



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Análise fotogramétrica de movimentos em modelos reduzidos de quebra-mares de taludes

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na
Especialidade de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente

Autor

Vanessa Sofia Teixeira Ferraz

Orientadores

**Maria Rita Lacerda Morgado Fernandes de Carvalho
Mesquita David**

Jorge Eduardo Teixeira Leandro

Colaboração Institucional



**LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL**

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, julho, 2014

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à instalação experimental existente no Departamento de Hidráulica e Ambiente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil e aos orientadores.

Quero agradecer aos meus orientadores, Prof.^a Rita Carvalho e Prof. Jorge Leandro pela orientação prestada no decorrer desta dissertação.

Agradeço à Eng.^a Conceição Fortes, Chefe de Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas do LNEC, pela disponibilização dos meios e das instalações.

Gostaria de expressar os meus agradecimentos à Eng.^a Rute Lemos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pela orientação nas filmagens que proporcionaram uma eficaz etapa, revisão da dissertação e disponibilidade. Agradeço ainda à equipa de trabalho do Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Eng.^a Joana Simão, Eng.^a Ana Passarinho e Eng.^o André Ramos, pela ajuda nos ensaios.

E por último, agradeço à minha família e amigos que tudo fizeram para que nunca desistisse.

RESUMO

Durante a vida útil de uma estrutura de proteção costeira, nomeadamente de um quebra-mar de taludes, pressupõe-se a realização de obras de manutenção ou reparação sendo recomendável um acompanhamento eficaz, baseado em planos de observação sistemática.

O pré-dimensionamento destas estruturas pode ser confirmado recorrendo à modelação física, mediante a verificação da estabilidade da obra sob ação de diferentes condições de agitação (altura de onda significativa, período de pico do espectro de agitação e direção de agitação). Atualmente, esta análise baseia-se apenas na observação visual das quedas e movimentos que ocorrem ao longo dos ensaios, o que implica a presença e atenção continuada de um técnico experiente neste tipo de ensaios. Essa observação nem sempre é fácil, e especialmente no caso da deteção de movimentos, torna-se ainda mais difícil dado que exige: a) uma atenção permanente do técnico ao longo de todo o ensaio os quais podem ser de longa duração; b) a observação cuidada em zonas do manto difíceis de visualização, tais como aquelas onde existe uma grande mistura do ar e da água (rebentação, por exemplo), ou quando os elementos constituintes são muito parecidos em forma, cor e dimensão como é o caso dos enrocamentos; c) a observação das várias zonas do quebra-mar simultaneamente, que no caso dos ensaios 3D, pode ser uma grande área. Além disso, não é possível determinar as áreas erodidas e acrescidas, fato particularmente importante no caso de quebra-mares de taludes de enrocamento.

O objetivo desta tese é a análise dos movimentos e quedas dos blocos constituintes do manto resistente de um quebra-mar de taludes após a atuação das condições de agitação incidente, considerando métodos baseados em imagens e programas desenvolvidos em Matlab®.

O presente trabalho consistiu no desenvolvimento de um *software* que permite a análise sucessiva de imagens, quantificando os sucessivos movimentos que ocorrem ao longo do tempo. Analisaram-se três ensaios onde ocorreram movimentos de blocos, tendo os movimentos sido localizados no espaço e no tempo e quantificada a dinâmica dos blocos nos sucessivos intervalos de tempo.

Palavras-Chave: Quebra-mares de taludes, Modelação física, Evolução dos danos no manto resistente, Análise de movimentos, Métodos baseados em imagens, Programas desenvolvidos em Matlab®.

ABSTRACT

During the lifetime of a coastal protection structure, including a breakwater slope, is assumed the realization of works of maintenance or repair, being recommended effective monitoring plans based on systematic observation.

The preliminary design of these structures can be confirmed using the physical modelling, by checking the stability of the structure under the action of different stirring conditions (significant wave height, peak period of agitation spectrum and direction of shaking). Currently, this analysis is based only on visual observation of the falls and movements that occur throughout the trials, which implies the presence and continuous attention of an experienced in this type of testing. This observation is not always easy, especially in the case of motion detection becomes more difficult as it requires: a) a permanent technical attention over the entire test which can be long term; b) careful observation difficult in areas of the mantle display, such as those where there is a mixture of air and water (surf, for example) or when the elements are very similar in shape, colour and size as the case of riprap; c) observation of the various areas of the breakwater while in the case of 3D tests, can be a large area. Moreover, it is not possible to determine the eroded areas and increased, a fact particularly important in the case of breakwaters rock fill embankments.

The objective of this thesis is the analysis of the movements of the constituent blocks and falls resistant mantle of a breakwater slope after the actuation of the conditions of incident stirring, considering image-based programs and methods developed in Matlab ®.

The present work consisted in developing a software that allows successive image analysis, quantifying the successive movements that occur over time. Three tests of the blocks where motions happened were analysed, with the movements being located in space and time and quantified the blocks dynamic in successive time intervals.

Key-words: Piers slope, physical modelling, Evolution of damage-resistant mantle, Analysis of movements, methods based on pictures, programs developed in Matlab ®

ÍNDICE

1	Introdução	1
2	Revisão Bibliográfica	3
2.1	Considerações sobre quebra-mares de taludes e estabilidade do manto resistente.....	3
2.1.1	Generalidades	3
2.1.2	Acidentes em quebra-mares	5
2.1.3	Estabilidade do manto resistente	7
2.1.4	Parâmetros estruturais	9
2.1.5	Escolha do material do manto - Fórmula de Hudson.....	11
2.2	Modelação física.....	13
2.2.1	Importância da modelação física no dimensionamento destas estruturas	13
2.2.2	Condições de semelhança	13
2.2.3	Efeitos de escala nos ensaios em modelo reduzido.....	15
2.3	Técnicas de processamento de imagens.....	16
3	Metodologia	19
3.1	Considerações	19
3.2	Instalações de ensaio	19
3.3	Condições experimentais	20
3.4	Sistema de aquisição e processamento de vídeos e de imagens.....	21
3.5	Construção do modelo computacional	22
3.5.1	Algoritmo, descrição e organização	22
3.5.2	Processos de melhoramento de imagem.....	23
3.5.3	Método de deteção de arestas pela diferença de intensidade entre <i>pixeis</i>	23
3.5.4	Método de deteção de blocos por agrupamento de <i>pixeis</i>	28
3.5.5	Método de deteção de arestas dos blocos por agrupamento de <i>pixeis</i> e diferença de intensidade.....	29

3.5.6	Determinação da área em movimento pela diferença de imagens.....	32
3.5.7	Caracterização do movimento/deslocamentos	35
3.5.8	Considerações finais sobre os vários métodos	45
4	Resultados, análise e validação	47
4.1	Validação ao longo das linhas e colunas	47
4.1.1	Análise e discussão para o primeiro ensaio	47
4.1.2	Análise e discussão para o segundo ensaio	50
4.1.3	Análise e discussão para o terceiro ensaio	51
4.2	Validação ao longo do tempo	52
4.2.1	Análise e discussão para o primeiro ensaio	52
4.2.2	Análise e discussão para o segundo ensaio	60
4.2.3	Análise e discussão para o terceiro ensaio	63
4.3	Caracterização do movimento	65
5	Conclusão	70
	Referências Bibliográficas	72

ABREVIATURAS

AWASYS – Active Wave Absorption System

DHA – Departamento de Hidráulica e Ambiente

HSI – Hue Saturation Intensity

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

RGB – Red Green Blue

SAM – Simulação da Agitação Marítima

USACE – United States Army Corps of Engineers

SIMBOLOGIA

a	Dimensão característica
B	Largura
D_n	Diâmetro nominal do bloco
D_{n50}	Diâmetro nominal médio
F_m	Força do modelo
F_p	Força do protótipo
g	Aceleração de gravidade
h	Profundidade da água
H_0	Altura de onda em grandes profundidades
$H_{1/3}$	Altura média do terço superior das alturas de onda registadas
H_{m0}	Altura significativa de onda (com base na densidade espectral)
H_s	Altura significativa de onda
k	Módulo de elasticidade
K_Δ	Coefficiente de forma dos blocos
L_0	Comprimento de onda em grandes profundidades
L_m	Largura do modelo
L_{om}	Comprimento de onda numa profundidade significativa, período médio
L_{op}	Comprimento de onda associado ao período de pico
L_p	Largura do protótipo
M	Massa do bloco
M_{50}	Massa média
M_a	Massa do bloco do manto resistente

N_r	Número de blocos por unidade de área de talude
N_s	Número de estabilidade
n	Número de camadas de blocos do manto
P	Porosidade da camada do manto
P'	Coefficiente de permeabilidade
r	Espessura média de camada
s_0	Declive de onda
s_{op}	Declive de onda, baseada no período de pico
T	Período de onda
T_p	Período de pico
ν	Coefficiente de viscosidade cinemática
V	Velocidade média
W	Peso emerso do bloco
α	Ângulo do fundo com a horizontal
Δ	Massa volúmica relativa
μ	Coefficiente de viscosidade dinâmica
ξ_0	Número de Iribarren, baseado no período médio
ξ_{mc}	Número de Iribarren correspondente ao tipo de rebentação, para ondas irregulares
ξ_{om}	Número de Iribarren correspondente ao período médio, para ondas irregulares
γ_s	Peso volúmico do bloco
γ_w	Peso volúmico da água
ρ_a	Massa volúmica dos blocos de proteção
ρ_c	Massa volúmica do bloco de betão
ρ_r	Massa específica do sólido
ρ_w	Massa volúmica da água

1 INTRODUÇÃO

O transporte marítimo de pessoas e bens implica a existência de áreas onde a agitação marítima seja reduzida, de modo a viabilizar as operações de acostagem, carga e descarga de navios.

Inicialmente, apenas as áreas naturalmente abrigadas, tais como baías, estuários e zonas protegidas por cabos, eram utilizadas para esse fim. A necessidade de criar condições de abrigo às embarcações e mercadorias, em locais onde elas não existiam naturalmente, em zonas de grande importância económica, conduziu à utilização de estruturas artificiais de grande desenvolvimento linear: os quebra-mares. Os mesmos também podem ser utilizados na proteção da linha de costa com o objetivo de proteger pessoas e bens em locais vulneráveis às condições de agitação mais desfavoráveis (Lemos, 2010).

De entre os vários tipos de quebra-mares (talude, vertical, mistos e outros), na costa portuguesa, 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), bem como em proteções marginais, esporões, entre outros.

Devido à importância deste tipo de estruturas no seu projeto assume-se a necessidade de obras de reparação ou de manutenção ao longo da sua vida útil.

O projeto de uma obra marítima pode ser efetuado recorrendo a fórmulas empíricas. As expressões empíricas resultam da análise de dados obtidos em campo ou em ensaios laboratoriais em modelos reduzidos. As fórmulas semi-empíricas têm como base formulações teóricas e intensos trabalhos em laboratório (Bezerra, 2008). Apesar da fácil utilização das fórmulas empíricas e semi-empíricas, o projeto de uma obra marítima exige, normalmente, ser confirmado através de modelo físico reduzido. Com efeito, a modelação física permite a simulação de efeitos, em separado ou conjuntamente, de fenómenos complexos envolvidos na propagação da agitação do largo para a costa, nomeadamente a refração, a difração, a rebentação, a reflexão, o espraiamento, o galgamento e os efeitos da interação onda-estrutura.

A avaliação da estabilidade do manto de um quebra-mar ao longo de um ensaio em modelo físico é feita através da quantificação de quedas e movimentos dos seus blocos constituintes. Esta quantificação é feita, geralmente, através de observação visual o que, particularmente no caso dos movimentos, pode ser difícil. Com efeito, a deteção de movimentos ao longo do ensaio por observação visual exige a atenção e experiência do técnico que acompanha esse ensaio,

atenção essa que tem de ser permanente ao longo de todo o ensaio (para serem detetados efetivamente os movimentos). Como em geral cada ensaio é de longa duração (30 minutos) e são efetuados vários ensaios consecutivamente ao longo do dia, nem sempre é fácil por parte do técnico manter a atenção necessária em todos os ensaios. A experiência do técnico também é muito importante na deteção desses movimentos principalmente quando os taludes são de enrocamento e portanto com elementos de pequenas dimensões e de cor muito semelhante, ou quando em determinadas zonas do talude se verifica mistura de ar com água (rebentação por exemplo) que dificulta o visionamento dos elementos desse talude e muito mais os seus movimentos. Para além disso, a observação visual não permite a quantificação das áreas erodidas e de acreção, que se torna importante principalmente em taludes de enrocamento.

Neste trabalho, pretende-se, assim, desenvolver um *software* que permita a análise do comportamento de taludes de quebra-mares ao longo dos ensaios de estabilidade e galgamentos. Para este efeito a metodologia seguida consistiu:

- Realização de ensaios de estabilidade e galgamentos em modelo físico para uma seção de um manto de talude;
- Filmagem dos ensaios;
- Aplicação e comparação de diversas metodologias de análise das imagens retiradas do filme, tendo sido criado um algoritmo que compara as imagens e permite analisar a variação dos blocos ao longo do tempo, por zonas e caracterizar os deslocamentos dos blocos, normalmente difíceis de detetar e quantificar.

A tese encontra-se dividida nos seguintes capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução ao âmbito da tese e apresentação dos objetivos do trabalho;
- Capítulo 2 – Estado da arte sobre os quebra-mares de taludes, a estabilidade hidráulica do manto, modelação física e técnicas de processamento de imagens;
- Capítulo 3 – Apresentação da instalação experimental e dos equipamentos usados nos ensaios realizados. Descrição detalhada dos métodos de processamento de imagens;
- Capítulo 4 – Apresentação e a análise da fiabilidade dos resultados obtidos;
- Capítulo 5 – Conclusões e trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações sobre quebra-mares de taludes e estabilidade do manto resistente

2.1.1 Generalidades

Os quebra-mares artificiais surgiram no século XIX, com a agregação de blocos de enrocamento, cuja seção era trapezoidal e a inclinação estava associada ao arranjo dos blocos (Pita, 1985).

Os quebra-mares artificiais podem ser do tipo convencional, como é o caso dos quebra-mares de taludes (Figura 2.2), verticais, mistos e de estruturas mistas, e não convencionais, como é o caso dos quebra-mares submersos e flutuantes.

O número dos diferentes tipos de quebra-mares convencionais existentes são apresentadas em percentagem na Figura 2.1.a). Na Figura 2.1.b) apresentam-se também valores de percentagem de quebra-mares existentes consoante a função que esses quebra-mares desempenham (Pita, 1985).

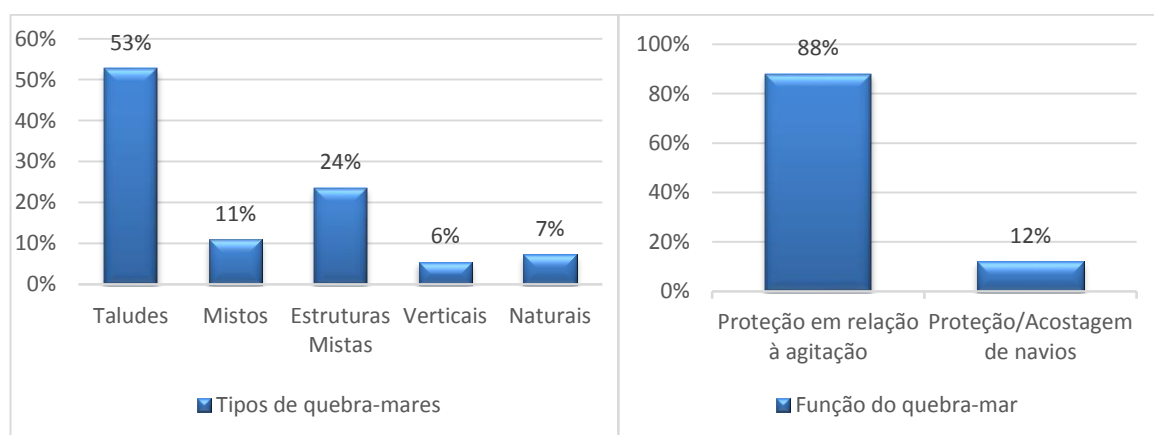


Figura 2.1 – Análise percentual: a) do tipo de quebra-mares em Portugal continental; b) em função dos quebra-mares em Portugal continental.

Os quebra-mares de taludes são estruturas constituídas na sua generalidade por:

- Núcleo, constituído por materiais soltos;
- Manto protetor com blocos de grandes dimensões para resistir a deslocamentos provocados pela agitação marítima;
- Camada de filtro que impede a lavagem através do manto protetor do material mais fino do núcleo;
- Pé de talude, apoia a parte inferior do manto resistente;
- Superestrutura com muro cortina, de modo a reduzir o galgamento.

Na Figura 2.2 apresenta-se o perfil generalizado de um quebra-mar de talude.

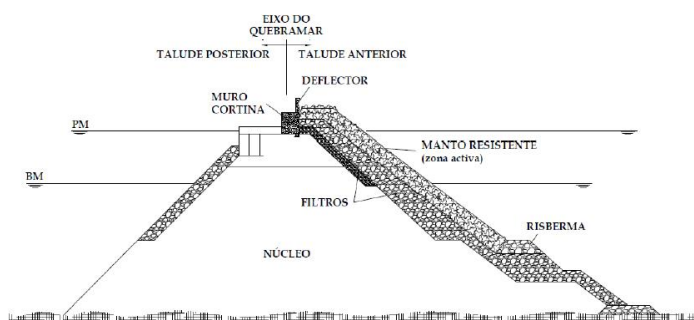


Figura 2.2 - Seção transversal esquemática de um quebra-mar de talude (Taveira Pinto, 2001).

O ciclo de vida deste tipo de estrutura desenvolve-se em quatro fases: o projeto, a construção, as operações/manutenção e a reconversão/demolição. Para que não ocorram falhas o quebra-mar tem de ser bem dimensionado para as solicitações exigidas. Os procedimentos e materiais utilizados na execução da obra têm de ser os mais adequados. Por vezes, é exigido uma monitorização da estrutura durante o ciclo de vida que conduza a ações de manutenção quando se mostrar necessário. Na Figura 2.3 são representadas as várias roturas possíveis do manto protetor (USACE, 2006).

Aquando do dimensionamento de um quebra-mar, a instabilização do manto resistente é a que suscita maior preocupação por ser a causa mais comum de ruína, dado ser o manto resistente o elemento destinado a dissipar a energia proveniente da agitação incidente. A ocorrência de falhas ao longo do manto, com eventual exposição dos filtros conduz normalmente a situações

de ruína por saída de finos, conduzindo a fenómenos de infra-escavação (Lemos & Santos, 2011).

Na Figura 2.3 são representados os diferentes modos de rotura do manto protetor de um quebra-mar de taludes (USACE, 2006).

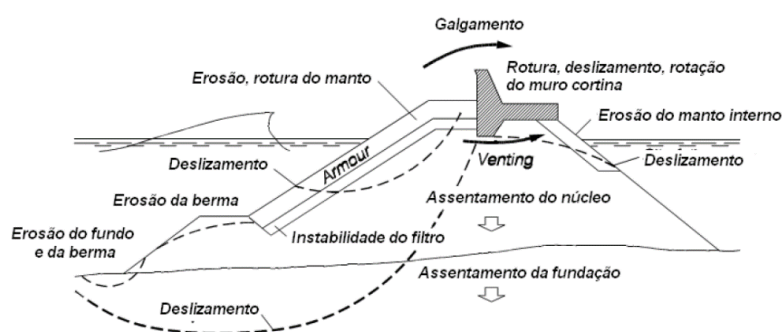


Figura 2.3 - Modos de rotura de um quebra-mar de taludes (USACE, 2006).

Segundo Burcharth (1993), as roturas do manto são definidas de acordo com a Figura 2.4.

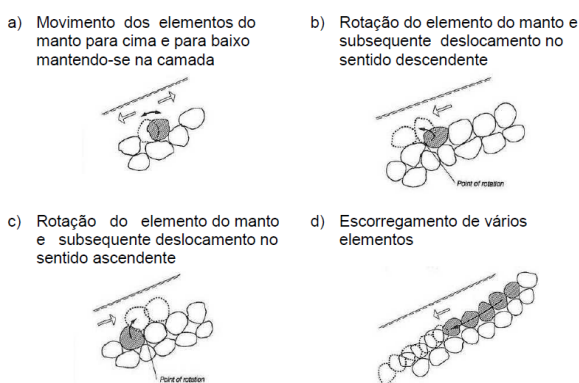


Figura 2.4 - Modos de rotura de um manto protetor (Burcharth, 1993).

2.1.2 Acidentes em quebra-mares

Existem vários acidentes de instabilidade hidráulica relatados, o acidente do porto de Sines, no Molhe Oeste, em 1979, é um exemplo de muitos. Após um estudo interno, foram detetadas falhas a nível da conceção (na seleção da onda solicitada e os dolos não eram os blocos mais indicados devido à baixa resistência), da construção e da supervisão de construção. Na Figura 2.5.a), está representado o aspeto da estrutura, após o temporal de Fevereiro de 1978 e na Figura 2.5.b), uma imagem mais atual do quebra-mar.



Figura 2.5 - Quebra-mar Oeste do porto de Sines: a) acidente em 1979 (Teresa Reis, et al., 2011); b) imagem Google de 2011.

O Porto de Leixões também sofreu alguns estragos (Figura 2.6.a)), nos anos 70, principalmente na zona final do quebra-mar norte, tendo ficado quase em ruínas, em particular, no talude de tetrápodes e na subestrutura de betão. Para solucionar este problema, foi criado um maciço submerso à frente do extremo do quebra-mar (Figura 2.6.b)), de modo a reduzir a intensidade da ação da onda com a pré-rebentação.



Figura 2.6 – Quebra-mar norte do Porto de Leixões: a) estragos na cabeça do quebra-mar, anos 70 (Ferreira, 2008); b) quebra-mar submerso, 1982 (Ferreira, 2008).

Em Outubro de 1999, o quebra-mar do Porto de Rabo de Peixe, situado na ilha de São Miguel, nos Açores, foi atingido por um enorme temporal o que obrigou a alterações no projeto que estava a ser seguido até à data. Este temporal causou infraescavação no terrapleno e no núcleo, movimentação de vários blocos Antifer e no muro de cortina ocorreram várias rotações e

assentamentos. Na Figura 2.7.a) é possível visualizar o quebra-mar antes do temporal e na Figura 2.7.b) os estragos provocados.



Figura 2.7 – Porto de pesca de Rabo de peixe: a) antes do temporal de Outubro de 1999 (Teixeira, et al., 2001); b) em Outubro de 1999 (Teixeira, et al., 2001).

2.1.3 Estabilidade do manto resistente

A estabilidade de um quebra-mar de talude está associada à agitação marítima nela incidente, a qual pode ser caracterizada por diferentes parâmetros, tais como altura de onda significativa e período de pico do espectro de agitação. O tipo de rebentação da onda sobre a estrutura é também um fator de grande importância na determinação do nível de danos no manto do quebra-mar.

Período de pico de espectro de agitação

O período de uma onda (T_p) é o tempo que duas cristas sucessivas (ou duas cavas) levam a passar por um determinado ponto. Este tempo permite caracterizar o período associado ao sistema de ondas predominante.

Altura de onda

Geralmente, a altura de onda corresponde à distância, na vertical, entre a crista e a cava. Como são as ondas mais altas que interferem com o equilíbrio hidráulico do manto resistente, em projeto, é normalmente utilizado o parâmetro da altura significativa, podendo ser:

- $H_{1/3}$ Altura média do terço superior das alturas de onda registadas;
- H_{m_0} Altura significativa de onda (com base na densidade espectral).

Declividade

Declividade de onda (wave steepness):

$$s_0 = \frac{H}{L_0} = \frac{2\pi}{gT^2} \quad (2.1)$$

Onde:

H é a altura de onda;

L_0 é o comprimento de onda ao largo;

g é a aceleração da gravidade;

T é o período médio.

Quando se trata de quebra-mares, é usual utilizar o valor de pico de declividade característico.

$$s_{op} = \frac{H_s}{L_{op}} = \frac{2\pi H_s}{gT_p^2} \quad (2.2)$$

Onde:

H_s é a altura de onda significativa;

L_{op} é o comprimento de onda associado ao período de pico;

g é a aceleração da gravidade;

T_p é o período de pico.

Número de Iribarren

O número de Iribarren (ξ) define o tipo de rebentação. Este parâmetro pode ser calculado pela equação (2.3).

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}} \quad (2.3)$$

Onde:

H_0 é a altura de onda em grandes profundidades;

L_0 é o comprimento de onda em grandes profundidades;

α é o ângulo do fundo com a horizontal.

Estes tipos de rebentação, encontram-se representados na Figura 2.8.

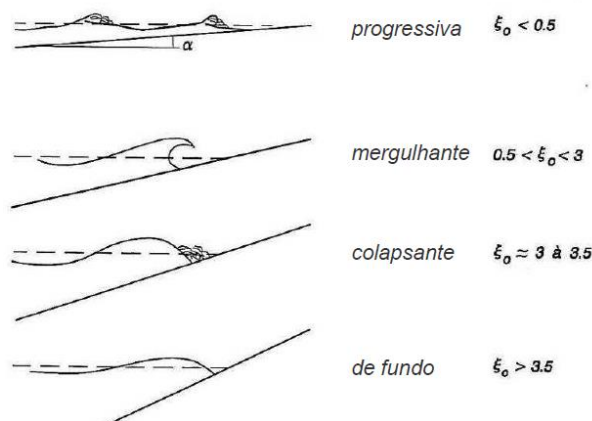


Figura 2.8 - Tipos de rebentação de onda (USACE, 2006).

Por outro lado, de acordo com Van Der Meer (1988), para se poder classificar uma onda é necessário analisar e comparar o número de Iribarren correspondente ao período médio e o número de Iribarren correspondente ao tipo de rebentação, que podem ser determinados pela equação (2.4) e (2.5), respetivamente:

$$\xi_{om} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{L_{om}}}} \quad (2.4)$$

$$\xi_{mc} = (6.2P^{0.31} (\tan \alpha)^{0.5})^{\frac{1}{P'+0.5}} \quad (2.5)$$

Onde:

L_{om} é o comprimento de onda em grandes profundidades de período médio;

P' é o coeficiente de permeabilidade.

2.1.4 Parâmetros estruturais

Existem algumas características estruturais que influenciam a estabilidade do mando resistente, tais como a dimensão, peso, tipo e modo de colocação dos blocos e o declive da estrutura (Lemos & Santos, 2011).

Segundo Van Der Meer (1988), a determinação do diâmetro nominal depende do bloco, quando se trata de um enrocamento é calculado pela equação (2.6) e para blocos de betão pela equação (2.7).

$$D_{n50} = \left(\frac{M_{50}}{\rho_r} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.6)$$

$$D_n = \left(\frac{M_a}{\rho_c} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.7)$$

Onde:

M_{50} é a massa média;

ρ_r é a massa volúmica do bloco rochoso;

M_a é a massa do bloco do manto resistente;

ρ_c é a massa volúmica do bloco de betão.

Na determinação do peso dos blocos, tem de se assegurar o mesmo número de estabilidade, para o modelo e para o protótipo, a determinação do peso tem por base um estudo experimental e é calculado pela expressão (2.8).

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} \quad (2.8)$$

Onde:

H_s (m) é a altura significativa de onda;

D_n (m) é o diâmetro nominal do bloco;

Δ é a massa volúmica relativa ($\frac{\rho_a - \rho_w}{\rho_w}$);

ρ_a (kg/m³) é a massa volúmica dos blocos de proteção;

ρ_w (kg/m³) é a massa volúmica da água.

O número de estabilidade (N_s) é a relação entre a altura de onda significativa que instabiliza o bloco e as suas características físicas, como a massa volúmica relativa e o diâmetro nominal. Grandes números de estabilidade determinam blocos mais estáveis, dado que, mantendo as mesmas características físicas, é necessário uma altura de onda significativa maior para instabilizar o bloco.

Outro parâmetro estrutural relevante é o fator de permeabilidade que indica se uma estrutura é, ou não, permeável. A permeabilidade depende da estabilidade e Van Der Meer (1987), classificou este fator do seguinte modo:

- $P = 0.1$, quebra-mar impermeável;
- $P = 0.4$, quebra-mar com núcleo, submanto e manto;
- $P = 0.5$, quebra-mar apenas com núcleo e manto;
- $P = 0.6$, quebra-mar homogêneo só com enrocamento.

2.1.5 Escolha do material do manto - Fórmula de Hudson

A fórmula de Hudson (1959), equação (2.9), permite calcular o peso do material constituinte do manto, trata-se apenas de um pré-dimensionamento devido à falta de vários fatores associados à agitação marítima e à própria estrutura, é uma quantificação simplista da ação.

$$W = \frac{\gamma_s H_s^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cot \alpha} \quad (2.9)$$

Onde:

W é o peso do bloco;

γ_s é o peso volúmico do bloco;

H_s é a altura de onda significativa de projeto junto à estrutura;

γ_w é o peso volúmico da água;

$\cot \alpha$ é a cotangente do ângulo entre o talude e o fundo;

K_D é o coeficiente de estabilidade que varia com o tipo de bloco, número de camadas do manto, forma, localização e modo de colocação do manto, ângulo de incidência e tipo de onda (Taveira Pinto, 2001).

Segundo U. S. Army Corps of Engineers (USACE, 1984), o número de blocos por unidade de área e a espessura do manto podem ser calculados pela expressão (2.10) e (2.11), respetivamente.

$$N_r = n K_\Delta \left(1 - \frac{P}{100} \right) \left(\frac{\gamma_s}{W} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.10)$$

Onde:

P é a porosidade da camada do manto;

K_Δ é o coeficiente de forma dos blocos.

$$r = n K_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_s} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.11)$$

Onde:

n é o número de camadas de blocos do manto.

Os blocos podem ser naturais, como os de enrocamento. No entanto, quando o dimensionamento exige pesos de blocos superiores aos que é possível extrair da pedra ou quando o acesso a extração e transporte desses materiais é impossível ou muito torna-se necessária a utilização de blocos artificiais (Quadro 2.1).

Em Portugal, os blocos artificiais mais utilizados são os cubos Antifer, cubos e os tetrápodes (Teixeira, 2012).

Quadro 2.1 – Origem dos blocos de betão para quebra-mares de taludes. (adaptado de Pita, 1985).

Nome	Origem		Nome	Origem	
	Pais	Ano		Pais	Ano
A-JACK	EUA	1996	HOLLOW TETRAHEDRON	Japão	1959
ACCROPODE	França	1979	N-SHAPED BLOCK	Japão	1960
ACCROPODE II	França	2004	MEXÁPODO	México	1974
AKMON	Holanda	1962	PELICAN STOOL	EUA	1920
BIPODO	Holanda	1962	QUADRIPODO	EUA	1959
BLOCO ANTIFER	CÚBICO França	1969	ROBLOC	Holanda	1982
BLOCO PARALELEPIPÉDICO	-	-	SEABEE	Austrália	1978
COB	Inglaterra	1969	SHED	Inglaterra	1981
CORE-LOC	EUA	1995	SHEDSTABILOPOD	Roménia	1965
CORE-LOC II	EUA	2006	STABIT	Inglaterra	1961
CUBESP	Portugal	1978	STA-BAR	EUA	1966
CUBO	-	-	STA-POD	EUA	1966
CUBO MODIFICADO	EUA	1959	STALK-CUBE	Holanda	1965
DIAHITIS	Irlanda	1998	SVEE-BLOCK	Noruega	1961
DOLOS	África do Sul	1963	TETRAEDRO (maciço)	-	-
DOM	México	1970	TETRAEDRO (perfurado)	EUA	1959
ECOPODE	França	2000	TETRÁPODO	França	1950
GASSHO	Japão	1967	TOSKANE	África do Sul	1966
GRABELAR	África do Sul	1957	TRIBAR	EUA	1958
HARO	Bélgica	1984	TRIGON	EUA	1962
HEXALEG	Japão	-	TRI-LONG	EUA	1968
HEXÁPODO	EUA	1959	TRIPODO	Holanda	1962
DINOSSAURO	França	1974	XBLOCO	Holanda	2003
HOLLOW SQUARE	Japão	1960			

2.2 Modelação física

2.2.1 Importância da modelação física no dimensionamento destas estruturas

A modelação física permite a simulação de efeitos de fenómenos complexos envolvidos na propagação da agitação. O maior problema associado à modelação física prende-se com a introdução de efeitos de escala, os quais poderão afetar os resultados obtidos. De modo a minimizar estes efeitos, os modelos físicos reduzidos deverão estar de acordo com:

- Parâmetros corretos da agitação marítima;
- Características da estrutura e respetivo fundo;
- O escoamento real ao longo de toda a estrutura.

Para a semelhança ao nível da mecânica hidráulica, segundo Quintela (1981), é necessário respeitar:

- Semelhança geométrica, em que se verifica a semelhança de formas ($L_p=L_m$);
- Semelhança cinemática, consiste na semelhança do movimento ($L_p/T_p=L_m/T_m$);
- Semelhança dinâmica em que há semelhança de forças ($F_p=F_m$).

2.2.2 Condições de semelhança

Como foi referido por Hughes (1993), com a intersecção entre as duas forças predominantes pode-se resolver vários problemas. É importante definir a força resultante do escoamento, que pode ser calculada pela expressão (2.12).

$$F=\rho_w l^2 V^2 f \left(\frac{v^2}{gh}, \frac{\rho_w l V}{\mu}, \frac{\rho_w l V^2}{\sigma}, \frac{\rho_w V^2}{k}, \frac{D}{l}, \frac{B}{l}, \frac{a}{l}, \frac{\rho_r}{\rho_w} \right) \quad (2.12)$$

Onde:

- ρ_w é a massa específica do fluído;
- l é o comprimento;
- v é a velocidade média;
- ν é o coeficiente de viscosidade cinemática;
- g é a aceleração da gravidade;
- h é a profundidade;
- μ é o coeficiente de viscosidade dinâmica;
- k é o módulo de elasticidade;

- B é a largura;
 a é a dimensão característica;
 ρ_r é a massa específica do sólido;
 ρ é a massa volúmica do fluido.

Para haver uma semelhança dinâmica, o número de Froude ($\frac{v^2}{gh}$), Weber ($\frac{\rho_w l v}{\mu}$), Reynolds ($\frac{\rho_w l v^2}{\sigma}$) e Cauchy ($\frac{\rho_w V^2}{k}$) deveriam tomar o mesmo valor tanto para o modelo e para o protótipo, de modo que as grandezas estejam representadas no modelo reduzido. Como não é possível respeitar todos estes parâmetros, simultaneamente, não é possível representar todas as forças, dizendo-se que existem efeitos de escala nos fenómenos não representados. Na Figura 2.9, estão representadas as leis de semelhança que deveriam ser respeitadas para cada um dos fenómenos que existem na interação da onda com a estrutura.

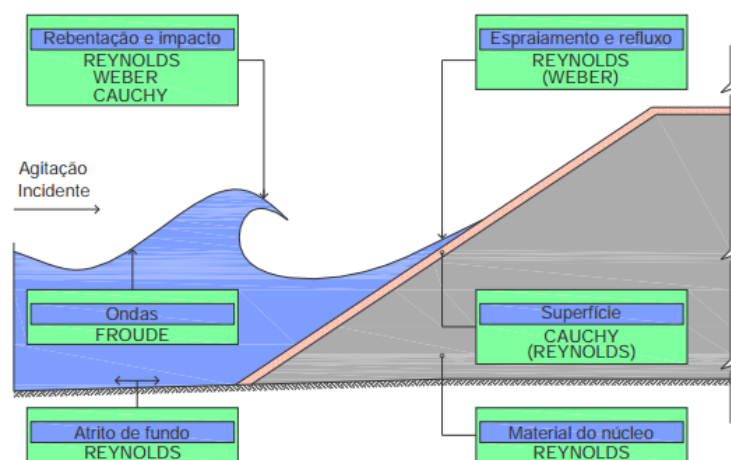


Figura 2.9- Fenómenos e efeitos de escala na modelação das forças, das ondas e na resposta na estrutura marítima marginal (Korthenhaus, et al., 2005).

Os parâmetros mais importantes para os modelos das estruturas marítimas são o número de Froude e de Reynolds, mas os números de Cauchy e Weber também influenciam o comportamento nos taludes. Como a gravidade e a pressão são as forças principais na rebentação das ondas usa-se a semelhança do número de Froude, que relaciona a força de inércia com a força gravítica. Considera-se que as forças de viscosidade (lei de Reynolds), de elasticidade (lei de Cauchy) e de tensão superficial (lei de Weber) podem ser desprezadas que

acabam por refletir nos efeitos de escala. No Quadro 2.2 é apresentado as escalas dos parâmetros para as várias semelhanças.

Quadro 2.2 – Resumo dos métodos de escala (Lemos & Silva, 2008).

Parâmetro	Unid.	Froude	Cauchy	Weber	Reynolds
Relação das Forças	(-)	Inércia /Gravidade	Inércia/Elasticidade	Inércia/Tensão de Superfície	Inércia/Viscosidade
Equações	(-)	$\frac{u}{\sqrt{gL}} = \text{const.}$	$\frac{\rho u^2}{k} = \text{const.}$	$\frac{\rho L u^2}{\chi} = \text{const.}$	$\frac{uL}{\nu} = \text{const.}$
Comprimento	(m)	N_L	N_L	N_L	N_L
Área	(m ²)	$N_A = N_L^2$	$N_A = N_L^2$	$N_A = N_L^2$	$N_A = N_L^2$
Volume	(m ³)	$N_V = N_L^3$	$N_V = N_L^3$	$N_V = N_L^3$	$N_V = N_L^3$
Tempo	(s)	$N_t = \sqrt{N_L}$	$N_t = \sqrt{\frac{N_p}{N_k}} N_L$	$N_t = \sqrt{\frac{N_p}{N_\chi}} N_L^{1.5}$	$N_t = \frac{N_L^2}{N_v}$
Velocidade	(m/s)	$N_u = \sqrt{N_L}$	$N_u = \sqrt{\frac{N_k}{N_p}}$	$N_u = \sqrt{\frac{N_\chi}{N_p N_L}}$	$N_u = \frac{N_v}{N_L}$
Aceleração	(m/s ²)	$N_{ac} = 1$	$N_{ac} = \frac{N_k}{N_p N_L}$	$N_{ac} = \frac{N_\chi}{N_p N_L^2}$	$N_{ac} = \frac{N_v^2}{N_L^3}$
Massa	(kg)	$N_m = N_p N_L^3$	$N_m = N_p N_L^3$	$N_m = N_p N_L^3$	$N_m = N_p N_L^3$
Pressão	(Pa)	$N_p = N_p N_L$	$N_p = N_k$	$N_p = \frac{N_\chi}{N_L}$	$N_p = N_p \frac{N_v^2}{N_L^2}$
Força	(N)	$N_F = N_p N_L^3$	$N_F = N_k N_L^2$	$N_F = N_\chi N_L$	$N_F = N_p N_v^2$

2.2.3 Efeitos de escala nos ensaios em modelo reduzido

Ao considerar as escalas dos modelos de acordo a lei de Froude, está-se a representar a força de gravidade em detrimento de outras forças com importância nos fenômenos, tais como a viscosidade, elasticidade, tensão de superfície, entre outras, que têm de ser interpretadas tendo em conta efeitos de escala. Geralmente, há que ter em conta o seguinte para diminuir/considerar os efeitos de escala:

- Considerar elevados números de Reynolds - Hughes (1993) refere que o valor de Reynolds tem de pertencer ao intervalo $[6 \times 10^3; 4 \times 10^5]$ e Van Der Meer (1988), definiu que o mesmo número tinha de estar incluído no intervalo $[4 \times 10^4; 8 \times 10^4]$. Quando não é

possível aumentar a escala e assegurar que o número de Reynolds seja elevado, de modo a assegurar que o escoamento tenha o regime pretendido, deve-se aumentar o tamanho do material presente nas camadas. A não representação das forças de viscosidade do modelo torna-se uma situação problemática para a representação do submanto e núcleo e são tanto mais gravosas quanto mais a escala reduzida. Neste caso os constituintes destas camadas podem interferir com a permeabilidade pretendida. O problema da representação das forças de viscosidade não é tão gravoso no manto de proteção;

- Considerar diferentes densidades - Como a água usada no modelo e no protótipo apresentam geralmente densidades diferentes, não é comum utilizar água salgada nos ensaios, evitando assim a corrosão do equipamento usado na instalação. De acordo com Hughes (1993), a diferença de densidade usada pode originar erros de 10 a 15%;
- Considerar a diferença de atrito no contacto entre os blocos dos quebra-mares - As pedras devem ser pintadas de modo a diminuir o atrito entre os blocos, permitindo os deslocamentos dos blocos com maior facilidade e originando resultados mais conservativos, como refere Hudson e Davidson em 1975 (citados por Hughes, 1993);
- Considerar que ocorrem diferentes condições de arejamento, para os quais ainda não existem métodos eficazes que permitam corrigir este efeito de escala - Hall (citado por Hughes, 1993) analisou as bolhas de ar provenientes da rebentação das ondas e concluiu que a dissipação da energia das ondas no talude é excessiva, devida à semelhança do número de Weber não ser respeitada.

2.3 Técnicas de processamento de imagens

Nos últimos anos, tem-se vindo a registar uma evolução nos métodos computacionais e nas técnicas que permitem a captação e interpretação de imagens. Estas técnicas podem ser aplicadas a várias áreas desde a medicina à engenharia. Distinguem-se recentes desenvolvimentos que proporcionam avanços significativos na análise e interpretação de imagens como por exemplo:

- Sistemas inteligentes sustentados em redes neurais artificiais aplicados ao processamento de imagens, (Bittencourt & Osório, 2000);
- Quantificação de áreas de úlceras de perna usando um programa de análise de imagem, o Image J®, (Santana, et al., 2008);
- Medição de alturas de água usando visão computacional num modelo de Simulink®, (Roque, 2011);

- Desenvolvimento de um método que utiliza a termografia por infravermelha para visualização do fluxo superficial e estimativa da velocidade, (Lima, 2012);
- Estimativa da fração de vazios num ressalto hidráulico por meio de medições de intensidade de *pixel*, (Leandro et al., 2011);
- Medição da fração de vazios e velocidade para o escoamento *Skimming* usando métodos não intrusivos, (Leandro et al., 2014);
- Identificação e classificação automática de veículos militares, (Dias, 2009);
- Detecção de pedestres em imagens, (Reis, 2011).

Nas filmagens é necessário cumprir certas regras, tais como manter a luz homogénea e fixar a máquina de filmar para que as imagens tenham o mesmo referencial e as alterações possam ser tratadas como função do espaço. As imagens podem ser:

- Binárias, o *pixel* toma valores entre o valor 0 ou 1, guardadas no formato *logical*;
- De intensidade, valores de 0 a um valor máximo de 256;
- RGB associado a 3 ou 4 matrizes cada uma de intensidade, como por exemplo, em vermelho, verde e azul (RGB – *Red, Green and Blue*) ou azul claro, rosa, amarelo e preto (CMYK – *Cyan, Magenta, Yellow and Black*);
- Indexadas.

Os *pixeis* são as unidades mínimas das imagens, cujo tamanho influencia a nitidez, isto é quanto maior o número de *pixeis*, numa fotografia, menor serão os *pixeis* e maior será a resolução.

Numa imagem a preto e branco é assim muito mais fácil de manipular sendo ela considerada monocromática, as de intensidade a imagem apresenta uma matriz de *pixeis* a que é atribuído um valor numa escala de cinzentos. Quando armazenado no formato *double*, os *pixeis* da imagem que constituem um *array* são como matrizes compostas pelos valores numéricos. No formato *unit8* é atribuído 1 *byte* de memória a cada elemento, os valores variam entre 0 (preto) e 255 (branco). Por outro lado, no caso de o formato ser *unit16* são despendidos 2 *bytes* para armazenamento e os valores variam entre 0 a 65535.

Nas imagens RGB, cada *pixel* é especificado por 3 valores (verde, azul e amarelo) e os *arrays* são do tipo $m \times n \times 3$.

Quando a imagem é indexada, é composta por uma matriz de dados e um mapa de cores e é do tipo $m \times 3$, figura 2.7.

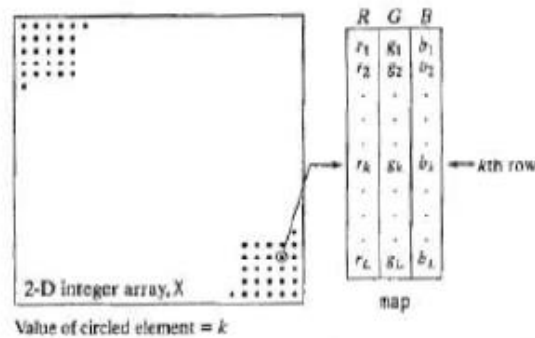


Figura 2.7- Representação dos elementos de uma imagem indexada.

O *software* Matlab® tem muitos comandos adaptados ao tratamento de imagens e caracteriza-se pela facilidade de manipulação e personalização, (Eddins, et al., 2008). Por vezes, é aconselhável fazer algumas correções da imagem, Rodrigues (2011), pelo que aquele autor propôs os seguintes tratamentos da imagem:

- Conversão RGB em HSI através de um algoritmo no Matlab ®;
- Segmentação que corresponde ao fracionamento de imagens em zonas ou objetos de modo a facilitar a análise (Bittencourt & Osório, 2000);
- Morfologia matemática diz respeito às operações de abertura e fecho com o intuito de eliminar pequenos orifícios na imagem segmentada. Para este processo a imagem têm de ser binária;
- Extração dos bordos da imagem utilizando um algoritmo de conectividade que liga dois *pixels*, como se fizessem parte da mesma região/objeto, se satisfizerem os critérios de similaridade;
- Extração do ruído para as imagens que têm *pixels* que não estão conectados aos bordos das imagens.

Integrando a imagem num espaço de cores e fazendo uma análise computacional é possível diferenciar padrões e reconhecer as características mais importantes. Sendo por isso, um método adequado à observação de movimento de blocos no manto de um quebra-mar.

3 METODOLOGIA

3.1 Considerações

Neste capítulo são descritas as instalações de ensaio, bem como os equipamentos de ensaio, de medição e de filmagem. São ainda descritas as condições experimentais, o método utilizado e as técnicas de análise dos resultados obtidos.

O algoritmo foi desenvolvido no *software* Matlab®, considerando as sucessivas imagens retiradas de um filme, analisando a dinâmica dos blocos sob a ação de ondas provenientes da agitação marítima. Através da captação de imagens, num certo intervalo de tempo, a técnica computacional possibilita a extração de informações essenciais como a forma, dimensões e a posição dos materiais em estudo. Pretende-se que o algoritmo criado possa ser aplicado tanto na parte emersa como na submersa e assim detetar os movimentos ao longo do tempo, localizando-os no espaço e no tempo e quantificando a dinâmica dos blocos.

3.2 Instalações de ensaio

Os ensaios foram levados a cabo no pavilhão de Hidráulica Marítima do Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), no canal de ondas irregulares COI1. Este canal possui 50 m de comprimento, 1.60 m de largura e 0.80 m de profundidade. O gerador de ondas é do tipo pistão e é dotado do sistema AWASYS (Active Wave Absorption System), o qual promove a absorção dinâmica na reflexão (Troch, 2005). A Figura 3.1 ilustra o canal de ondas irregulares COI1.



Figura 3.1 - Canal de ondas irregulares COI1.

Recorre-se ao programa SAM, simulação da agitação marítima (Capitão, 2002), para gerar os espectros da agitação marítima, como é apresentado na Figura 3.2. Pode-se extrair os dados e respetivos tratamentos durante as várias agitações. Com o equipamento devidamente calibrado, foram efetuados ensaios de ondas irregulares de 2, 2.5 e 3 m, com o nível de água em preia-mar (PM), de modo a analisar a ocorrência de quedas e movimentos.

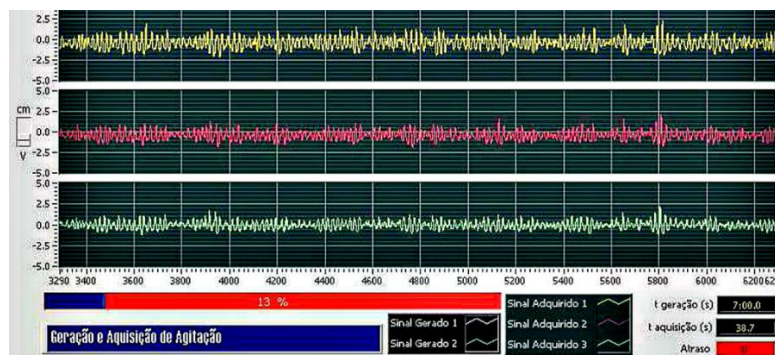


Figura 3.2 - Espetro de um sinal.

3.3 Condições experimentais

No modelo físico encontrava-se reproduzido um quebra-mar de talude como representado na Figura 3.3. A estrutura reproduzida é análoga aos quebra-mares correntes constituído por núcleo, filtro e manto protetor, o qual se desenvolve em talude de 1:2. Por ensaio entende-se a atuação de uma altura de onda, associada a um período de pico e a um nível de maré.



Figura 3.3 – Perfil longitudinal de implantação no canal do modelo de ensaio.

De modo aperfeiçoar a técnica da análise em questão, o algoritmo foi testado para vários tipos de blocos. Assim, ao longo dos ensaios para este trabalho, apenas se variou o material constituinte do manto protetor e a agitação. Foram realizados os seguintes ensaios (Figura 3.4):

- 1º Ensaio – enrocamento em que as pedras foram escolhidas à mão com pesos semelhantes e várias foram pintadas de preto, com uma agitação incidente de 3 m;
- 2º Ensaio – alguns tetrápodes em que os elementos foram colocados à mão, um a um, distribuindo os blocos das várias cores por todo o talude, com uma agitação incidente de 2.5 m;
- 3º Ensaio – alguns tetrápodes e cubos em que os elementos foram colocados à mão, um a um, distribuindo os blocos das várias cores por todo o talude, com uma agitação incidente de 2.5 m.



Figura 3.4 – Material constituinte do manto protetor: a) enrocamento; b) tetrápodes; c) tetrápodes e cubos.

3.4 Sistema de aquisição e processamento de vídeos e de imagens

A estrutura do sistema de processamento de imagens está representada na Figura 3.5, o diagrama refere as principais operações que se aplicaram nas imagens adquiridas.

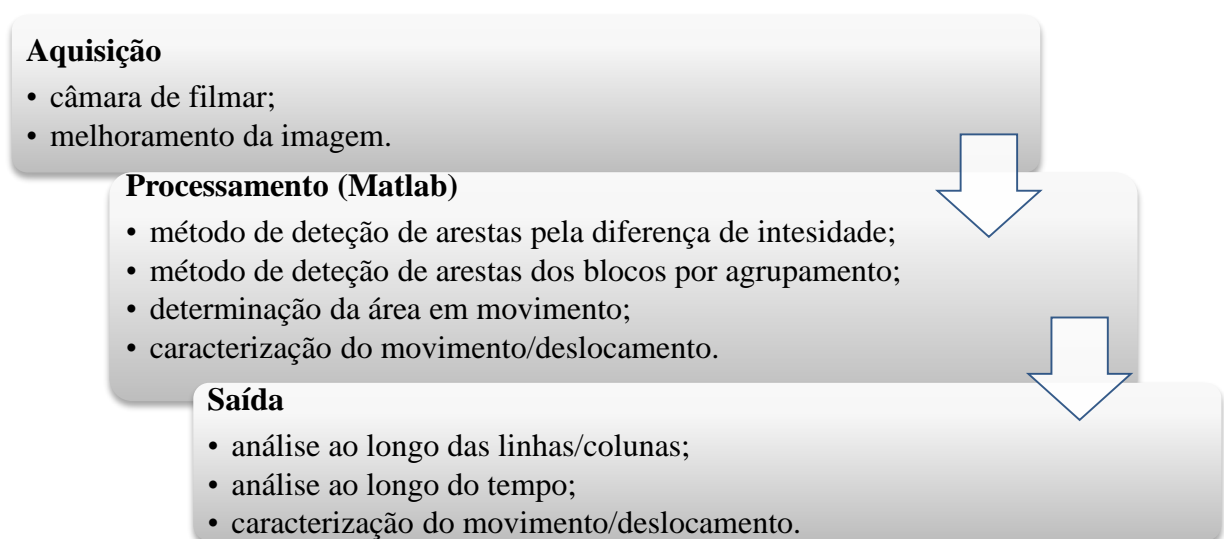


Figura 3.5 – Elementos do sistema do processamento de imagens.

Para as filmagens foi usada uma câmara de filmar Canon modelo LEGRIA HF M56 que obtém vídeos com resolução de 1080 por 1920 *pixels*. Foram filmados os ensaios e cada um deles com duração aproximada de 30 minutos. Posicionou-se a câmara com um suporte estável e usou-se um holofote de luz homogênea, que foi colocado na parte superior da instalação de modo a garantir o maior contraste possível entre as pedras a analisar, como se pode visualizar na Figura 3.6.



Figura 3.6 - Equipamento de filmagem.

Idealmente, deveriam ter sido pintadas todas as pedras de fundo de branco, a água devia ser o mais limpa possível para se poder validar os resultados quer para o talude submerso ou não. As janelas do laboratório deveriam ter sido devidamente tapadas.

Não se usou o *flash*, pois torna a imagem demasiado branca e brilhante.

Através do *software* Free Video to JPG Converter® (v. 5.0.34.225) extraíram-se as imagens em formato JPG a cada segundo para se fazer uma análise o mais detalhada possível.

3.5 Construção do modelo computacional

3.5.1 Algoritmo, descrição e organização

Foram ensaiadas várias metodologias programando diferentes *scripts* em Matlab®, tais como a deteção dos limites dos blocos pela diferença; deteção do movimento pela diferença de *pixels* entre 2 instantes; método de deteção de blocos por agrupamento de *pixels*; quantificação da área que se moveu e caracterização do movimento.

As diferentes metodologias foram ensaiadas para partes específicas de imagens e para as imagens completas, em três ensaios.

3.5.2 Processos de melhoramento de imagem

A função *rgb2gray* permite converter as imagens RGB para a escala de cinzentos eliminando a matriz de intensidade espectral da cor e a saturação, mantendo apenas a luminosidade (Anon., 1994-2014). É notória a conversão, a imagem fica mais brilhante, mais clara como se pode verificar na Figura 3.7



Figura 3.7 – Imagem do talude: a) inicial; b) convertida para uma escala de cinzentos.

Antes de iniciar este processo, é necessário recorrer-se a um filtro de modo a limpar a imagem o mais possível. Foi aplicado o filtro da mediana, cuja operação é não-linear. Esta operação é muito usada no processamento de imagens para reduzir o ruído “*salt and pepper*”, para este caso de estudo, é o filtro mais aconselhável, pois há conservação das bordas. O comando que permite esta operação no Matlab® é o *medfilt2*. A imagem sem tratamento está representada na Figura 3.8.a) e a imagem com o filtro da mediana corresponde à Figura 3.8.b).

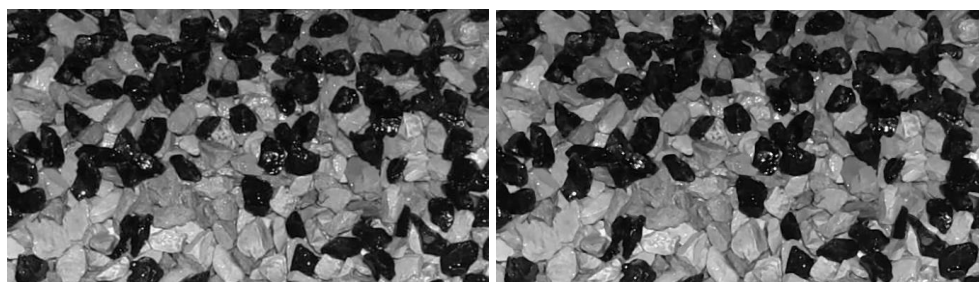


Figura 3.8 – Imagem dos blocos: a) sem filtro; b) com filtro.

3.5.3 Método de deteção de arestas pela diferença de intensidade entre *pixels*

As arestas ou contornos dos blocos podem ser detetadas pela diferença de intensidade entre *pixels* vizinhos. A Figura 3.9 apresenta uma imagem simples em que na representação da

imagem em *array*, no formato *unit8*, os *pixeis* da zona branca são representados pelo número 256 e os *pixeis* a preto pelo número 0. A deteção do contorno do bloco foi analisada para esta imagem através da escolha de dois parâmetros: o número de *pixeis* considerado para o contorno (4) e a diferença de *pixeis* (200). Os valores destes parâmetros podem ser ajustados.

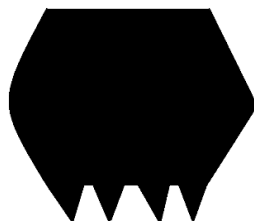


Figura 3.9 – Imagem para testar a deteção de arestas.

Na Figura 3.10, as arestas estão definidas com exatidão.

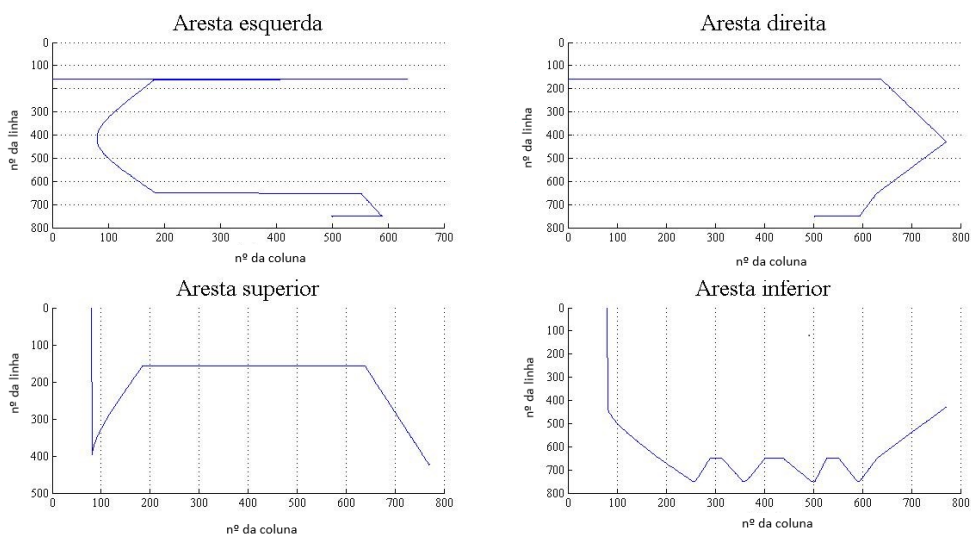


Figura 3.10 – Arestas detetadas.

Para um objeto simples, o código da deteção de arestas é eficaz. Nas imagens extraídas das filmagens realizadas no LNEC, como se pode visualizar na Figura 3.11, as pedras de fundo não são totalmente brancas. Especialmente, as arestas das pedras que não foram pintadas interferem com a deteção pretendida. Por outro lado, quando as pedras se encontram submersas a deteção de aresta exige um maior cuidado, a diferença de intensidade entre *pixeis* vizinhos de 200 no teste teve de ser adaptado e testado novamente.



Figura 3.11 – Imagem do ensaio de enrocamento.

A deteção de arestas tem uma série de obstáculos. Cada bloco tem de ser analisado separadamente. Para o caso específico da Figura 3.12.a), cujo *array* é do tamanho [90;90], cada aresta tem de ser detetada separadamente. Por exemplo, para a aresta da direita, através de um ciclo *for*, é fixado cada linha e posteriormente é percorrido todos os elementos das diferentes colunas. Como o *pixel* é a unidade mais pequena de uma imagem, por vezes a diferença entre um *pixel* e o *pixel* da mesma linha na coluna imediatamente a seguir não é suficiente, como se pode verificar na Figura 3.12.b), optou-se por fazer uma diferença de seis *pixeis*, este valor foi devidamente testado, podendo ser ajustado.



Figura 3.12 – Imagem de um bloco: a) bloco; b) pormenor do bloco.

O valor da diferença de *pixeis* é variável e deve ser testado para melhorar os resultados. Na Figura 3.13 e na Figura 3.14 foi analisado o valor de 60 e 80, respetivamente.

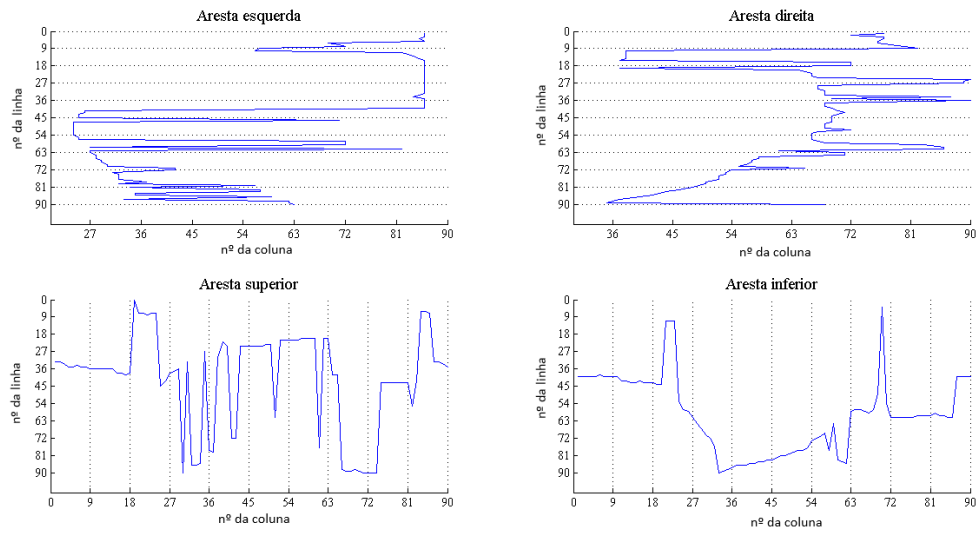


Figura 3.13 – Detecção das arestas com uma diferença de *pixels* de 60.

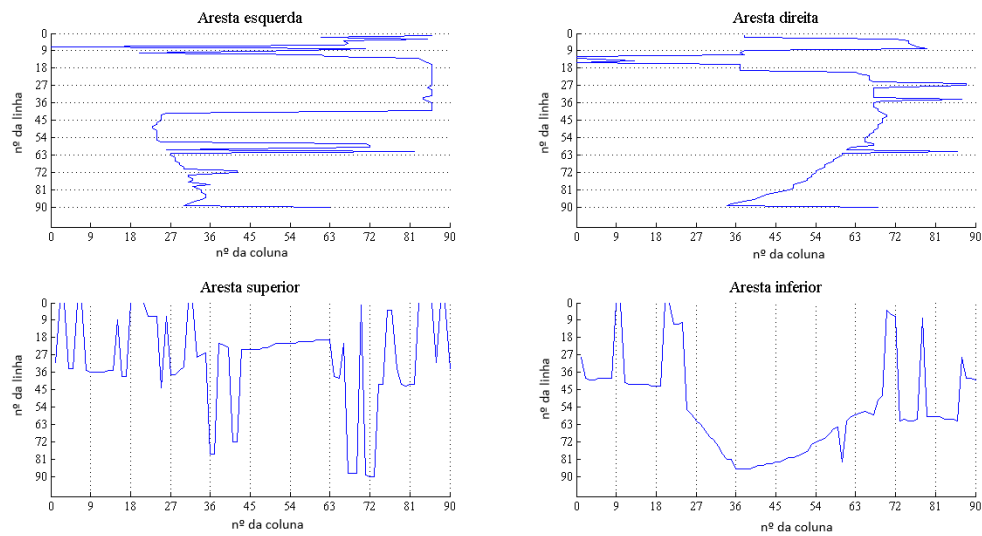


Figura 3.14 - Detecção das arestas com uma diferença de *pixels* de 80.

Para os restantes ensaios verificou-se a mesma situação, testou-se o modelo para um tetrápode e para um cubo presente numa imagem relativa ao terceiro ensaio, Figura 3.15.



Figura 3.15 – Imagem de um bloco: a) tetrápode; b) cubo.

Além das pedras de enrocamento de fundo, os blocos das outras cores prejudicam também o resultado final, como se pode verificar na Figura 3.16 e na Figura 3.17, com um valor de diferença de intensidade entre de *pixels* de 80.

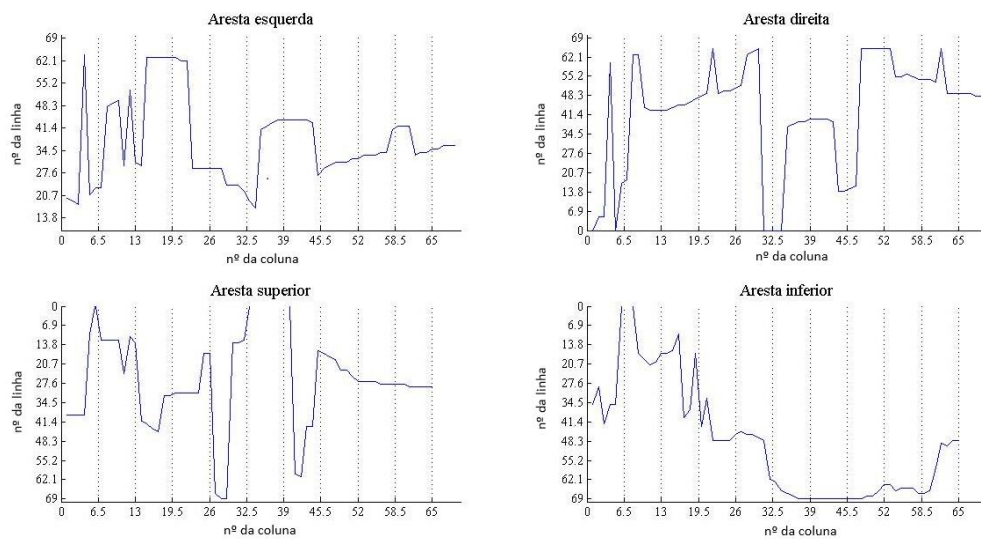


Figura 3.16 - Detecção das arestas, de um tetrápode, com uma diferença de *pixels* de 80.

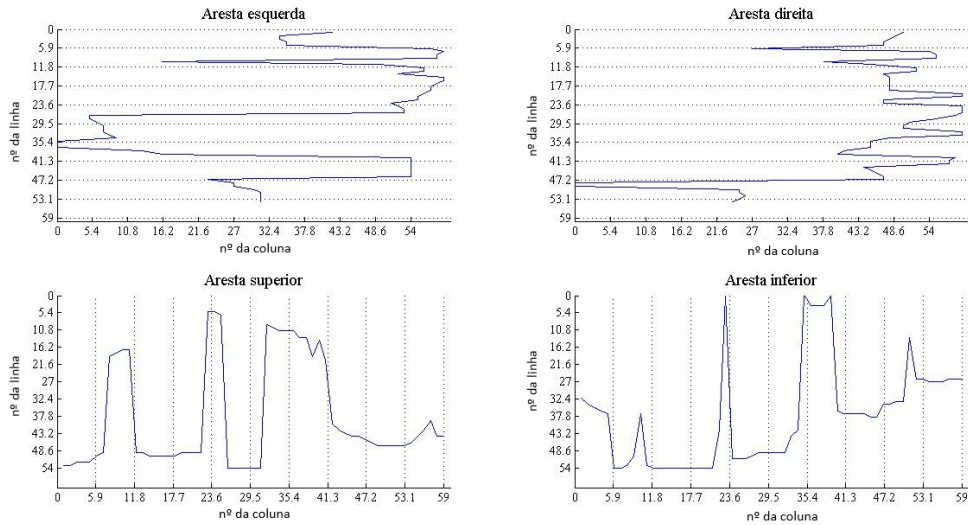


Figura 3.17 - Detecção das arestas, de um cubo, com uma diferença de *pixels* de 80.

Verificou-se que este procedimento assim aplicado apresenta algumas falhas, devido à falta de definição de arestas dos blocos no talude.

3.5.4 Método de deteção de blocos por agrupamento de *pixels*

O comando *k-means* do Matlab®, permite agrupar *pixels* conforme a intensidade de uma imagem em *k cluster*, segmentando a imagem em *k* regiões. Foi testado para o bloco da Figura 3.12, onde a matriz de cor RGB foi convertida para $L^*a^*b^*$ (CIELAB/CIE $L^*a^*b^*$), de modo a eliminar alguns entraves, como o brilho. Esta escala trata-se de um espaço tridimensional com as coordenadas L^* , a^* e b^* que representam a luminosidade, índice de vermelho e índice de amarelo, respetivamente (Sanches, 2011). Escolheu-se 2 *clusters*, inicialmente, com o objetivo de agrupar as pedras pretas e as restantes formariam outra mancha. Assim, a cada *pixel* é atribuído um índice do *cluster* correspondente, como se pode visualizar na Figura 3.20.

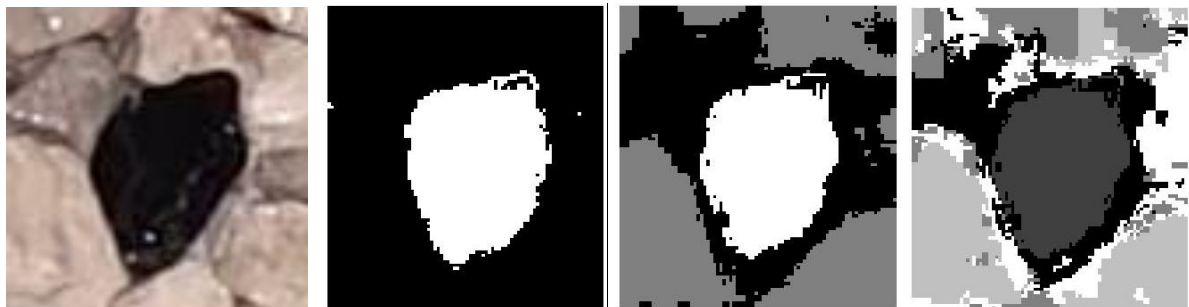


Figura 3.18 – Imagem de uma pedra: a) $k=2$; b) $k=3$; c) $k=4$.

O k de valor 2 foi o que se ajustou melhor para delinear a pedra preta, o agrupamento a branco é bastante semelhante à imagem inicial.

3.5.5 Método de detecção de arestas dos blocos por agrupamento de *pixels* e diferença de intensidade

Destacando a pedra do meio envolvente é possível aplicar o método anterior da detecção de arestas. Assim, obtiveram os contornos representadas na Figura 3.19.

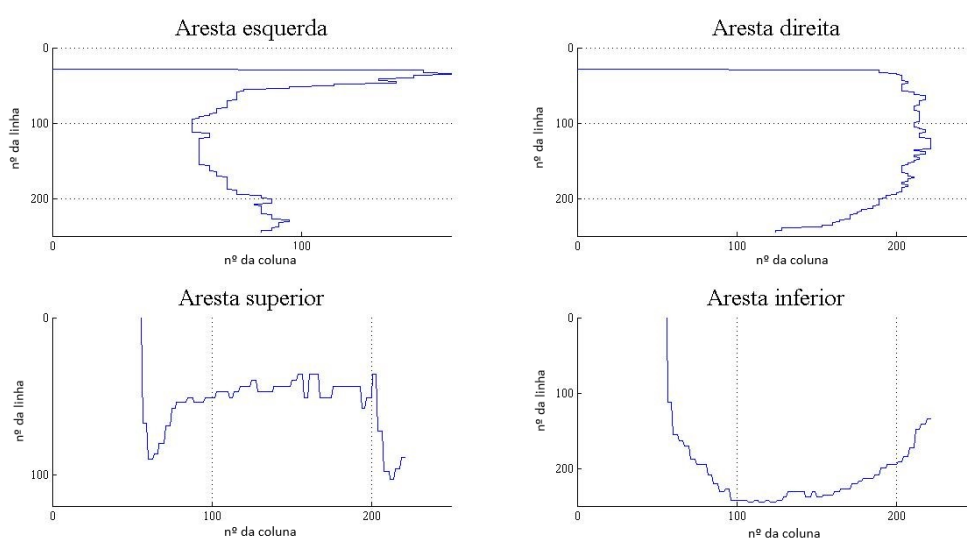


Figura 3.19 – Detecção das arestas da mancha da pedra.

Após verificar a funcionalidade deste novo método, aplicou-se para a Figura 3.11 e obtiveram-se as manchas apresentadas na Figura 3.20.



Figura 3.20 – Manchas no talude, enrocamento: a) $k=2$; b) $k=3$.

Para uma identificação mais pormenorizada dos blocos é preferível pintar blocos de várias cores e fazer a análise dos blocos por cores. Assim, para os blocos apresentados na Figura 3.15, pode ser efetuada uma identificação prévia dos blocos e uma análise separativa (preto, vermelho e verde). Para o exemplo do cubo, o resultado dos vários *clusters* está representado na Figura 3.21



Figura 3.21 – Imagem de um cubo: a) imagem original; b) k=3; c) k=4; d) k=19.

Neste caso, para identificar melhor a cor verde e vermelha o k igual a 3 é o mais apropriado e o bloco preto está melhor definido com o k de 19. As imagens têm de ser modificadas para matrizes binárias. Por exemplo, o cubo identificado a cinza tem de ser ainda tratado, para se poder aplicar o método da deteção de aresta. Para isso foi criado um ciclo *for* para que se isolasse o cinza correspondente. Os *pixels* maiores que 114 e menores que 113 foram alterados para branco (256). As diferentes manchas estão representadas na Figura 3.22.



Figura 3.22 – Manchas: a) tetrápode vermelho; b) tetrápode verde; c) cubo preto.

Aplicou-se novamente o método para o talude na totalidade, obteve-se os resultados apresentados na Figura 3.23.

Repetiu-se o mesmo processo para os tetrápodes, Figura 3.24. Para o tetrápode identificado a preto foi criado um ciclo *for* para isolar o preto. Os *pixels* maiores que 0 foram alterados para branco 256. As diferentes manchas de todos os tetrápodes estão representados na Figura 3.25.

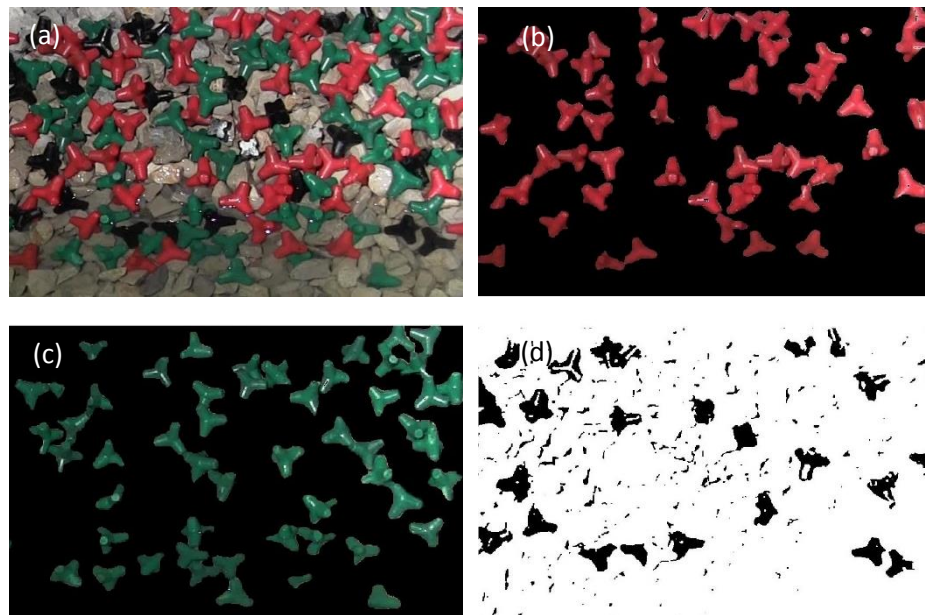


Figura 3.23 – Manchas no talude, terceiro ensaio: a) imagem original; b) tetrápodes vermelhos; c) tetrápodes verdes; d) tetrápodes e cubos pretos.

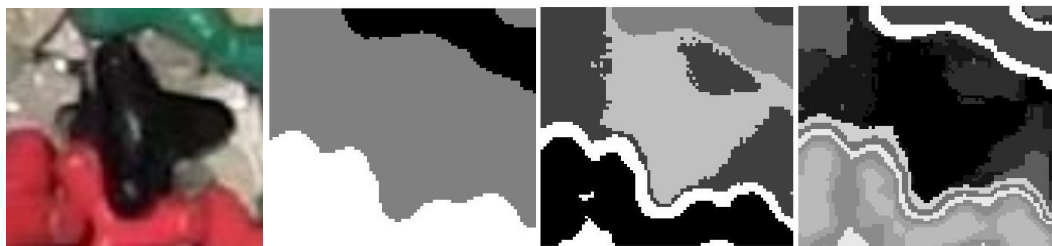


Figura 3.24 – Imagem dos tetrápodes: a) imagem original; b) $k=3$; c) $k=5$; d) $k=12$.

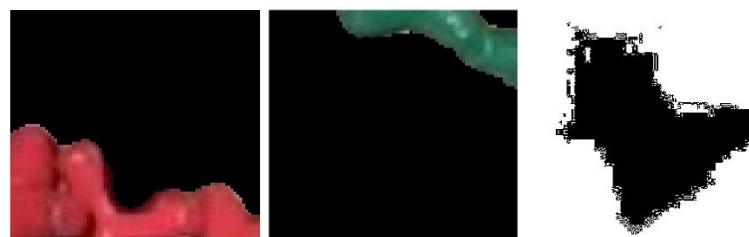


Figura 3.25 – Manchas dos tetrápodes separados: a) vermelho; b) verde; c) preto.

Para comprovar este método e a utilidade para a detecção de arestas, testou-se para o tetrápode identificado a preto. Assim, obteve-se os resultados representados na Figura 3.26.

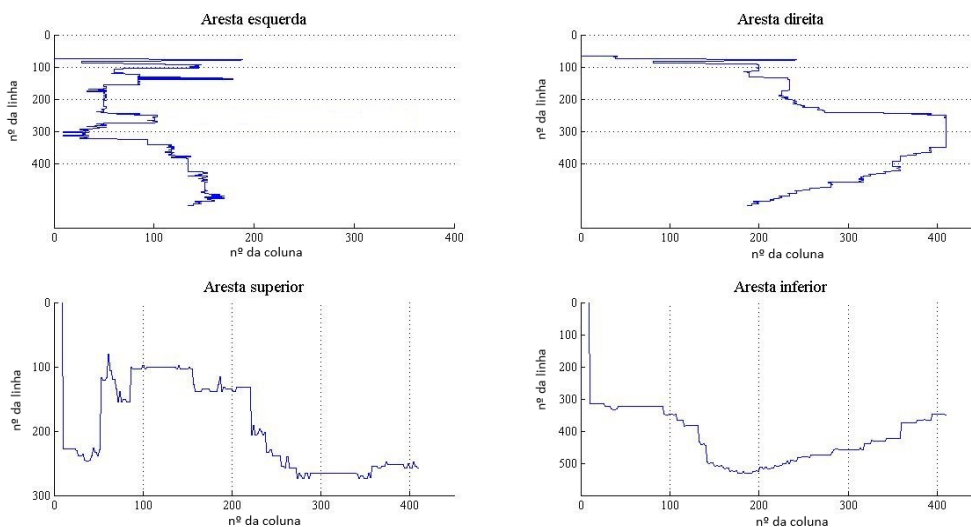


Figura 3.26 – Detecção de arestas de um tetrápode preto (mancha).

3.5.6 Determinação da área em movimento pela diferença de imagens

Optou-se por testar a diferença de duas imagens correspondentes a dois instantes, e testou-se para duas imagens apresentadas na Figura 3.11, correspondente ao instante inicial, e na Figura 3.27, correspondente ao instante final. A matriz das duas imagens tem 1080 linhas e 1920 colunas, de modo a eliminar os obstáculos, restringiu-se a área de estudo, eliminou-se as paredes do canal, a parte inferior do talude e a parte superior do manto. Assim, a matriz foi analisada entre a linha 150 e 500 e a coluna 600 e 1300.

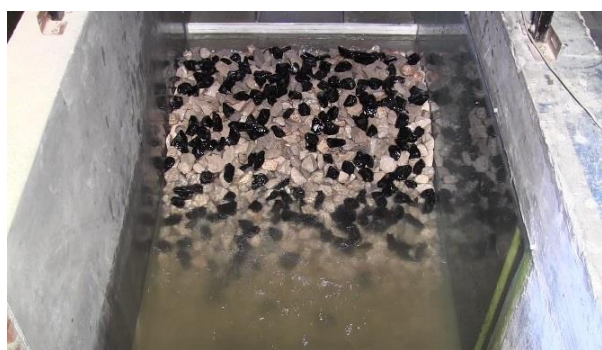


Figura 3.27 - Imagem de um instante posterior.

Ao fazer a diferença de imagens, obtém-se uma imagem cujos *pixels* resultam da diferença das duas anteriores. Assim, os *pixels* que apresentam um valor nulo ou muito próximo de zero

correspondem a locais onde não ocorreu movimento. Por outro lado, onde se regista uma maior diferença apresentam valores elevados e são representados a branco.

Para determinar a matriz que represente o que desapareceu, Figura 3.28.a), à imagem final subtrai-se a imagem inicial e para representar o que apareceu, Figura 3.28.b), à imagem inicial subtrai-se a imagem final.

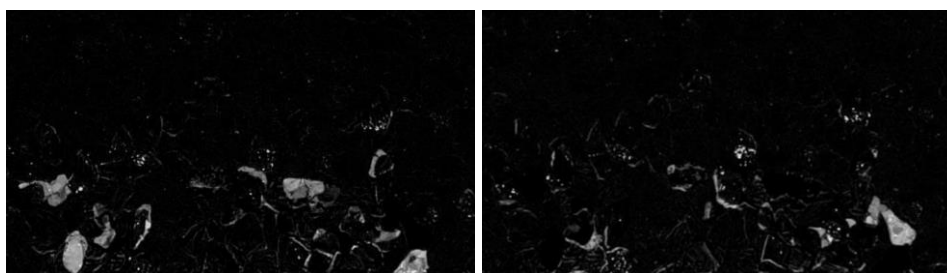


Figura 3.28 – Detecção de movimentos: a) desapareceu; b) apareceu.

De uma forma mais perceptível, através do *contour* do Matlab®, é possível como exemplificado na Figura 3.29, obter o resultado da figura inicial (na Figura 3.11 trabalhada) e final (Figura 3.27) e ainda as imagens provenientes das duas subtrações (Figura 3.28.a) e Figura 3.28.b)).

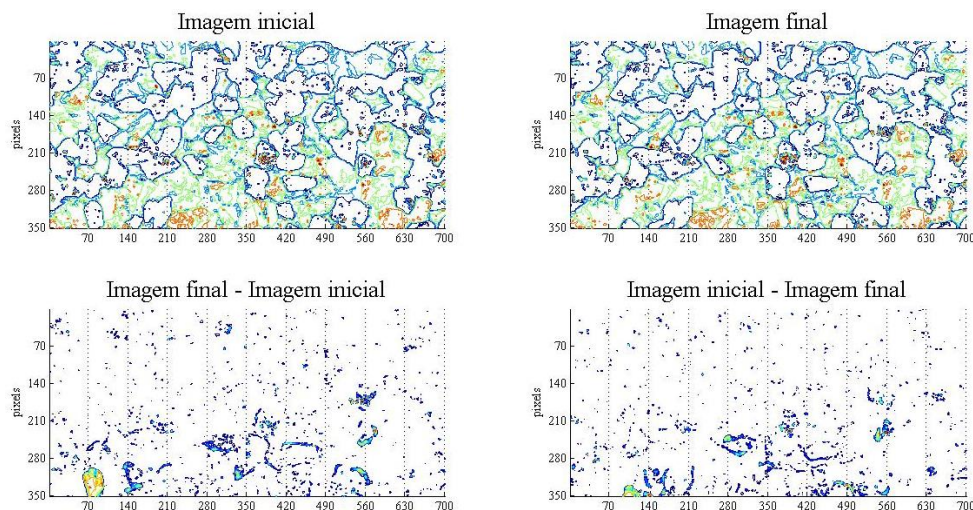


Figura 3.29 – Gráficos obtidos através do comando *contour* do Matlab®, do primeiro ensaio.

Repetiu-se o mesmo processo para os restantes ensaios, cortando as imagens em conformidade com os obstáculos existentes. As imagens do segundo ensaio foram consideradas lendo-se desde a linha 200 à 500 e desde a coluna 800 à 1400 e as imagens do terceiro ensaio entre a

linha 250 e 580 e a coluna 910 e 1600, como se pode visualizar na Figura 3.30 e na Figura 3.31, respetivamente.

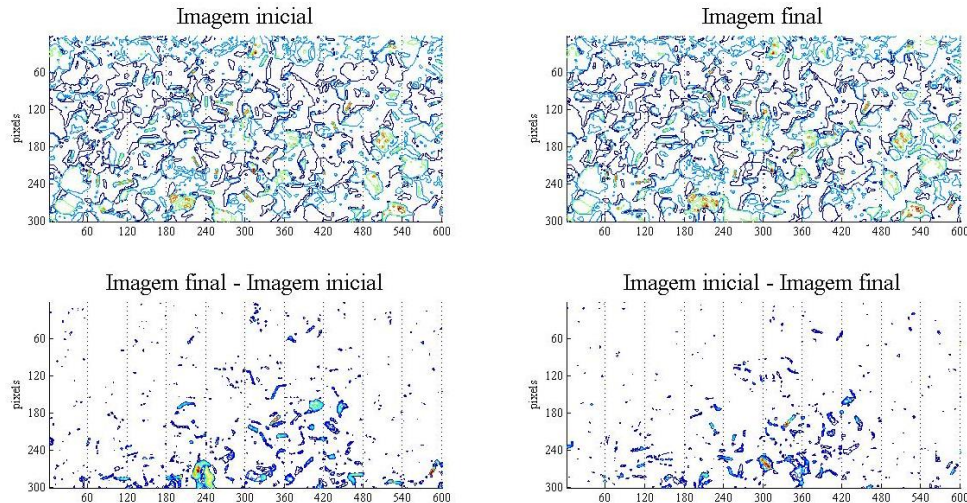


Figura 3.30 – Gráficos obtidos através do comando *contour* do Matlab®, do segundo ensaio.

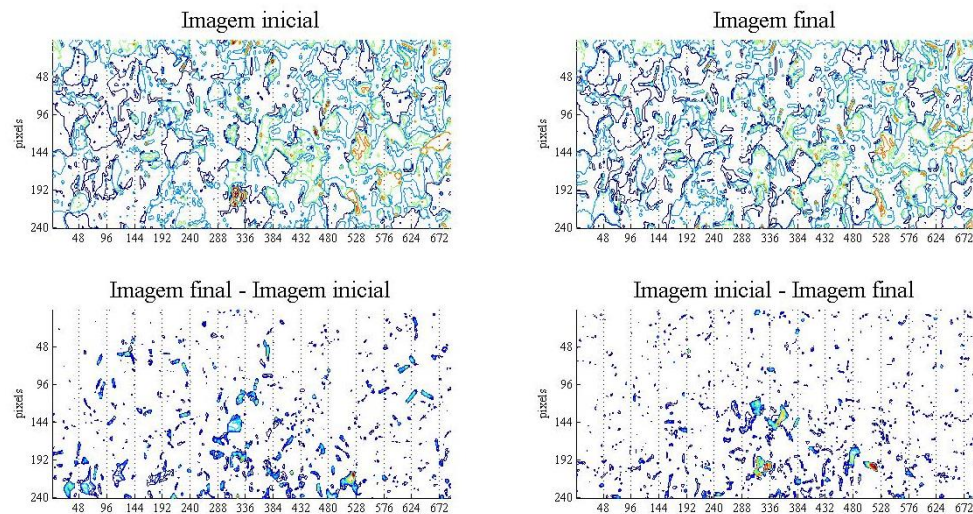


Figura 3.31 – Gráficos obtidos através do comando *contour* do Matlab®, do terceiro ensaio.

Com as imagens/matrices que representam a área que se moveu (apareceu e desapareceu), é possível analisar o número de *pixels* que variou e localizá-los na zona do talude através da identificação do(s) *pix (el/eis)* na linha e coluna das matrices das subtrações superiores a um certo valor; identificar onde se registam mais deslocações, bem como análises ao longo do tempo.

Para determinar a área de blocos onde ocorreu movimento, é necessário saber o tamanho do *pixel* e o número de *pixeis* alterados nas duas imagens. Para somar os *pixeis* que desapareceram, na matriz que deteta o que desapareceu, somou-se todos os elementos superiores a um determinado valor estipulado.

Para o caso do número de *pixeis* que apareceram repetiu-se o mesmo processo para a matriz que deteta o que apareceu.

Para uma análise ao longo do tempo, através de um ciclo percorreu-se todas as imagens ao longo do ensaio e assim obteve-se um gráfico onde se visualiza o número de *pixeis* que se moveram ao longo do tempo. De realçar que o processamento, neste passo, é bastante mais moroso, pois o programa está a analisar 1337, 2136 e 2081 imagens para o ensaio de enrocamento, tetrápodes e tetrápodes e cubos, respetivamente.

3.5.7 Caracterização do movimento/deslocamentos

Pode ser importante identificar as zonas específicas onde ocorre movimento de blocos, e caracteriza-lo de modo a saber onde estava e para onde foi o bloco.

O algoritmo desenvolvido está exposto para um caso simples onde se considerou uma figura geométrica e o seu movimento de translação e rotação (Figura 3.32.a) e a Figura 3.32.b)).



Figura 3.32 – Imagem de uma pedra teste: a) posição inicial; b) posição final.

Foi criada uma matriz, Figura 3.33, resultante da diferença das duas matrizes correspondentes às imagens anteriores. A matriz é constituída apenas com -1, 0 e 1 e representa o que desapareceu (-1), manteve (0) e apareceu (1). Com esta matriz é mais perceptível analisar o deslocamento, comprovando-se que ambas as imagens analisadas apresentam o mesmo número de *pixeis* pretos e brancos.

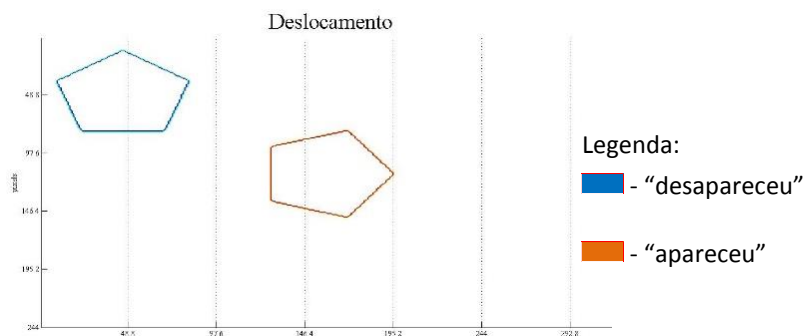


Figura 3.33 – Deslocamento da pedra teste.

O movimento do centro geométrico dos blocos em cada instante e o seu deslocamento nos sucessivos instantes são parâmetros importantes que caracterizam o movimento do bloco. Também podem ser definidas outras características do movimento e dos blocos antes e depois da movimentação: a área, perímetro, comprimento e largura. Estes dados são obtidos automaticamente através de comandos do MatLab® – *regionprops*: com o comando *Area* é possível determinar o número de *pixels* do objeto em estudo; *Perimeter* calcula o contorno do objeto, através do somatório entre cada par adjacente de *pixels* das arestas detetadas; a posição do centro de massa é calculado através do comando *Centroid*, o resultado desta função é um vetor (x,y), sendo x a abcissa e y a ordenada do centro de massa; *MajorAxisLength* calcula o comprimento do maior eixo centrado na região; *MinorAxisLength* calcula o comprimento do menor eixo centrado no objeto; por fim, *Orientation* determina o ângulo entre o eixo das abcissas e o eixo detetado com o comando *MajorAxisLength*, este valor tem de estar compreendido entre -90 e 90 graus.

Para o Matlab® medir o que pretendemos de forma correta, na imagem binário, o objeto tem de estar representado a branco e o restante a preto. Os resultados dos parâmetros aplicados às duas imagens estão representados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Parâmetros antropométricos da pedra teste.

Parâmetros	Figura 1 (<i>pixels</i>)	Figura 2 (<i>pixels</i>)
Área da figura	3505	3505
Área total	78324	78324
% de área	4.4749	4.4749
Perímetro	232.3087	232.3087
Maior eixo	68.2138	68.2138
Menor eixo	66.5165	66.5165
Centro de massa	[46.0265;48.8602]	[158.1398;115.0265]
Orientação	-0.6463	89.3537
Excentricidade	0.2217	0.2217

O deslocamento do centro geométrico foi calculado através da equação (3.1) e o resultado foi de 130.1821 *pixels*.

$$d_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \quad (3.1)$$

Além do centro geométrico, também é importante analisar o deslocamento de determinados pontos como os vértices e das arestas. Os vértices podem ser detetados pelo comando *extrema*, esta função gera um matriz 8 por 2, que especifica os pontos extremos do objeto analisado e é distribuído da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \text{top-left} \\ \text{top-right} \\ \text{right-top} \\ \text{right-bottom} \\ \text{bottom-right} \\ \text{bottom-left} \\ \text{left-bottom} \\ \text{left-top} \end{bmatrix}$$

Na Figura 3.34.a), está representado os extremos de uma região em específico. Por vezes, alguns pontos extremos são coincidentes, como é o caso em análise, Figura 3.34.b).

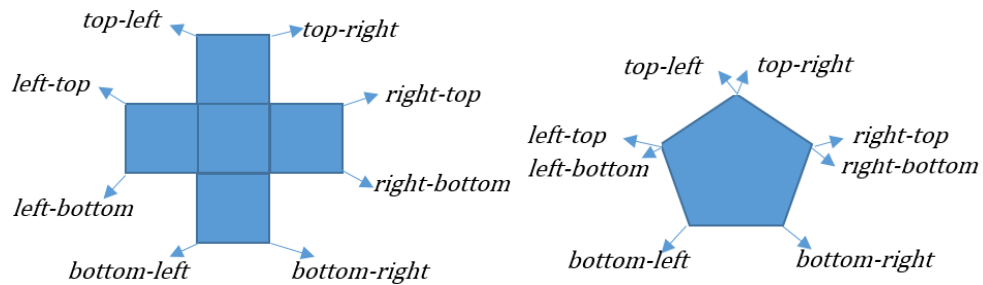


Figura 3.34 – Pontos extremos: a) de uma região em específico; b) da imagem teste.

Através da função *extrema* foram determinados os seguintes extremos, a matriz à esquerda corresponde à imagem inicial e a matriz à direita à imagem final.

$$\begin{bmatrix} 44.5000 & 11.5000 \\ 47.5000 & 11.5000 \\ 82.5000 & 36.5000 \\ 82.5000 & 39.5000 \\ 68.5000 & 79.5000 \\ 23.5000 & 79.5000 \\ 9.5000 & 39.5000 \\ 9.5000 & 36.5000 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 167.5000 & 78.5000 \\ 170.5000 & 78.5000 \\ 195.5000 & 113.5000 \\ 195.5000 & 116.5000 \\ 170.5000 & 151.5000 \\ 167.5000 & 151.5000 \\ 127.5000 & 137.5000 \\ 127.5000 & 92.5000 \end{bmatrix}$$

Calculando o deslocamento dos vértices pela equação (3.1), obteve-se os seguintes resultados:

$$\begin{bmatrix} \text{top-left} \\ \text{top-right} \\ \text{right-top} \\ \text{right-bottom} \\ \text{bottom-right} \\ \text{bottom-left} \\ \text{left-bottom} \\ \text{left-top} \end{bmatrix}_{\text{imagem 1}} = \begin{bmatrix} 140.0643 \\ 140.0643 \\ 136.7406 \\ 136.7406 \\ 124.8519 \\ 160.9969 \\ 153.3884 \\ 130.6139 \end{bmatrix}$$

De seguida, o modelo foi testado para algumas pedras do talude. Entre os 131 segundos e os 133 segundos do primeiro ensaio, uma onda provocou um deslocamento de uma pedra situada entre a linha 400 e 465 e a coluna 900 e 1000, as posições das pedras estão apresentadas na Figura 3.35.

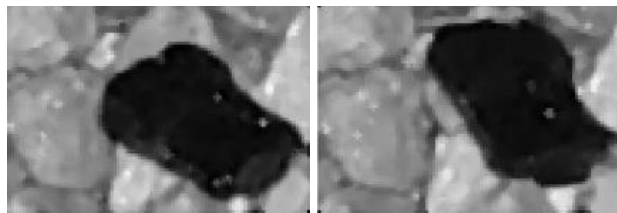


Figura 3.35 – Imagem da pedra: a) instante de 131 segundos; b) instante de 133 segundos.

Ao observar as imagens, é evidente que a pedra sofreu um deslocamento e uma rotação. Os deslocamentos foram identificados com o comando *contour* do Matlab®, esses limites de área são apresentados na Figura 3.36 e na Figura 3.37.

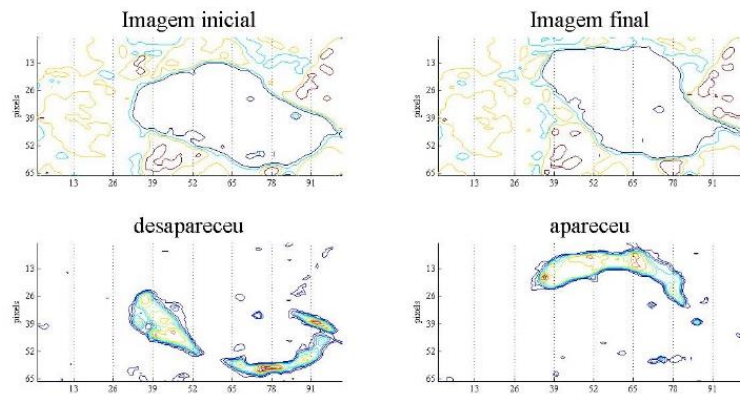


Figura 3.36 – Deslocamento da pedra 1 através do comando *contour* do Matlab®.

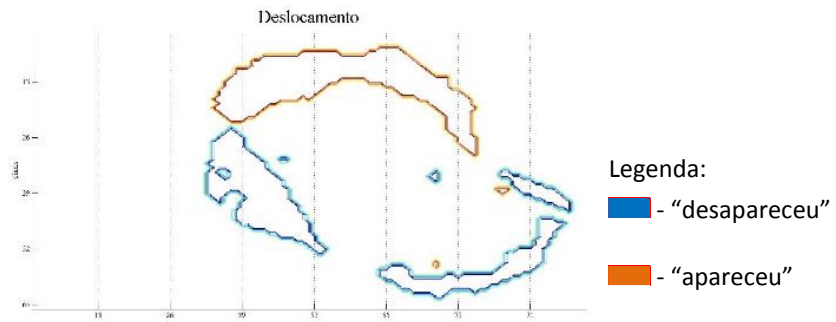


Figura 3.37 – Matriz da pedra 1 de -1, 0 e 1.

Ao converter a imagem de uma escala de cinzentos para uma escala binária recorreu-se ao comando *im2bw* com um fator de 0.25, foram testados outros parâmetro de nível, mas este valor foi o mais aconselhável para a definição da pedra em estudo. A conversão para a escala binária tem um resultado semelhante ao método de deteção de blocos por agrupamento de *pixeis*, mas mais rápido. As imagens na nova escala estão apresentadas na Figura 3.38.



Figura 3.38 – Imagem binária da pedra 1: a) no instante de 131 segundos; b) no instante de 133 segundos.

O tamanho das matrizes criadas teve de ser reajustado, de modo as eliminar os pontos brancos existentes nos limites das imagens, assim a imagem apenas foi percorrida da linha 3 à linha 66 e da coluna 3 à 98. Obteve-se os seguintes parâmetros representados no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Parâmetros antropométricos da pedra 1.

Parâmetros	Figura 1 (<i>pixels</i>)	Figura 2 (<i>pixels</i>)
Área da figura	1977	2011
Área total	6666	6666
% de área	29.6580	30.1680
Perímetro	188.4092	199.8234
Maior eixo	67.3901	66.1025
Menor eixo	39.0928	40.8204
Centro de massa	[62.3692;36.1442]	[62.0776;28.6967]
Orientação	-25.0058	-47.8678
Excentricidade	0.8145	0.7865

O deslocamento do centro geométrico foi calculado através da equação (3.1) e o resultado foi de 7.4532 *pixels*. Através da função *extrema* foram determinados os seguintes extremos, a matriz à esquerda corresponde à imagem inicial e a matriz à direita à imagem final.

$$\begin{bmatrix} 52.5000 & 11.5000 \\ 61.5000 & 11.5000 \\ 96.5000 & 40.5000 \\ 96.5000 & 44.5000 \\ 72.5000 & 60.5000 \\ 67.5000 & 60.5000 \\ 30.5000 & 37.5000 \\ 30.5000 & 28.5000 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} 67.5000 & 1.5000 \\ 69.5000 & 1.5000 \\ 96.5000 & 41.5000 \\ 96.5000 & 43.5000 \\ 71.5000 & 56.5000 \\ 68.5000 & 56.5000 \\ 32.5000 & 18.5000 \\ 32.5000 & 15.5000 \end{bmatrix}$$

Ao comparar as figuras originais desta pedra, nos vários instantes analisados, pode-se verificar que os extremos não são coincidentes. Por exemplo, o extremo identificado como *top-left* na pedra 1 aos 131 segundos não coincide com nenhum extremo detetado aos 133 segundos. Verificou-se que não teve utilidade o uso do comando *extrema* no objecto testado inicialmente.

Foi ainda verificado que a área do objeto detetada, nos dois instantes, em análise, não é coincidente pois a pedra é de forma irregular e sofre rotação (movimentos 3D). Ao contrário do que acontecia nas imagens de teste, os blocos do talude podem rodar em vários planos e pode haver sobreposição das pedras. A rotação no plano x-y do maior eixo foi 22.862 graus.

Repetiu-se o mesmo para outra pedra do primeiro ensaio que se moveu entre os 358 segundos e os 462 segundos, situada entre a linha 430 e 505 e a coluna 670 e 730, as disposições das pedras estão representadas na Figura 3.39.

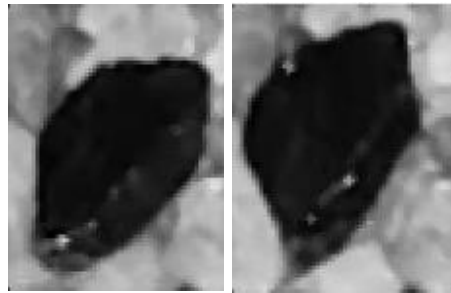


Figura 3.39 – Imagem da pedra 2: a) no instante de 358 segundos; b) no instante de 462 segundos.

Os deslocamentos identificados com o comando *contour* do Matlab® estão apresentados na Figura 3.40 e na Figura 3.41.

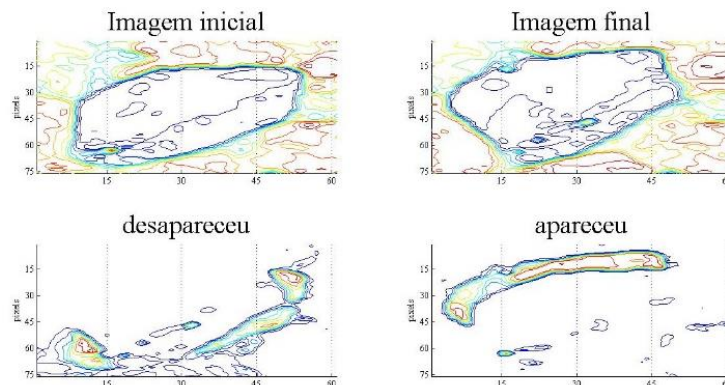


Figura 3.40 – Deslocamento da pedra 2 através do comando *contour* do Matlab®.

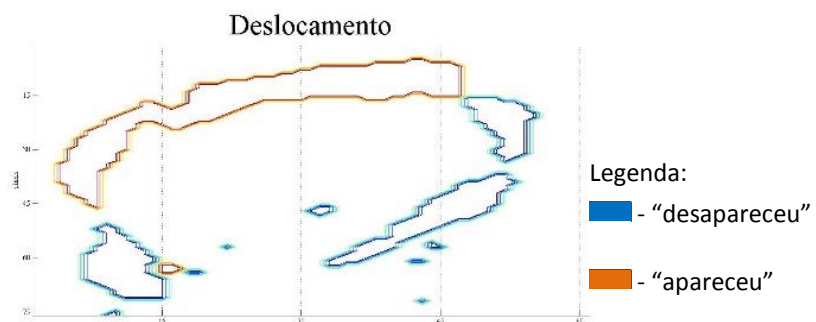


Figura 3.41 – Matriz da pedra 2 com -1, 0 e 1.

Para converter a escala de cores recorreu-se ao comando *im2bw* e o fator usado foi de 0.25, também é o mais indicado para a segunda pedra em análise. Esta imagem foi testada no processo de detecção de arestas por agrupamentos de *pixeis*, comparando os resultados, pode-se verificar

que a escala binária acaba por definir melhor a pedra. As imagens na nova escala são apresentadas na Figura 3.42.



Figura 3.42 – Imagem binária da pedra 2: a) no instante de 358 segundos; b) no instante de 462 segundos.

Para esta pedra, o tamanho das matrizes também foi reajustado, mas neste caso, da linha 5 à linha 71 e da coluna 3 à 59. Obteve-se os seguintes parâmetros representados no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Parâmetros antropométricos da pedra 2.

Parâmetros	Figura 1 (<i>pixeis</i>)	Figura 2 (<i>pixeis</i>)
Área da figura	1842	1956
Área total	4636	4636
% de área	39.7325	42.1915
Perímetro	204.0660	195.8234
Maior eixo	61.4719	62.7003
Menor eixo	38.9046	41.3645
Centro de massa	[28.2172;36.4881]	[25.4877;30.6846]
Orientação	54.6924	69.7343
Excentricidade	0.7742	0.7515

O deslocamento do centro geométrico foi calculado através da equação (3.1) e o resultado foi de 6.4133 *pixeis*. Através da função *extrema* foram determinados os seguintes extremos, a matriz à esquerda corresponde à imagem inicial e a matriz à direita à imagem final.

$$\begin{bmatrix} 39.5000 & 10.5000 \\ 41.5000 & 10.5000 \\ 52.5000 & 16.5000 \\ 52.5000 & 25.5000 \\ 18.5000 & 67.5000 \\ 13.5000 & 67.5000 \\ 6.5000 & 59.5000 \\ 6.5000 & 34.5000 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 36.5000 & 1.5000 \\ 42.5000 & 1.5000 \\ 48.5000 & 21.5000 \\ 48.5000 & 31.5000 \\ 19.5000 & 66.5000 \\ 17.5000 & 66.5000 \\ 2.5000 & 36.5000 \\ 2.5000 & 28.5000 \end{bmatrix}$$

Mais uma vez, o calculo dos extremos não foi eficaz pela mesma razão da pedra estudada anteriormente. A área e o perímetro do objeto nos dois instantes estudados não é coincidente devido à rotação nos vários planos e à sobreposição das pedras. A rotação no plano x-y do eixo maior foi de 15.0419 graus.

A irregularidade da pedra também é um factor que contribui para que os extremos não sejam comparáveis, foi então testado para um cubo Antifer, do terceiro ensaio, para o instante de 6 segundos e 30 segundos. O cubo encontra-se entre a linha 395 e 450 e a coluna 1270 e 1345, as disposições das pedras estão representadas na Figura 3.43.

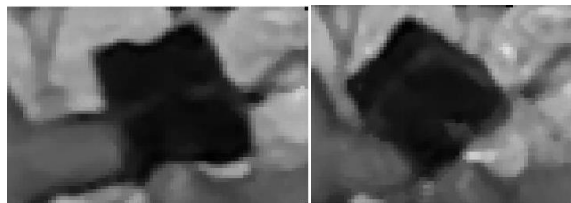


Figura 3.43 – Imagem do cubo Antifer do terceiro ensaio: a) no instante de 6 segundos; b) no instante de 30 segundos.

Através do comando *contour* do Matlab®, mencionado anteriormente, obteve-se a Figura 3.44 e a Figura 3.45.

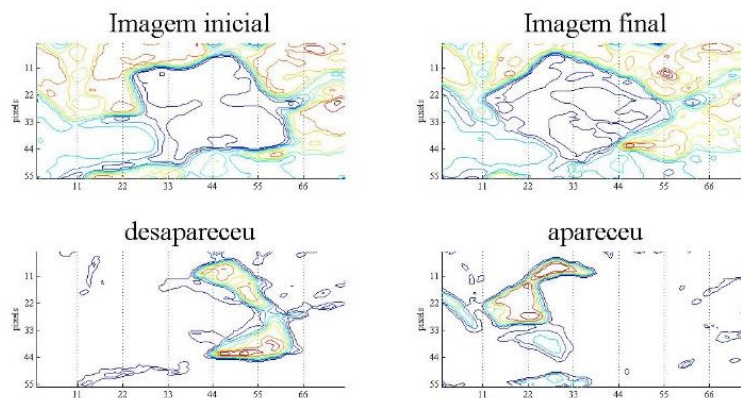


Figura 3.44 – Deslocamento do cubo Antifer do terceiro ensaio através do comando *contour* do Matlab®.

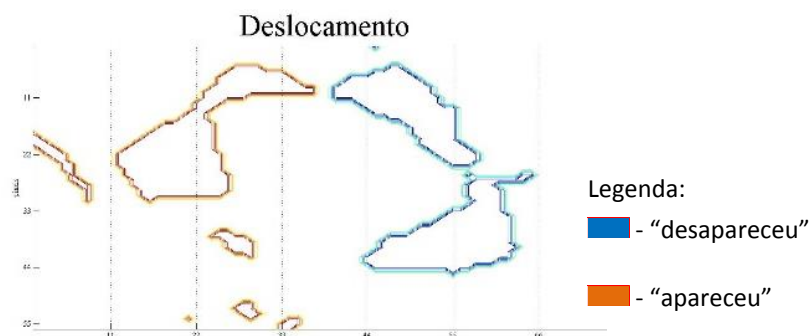


Figura 3.45 – Matriz do cubo Antifer do terceiro ensaio de -1, 0 e 1.

A escala de cores foi convertida para uma escala só com 0 e 1, de forma idêntica às outras pedras analisadas anteriormente. As imagens para a nova escala estão apresentadas na Figura 3.46.



Figura 3.46 – Imagem binária do cubo Antifer do terceiro ensaio: a) no instante de 6 segundos; b) no instante de 30 segundos.

Existe muitos obstáculos em torno do cubo, de modo a corrigir as interferências causadas pelas restantes pedras eliminou-se manualmente o que prejudicava na detecção dos verdadeiros extremos do cubo. Assim, obteve-se a Figura 3.47.

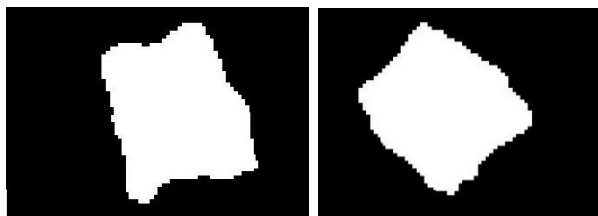


Figura 3.47 – Imagem binária do cubo Antifer do terceiro ensaio corrigida: a) no instante de 6 segundos; b) no instante de 30 segundos.

Obteve-se os seguintes parâmetros antropométricos representados no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Parâmetros antropométricos do cubo.

Parâmetros	Figura 1 (<i>pixels</i>)	Figura 2 (<i>pixels</i>)
Área da figura	24234	24405
Área total	55471	55471
% de área	43.6877	43.9960
Perímetro	707.7473	703.0854
Maior eixo	197.6548	189.4310
Menor eixo	166.5469	169.8315
Centro de massa	[152.0753;114.5201]	[107.6765;110.1893]
Orientação	-66.4674	-35.2786
Excentricidade	0.5385	0.4430

O deslocamento do centro geométrico foi determinado através da equação (3.1), cujo resultado foi 44.6095 *pixels*. Através da função *extrema* foram determinados os seguintes extremos, a matriz à esquerda corresponde à imagem inicial e a matriz à direita à imagem final.

$$\begin{bmatrix} 159.500 & 12.5000 \\ 180.5000 & 12.5000 \\ 245.5000 & 170.5000 \\ 245.5000 & 177.5000 \\ 120.5000 & 218.5000 \\ 109.5000 & 218.5000 \\ 66.5000 & 75.5000 \\ 66.5000 & 49.5000 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 81.5000 & 7.5000 \\ 88.5000 & 7.5000 \\ 213.5000 & 113.5000 \\ 213.5000 & 130.5000 \\ 120.5000 & 213.5000 \\ 113.5000 & 213.5000 \\ 7.5000 & 102.5000 \\ 7.5000 & 86.5000 \end{bmatrix}$$

Mas mais uma vez, a área e o perímetro do objeto, nos dois instantes estudados, não foi coincidente devido à rotação e à sobreposição das pedras. A rotação no plano x-y do eixo maior foi 31.1888 graus.

Este método provou-se não ser viável e neste último caso o processo não é totalmente automático.

3.5.8 Considerações finais sobre os vários métodos

Foram desenvolvidos códigos para identificar as arestas das pedras/dos blocos, conjuntos de blocos/pedras e caracterizar os movimentos das pedras, como está representado na Figura 3.47. Para definir a pedra, o método das arestas não é funcional por si só. Utilizando o método de detecção de blocos por agrupamento de *pixels* previamente a pedra é identificada e com a imagem gerada já é possível detetar as arestas sem interferências significativas. As pedras pretas podem ser melhor identificadas convertendo a escala para binário, o resultado é semelhante ao obtido com o método da detecção de blocos por agrupamentos de *pixels*, é identificado a pedra preta e as restantes pedras são representadas a branco. Com o método das arestas é possível

detetar todos os contornos/arestas da pedra. Este método pode ser desenvolvido para ser aplicável na análise de todas as alterações de uma determinada pedra, como o ângulo de rotação, deslocamento do centro de massa, entre outros.

Na análise global do talude deve ser usado o método das diferenças de imagens, os movimentos são assim detetados quando a diferença é superior a um certo valor estipulado que pode ser ajustado. O deslocamento das pedras pretas pode ser analisado ao longo das linhas e colunas ou tempo permitindo saber as zonas da estrutura que sofrem onde e quando ocorrem maiores movimentos. Podem ser pintados blocos de cores diferentes (pedras/blocos pretas vermelhas e verdes) e individualizados utilizando o método das manchas de modo que os deslocamentos sejam visíveis. Após identificar os deslocamentos no tempo e no espaço é possível caraterizar os movimentos (distância do centro de massa, ângulo, entre outros).

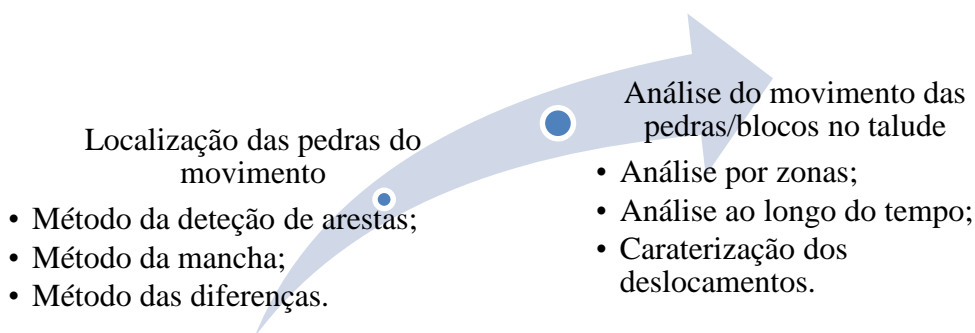


Figura 3.48 – Processamento das imagens.

4 RESULTADOS, ANÁLISE E VALIDAÇÃO

4.1 Validação ao longo das linhas e colunas

4.1.1 Análise e discussão para o primeiro ensaio

O movimento de blocos pode ser apresentado por linhas ou por colunas. Aplicando esta análise entre o instante de 9 segundos e 1337 segundos, com o método das diferenças, obteve-se o resultado apresentado na Figura 4.1. Como se pode verificar, o maior movimento dá-se entre as linhas 230 e 350 da matriz que corresponde à parte inferior do talude.

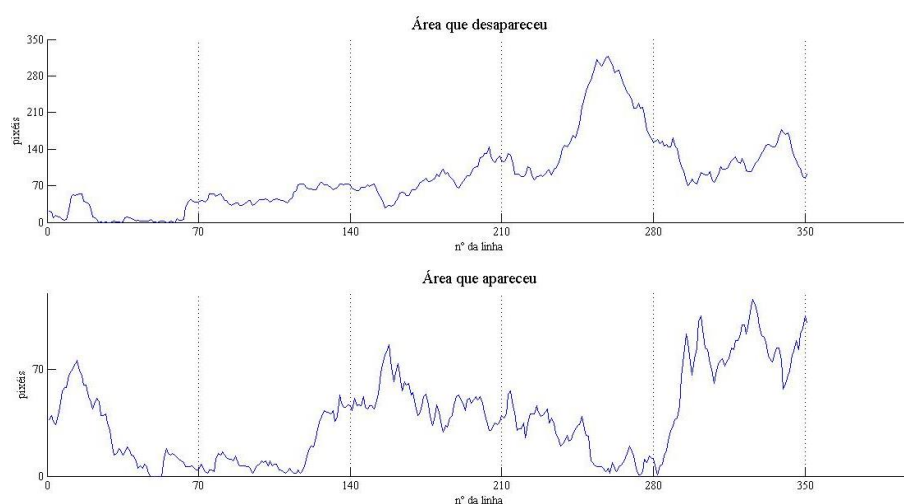


Figura 4.1 – Número de *pixels* que variam ao longo das linhas, no primeiro ensaio, com parâmetro de diferença de 50.

A distribuição ao longo das linhas está de acordo com a esperada, as linhas que apresentam um maior movimento correspondem à zona onde existe rebentação. Ao longo das colunas, o resultado não é tão previsível, Figura 4.2, o movimento é variável, possivelmente devido aos diferentes pesos das pedras e respetiva colocação.

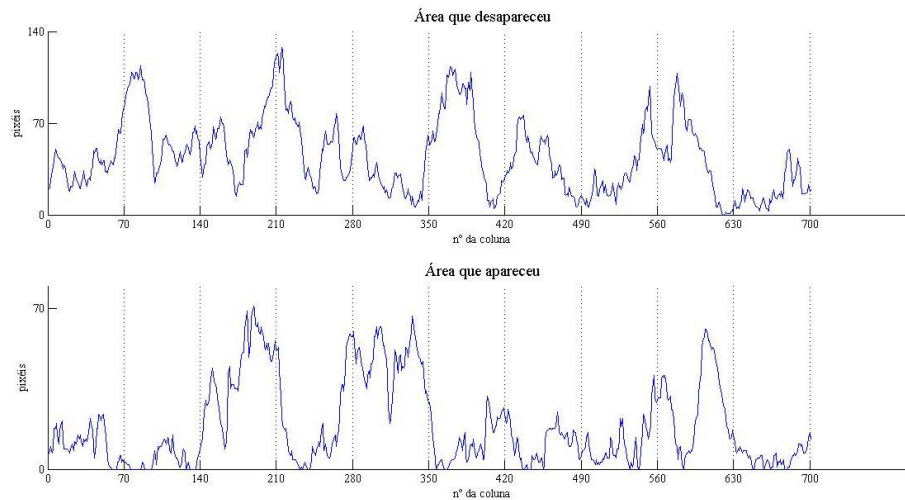


Figura 4.2 – Número de *pixels* que variam ao longo das colunas, no primeiro ensaio, com parâmetro de diferença de 50.

Para comprovar os resultados, analisou-se em pormenor a variação da área ao longo das linhas, especificamente para a linha 252, da Figura 4.1. Foram extraídas as imagens associadas a essa linha, mas para compreender melhor o que passa ao redor desta, analisou-se o intervalo da linha 246 à 257, representado na Figura 4.3 à Figura 4.5.

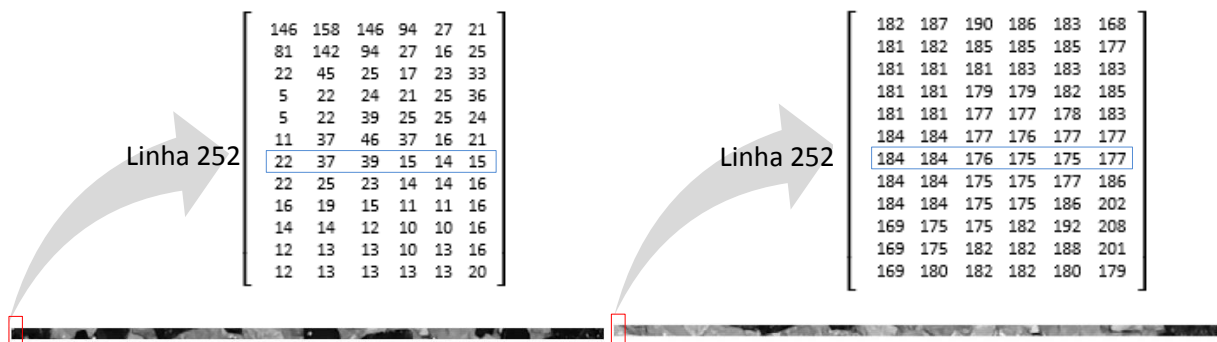


Figura 4.3 – Imagem da linha 246 à 257 com a matriz de um pormenor: a) inicial; b) final.



Figura 4.4 – Imagem do que se moveu (desapareceu), da linha 246 à 257: a) escala de cinza; b) binária, com parâmetro de diferença de 40 *pixels*; c) binária, com parâmetro de diferença de 50 *pixels*; d) binária, com parâmetro de diferença de 60 *pixels*.



Figura 4.5 – Imagem do que se moveu (apareceu), da linha 246 à 257: a) escala de cinza; b) binária, com parâmetro de diferença de 40 *pixels*; c) binária, com parâmetro de diferença de 50 *pixels*; d) binária, com parâmetro de diferença de 60 *pixels*.

As matrizes correspondentes às diferenças de *pixels* entre imagens, numa escala de cinzentos, identificam o que se moveu. O parâmetro da diferença é determinante, tendo sido testados vários valores. O valor de 40 considera movimentos que não são verídicos, associados à presença da água ou reflexos. O valor de 60 não permite detetar alguns movimentos. O valor de 50 mostrou-se o mais adequado. Para calcular o número de *pixels* que correspondem aos locais onde apareceu pedras pretas, pode ser calculado, para a linha 252, bastando somar o número de *pixels* brancos da linha representada na Figura 4.6, cujo resultado é de 283 *pixels* e para calcular o que desapareceu é necessário fazer o somatório de *pixels* brancos da linha representada na Figura 4.7, do qual se obtém o valor de 9 *pixels*, estando ambos os valores de acordo com o gráfico.



Figura 4.6 – Imagem do que se moveu (desapareceu) da linha 252, na escala binário, com parâmetro de 50.



Figura 4.7 – Imagem do que se moveu (apareceu) da linha 252, na escala binário, com parâmetro de 50.

Para além da rotação e da sobreposição das pedras, o movimento destas para fora dos limites escolhidos influencia o fato de a área das pedras pretas e das restantes não serem constantes ao longo de todo o ensaio, como está comprovado no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Áreas do primeiro ensaio.

Pedras	Ensaio 1			
	Figura 1 (<i>pixels</i>)		Figura 2 (<i>pixels</i>)	
	Linhas	Colunas	Linhas	Colunas
Pedras pretas	95660	95716	76593	76555
% Pedras pretas	38.8781	38.9009	31.1289	31.1135
Restantes pedras	150391	150335	169458	169496
% Restantes pedras	61.1219	61.0991	68.8711	68.8865
Área total da imagem	246051	246051	246051	246051

4.1.2 Análise e discussão para o segundo ensaio

Para o segundo ensaio a variação dos blocos, entre o instante de 21 segundos e 2136 segundos, por linhas está representado na Figura 4.8 e na Figura 4.9, por colunas. Ao longo das linhas, o maior movimento registado localiza-se entre a linha 250 e o extremo fixado. A distribuição do movimento, ao longo das colunas, é mais acentuado no meio em relação às laterais.

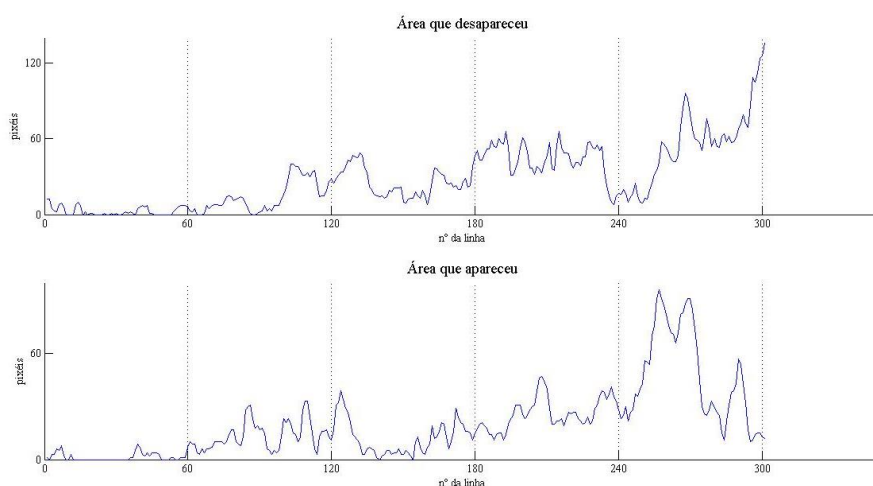


Figura 4.8 – Número de *pixels* que variam ao longo das linhas, do segundo ensaio, com o parâmetro de 50.

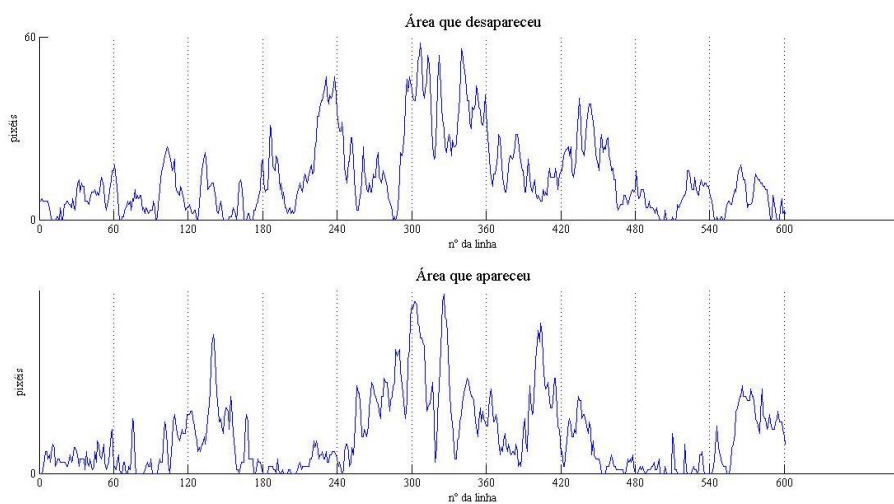


Figura 4.9 – Número de *pixels* que variam ao longo das colunas, do segundo ensaio, com o parâmetro de diferença de 50.

Para este ensaio, também houve movimentos para fora do domínio, como se pode verificar no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Áreas do segundo ensaio.

Pedras	Ensaio 2			
	Figura 1 (<i>pixels</i>)		Figura 2 (<i>pixels</i>)	
	Linha	Coluna	Linha	Coluna
Pedras pretas	26919	26905	25993	26006
% Pedras pretas	14.8805	14.8728	14.3686	14.3758
Restantes pedras	153982	153996	154908	154895
% Restantes pedras	85.1195	85.1272	85.6314	85.6242
Área total da imagem	180901	180901	180901	180901

4.1.3 Análise e discussão para o terceiro ensaio

Foi repetido o mesmo processo para o último ensaio, entre o instante de 21 segundos e 2081 segundos. Os resultados estão representados na Figura 4.10 e na Figura 4.11, o maior movimento regista-se a partir da linha 100 e a variação por colunas, neste caso, é mais homogénia.

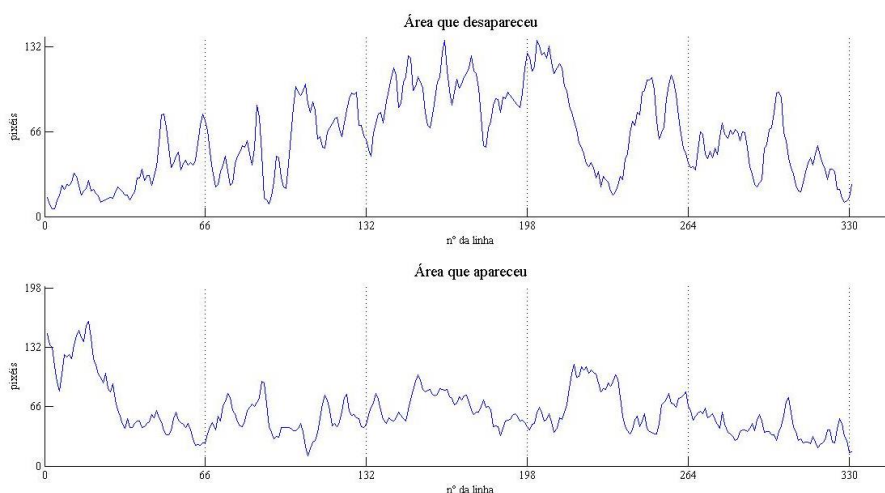


Figura 4.10 – Número de *pixels* que variam ao longo das linhas, do terceiro ensaio, com o parâmetro de diferença de 50.

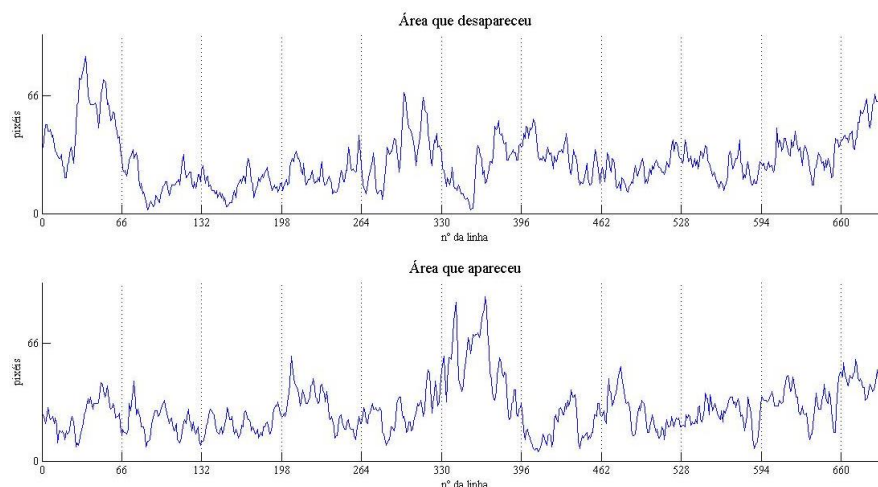


Figura 4.11 – Número de *pixels* que variam ao longo das colunas, do terceiro ensaio, com o parâmetro de diferença de 50.

Ao contrário do que aconteceu nas outras experiências, neste caso o número de pedras pretas aumentaram ligeiramente e as brancas diminuíram. Além da rotação e da sobreposição das pedras, os movimentos para fora dos limites afetam os resultados, como está comprovado no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Áreas do terceiro ensaio.

Pedras	Ensaio 3			
	Figura 1 (<i>pixels</i>)		Figura 2 (<i>pixels</i>)	
	Linhas	Colunas	Linhas	Colunas
Pedras pretas	25781	25750	26197	26227
% Pedras pretas	11.2718	11.2583	11.4537	11.4668
Restantes pedras	202940	202971	202524	202494
% Restantes pedras	88.7282	88.7417	88.5463	88.5332
Área total da imagem	228721	228721	228721	228721

4.2 Validação ao longo do tempo

4.2.1 Análise e discussão para o primeiro ensaio

Outro dos objetivos era analisar a variação do movimento ao longo do tempo. Para isso é necessário definir uma imagem de referência que deve ser a imagem antes do ensaio, a primeira imagem sem água. Outro parâmetro importante é o valor da diferença de *pixels* entre imagens, que define a parte dos blocos que aparecem e desapareceram. Para o primeiro ensaio realizado,

variando este último valor, obteve-se os resultados apresentados na Figura 4.12, Figura 4.13 e na Figura 4.14 correspondendo ao parâmetro de diferença de 50, 90 e 140, respetivamente.

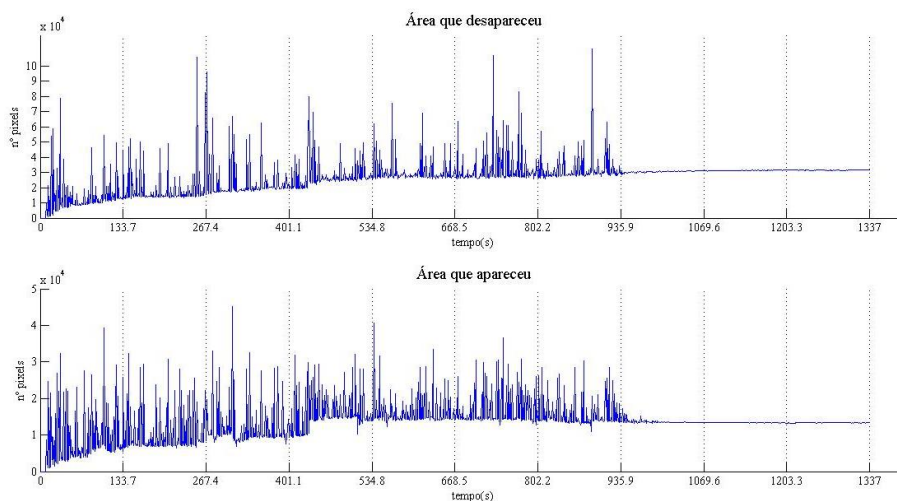


Figura 4.12 – Variação da área ao longo do tempo, do primeiro ensaio, com o parâmetro de diferença de 50.

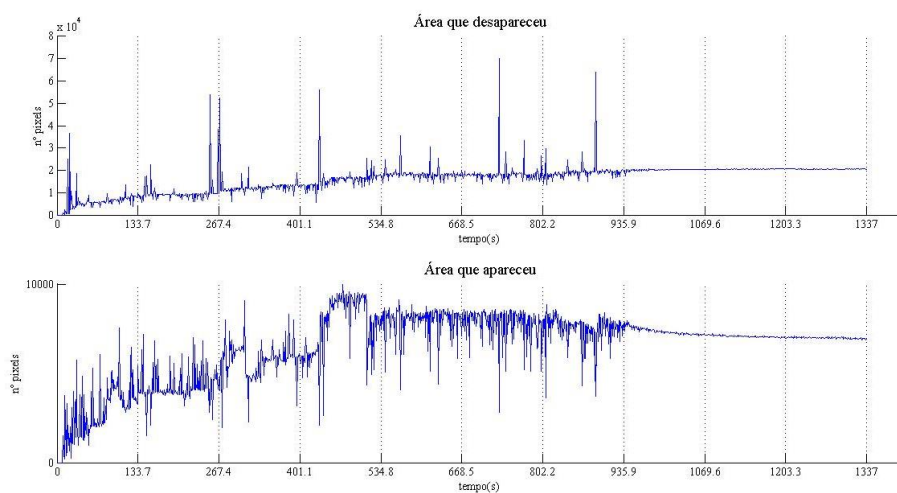


Figura 4.13 – Variação da área ao longo do tempo, do primeiro ensaio, com o parâmetro de diferença de 90.

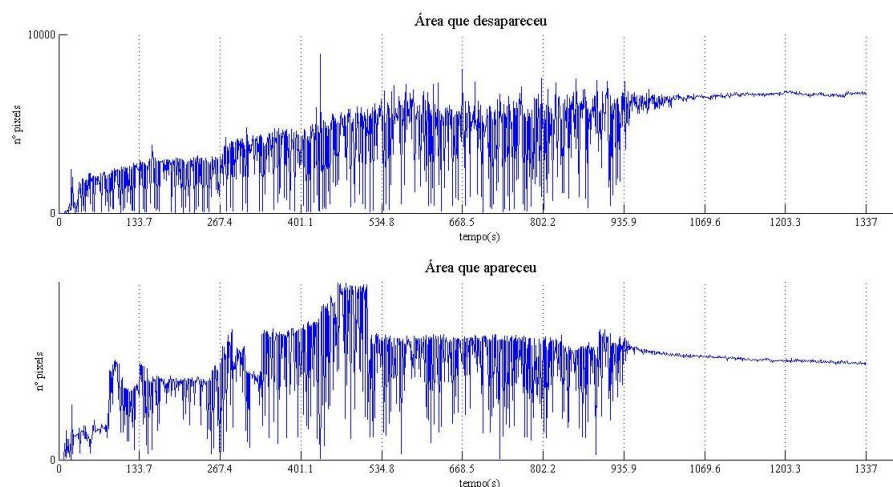


Figura 4.14 – Variação da área ao longo do tempo, do primeiro ensaio, com o parâmetro de diferença de 140.

Todos os gráficos apresentam alguns picos, o parâmetro escolhido foi o de 50, como será explicado mais à frente, neste subcapítulo. Foram analisadas as várias discrepâncias, de modo a perceber tais diferenças. No gráfico das pedras que desapareceram, ao longo do tempo, existem 8 picos, assumindo a Figura 4.15 como a imagem de referência, foi comparado essa mesma imagem com as correspondentes aos picos.



Figura 4.15 – Imagem de referência do primeiro ensaio.

Foram analisados os instantes em que a área desaparecida fosse superior a 2.75 vezes maior à média da área que se moveu, de forma negativa, ao longo do intervalo de tempo do ensaio. Assim, foi identificado o pico de valor de 78405, 105748, 82478, 96184, 79901, 106598, 83155 e 111318 que correspondem ao instante de 32s (Figura 4.16.a)), 253s (Figura 4.16.b)), 266s

(Figura 4.16.c)), 269s (Figura 4.16.d)), 433s (Figura 4.16.e)), 730s (Figura 4.16.f)) e 771s (Figura 4.16.g)) e 890s (Figura 4.16.h)).

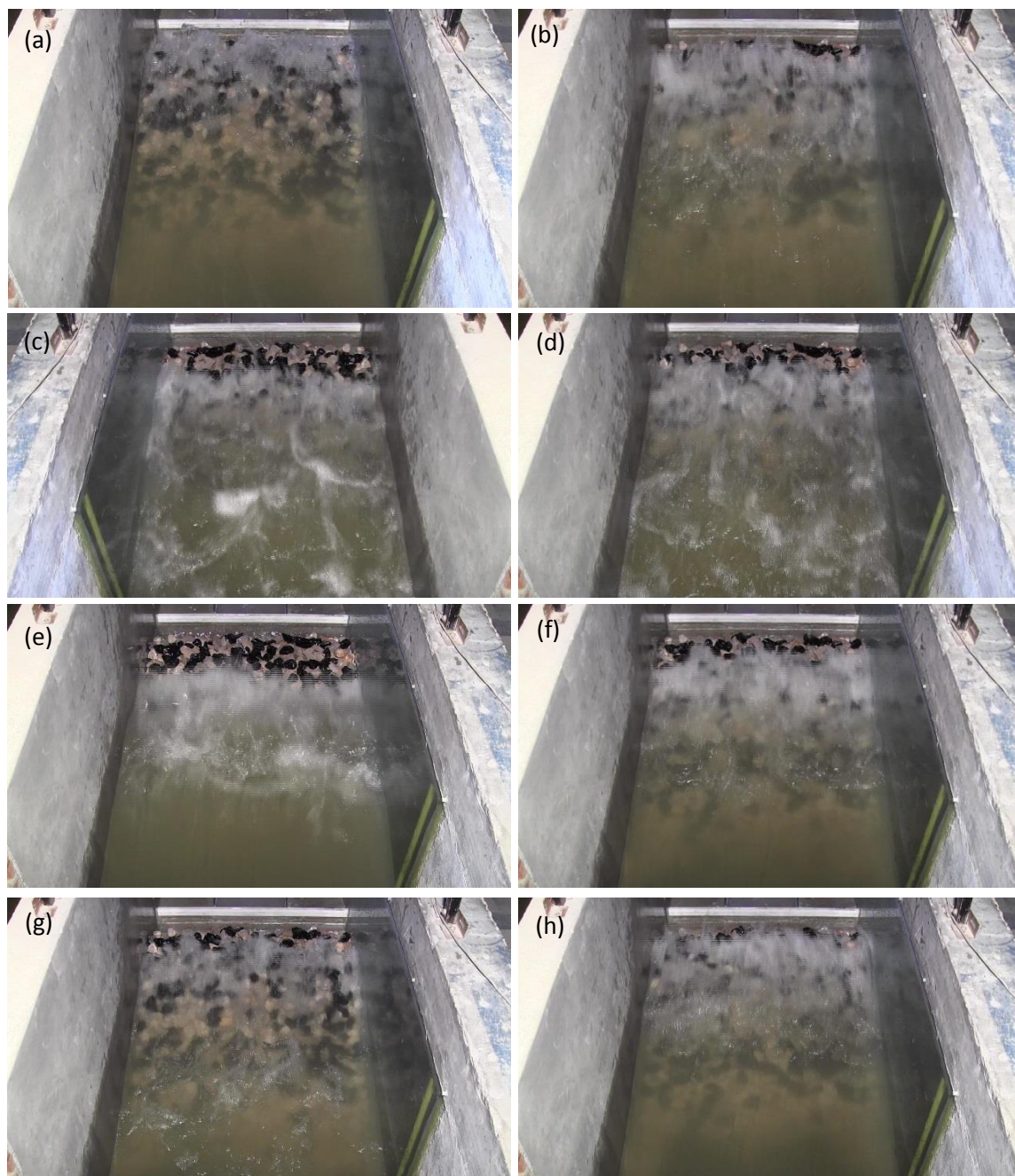


Figura 4.16 – Imagem do talude do primeiro ensaio: a) no instante de 32; b) no instante de 253; c) no instante de 266 segundos; d) no instante de 269 segundos; e) no instante de 433 segundos; f) no instante de 730 segundos; g) no instante de 771 segundos; h) no instante de 890 segundos.

A linha de água varia ao longo do tempo, por esta razão existe algumas discrepâncias no gráfico da área ao longo do tempo. Os máximos atingidos correspondem aos instantes em que há rebentação da onda, tal fenómeno impede a comparação com qualquer imagem de referência, podendo-se desprezar os valores correspondentes aos picos.

Para as áreas que representam o que apareceu existe também algumas disparidades. Foram analisados os segundos em que o número de *pixeis* fossem superior a 2.75 vezes maior à média do que se moveu, de forma positiva, tais como o valor de 39318, 45057, 40651 e 36673 que correspondem aos instantes de 103s (Figura 4.17.a)), 310s (Figura 4.17.b)), 538s (Figura 4.17.c)) e 746s (Figura 4.17.d)).

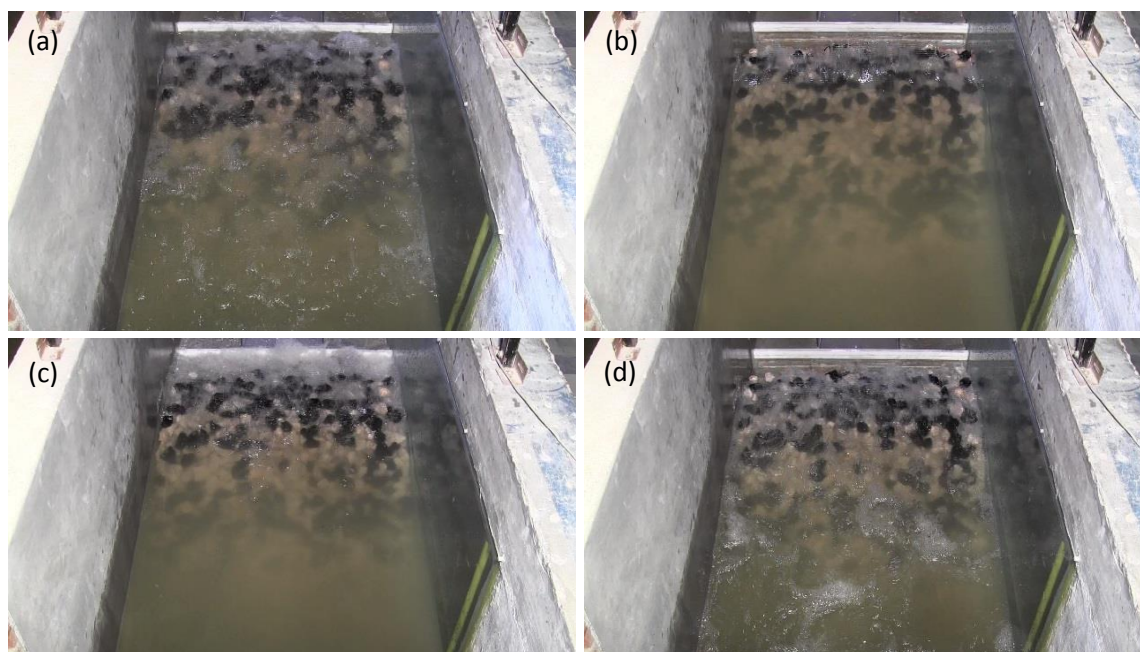


Figura 4.17 – Imagem do talude do primeiro ensaio: a) no instante de 103 segundos; b) no instante de 310 segundos; c) no instante de 538 segundos; d) no instante de 746 segundos.

De modo a eliminar os picos anteriormente detetados, optou-se por uma análise de 10 em 10 segundo. Quando as imagens correspondessem à rebentação de alguma onda substituiu-se essa imagem por outra no intervalo de 10 segundos correspondente, sem rebentação (Figura 4.18).

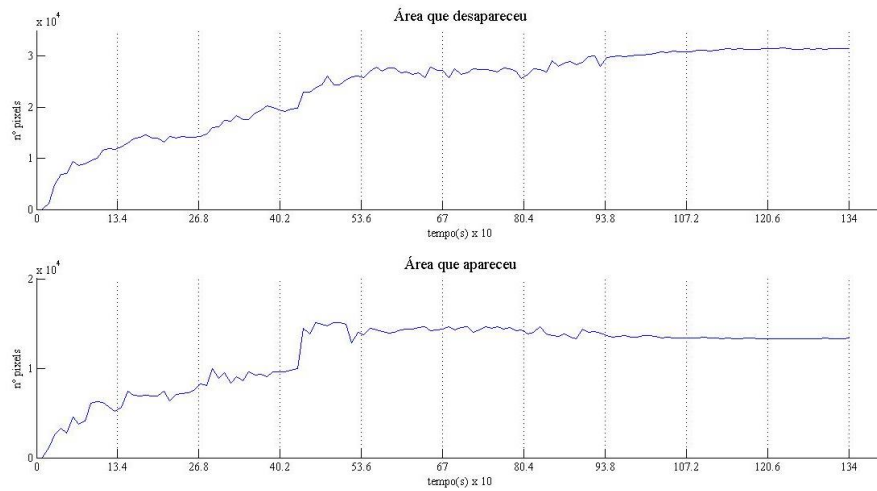


Figura 4.18 – Área que se moveu ao longo do tempo, do primeiro ensaio, de 10 em 10 segundos.

Esta análise, de 10 em 10 segundos, apresenta resultados semelhantes ao de 1 em 1 segundo, de modo a tornar o processo automático, sem ser necessário escolher as imagens manualmente, ajustou-se o gráfico. Ao analisar a tendência da linha, a regressão linear, nem a exponencial, logarítmica, polinomial e potencial se adequavam corretamente. Usou a média móvel, como se pode visualizar na Figura 4.19 e na Figura 4.20, ao recorrer a este método sabe-se que o gráfico é suavizado, mas os picos não são eliminados. A melhor opção seria avaliar o sinal, de modo a filtrar os resultados, porém é um processo com alguma complexidade, que poderá ser futuramente implementado.

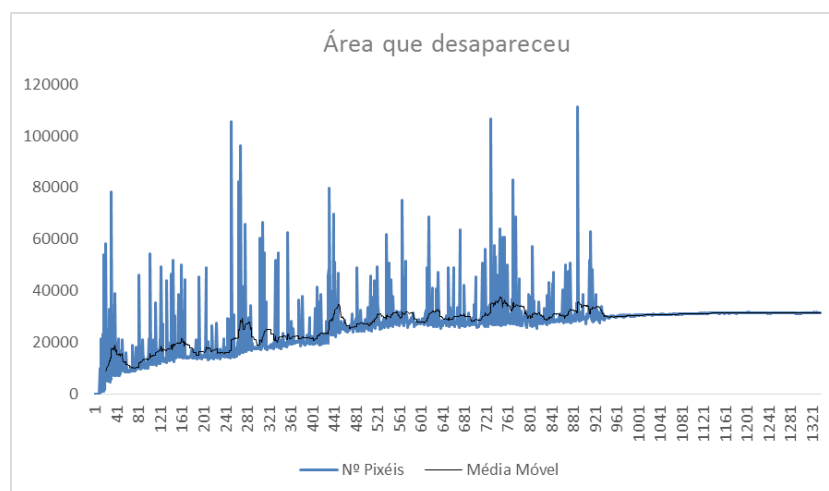


Figura 4.19 – Área que se moveu (desapareceu), ao longo do tempo, do primeiro ensaio.

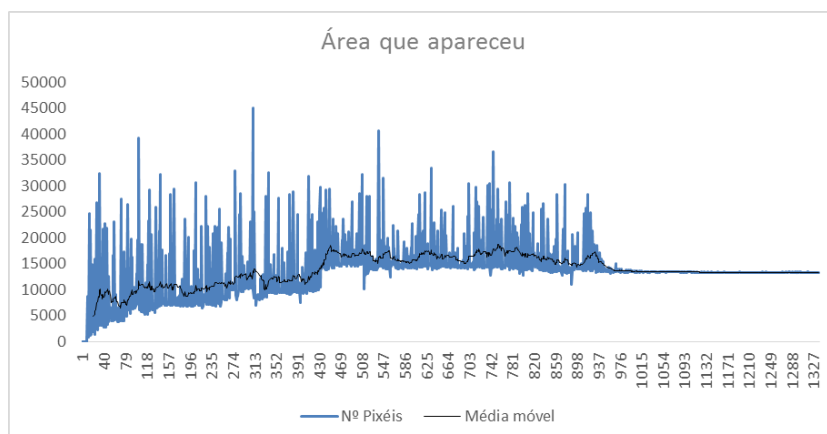


Figura 4.20 – Área que se moveu (apareceu), ao longo do tempo, do primeiro ensaio.

Observando a Figura 4.21, onde estão apresentadas imagens sem agitação, é possível verificar alguns movimentos fora dos limites estabelecidos (região representada a branco).



Figura 4.21 – Parte do taludo não analisado: a) imagem inicial; b) imagem final.

Além das rotações e deslocamentos das pedras na zona branca, as pedras que apareceram deve-se também ao movimento dos blocos situados nas 150 primeiras linhas para as 350 linhas seguintes e das laterais para a região a branco. As que desapareceram também está relacionado com as pedras que se encontravam na região em estudo e se moveram para a parte inferior do talude e para as laterais. Ao efetuar as diferenças entre as matrizes, verifica-se que existe movimento do interior para o exterior e vice-versa, na área onde se analisou a variação ao longo do tempo, Figura 4.22.

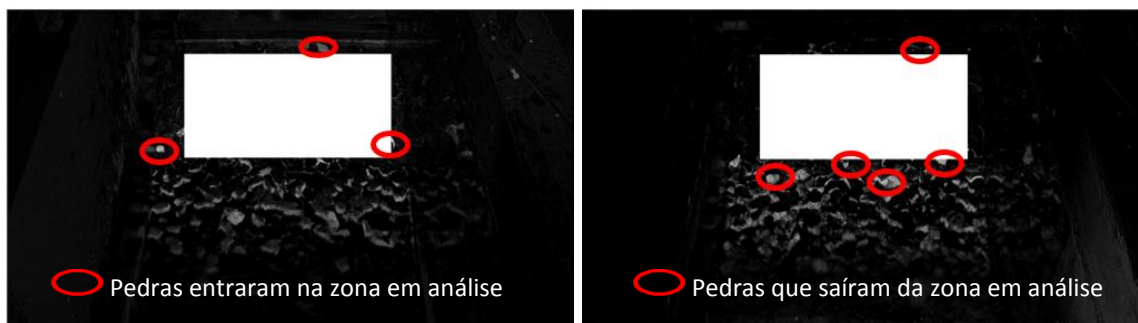


Figura 4.22 – Imagem das diferenças da região não analisada: a) onde se deteta o que desapareceu; b) onde se deteta o que apareceu.

É notório que existem mais pedras pretas a sair da zona em análise do que pedras a entrar, influenciando a percentagem de pedras pretas final. Esta observação está de acordo com os resultados obtidos, pois a percentagem de pedra pretas diminui e das brancas aumenta.

Para averiguar a funcionalidade deste método, para saber se eram considerados movimentos que existiam realmente ou não, foi analisado para um caso específico, representado a vermelho na Figura 4.23 à Figura 4.26 e em pormenor na Figura 4.27.

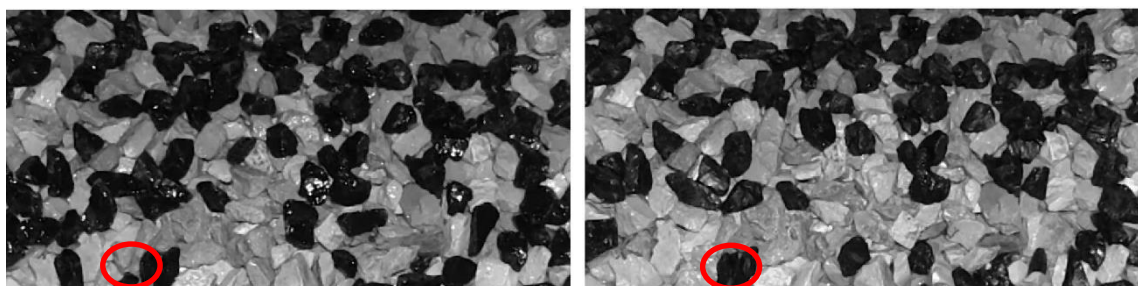


Figura 4.23 – Imagem na escala de cinzentos: a) inicial; b) final.

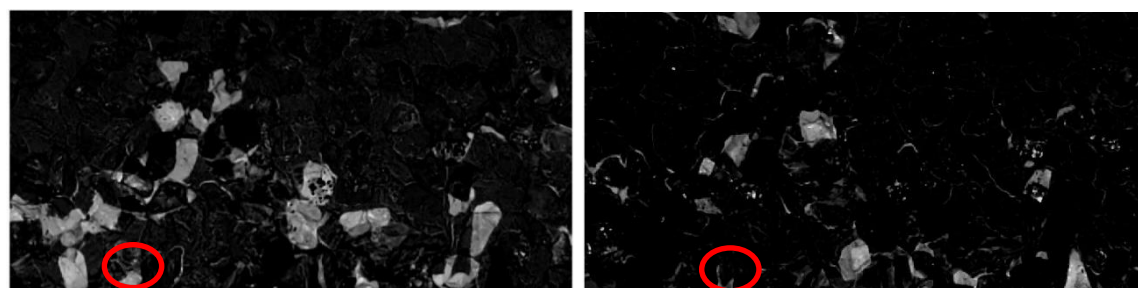


Figura 4.24 – Imagem das diferenças da região analisada: a) onde se deteta o que desapareceu; b) onde se deteta o que apareceu.

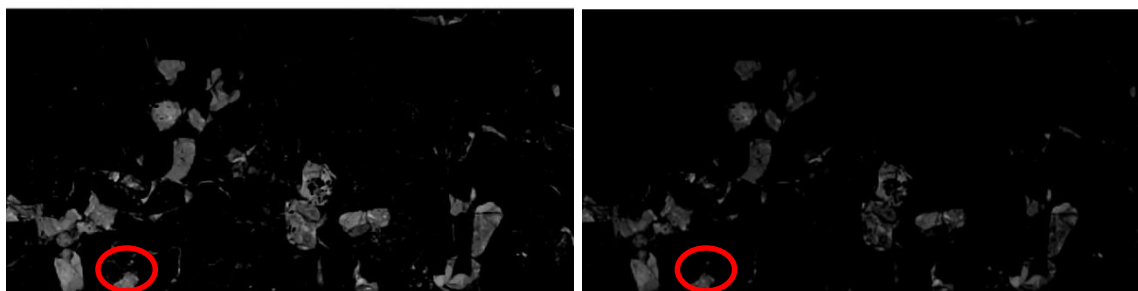


Figura 4.25 – Imagem do que desapareceu na região analisada: a) diferença de 50; b) diferença de 90.



Figura 4.26 – Imagem do que apareceu na região analisada: a) diferença de 50; b) diferença de 90.

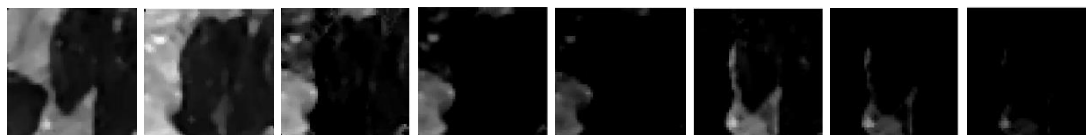


Figura 4.27 – Segmento da imagem: a) inicial; b) final; c) desapareceu; d) desapareceu com diferença de 50; e) desapareceu com diferença de 90; f) apareceu; g) apareceu com diferença de 50; h) apareceu com diferença de 90.

Observando as várias diferenças, a do valor de 50 enquadra-se melhor com o que se moveu, a de parâmetro 0 considera que se moveu (branco) pedras que na realidade não se moveram e com o parâmetro de 90 não são considerados alguns movimentos. Com esta análise verifica-se, mais uma vez, que o parâmetro de 50 é o que se ajusta melhor para estes casos. O resultado final do que desapareceu/apareceu é o somatório de todos os pixels superiores a 50 da matriz das diferenças.

4.2.2 Análise e discussão para o segundo ensaio

Repetindo o algoritmo da variação para o segundo ensaio, cujo manto é constituído por tetrápodes de várias cores, obteve-se a Figura 4.28 e a Figura 4.29. Os gráficos apresentam

algumas irregularidades pelos mesmos motivos do ensaio do enrocamento e optou-se pelo mesmo método da média móvel para ajustar o gráfico.

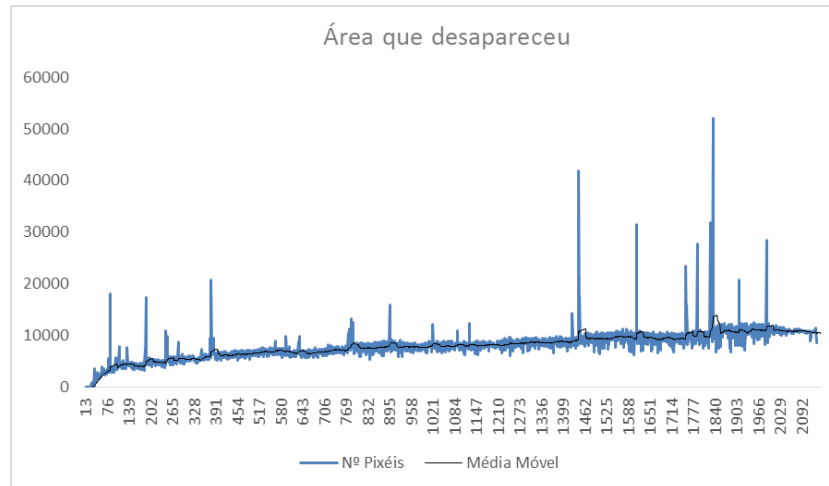


Figura 4.28 – Variação da área que me moveu (desapareceu), do segundo ensaio, com o parâmetro de diferença de 50.

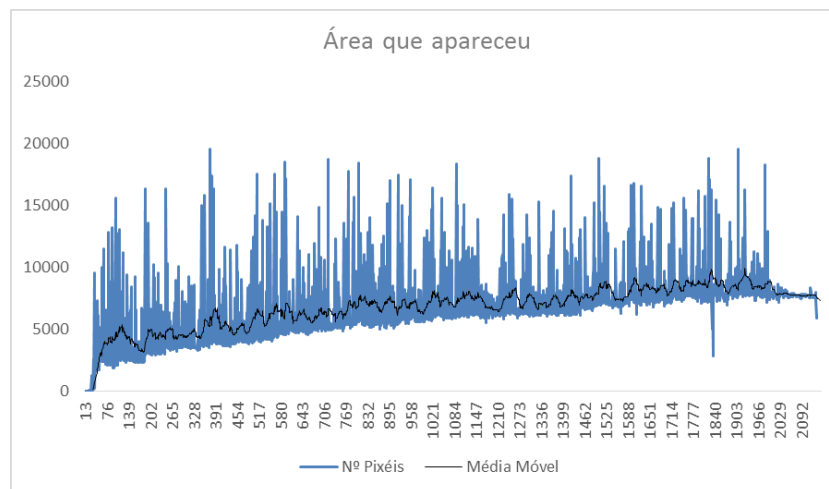


Figura 4.29 – Variação da área que me moveu (apareceu) do segundo ensaio, com o parâmetro de diferença de 50.

As imagens obtidas para este ensaio foram sempre comparadas com a imagem aos 21 segundos (Figura 4.30). Nesta experiência, surgiu o problema da reflexão da luz do holofote, de modo a eliminar este obstáculo, a linha inferior que limita a área em análise foi estipulada de acordo com este fator.



Figura 4.30 – Imagem de referência do segundo ensaio.

Para testar se o modelo é válido para outras situações, fez-se uma estudo para um caso específico deste ensaio, representado a vermelho na Figura 4.32 à Figura 4.34 e em pormenor na Figura 4.35.



Figura 4.31 – Imagem na escala de cinzentos: a) inicial; b) final.

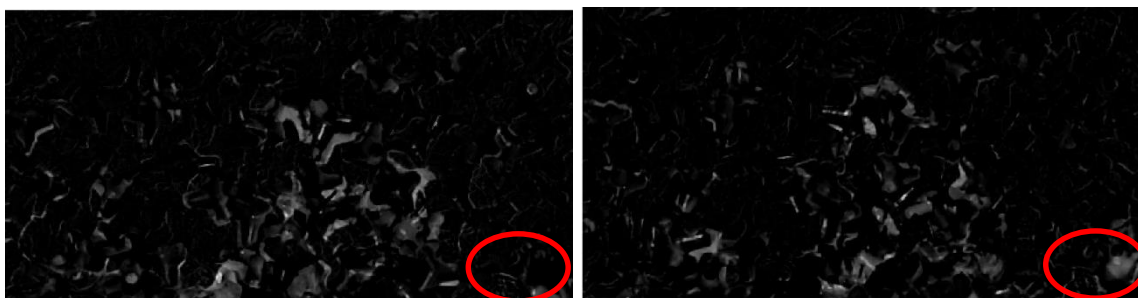


Figura 4.32 – Imagem das diferenças da região analisada: a) onde se deteta o que desapareceu; b) onde se deteta o que apareceu.



Figura 4.33 – Imagem do que desapareceu na região analisada: a) diferença de 50; b) diferença de 90.



Figura 4.34 – Imagem do que apareceu na região analisada: a) diferença de 50; b) diferença de 90.

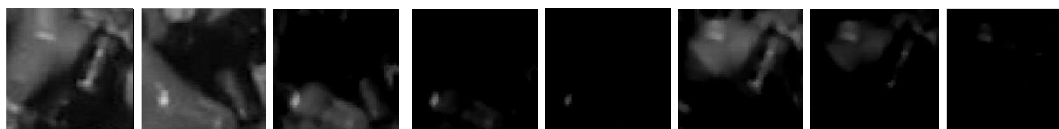


Figura 4.35 – Segmento da imagem: a) inicial; b) final; c) desapareceu; d) desapareceu com diferença de 50; e) desapareceu com diferença de 90; f) apareceu; g) apareceu com diferença de 50; h) apareceu com diferença de 90.

Mais uma vez, o valor de 50 é o que se ajusta melhor, o parâmetro de 40 considera movimentos associados ao reflexo e deteta variação quando não existe movimento das pedras pretas.

4.2.3 Análise e discussão para o terceiro ensaio

No último ensaio, as imagens foram comparadas com a imagem aos 21 segundos (Figura 4.38). Por não ter havido nenhuma simulação anterior a este ensaio, o *script* só foi corrido a partir dessa imagem da filmagem. Só a partir desse instante é que as pedras do manto protetor estão

todas humedecidas, evitando assim a diferença de cor, das mesmas pedras, que afetaria os resultados.

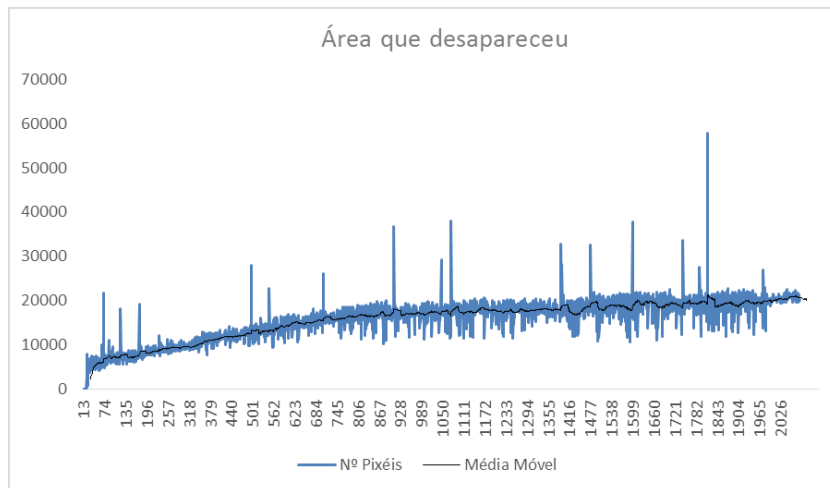


Figura 4.36 – Variação da área que me moveu (desapareceu) do terceiro ensaio com o parâmetro da diferença de 50.

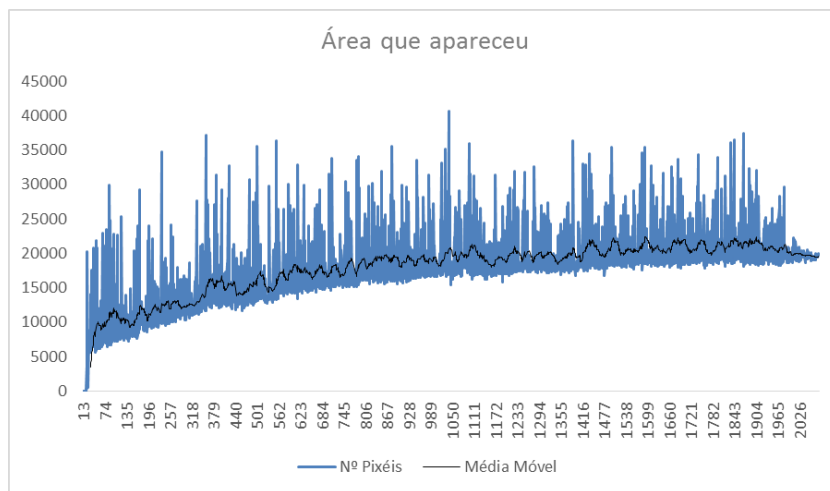


Figura 4.37 – Variação da área que me moveu (apareceu) do terceiro ensaio, com o parâmetro da diferença de 50.



Figura 4.38 – Imagem de referência do terceiro ensaio.

4.3 Caracterização do movimento

Foi analisado o movimento ao longo do tempo do primeiro ensaio, em particular o verificado entre o instante de 427 e 450 segundos. O número de *pixels* que corresponde à área das pedras pretas que passou a branca foi de 9967 para 15202. Na Figura 4.39 e na Figura 4.40 é visível que houve movimentos de muitas pedras entre estes instantes, o que provocou o relevo no gráfico do que se moveu.



Figura 4.39 – Imagem do talude: a) no instante de 427 segundos; b) no instante de 450 segundos.

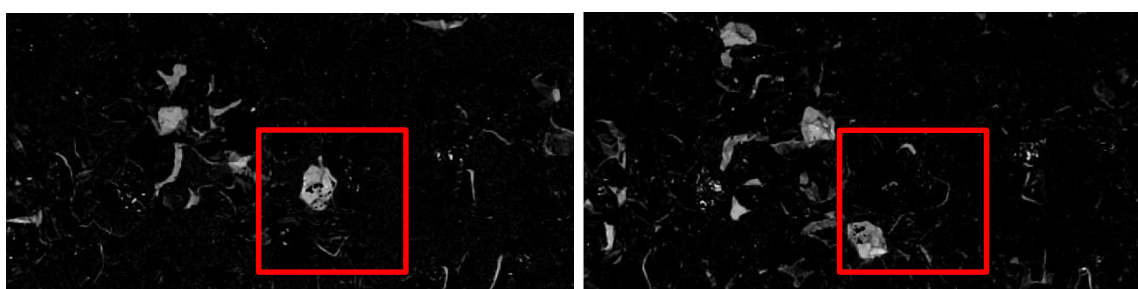


Figura 4.40 – Imagem do talude: a) “desapareceu”; b) “apareceu”.

Optou-se por analisar os movimentos que aconteceram entre a linha 150 e 320 e a coluna 320 à 500. O número de *pixels* que se movem por linha e por coluna nessa área estão representados na Figura 4.41 e na Figura 4.42, respetivamente.

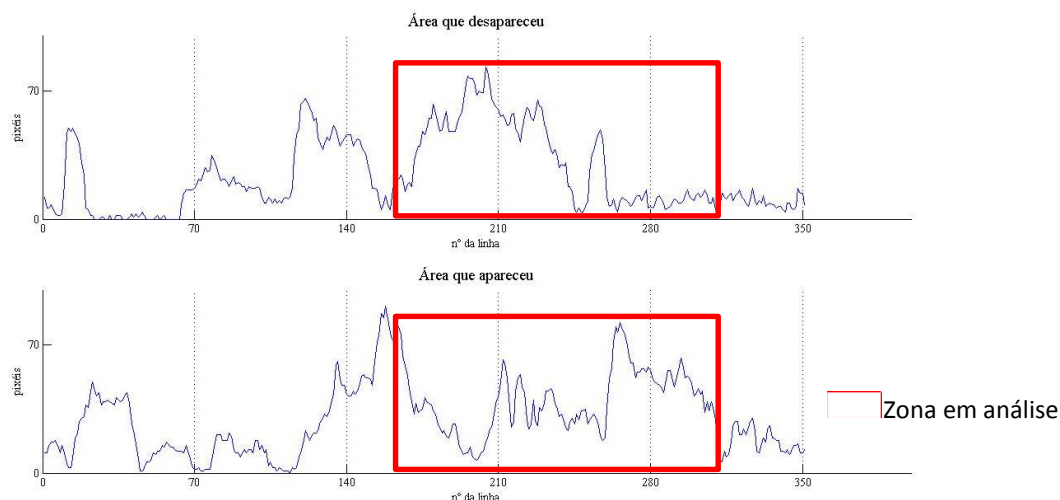


Figura 4.41 – Número de *pixels* que variam ao longo das linhas.

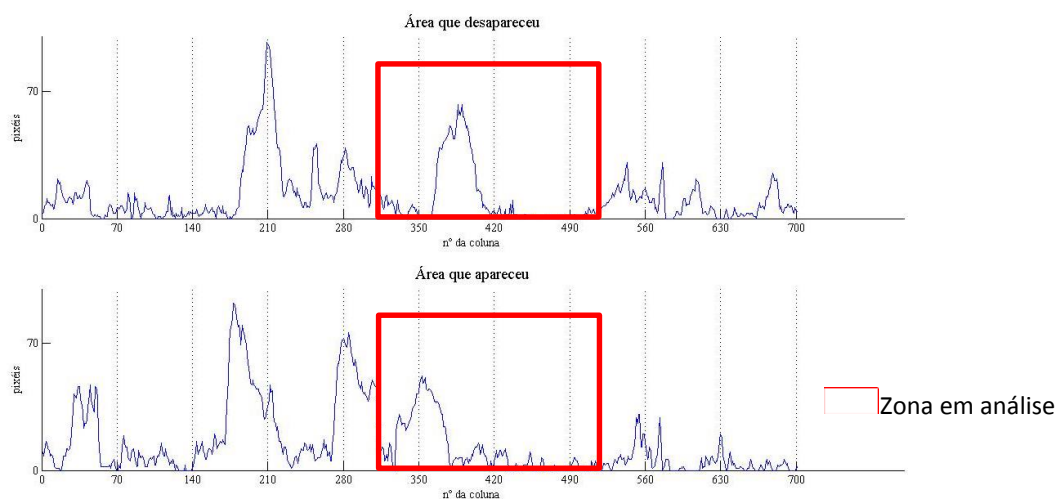


Figura 4.42 – Número de *pixels* que variam ao longo das colunas.

As linhas analisadas correspondem às de maior movimento e as colunas, apesar de não serem as que apresentam os maiores movimentos, o valor de algumas colunas é bastante considerável.

Analisando em pormenor a zona em questão verifica-se que há o deslocamento de uma pedra, como está apresentado na Figura 4.43.

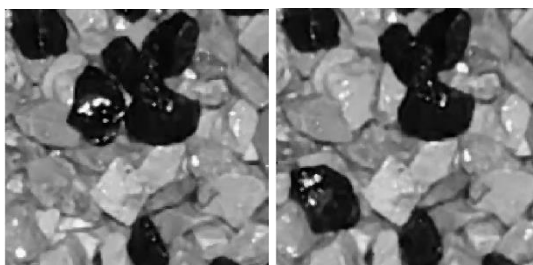


Figura 4.43 – Imagem em pormenor da região: a) aos 427 segundos; b) aos 450 segundos.

Através do comando *contour* do Matlab®, obteve-se a Figura 4.44, em que limitado a vermelho está representado o que apareceu e a azul o que desapareceu.

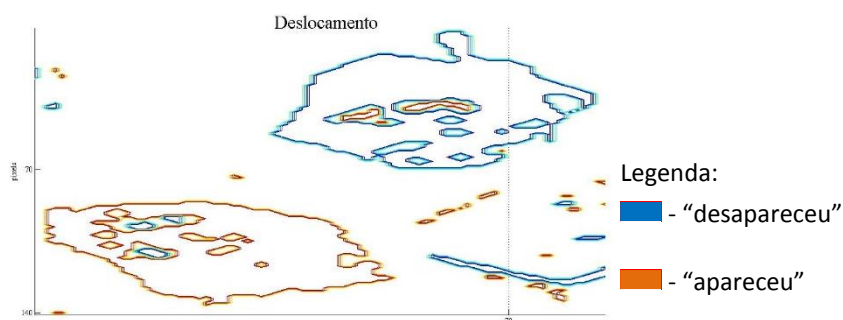


Figura 4.44 – Matriz da pedra que moveu com -1, 0 e 1.

Para caracterizar o movimento é necessário isolar a pedra, como as arestas das restantes pedras impossibilitam usar o método automático, removeu-se os entraves manualmente. Obteve-se os resultados apresentados na Figura 4.45.



Figura 4.45 – Pedras isoladas: a) aos 427 segundos; b) aos 450 segundos.

Não se determinou os extremos, uma vez que nos instantes analisados estes não são extremos em ambas as imagens. Mas foi determinado os restantes parâmetros antropométricos, apresentados no Quadro 4.4 .

Quadro 4.4 – Parâmetros antropométricos da pedra analisada.

Parâmetros	Figura 1 (<i>pixels</i>)	Figura 2 (<i>pixels</i>)
Área da figura	1533	1629
Área total	11760	11760
% de área	13.0357	13.852
Maior eixo	56.6428	55.9627
Menor eixo	37.3958	40.8318
Centro de massa	[56.5166;42.8017]	[27.1240;107.9570]
Orientação	-87.1317	-47.9574
Excentricidade	0.7511	0.6838

A área da pedra detetada não é coincidente devido à rotação desta. O centro de massa desloca-se 71.5 *pixels* e roda 39.1743 graus, no plano x-y.

Com o método das arestas é possível detetar os contornos das pedras, apresentadas na Figura 4.46 e na Figura 4.47.

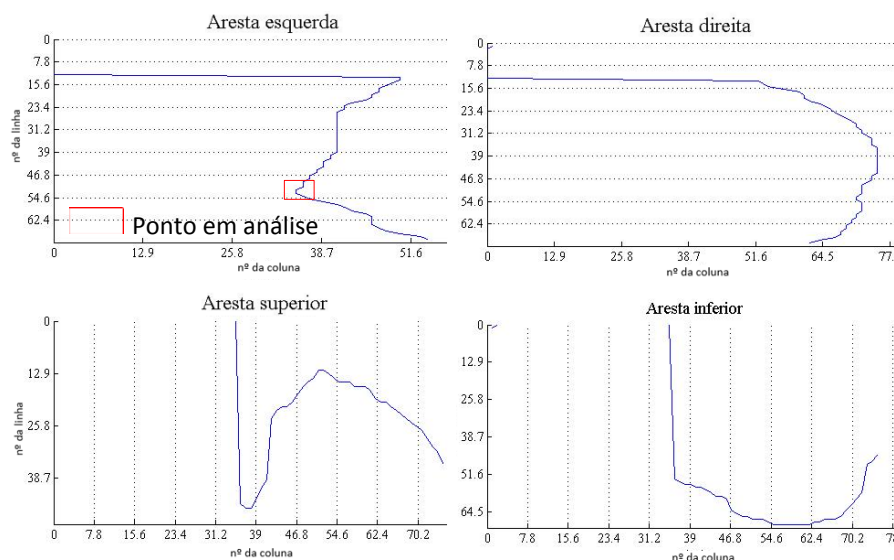


Figura 4.46 – Detecção de arestas da pedra aos 427 segundos (mancha).

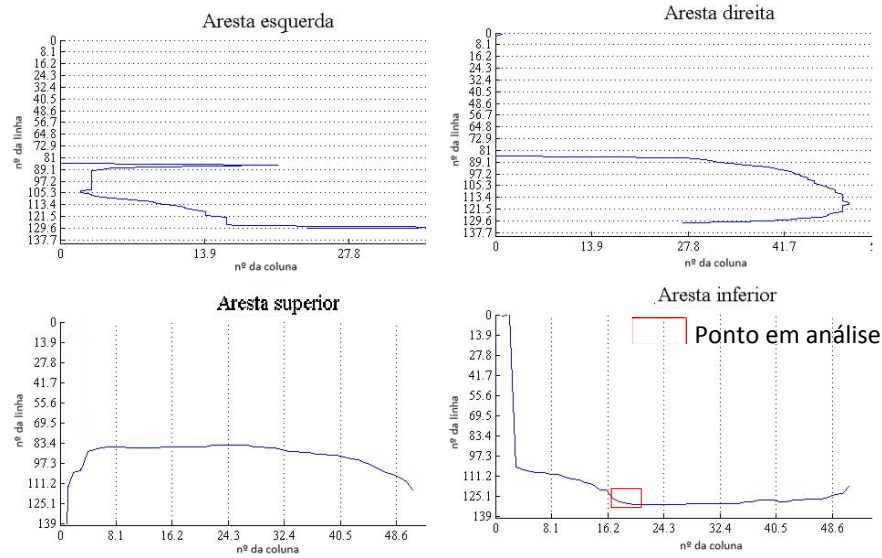


Figura 4.47 – Detecção de arestas da pedra aos 450 segundos (mancha).

Apesar da rotação e sobreposição da pedra, a forma das arestas é bastante semelhante e é possível identificar alguns pontos em comum. Para o cálculo da distância entre esses mesmos pontos, recorre-se à equação (3.1), para o caso específico assinalado nas imagens, de coordenadas [35;54] e [19;130], o deslocamento foi de 77.7 *pixels*. Sabendo o tamanho do *pixel*, esta distância pode ser convertida para centímetros.

5 CONCLUSÃO

O *software* Matlab® apresenta um leque de comandos para analisar e processar imagens. O presente trabalho consistiu no desenvolvimento de um *software* em Matlab® que permite a análise sucessiva de imagens.

Verificando-se que as condições de filmagem influenciam os resultados, tem que se cumprir pré-requisitos específicos, tais como:

- usar um deflector no holofote para que a luz seja o mais uniforme possível e garantir a ausência de reflexos;
- as pedras devem ser pintadas de várias cores para se poder isolar numa matriz, de modo a que seja possível identificar uma pedra/bloco que se mova, detetar o seu movimento e caracterizá-lo, incluindo as pedras de fundo que acabam por interferir no procedimento;
- utilização de uma máquina com boa qualidade de vídeo.

Neste trabalho foram desenvolvidos programas que permitem detetar blocos/pedras em quebra-mares de taludes, localizá-los, analisá-los e caracterizá-los ao longo do tempo. Testou-se a seguinte metodologia:

- 1º. Deteção dos movimentos do talude pela diferença de imagens;
- 2º. Análise dos movimentos ao longo do tempo, por colunas e linhas;
- 3º. Localização de zonas de interesse, onde existe movimentação;
- 4º. Caracterização do movimento: a) método do agrupamento de *pixels* que é mais aconselhável devido à sua simplicidade. Apesar da mesma pedra, em instantes diferentes, não apresentar o mesmo valor de área e perímetro são semelhantes; b) método da deteção de arestas que permite detetar os contornos das pedras e deslocamentos de alguns pontos. Este método só pode ser usado após o método da mancha, para não haver interferências significativas.

Analisaram-se três ensaios onde se forçou a movimentação de blocos. Conseguiu-se analisar todos os ensaios, tendo os movimentos sido localizados no espaço e no tempo e quantificada a dinâmica dos blocos nos sucessivos intervalos de tempo. Os métodos desenvolvidos permitiram determinar a zona erodida (desapareceu) e que sofreu acreção (apareceu).

Apesar de o *software* ter sido testado para um talude, os *scripts* desenvolvidos podem ser usados/adaptados em outras estruturas constituídas por blocos.

Os algoritmos desenvolvidos são simples, bastante úteis e aplicáveis nos modelos físicos de estruturas costeiras. Permitem analisar movimentos em 3D que normalmente são difíceis de detetar. Assim, é possível fazer uma monitorização correta da estrutura durante o todo o ensaio e realizar obras de manutenção quando for necessário.

Por outro lado, quando a estrutura é alvo de uma grande agitação, as imagens têm de ser analisadas de modo a eliminar os picos associados à rebentação. Nesta dissertação usou-se a média móvel para suavizar os picos, como as discrepâncias não foram eliminadas, a tese pode ser melhorada neste sentido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anon., 1994-2014. MathWorks. [Online]

Available at: <http://www.mathworks.com/help/images/ref/rgb2gray.html>

[Acedido em 26 05 2014].

Bezerra, P., 2008. "Estudo de Soluções Mitigadoras de Erosões Localizadas em Estruturas de Defesa Costeira". Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1 vol..

Bittencourt, J. F. & Osório, F., 2000. "Sistemas inteligentes baseados em redes neurais artificiais aplicadas ao Processamento de Imagens". Santa Cruz do Sul.

Burcharth, H. F., 1993. "The design of breakwaters". Department of Civil Engineering, Aalborg University, Denmark.

De Jong, R., 1996. "Wave transmission at low-crested structure, Stability of Tetrapods at front, crest and rear of a low-crested breakwater". Tese de Mestrado, Delft University of Technology, Netherlands.

Dias, J., 2009. "Identificação e Classificação Automática de Veículos Militares". Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 1 vol..

Eddins, S. L., Gonzalez, R. C. & Woods, R. E., 2008. "Digital Image Processing Using MATLAB", 2ªedição. Gatesmark Publishing.

Ferreira, T., 2008. "Projecto de reformulação do quebramar norte do porto de Leixões". Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Porto, Porto, 1vol..

Hudson, R., 1959. "Laboratory investigations of rubble mound breakwaters", Proc. ASCE, Vol. 85, Nr. WW 3, New York, USA.

Hughes, S., 1993. "Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering", Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 7.

Korthenhaus, A. et al., 2005. "Quantification of Measurement Errors, Model and Scale Effects related to Wave Overtopping". CLASH: D40 Report on Conclusions of Scale Effects: Workpackage 7. Universitetsforlag, Alborg, Dinamarca, p. 565.

Leandro, J., Bung, D., & Carvalho, R.F. (2014). "Measuring Void Fraction And Velocity Fields Of A Stepped Spillway For Skimming Flow Using Non-Intrusive Methods". Experiments in Fluids-Springer [aceite para publicação em 14/04/2014].

Leandro, J., R.Carvalho & Y.Chachereau, 2011. "Estimating void fraction in a hydraulic jump by measurements of pixel intensity". Springer.

Lemos, R. & Santos, J., 2011. "A Fotogrametria Aplicada à Verificação da Evolução da Erosão em Taludes de de Quebra-mares em Ensaios em Modelo Reduzido". 7as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Porto.

Lemos, R. & Silva, G., 2008. "Modelação Física, Aplicações," Laboratório Nacional de Engenharia Civil, DHA/NPE, Lisboa, Portugal.

Lima, R., 2012. "Development of a method using infrared thermography for shallow flow visualization and quantitative estimation of velocity". Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra, 1vol..

Neves, M. d. G., Vilchez, M. & Clavero, M. e. L. M. A., 2012. "Determinação de forças actuantes em quebra-mares verticais e mistos". RGCI [online], Volume 12, n.2, pp.159-174 . ISSN 1646-8872.

Pita, C., 1984. "Dimensionamento de quebra-mares e dos seus elementos construtivos. Emprego de blocos de betão no perfil-corrente de quebra-mares de taludes. Tese apresentada para obtenção do grau de especialista e acesso à categoria de Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Pita, C., 1985. "Dimensionamento Hidráulico do Manto Resistente de Quebra-Mares de Talude". Memória n.º 670, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Quintela, A., 1981. "Hidráulica". Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 10ª Edição.

Reis, F., 2011. "Detecção de pedestres em imagens". Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 1 vol..

Rodrigues, B., 2011. "Classificação automática de lesões cutâneas". Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1 vol..

Roque, J., 2011. "Medição de alturas de água usando visão computacional num modelo de Simulink®". Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra, 1 vol..

Sanches, I., 2011. "Esbranquiçamento de revestimentos de tinta em pé - compreensão e reformulação". Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1 vol..

Santana, L., Gomes, F., Kajiwara, J. & Frade, M., 2008. "Quantificação de áreas de úlceras de perna através de um programa de análise de imagem (ImageJ)". XI Congresso Brasileiro de Informática em Saúde: Campos do Jordão.

Silva, L.G. (1995). "Observação Sistemática de Obras Marítimas" . Acção de Formação de Observadores de Obras Marítimas. LNEC, Relatório 203/95-NPP.

Taveira Pinto, F., 2001. "Dimensionamento Hidráulico e Estrutural de Quebramares de Talude". Trabalhos Fluviais e Marítimos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1 vol..

Teixeira, A., Oliveira, I. & Silva, A., 2001. "Acção do temporal de Outubro de 1999 sobre a obra de reformulação do porto de pesca de Rabo de Peixe". 2as Jornadas portuguesas de engenharia costeira e portuária, Sines.

Teixeira, R., 2012. "Quebramares portugueses. Inventário e análise comparativa de soluções". Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1 vol..

Teresa Reis, M., Neves, M., Lopes, M. & Silva, L., 2011. "Estudos do Galgamento do molhe oeste do Porto de Sines". 7as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Porto.

Troch, P., 2005. "User Manual: Active Wave Absorption System. Gent University", Dep. Civil Engineering, Denmark.

USACE, 1984. "Shore Protection Manual". Coastal Engineering Research Center. Department of the Army. Waterways Experiment Station, Corps of Engineers. PO Box 631. Vicksburg, Mississippi 39180, Washington, D.C 20314. (2 volumes).

USACE, 2006. "Coastal Engineering Manual". Engineer Manual 1110-2-1110, U. S. Army Corps of Engineers, Washington; D.C. (6 volumes).

Van Der Meer, J., 1987. "Stability of Breakwater Armour Layers - Design Formulae", Journal of Coastal Engineering, 11, pp. 219-239.

Van Der Meer, J. W., 1988. "Rock slopes and gravel beaches under wave attack", Tese de Doutoramento, Delft University of Technology, The Netherlands; Also Delft Hydraulics Publ. 396.