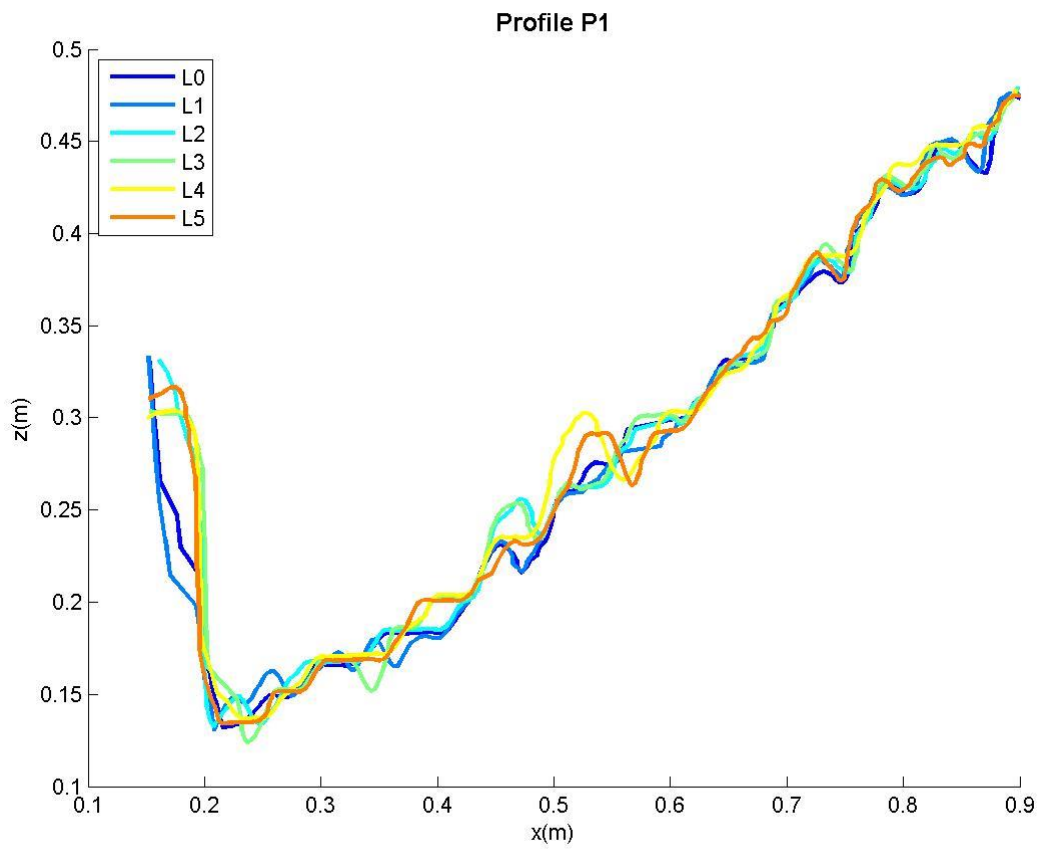


Figura A.4.43 – Perfil P1 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com Tp=14 s BM

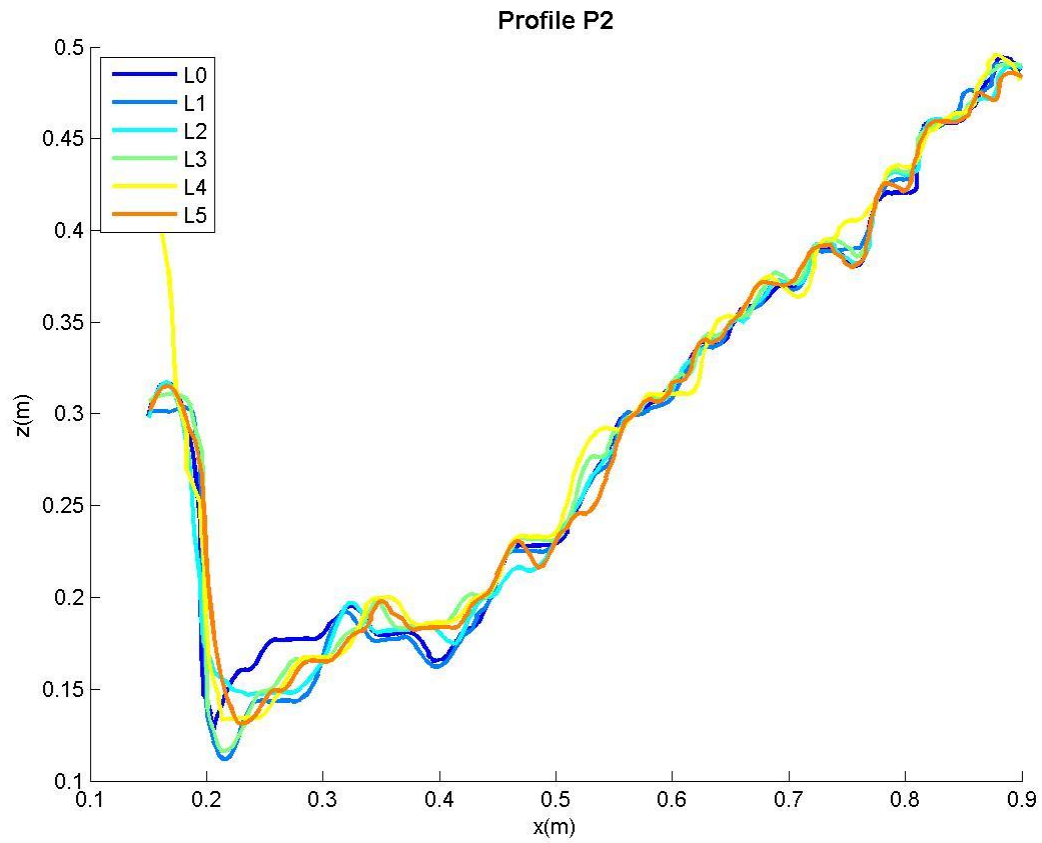


Figura A.4.44 – Perfil P2 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

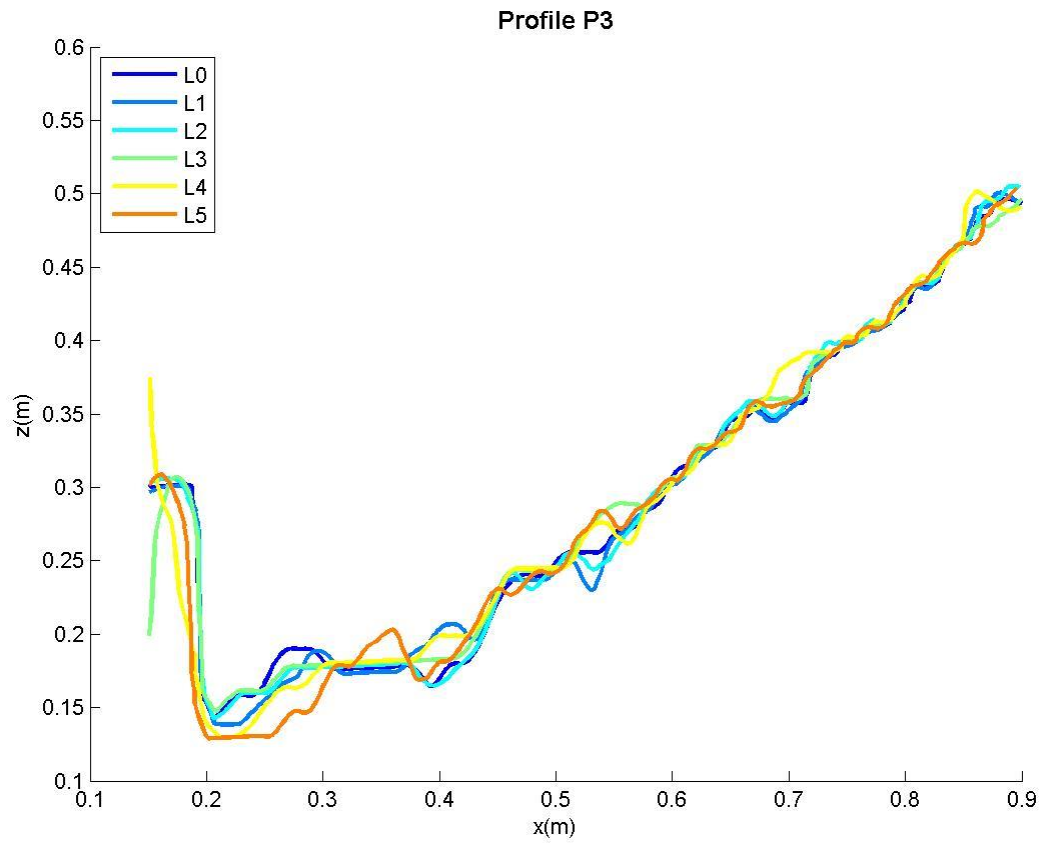


Figura A.4.45 – Perfil P3 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

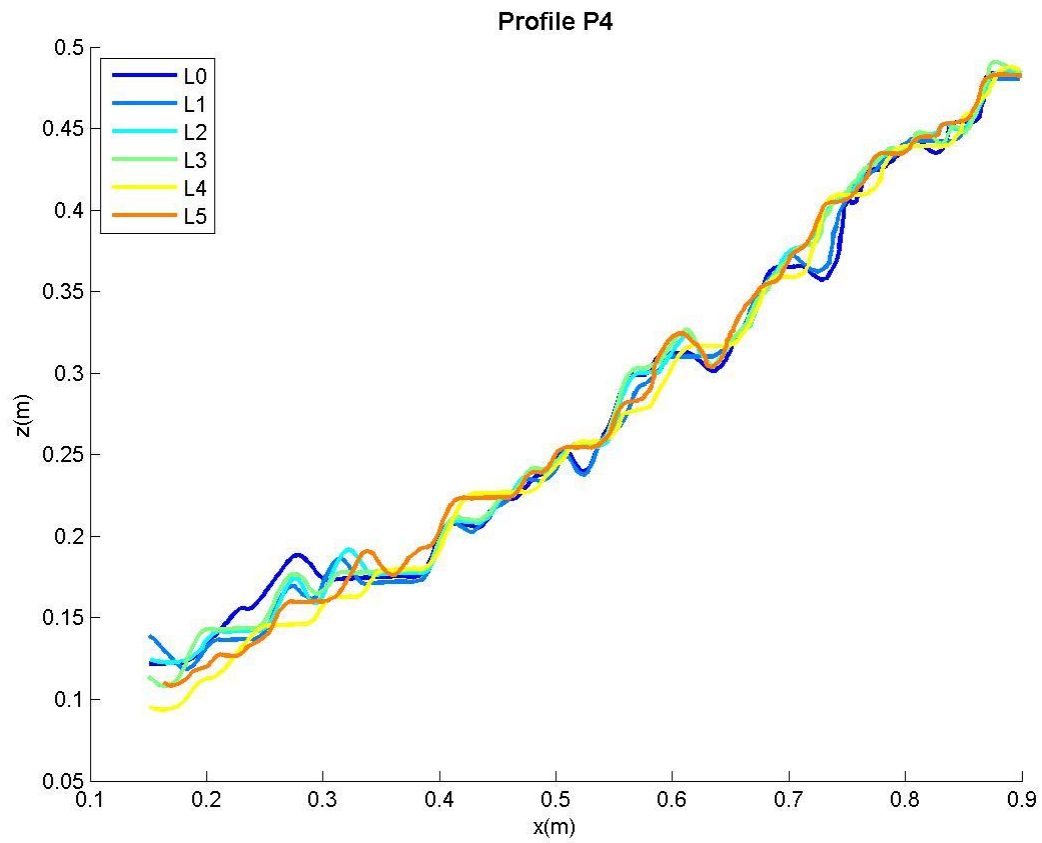


Figura A.4.46 – Perfil P4 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

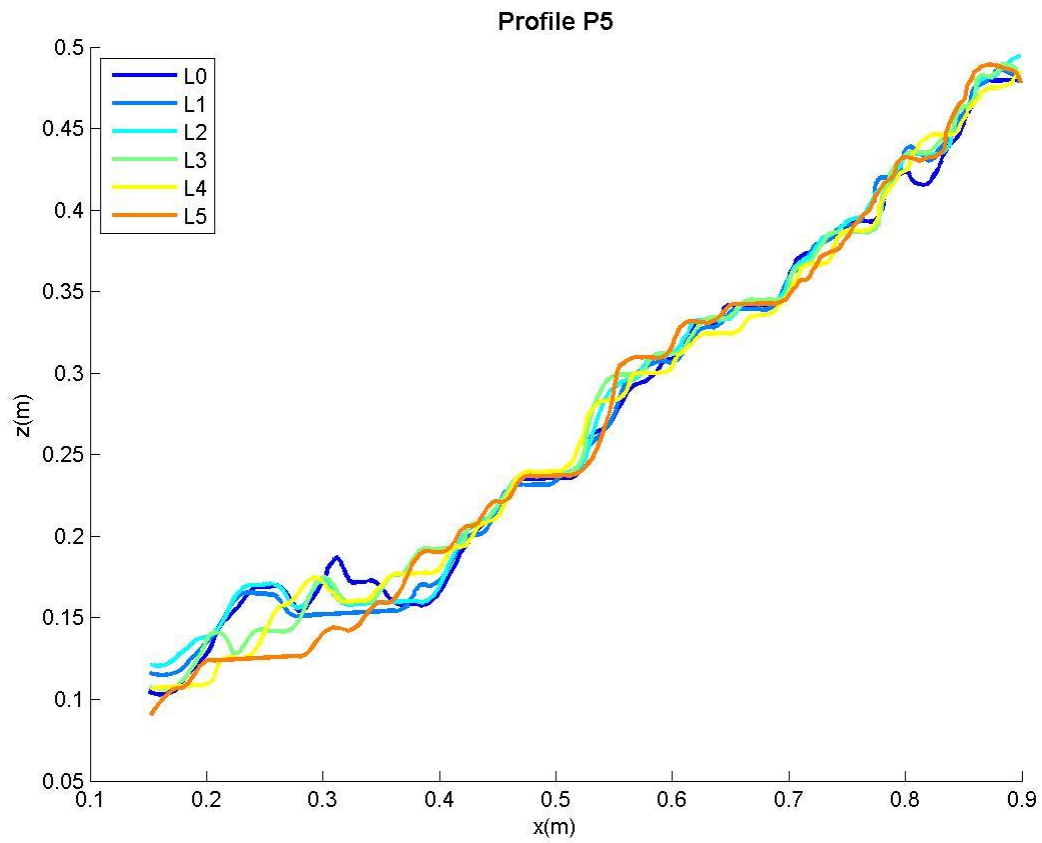


Figura A.4.47 – Perfil P5 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

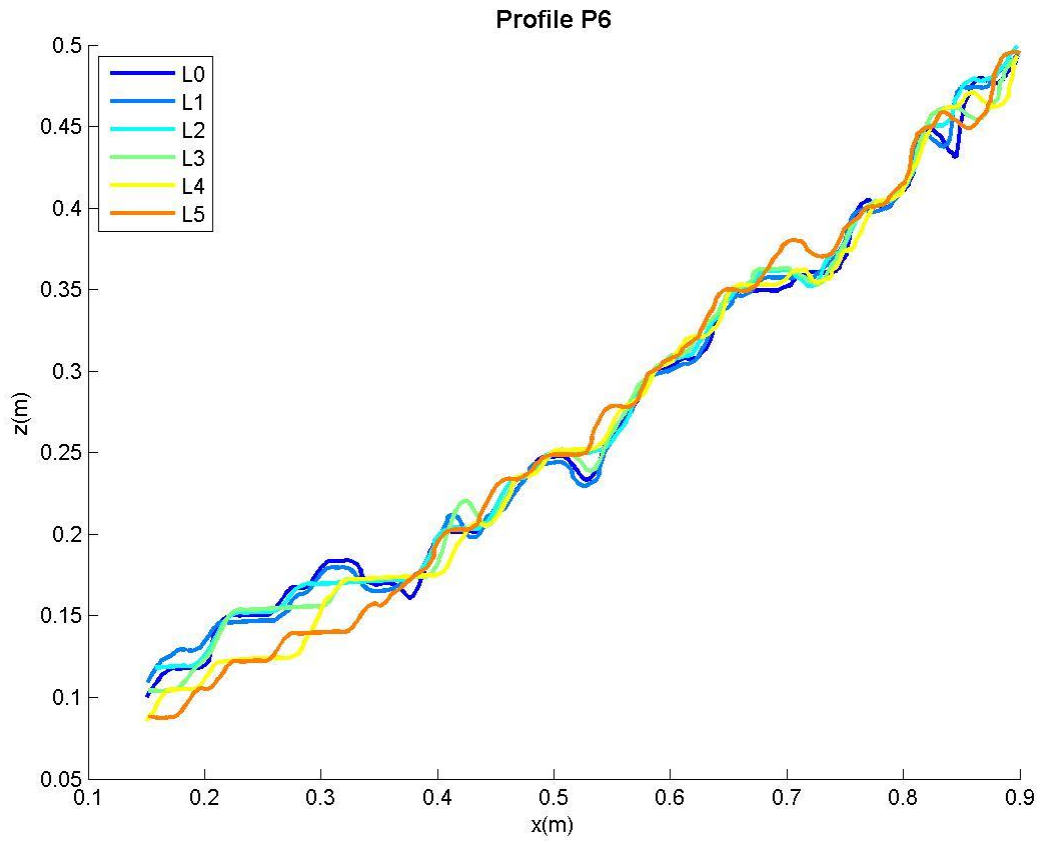


Figura A.4.48 – Perfil P6 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

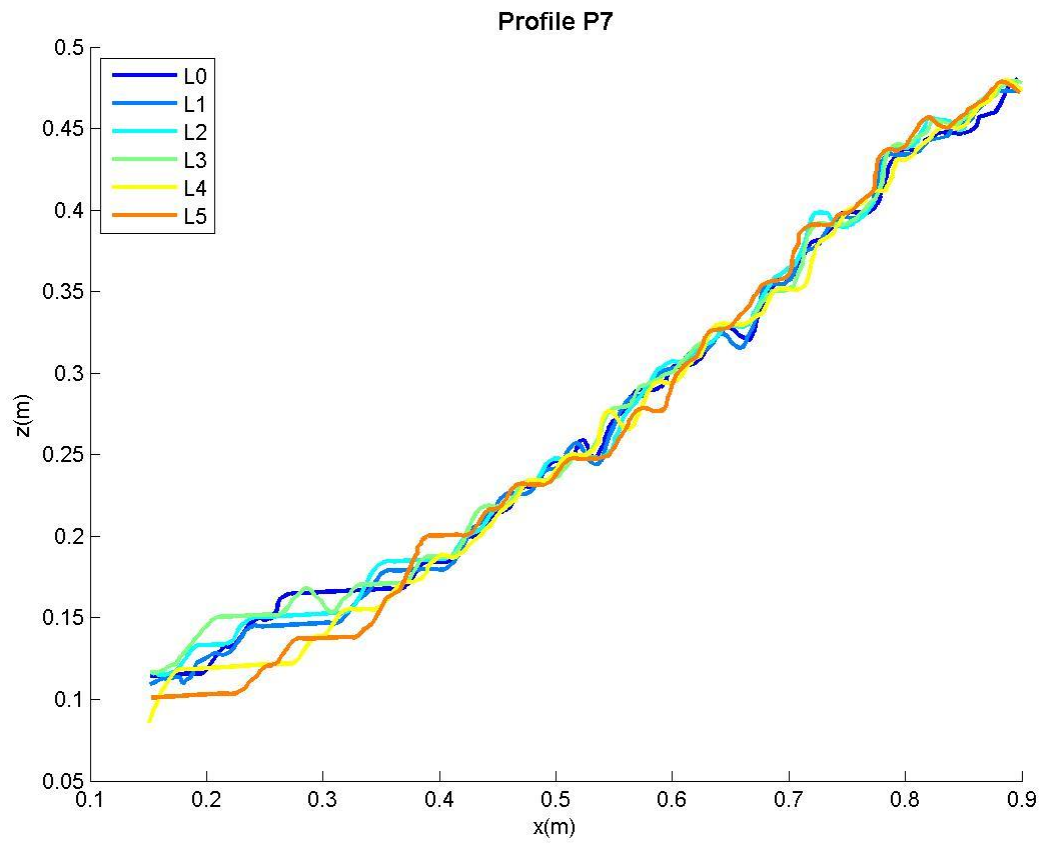


Figura A.4.49 – Perfil P7 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1, L2, L3, L4 e L5 (final), para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

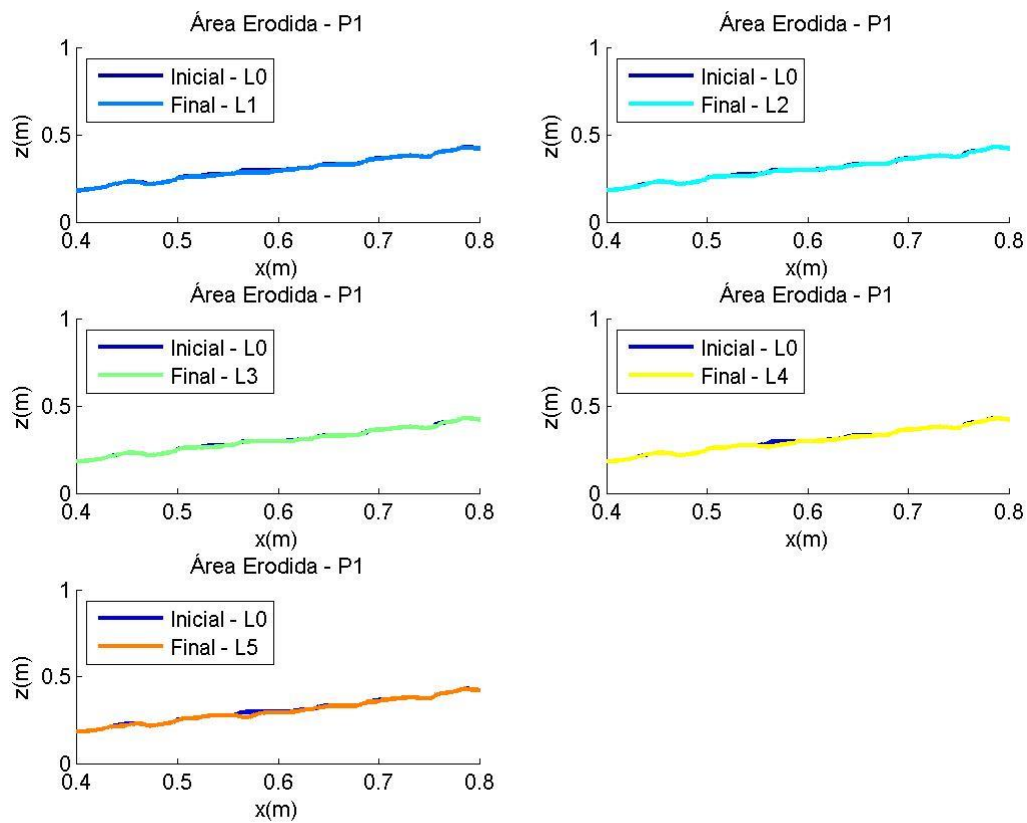


Figura A.4.50 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

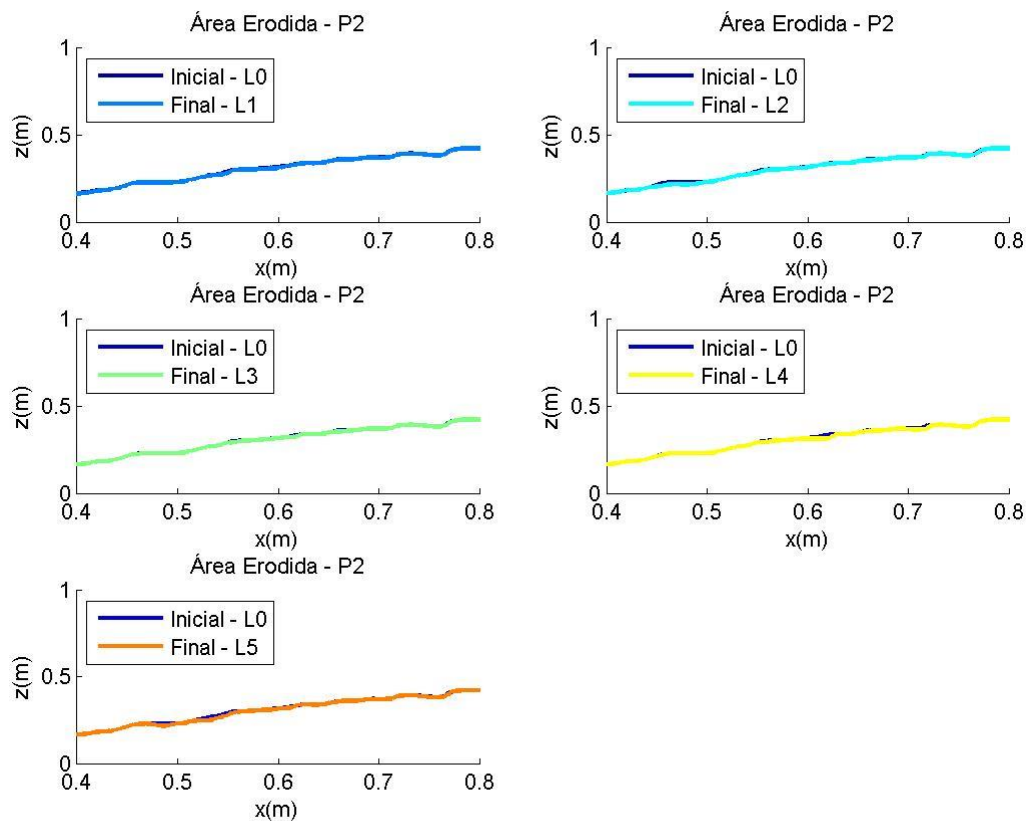


Figura A.4.51 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréçoes da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

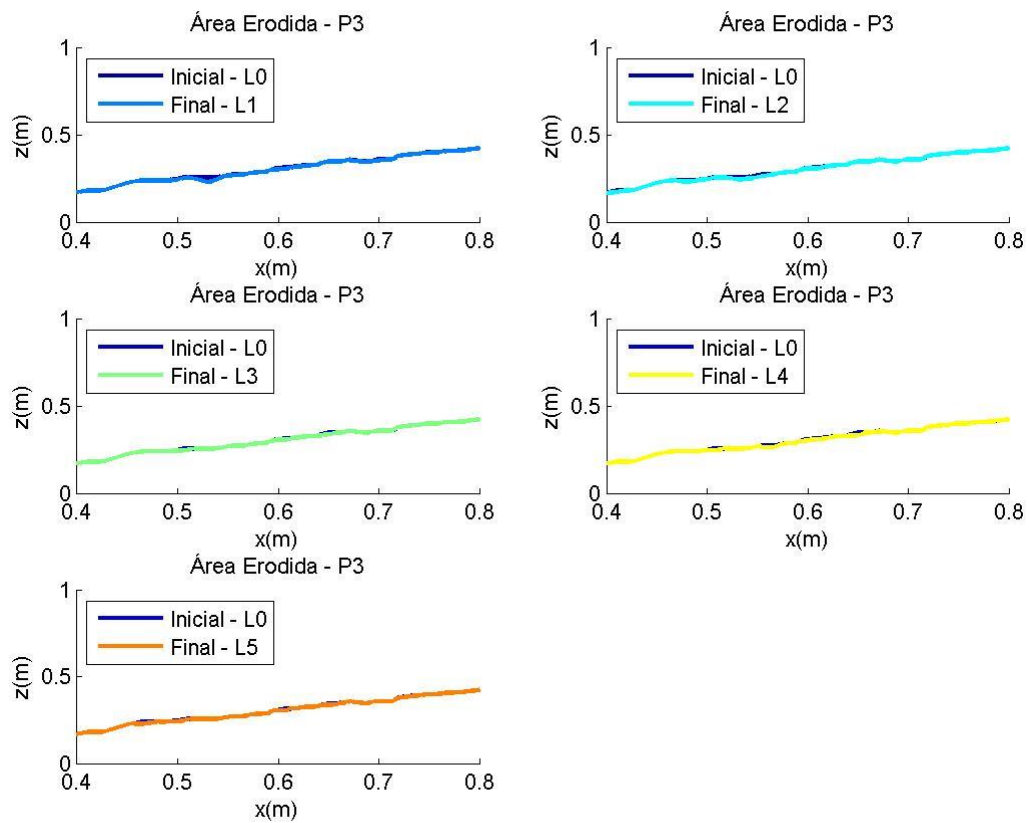


Figura A.4.52 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

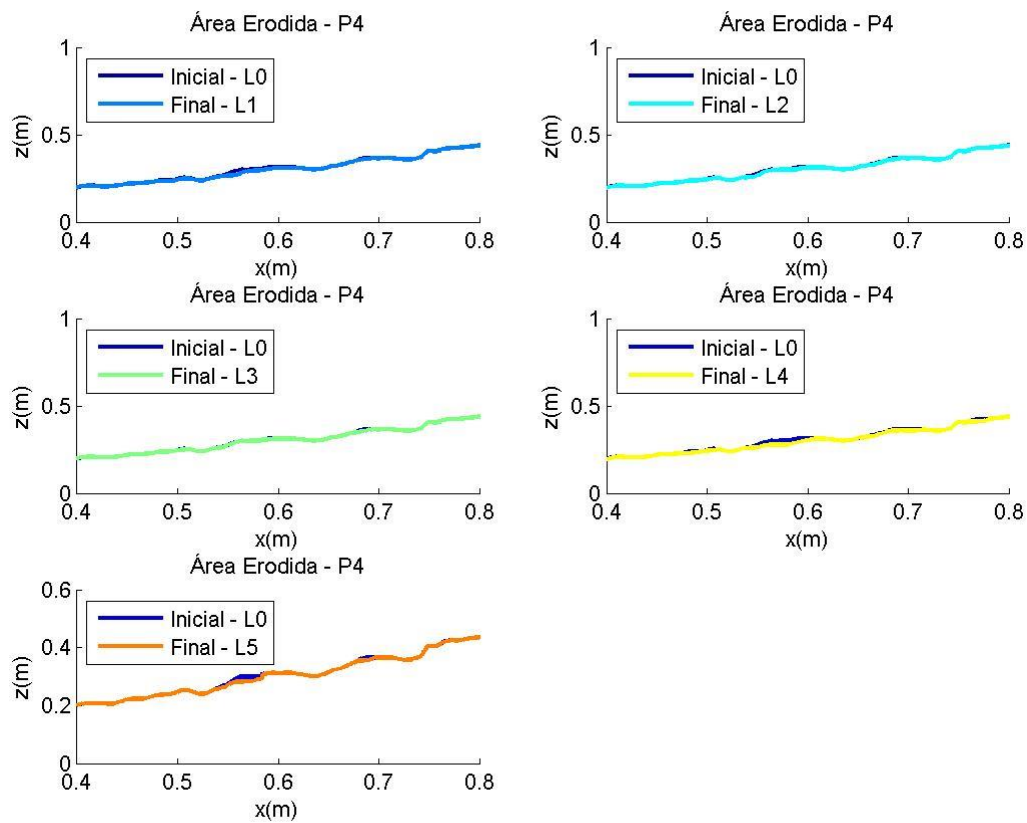


Figura A.4.53 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

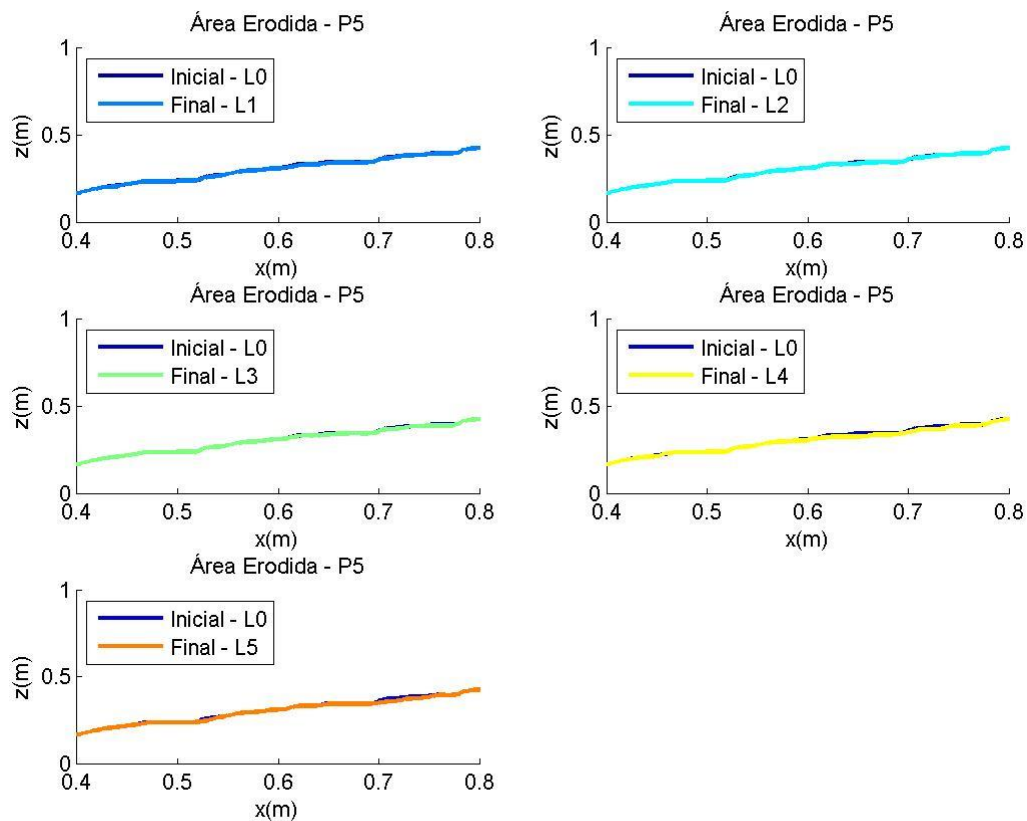


Figura A.4.54 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

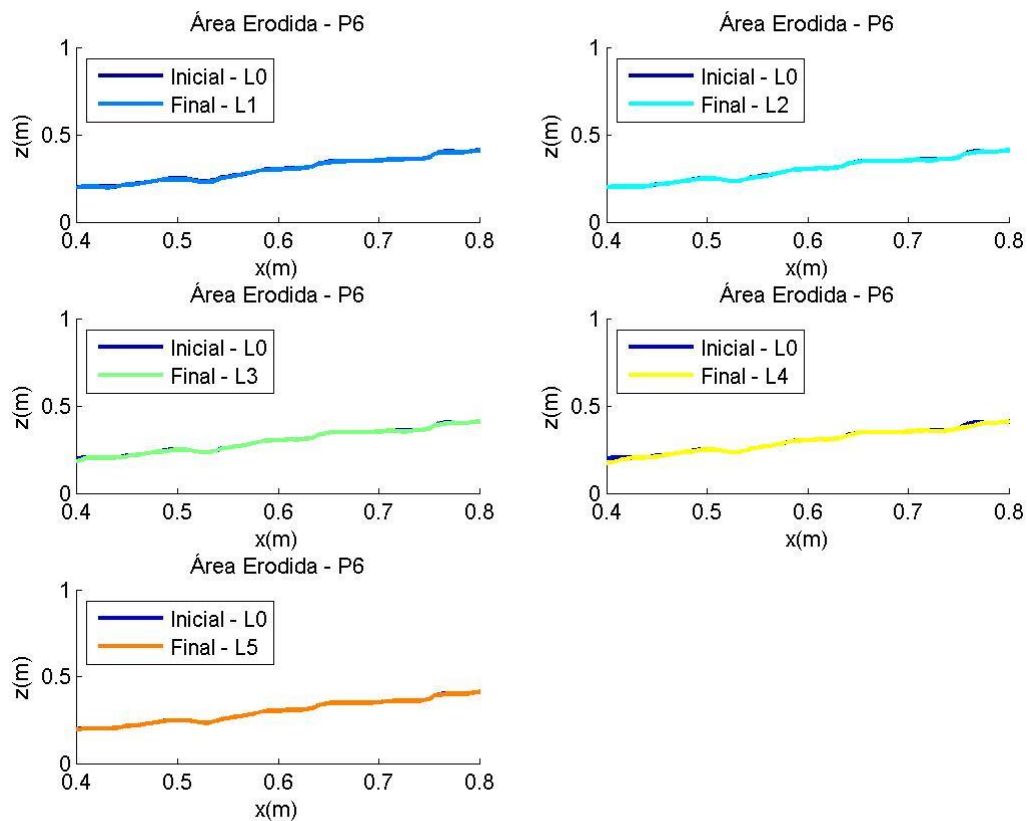


Figura A.4.55 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

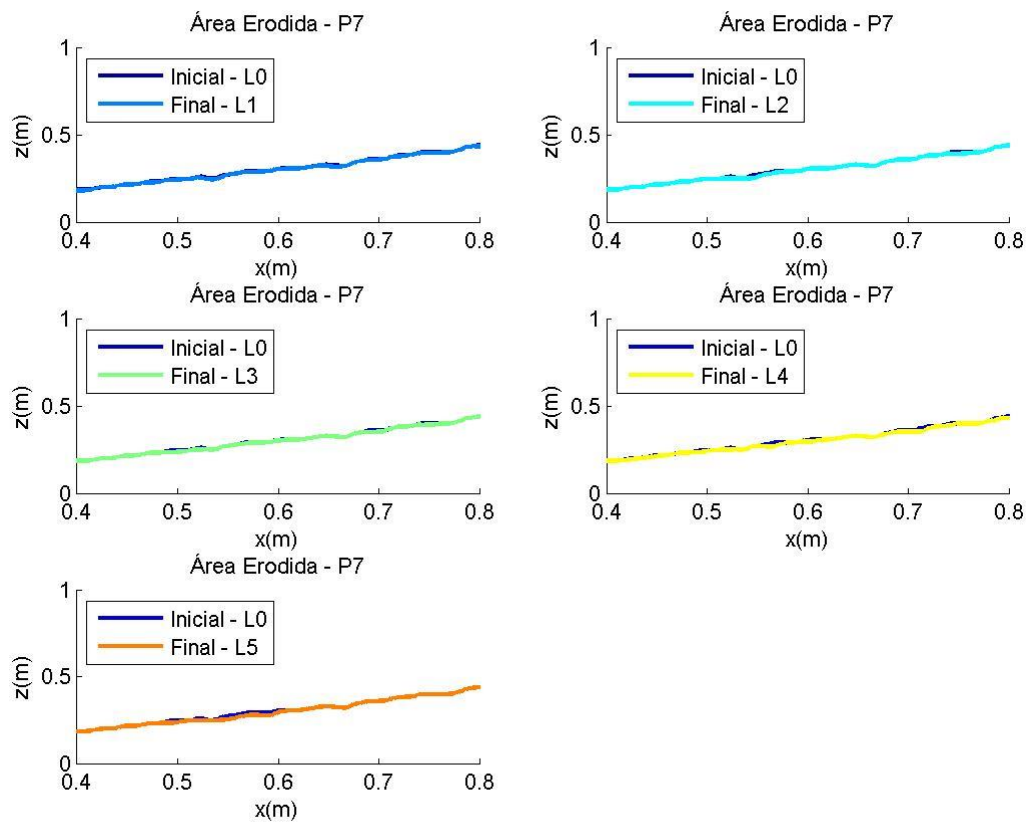


Figura A.4.56 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

Tp=18 s PM – Manto Resistente

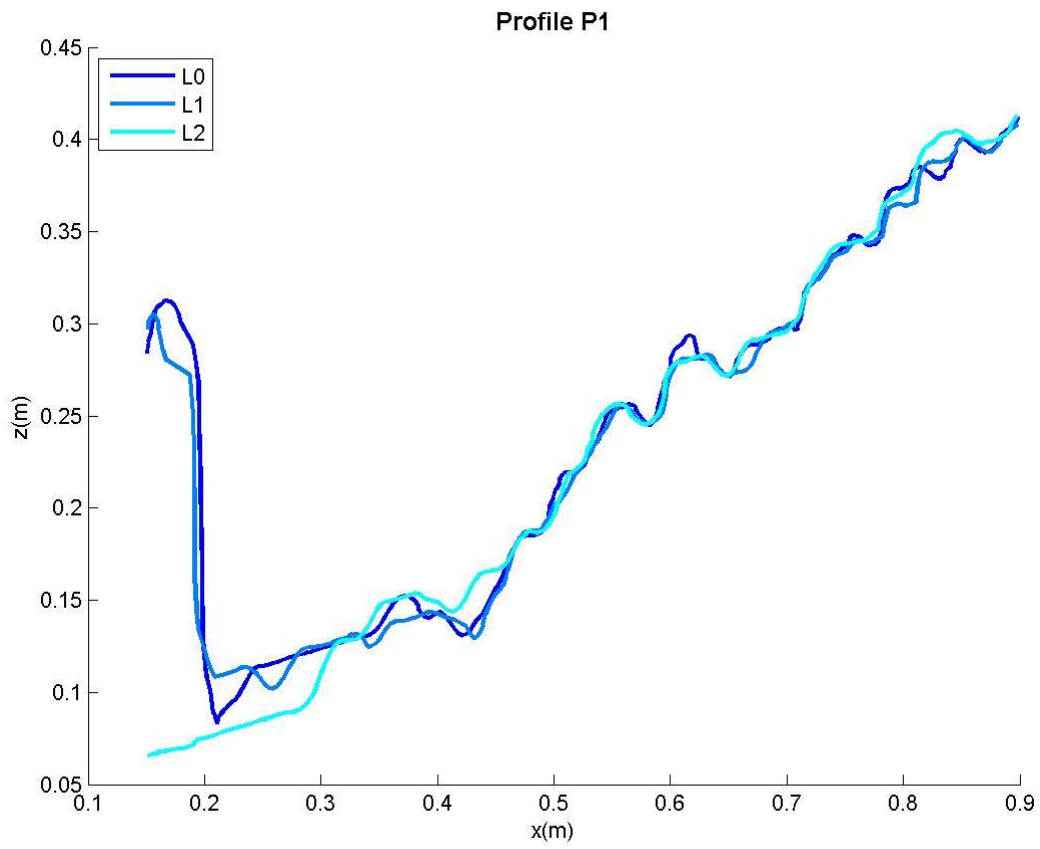


Figura A.4.57 – Perfil P1 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com Tp=18 s PM

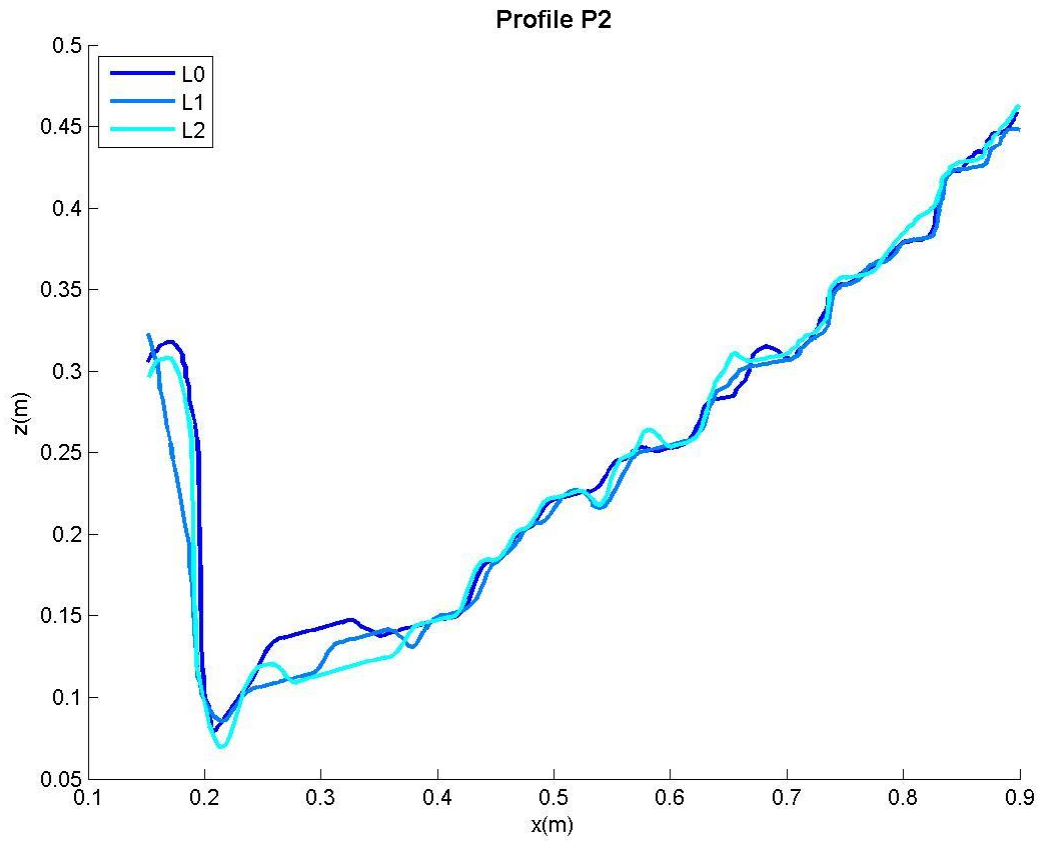


Figura A.4.58 – Perfil P2 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

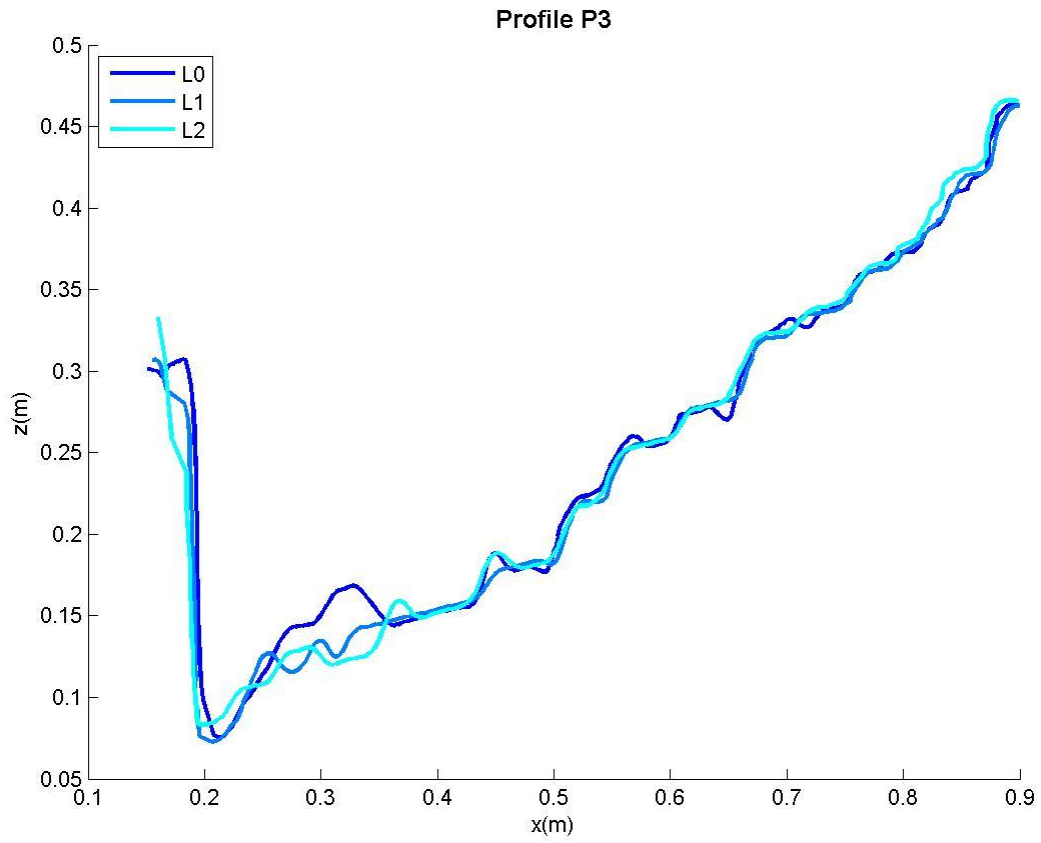


Figura A.4.59 – Perfil P3 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

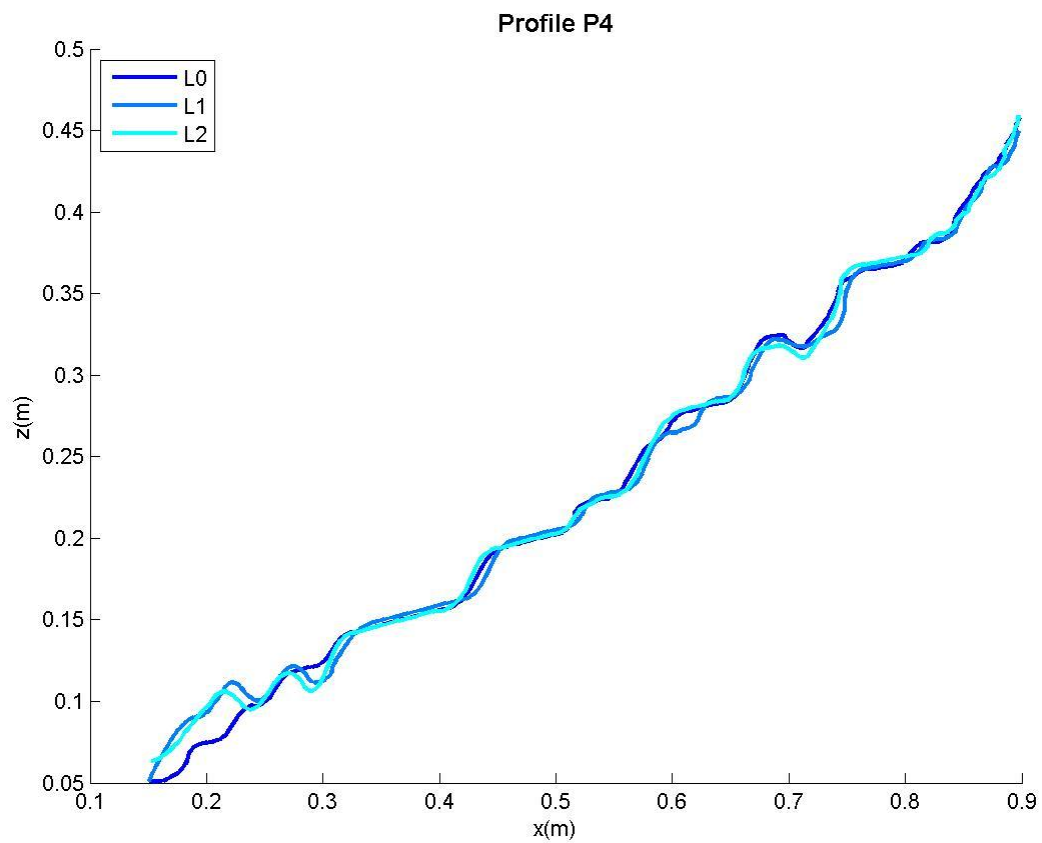


Figura A.4.60 – Perfil P4 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

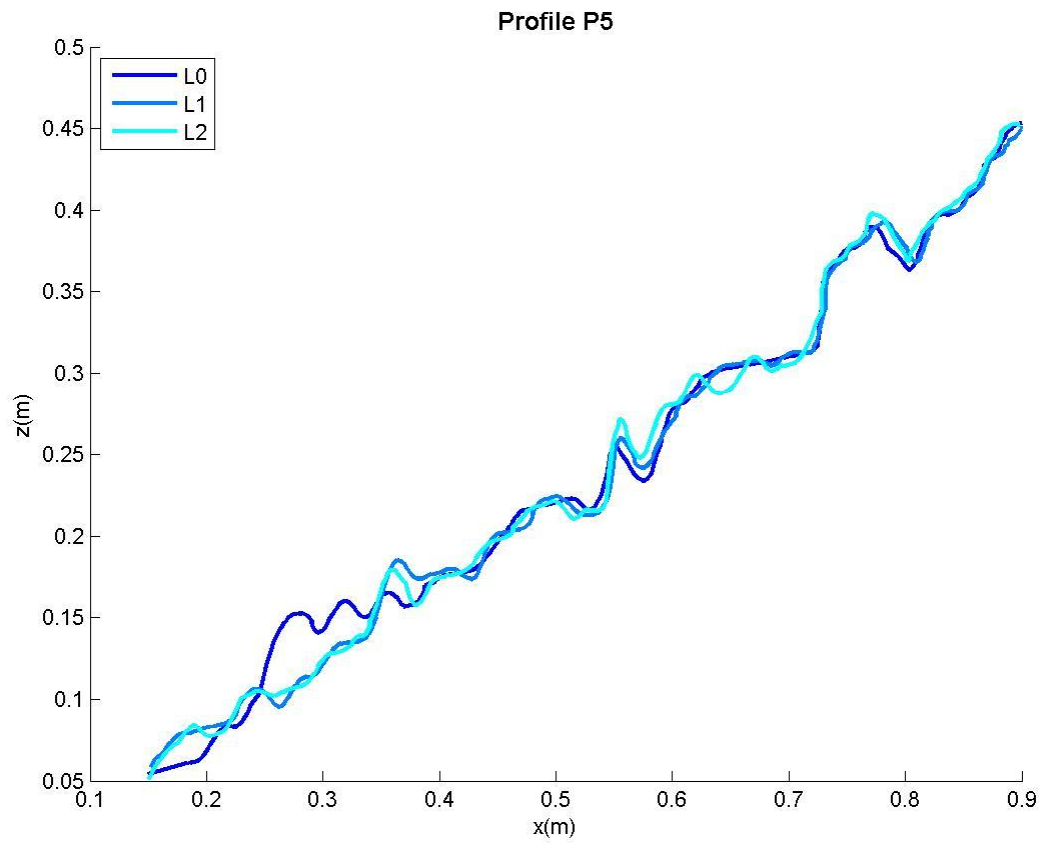


Figura A.4.61 – Perfil P5 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

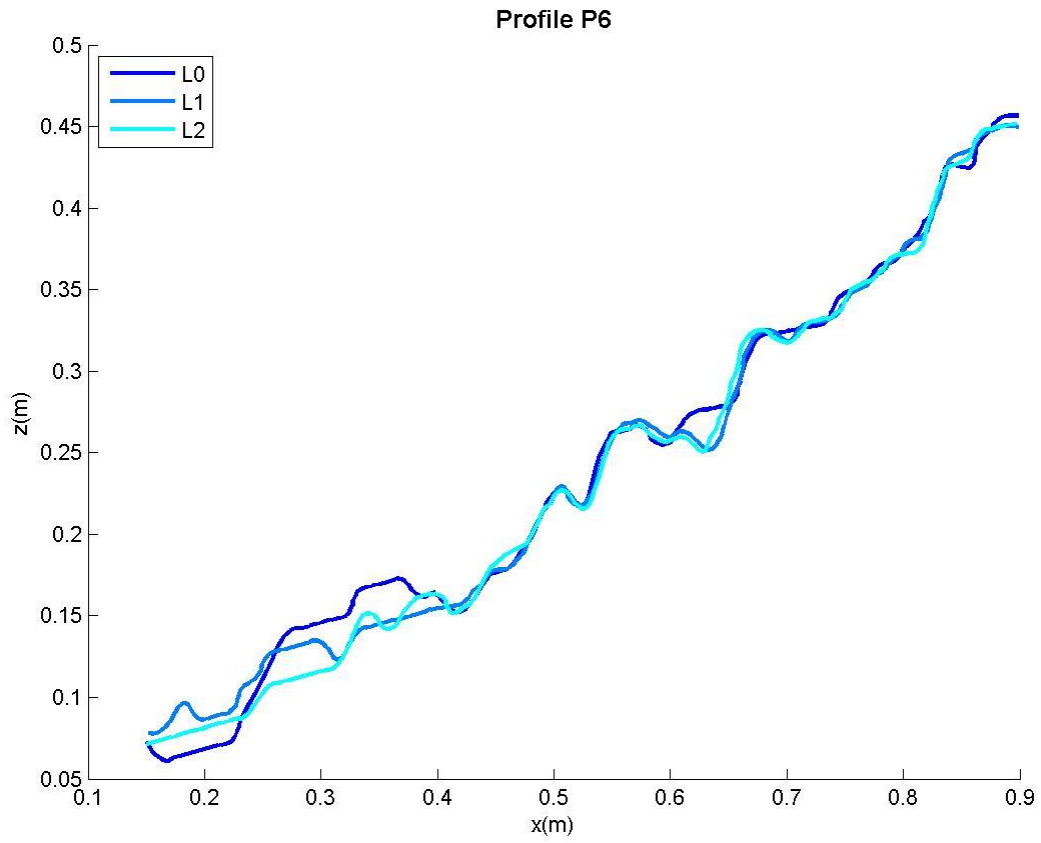


Figura A.4.62 – Perfil P6 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

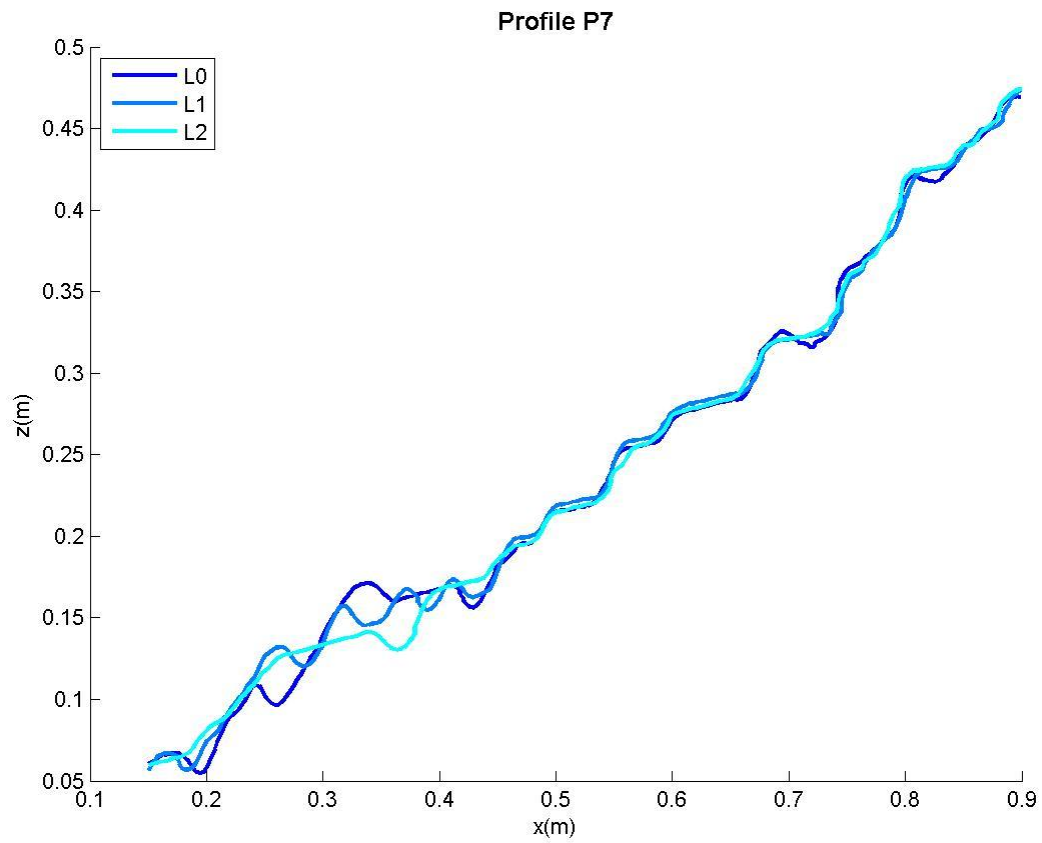


Figura A.4.63 – Perfil P7 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

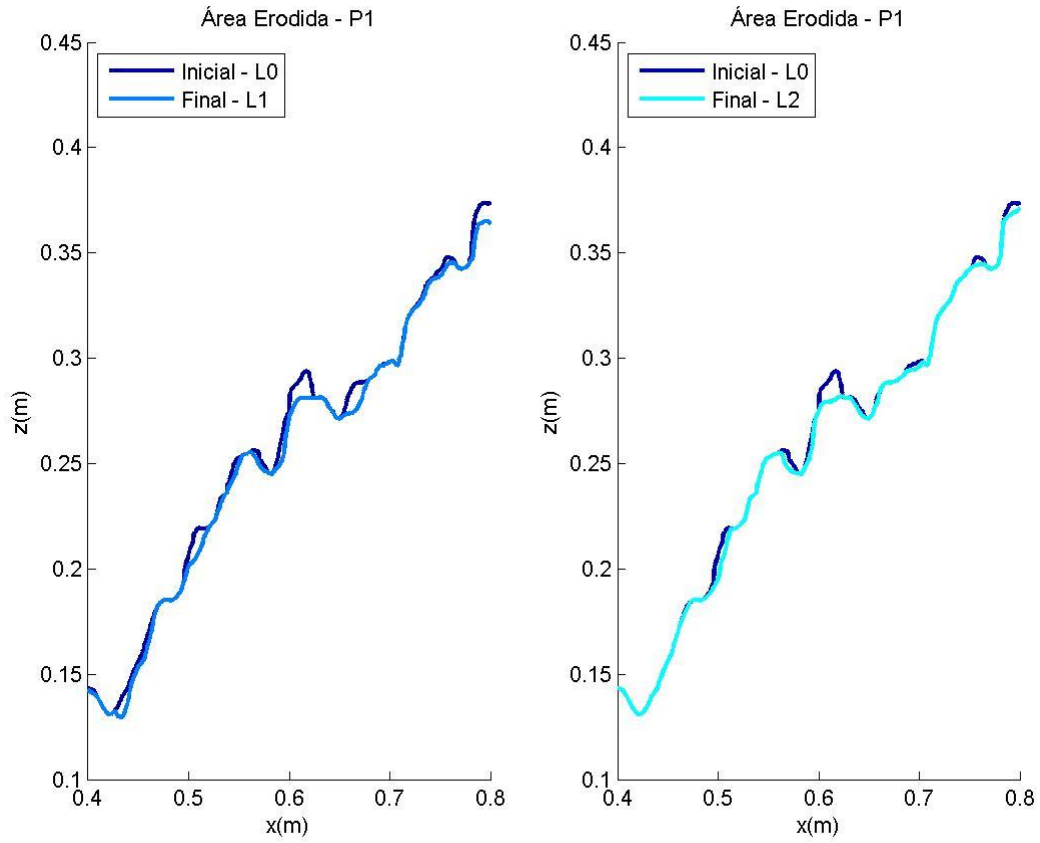


Figura A.4.64 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

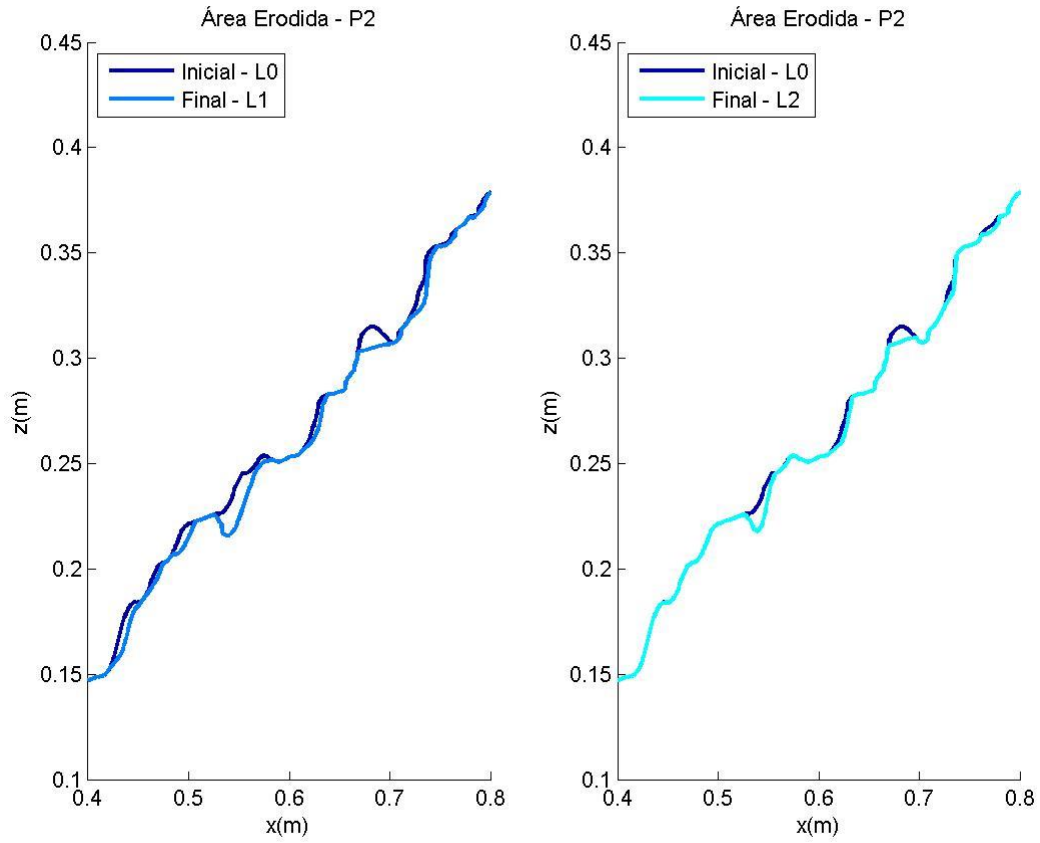


Figura A.4.65 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

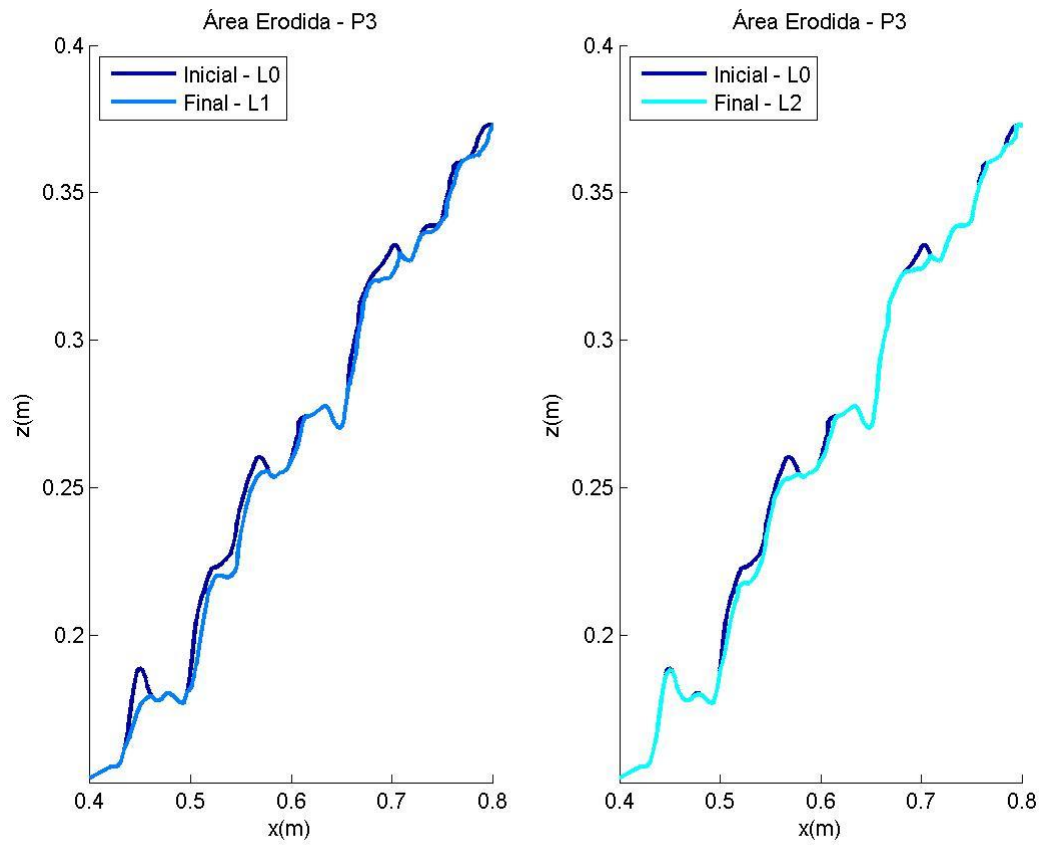


Figura A.4.66 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

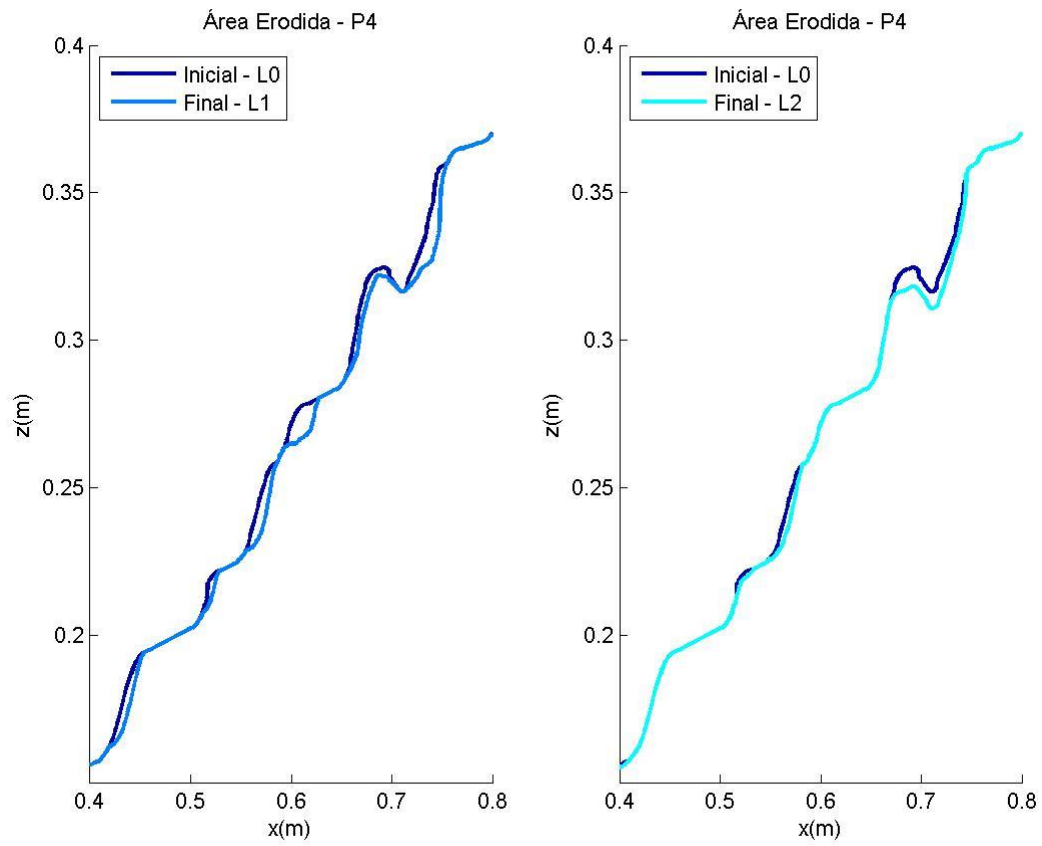


Figura A.4.67 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

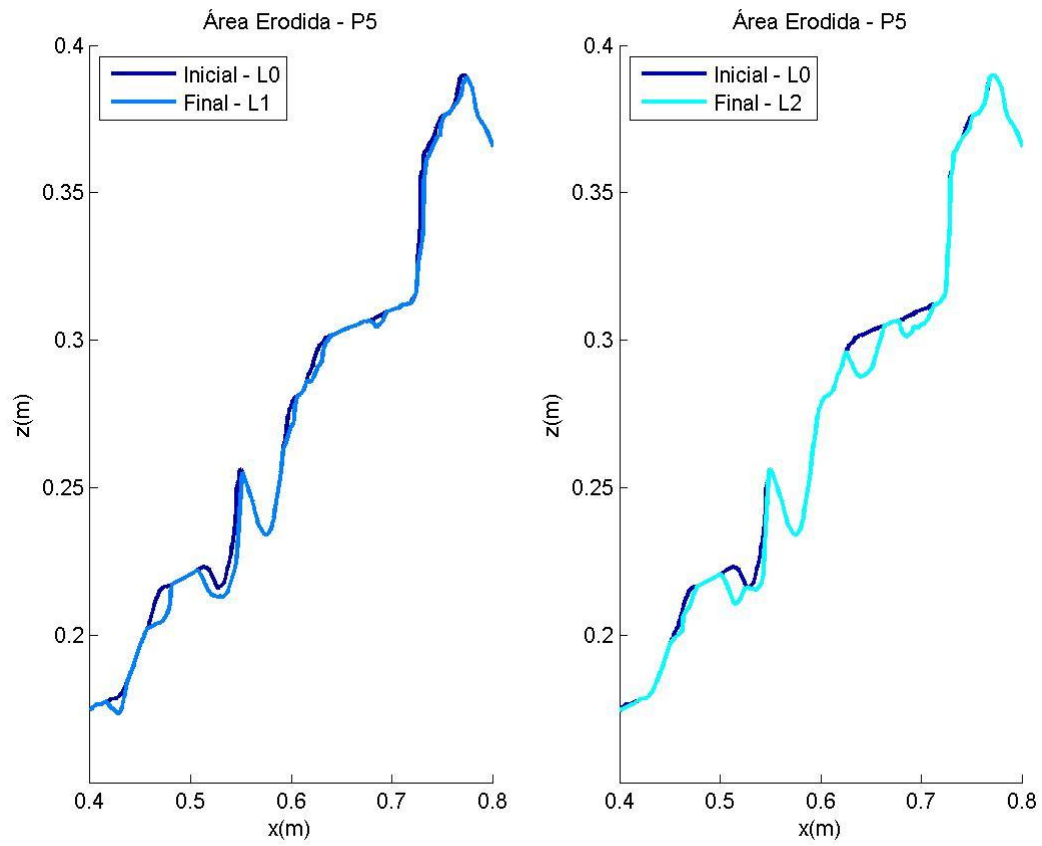


Figura A.4.68 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

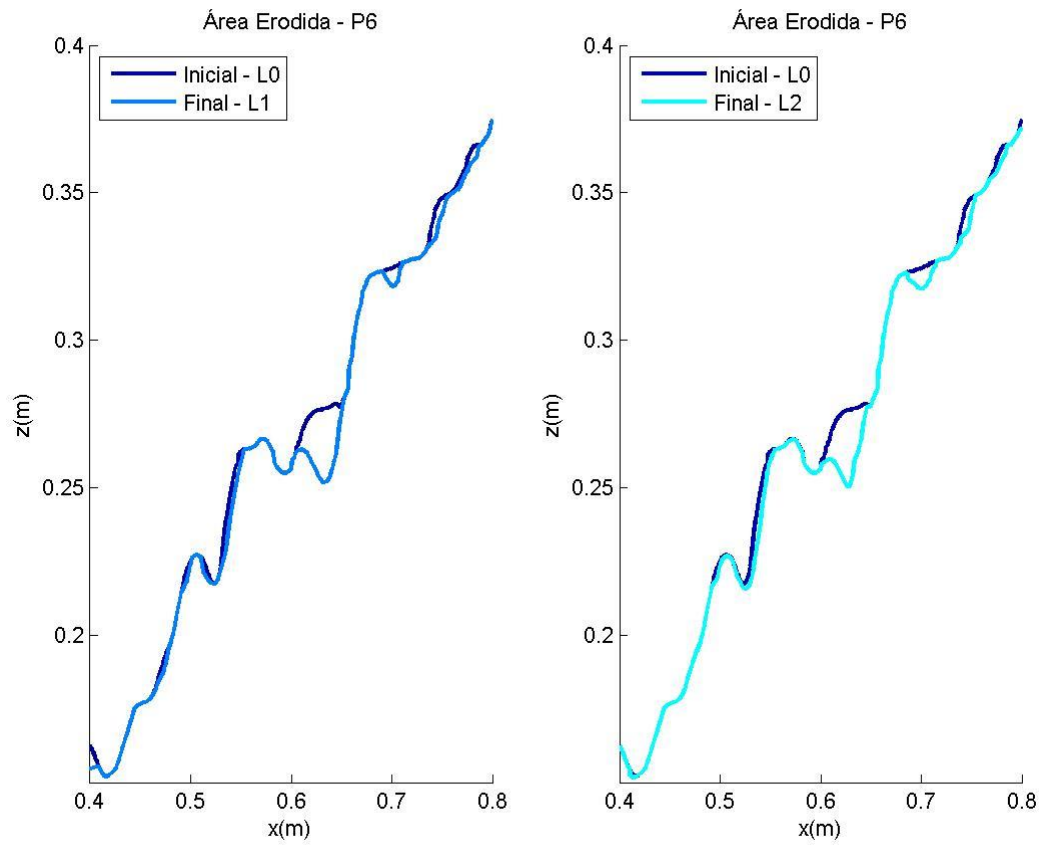


Figura A.4.69 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

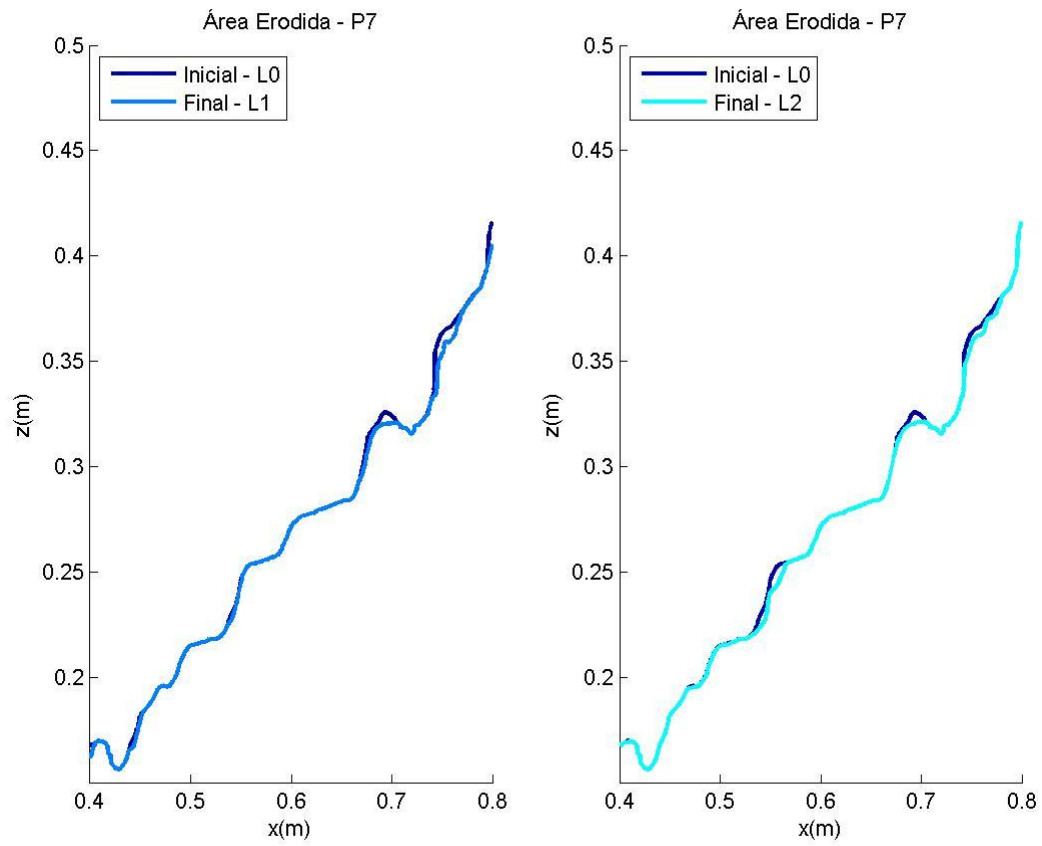


Figura A.4.70 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

Tp=18 s BM – Manto Resistente

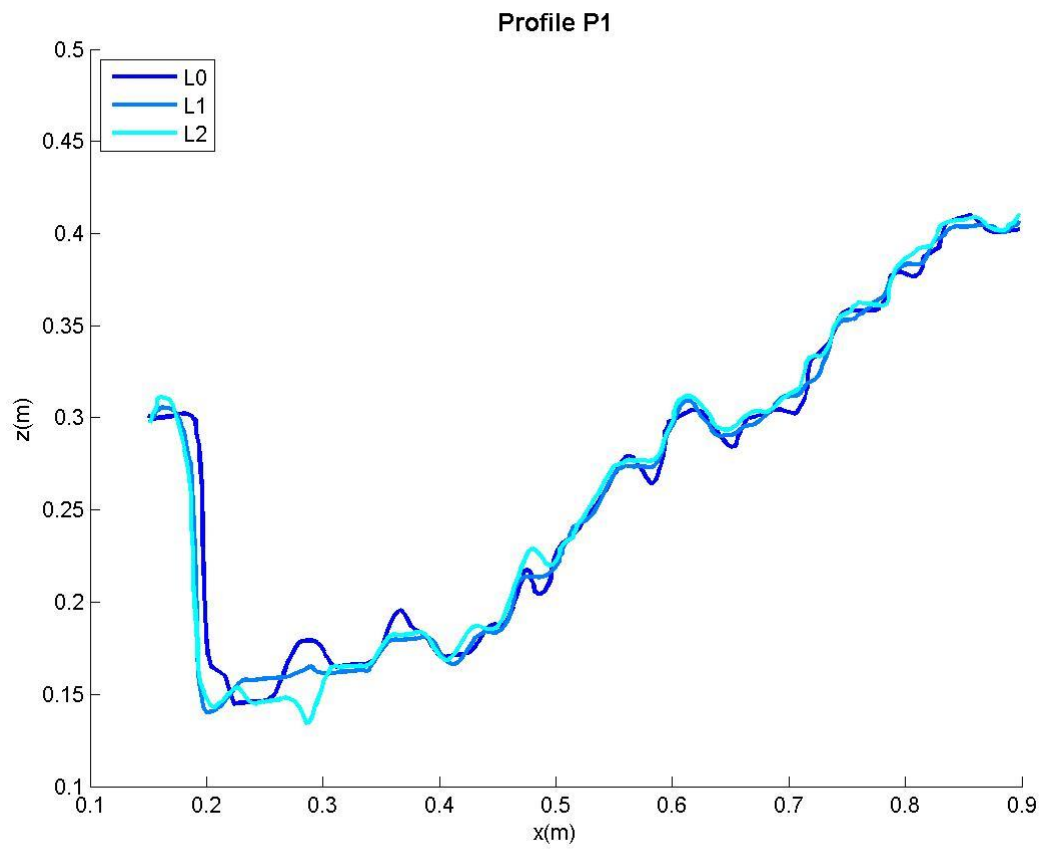


Figura A.4.71 – Perfil P1 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com Tp=18 s BM

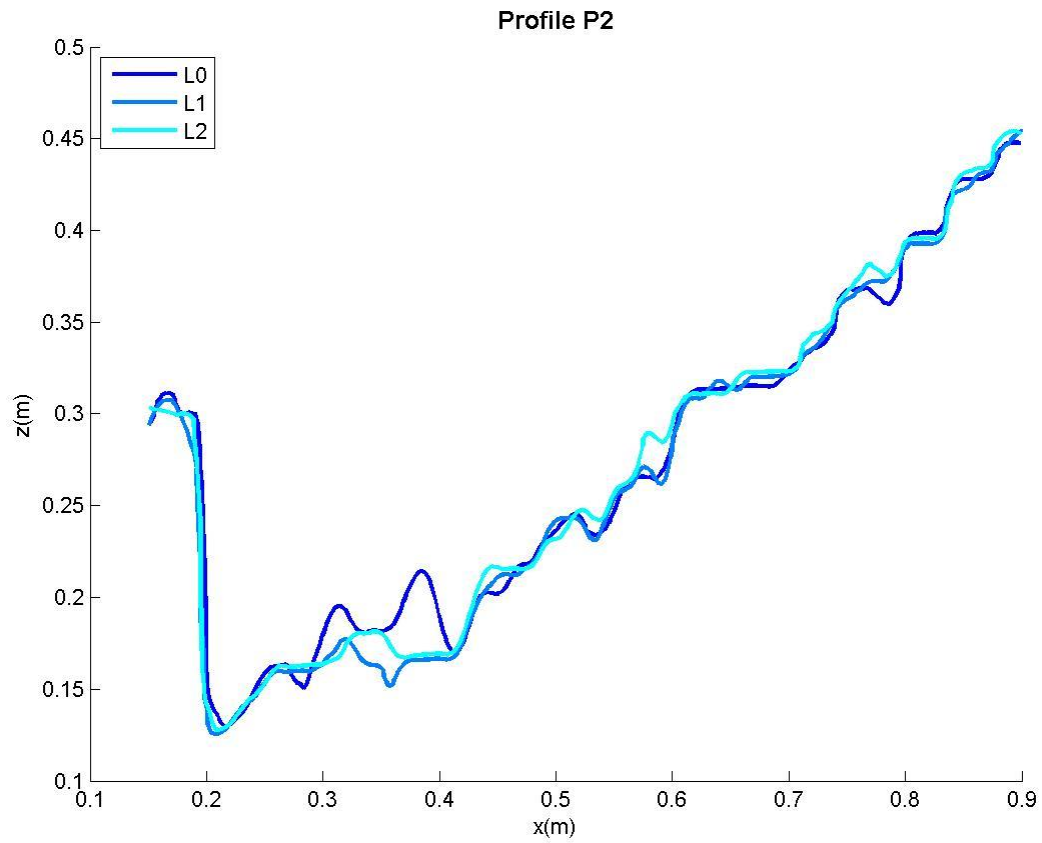


Figura A.4.72 – Perfil P2 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

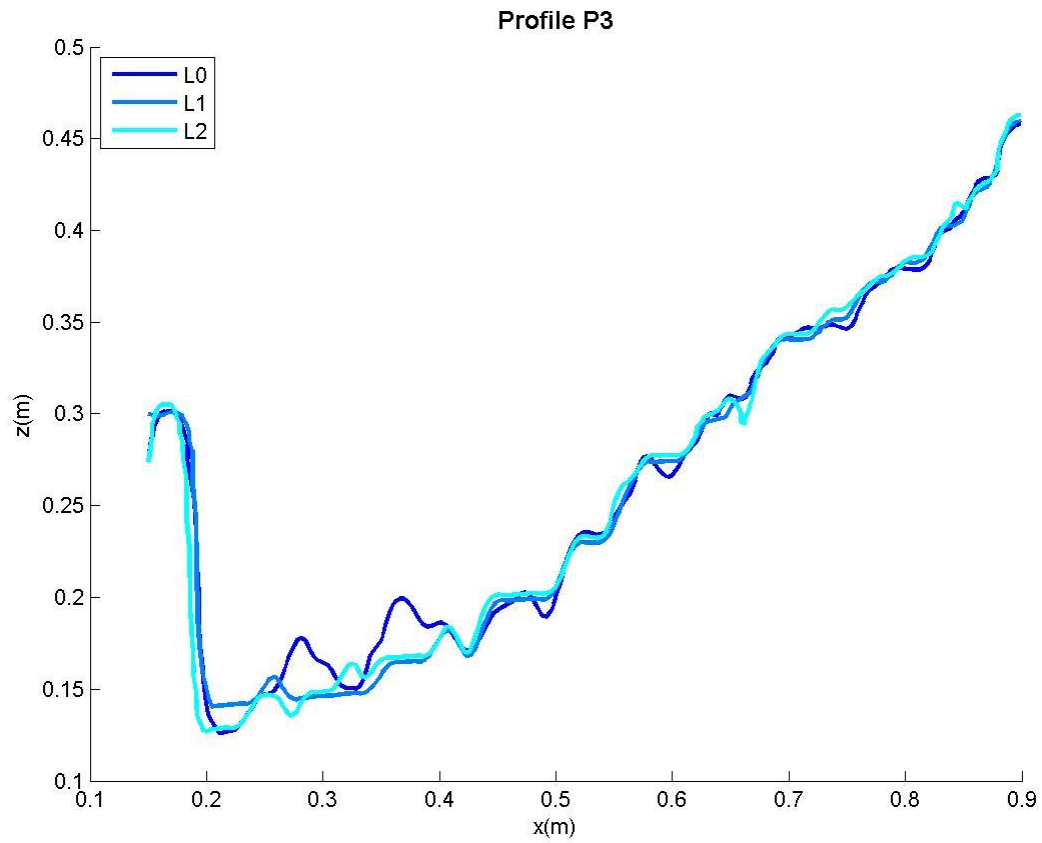


Figura A.4.73 – Perfil P3 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

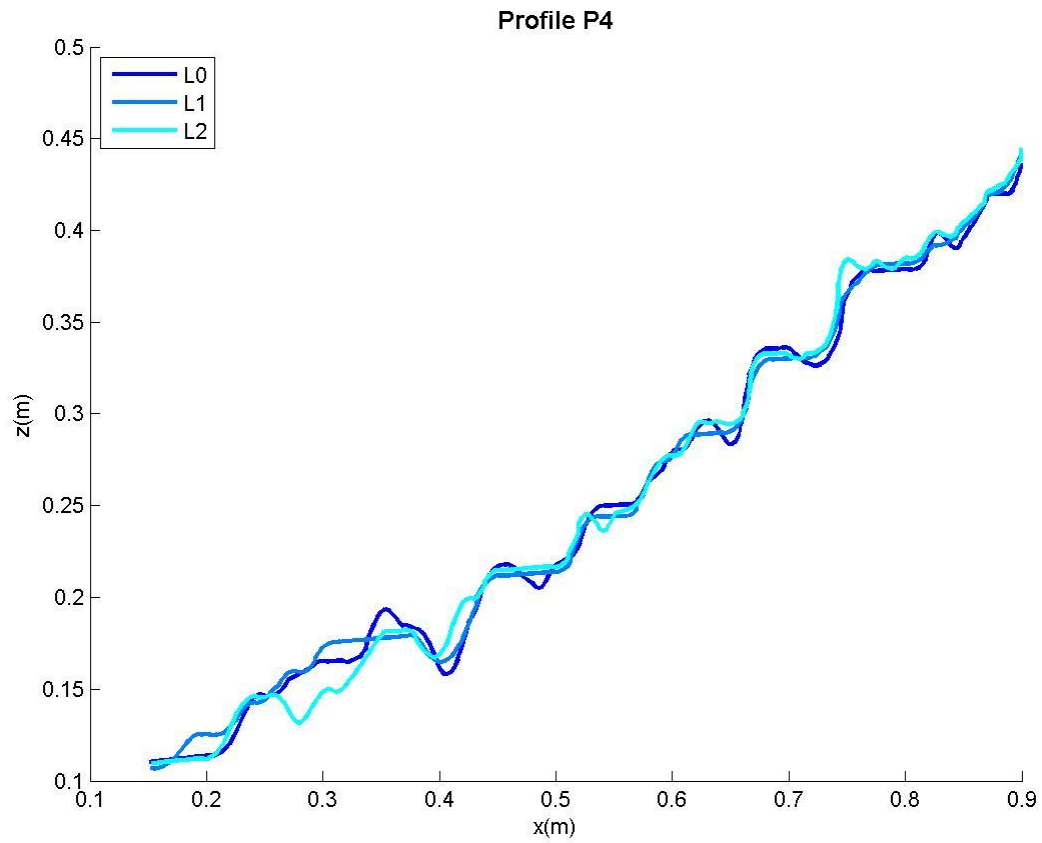


Figura A.4.74 – Perfil P4 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

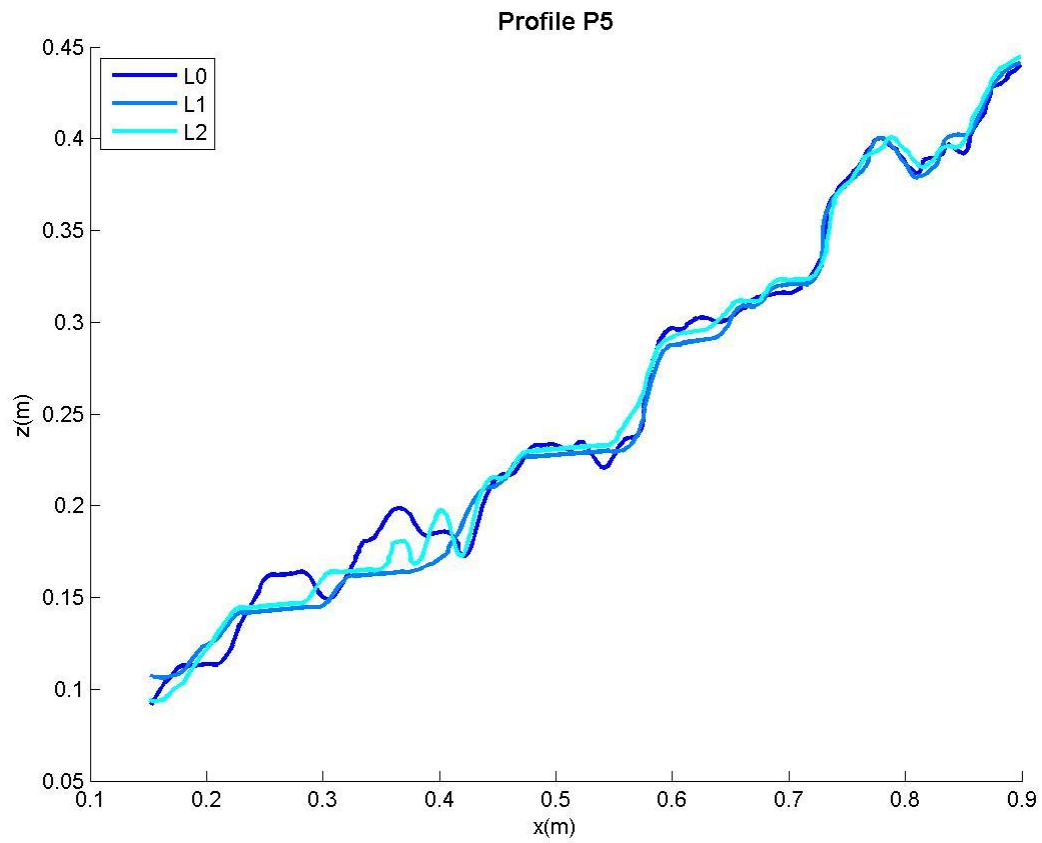


Figura A.4.75 – Perfil P5 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

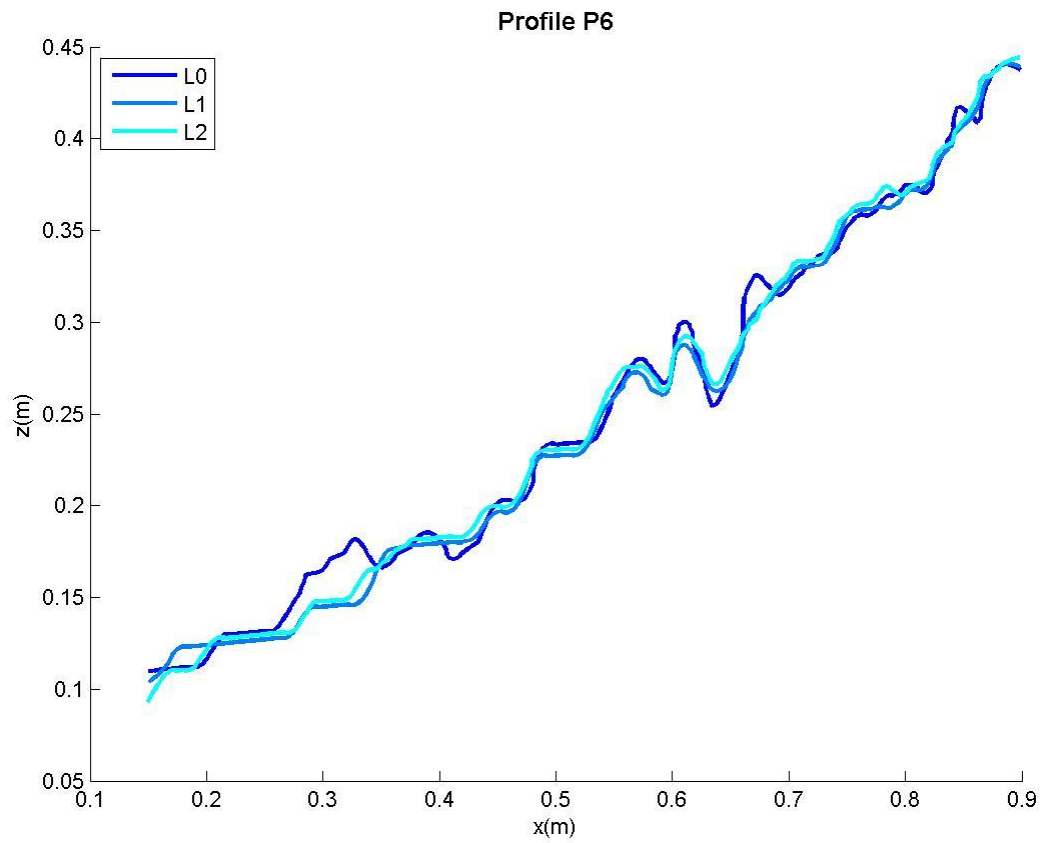


Figura A.4.76 – Perfil P6 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

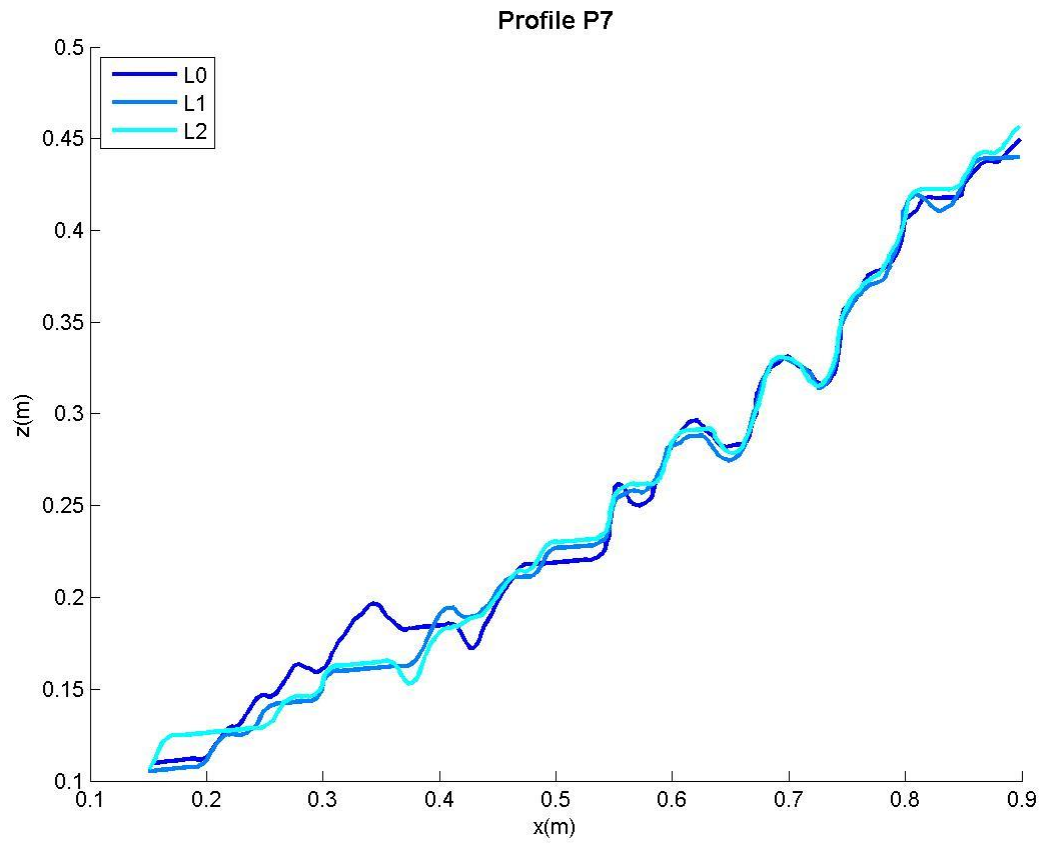


Figura A.4.77 – Perfil P7 da superfície dos levantamentos L0 (inicial), L1 e L2 (final), para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

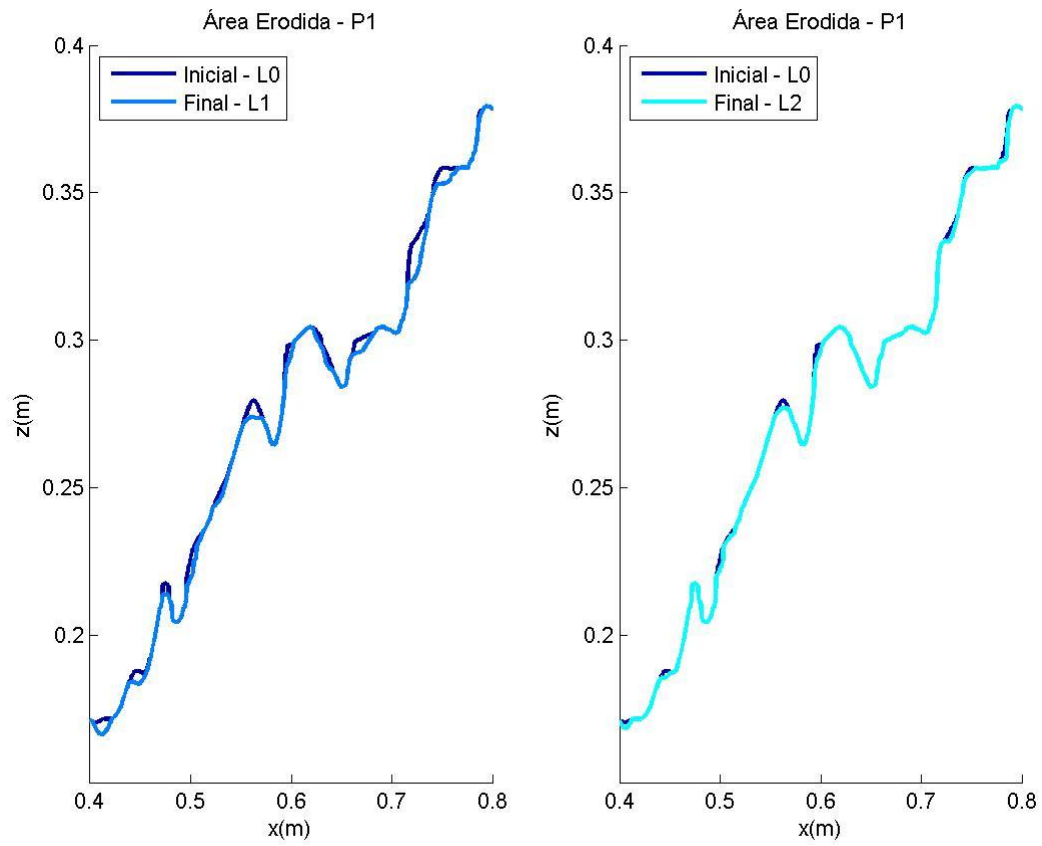


Figura A.4.78 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

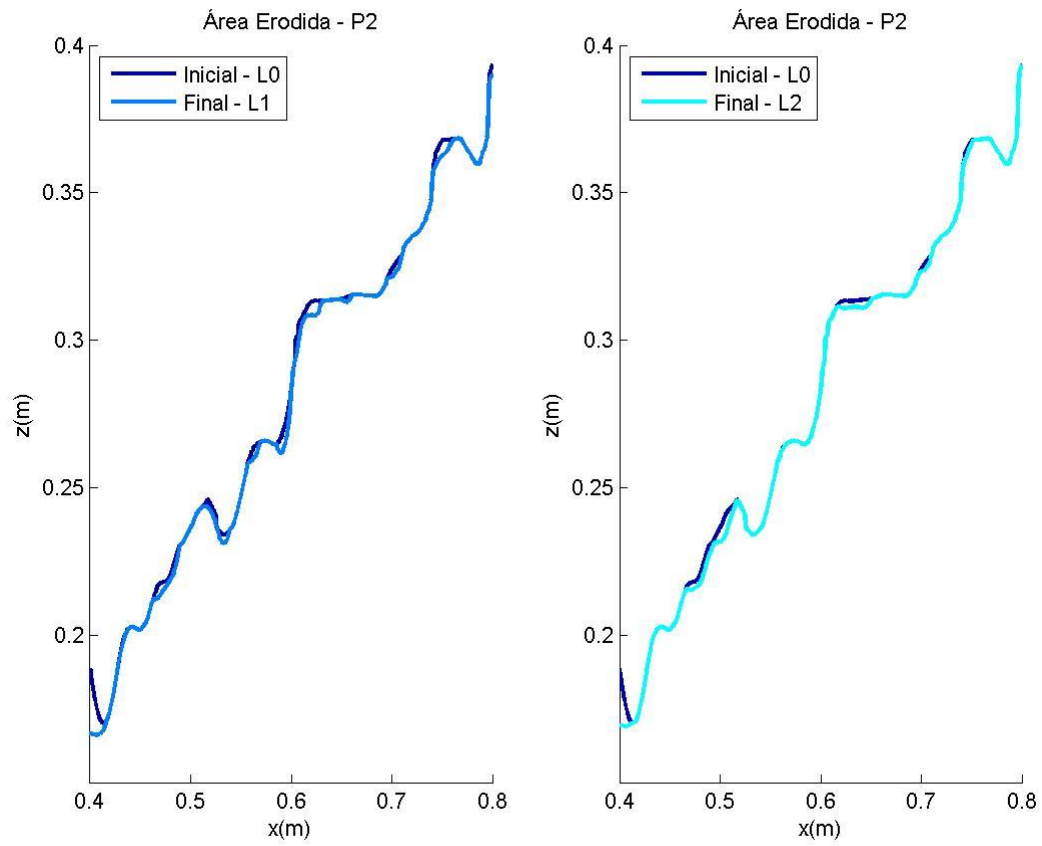


Figura A.4.79 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

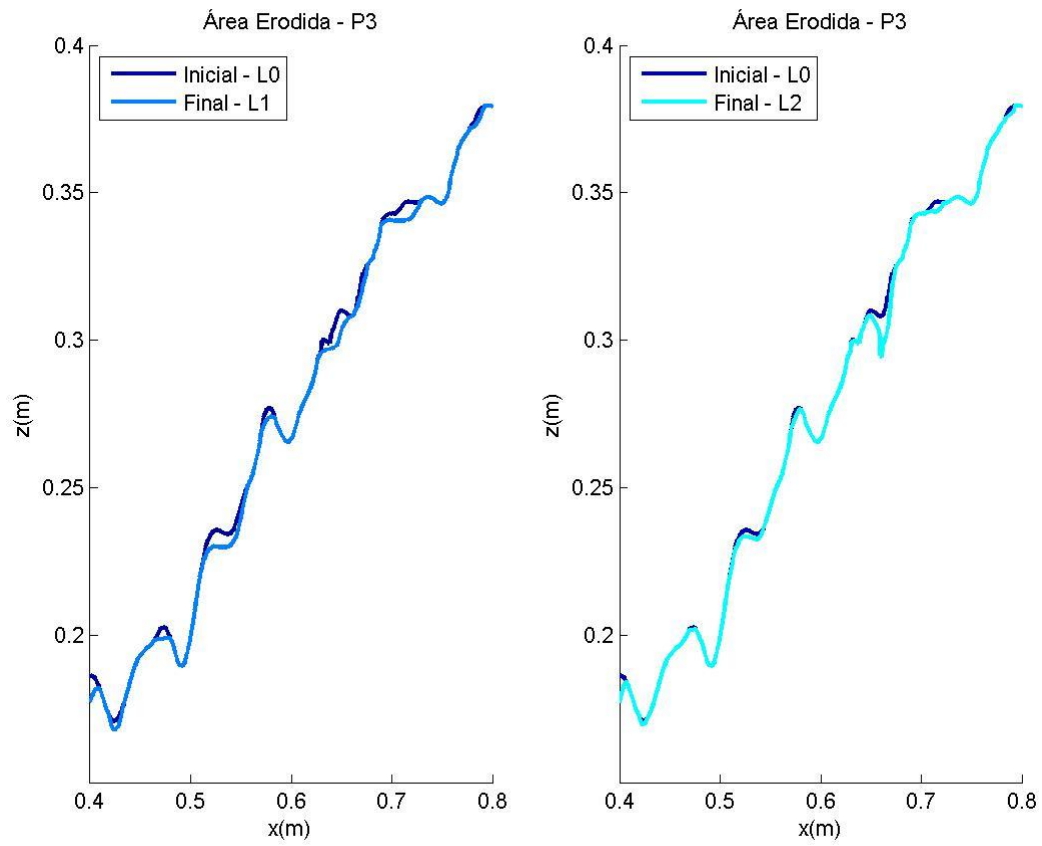


Figura A.4.80 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

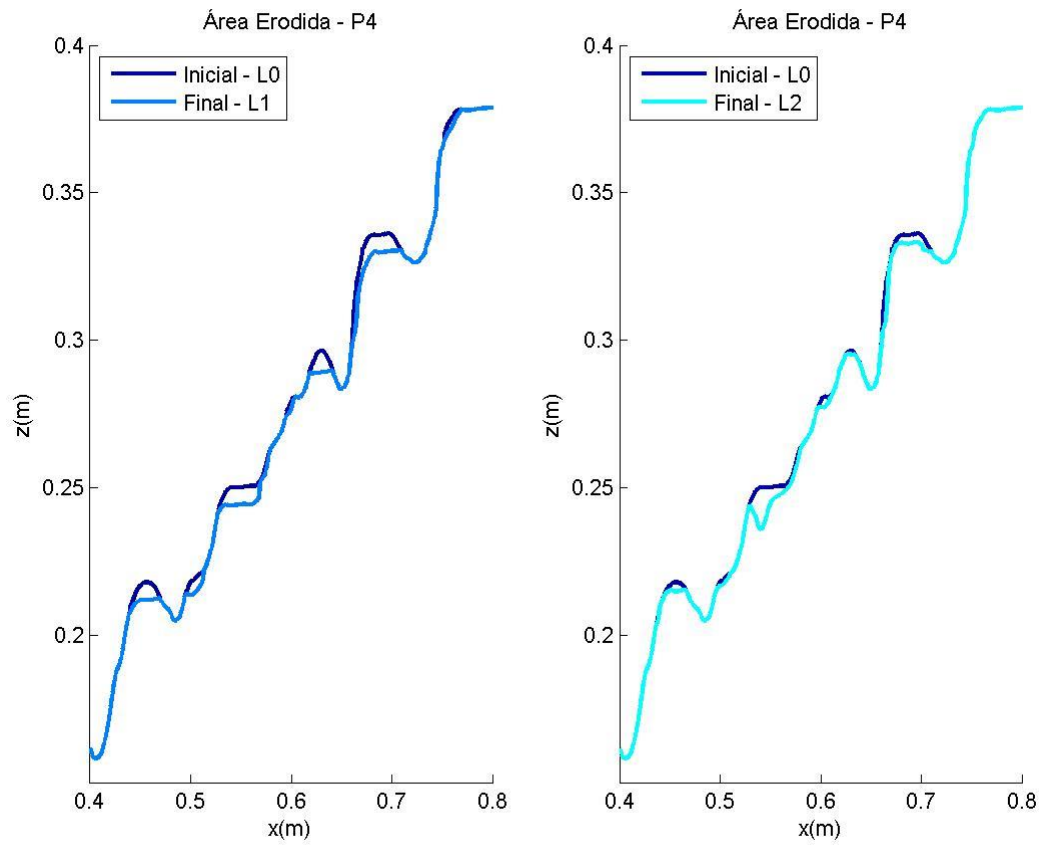


Figura A.4.81 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

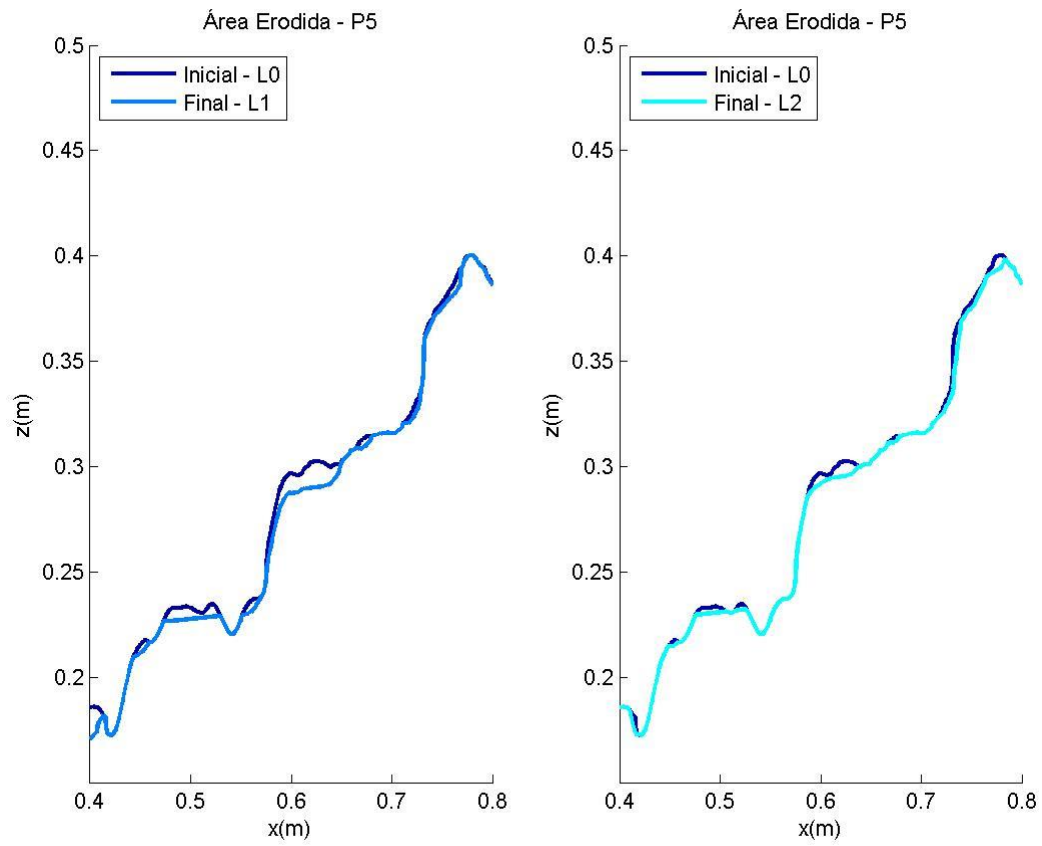


Figura A.4.82 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

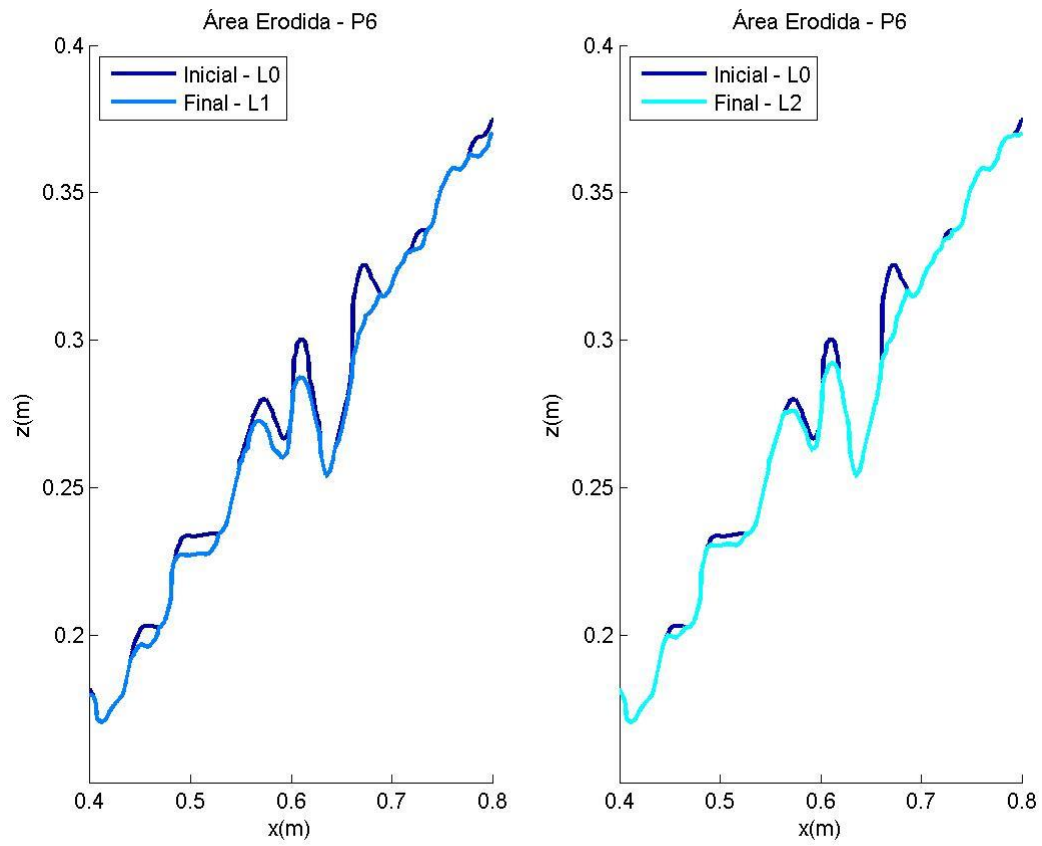


Figura A.4.83 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

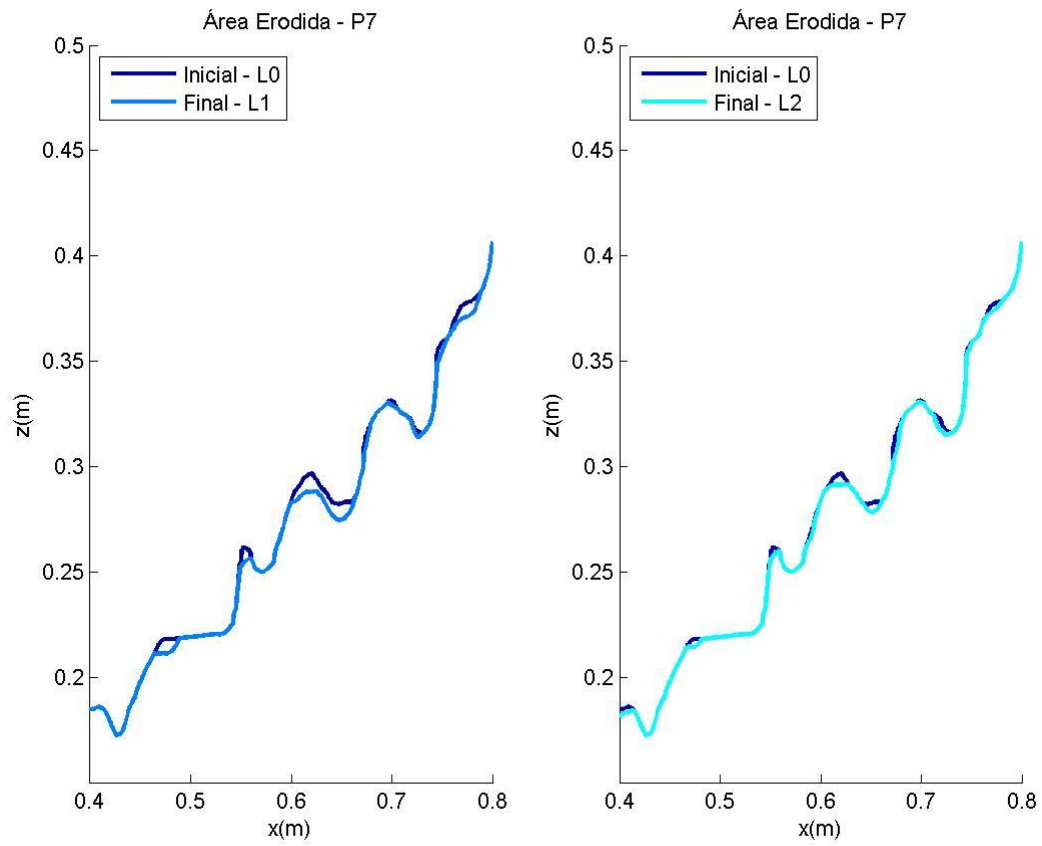


Figura A.4.84 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da zona ativa do manto resistente, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

Tp=10 s PM – Banqueta do Pé de Talude

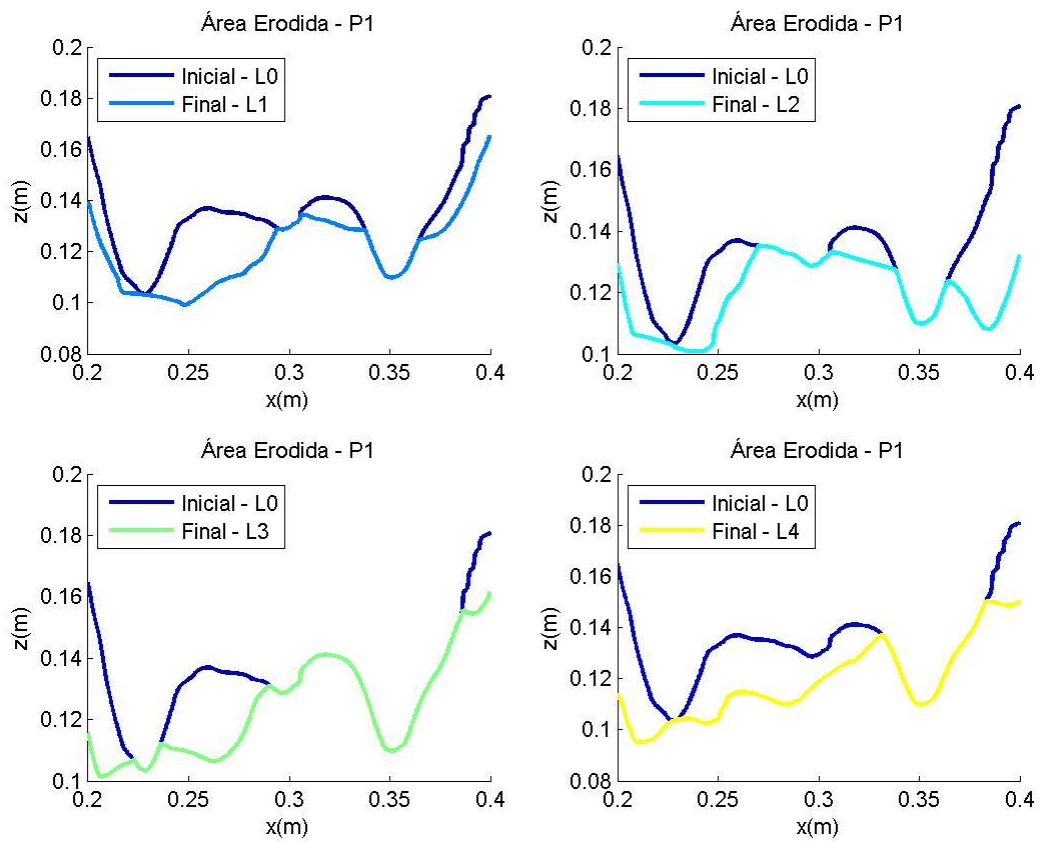


Figura A.4.85 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

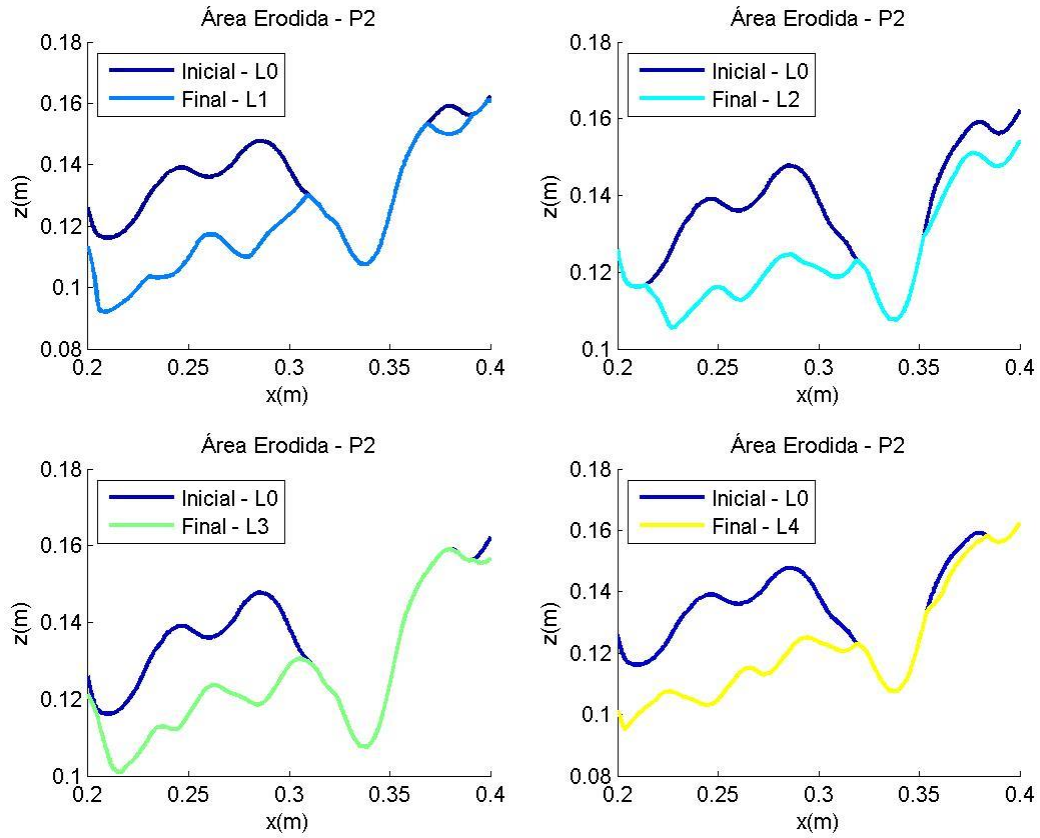


Figura A.4.86 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

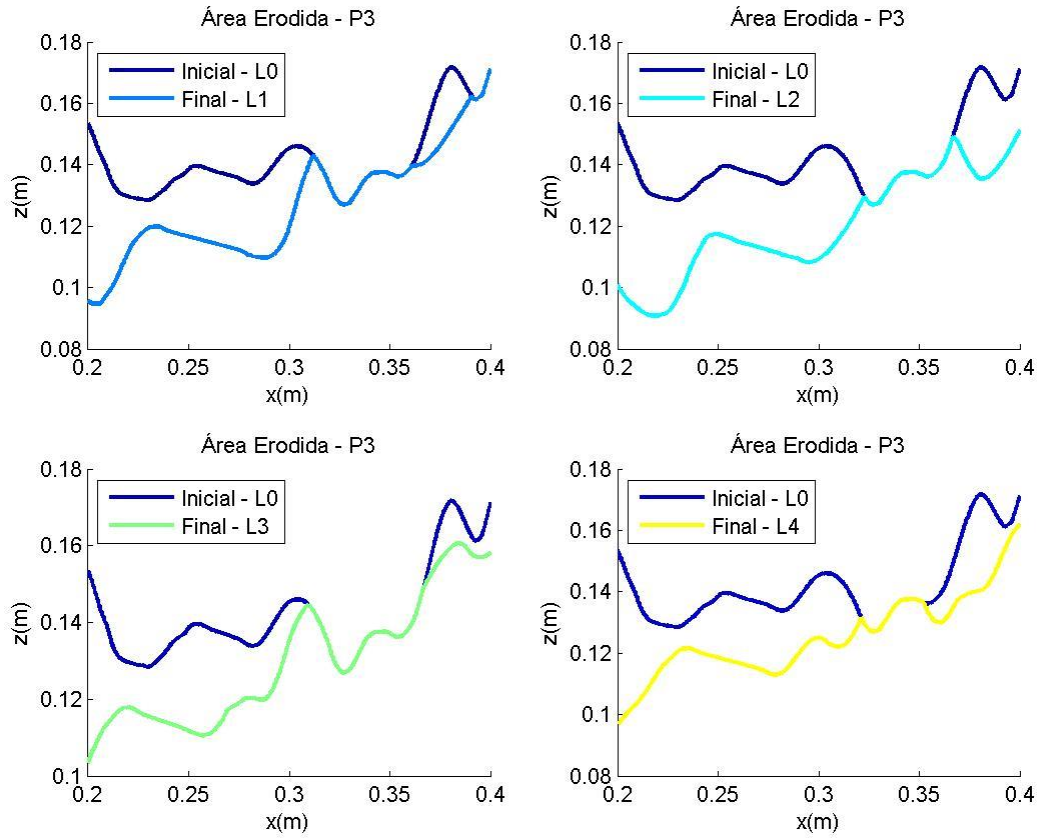


Figura A.4.87 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banqueta do pé de talude, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

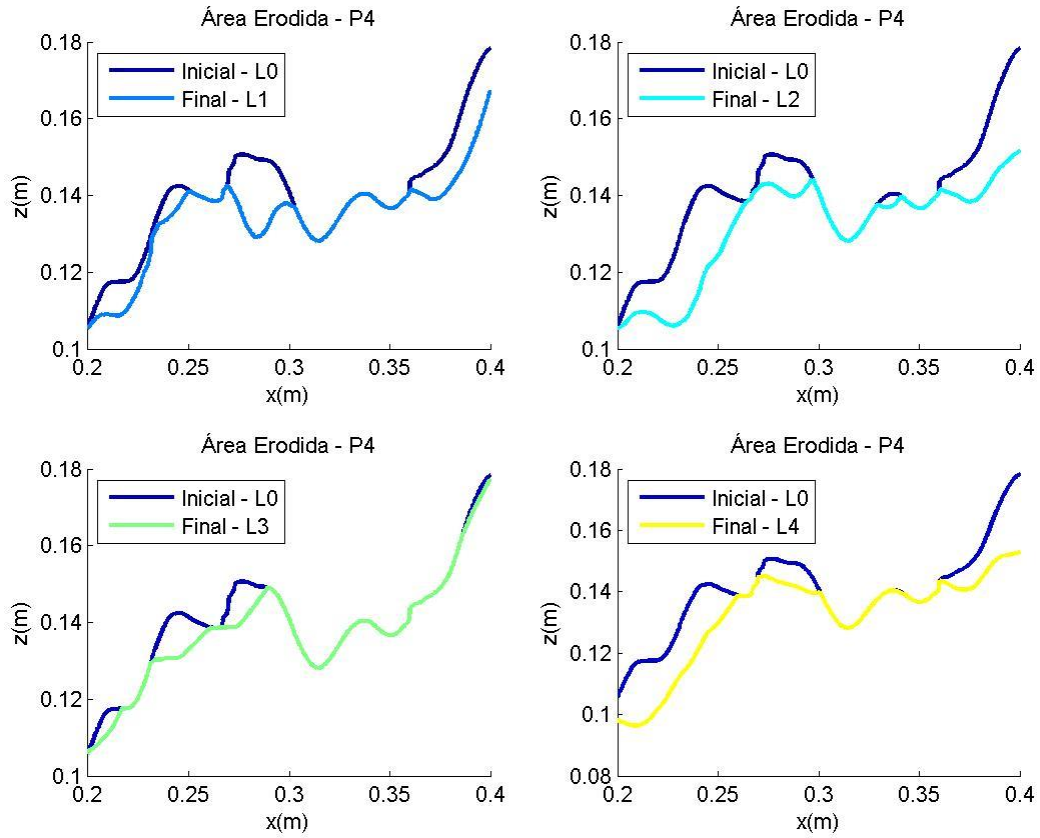


Figura A.4.88 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

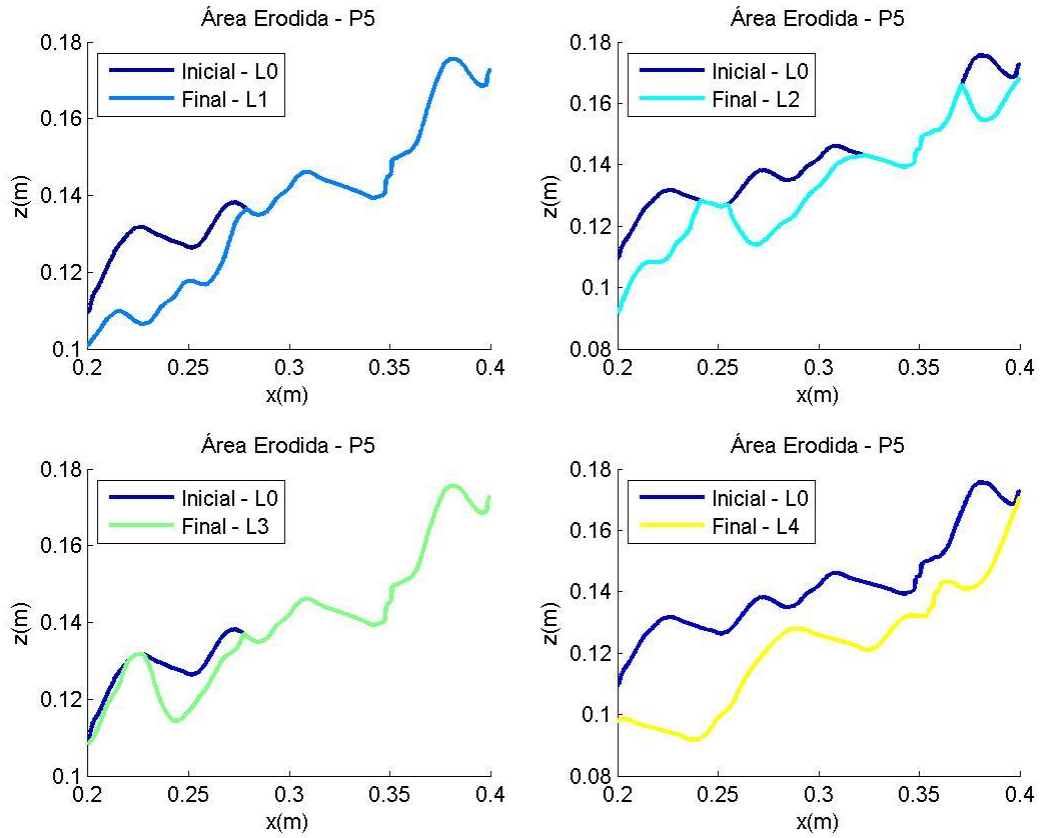


Figura A.4.89 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

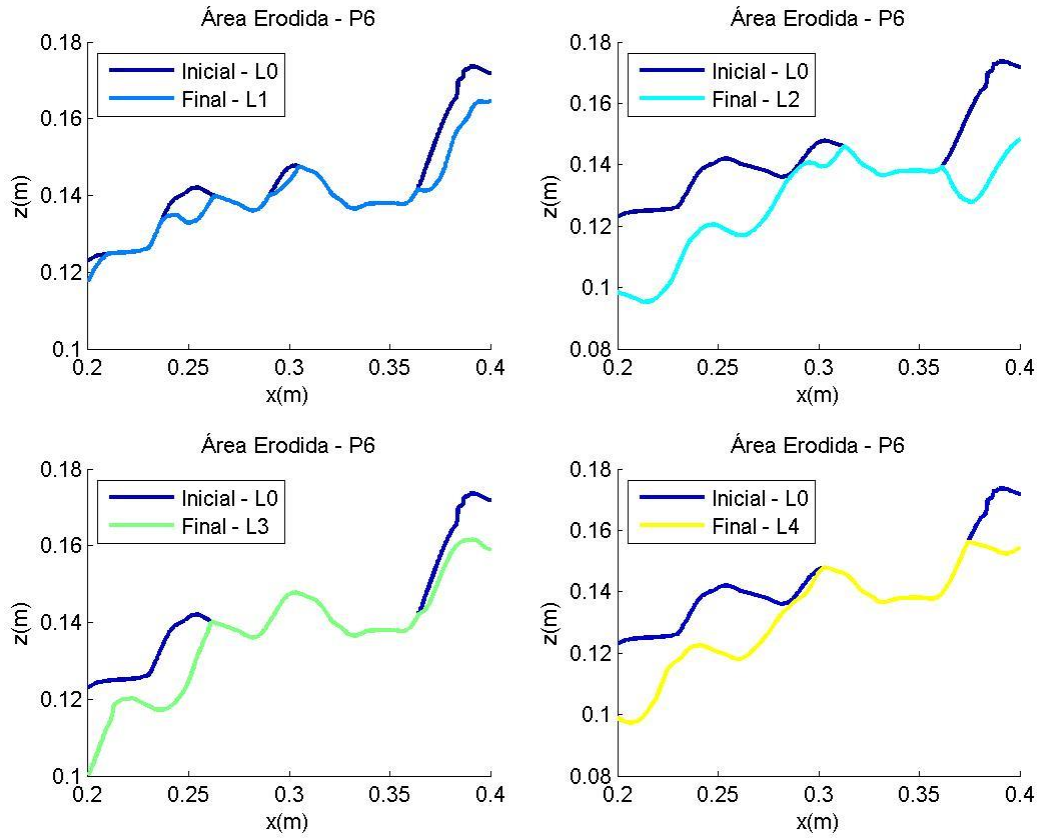


Figura A.4.90 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

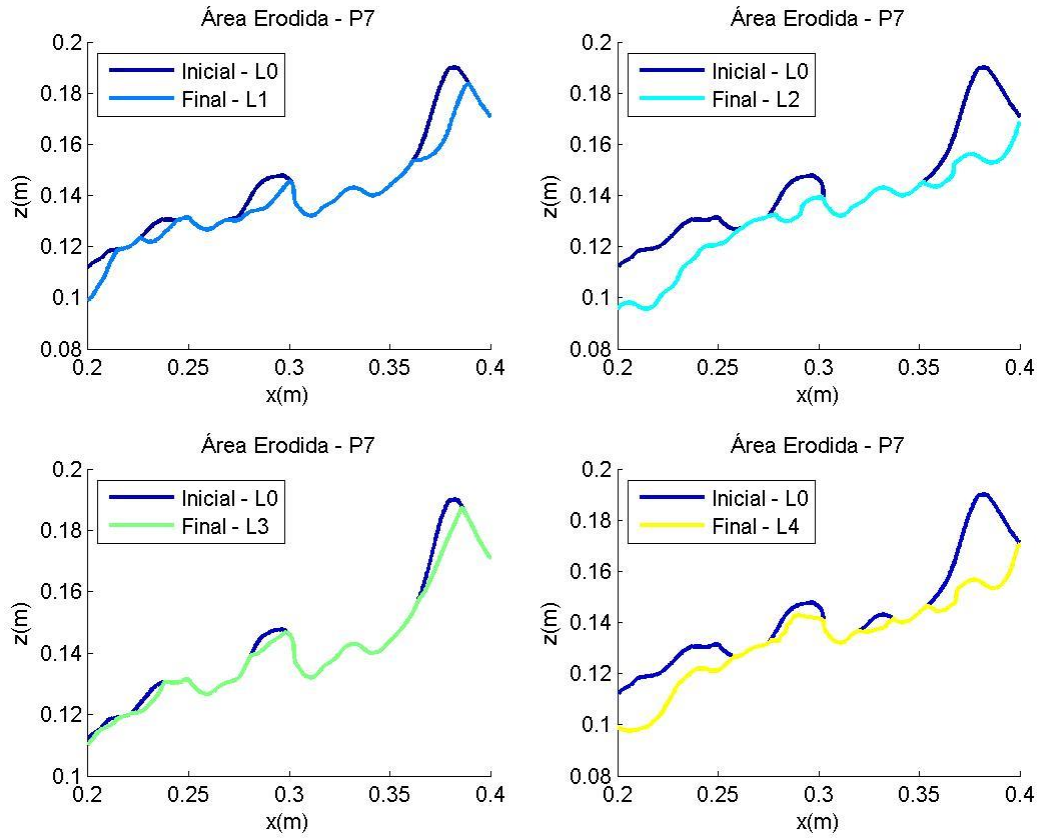


Figura A.4.91 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s PM

Tp=10 s BM – Banqueta do Pé de Talude

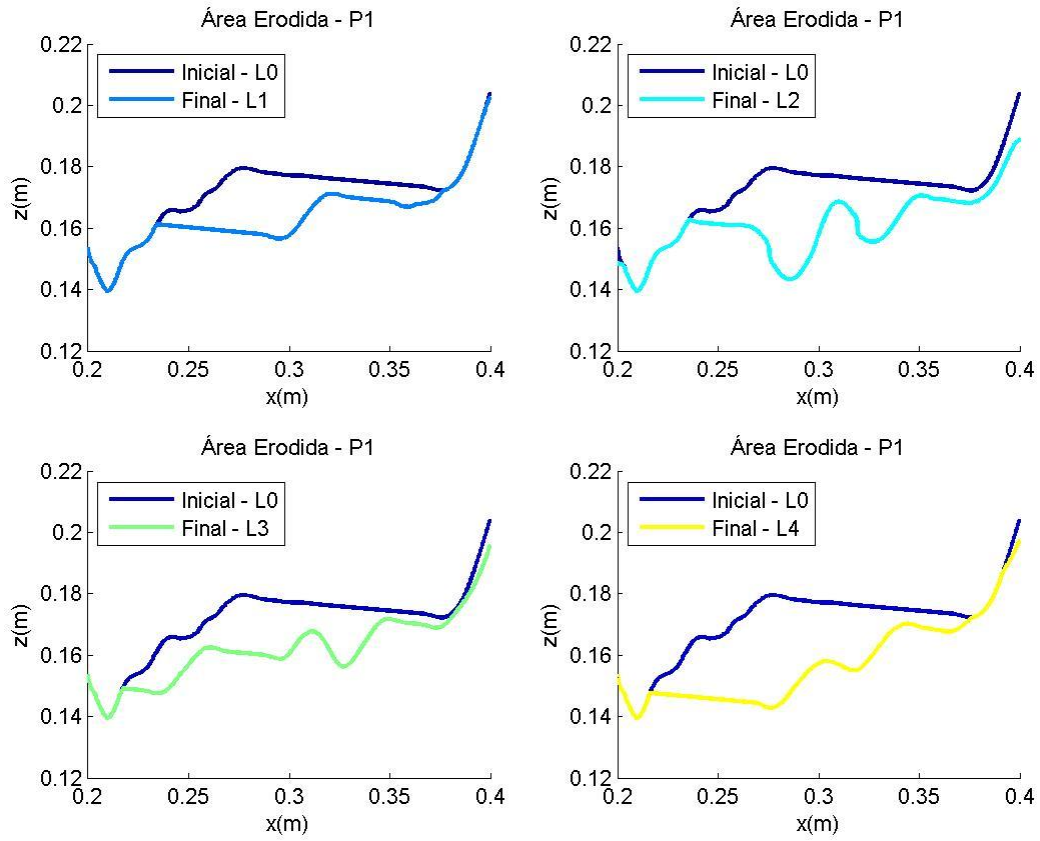


Figura A.4.92 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

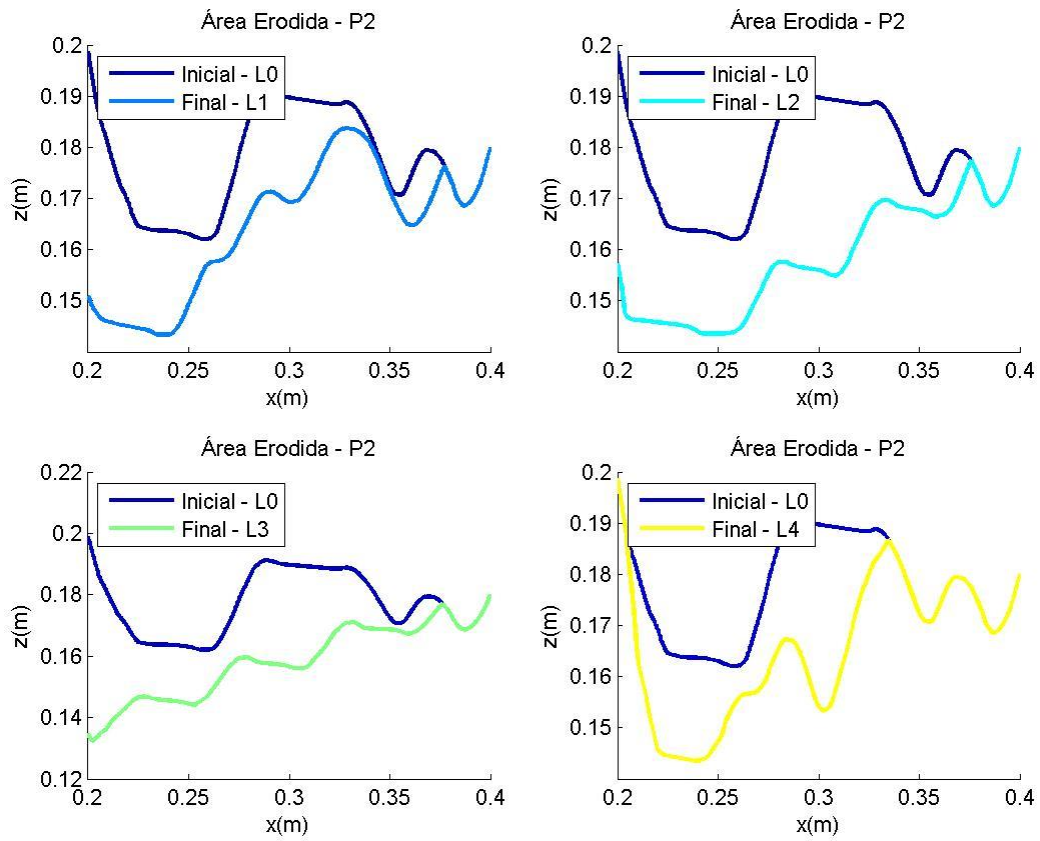


Figura A.4.93 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

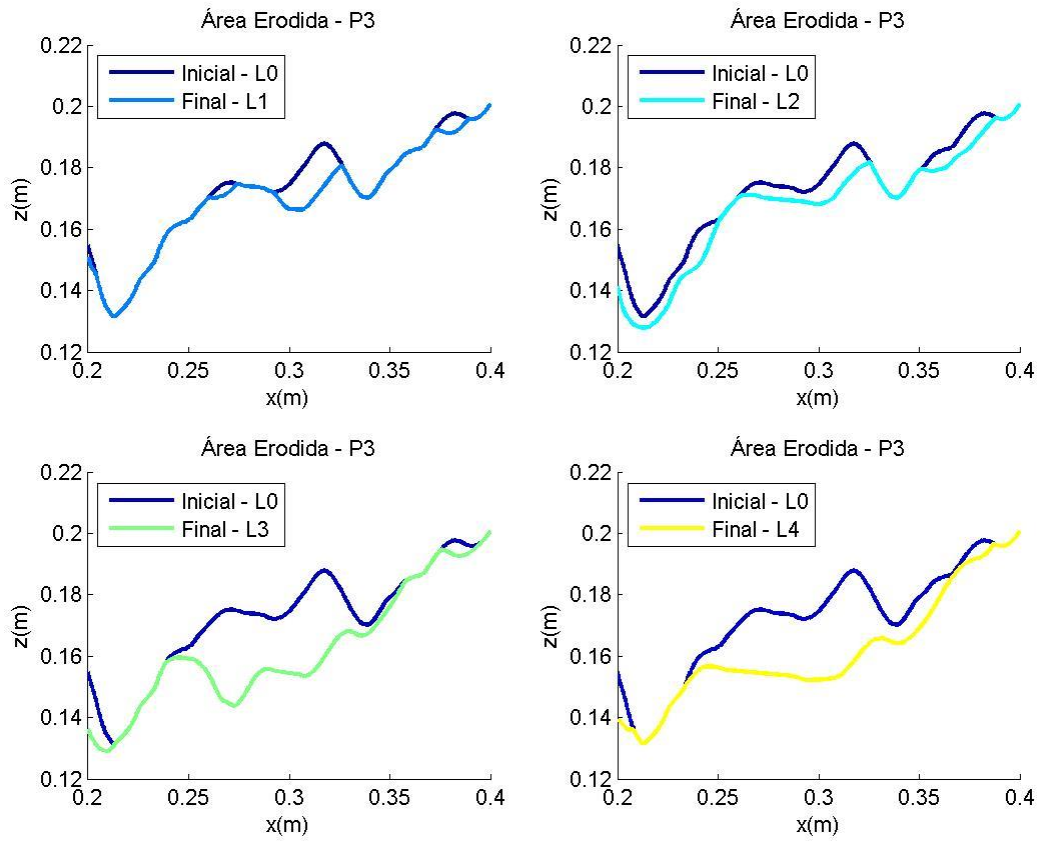


Figura A.4.94 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

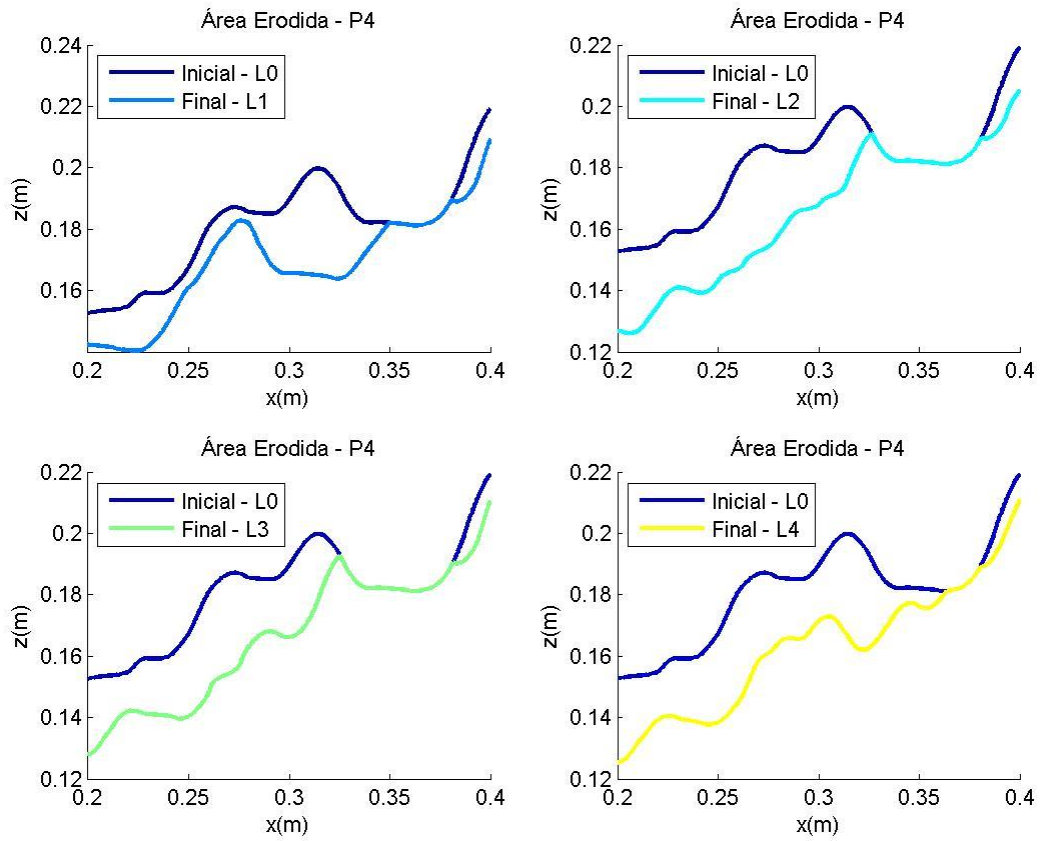


Figura A.4.95 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

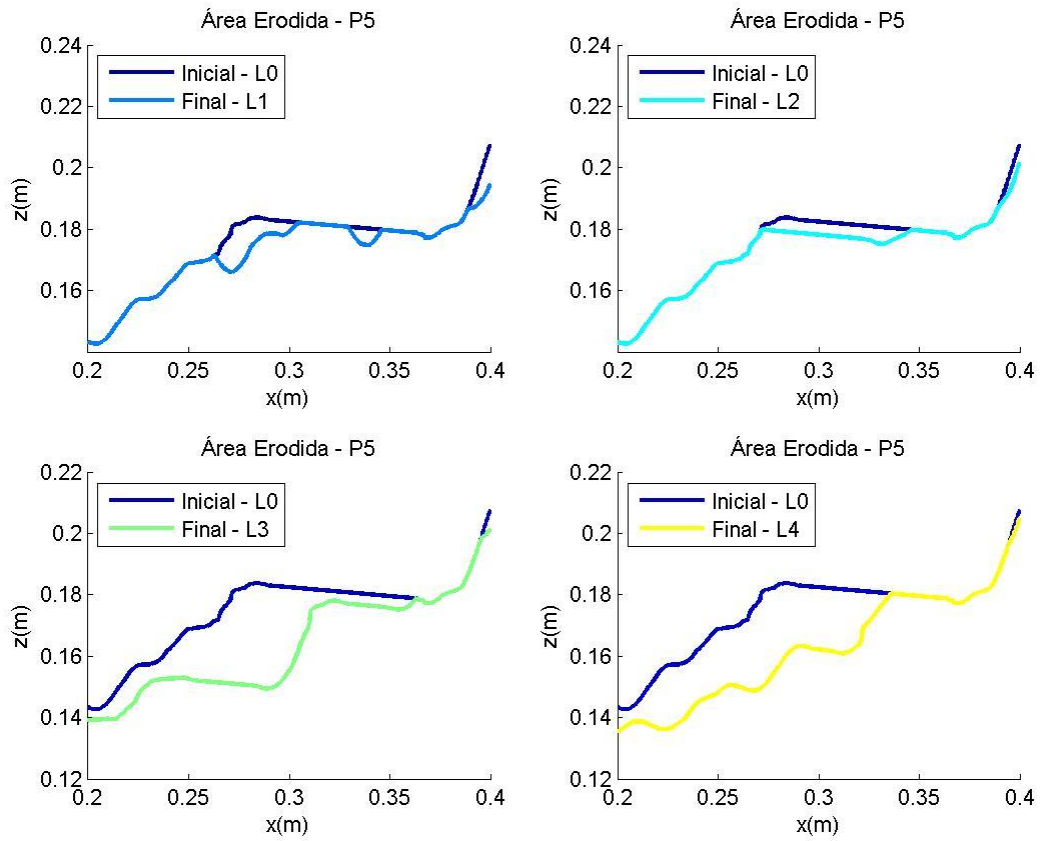


Figura A.4.96 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

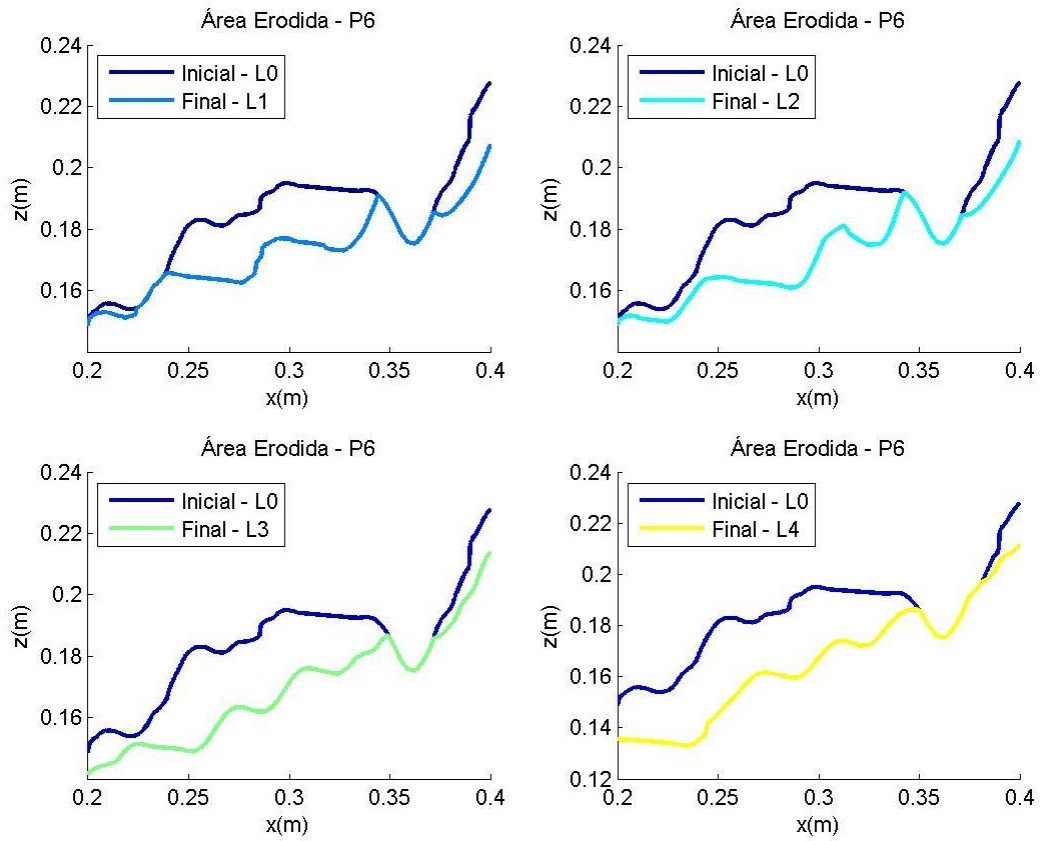


Figura A.4.97 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

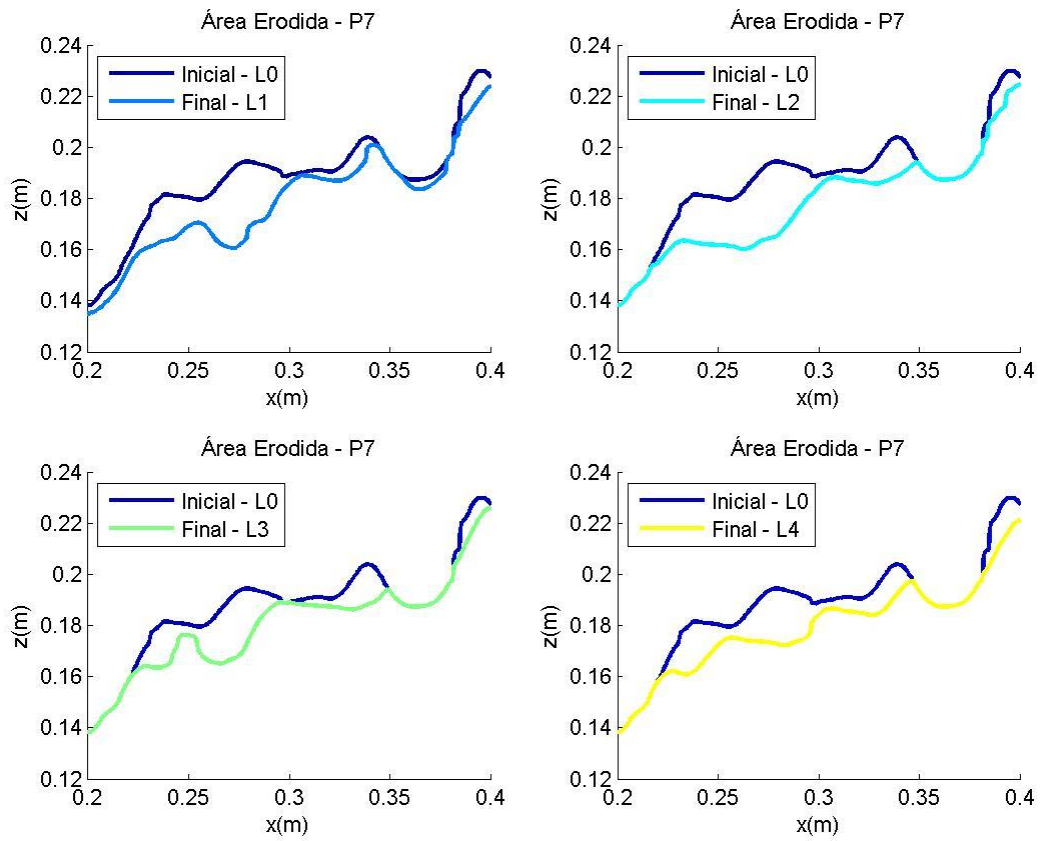


Figura A.4.98 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=10$ s BM

Tp=14 s PM – Banqueta do Pé de Talude

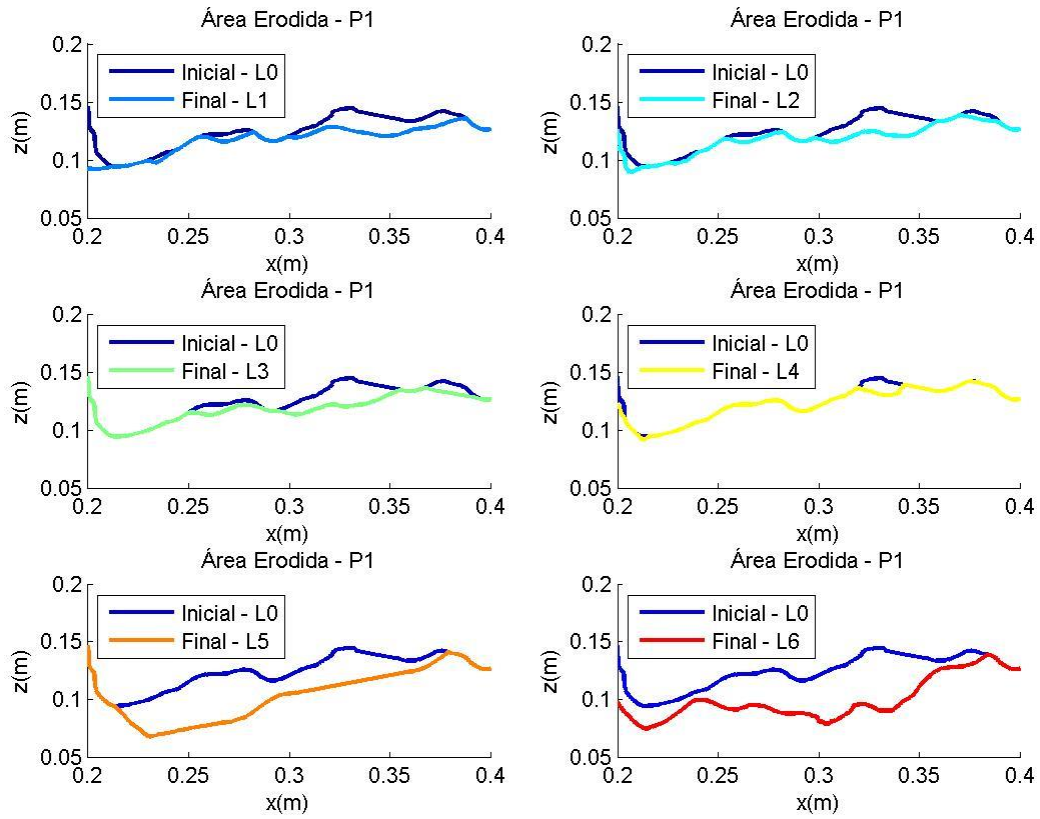


Figura A.4.99 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

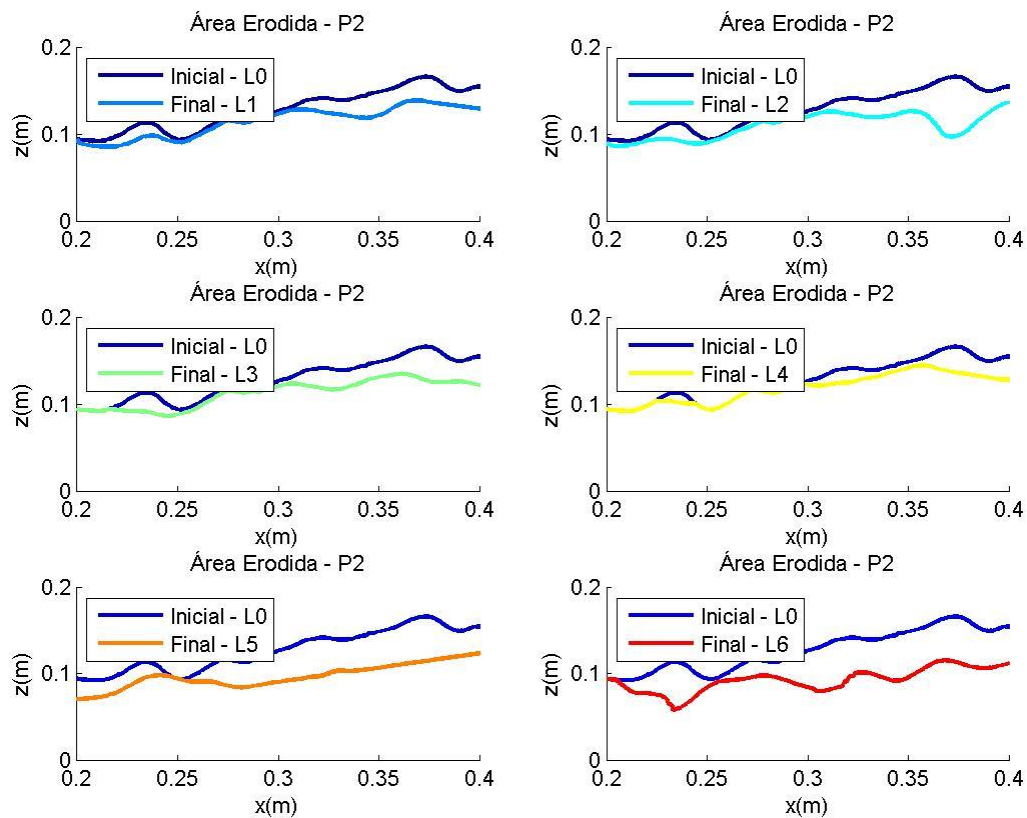


Figura A.4.100 – v da banqueta do pé de talude, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

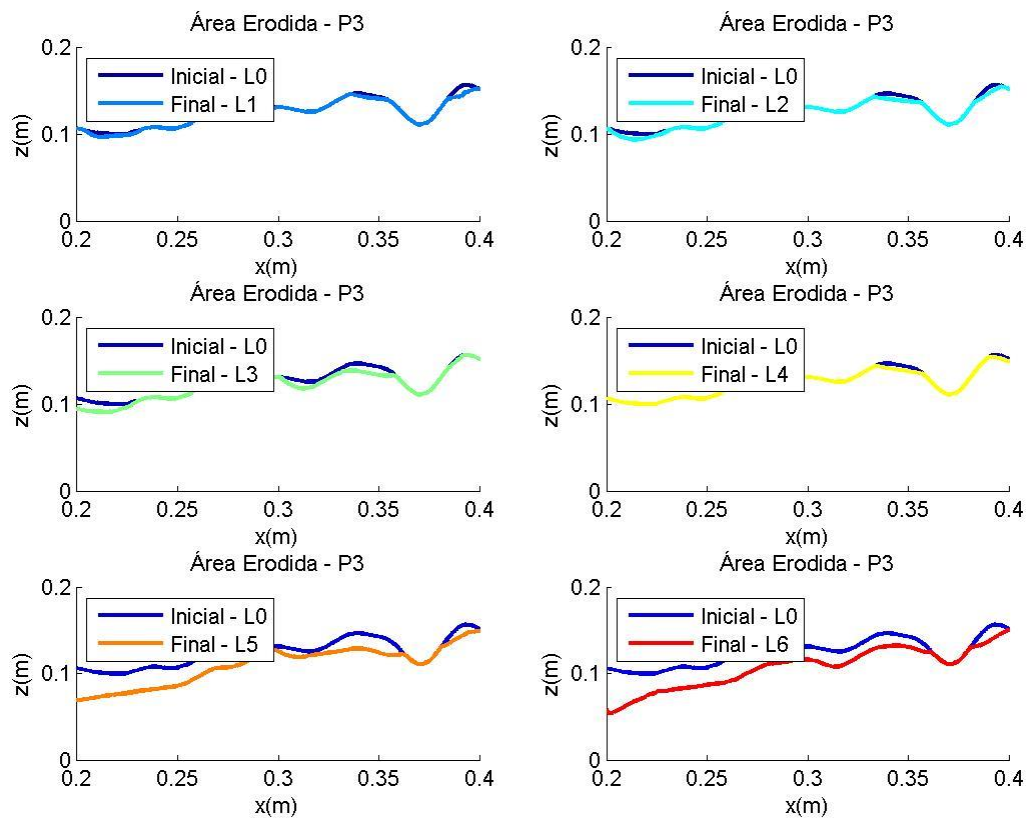


Figura A.4.101 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

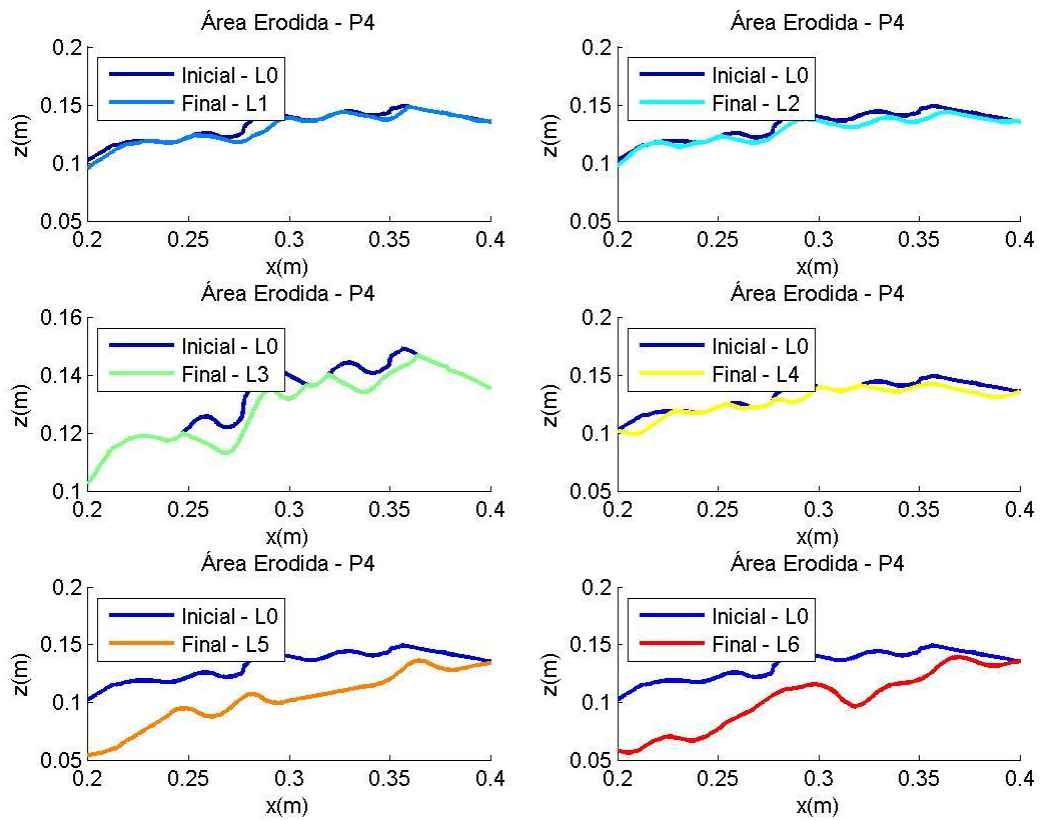


Figura A.4.102 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

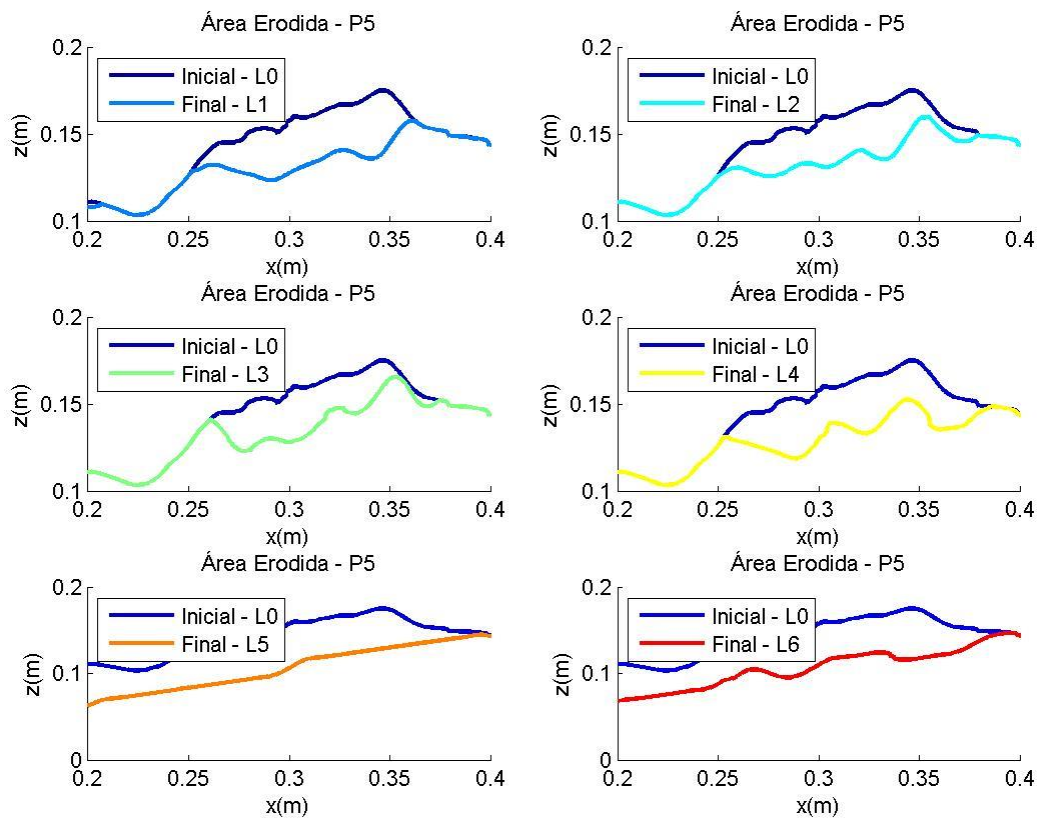


Figura A.4.103 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

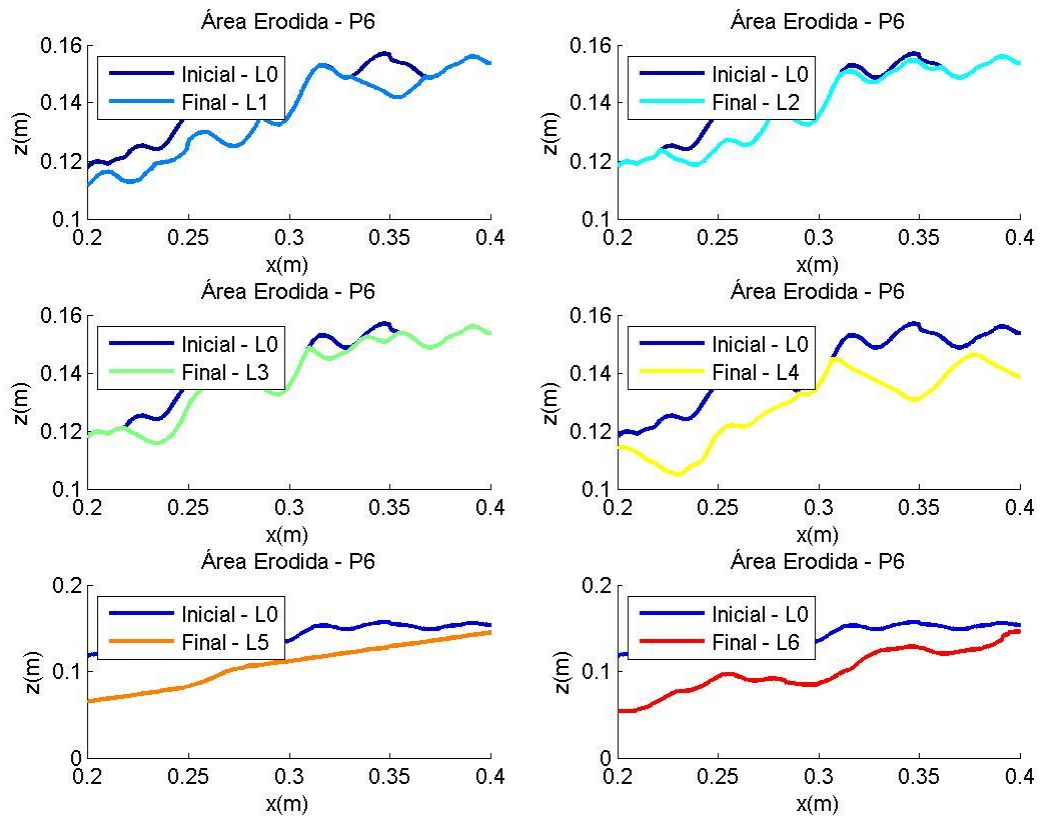


Figura A.4.104 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

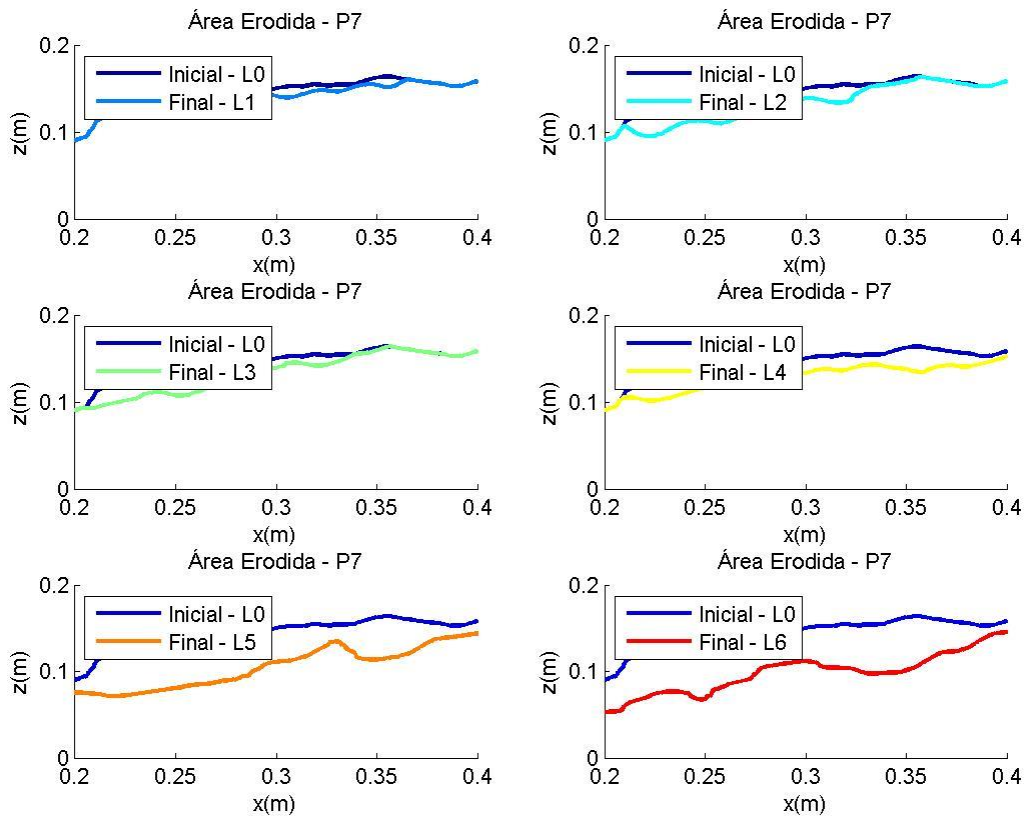


Figura A.4.105 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s PM

Tp=14 s BM – Banqueta do Pé de Talude

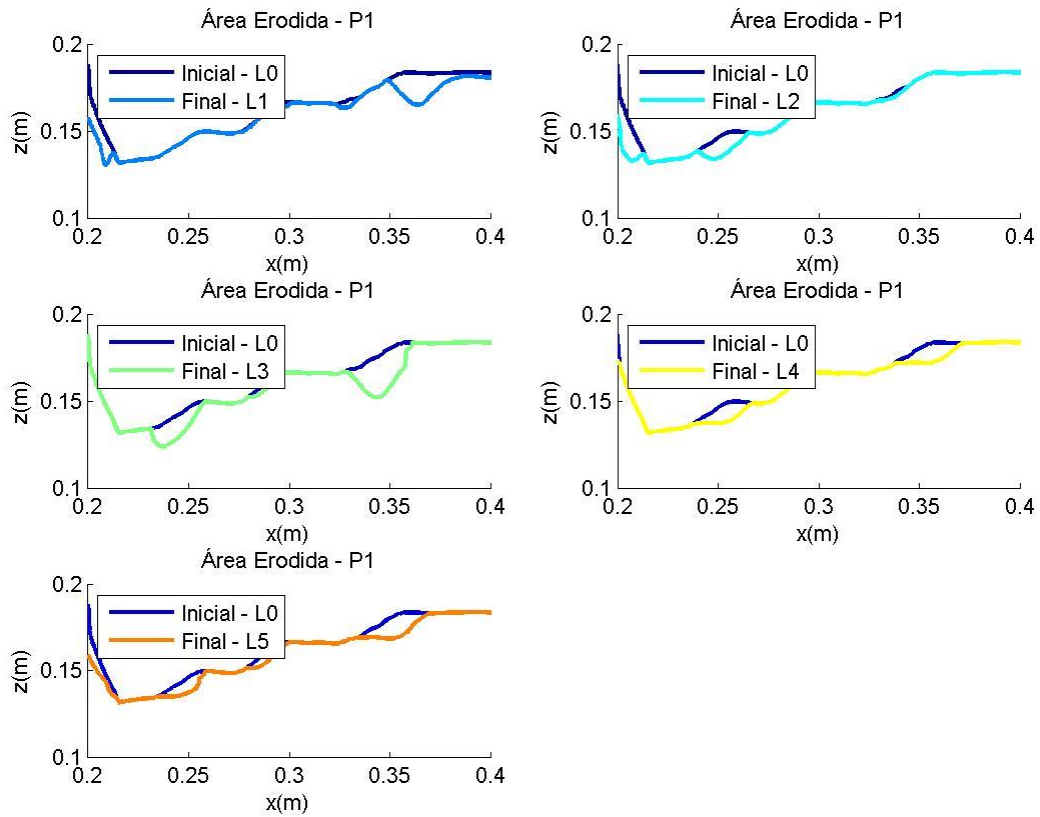


Figura A.4.106 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

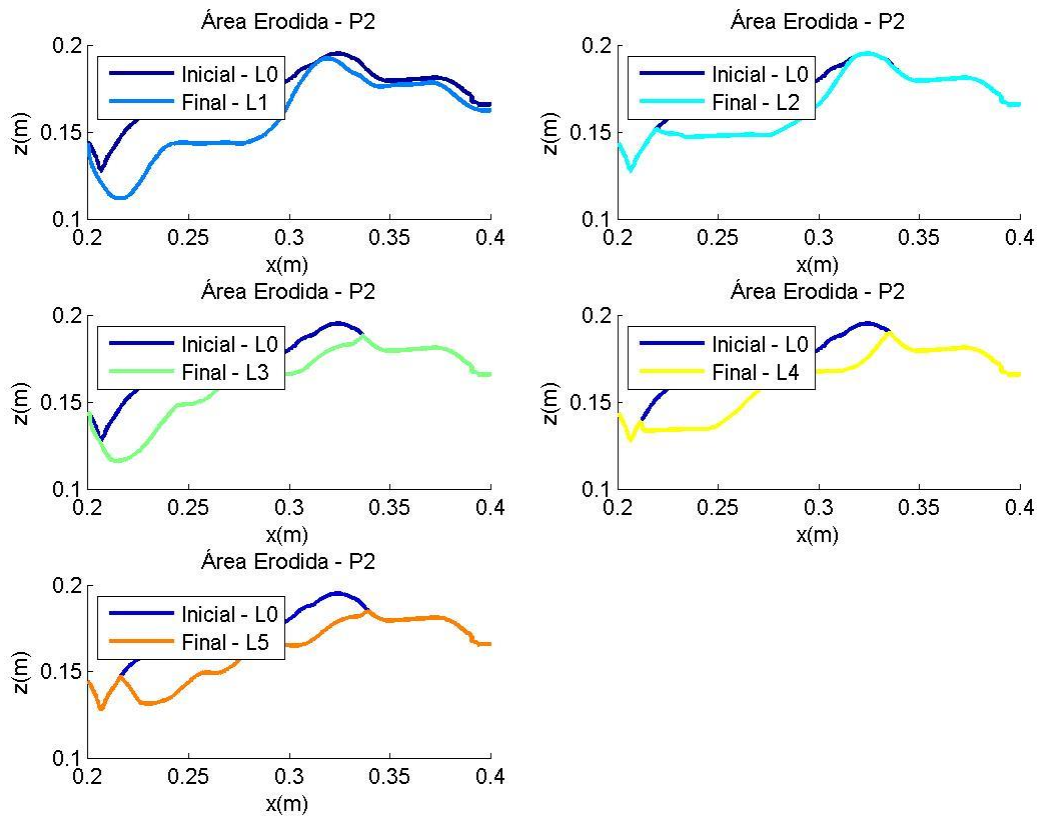


Figura A.4.107 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

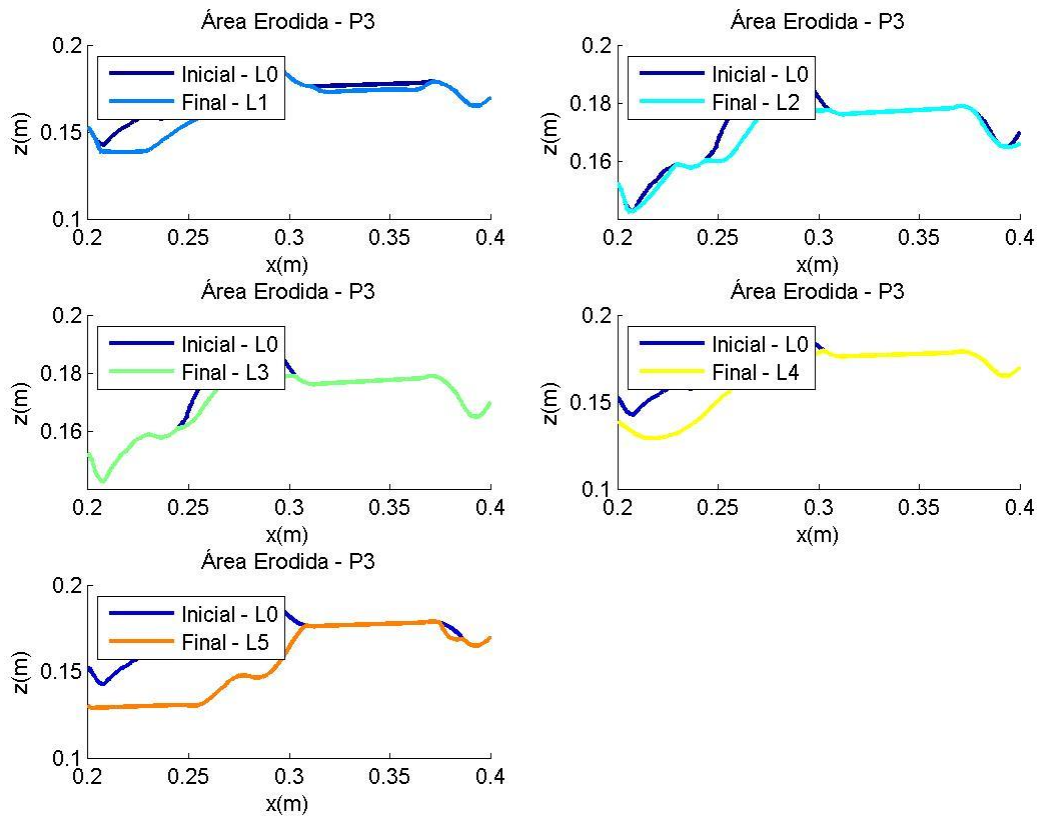


Figura A.4.108 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

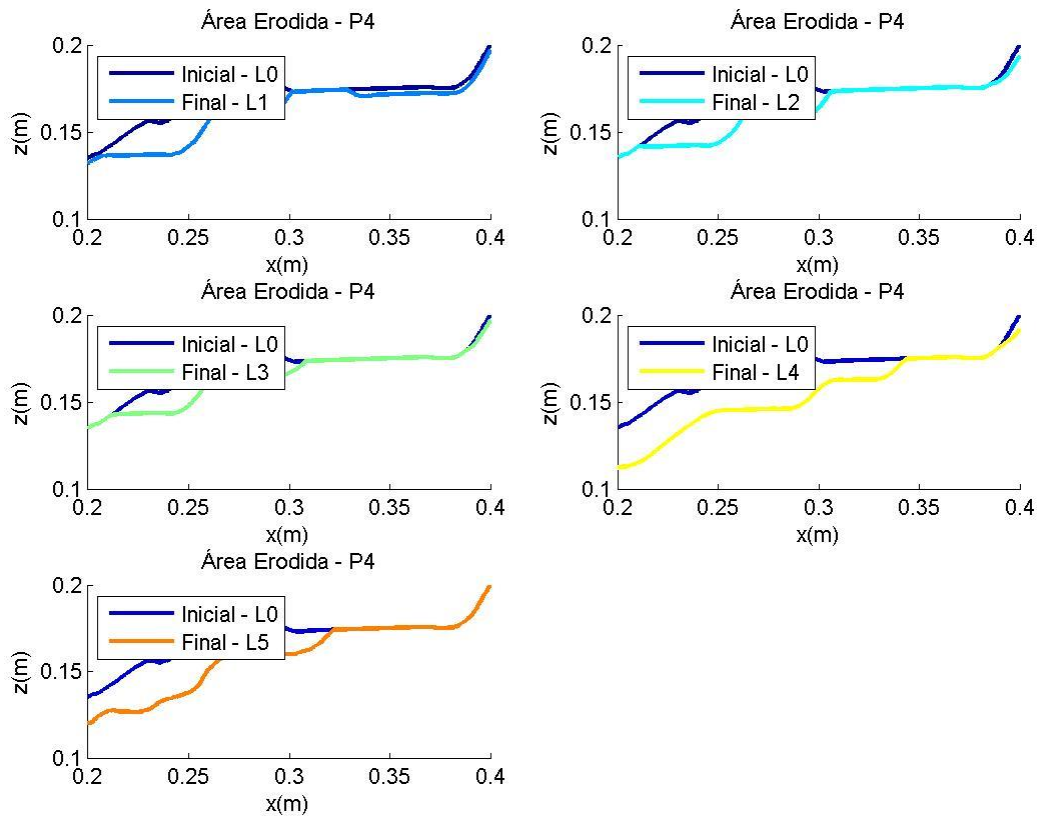


Figura A.4.109 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

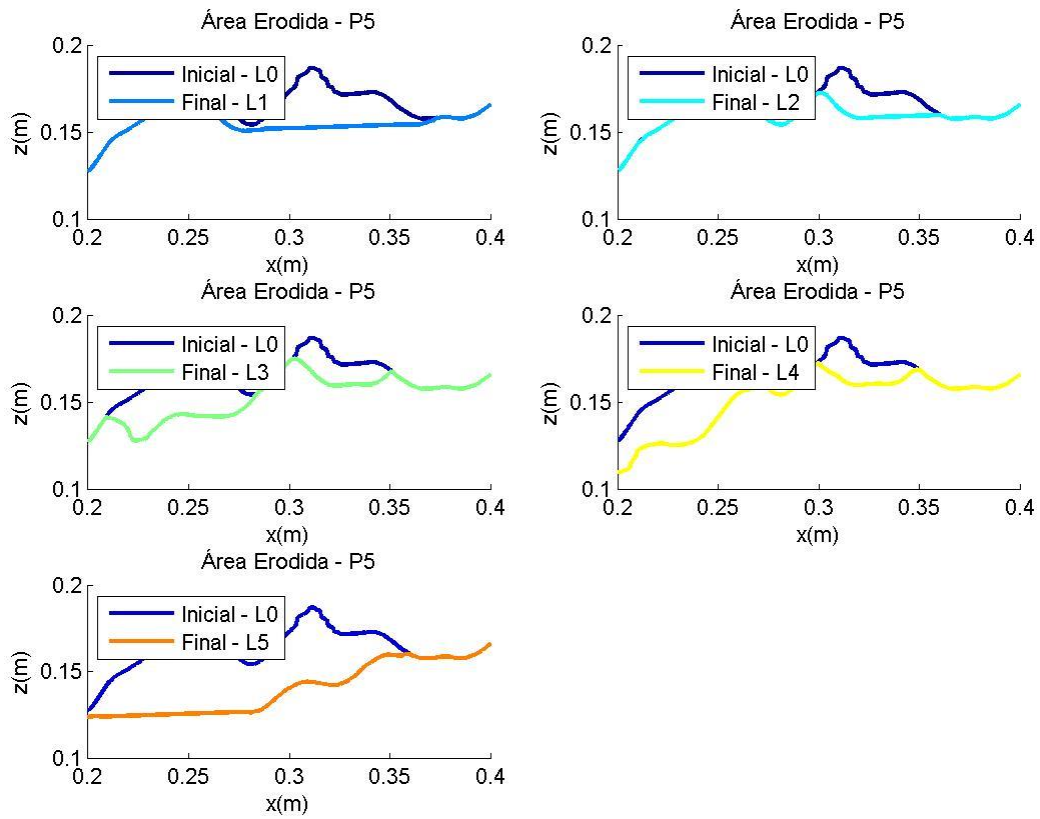


Figura A.4.110 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

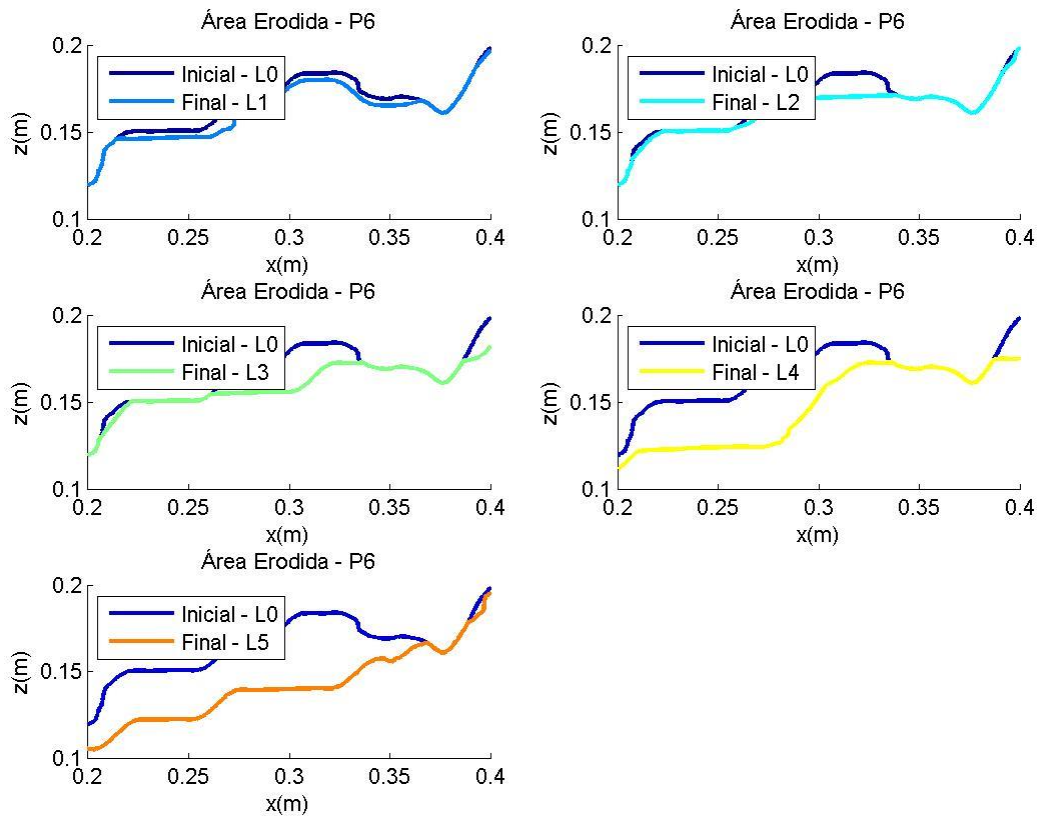


Figura A.4.111 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

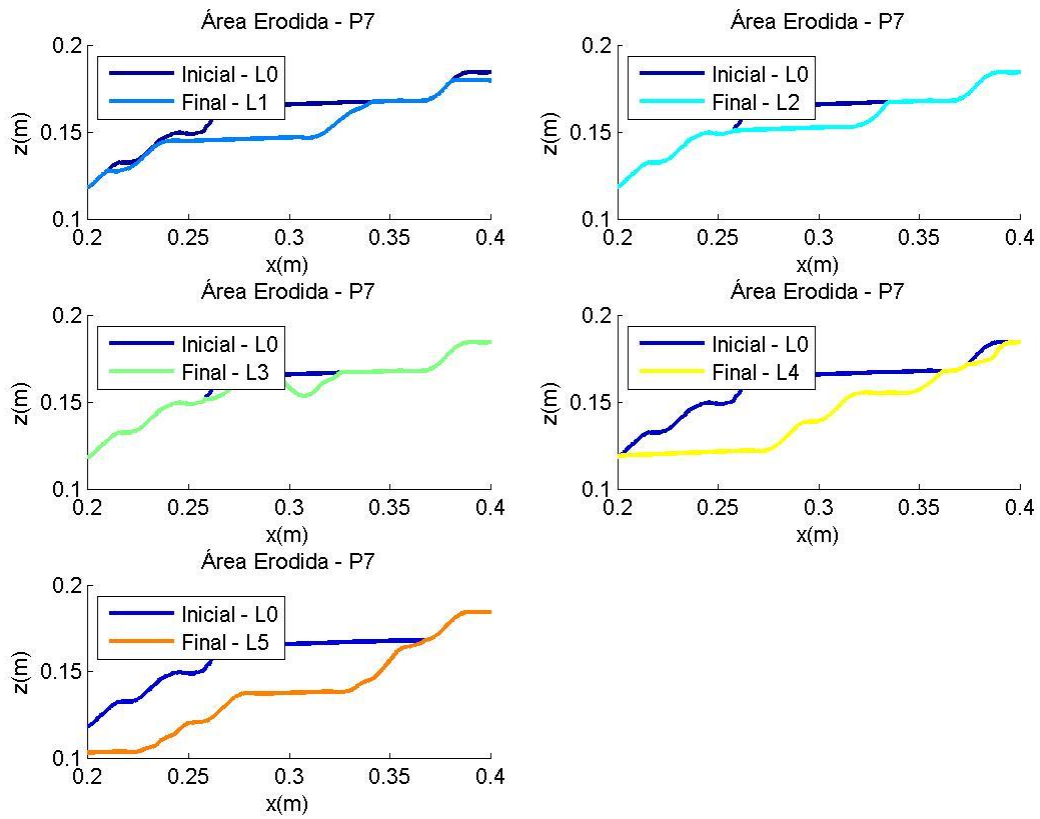


Figura A.4.112 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=14$ s BM

Tp=18 s PM – Banqueta do Pé de Talude

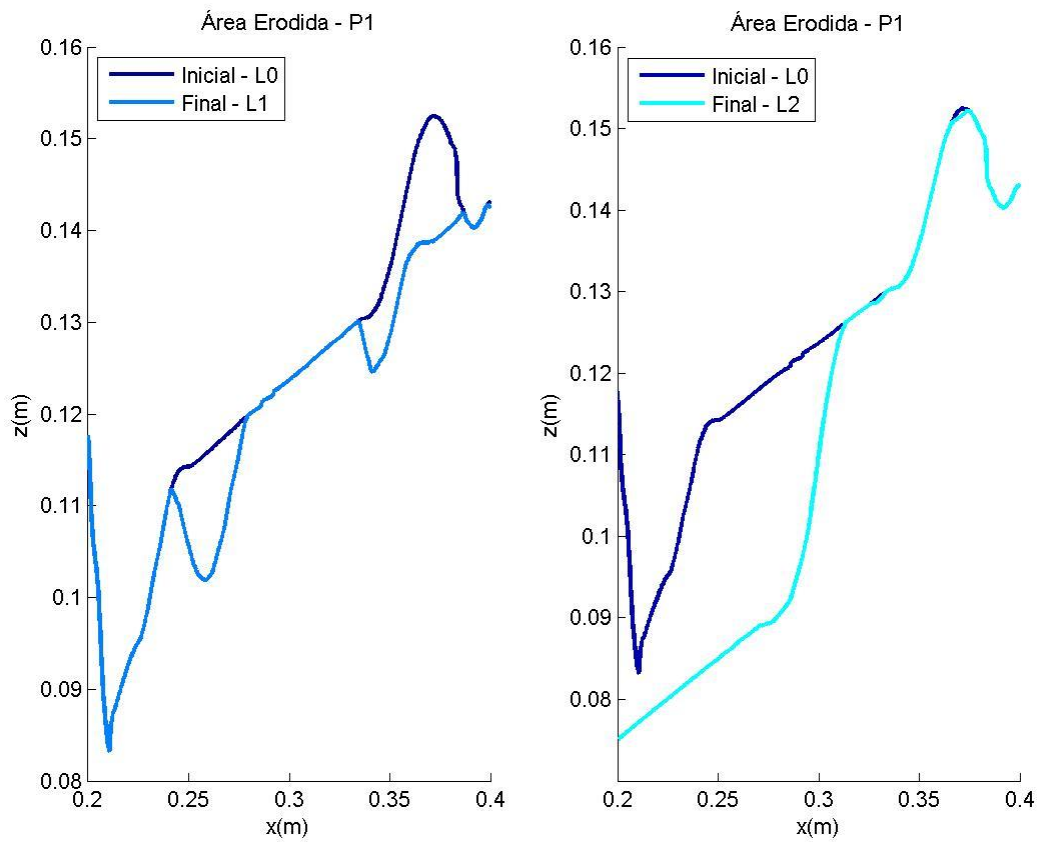


Figura A.4.113 – Perfis filtrados sendo retiradas as acções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com T_p=18 s PM

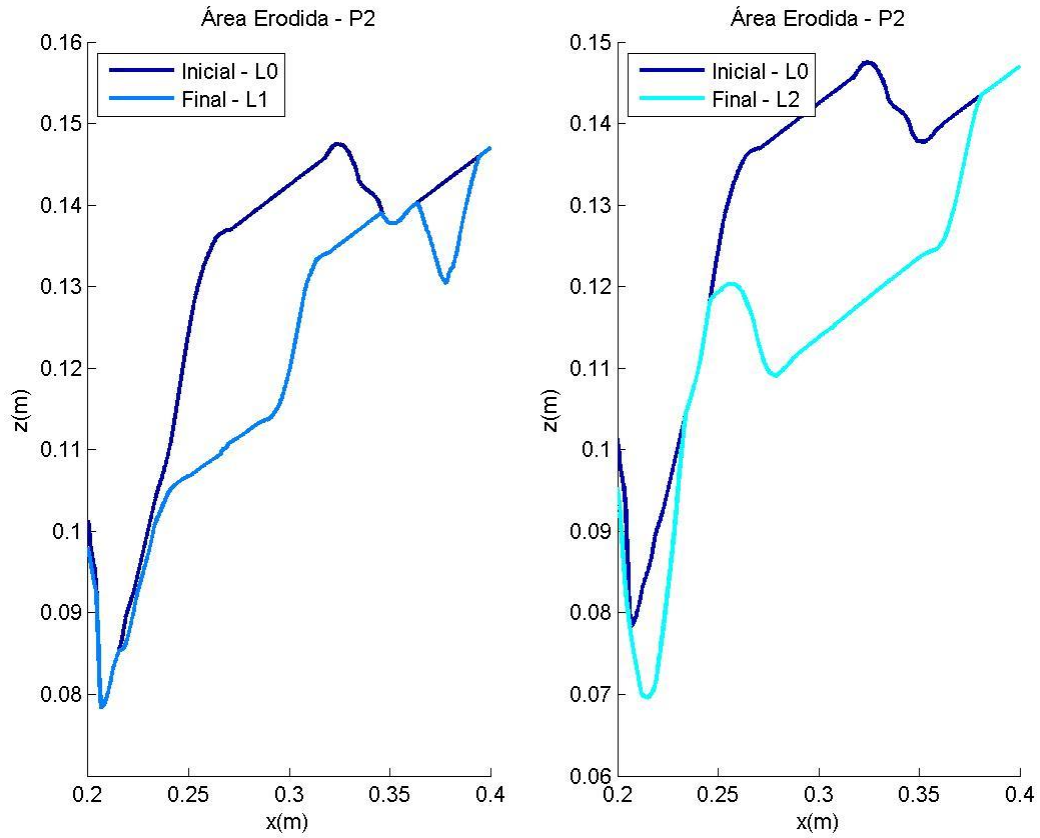


Figura A.4.114 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

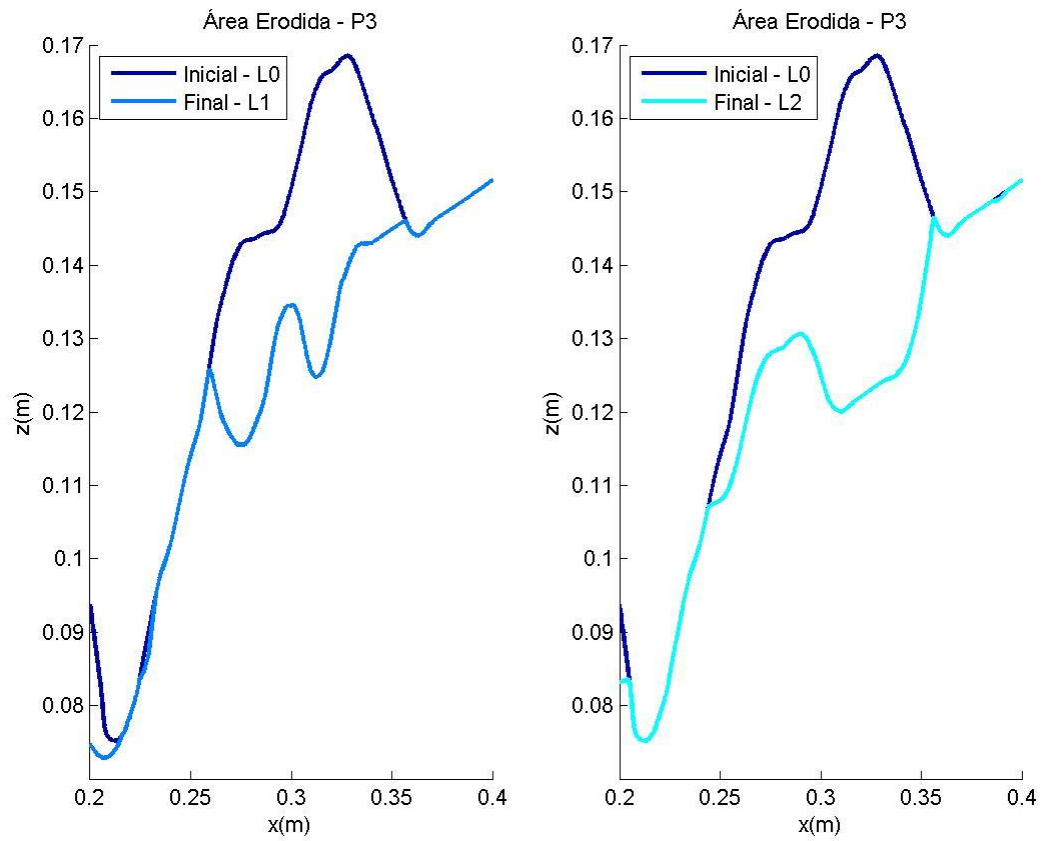


Figura A.4.115 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

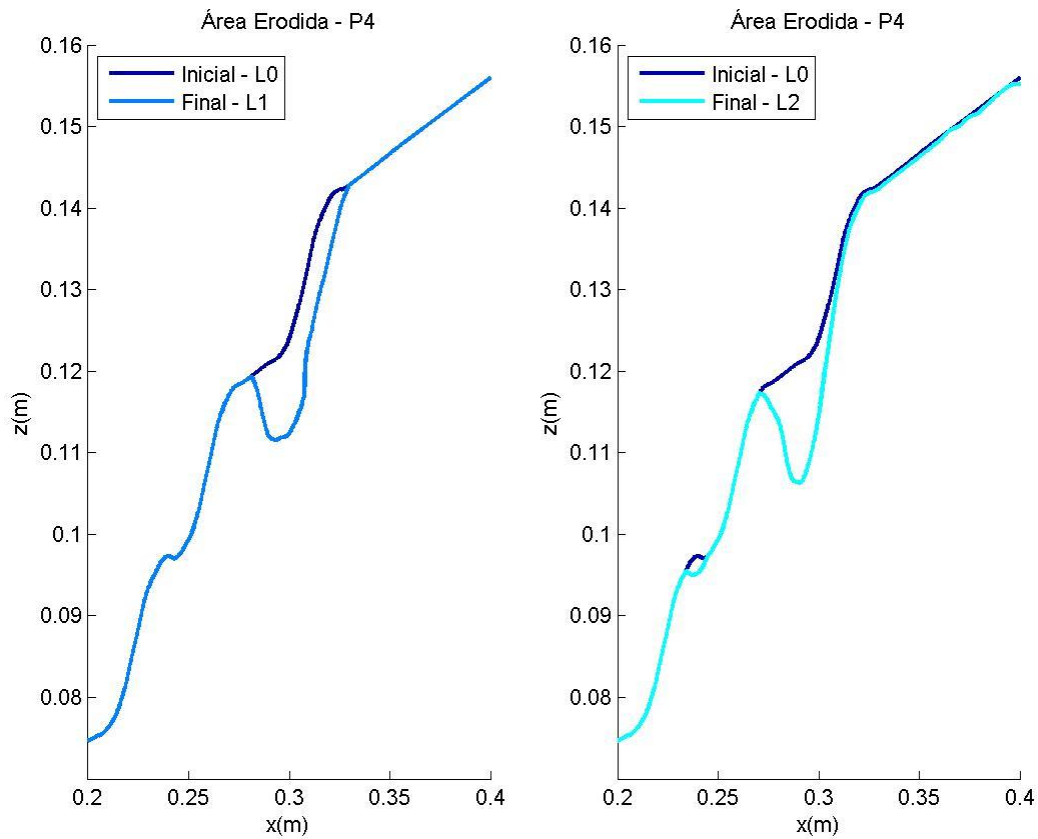


Figura A.4.116 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

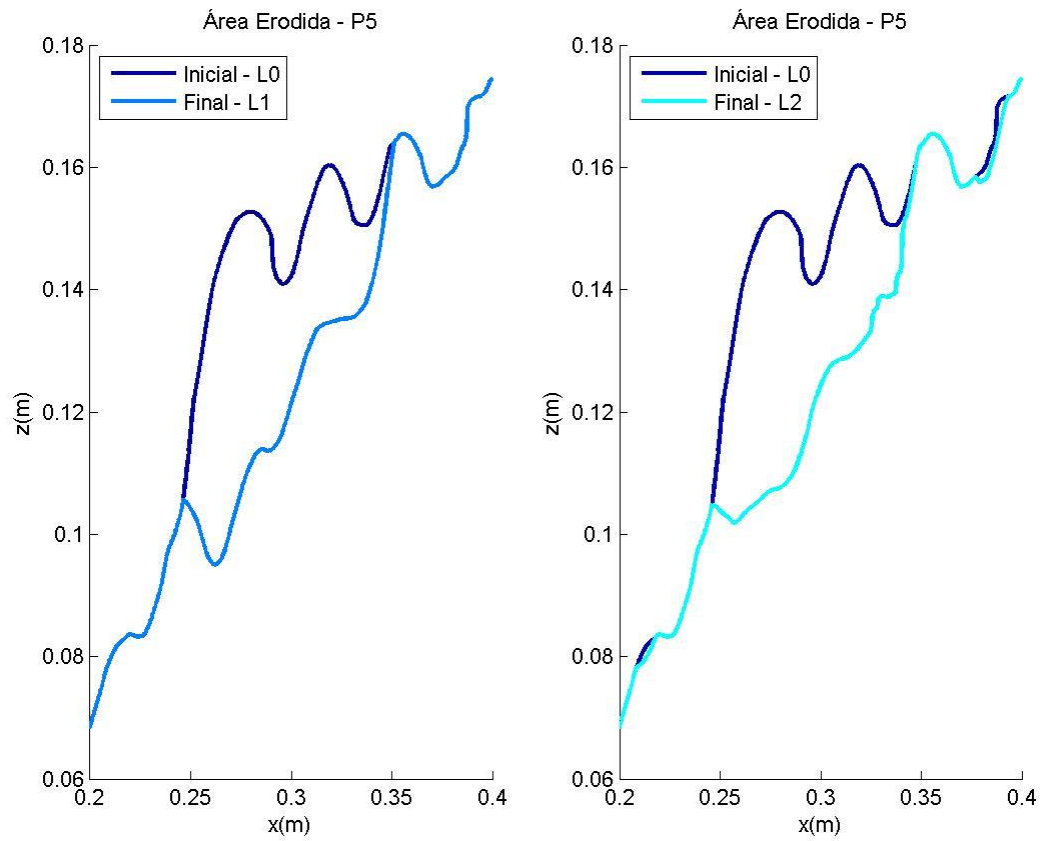


Figura A.4.117 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

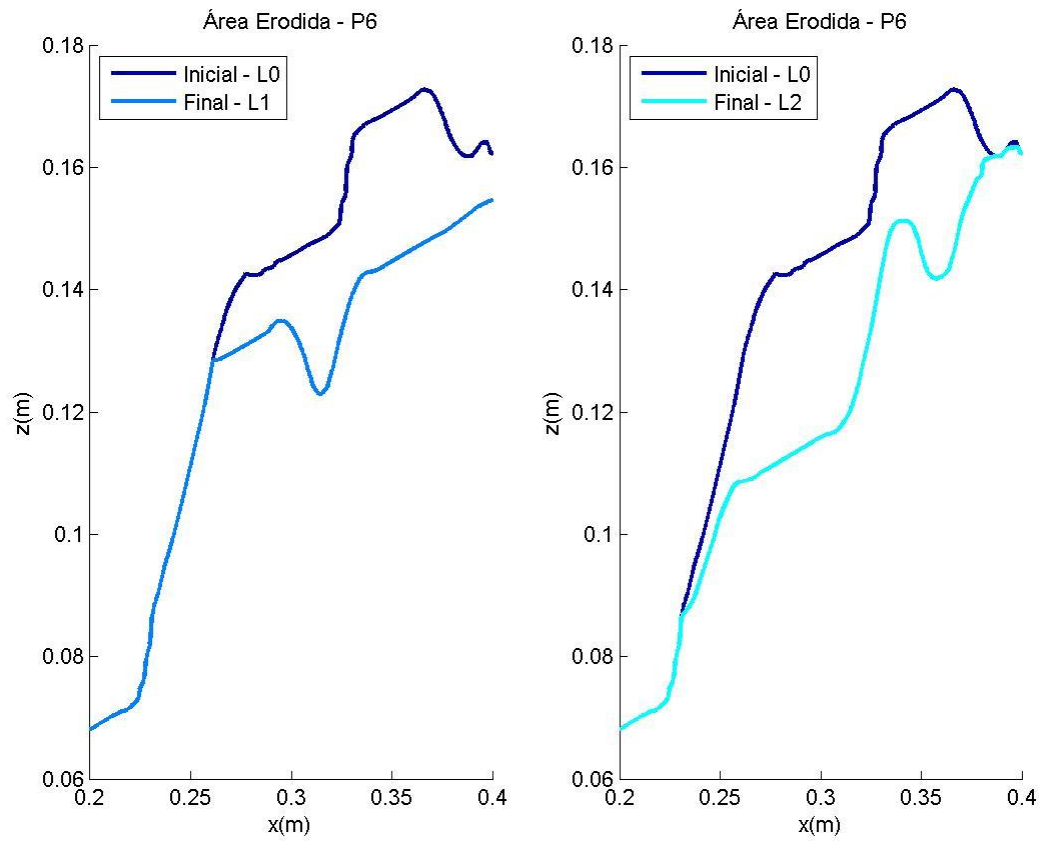


Figura A.4.118 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

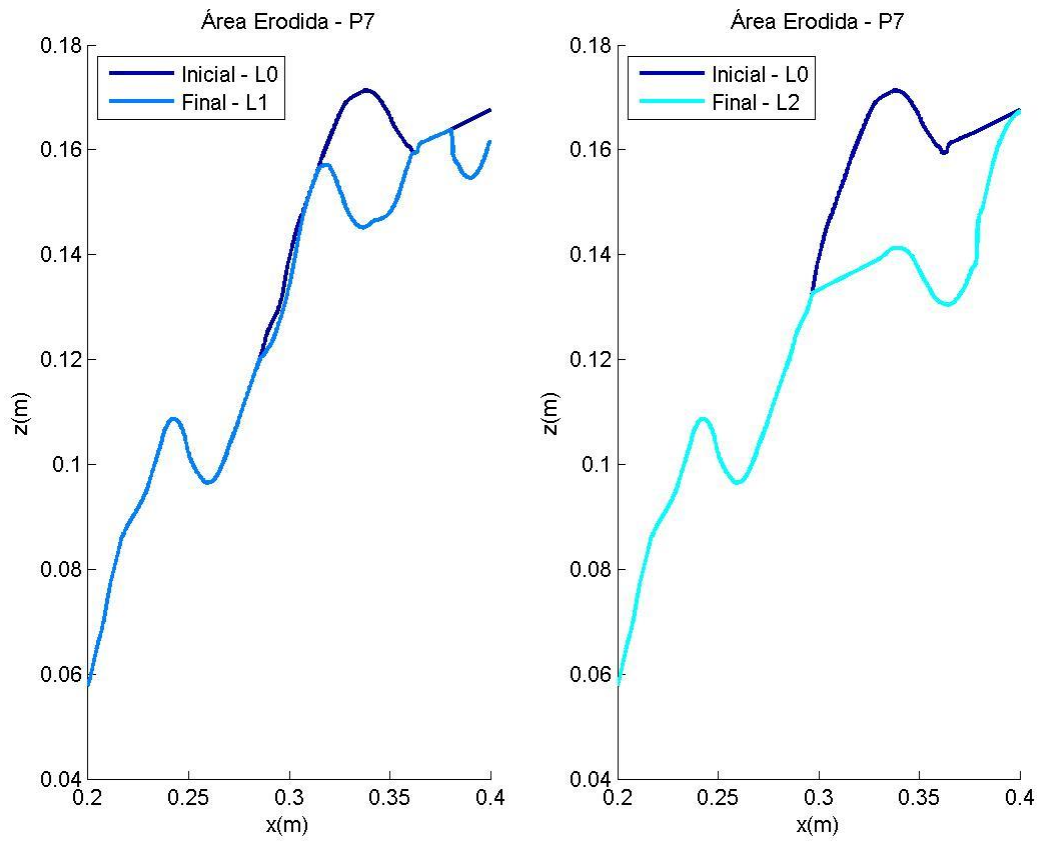


Figura A.4.119 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s PM

Tp=18 s BM – Banqueta do Pé de Talude

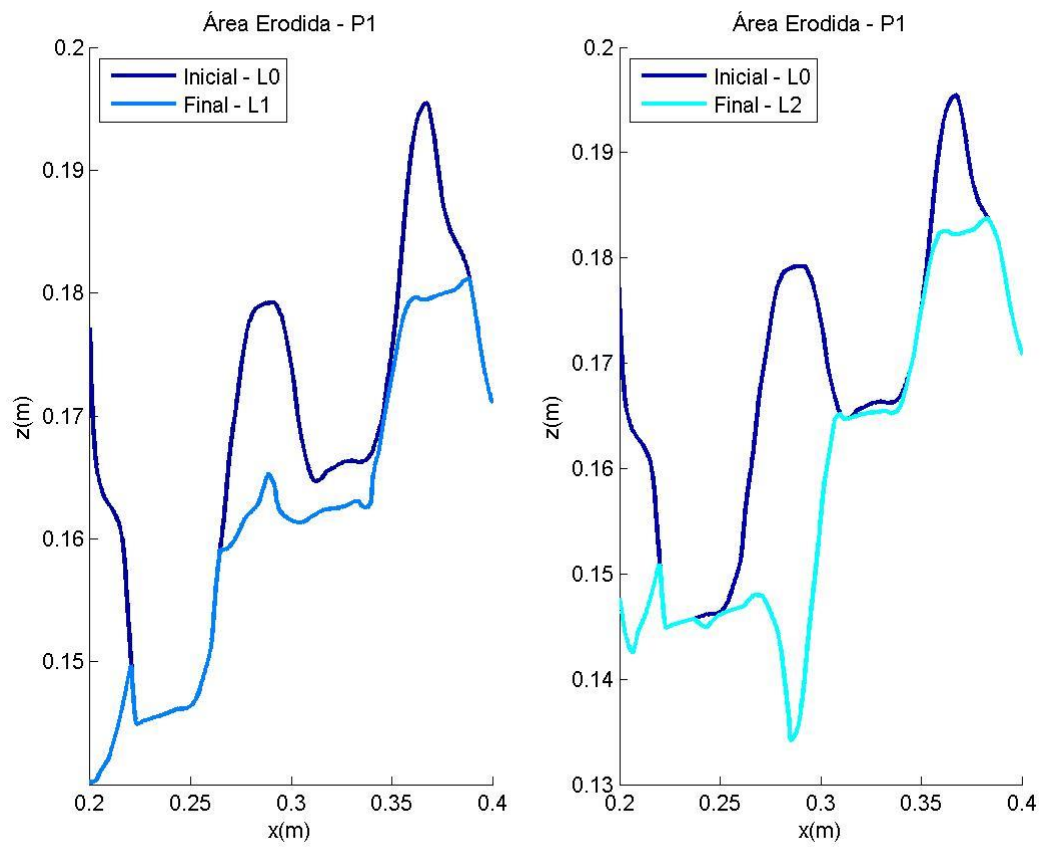


Figura A.4.120 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banqueta do pé de talude, correspondente ao perfil P1, para o ensaio realizado com Tp=18 s BM

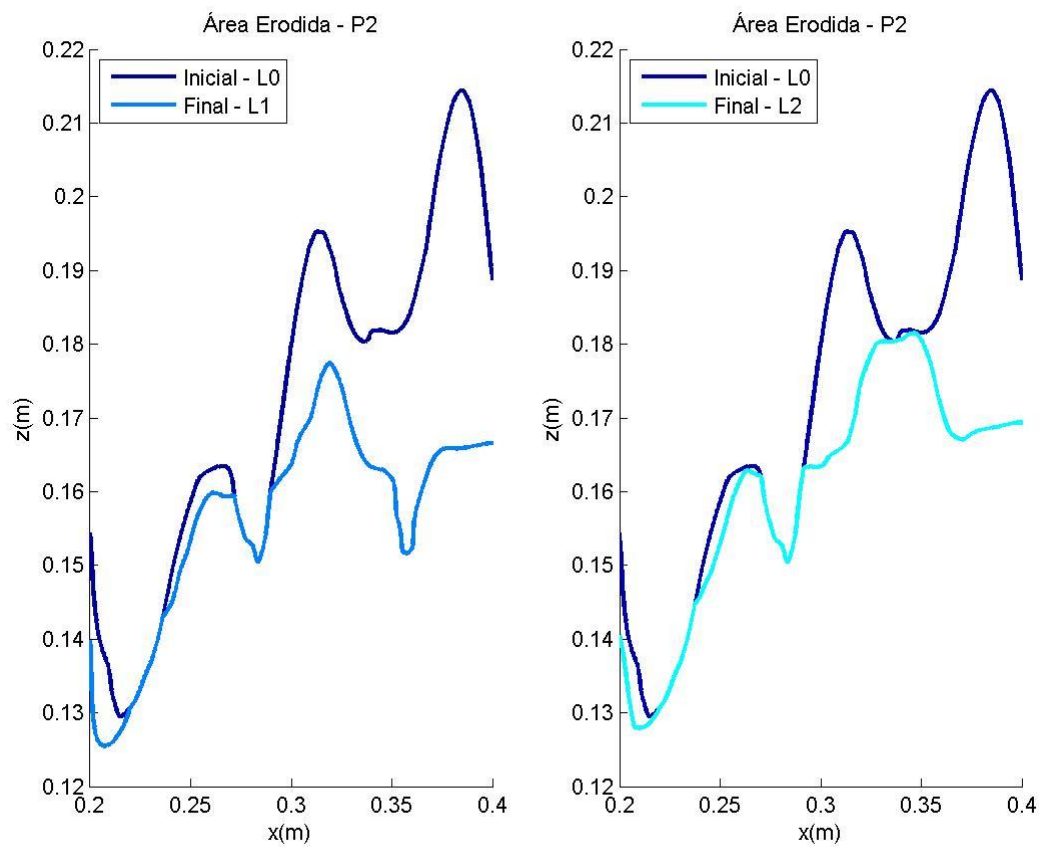


Figura A.4.121 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P2, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

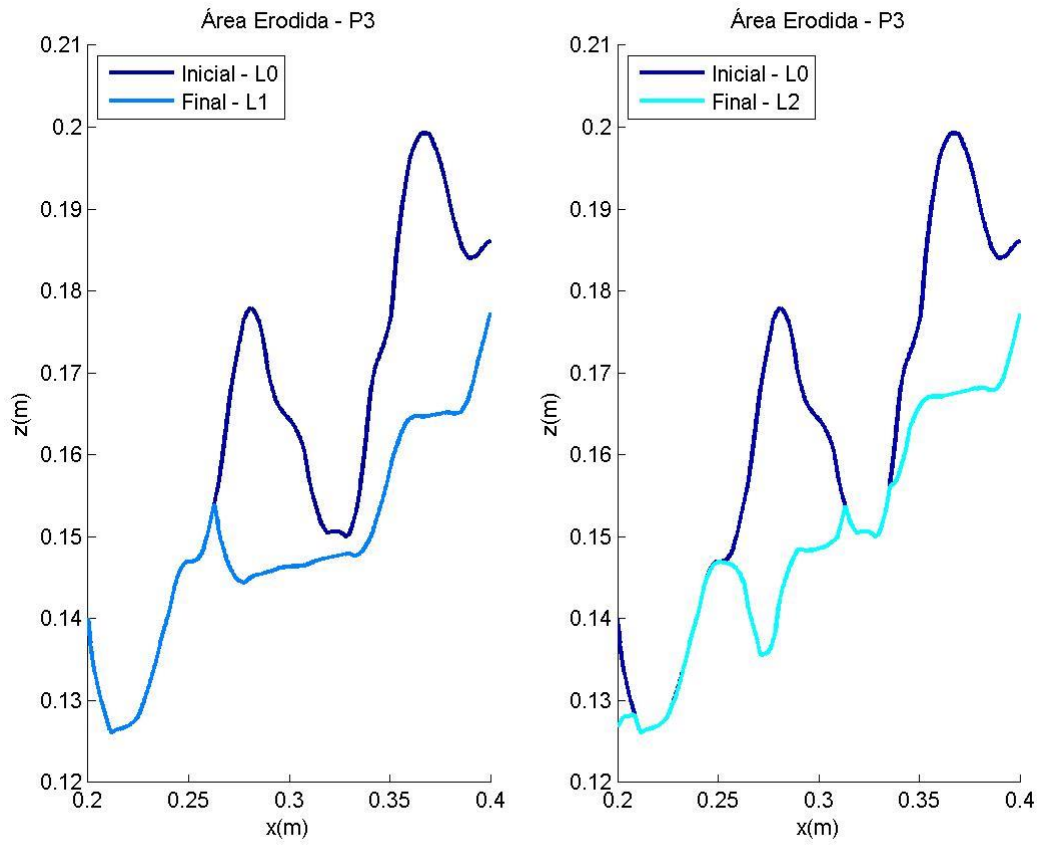


Figura A.4.122 – Área erodida da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P3, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

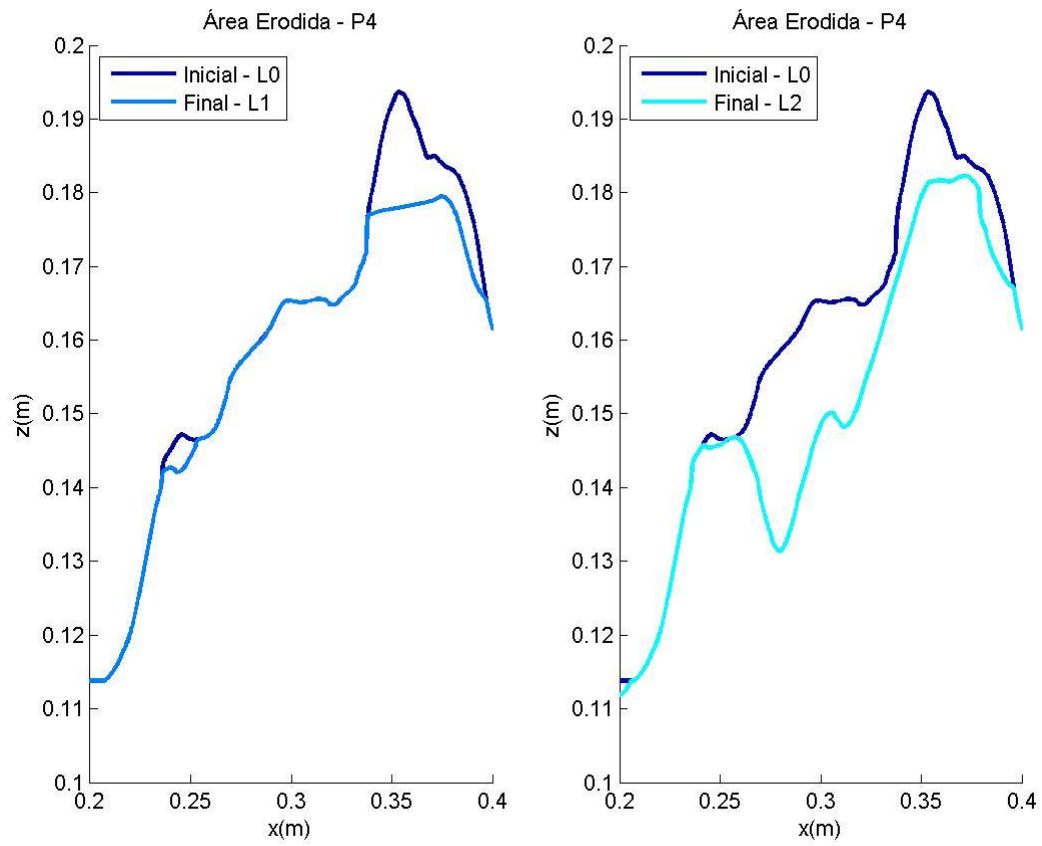


Figura A.4.123 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P4, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

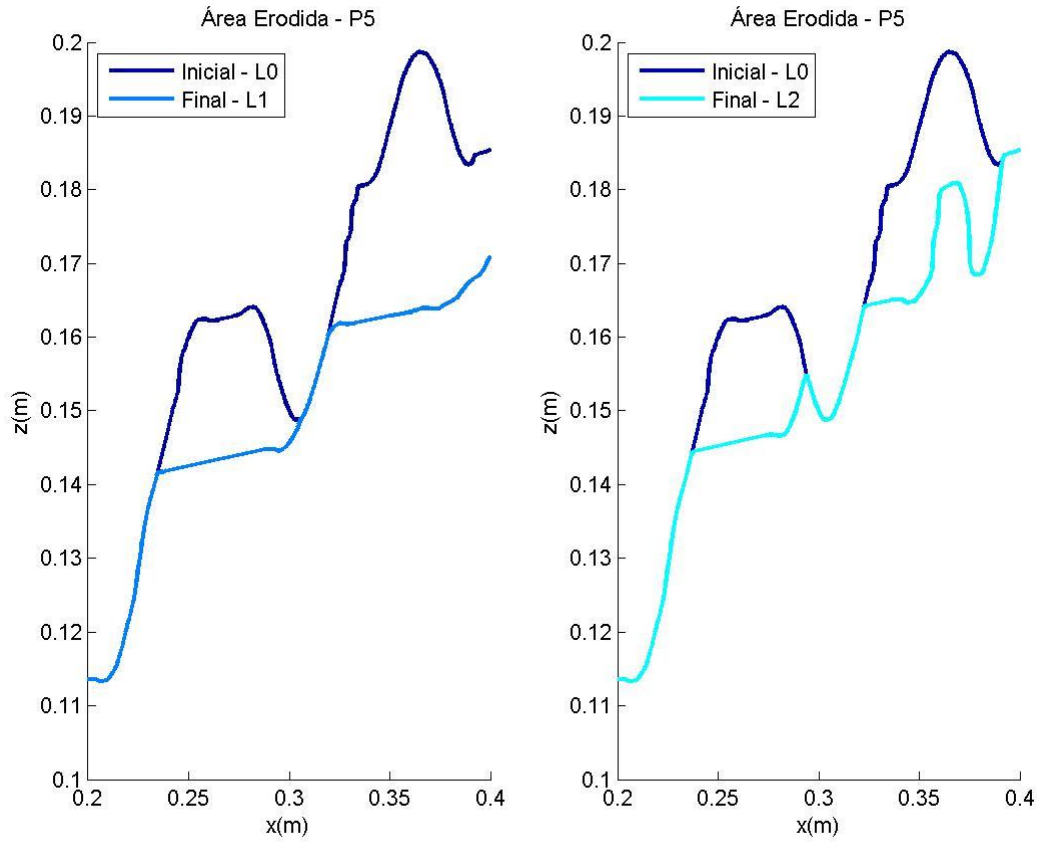


Figura A.4.124 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscos da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P5, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

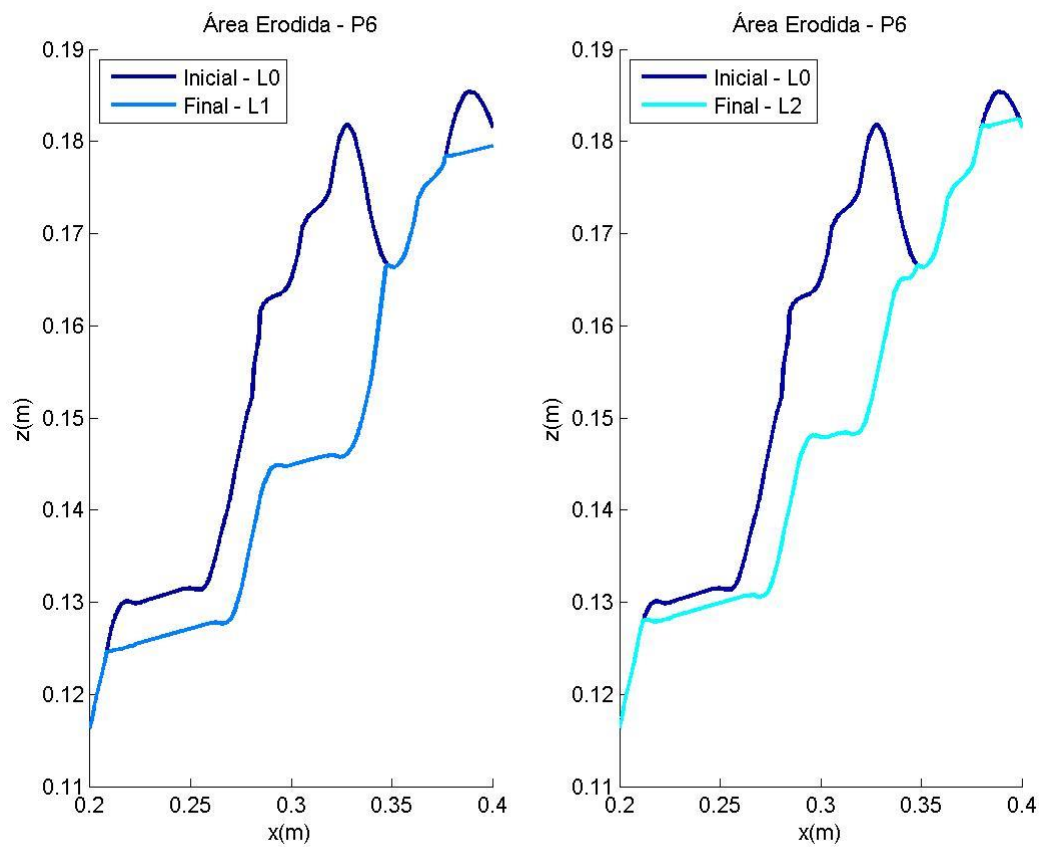


Figura A.4.125 – Perfis filtrados sendo retiradas as acreções da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P6, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

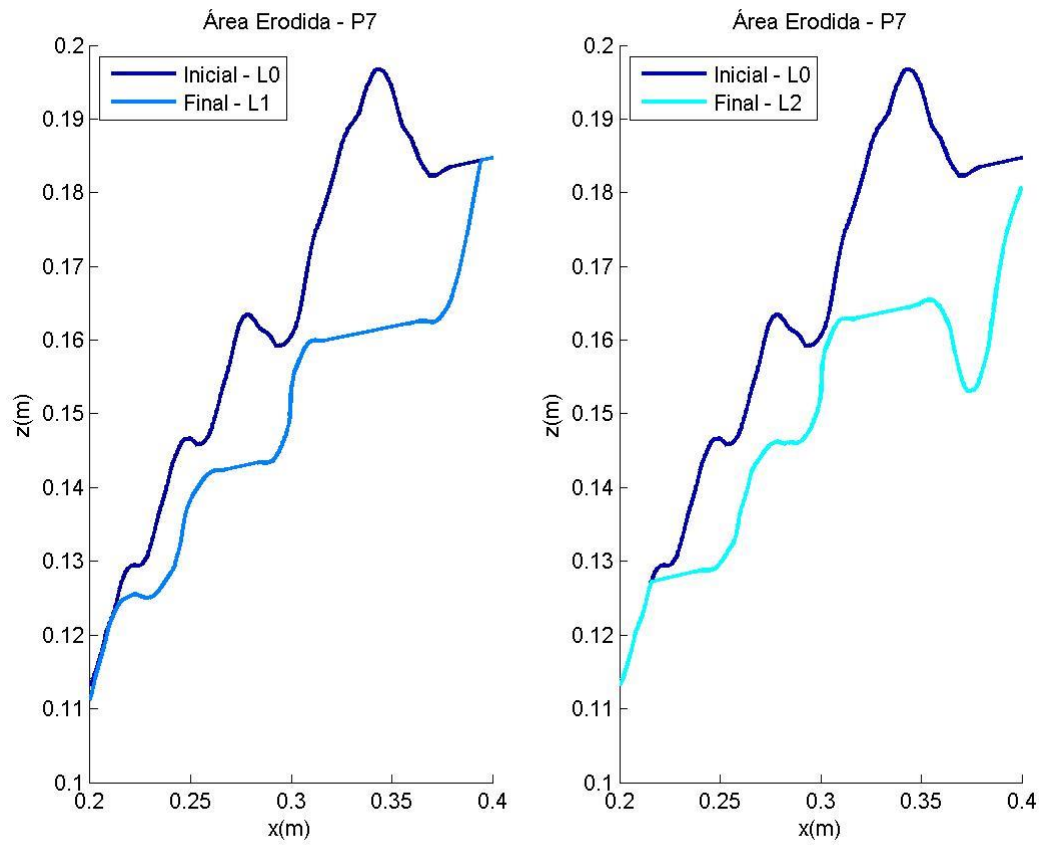


Figura A.4.126 – Perfis filtrados sendo retiradas as acréscios da banquetta do pé de talude, correspondente ao perfil P7, para o ensaio realizado com $T_p=18$ s BM

ANEXO 5 – DANO (S)

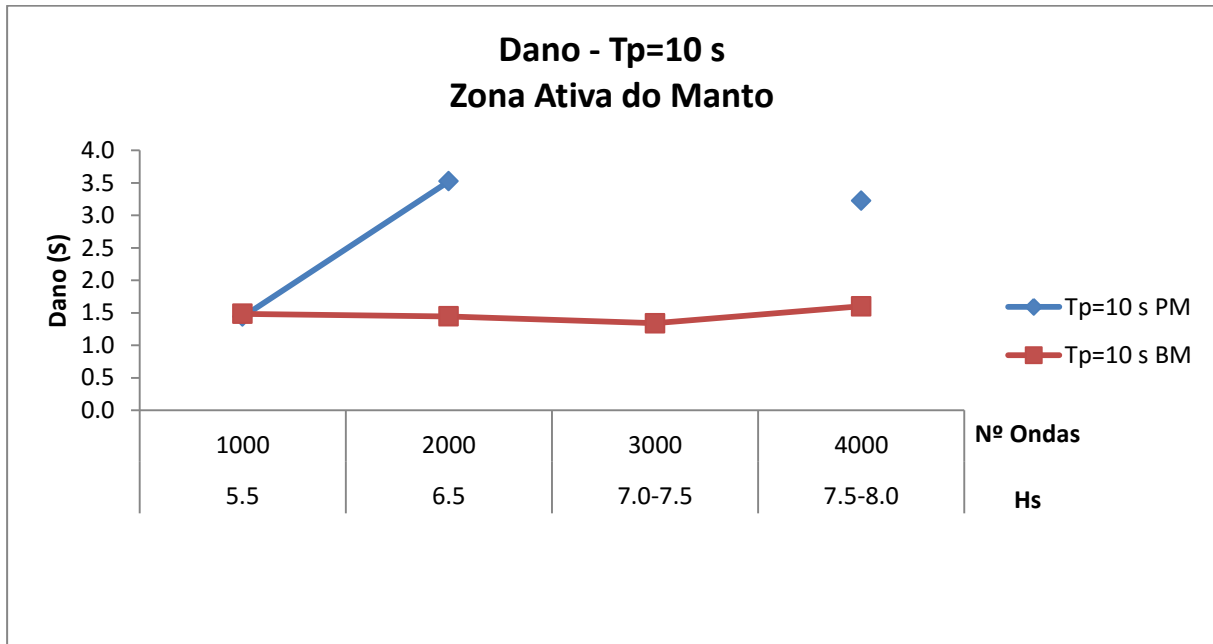


Figura A.5.1 – Dano (S) da zona ativa do manto resistente para $T_p=10$ s

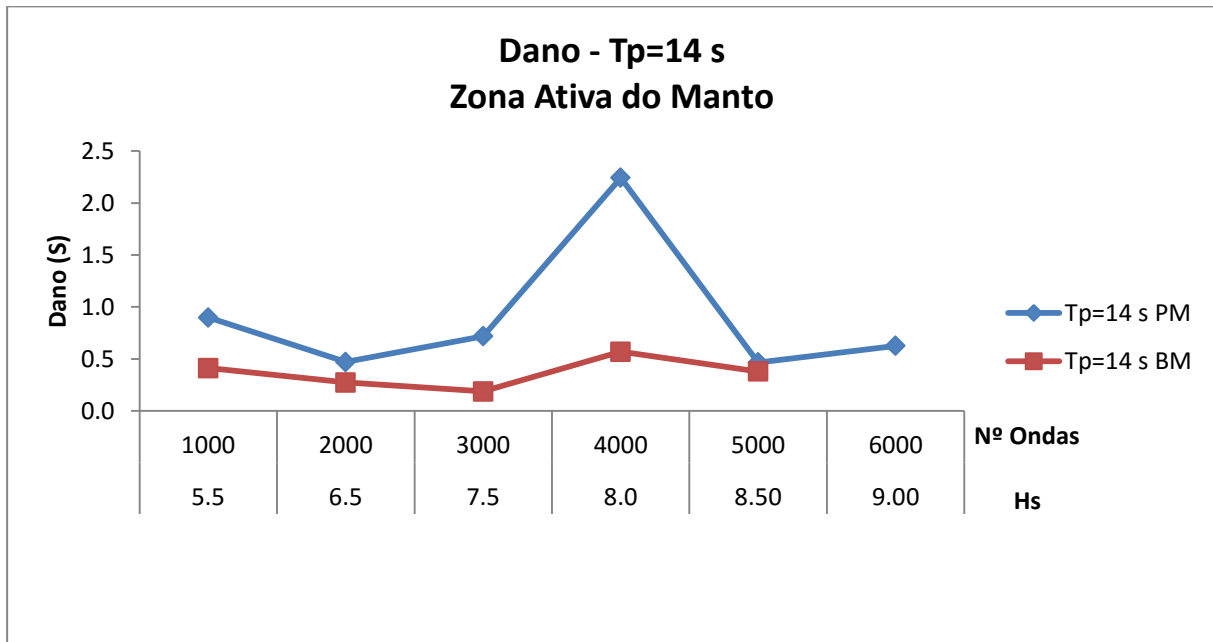


Figura A.5.2 – Dano (S) da zona ativa do manto resistente para $T_p=14$ s

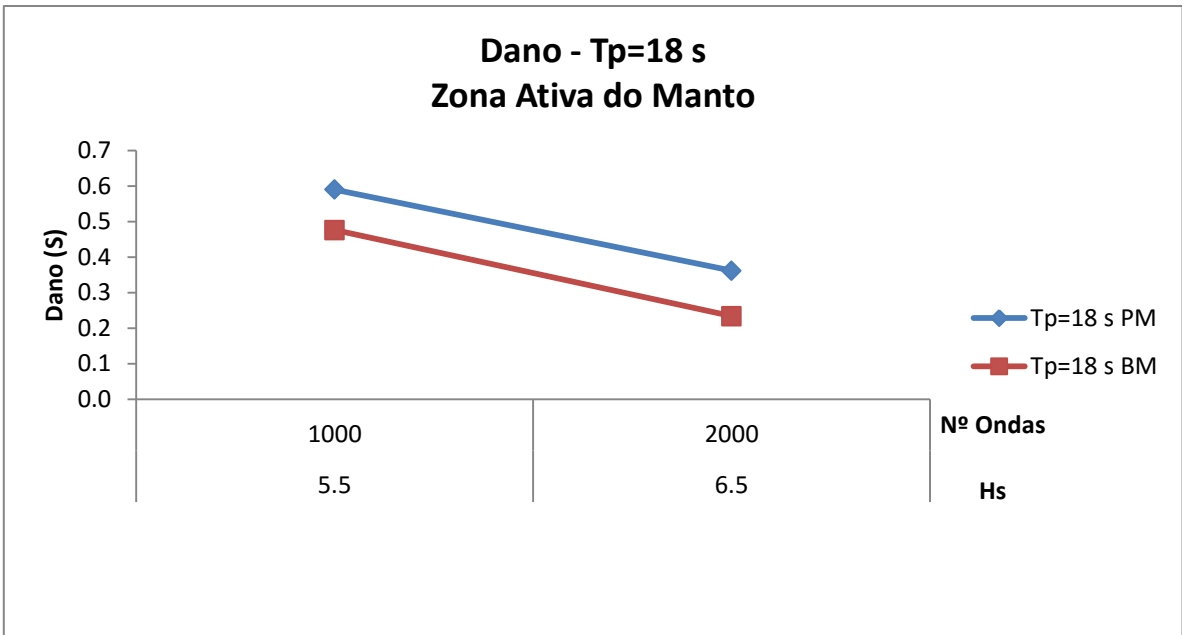


Figura A.5.3 – Dano (S) da zona ativa do manto resistente para $T_p=18$ s

ANEXO 6 – COMPARAÇÃO DE IMAGENS MATLAB

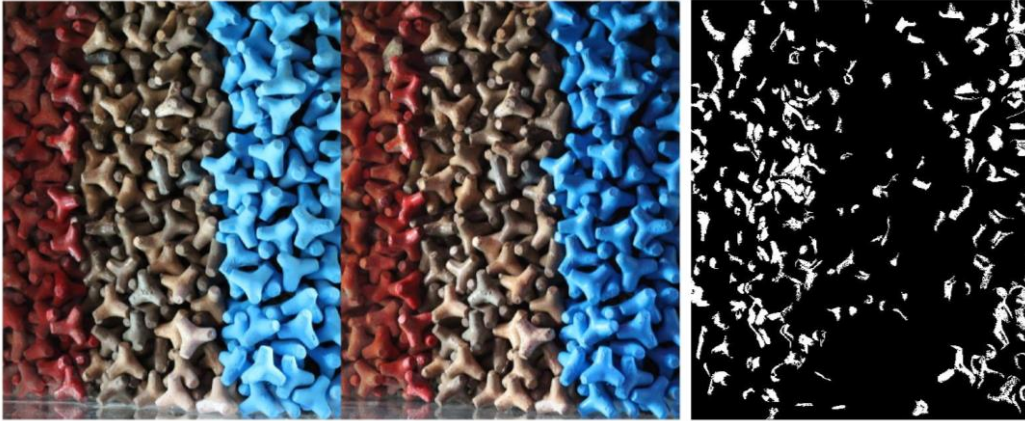


Figura A.6.1 – Imagem inicial (L0) e final (L4) do manto e diferenças a preto e branco para $T_p=10$ s BM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area



Figura A.6.2 – Imagem inicial (L0) e final (L4) da banquetta e diferenças a preto e branco para $T_p=10$ s BM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area

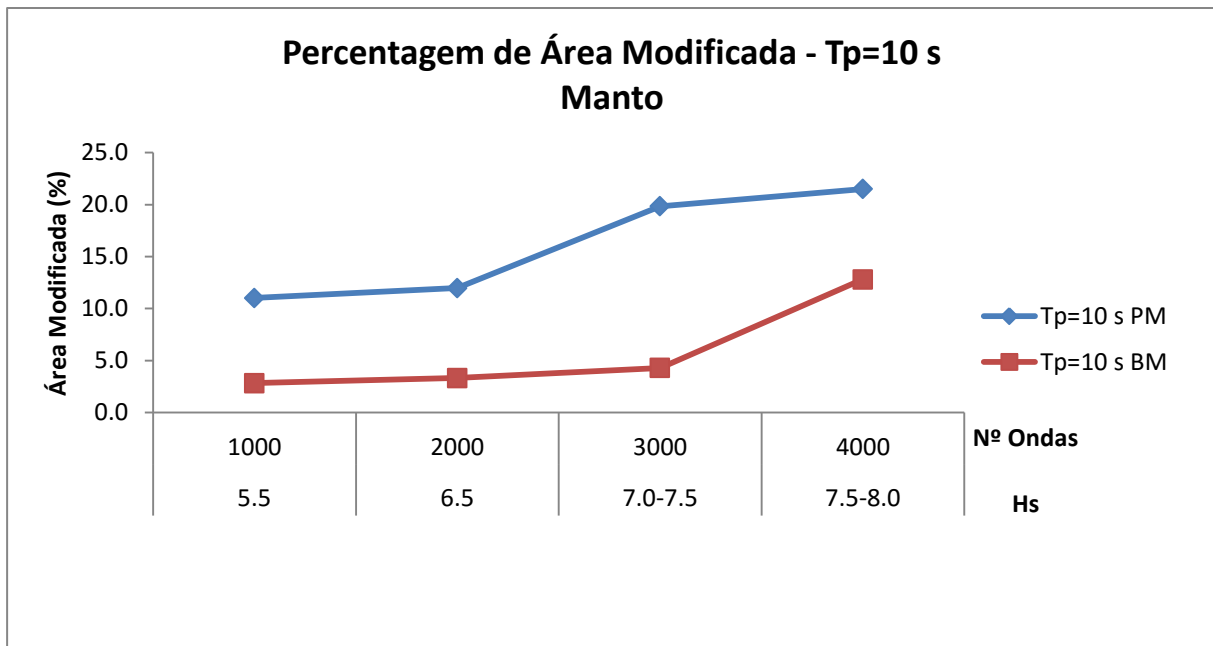


Figura A.6.3 – Percentagem de área modificada do manto para $T_p=10$ s, obtida através do algoritmo ImageCompair_Area

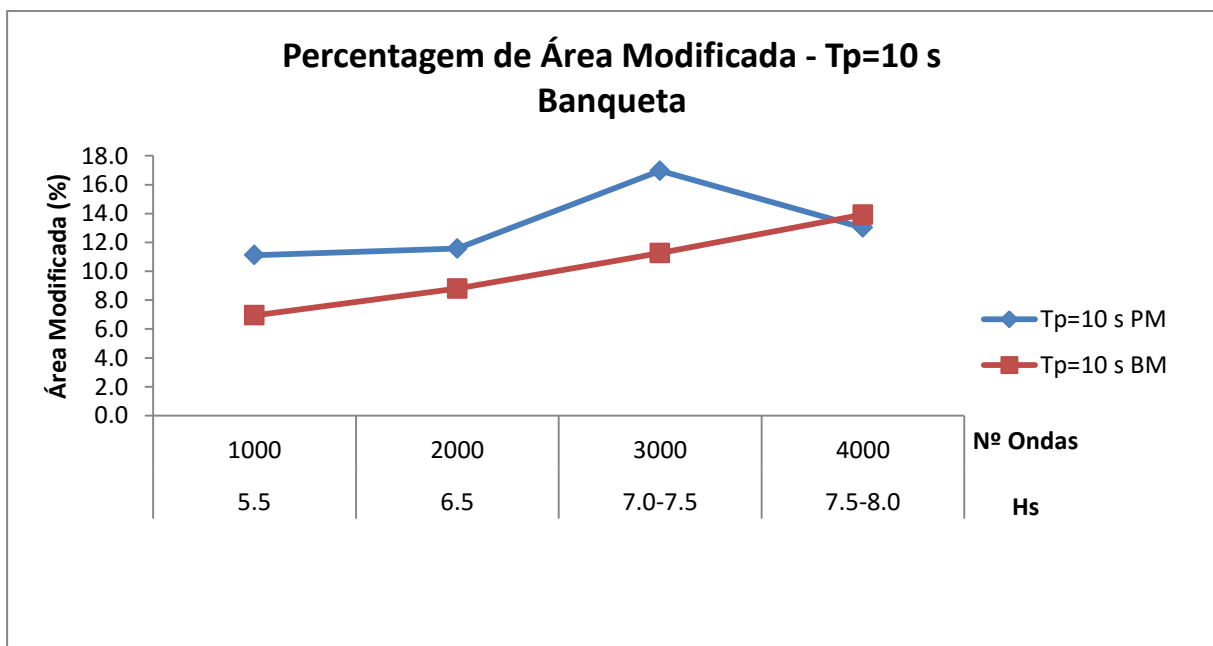


Figura A.6.4 – Percentagem de área modificada da banquetta para $T_p=10$ s, obtida através do algoritmo ImageCompair_Area

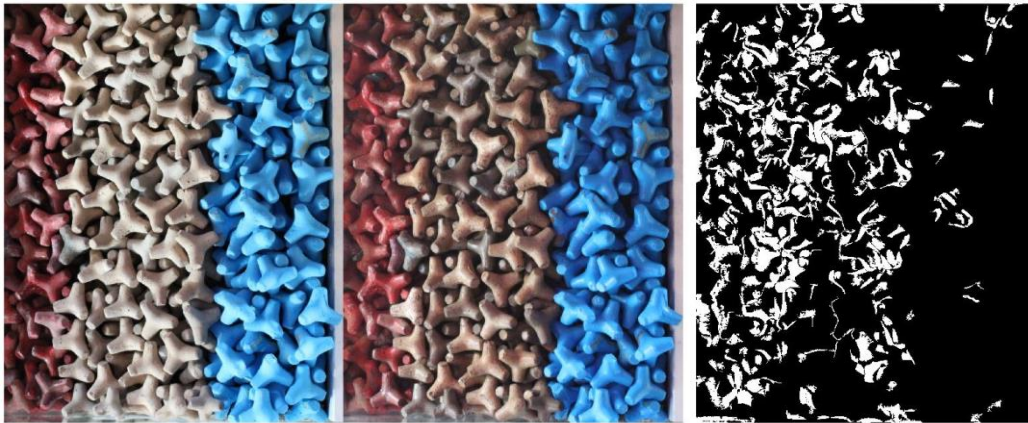


Figura A.6.5 – Imagem inicial (L0) e final (L5) do manto e diferenças a preto e branco para $T_p=14$ s BM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area



Figura A.6.6 – Imagem inicial (L0) e final (L5) da banquetta e diferenças a preto e branco para $T_p=14$ s BM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area

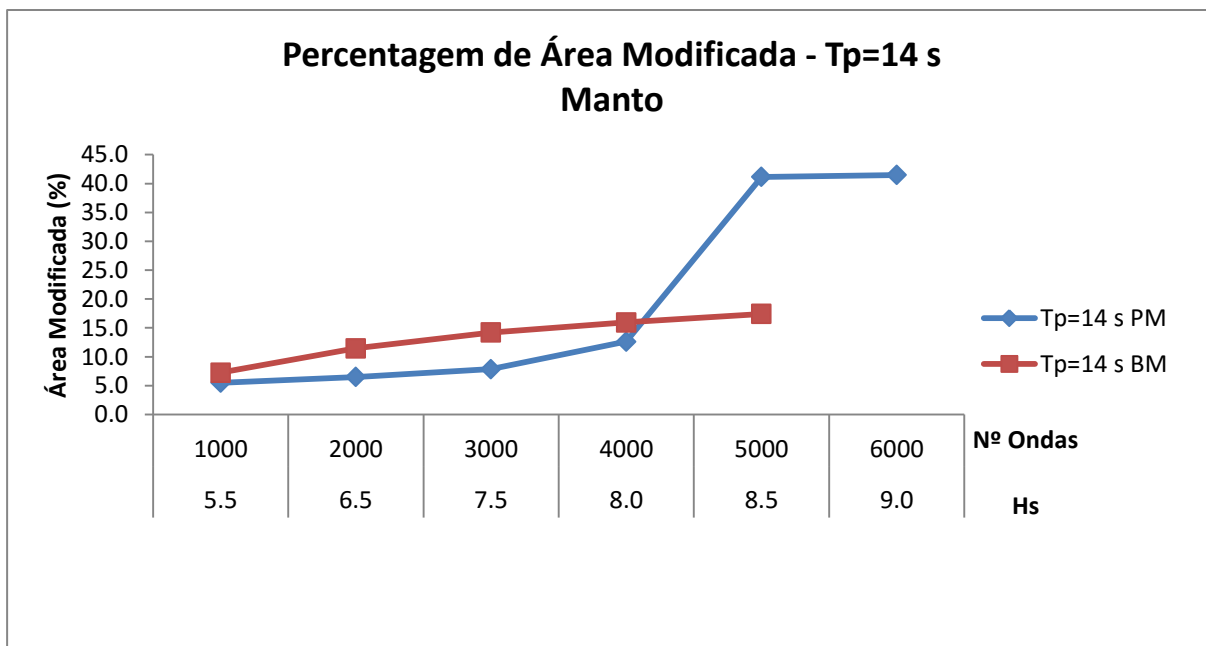


Figura A.6.7 – Percentagem de área modificada do manto para $T_p=14$ s, obtida através do algoritmo ImageCompair_Area

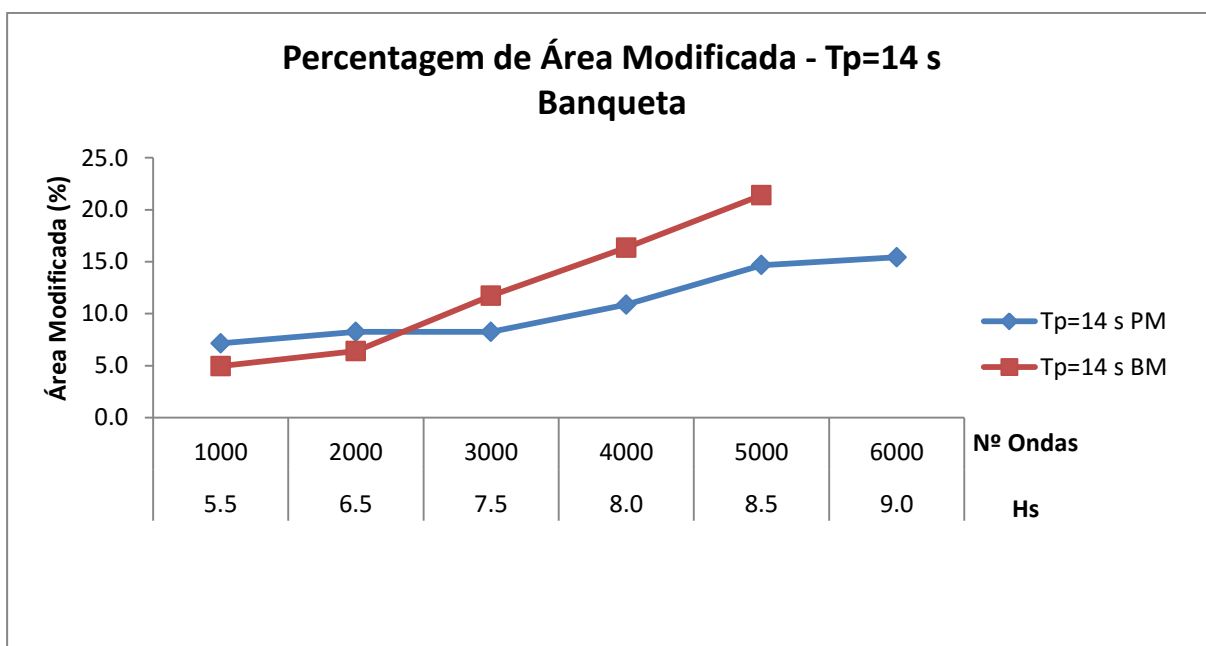


Figura A.6.8 – Percentagem de área modificada da banquetta para $T_p=14$ s, obtida através do algoritmo ImageCompair_Area

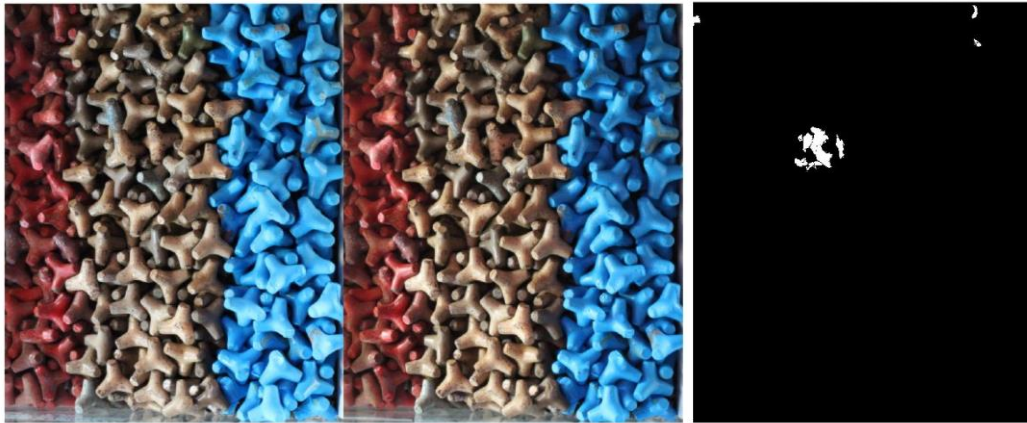


Figura A.6.9 – Imagem inicial (L0) e final (L2) do manto e diferenças a preto e branco para $T_p=18$ s BM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area



Figura A.6.10 – Imagem do levantamento inicial (L0) e final (L2) da banquetta e diferenças a preto e branco para $T_p=18$ s BM, utilizando o algoritmo ImageCompair_Area

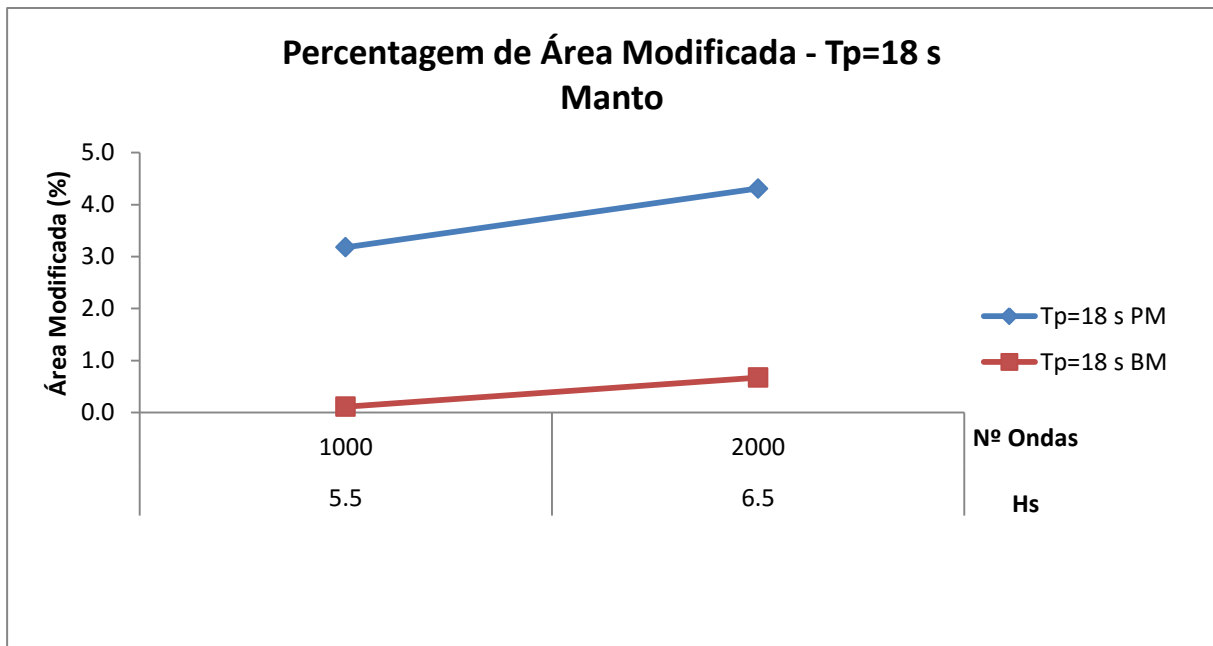


Figura A.6.11 – Percentagem de área modificada do manto para Tp=18 s, obtida através do algoritmo ImageCompair_Area

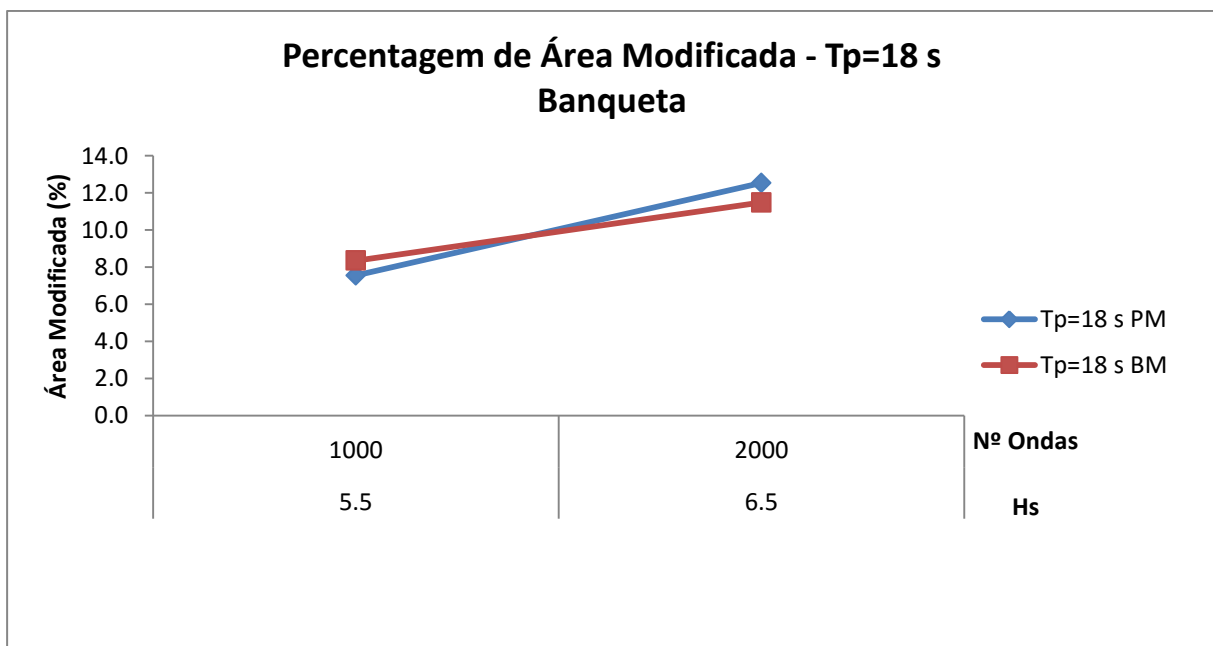


Figura A.6.12 – Percentagem de área modificada da banquetta para Tp=18 s, obtida através do algoritmo ImageCompair_Area

ANEXO 7 – COMPARAÇÃO DE IMAGENS SCILAB

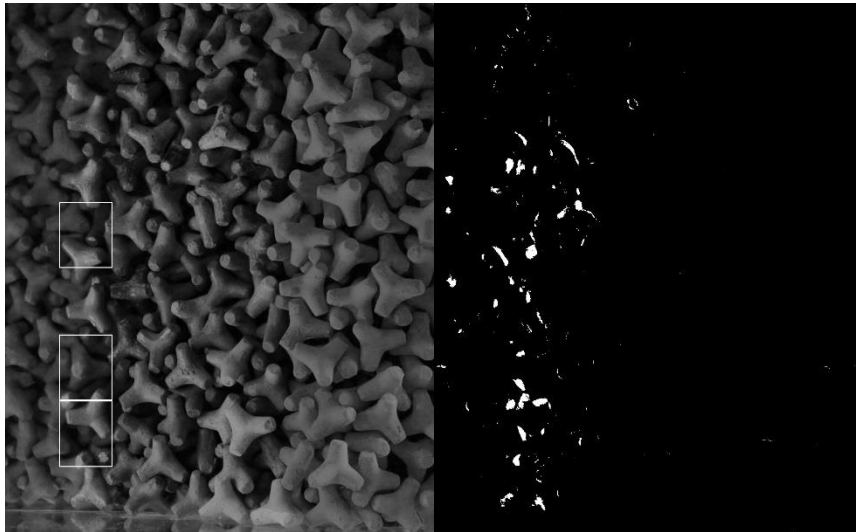


Figura A.7.1 – Imagem em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco do manto para $T_p=10$ s BM, através do algoritmo modif

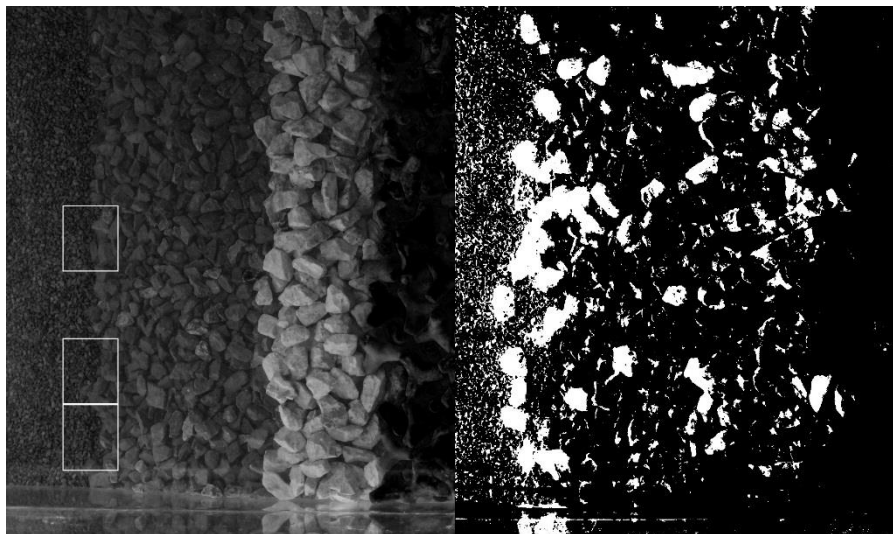


Figura A.7.2 – Imagem em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco da banqueta para $T_p=10$ s BM, através do algoritmo modif

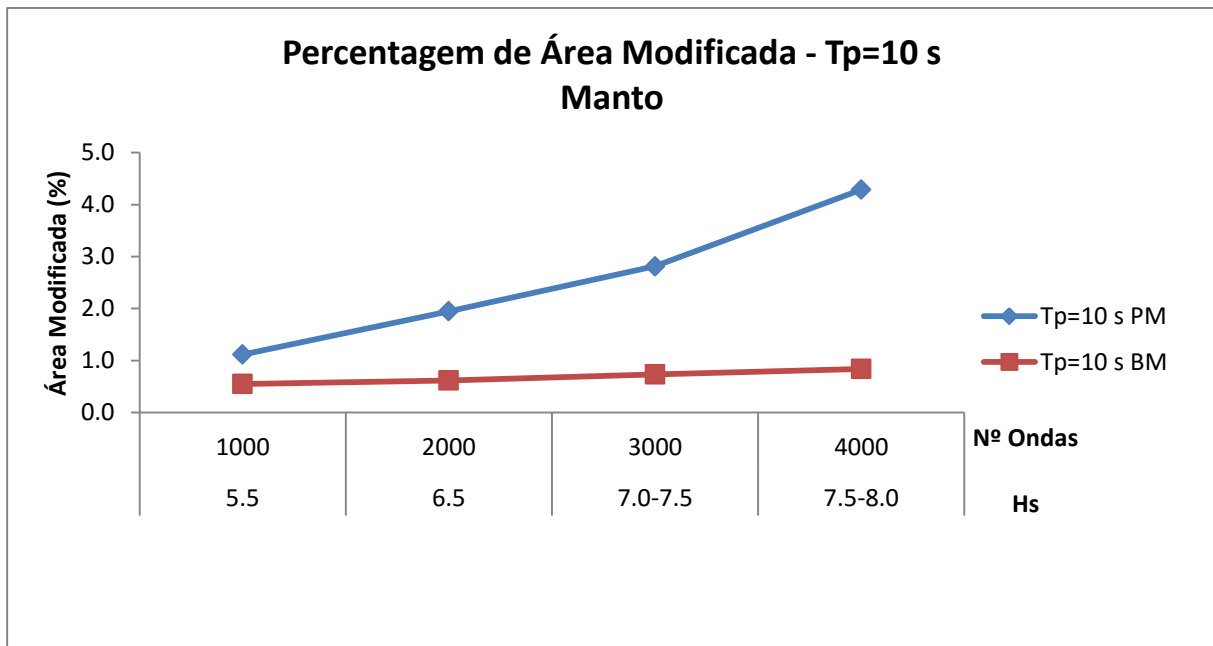


Figura A.7.3 – Percentagem de área modificada do manto para $T_p=10$ s, obtida através do algoritmo **modif**

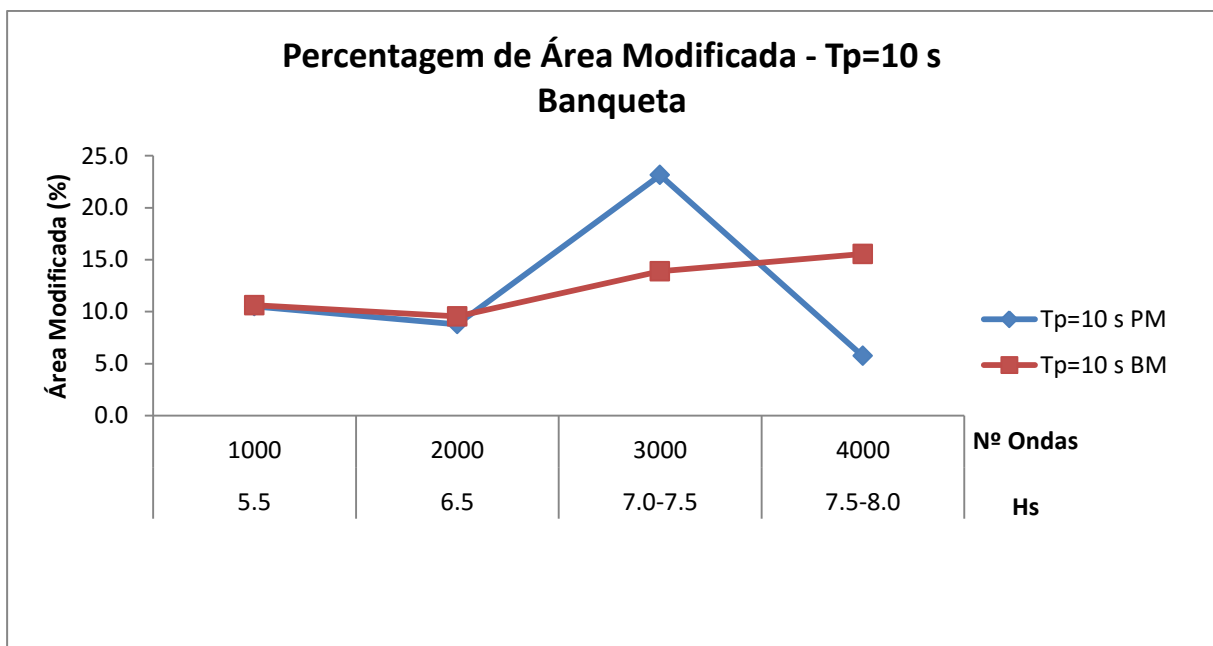


Figura A.7.4 – Percentagem de área modificada da banquetta para $T_p=10$ s, obtida através do algoritmo **modif**

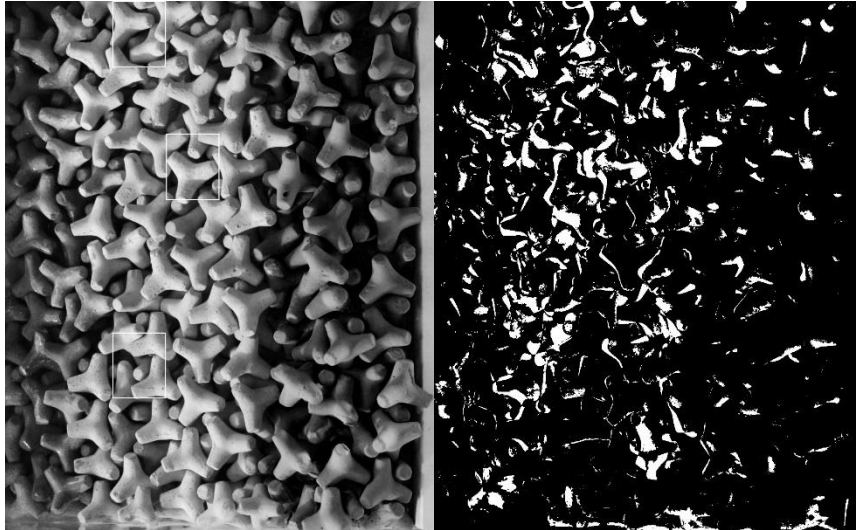


Figura A.7.5 – Imagem em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco do manto para $T_p=14$ s BM, através do algoritmo modif

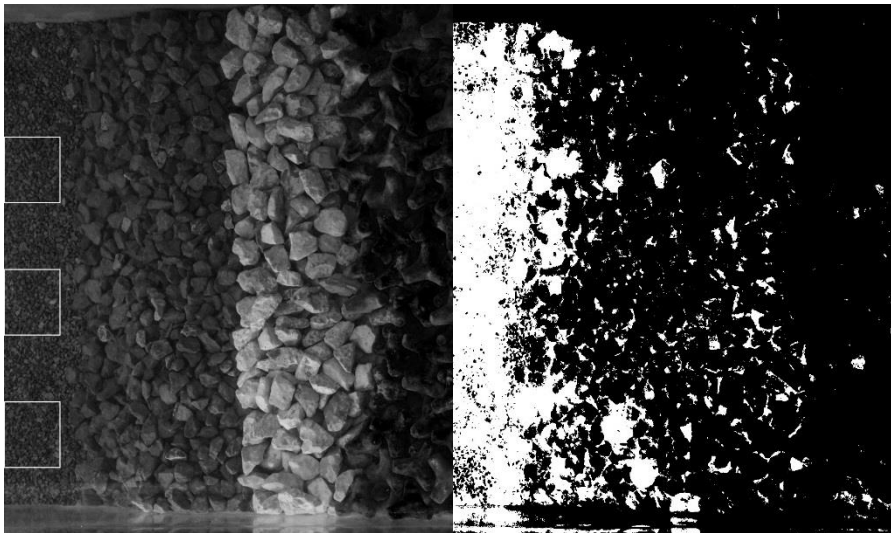


Figura A.7.6 – Imagem em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco da banquetta para $T_p=14$ s BM, através do algoritmo modif

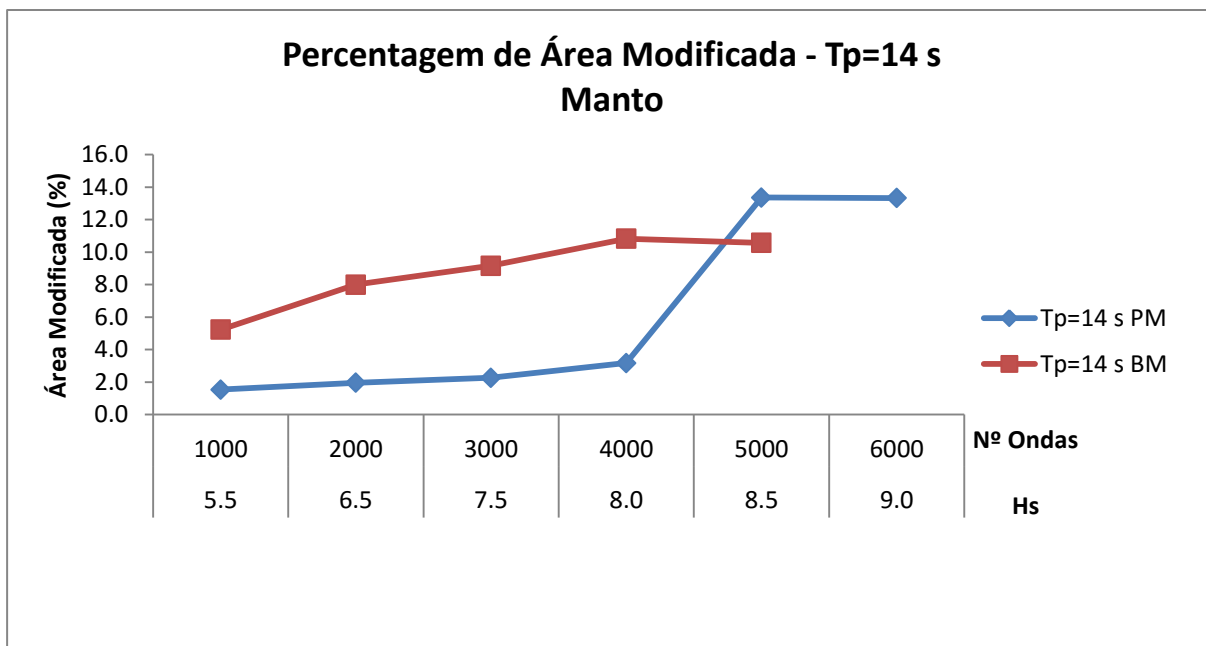


Figura A.7.7 – Percentagem de área modificada do manto para $T_p=14$ s, obtida através do algoritmo **modif**

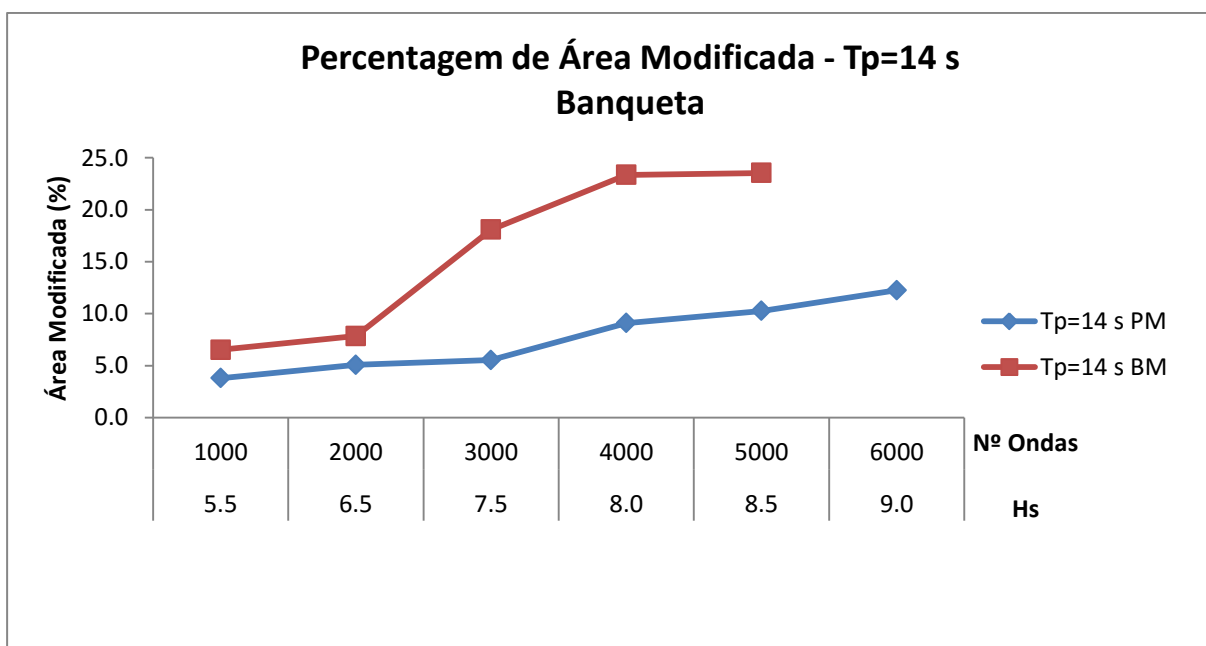


Figura A.7.8 – Percentagem de área modificada da banqueta para $T_p=14$ s, obtida através do algoritmo **modif**

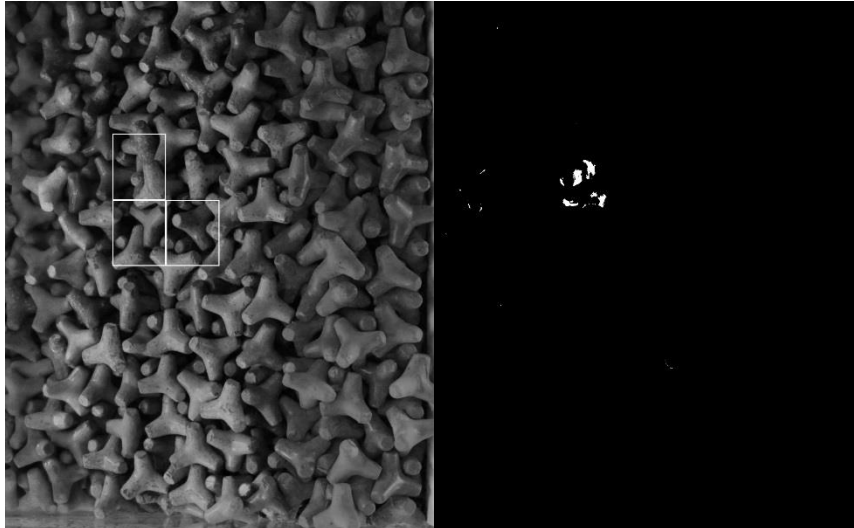


Figura A.7.9 – Imagem em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco do manto para $T_p=18$ s BM, através do algoritmo modif



Figura A.7.10 – Imagem em tons de cinza com a localização das principais zonas afetadas e imagem com as diferenças a preto e branco da banqueta para $T_p=18$ s BM, através do algoritmo modif

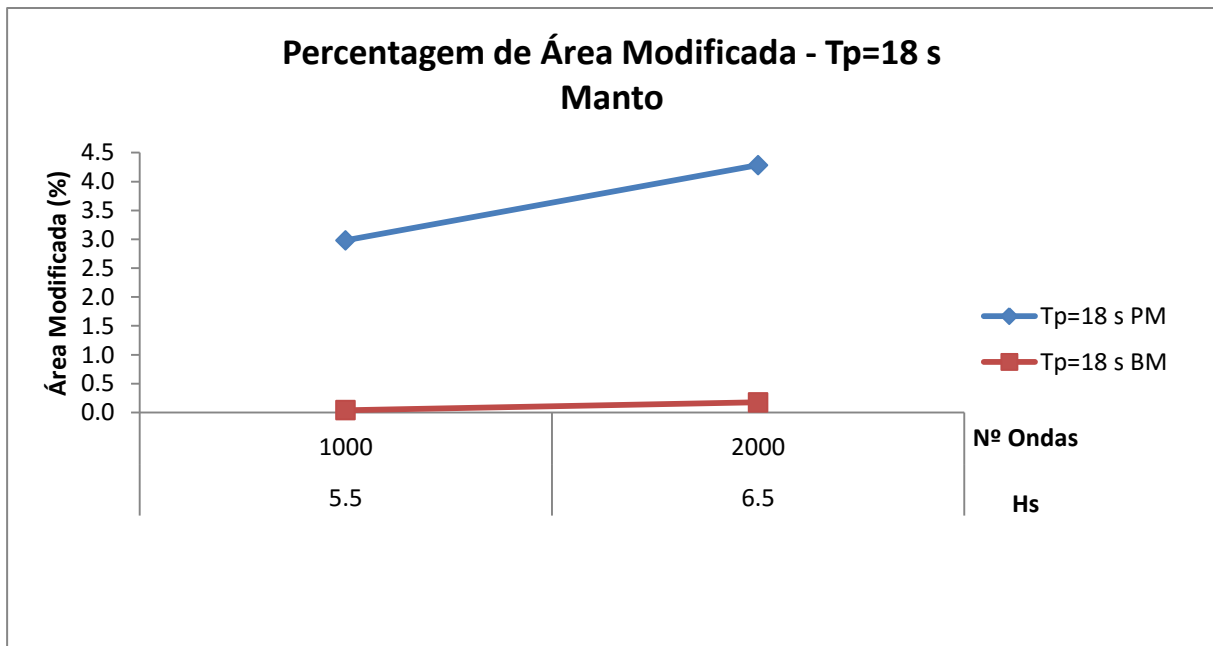


Figura A.7.11 – Percentagem de área modificada do manto para Tp=18 s, obtida através do algoritmo modif

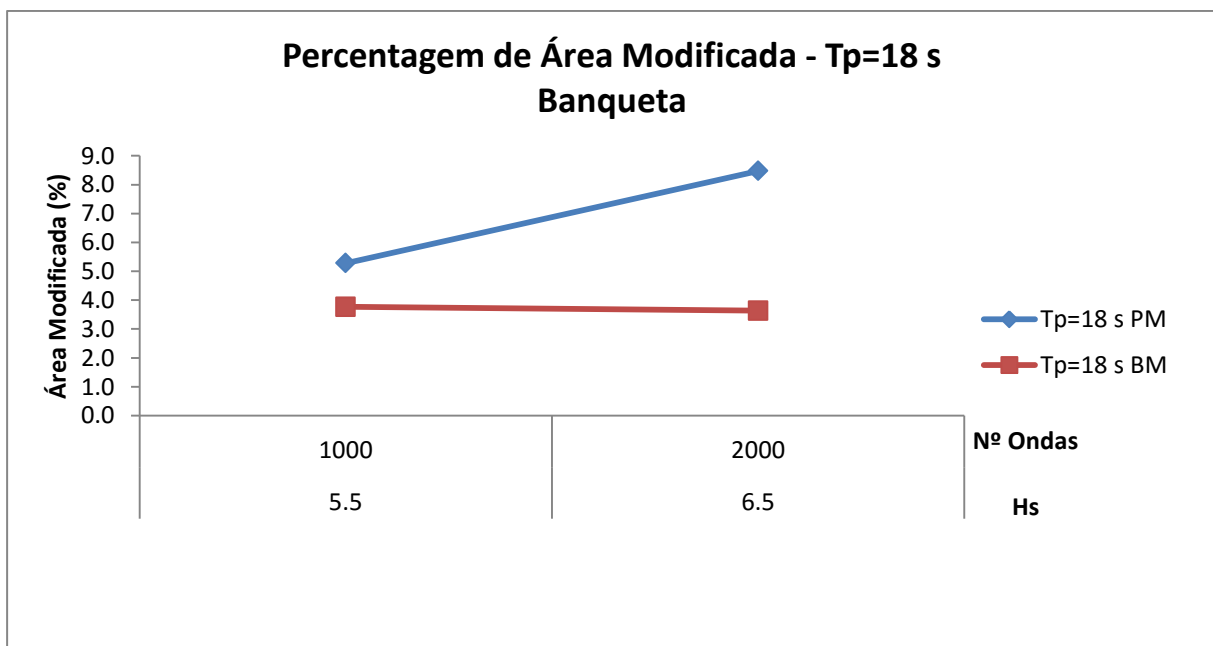


Figura A.7.12 – Percentagem de área modificada da banquetta para Tp=18 s, obtida através do algoritmo modif

ANEXO 8 – ANÁLISE COMPARATIVA

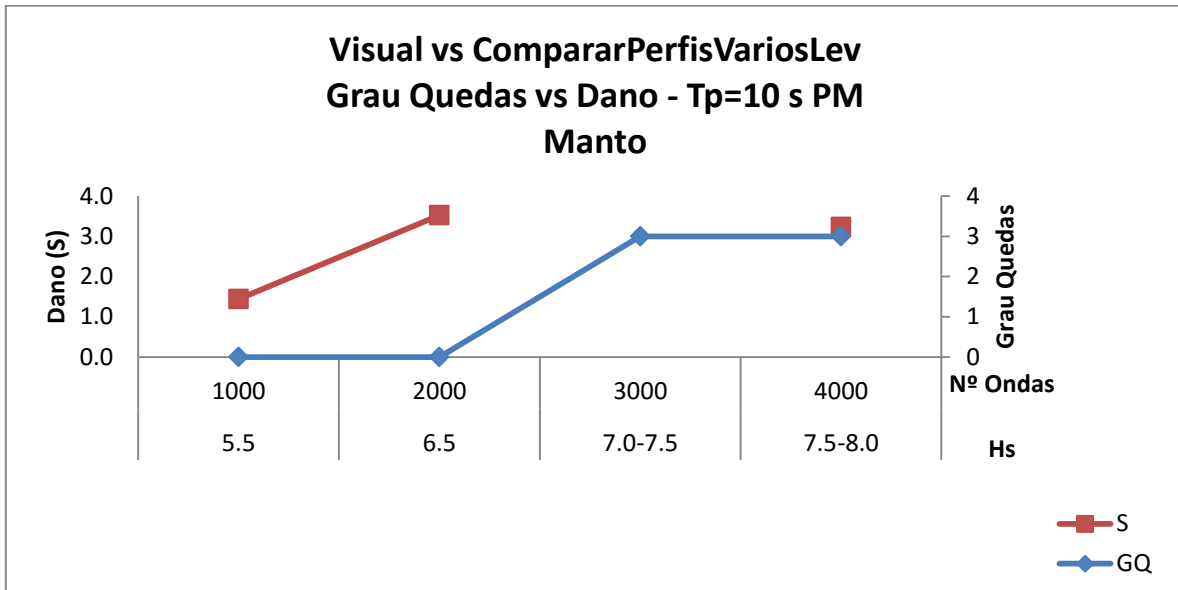


Figura A.8.1 – Grau de quedas obtida por contagem visual e dano (S) obtido pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, do manto para Tp=10 s PM

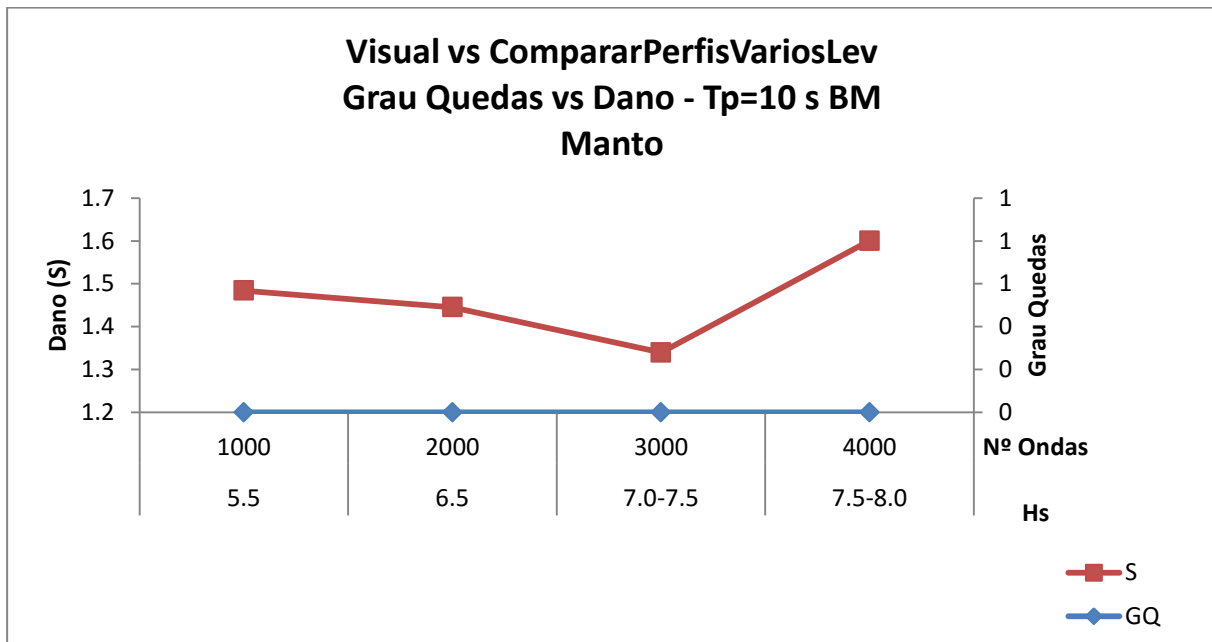


Figura A.8.2 – Grau de quedas obtida por contagem visual e dano (S) obtido pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, do manto para Tp=10 s BM

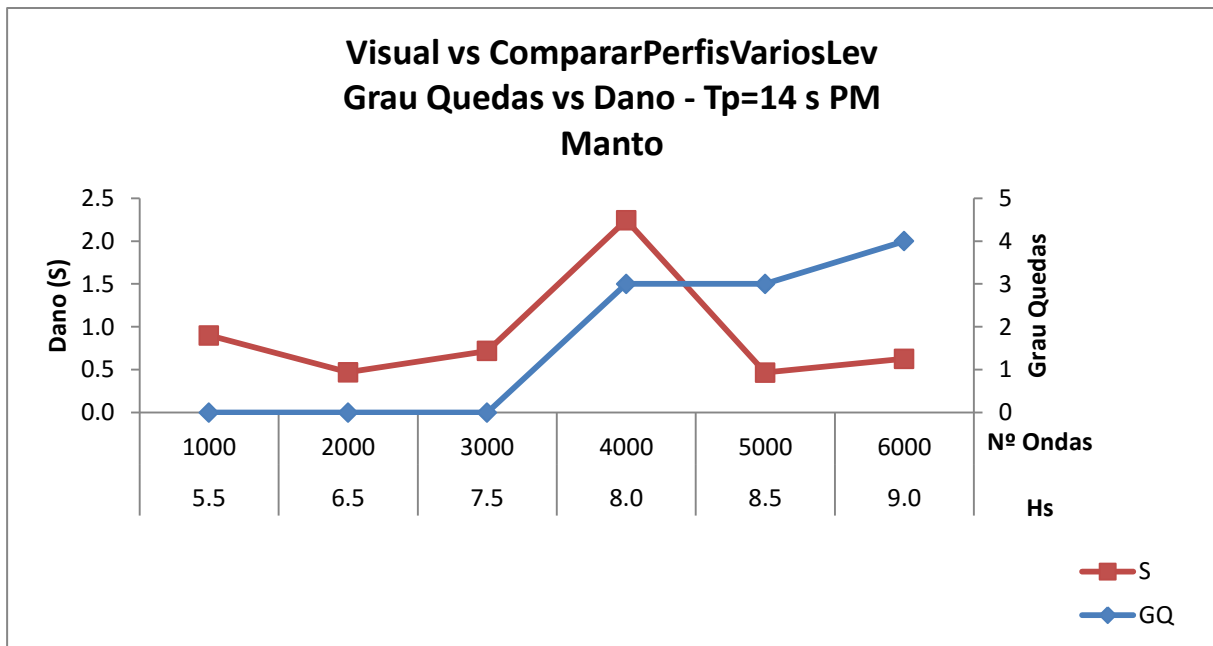


Figura A.8.3 – Grau de quedas obtida por contagem visual e dano (S) obtido pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, do manto para $T_p=14$ s PM

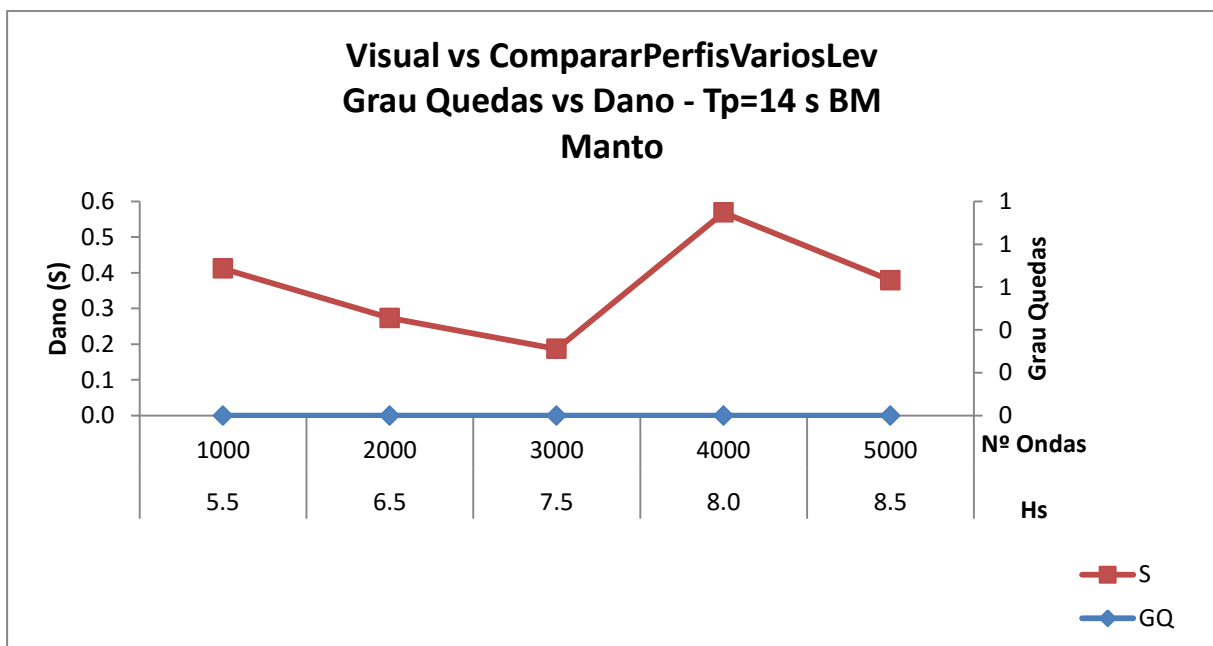


Figura A.8.4 – Grau de quedas obtida por contagem visual e dano (S) obtido pelo algoritmo CompararPerfisVariosLev, do manto para $T_p=14$ s BM

ANEXO 9 – ALGORITMO DE CÁLCULO DO VOLUME, ÁREA ERODIDA E DANO

```
for n=0 %n° de levantamentos L0, L1, L2,..., Ln

Fich_dados=['ternosL' int2str(n) '.dat']; % Ficheiros de ternos dos
levantamentos
%obtidos das reconstruções (reconstrucaoL0, .... reconstrucaoLn)

delimiterIn=','; %Define qual o delimitador de colunas do ficheiro

xyztotal=importdata(Fich_dados,delimiterIn);% matriz com o ficheiro de
dados totais(com as partes submersa e emersa)
xyztotal_ord=sortrows(xyztotal,1); % Ordena o ficheiro total, pela 1ª
coluna

x=xyztotal_ord(:,1);%coluna com o eixo dos xx
y=xyztotal_ord(:,2);%coluna com o eixo dos yy
z=(xyztotal_ord(:,3)+0.30); %coluna dos ZZ (cotas levantadas, mas muito
irregulares) somado 0.30 para não haver cotas negativas

% Utilização da função griddata (Data gridding)

dh=0.003; % Controla a discretização da malha regular para a interpolação
xx=0.40:dh:0.80;
yy=0.05:dh:0.63;
[XI YI]=meshgrid(xx,yy);

ZI = griddata(x,y,z,XI,YI); % TriScatteredInterp is the recommended
alternative to griddata as it is generally more efficient.

z3=min(min(ZI));

leg=['Envolvente do levantamento L',num2str(n)];

figure('Name',leg,'NumberTitle','off');

set(gcf,'Color','white'); %Põe o fundo branco na figura

surf(XI,YI,ZI,'edgecolor','none')

axis equal
camlight('left')

drawnow;

savefig(['surfaceL' int2str(n) '.fig']);
eval(['print -djpeg Surface_L',num2str(n)]);

%Calculo do volume do levantamento L0

ni=193; %n° de colunas da matriz XI -1
nj=133; %n° de linhas da matriz XI -1
```

```

for i=1:ni;    %Calculo da área da base
for j=1:nj;
Ai(i,j)=[(XI(i,(j+1))-XI(i,j))*(YI((i+1),j)-YI(i,j))];
end
end

for i=1:ni;    %Calculo da media das 4 arestas
for j=1:nj;
Mi(i,j)=[((ZI(i,j))+ZI(i,j+1)+ZI(i+1,j)+ZI(i+1,j+1))/4];
end
end

for i=1:ni;    %Calculo do volume L0
for j=1:nj;
Vi(i,j)=[(Ai(i,j)*Mi(i,j))];
end
end

Volumei = sum(sum(Vi));

AT=transpose(Ai);
MT=transpose(Mi);
VT=transpose(Vi);

% filename = 'resultados totais.xlsx';

xlswrite(['resultados' int2str(n) '.xlsx'],AT,1,'A1');
xlswrite(['resultados' int2str(n) '.xlsx'],MT,2,'A1');
xlswrite(['resultados' int2str(n) '.xlsx'],VT,3,'A1');
xlswrite(['resultados' int2str(n) '.xlsx'],Volumei,4,'A1');

end

for n=1:5 %n° de levantamentos L0, L1, L2,..., Ln

Fich_dados=['ternosL' int2str(n) '.dat']; % Ficheiros de ternos dos
levantamentos
%obtidos das reconstruções (reconstrucaoL0, .... reconstrucaoLn)

delimiterIn=','; %Define qual o delimitador de colunas do ficheiro

xyzttotal=importdata(Fich_dados,delimiterIn);% matriz com o ficheiro de
dados totais(com as partes submersa e emersa)
xyzttotal_ord=sortrows(xyzttotal,1); % Ordena o ficheiro total, pela 1ª
coluna

x=xyzttotal_ord(:,1);%coluna com o eixo dos xx
y=xyzttotal_ord(:,2);%coluna com o eixo dos yy
z=(xyzttotal_ord(:,3)+0.30); %coluna dos ZZ (cotas levantadas, mas muito
irregulares)

% Utilização da função griddata (Data gridding)

dh=0.003; % Controla a discretização da malha regular para a interpolação

```

```

xx=0.40:dh:0.80;
yy=0.05:dh:0.63;
[XI YI]=meshgrid(xx,yy);

ZI = griddata(x,y,z,XI,YI); % TriScatteredInterp is the recommended
alternative to griddata as it is generally more efficient.

z3=min(min(ZI));

leg=['Envolvente do levantamento L',num2str(n)];

figure('Name',leg,'NumberTitle','off');

set(gcf,'Color','white'); %Põe o fundo branco na figura

surf(XI,YI,ZI,'edgecolor','none')

axis equal
camlight('left')

drawnow;

savefig(['surfaceL' int2str(n) '.fig']);
eval(['print -djpeg Surface_L',num2str(n)]);

%Calculo do Volume Ln

ni=193; %n° de colunas da matriz XI -1
nj=133; %n° de linhas da matriz XI -1

for i=1:ni; %Calculo da área da base
for j=1:nj;
Af(i,j)=[(XI(i,(j+1))-XI(i,j))*(YI((i+1),j)-YI(i,j))];
end
end

for i=1:ni; %Calculo da média das arestas
for j=1:nj;
Mf(i,j)=[((ZI(i,j))+ZI(i,j+1)+ZI(i+1,j)+ZI(i+1,j+1))/4];
end
end

for i=1:ni; %Calculo do volume Ln
for j=1:nj;
Vf(i,j)=[(Af(i,j)*Mf(i,j))];
end
end

for i=1:ni; %Calculo do volume erodido Ln
for j=1:nj;
if (Vf(i,j)-Vi(i,j))>0;
Vf2(i,j)=Vi(i,j);
else
Vf2(i,j)=Vf(i,j);
end
end
end
end

```

```

    for i=1:ni; %Calculo da diferença entre o volume do levantamnto L0 e o
    levantamento Ln
        for j=1:nj;
            Vff(i,j)=[(Vi(i,j)-Vf2(i,j))];
        end
    end

Volumef = sum(sum(Vff));
Aef=Volumef/(0.63-0.05); %Largura da zona a analisar
Dn=0.044;                %Diametro nominal
Sf=Aef/(Dn^2);          %Dano (S)

AT=transpose(Af);
MT=transpose(Mf);
VTi=transpose(Vi);
VTf=transpose(Vf);
VTf2=transpose(Vf2);

% filename = 'resultados totais.xlsx';

xlswrite(['resultados' int2str(n) '.xlsx'],AT,1,'A1');
xlswrite(['resultados' int2str(n) '.xlsx'],MT,2,'A1');
xlswrite(['resultados' int2str(n) '.xlsx'],VTi,3,'A1');
xlswrite(['resultados' int2str(n) '.xlsx'],VTf,4,'A1');
xlswrite(['resultados' int2str(n) '.xlsx'],VTf2,5,'A1');
xlswrite(['resultados' int2str(n) '.xlsx'],Volumef,6,'A1');
xlswrite(['resultados' int2str(n) '.xlsx'],Aef,6,'A2');
xlswrite(['resultados' int2str(n) '.xlsx'],Sf,6,'A3');

end

```

