U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

ESTUDO DA REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA

Casos de estudo do Mindelo, Norte do Furadouro e Torreira

TIAGO FILIPE FERREIRA RAMOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Fernando Francisco Machado Veloso Gomes

JUNHO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais e Família

A ti, Cátia

A curiosidade é a mais insaciável de todas as luxúrias.

Michel Foucault

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu agradecimento e reconhecimento a todas as pessoas que contribuíram para a concretização deste trabalho, assim como ajudaram na minha formação pessoal.

Inicialmente, quero prestar um especial agradecimento ao Professor Doutor Fernando Veloso Gomes, meu Orientador, por todo o incentivo e empenho demonstrado, mesmo em momentos difíceis. Foi um privilégio ter a oportunidade de trabalhar sob orientação de um exemplo de profissionalismo e de sabedoria. Um muito obrigado por todas as conversas e conselhos dados, que certamente me acompanharão na vida profissional.

Ao Eng. José Ferreira da ARH Centro, pelos elementos e explicações cedidas no caso de estudo do Furadouro.

À Eng. Raquel Silva da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pelo apoio, acompanhamento e cedência de dados para a modelação numérica efectuada.

Uma palavra de gratidão para todos os professores da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente da FEUP e, no geral a todos os professores do Departamento de Engenharia Civil da faculdade pelo ensino de qualidade e rigor transmitidos ao longo destes anos. Uma palavra de gratidão em especial ao Professor Martin Pimentel pelos conselhos e ajuda na integração no ensino académico.

Ainda um agradecimento ao pessoal do secretariado de hidráulica (Paula Pinto e Esmeralda Miguel), pela ajuda essencial no processo final, de revisão e entrega da tese.

À minha família pelo que contribuíram na minha formação enquanto pessoa e me ajudaram a ultrapassar fases menos boas.

À Cátia, por ter estado sempre comigo nesta etapa de vida, pelo amor, pelas palavras de motivação e apoio incondicional, que sempre demonstrou.

Por fim, a todos os meus amigos e colegas, em especial ao Pedro, Jorge e Bruno pelo ombro amigo que sempre disponibilizaram, pelo companheirismo e por todos os bons momentos passados no decorrer do curso.

RESUMO

A zona costeira tem uma importância estratégica em termos ambientais, económicos e socioculturais. A resolução e mitigação dos seus problemas assume essa mesma importância estratégica no âmbito de uma política de desenvolvimento sustentável, necessitando de ser enquadrada numa gestão integrada e coordenada.

São várias as situações de conflito de usos do solo e de utilizações que afectam o domínio hídrico. Estas acções alteram os ecossistemas, os equilíbrios morfológicos e dinâmicos pré-existentes, contribuindo para a destruição irreversível das protecções costeiras naturais, obrigando num grande número de casos à intervenção com estruturas artificiais.

A costa portuguesa encontra-se na generalidade em recuo por várias razões, nomeadamente pelo enfraquecimento das fontes aluvionares, pela ocupação humana, pela fragilização das protecções costeiras naturais e ainda devido à implantação de defesas artificiais, levando em algumas situações à antecipação do recuo generalizado.

Com a redução do transporte sedimentar na costa, criou-se a necessidade de reter o indispensável para a manutenção das zonas costeiras, criando-se barreiras a este transporte. Com inúmeras estruturas implantadas nas zonas costeiras, estas requerem manutenção periódica, tendo-se assim criado a necessidade da reabilitação de estruturas de defesa costeira.

O presente trabalho compreende a análise de três praias urbanas, sendo elas, Mindelo, Furadouro e Torreira. A análise de cada caso de estudo incidirá numa abordagem aos acontecimentos passados, à dinâmica aí existente, a uma compreensão da situação actual, assim como o estudo de soluções de reabilitação para os problemas de defesa costeira.

Sentida a necessidade de justificar algumas abordagens tomadas, executa-se ainda uma modelação numérica com o software SMC para o estudo de estruturas destacadas para a praia do Furadouro.

PALAVRAS-CHAVE: Estruturas de defesa costeira, reabilitação, erosão costeira, propostas de intervenção, modelação numérica

ABSTRACT

The coast-line has a strategic importance regarding the environment, economics and socioculturalism. The resolution and improvement of its problems assumes that same importance in terms of a policy of sustainable development, needing to be included in an integrated a coordinated management.

There are several situations of conflict when it comes to the application of the soil and its repercussions in the hydric domain. Those actions change the ecosystem, the pre-existent morphologic and dynamic balance, adding to the irreversible destruction of the natural costal defences and forcing to a great number of interventions with artificial structures.

The portuguese coastline is, in general, receding. That occurrence is caused by several factors namely, the decrease in alluvial sediments reaching the shore, human occupation, weakening of natural defences and implementation of artificial defences, leading to some situations of early generalised recoil.

With the decrease of sediments reaching the coastline, the need to retain the indispensable quantities to maintain the shore-line appeared, implying the need to build barriers to that transport. Since many of these structures were build, the need to perform periodic maintenance has become a necessity.

This paper includes the analysis of three urban shores – Mindelo, Furadouro and Torreira. The analysis of each study case is based in an initial approach to past events, an insight in the actual situation and existent dynamics, as well as an extensive study of possible approaches in the resolution of the problems of coastal defence.

Due to the need to justify some of the approaches applied, it was also developed a study of the structures of the Furadouro beach using a numeric modelling using SMC software

KEYWORDS: COASTAL: Defense structures, Rehabilitation, Coastal Erosion, Intervention Proposals, Numeric modulation

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i
RESUMO iii
ABSTRACT v
ÍNDICE GERAL vii
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE QUADROS xvii
SÍMBOLOS E ABREVIATURAS xix

1. INTRODUÇÃO 1
1.1. ENQUADRAMENTO 1
1.2. GESTÃO COSTEIRA 2
1.3. NECESSIDADE DE PROTECÇÃO CONTRA FENÓMENOS EROSIVOS 3
1.4. OBJECTIVOS 6

2. REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA 7
2.1. INTRODUÇÃO 7
2.2. BREVE DESCRIÇÃO DE ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA 8
2.2.1. ESTRUTURAS TRANSVERSAIS 7
2.2.2. ESTRUTURAS LONGITUDINAIS ADERENTES 9
2.2.3. ESTRUTURAS LONGITUDINAIS DESTACADAS 11
2.2.3.1. Caracterização geral 11
2.2.3.2. Vantagens e inconvenientes 14
2.3. CONSIDERAÇÕES E CONDICIONANTES DA COSTA OESTE PORTUGUESA 16
2.3.1. AGITAÇÃO MARÍTIMA 16
2.3.1.1. Caracterização da maré 16
2.3.1.2. Clima de Agitação Marítima 17
2.3.2. TRANSPORTE SEDIMENTAR 20
2.4. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS CASOS DE ESTUDO 21
2.4.1. INTRODUÇÃO 21

2.4.2. CARTAS DE RISCO DO LITORAL 21
2.4.3. AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADES 25
2.4.4. USANDO GOOGLE EARTH 27
2.4.4.1. Medições de larguras de praia e de estruturas 27
2.4.4.2. Histórico de imagens 29
2.4.4.3. Evolução das linhas de costa 31
2.5. PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO EM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA 33

3. CASO DE ESTUDO: MINDELO 37
3.1. ENQUADRAMENTO 37
3.2. ESTADO EVOLUTIVO DO CASO DE ESTUDO 39
3.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS 41
3.4. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ESTRUTURAIS 42
3.4.1. TOPOGRAFIA E BATIMETRIA 42
3.4.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO DE DEFESA COSTEIRA 44
3.5. ASPECTOS FUNCIONAIS E ESTADO DE CONSERVAÇÃO 45
3.5.1. FUNCIONAMENTO 45
3.5.2. ESTADO DE CONSERVAÇÃO 46
3.6. PROPOSTA DE REABILITAÇÃO 49

4. CASO DE ESTUDO: NORTE DO FURADOURO 55
4.1. ENQUADRAMENTO 55
4.2. ESTADO EVOLUTIVO DO CASO DE ESTUDO 56
4.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS 61
4.4. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ESTRUTURAIS 61
4.4.1. TOPOGRAFIA E BATIMETRIA 61
4.4.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO DE DEFESA COSTEIRA 63
4.4.3. VARIAÇÃO QUANTITATIVA SEDIMENTAR DA PRAIA 65
4.5. ASPECTOS FUNCIONAIS E ESTADO DE CONSERVAÇÃO 69
4.5.1. FUNCIONAMENTO 69
4.5.2. ESTADO DE CONSERVAÇÃO 70
4.6. PROPOSTA DE REABILITAÇÃO 76

5. CASO DE ESTUDO: TORREIRA 83

5.1. ENQUADRAMENTO 83

5.2. ESTADO EVOLUTIVO DO CASO DE ESTUDO 85

5.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS 85

5.4. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ESTRUTURAIS 86

5.4.1. TOPOGRAFIA E BATIMETRIA 86

5.4.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO DE DEFESA COSTEIRA 87

5.5. ASPECTOS FUNCIONAIS E ESTADO DE CONSERVAÇÃO 88

5.5.1. FUNCIONAMENTO 88

5.5.2. ESTADO DE CONSERVAÇÃO 88

5.6. PROPOSTA DE REABILITAÇÃO 91

6. PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES A APLICAR NO CASO DE ESTUDO DO FURADOURO 93

6.1. ENQUADRAMENTO 93

6.2. CONDIÇÕES DE IMPLANTAÇÃO 93

6.3. CONSIDERAÇÕES ESTRUTURAIS 96

6.3.1. FÓRMULA DE HUDSON (WES) 97

6.3.2. FÓRMULA DE VAN DER MEER 98

6.4. PERFIL TRANSVERSAL TIPO 100

6.4.1. CAMADAS DA SECÇÃO TRANSVERSAL 100

6.4.2. FUNDAÇÃO 101

6.5. PRÉ-DIMENSIONAMENTO 101

6.5.1. ELEMENTOS DE BASE 101

6.5.2. CONDIÇÕES DE IMPLANTAÇÃO 102

6.5.2. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 103

7. MODELAÇÃO NUMÉRICA DE SISTEMAS DE QUEBRAMARES DESTACADOS 107

7.1. ENQUADRAMENTO 107

7.2. CONSIDERAÇÕES DO SOFTWARE SMC 108

7.2.1. ESTRUTURA GERAL DO SMC 108

7.2.1. MÓDULO DE ANÁLISE DE PRAIAS A CURTO TERMO 109

7.2.3. HIPÓTESES E RESTRIÇÕES DO MOPLA 109
7.3. CONSIDERAÇÕES PARA AS SIMULAÇÕES DO CASO DE ESTUDO DO FURADOURO 112
7.3.1. DADOS BASE 112
7.3.2. DEFINIÇÃO DAS SIMULAÇÕES 113
7.4. CONSIDERAÇÕES PARA AS SIMULAÇÕES DO CASO DE ESTUDO DO FURADOURO 117
7.4.1. BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES 117
7.4.2. SOLUÇÕES EM QUEBRAMARES DESTACADOS 123
7.4.3. OUTRAS SIMULAÇÕES 130

8. CONCLUSÕES 135
8.1. SÍNTESE DO TRABALHO E PRINCIPAIS CONCLUSÕES 135
8.2. PERSPECTIVAS FUTURAS 136

BIBLIOGRAFIA 137

ANEXO A A.1
ANEXO B B.1
ANEXO C C.1
ANEXO D D.1
ANEXO E E.1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Zona costeira portuguesa dividida de acordo com os POOC.(adaptado Veloso Gomes, *et al.*, 2006) 2

Figura 1.2 – Hipotética variação da linha de costa, numa situação de erosão generalizada, sem implantação de estruturas de defesa costeira (Veloso Gomes, 2007b) 4

Figura 1.3 – Hipotética variação da linha de costa, numa situação de erosão generalizada, com implantação de estruturas de defesa costeira (Veloso Gomes, 2007b) 4

Figura 1.4 – Hipotética variação da linha de costa, numa situação de erosão generalizada, com implantação de estruturas de defesa costeira (Veloso Gomes, 2007b) 5

Figura 2.1 – Perfil transversal tipo de um esporão (Veloso Gomes 2010a) 8

Figura 2.2 – Modos de rotura e colapso dos esporões na costa oeste portuguesa (Veloso Gomes 2010a) 8

Figura 2.3 – Modos de rotura e colapso das obras longitudinais aderentes na costa oeste portuguesa (Veloso Gomes 2010a) 10

Figura 2.4 – Interacção de ondas incidentes, ondas reflectidas (Veloso Gomes 2010a) 10

Figura 2.5 – Parâmetros característicos de um quebramar destacado (Pilarczyk, 2003 citado por Pereira, 2008) 11

Figura 2.6 – Submergência do coroamento de um quebramar destacado emerso (Pereira, 2008) 12

Figura 2.7 - Submergência do coroamento de um quebramar destacado submerso (Pereira, 2008) 12

Figura 2.8 – Fenómeno de difracção e a formação de um tômbolo de areias (adaptado de http://www.aprh.pt/rgci/glossario/tombolo.html) 13

Figura 2.9 – Perfil transversal tipo de um quebramar destacado (adaptado Sousa, 2010) 14

Figura 2.10 – Modos de rotura e colapso das obras longitudinais destacadas (adaptado Sousa, 2010).. 14

Figura 2.11 – Distribuição de frequência relativa (em %) da altura média de onda significativa (Costa *et al.*, 2001) 18

Figura 2.12 – Distribuição de frequência relativa (em %) de T02 e TP (Costa *et al.*, 2001) 18

Figura 2.13 – Distribuição de frequência relativa (em %) da direcção média associada ao período de pico (Costa *et al.*, 2001) 19

Figura 2.14 – Frequência das ondas registadas na bóia ondógrafo de Leixões (adaptado Veloso Gomes *et al.*, 2006) 19

Figura 2.15 – Esporão implantado na costa oeste portuguesa (adaptado, Francisco Piqueiro, 2006) 20

Figura 2.16 – Exemplo de trecho de costa de uma Carta de Risco (adaptado de Carta de Risco do Litoral – trecho 1, 1996) 22

Figura 2.17 – Praia da Mindelo (adaptado de Carta de Risco do Litoral 1996) 23

Figura 2.18 – Praia do Furadouro (adaptado de Carta de Risco do Litoral 1996) 24

Figura 2.19 – Praia da Torreira (adaptado de Carta de Risco do Litoral 1998) 24
Figura 2.20 – Mindelo (Janeiro de 2003, Outubro de 2006, Julho de 2007)..... 29
Figura 2.21 - Furadouro (Agosto de 2003, Maio de 2004, Outubro de 2006, Outubro de 2009) 30
Figura 2.22 - Torreira (Maio de 2003, Outubro de 2006) 30
Figura 2.23 – Evolução da linha de costa de Mindelo..... 31
Figura 2.24 – Evolução da linha de costa de Furadouro..... 32
Figura 2.25 - Evolução da linha de costa de Torreira 33
Figura 2.26 – Modos de intervenção de reforço estrutural de esporões e quebramares destacados (adaptado Veloso Gomes, 2010a)..... 34
Figura 2.27 - Modos de intervenção de reforço de estruturas longitudinais aderentes (adaptado Veloso Gomes, 2010a) 35
Figura 3.1 - Praia de Mindelo 37
Figura 3.2 - Estrutura longitudinal aderente na praia de Mindelo 38
Figura 3.3 – Vista para sul, a partir do arruamento marginal da Ponta da Gafa, 14 de Janeiro de 1998 (IHRH, 1996)..... 39
Figura 3.4 – Vistas aéreas da área a norte da Ponta da Gafa a 22 de Janeiro de 1998 (Piqueiro,1998). 40
Figura 3.5 – Esquema resumo de acontecimentos verificados de 1996 a 1998 (IHRH, 1998) 40
Figura 3.6 – Vista aérea de sudeste para noroeste, 22 Janeiro de 1998 (Piqueiro, 1998) 41
Figura 3.7 – Afloramentos rochosos na praia de Mindelo (adaptado Piqueiro, 2006) 42
Figura 3.8 – Plano de Praia de Mindelo (adaptado INAG, 2007)..... 43
Figura 3.9 – Parque de estacionamento (30/05/11 – 12 horas)..... 44
Figura 3.10 – Corte da estrutura longitudinal aderente (adaptado Veloso Gomes, 1998) 44
Figura 3.11 – Recuo do cordão dunar relativamente à estrutura longitudinal aderente (30/05/2011 – 11:00 horas) 45
Figura 3.12 – Diferença do alinhamento do cordão dunar entre 2003 e 2010..... 46
Figura 3.13 – Anomalias na estrutura longitudinal aderente da praia de Mindelo (adaptado de Piqueiro, 2006) 46
Figura 3.14 - Anomalia tipo III, correspondência com 3 (2/03/2011 – 15:00 horas) 47
Figura 3.15 – Anomalia tipo IV, correspondência com 2 (2/03/2011 – 15:00 horas)..... 47
Figura 3.16 – Anomalia tipo VII, correspondência com 1 (2/03/2011 – 15:00 horas)..... 48
Figura 3. 17 – Anomalia tipo V, correspondência com 4 (30/05/2011 – 11:00 horas)..... 48
Figura 3.18 – Perfil da estrutura aderente a construir..... 49
Figura 3.19 – Divisão de zonas de trabalho..... 50
Figura 3.20 – Zona a sul do parque de estacionamento..... 53

Figura 3.21 – Zona a norte do parque de estacionamento 53

Figura 4.1– Praia do Furadouro 55

Figura 4.2 – Praia do Furadouro (Carta de Risco do Litoral, 1996) 56

Figura 4.3 – Praia do Furadouro em Outubro 2010 e a linha aproximada da arriba de erosão em 2010 (adaptado Veloso Gomes, 2010c) 58

Figura 4.4 – Praia do Furadouro, após ripagem das areias (Google Earth) 59

Figura 4.5 – Esquerda: Corte do muro marginal (adaptado ARH Centro); Direita: Muro marginal mais recuado (26/04/2011 – 16:00 horas) 59

Figura 4.6 – Registo de altura de onda aquando das tempestades de Outubro de 2010 (Veloso Gomes, 2010) 60

Figura 4.7 - Registo de direcções de onda aquando da tempestade de Outubro de 2010 (Veloso Gomes, 2010) 61

Figura 4.8 – Definição topográfica e batimétrica (adaptado Cartas de Risco do Litoral, 1996) 62

Figura 4.9 - Topografia da zona do esporão norte do Furadouro (Plano de Praia do Furadouro, 2000)... 63

Figura 4.10 – Esquema representativo da praia norte do Furadouro (Consulmar, 2010a) 64

Figura 4.11 – Corte da estrutura longitudinal aderente (adaptado Consulmar, 2010a) 64

Figura 4.12 – Trecho do desenho do projecto de execução do Furadouro (adaptado ARH Centro/Consulmar, 2010b) 65

Figura 4.13 – Representação da localização dos perfis transversais (adaptado Google Earth, 2009)..... 66

Figura 4.14 – Perfil transversal 1 66

Figura 4.15 – Perfil transversal 2 67

Figura 4.16 – Perfil transversal 3 67

Figura 4.17 – Perfil transversal 4 67

Figura 4.18 – Esquema de divisão de áreas sedimentares da praia sul do Furadouro 68

Figura 4.19 – Praia Norte do Furadouro (adaptado Piqueiro, 2006) 70

Figura 4.20 – Arriba de erosão, correspondente com o caso 1 (26/02/2011 – 14:30 horas) 71

Figura 4.21 – Estrutura longitudinal aderente, correspondente com o caso 1 (26/02/2011 - 14:30 horas) 71

Figura 4.22 – Danos nos muretes marginais, correspondente com o caso 2 (26/02/2011 - 14:30 horas). 72

Figura 4.23 – Esporão em fase de reabilitação, correspondente com o caso 3 26/02/2011 - 14:30 horas) 72

Figura 4.24 – Praia sul do Furadouro (adaptado Piqueiro, 2006) 73

Figura 4.25 – Deslocamento de blocos do corpo da estrutura, correspondente ao caso 4 (26/02/2011 - 14:30 horas) 74

Figura 4.26 – Esporão sul, correspondeste com o caso 5 (26/02/2011 - 14:30 horas) 74
Figura 4.27 – Construção de dunas artificiais (26/02/2011 - 15 horas) 75
Figura 4.28 – Perfil transversal tipo da zona a requalificar PT5 (ARH Centro, 2009) 76
Figura 4.29 – Esquerda: Troço de 160 metros a sul do esporão norte; Direita: estrutura aderente e esporão sul 77
Figura 4.30 – Vista geral da estrutura aderente (11/06/11 10:30 horas) 78
Figura 4.31 – Desarrumação dos blocos do manto resistente (11/06/11 10:30 horas) 78
Figura 4.32 – Vista geral da estrutura longitudinal aderente sul (11/06/11 10:45 horas) 79
Figura 5.1 – Zona envolvente da Torreira 83
Figura 5.2 – Praia da Torreira 84
Figura 5.3 - Definição topográfica e batimétrica (adaptado Cartas de Risco do Litoral, 1996) 86
Figura 5.4 – Topografia da zona urbana da Torreira (Plano de Praia da Torreira, 2000) 87
Figura 5.5 – Corte tipo de um esporão 87
Figura 5.6 – Reperfilamento da praia (13/05/2011 – 15 horas) 88
Figura 5.7 – Praia da Torreira (adaptado Piqueiro, 2006) 89
Figura 5.8 – Paredão marginal parcialmente coberto de areia – Caso 1 (26/02/2011 – 4:30 horas) ... 90
Figura 5.9 – Paredão marginal – Caso 1 (13/05/2011 – 15 horas) 90
Figura 5.10 – Zona da cabeça do esporão da Torreira – Caso 2 (26/02/2011 – 4:30 horas) 90
Figura 5.11 – Corpo e cabeça do esporão da Torreira – Caso 2 (13/05/2011 – 15 horas) 91
Figura 5.12 – Sistema dunar – Caso 3 (13/05/2011 – 15 horas) 91
Figura 6.1 – Factor de porosidade, para vários tipos de situações, Van der Meer, 1988 (US Army Corps of Engineers, 2006, citado e adaptado por Taveira Pinto, 2010b) 99
Figura 6.2 – Secção transversal de um quebramar de taludes, com condições moderadas de galgamento (US Army Corps of Engineers, 2006 citado por Duarte, 2009) 100
Figura 7.1 – Estrutura do SMC 108
Figura 7.2 – Esquema de contornos que se devem evitar (manual Mopla, citado por Santos da Costa, 2009) 110
Figura 7.3 – Zonas válidas de propagação e ângulos limite (manual Mopla, citado por Santos da Costa, 2009) 110
Figura 7.4 – Batimetria de data desconhecida e topografia de 2001 (Levantamento Litoral 2001, INAG). 112
Figura 7.5 – Batimetria modificada, que se admite que seja mais próxima da realidade actual 113
Figura 7.6 – Relação do período médio em função da altura significativa (Coelho, 2005) 114
Figura 7.7 – Comparação do espectro TMA para várias profundidades com o espectro JONSWAP (adaptado de Silvester et al., 1997, citado por Santos da Costa, 2009) 115

Figura 7.8 – Espectro de frequências (Hs=2.2m; Tp=11.4 s; ϒ=3.3; nº compopnentes=15).....116

Figura 7.9 – Espectro direccional (N45°W (+/- 20°)).....116

Figura 7.10 - Variação do fundo, com topografia final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s) 117

Figura 7.11 – Transporte sedimentar potencial (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s) 118

Figura 7.12 – Vectores corrente e respectiva intensidade (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).... 118

Figura 7.13 – Comparação da topografia inicial e final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s) 119

Figura 7.14 - Alturas de onda (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).....119

Figura 7.15 – Variação do fundo, com topografia final (Hs=5 m; Orientação oeste; Tp=13 s) 120

Figura 7.16 - Transporte sedimentar potencial (Hs=5 m; Orientação oeste; Tp=13 s) 121

Figura 7.17 – Vectores corrente e respectiva intensidade (Hs=5 m; Orientação oeste; Tp=13 s).....121

Figura 7.18 - Comparação da topografia inicial e final (Hs=5 m; Orientação oeste; Tp=13 s).....122

Figura 7.19 - Alturas de onda (Hs=5 m; Orientação oeste; Tp=13 s) 122

Figura 7.20 - Variação do fundo, com topografia final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s) 123

Figura 7.21 - Variação do fundo, com topografia final (Hs=2.2 m; Orientação oeste, Tp=11.4 s) 124

Figura 7.22 – Transporte sedimentar potencial (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s) 124

Figura 7.23 – Vectores corrente e respectiva intensidade (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).. 125

Figura 7.24 - Comparação da topografia inicial e final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s) 125

Figura 7.25 - Alturas de onda (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).....126

Figura 7.26 – Variação do fundo, com topografia final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s) 127

Figura 7.27 – Transporte sedimentar potencial (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s) 128

Figura 7.28 – Vectores corrente e respectiva intensidade (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).. 128

Figura 7.29 – Comparação da topografia inicial e final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s) 129

Figura 7.30 - Alturas de onda (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).....129

Figura 7.31 – Vectores corrente, para as várias alturas de onda (2.2; 3 e 5 m - da esquerda para a direita), com direcção noroeste 130

Figura 7.32 – Vectores corrente para a situação correspondente ao estado médio de agitação (Hs=2.2; Tp=11.4; NW), com e sem prolongamento dos esporões.....131

Figura 7.33 – Variação do fundo, com topografia final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s)..... 132

Figura 7.34 - Vectores corrente, para a situação correspondente ao estado médio de agitação (Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; NW), com a solução actual e as soluções com quebramares destacados.... 132

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Elementos relativos às marés (Instituto Hidrográfico, 2011) 17

Quadro 2.2 – Classificação de vulnerabilidade dos parâmetros quantificáveis (adaptado Coelho *et al.*, 2006) 25

Quadro 2.3 - Classificação de vulnerabilidade dos parâmetros qualitativos (adaptado Coelho *et al.*, 2006) 26

Quadro 2.4 – Matriz de vulnerabilidades (adaptado Coelho *et al.*, 2006 e Veloso Gomes *et al.*, 2007a)… 26

Quadro 2.5 – Índice global de vulnerabilidade por zona 27

Quadro 2.6 – Medições médias de largura de praia (Mindelo) 27

Quadro 2.7 – Medições médias de largura de praia (Furadouro) 28

Quadro 2.8 – Medições médias de largura de praia (Torreira) 28

Quadro 2.9 – Medições relativas às estruturas de defesa costeira no Furadouro 28

Quadro 2.10 – Medições relativas às estruturas de defesa costeira de Mindelo e Torreira 28

Quadro 3.1 – Designação de trabalhos e seus respectivos custos 50

Quadro 3.2 – Designação dos trabalhos e a sua descrição geral 51

Quadro 3.3 – Designação dos trabalhos com as respectivas quantidades e custos 52

Quadro 4.1 – Forma de subdivisão das praias e respectivas diferenças quantitativas sedimentares ..68

Quadro 4.2 – Volume sedimentar a repor no Furadouro 69

Quadro 4.3 – Designação de trabalhos 79

Quadro 4.4 – Descrição de trabalhos, quantidades e respectivos custos 80

Quadro 5.1 – Trecho de tabela de resumo das Prioridades de Intervenção (Plano de Acção do Litoral, 2007) 89

Quadro 6.1 – Condições para a formação de tômbolos e saliências 95

Quadro 6.2 – Relações das obras destacadas presentes na costa portuguesa 95

Quadro 6.3 – Coeficientes K_D da fórmula de Hudson para enrocamento (SPM, 1984) 97

Quadro 6.4 - Coeficientes K_D da fórmula de Hudson para enrocamento (LNEC) 98

Quadro 6.5 – Valores do parâmetro, S, recomendáveis para mantos resistentes constituídos por duas camadas de enrocamento, van der Meer (Taveira Pinto, 2010b) 100

Quadro 6.6 – Coeficiente de transmissão para cota de coroamento de +4.0 ZH 102

Quadro 6.7 – Resposta da solução escolhida 103

Quadro 6.8 – Peso unitário (W), e diâmetro nominal dos blocos D_{n50} 103

Quadro 6.9 – Parâmetros para a avaliação do peso unitário dos blocos do manto resistente 104

Quadro 6.10 – Peso unitário (W), e diâmetro nominal dos blocos (D_{n50}) 104

Quadro 6.11 – Peso e diâmetro nominal finais, a adoptar para a solução final 104
Quadro 6.12 – Espessura da camada do manto resistente e da sub-camada 105
Quadro 6.13 – Gradação dos pesos a colocar na camada do manto resistente e da subcamada 105
Quadro 7.1 – Modelo parabólico de propagação de agitação (Oluca-SP e Oluca-MC) 109
Quadro 7.2 – Modelo bidimensional de correntes em praias (Copla-MC e Copla-SP)..... 111
Quadro 7.3 – Dados principais referentes às simulações efectuadas 113

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

LETRAS LATINAS

b – largura do coroamento

d – profundidade da água

Dn_{50} – diâmetro nominal dos blocos

e – espessura característica das camadas

hc – altura do quebramar

Hi – altura de onda incidente

Hmáx – altura de onda máxima

Hproj – altura de onda de projecto

$H_{1/10}$ – altura de onda do décimo superior

Hs – altura de onda significativa

Kt – coeficiente de transmissão

K_D – coeficiente de estabilidade

$K\Delta$ – coeficiente de forma

Ls – comprimento da estrutura

Lg – abertura entre segmentos

L_{op} – comprimento de onda a grandes profundidades

N_Z - número de ondas

P - factor de porosidade

Rc – parâmetro de submergência

S – nível de estragos

S_{op} – declividade da onda ao largo

Tm – período médio

Tp – período de pico

W – peso unitário dos blocos

X – distância à linha de costa

Zc – cota de coroamento dos quebramares destacados

LETRAS GREGAS

α – ângulo do talude com a horizontal no método de Hudson

θ - ângulo do talude com a horizontal no método de van der Meer

ξ – parâmetro de Battjes

ξ_m – número de Iribarren

ξ_{mc} – valor crítico de Iribarren

Υ_w – peso volúmico da água do mar

Υ – peso volúmico dos blocos de enrocamento

Δ – densidade relativa dos blocos

INSTITUIÇÕES

ARH – Administração da Região hidrográfica

CEHIDRO – Centro de Estudos de Hidrossistemas

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

IHRH – Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos

INAG – Instituto da Água

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

POOC – Plano de Ordenamento da Orla Costeira

SHRHA – Secção de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente

SNIRLit – Sistema Nacional de Informação dos Recursos do Litoral

ABREVIATURAS

BMAV – Baixa-mar de águas vivas

CEM – Coastal Engineering Manual

PMAV – Preia-mar de águas vivas

SPM – Shore Protection Manual

TOT – Enrocamento de todo o tamanho

ZH – Zero Hidrográfico

ZT – Zero Topográfico

Atlas - Módulo de cotas de inundação

Baco - Módulo de batimetrias e cartas náuticas da costa

Copla-MC - Modelo de correntes em praias induzidas pela rotura de ondas para agitação regular

Copla-SP - Modelo de correntes em praias induzidas pela rotura de ondas para agitação irregular

Eros-MC - Modelo de erosão-acrecção e evolução da batimetria de praias para agitação regular

Eros-SP - Modelo de erosão-acrecção e evolução da batimetria de praias para agitação irregular

Mopla - Módulo de agitação, correntes e evolução morfológica de uma praia

Odín - Módulo de ajuda à caracterização da agitação

Oluca-MC - Modelo parabólico de propagação de agitação regular

Oluca-SP - Modelo parabólico de propagação de agitação irregular

Petra - Módulo de evolução do perfil transversal de praia

SMC - Sistema de modelação costeira

Tic - Tutor de engenharia costeira

1
INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A ocupação crescente e a intensificação da malha urbana em zonas mais expostas à agitação têm levado à implantação de estruturas de defesa costeira de modo a estabilizar a "linha da costa". No entanto, estas estruturas são objecto de polémica uma vez que artificializam a paisagem e agravam ou antecipam fenómenos erosivos a sotamar.

Não são de aceitar soluções de expansão dos núcleos urbanos que ignorem a realidade de vulnerabilidade das zonas de implantação ao admitirem que a Administração Central proporcionará, sob o ponto de vista técnico e financeiro, obras de defesa do aglomerado em relação "às investidas do mar". Os Planos Directores Municipais e os Planos de Pormenor terão de considerar a especificidade das situações à luz da problemática global do Litoral (Veloso Gomes *et al.*, 2007a).

Tendo presente os fenómenos erosivos podem-se considerar três "respostas adaptativas" em termos de estratégias de gestão da frente costeira: "Retirada", "Acomodação" e "Protecção", esta última envolvendo também três níveis: uma nova gestão no uso do solo, intervenções no sentido de reduzir acções antrópicas específicas e a manutenção da linha de costa actual em termos médios recorrendo a alternativas técnicas, como a alimentação artificial de praias, a conservação, a reconstrução e a estabilização de dunas, as estruturas longitudinais aderentes, as estruturas longitudinais destacadas, as estruturas transversais e soluções mistas (Veloso Gomes, 1991).

De acordo com Veloso Gomes *et al.*, (2007a), as causas mais recentes da situação generalizada de regressão ou recuo da linha de costa são associáveis:

- Ao enfraquecimento das fontes aluvionares (alterações a nível das bacias hidrográficas, albufeiras e barragens, extracções de areias nos rios e estuários, dragagens nos canais de navegação);
- À ocupação humana (sobre dunas, praias e arribas), à construção de quebramares portuários;
- À implantação de esporões, obras aderentes e quebramares destacados com impactes de antecipação de fenómenos a sotamar;
- À fragilização de dunas (terraplanagens, pisoteio, acessos às praias, parques de estacionamento, veículos motorizados).

1.2. GESTÃO COSTEIRA

Em relação à gestão da zona costeira e às intervenções de defesa costeira, os principais documentos reguladores, são os Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC).

De acordo com o Decreto-Lei n.° 309/93 de 2 de Setembro, os POOC são planos sectoriais que definem os condicionamentos, vocações e usos dominantes e a localização de infra-estruturas de apoio a esses usos e orientam o desenvolvimento das actividades conexas. Também fornecem uma orientação para actividades específicas a serem desenvolvidas ao longo da costa em termos de protecção de ecossistemas e de recursos existentes. Embora Portugal continental esteja dividido em nove áreas, como é possível observar na Figura 1.1, para o desenvolvimento do presente trabalho, apenas se recorreu aos POOC de Caminha-Espinho e de Ovar-Marinha Grande.

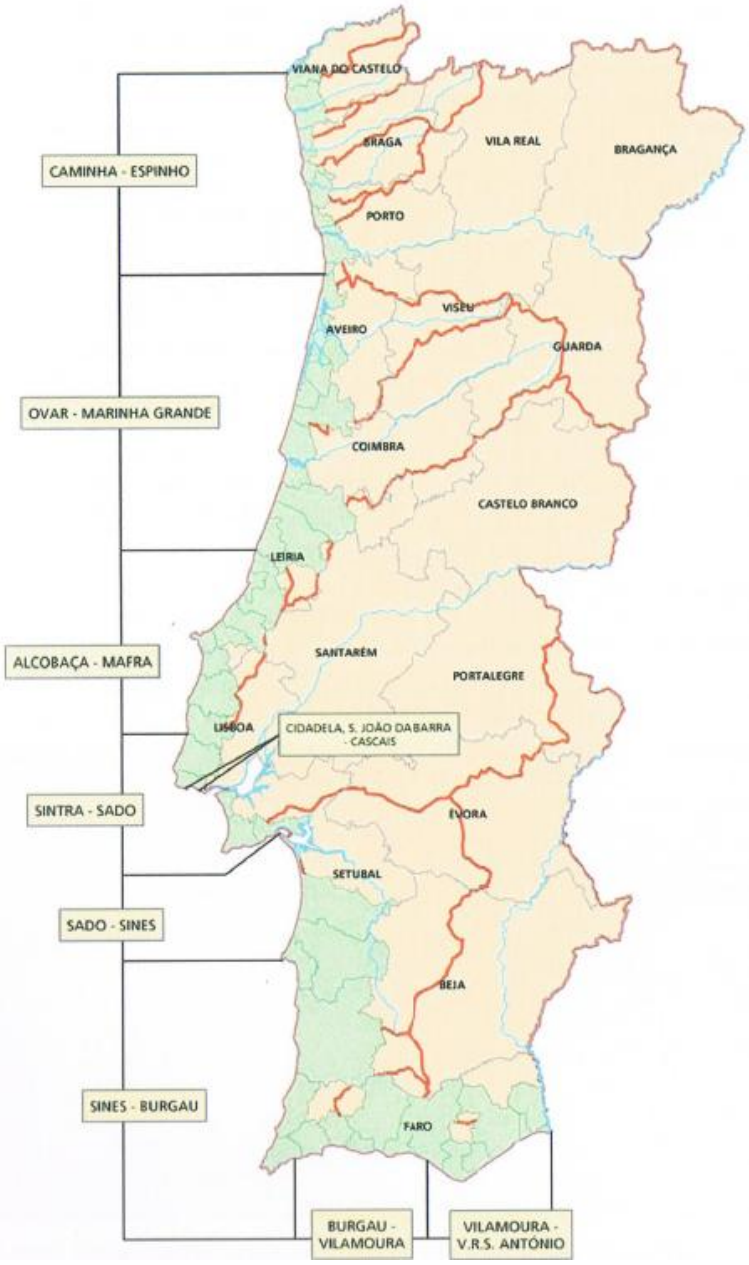


Figura 1.1 – Zona costeira portuguesa dividida de acordo com os POOC.(adaptado Veloso Gomes *et al*, 2006)

No âmbito das intervenções de qualificação e defesa de frentes costeiras, para além das estruturas transversais e longitudinais, são importantes medidas de conservação e reabilitação dos campos dunares presentes em Planos de Requalificação e Valorização da Orla Costeira como é exemplo o Programa Polis Litoral Norte.

Sentida a necessidade de intervenção, reabilitando as obras presentes na costa portuguesa, em 2007 surgiu o Plano de Acção para o Litoral 2007-2013, aprovado pelo Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Consiste num Plano, onde se identificam as acções, que no meio nacional se assumem como "Prioridades de Intervenção". O Plano indica onde vão ocorrer as intervenções, que tipo de intervenção, a entidade responsável assim como os custos envolvidos na obra. Foi previsto que o Plano de Acção para o Litoral deveria ser revisto a cada 2 anos, já que existe toda uma adversidade inerente a qualquer previsão que se possa fazer, designadamente um inverno mais rigoroso que atinja com maior intensidade uma determinada zona, necessitando esta de ser recuperada.

1.3. NECESSIDADE DE PROTECÇÃO CONTRA FENÓMENOS EROSIVOS

Até à entrada em vigor dos Planos de Ordenamento da Orla Costeira, verificou-se uma crescente pressão urbana sobre as zonas costeiras, levando a um aumento de construção de edifícios e infra-estruturas expostas às acções directas do mar. A realidade presente na costa portuguesa é de um aumento acentuado de ocupação humana sobra as zonas costeiras nos últimos decénios, observando-se um movimento generalizado da população do interior para zonas mais costeiras.

A fixação das populações entra em conflito com a dinâmica natural das zonas costeiras. Isto deve-se em parte à visão das populações de que as zonas costeiras são estáticas e homogéneas, quando na realidade possuem uma elevada dinâmica e heterogeneidade. Não será possível continuar este tipo de ocupação sem qualquer respeito pelas condições de segurança, aguardando a intervenção das autoridades, de forma a proteger os núcleos urbanos expostos à acção do mar, nomeadamente através da implantação de estruturas de defesa costeira.

A construção de estruturas de defesa costeira necessita de estudos credíveis e aprofundados, uma vez que a sua implantação provoca fortes alterações na dinâmica costeira natural, podendo provocar o aparecimento de novos problemas, ou a migração dos existentes para outras zonas que se encontravam aparentemente estáveis (Veloso Gomes, 1991).

Em Portugal, durante as décadas de 70 e 80, foram implantadas diversas estruturas, de forma a proteger diversos núcleos urbanos implantados em zonas próximas do mar (Veloso Gomes, 2007b)

Torna-se fundamental um bom estudo, recorrendo sempre que possível a uma análise dos pontos fortes e pontos fracos, aquando da implantação de uma estrutura de defesa costeira, visto que a sua construção poderá afectar zonas a sotamar que até à data poderiam não apresentar erosivos. No entanto, é necessário ter presente que, a não implantação de obras de defesa costeira, seria mais prejudicial para as frentes urbanas.

As Figuras 1.2, 1.3 e 1.4, procuram ilustrar de forma esquemática a evolução da configuração de um troço de linha de costa antes e depois da implantação das estruturas de defesa.

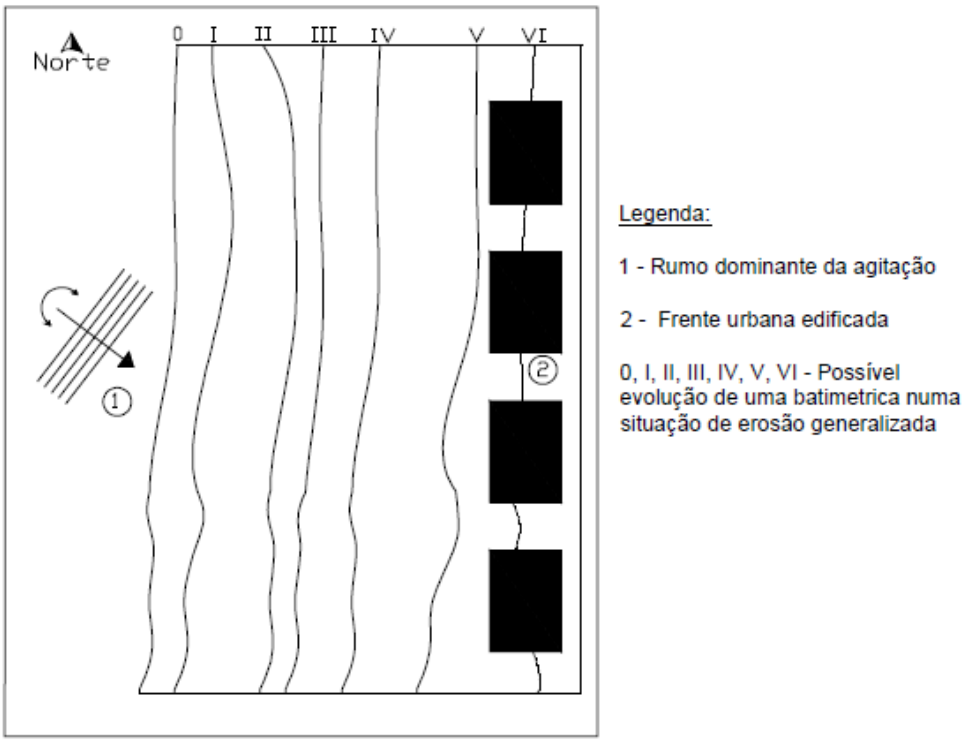


Figura 1.2 – Hipotética variação da linha de costa, numa situação de erosão generalizada, sem implantação de estruturas de defesa costeira (Veloso Gomes, 2007b)

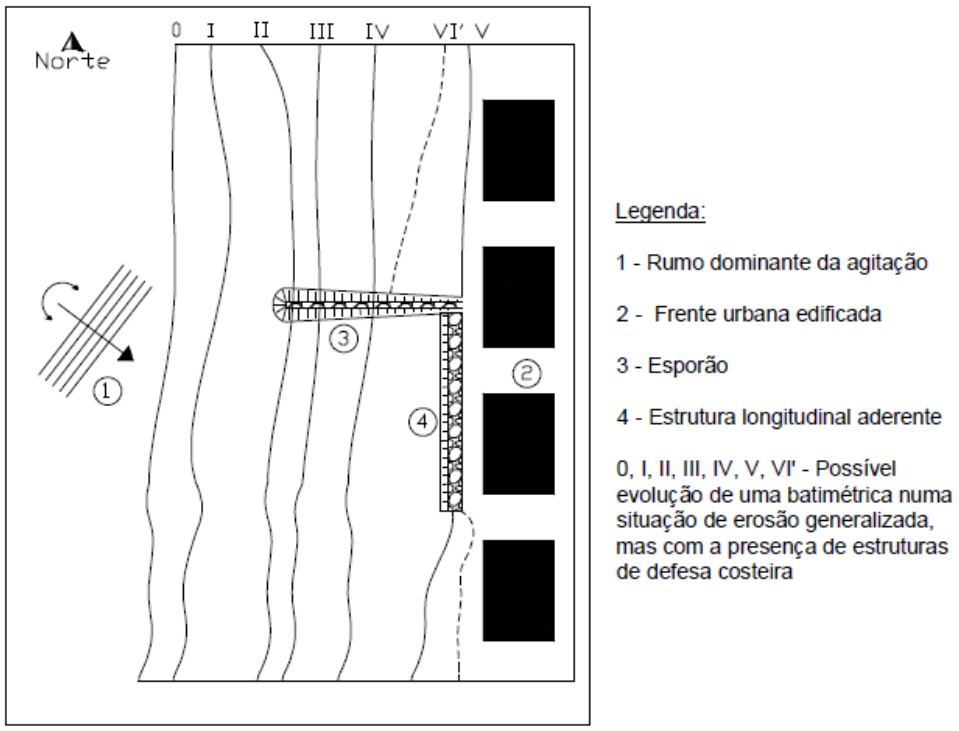


Figura 1.3 - Hipotética variação da linha de costa, numa situação de erosão generalizada, com implantação de estruturas de defesa costeira (Veloso Gomes, 2007b)

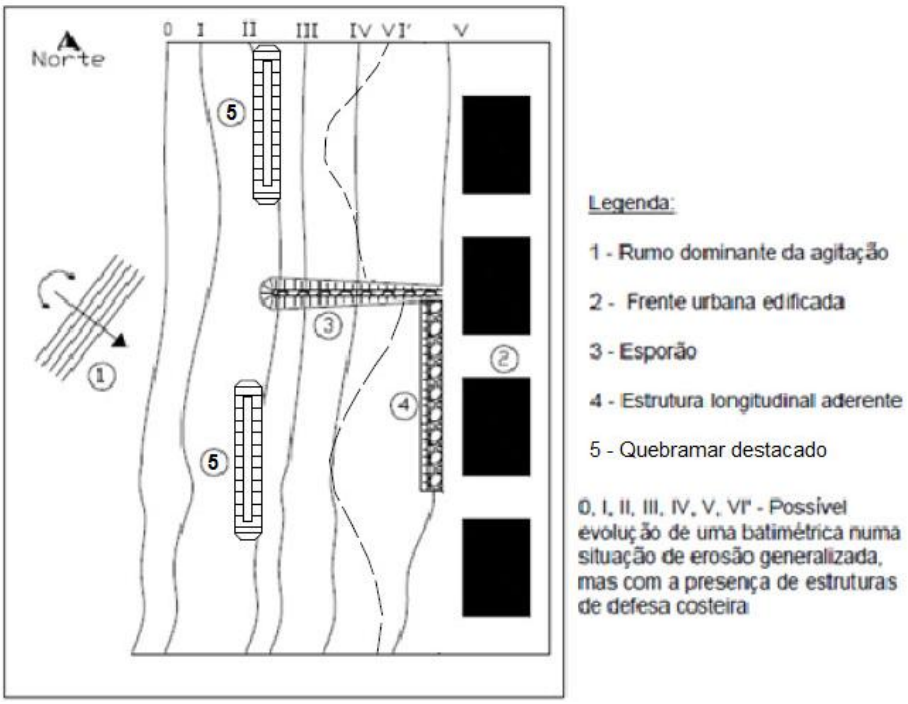


Figura 1.4 - Hipotética variação da linha de costa, numa situação de erosão generalizada, com implantação de estruturas de defesa costeira (Veloso Gomes, 2007b)

Com as referências (1) e (2) estão representados respectivamente, o rumo dominante da agitação na costa portuguesa e uma frente urbana. A numeração romana representa uma evolução possível para a linha de costa durante um período erosivo. As linhas VI e VI' representam a posição final da linha de costa para as três situações ilustradas.

Analisando as três situações, é possível concluir que apesar do aumento ou antecipação dos fenómenos erosivos a sul (sotamar)das estruturas, se não existissem as soluções de defesa costeira, a frente urbana teria sido destruída pela acção do mar.

Em inúmeros casos, a retirada dos núcleos urbanos não é viável por motivos económico-sociais, pelo que a construção de estruturas de defesa costeira, é a única forma de assegurar a sua continuidade. Assim, retirar as estruturas existentes não pode ser uma opção sob pena do avanço do mar destruir o património edificado, pelo que as operações de reforço, reparação ou reabilitação destas são indispensáveis (Veloso Gomes, 2007b).

No entanto, não são apenas as frentes urbanas que se encontram ameaçadas pelos fenómenos erosivos. A agricultura também pode sofrer sérias consequências, uma vez que os solos após sofrerem um processo de salinização dificilmente voltam a ser férteis, o que poderia ser um problema para a economia de algumas zonas. Existem várias explorações agrícolas situadas próximo do mar, o que é positivo do ponto de vista do ordenamento do território pois não permite o desenvolvimento de núcleos urbanos, funcionando como zonas tampão. No entanto, apesar da sua importância económico-social ser inferior, relativamente às frentes urbanas, deverão em muitas situações ser preservadas.

Na zona costeira portuguesa, apesar da existência de frentes edificadas, existe uma extensão maioritária com zonas florestais ou cordões dunares, que devem continuar a ser defendidos como tal, pois vão funcionando como zona tampão. A variação da linha de costa deve evoluir de forma natural em zonas como estas.

Um pouco por todo o mundo diversas actividades económicas dependem da dinâmica das zonas costeiras, como por exemplo: a pesca, a agricultura, a aquacultura, as vias de comunicação, os desportos aquáticos e o turismo. Este último é importantíssimo, já que várias economias mundiais contam com o turismo como principal fonte de receita. Se as praias desaparecerem ou não reunirem as condições necessárias para a prática balnear, estas economias sofrerão perdas incalculáveis (Philips e Jones, 2006).

Segundo Green *et al.*, (1992) o turismo representa a maior indústria mundial, sendo as praias fulcrais para o seu desenvolvimento. Os processos erosivos em curso podem provocar impactos negativos não só a uma escala local, mas também a uma escala global, podendo mesmo originar uma crise económica em alguns países, daí que o seu estudo e respectiva minoração sejam de fulcral importância. Socialmente é extremamente difícil realojar populações que sempre viveram junto ao mar.

Actualmente tem-se abordado a questão de realojamento de populações de forma mais incisiva, por questões de segurança destas mesmas populações. No entanto a implementação dessas decisões tem encontrado oposição social por parte das envolvidas, as quais abarcam custos elevados e aspectos jurídicos delicados.

1.4. OBJECTIVOS

No presente trabalho, pretende-se apresentar soluções de reabilitação de estruturas de defesa costeira, tendo como casos de estudo três frentes urbanas da costa oeste portuguesa, nomeadamente Mindelo, Furadouro e Torreira.

Foram considerados como objectivos a cumprir:

- Aplicação de conhecimentos sobre estruturas de defesa com taludes, tal como esporões e obras destacadas;
- Reconhecimento de problemáticas interdisciplinares, como a percepção dos fenómenos de erosão costeira e a relação com o ordenamento;
- Reconhecimento de campo;
- Elaboração de um diagnóstico aos casos de estudo;
- Avaliação, caracterização e comparação dos três casos de estudo já mencionados;
- Apresentação de propostas de solução de reabilitação;
- Referencia a aspectos construtivos e a incidências ambientais.

Começa-se por apresentar algumas definições e considerações acerca das “estruturas pesadas” para o combate à erosão costeira, enumera-se algumas das características da costa portuguesa relativamente ao clima de agitação, referindo alturas de onda, direcção e períodos. É realizada uma avaliação inicial dos casos de estudo referente ao risco erosivo, finalizando o capítulo com a apresentação de um histórico de imagens aéreas das praias em questão, com a comparação da evolução das linhas de costa ao longo dos anos. Seguem-se os capítulos 3, 4 e 5, com a descrição dos casos de estudo, analisando o seu comportamento no passado, a dinâmica actual, enumerando anomalias das estruturas de defesa costeira e finalizando com propostas de intervenção para a zona de estudo. Segue-se o capítulo 6 com o pré-dimensionamento de estruturas destacadas, passando para o capítulo 7 com uma modelação numérica desse mesmo pré-dimensionamento para a praia do Furadouro, terminando com as conclusões.

2

REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA

2.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo far-se-á, a descrição sintética dos tipos/funções de estruturas de defesa costeira abordadas no estudo, a enumeração dos seus impactes, assim como o seu modo de ruptura. Apenas se fará uma caracterização mais pormenorizada no caso das estruturas longitudinais destacadas, visto que um quebramar destacado será uma estrutura dimensionada para um dos casos de estudo, achando então merecedor de uma maior atenção.

Também se farão de forma breve, algumas considerações ao nível hidrodinâmico presente na costa portuguesa, tal como a descrição da maré e a caracterização da altura, direcção e período da agitação.

2.2. BREVE DESCRIÇÃO DE ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA

2.2.1. ESTRUTURAS TRANSVERSAIS

Os esporões identificam-se como estruturas transversais, obras implantadas transversalmente à faixa costeira, retendo uma percentagem maior ou menor de transporte sólido longitudinal em função do seu comprimento, cotas de coroamento e constituição estrutural promovendo a deposição de sedimentos a barlamar da zona de implantação.

Este tipo de estrutura pode aparecer isoladamente, ou como um campo de esporões. Para a concepção de um campo de esporões, tem de se ter em conta critérios como o comprimento, o espaçamento longitudinal entre esporões, as suas cotas de coroamento e de implantação, a sua configuração estrutural assim como a permeabilidade transversal e por fim a sequência construtiva.

Em geral, a sequência construtiva deve processar-se de sotamar para barlamar, prevendo-se assim, uma minoração dos efeitos negativos a sotamar. É importante também que se estabeleçam com cotas baixas e com alguma "permeabilidade" ou com "transparência" transversal ao transporte sólido (Veloso Gomes, 1991).

Relativamente aos modos de ruptura de um esporão (Figura 2.2), estes podem ocorrer no enraizamento, no corpo da estrutura ou na cabeça. Na Figura 2.1 e Figura 2.2, estão referidos os modos de ruptura em perfil e planta respectivamente.

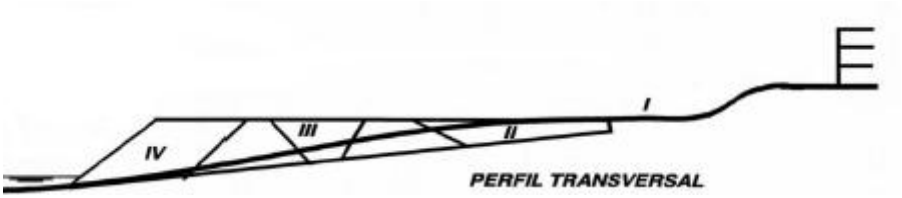


Figura 2.1 – Perfil transversal tipo de um esporão (Veloso Gomes 2010a)

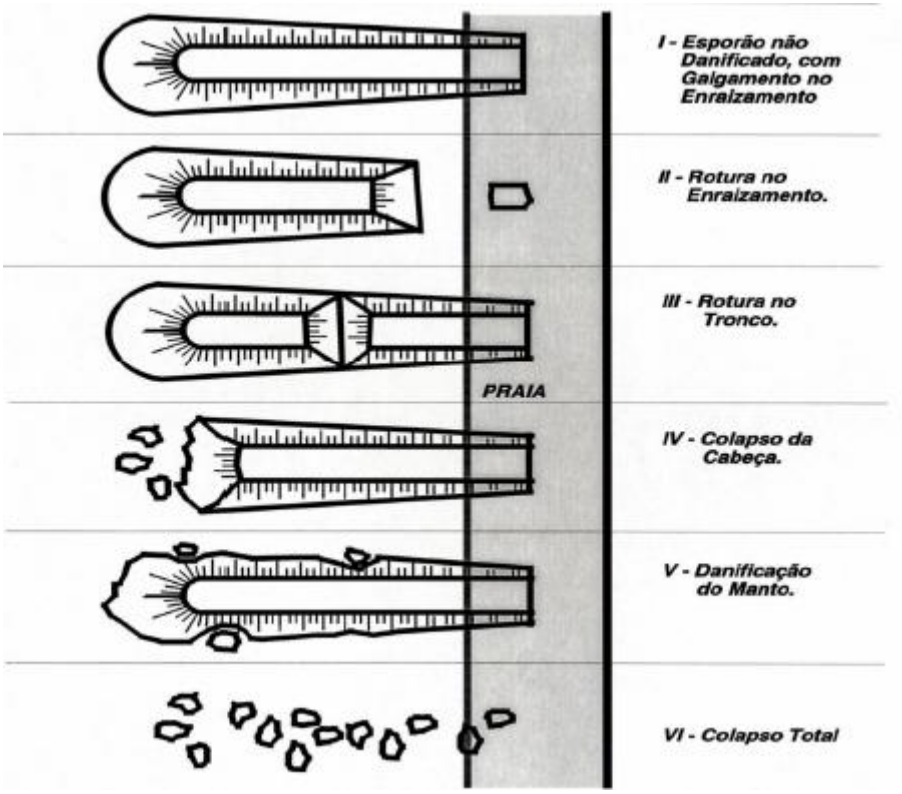


Figura 2.2 – Modos de rotura e colapso dos esporões na costa oeste portuguesa (Veloso Gomes 2010a)

Existindo condições distintas de agitação marítima e de fundos móveis, o que implica diferentes características das acções, ou mesmo condições distintas de implantação, construção e comportamento dos esporões, verificam-se diferentes tipos de rotura. No entanto, de forma generalizada na costa oeste portuguesa as tipologias de rotura passarão pelo descrito na Figura 2.2.

É de referir que a implantação deste tipo de estruturas acarreta alguns impactes e limitações que devem ser descritas.

O facto de estas estruturas actuarem sobretudo como obstáculo ao movimento sedimentar leva à conclusão de que a sua eficácia resulta em parte da existência desse mesmo movimento longitudinal com persistência. O seu desempenho está condicionado pela existência de fluxo sedimentar a partir de barlamar e também por medidas de mitigação do declínio sedimentar e dos danos causados pela construção dos mesmos (Vidal, 2009).

Na situação de se pretender maximizar a capacidade de encaixe de sedimentos, ter-se-á que construir a estrutura com um comprimento tal, que intersecte a totalidade da faixa de rebentação, onde ocorre o

máximo transporte longitudinal. No entanto, um elevado comprimento de estrutura, implica assentar a cabeça da estrutura a cotas elevadas, que implicará maiores problemas de conservação da obra.

Este último ponto, do elevado comprimento da obra trará também maiores problemas de erosão a sotamar. Portanto a escolha do comprimento de uma estrutura transversal nem sempre será fácil de avaliar, visto que, se o comprimento for reduzido a eficiência tenderá para zero, ao passo que, se for longo de mais terá os problemas já assinalados.

Apontam-se como impactes o visual/paisagístico e a redução do transporte sedimentar para sotamar.

2.2.2. ESTRUTURAS LONGITUDINAIS ADERENTES

Estas estruturas implantam-se paralelamente à linha de costa e estão ligadas a esta, segundo um dado alinhamento. Têm como principal função a resistência à acção directa da agitação marítima. Noutras situações são usadas para delinear arruamentos e/ou aterros marginais, desempenhando assim apenas a função de retenção de solos, o que por sua vez deverá implicar um tratamento paisagístico exigente de modo a não interferir com a linha normal da costa (Taveira Pinto, 2001).

Relativamente a soluções construtivas, estas podem considerar paramentos verticais, inclinados, compostos, curvilíneos (deflectores) ou em degraus, conforme a sua função principal e a concepção considerada. A eficiência destas estruturas será maior ou menor, consoante o tipo de infraescavações, de assentamentos ocorridos e dos galgamentos que a estrutura possuir. Daí que a incorrecta consideração destes factores relativamente ao funcionamento da estrutura poderá incorrer numa destruição parcial ou total, ficando assim comprometida a eficácia desejada na defesa da linha de costa. Em situações em que as fundações não se estabelecem a partir de estratos rochosos e as erosões atingem valores acentuados, os perigos de instabilidade por infraescavação são muito superiores (Taveira Pinto, 2001).

Quanto aos modos de rotura de estruturas longitudinais aderentes, poder-se-ão considerar sete tipos distintos (Figura 2.3).

No que respeita a infraescavações, a rotura ocorre junto do pé de talude da estrutura provocada pela agitação marítima que vai retirando progressivamente material desta zona. Pode ainda ocorrer o deslizamento do manto exterior da estrutura. Esta forma de rotura põe, muitas vezes, em risco plataformas que constituem arruamentos marginais onde se encontram pessoas e bens. Em situações em que ocorra o galgamento da estrutura podem verificar-se danos na zona de coroamento, ou até mesmo da plataforma marginal. Por outro lado, se a estrutura não for convenientemente construída, ou seja, se não forem salvaguardados todos os pressupostos da construção do talude, este poderá sofrer alguns movimentos de assentamento, que poderão conduzir, por exemplo, à rotura da estrutura.

No caso de ocorrerem fortes escoamentos pluviais na zona de implantação e caso não sejam garantidos todos os mecanismos para a drenagem dos mesmos através de dispositivos adequados, podem ocorrer roturas por ravinamento da estrutura quer na zona frontal, quer mesmo na zona da plataforma marginal (Vidal, 2009).

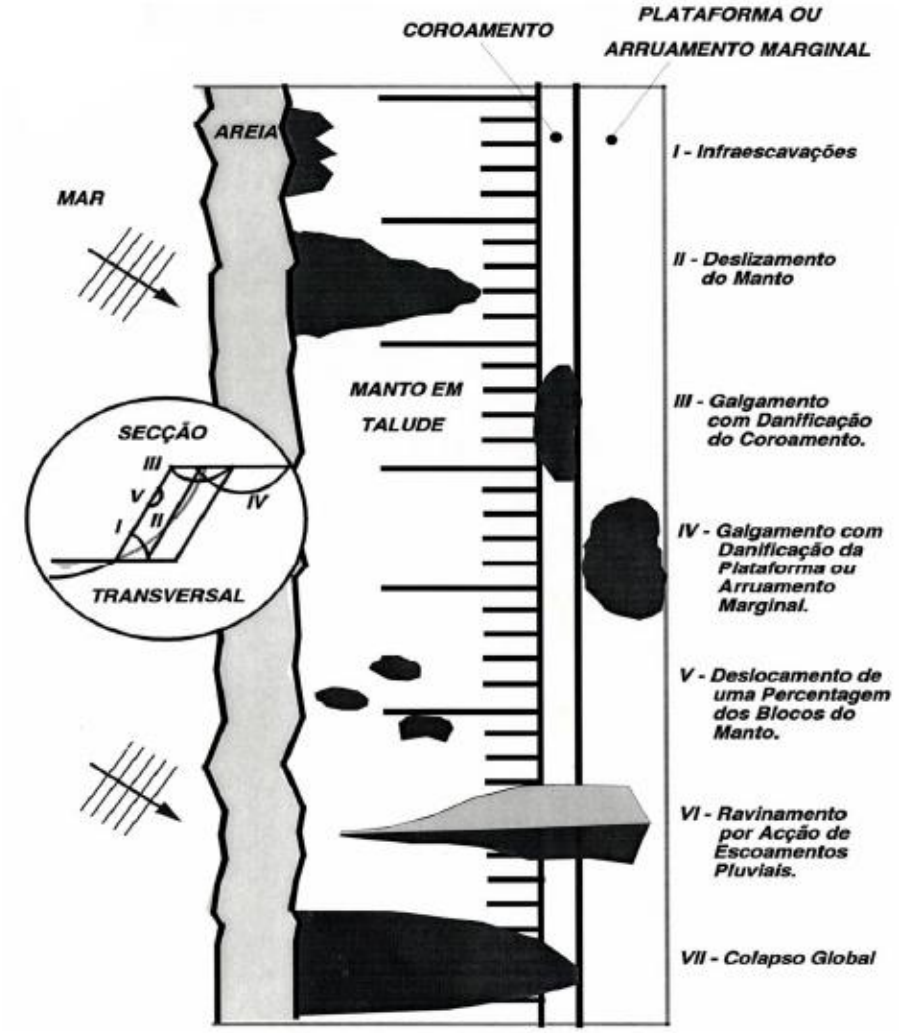


Figura 2.3 – Modos de rotura e colapso das obras longitudinais aderentes na costa oeste portuguesa (Veloso Gomes, 2010a)

A implantação deste tipo de estruturas, provoca impactes como, o rebaixamento da praia provocada pelo aumento de reflexões, o que ainda pode levar a processos de erosão da zona arenosa, podendo mesmo erodir a fundação da estrutura (Figura 2.4).

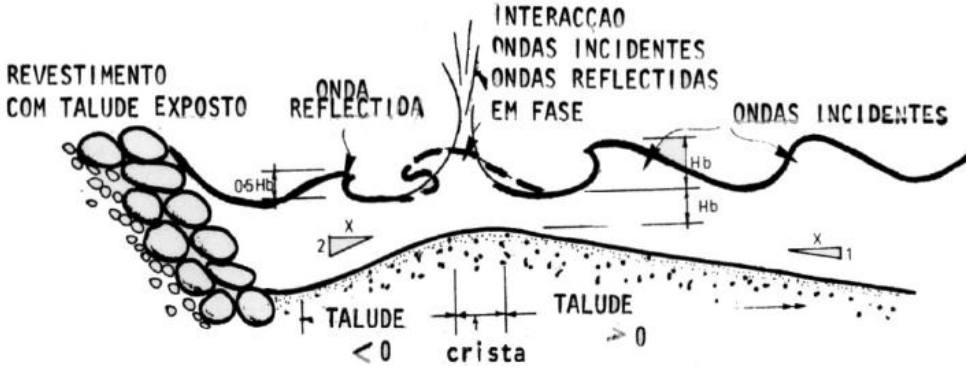


Figura 2.4 – Interacção de ondas incidentes, ondas reflectidas (Veloso Gomes, 2010a)

O problema das erosões na costa não é combatido com este tipo de estruturas, permitindo apenas a manutenção da linha de costa, na zona de implantação da obra.

2.2.3. ESTRUTURAS LONGITUDINAIS DESTACADAS

2.2.3.1. Caracterização geral

Fazem parte deste tipo de estruturas, os quebramares destacados, um tipo de solução pouco utilizada na costa portuguesa até à data. São estruturas que são implantadas paralelamente à costa, a uma determinada distância da costa e normalmente fundadas a cotas inferiores aos esporões.

Os quebramares destacados, consoante a cota de coroamento, podem ser classificados como emersos ou submersos. Em relação aos submersos, estes permitem uma rebentação prematura das ondas, assim como o galgamento do fluxo que traz sedimentos para tardoz da estrutura. Sendo submersos há vantagens ao nível da redução de impacte visual, o que não acontece com as estruturas correntes de defesa costeira.

A diferença entre a altura do quebramar, hc, e o nível máximo de preia-mar de águas vivas, define o parâmetro de submergência do coroamento, Rc (Figura 2.5). A sua avaliação é determinante no que se refere ao modo de transmissão da agitação sobre a estrutura, visto que uma redução dos galgamentos admitidos se traduz, em termos de dimensionamento estrutural, numa elevação da cota de coroamento, ou vice-versa. A cota de coroamento de um quebramar emerso não está implícita ao tratamento da passagem do escoamento através da estrutura e à direcção de propagação dos planos de difracção, pois estas dependem da permeabilidade da estrutura e do ângulo de incidência das ondas, respectivamente.

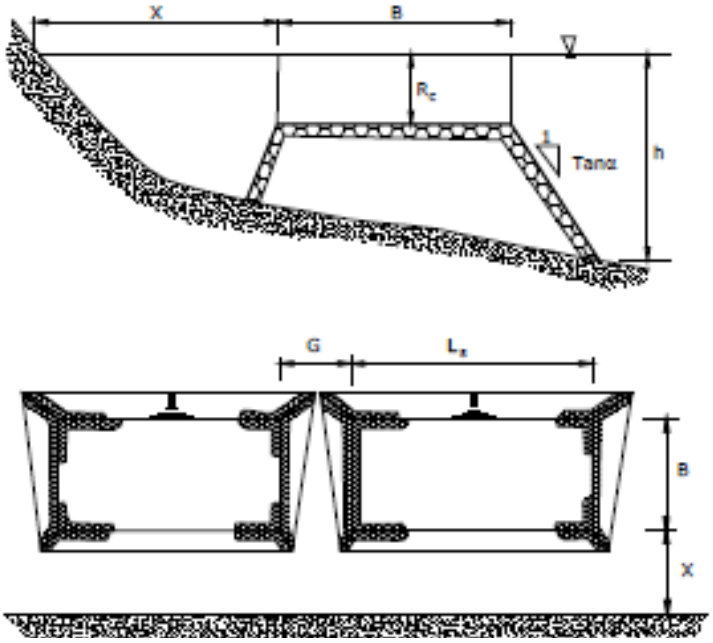


Figura 2.5 – Parâmetros característicos de um quebramar destacado (Pilarczyk, 2003 citado por Pereira, 2008**)**

É ainda de salientar que a cota de coroamento de um quebramar destacado deve estar relacionada com a variação dos níveis de maré, especialmente se estes forem significativos, pois não só condiciona o seu funcionamento, como também afecta o aspecto paisagístico.

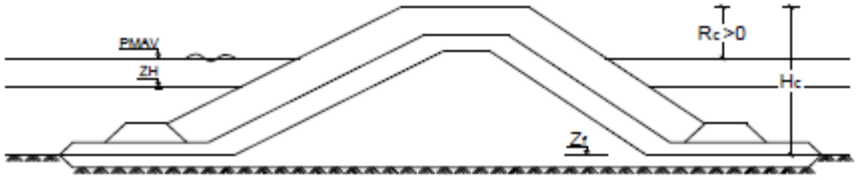


Figura 2.6 – Submergência do coroamento de um quebramar destacado emerso (Pereira, 2008)

No caso do coroamento de um quebramar se encontrar emerso, acima do nível máximo da preia-mar, a submergência é considerada positiva, logo $R_c>0$ (Figura 2.6).

Já no caso do coroamento de um quebramar se encontrar submerso, abaixo do nível máximo da preia-mar, a submergência é considerada negativa, logo $R_c<0$ (Figura 2.7).

Esta característica consigna aos quebramares submersos a capacidade de amortecimento das ondas, em zonas costeiras com variação de níveis de maré reduzida e frequência de ocorrência de marés de tempestade reduzidas.

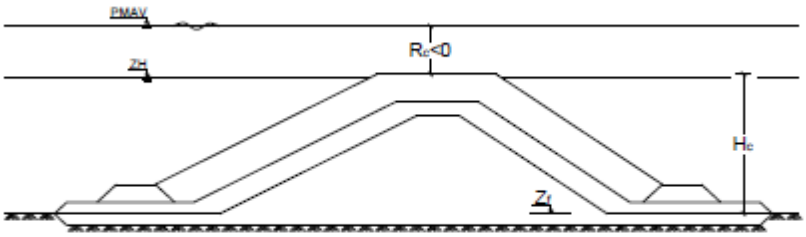


Figura 2.7 - Submergência do coroamento de um quebramar destacado submerso (Pereira, 2008)

Ainda se pode referir os quebramares parcialmente submersos, os quais são idealizados em função da amplitude de maré. Significa isto, que em PMAV a estrutura estará submersa, ao passo que em BMAV encontrar-se-á emersa, permitindo assim este tipo de solução, por um lado uma melhoria face aos quebramares submersos ao nível da captação de sedimentos a tardoz da estrutura, e por outro uma redução parcial do impacte visual/paisagístico face às estruturas emersas.

Os quebramares destacados, têm características próprias que residem no facto de, através de correntes de difracção originadas nas extremidades da estrutura, resultar na acumulação de sedimentos no tardoz da estrutura (Figura 2.8). Esta acumulação de sedimentos pode ser feita de duas formas distintas. Pode formar um tômbolo de sedimentos que consiste numa acumulação de material até à zona do quebramar destacado, ou pode formar-se uma saliência, que corresponde a uma menor acumulação de material, sendo que esta solução não interrompe o transporte longitudinal para as praias adjacentes.

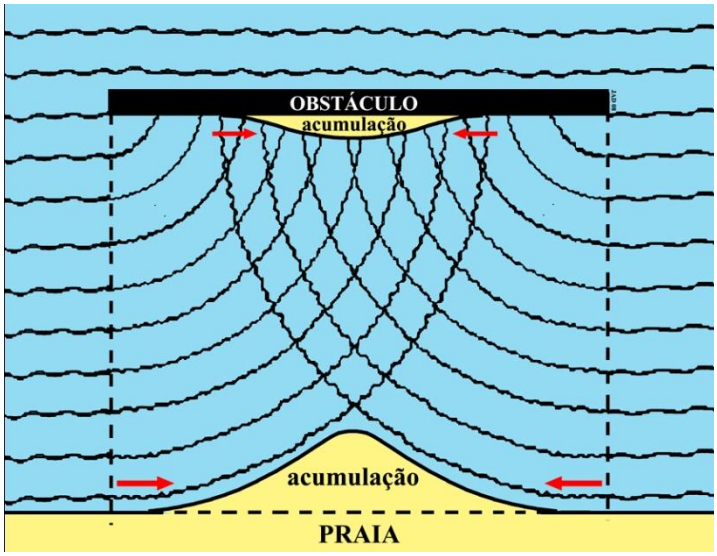


Figura 2.8 – Fenómeno de difracção e a formação de um tômbolo de areias (adaptado de http://www.aprh.pt/rgci/glossario/tombolo.html)

Quanto à reflexão da agitação por uma estrutura destacada, é de apenas salientar o facto de que os quebramares submersos têm o efeito de tornar as velocidades mais uniformes, isto é, diminuem a velocidade máxima, bem como o efeito de redução do espraiamento em taludes situados a sotamar desse quebramar. (Taveira Pinto, 2007).

Os parâmetros funcionais, a ter em conta no dimensionamento de um quebramar de destacado (Veloso Gomes, 2010), são:

- Batimetria;
- Clima de agitação;
- Sedimentologia;
- Profundidades de implementação;
- Comprimento da estrutura;
- Distância à costa e entre obras;
- Cota de coroamento;
- Concepção estrutural.

Segundo Veloso Gomes, (1991), quanto maior for a cota de implantação do coroamento de uma estrutura destacada, mais eficiência será gerada na criação do tômbolo. Contudo esta situação acarretará maiores dificuldades a sotamar, caso se verifique um significativo transporte litoral.

A construção de quebramares destacados pode trazer desvantagens como a redução de renovação da água, custos de construção superiores em relação às outras soluções de defesa costeira, pelo facto de a sua implantação se fazer a cotas mais profundas e desligado da costa, e por fim, caso sejam estruturas emersas, reflecte-se num impacte paisagístico/visual superior.

Quanto ao seu modo de rotura, os quebramares destacados evidenciam modos relativamente semelhantes às outras estruturas de defesa costeira. Tendo em conta que são estruturas que estão implantadas a cotas inferiores, é de esperar que estejam mais expostas às forças hidrodinâmicas.

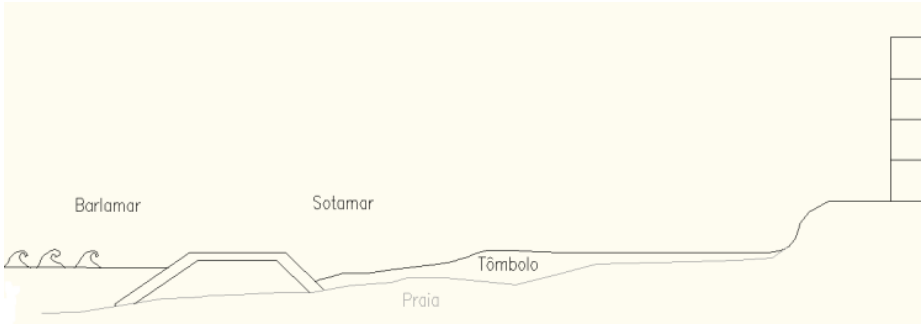


Figura 2.9 – Perfil transversal tipo de um quebramar destacado (adaptado Sousa, 2010)

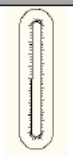
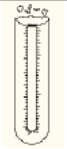
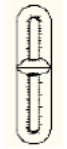
Esquema da Anomalia	Classificação
	I – Estrutura não danificada, com galgamentos na Preia-Mar
	II – Colapso da cabeça da estrutura
	III – Rotura no corpo do quebramar
	IV – Danificação do manto resistente
	V – Estrutura totalmente danificada

Figura 2.10 – Modos de rotura e colapso das obras longitudinais destacadas (adaptado Sousa, 2010)

2.2.3.2. Vantagens e inconvenientes

A reparação dos estragos após assentamentos e rotura destes, sem que ocorra uma destruição geral, conduz a um aumento da estabilidade, o que não sucede na generalidade das estruturas de defesa costeira. Esta situação resulta no acréscimo de porosidade e rugosidade dos taludes, conferindo à estrutura uma maior capacidade de dissipação da energia das ondas.

Os volumes de material inerentes a esta tipologia de protecção costeira podem, pelo contrário, conduzir a custos elevados de construção e manutenção. A aplicação das estruturas também pode ser inviabilizada pela dificuldade de execução dos trabalhos de construção civil. No caso da mesma ser

planeada em condições de agitação de elevada energia ou em fundos móveis, exigirá fundações muito extensas como forma de evitar as infraescavações.

Na área adjacente a um quebramar destacado as condições hidrodinâmicas sofrem transformações, nomeadamente, alterações das correntes que aí circulavam até à implantação da estrutura.

Com a presença do quebramar a propagação da agitação é atenuada. No entanto, as ondas difractadas encaminham-se para a zona a sotamar da estrutura, pelo que a dissipação da energia incidente nunca será totalmente conseguida. No caso de quebramares de baixa cota de coroamento ou submersos, a presença de galgamentos resulta frequentemente na passagem de um volume de água considerável para sotamar. Os galgamentos originam assim correntes compensatórias na área assoreada, remetendo este efeito para uma circulação da água, que contraria o impacte negativo da estagnação das águas para práticas balneares.

Em condições de agitação média/forte, com ondas incidentes perpendiculares à estrutura, as correntes locais geradas contribuem para o bloqueio da corrente longitudinal paralela à costa, justificando-se assim, o facto de se gerarem outras correntes em zonas menos próximas do quebramar, originadas pela repartição da referida corrente principal.

A combinação das várias correntes locais pode ainda desenvolver, na pior das situações, remoinhos e correntes muito complexas que actuam junto ao talude posterior, colocando em risco os utilizadores destas zonas. Estes efeitos, nocivos à prática balnear, podem ser previstos e minimizados num dimensionamento mais cuidado, relativamente ao comprimento e distância da estrutura em relação à linha de costa, para posteriormente testar o quebramar em modelo reduzido a fim de obter os planos de difracção e reflexão. No entanto, conhecendo a grande complexidade que estes fenómenos apresentam nem sempre é possível realizar conjecturas tão próximas da realidade quanto se desejaria.

Um quebramar destacado pode criar condições de assoreamento, mas também pode originar erosões na direcção da corrente longitudinal, a sul da estrutura na costa portuguesa. Esta erosão é claramente menos acentuada do que a criada pelos esporões, já que não reduz totalmente a capacidade de transporte sedimentar longitudinal.

Também a repartição da corrente longitudinal provocada pela implantação do quebramar destacado pode causar o desenvolvimento de erosões localizadas junto às cabeças do mesmo, contribuindo para a infraescavação dos fundos. Este processo será ainda maior com a aplicação de múltiplos quebramares, visto que as reduzidas aberturas entre eles provoca maior turbulência e maiores velocidades.

Ao longo dos tempos, uma desvantagem inerente a estas estruturas em águas pouco energéticas é assinalada pela presença de organismos, como por exemplo algas, que poderão colonizar nas zonas mais abrigadas a sotamar dos quebramares. Estas espécies tornam-se inconvenientes para o turismo balnear, na medida em que os seus detritos tornam, geralmente, as águas turvas e com odores desagradáveis, obrigando a limpezas periódicas dispendiosas. Esta situação, motivada pela estagnação das águas e posterior degradação da qualidade das mesmas, pode ser contrariada pela agitação energética que obriga à circulação permanente de água.

Os quebramares destacados conduzem geralmente a um impacto visual na orla costeira, pela barreira que introduzem na paisagem do prolongamento terra-mar até à linha do horizonte, ou mesmo nas vistas panorâmicas das praias. Este efeito será tão maior quanto menor for o grau de submergência das estruturas, ou seja, quando o desnível entre as cotas do nível máximo de preia-mar de águas vivas e do coroamento for elevado; também a aplicação de quebramares emersos sucessivos poderá provocar um impacto mais acentuado.

A minimização dos impactos paisagísticos, ou da chamada intrusão visual, pode ser realizada, se os mesmos forem considerados na escolha da cota de coroamento e da forma dos quebramares destacados. Acompanhados de uma correcta escolha dos materiais dos blocos do manto resistente e do coroamento, poderão conduzir à atenuação dos impactos visuais. Por exemplo, verifica-se que na maioria dos casos, existindo viabilidade, os blocos de enrocamento são preferencialmente aplicados no lugar de blocos de betão.

O impacto pós-construção causado por quebramares destacados, com características que incitem à alteração morfológica acentuada (tômbolo ou saliência muito pronunciada), conduzirá naturalmente a uma melhoria significativa da área balnear, precisamente pelo aumento do perímetro de praia. Se aliado a este benefício, a zona for dotada de infra-estruturas destinadas à prática balnear, esta poderá crescer enquanto zona social, o que poderá gerar uma melhoria económica na zona, quando bem aproveitada.

2.3. CONSIDERAÇÕES E CONDICIONANTES DA COSTA OESTE PORTUGUESA

2.3.1. AGITAÇÃO MARÍTIMA

A acção da agitação e das correntes nas zonas litorais dos oceanos é em geral muito intensa, dando origem a movimentos quase-permanentes dos materiais de fundo aí depositados. A variabilidade das características da agitação e das correntes traduz-se em significativas alterações na capacidade de transporte do escoamento, o que, em consequência, conduz a modificações mais ou menos irregulares dos fundos e da geometria da costa.

O precário equilíbrio dinâmico das zonas costeiras, sendo afectado pelas mudanças cíclicas dos regimes de onda e da corrente, é ainda fragilizado por perturbações ligadas à actividade humana local (construções e regularizações costeiras) e longínqua (extracções de sedimentos e obras de regularização fluvial, privando as zonas marítimas das correspondentes contribuições sedimentares).

Nesta conformidade, o conhecimento das características do escoamento associado às ondas e às correntes, e a sua dependência relativamente à batimetria e à geometria da costa, são de primordial importância no dimensionamento de obras marítimas, na previsão das consequentes modificações introduzidas na agitação marítima e ainda no transporte e deposição de sedimentos.

2.3.1.1. Caracterização da maré

Na costa oeste portuguesa as marés são do tipo semi-diurnas, com ciclos de maré de 12h 25min, com propagação de sul para norte.

De acordo com as previsões de Instituto Hidrográfico, elaboradas com base em registos maregráficos realizados em Leixões e Aveiro (Tabela de Marés de 2011), aplicáveis aos três casos de estudo, os elementos característicos da maré apresentam os seguintes valores no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Elementos relativos às marés (Instituto Hidrográfico, 2011)

	Cotas [m (ZH)]	
	Leixões	Aveiro
Preia-mar máximo	3.93	3.73
Preia-mar de águas vivas	3.48	3.35
Preia-mar de águas mortas	2.68	2.64
Nível médio	2	2
Baixa-mar de águas mortas	1.34	1.36
Baixa-mar de águas vivas	0.52	0.63
Baixa-mar mínimo	0.14	0.28

O zero hidrográfico (ZH), utilizado como plano de referência dos levantamentos hidrográficos e das tabelas de marés, situa-se 2,00 m abaixo do nível médio das águas do mar. Dado que os valores das marés se baseiam em medições realizadas há muitos anos, a estas alturas deverá ser somado 0,1m, tendo-se assim em conta a lenta evolução do nível do mar.

Sob condições meteorológicas anómalas, ventos fortes ou grandes perturbações da pressão atmosférica, a altura de água passa a ter uma importante componente meteorológica sobreposta à componente devida à maré, podendo verificar-se variações significativas das cotas indicadas. A rebentação contínua de frentes de onda extensas também pode originar a subida do nível do mar. Trata-se do resultado do transporte e acumulação progressiva no sentido da terra das massas de água mobilizadas durante a rebentação.

2.3.1.2. Clima de Agitação Marítima

As principais tempestades que atingem a costa noroeste portuguesa, provêm do Atlântico norte, nos meses entre Outubro e Março (Veloso Gomes *et al*, 2006).

De acordo com IHRH, 1993, em Leixões a agitação marítima na maior parte do ano, é caracterizada por ondas provenientes de noroeste que se combinam com vagas. A agitação marítima é caracterizada por um largo espectro de frequência e pequenas variações de direcção. A maior parte das tempestades ocorre na estação de inverno. As ondas e vento local, são em grande parte de norte, noroeste e sudeste. No último caso, estes ventos podem ser associados a temporais. Muitos dos temporais ocorridos, originam ondas com muita energia de oeste.

Segundo Costa *et al*, 2001, fazendo posse de registos de Julho de 1990 a Janeiro de 1996 da bóia da Figueira da Foz, obteve-se quanto à altura média de onda significativa (HM0), a média de 2.2m e um desvio padrão de 1.11m.

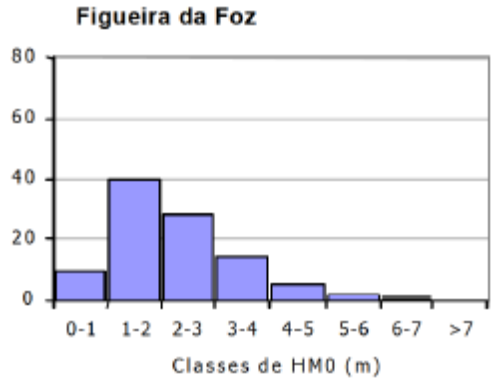


Figura 2.11 – Distribuição de frequência relativa (em %) da altura média de onda significativa (Costa *et al*, 2001)

Quanto ao período médio (T02), este foi 7.2s e o seu desvio padrão de 1.7s, já em relação ao período de pico (TP), ficou pelos 11.4s e desvio padrão de 2.5s.

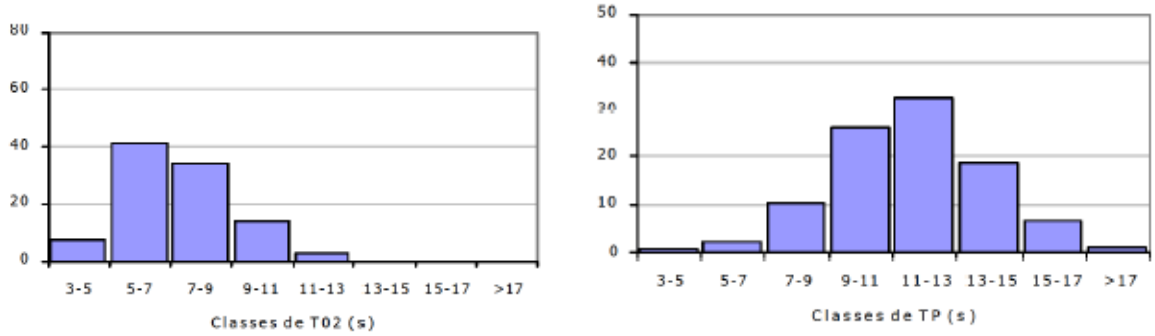


Figura 2.12 - Distribuição de frequência relativa (em %) de T02 e TP (Costa *et al*, 2001)

Relativamente à direcção média associada ao período de pico, constata-se que aproximadamente de 90% das observações provêm dos sectores NW e W, e ainda uma ligeira contribuição de norte.

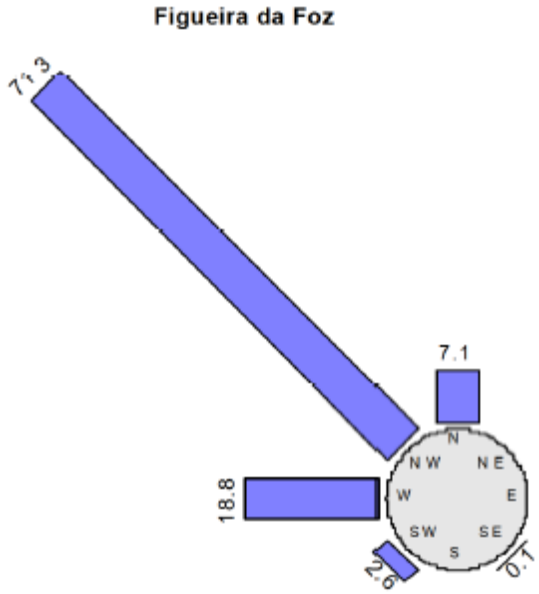


Figura 2.13 - Distribuição de frequência relativa (em %) da direcção média associada ao período de pico (Costa *et al*, 2001)

Com base em Veloso Gomes *et al*., 2006, entre o período de 2001/05/25 a 2002/05/03, a bóia ondógrafo de Leixões registou algumas das características de agitação marítima, nomeadamente a altura de onda significativa média de 2 a 3 m, com períodos de 8 a 12 segundos, sendo que com condições de tempestade, a altura de onda significativa média excedia os 8 m, com períodos de 16 a 18 seg. As condições de onda local são diferentes das ondas ao largo, devido a efeitos de batimetria e fenómenos locais, especialmente refracção, difracção e empolamento. As direcções mais observadas foram NW, com 43,8% de ocorrências, WNW com 28,0% e NNW com 21,2% das ocorrências (Figura 2.14).

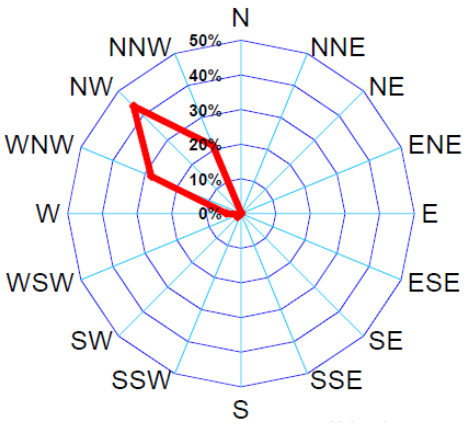


Figura 2.14 – Frequência das ondas registadas na bóia ondógrafo de Leixões (adaptado Veloso Gomes *et al*., 2006)

2.3.2. TRANSPORTE SEDIMENTAR

O Plano Nacional da Água (2001), refere que numa situação normal antes do início da construção de barragens em 1930, o transporte sedimentar litoral na costa norte portuguesa era aproximadamente 2×10^6 m^3/ano, com o rio Douro garantindo 90% desta quantidade. A área de influência do estuário do rio Douro, é um dos três depósitos sedimentares mais importantes na costa oeste portuguesa. A espessura da camada superficial varia entre os 2 a 5 m, sendo o depósito sedimentar composto maioritariamente por terra. As taxas sedimentação variam entre os 0,17 a 0,4 m/ano (Veloso Gomes, *et al*, 2006).

Actualmente, o rio Douro contribui com uma pequena parcela, que está estimada como 250.000 m^3/ano, provocada pela construção de barragens, que resultaram numa redução de poder erosivo no leito do rio, diminuindo assim a velocidade de escoamento e consequentemente os sedimentos transportados. Além disto, há uma quantidade significativa de sedimentos extraídos para o uso na construção, dragando do leito do rio em quantidades muitas das vezes superior ao sustentável (Veloso Gomes *et al.,* 2006).

Portanto, ocorreu uma grave quebra de chegada de sedimentos à costa, o que naturalmente se fez notar em algumas das praias da costa oeste portuguesa. Durante vários anos realizaram-se extracções de areias dos rios, sem controlo das quantidades e localizações de dragagens, fazendo-o de forma ilegal e insustentável. Desta forma, tornou-se necessário construir obras de defesa costeira no intuito de interromper o transporte sedimentar que ocorre a maiores profundidades.

Relativamente à direcção do transporte sedimentar nas áreas de estudo que serão abordadas nos capítulos seguintes, esta ocorre de norte para sul, devido às correntes de deriva litoral, originadas pelo predomínio da agitação entre os rumos W e NNW. Facilmente verifica-se a direcção de transporte sedimentar, observando a deposição sedimentar ocorrente com a construção de um esporão na costa oeste portuguesa (Figura 2.15).

Figura 2.15 – Esporão implantado na costa oeste portuguesa (adaptado Piqueiro, 2006)

No entanto a direcção dominante da agitação pode mudar em função de características específicas, ou mesmo por fenómenos como a difracção, em que ocorre o transporte numa direcção diferente da dominante.

2.4. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS CASOS DE ESTUDO

2.4.1. INTRODUÇÃO

No presente subcapítulo, fazer-se-á uma primeira abordagem avaliativa dos três casos de estudo (Mindelo, Furadouro e Torreira), tomando como apoio:

1. *Cartas de Risco do Litoral* publicadas pelo INAG em1999;
2. *Estudos temáticos sobre riscos relacionados com o interface Terra/Mar,* publicado em Maio de 2007 (PROT-n);
3. *Avaliação de riscos. Modelos de previsão da evolução da configuração costeira,* apresentado em 2006 nas 1as Jornadas de Hidráulica na FEUP;
4. Google Earth, com o intuito de efectuar algumas medições de larguras de praia assim como recolher um histórico de fotografias aéreas para cada caso de estudo.

Esta avaliação vai consistir numa análise de risco erosivo, condições de risco erosivo e vulnerabilidades, tomando como apoio os três primeiros estudos enunciados acima. O segundo e terceiro ponto acima referido, são estudos que usaram a mesma metodologia, diferenciando-se nas zonas de incidência. O Google Earth, será usado para uma análise visual e dimensional das larguras de praia, acrescentando no final uma apresentação da variação das linhas de costa.

Neste subcapítulo não se pretende dar a conhecer a evolução dos casos de estudo em pormenor, pois este será objecto de pormenorização nos capítulos seguintes.

2.4.2. CARTAS DE RISCO DO LITORAL

Segundo o INAG e CEHIDRO, a "Carta de Risco do Litoral" propõe uma imagem dos territórios litorais que numa primeira delimitação podem ser considerados como ameaçados pelo mar.

A apresentação da Carta de Risco carece de algumas considerações prévias sobre o que se entende por "zonas de risco" e quais os critérios utilizados na sua definição.

No âmbito do trabalho desenvolvido em Outubro de 1998, consideram-se "zonas de risco" os territórios costeiros que tecnicamente possam ser considerados ameaçados pelo mar.

Nestes territórios estavam a ocorrer ou previa-se que se viessem a verificar erosões que conduzissem à perda irreversível do território costeiro, e acções directas da agitação marítima que se traduzissem em inundações da faixa litoral.

O conceito de ameaça está intimamente associado ao conceito de vulnerabilidade porque só se consideram ameaçados os trechos costeiros que são vulneráveis às acções do mar. A vulnerabilidade do litoral e da costa à acção do mar mede-se pelas alterações morfológicas que esse litoral pode sofrer sob a acção deste.

Nesta conformidade, a Carta de Risco deve ser entendida como uma verdadeira carta de vulnerabilidade costeira às acções do mar, dado que o seu traçado não é condicionado pelo uso que se faz dos territórios costeiros, nomeadamente pela ocupação humana e pela existência de edificações.

O traçado da "Carta de Risco" apoia-se principalmente nos Estudos de Base elaborados no âmbito dos Planos de Ordenamento da Orla Costeira, que o DL nº151/95 define como planos especiais de ordenamento do território. Estes planos visam articular soluções estruturais para os problemas existentes nesta faixa com as linhas orientadoras do ordenamento do território.

Para o zonamento da Carta de Risco são consideradas a vulnerabilidade da costa à erosão e à inundação. O fenómeno da erosão, na acepção considerada nas Cartas de Risco, é o fenómeno do recuo continuado da linha de costa por acção do mar que implica a perda de territórios costeiros de forma permanente e irreversível.

Considera-se também que um segmento ou trecho costeiro está em erosão sempre que o conhecimento do local e do trecho costeiro em que se insere indique que tem havido recuo da linha de costa no passado recente e/ou que há probabilidade de ele ocorrer num futuro próximo. Não se consideram como erosão as modificações devidas a variações sazonais que se verificam nos perfis de praia.

O fenómeno da inundação ocorre geralmente nas costas baixas. Nestas costas há locais onde ocorre inundação do território costeiro por galgamentos oceânicos.

A vulnerabilidade à inundação é diferente da vulnerabilidade à erosão porque em regra não acarreta a perda de território costeiro de forma permanente e irreversível. Provoca sobretudo destruição e danos nos bens que se situam na zona inundada.

A análise e interpretação com vista ao zonamento é feita essencialmente com base nos elementos de caracterização que incluem: a geomorfologia, a geologia, a orientação da linha de costa, a altimetria, a existência de protecções naturais, o clima de agitação, a história do local, as tendências evolutivas, os trabalhos de reconhecimento de campo e por fim o conhecimento do local. O zonamento é feito considerando três classes de risco (vulnerabilidade): baixo, médio e alto. Do lado do mar, o zonamento começa na parte emersa da praia, enquanto que em terra as faixas costeiras delimitadas são fechadas por uma linha convencional.

A definição das "zonas de risco" foi feita com o conhecimento que se tinha da costa e da sua tendência evolutiva no ano de 1998.

Segundo a notícia explicativa referente às Cartas de Risco, esta conclui que nas zonas delimitadas como "zonas de risco", o principal problema é o da expansão urbana, e que este deve ser controlado rigorosamente.

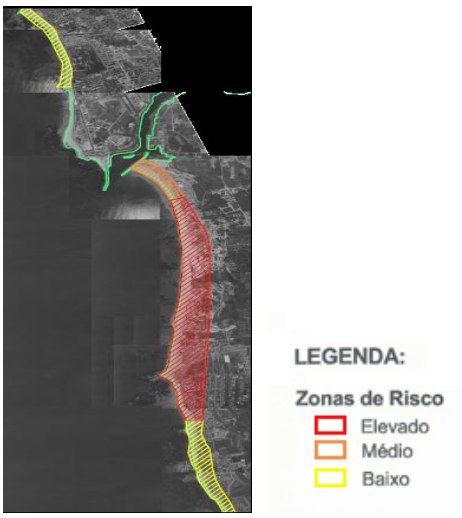


Figura 2.16 – Exemplo de trecho de costa de uma Carta de Risco (Carta de Risco do Litoral – trecho 1, 1996).

No caso da praia de Mindelo, as Cartas de Risco avaliam a zona como de risco elevado, sendo que a sul, já na praia do Pinhal dos Eléctricos está classificado como de risco baixo, contribuindo os vários afloramentos rochosos junto da praia para tal situação (Figura 2.17).

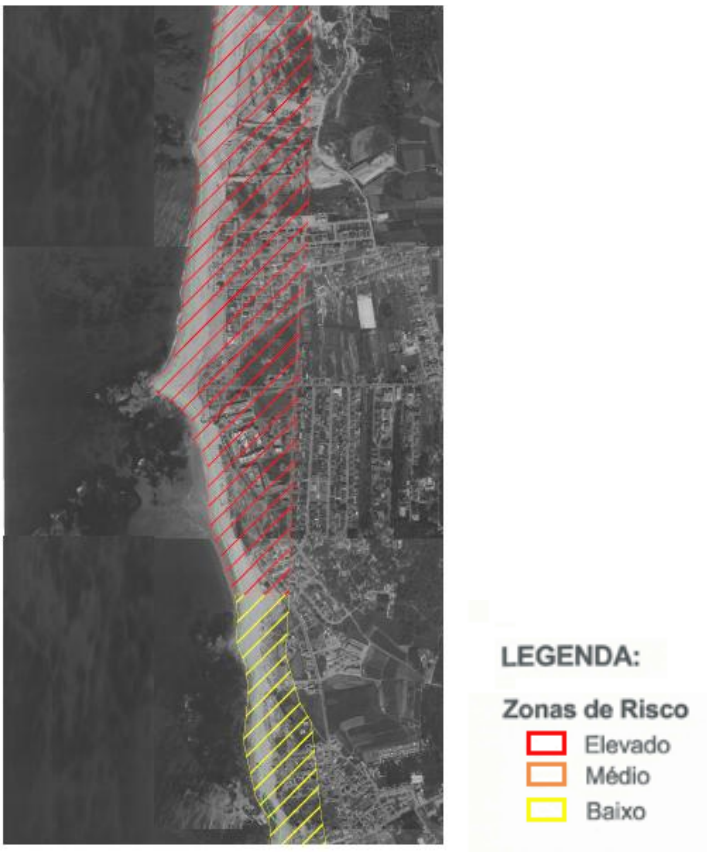


Figura 2.17 - Praia da Mindelo (adaptado de Carta de Risco do Litoral, 1996).

Quanto ao caso da praia de Furadouro, as Cartas de Risco avaliam-na, como de risco elevado, em toda a sua extensão, contribuindo para isso, uma grande frente urbanizada em zona muito próxima da costa (Figura 2.18).

Mesmo a sul da Furadouro, na zona florestal, as Cartas de Risco classificam esta zona como de risco elevado, apesar de não colocar em insegurança malhas urbanas.

Figura 2.18 - Praia do Furadouro (adaptado de Carta de Risco do Litoral, 1996).

Por fim, relativamente ao caso da praia da Torreira, aparentemente estável nos últimos anos, as Cartas de Risco classificam-no como de risco médio (Figura 2.19).

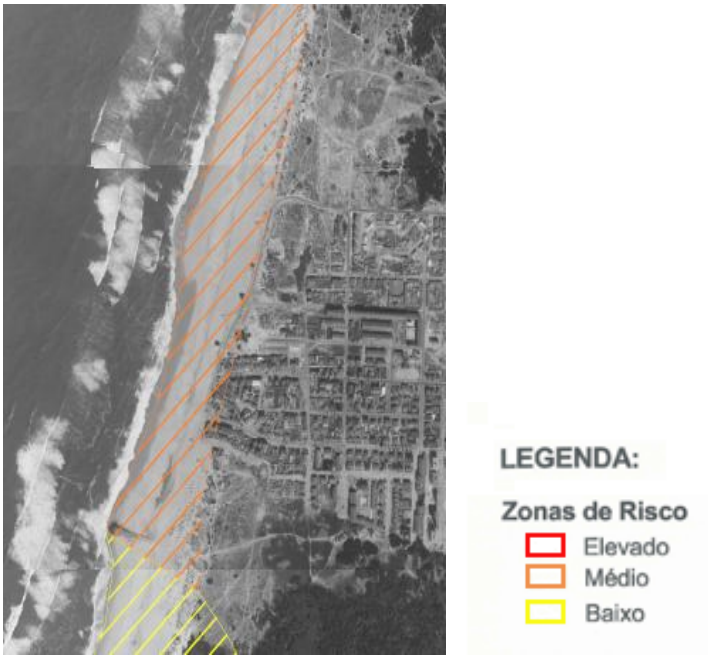


Figura 2.19 - Praia da Torreira (adaptado de Carta de Risco do Litoral, 1998)..

2.4.3. AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADES

Os presentes estudos (ponto 2 e 3 do subcapítulo 2.4.1), tiveram como objectivos o "aprofundamento da temática dos riscos relacionados com o Interface Terra/Mar, nos aspectos de protecção – estabilidade de linha costeira, manutenção dos sistemas dunares, usos e actividades compatíveis com o território do interface terra/mar, bem como no que se refere à estruturação e expansão dos aglomerados populacionais confinantes com a linha de costa" (Veloso Gomes *et al.*, 2007a).

De forma sucinta, a metodologia aplicada nos estudos começou por enunciar nove parâmetros de vulnerabilidade, classificando-os individualmente, com base em critérios definidos para cada um. A classificação de vulnerabilidade varia entre 1 (muito baixa) e 5 (muito alta).

Dos nove parâmetros de vulnerabilidade, cinco são quantificáveis:

- Cota topográfica (CT), um dos parâmetros mais relevantes, pois permite fazer a distinção entre uma costa plana e uma zona inclinada;
- Distância à linha de costa (DT), importante na definição da proximidade das zonas urbanas à linha de costa;
- Máxima amplitude de maré (AM);
- Máxima altura de onda significativa (AO);
- Taxa média de erosão/acreção (EA), naturalmente importante visto que uma costa em erosão será mais vulnerável.

Quadro 2.2 – Classificação de vulnerabilidade dos parâmetros quantificáveis (adaptado Coelho *et al*, 2006).

	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
CT (ZH, m)	CT > 30	20 < CT ≤30	10 < CT ≤ 20	5 < CT ≤ 10	CT ≤ 5
DC (m)	DC > 1000	200 < DC ≤ 1000	50 < DC ≤ 200	20 < DC ≤ 50	DC ≤ 20
AM (m)	AM < 1.0	1.0 ≤ AM < 2.0	2.0 ≤ AM < 4.0	4.0 ≤ AM < 6.0	AM > 6.0
AO (m)	AO < 3.0	3.0 ≤ AO < 5.0	5.0 ≤ AO < 6.0	6.0 ≤ AO < 6.9	AO ≥ 6.9
EA (m/Ano)	EA > 0 acreção	-1 < EA ≤ 0	-3 < EA ≤ -1	-5 < EA ≤ -3	EA ≤ -5 erosão

Os restantes parâmetros, de carácter qualitativo são:

- Geologia (GL), define a natureza das rochas presentes na região costeira, permite fazer uma classificação baseada no comportamento desses materiais quando sujeitos à acção do mar;
- Geomorfologia (GM);
- Revestimento do solo (RS);
- Acções antrópicas (AA), fundamental na avaliação da costa, pois muitas das intervenções na costa não têm outro objectivo a não ser reduzir a vulnerabilidade.

Quadro 2.3 - Classificação de vulnerabilidade dos parâmetros qualitativos (adaptado Coelho *et al*, 2006).

	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
GL	Rochas magmáticas	Rochas metamórficas	Rochas sedimentares	Rochas sedimentares	Pequenos sedimentos não consolidados
GM	Montanhas	Arribas rochosas	Arribas erodíveis, praias abrigadas	Praias expostas, planícies	Dunas, restingas, estuários, etc
RS	Floresta	Vegetação rasteira, solo cultivado	Solo não revestido	Urbanizado rural	Urbanizado ou industrial
AA	Intervenções de manutenção da posição	Intervenções sem redução nas fontes sedimentares	Intervenções com redução nas fontes sedimentares	Sem intervenções e sem redução nas fontes sedimentares	Sem intervenções e com redução nas fontes sedimentares

Tendo isto, foi aplicado a várias zonas costeiras a metodologia enumerada, obtendo de acordo com os autores dos estudos, uma matriz onde se resume a classificação de cada parâmetro, correspondente a cada praia.

Quadro 2.4 – Matriz de vulnerabilidades (adaptado Coelho *et al*, 2006 e Veloso Gomes *et al*, 2007a).

	CT	DC	AM	AO	EA	GL	GM	RS	AA
Mindelo Norte	4	5	3	5	4	5	4	2	1
Mindelo Sul	5	5	3	5	3	5	4	5	3
Marginal do Furadouro	5	5	3	5	4	5	4	5	2
Praia da Torreira	5	5	3	5	3	5	4	5	2

Após aplicar uma classificação individual de parâmetro de vulnerabilidade a cada zona costeira, passou-se a determinar um índice global de vulnerabilidade por cada zona.

No entanto, o índice global não foi determinado da mesma forma para a quatro zonas, pois de acordo com Coelho *et al*, 2006, no caso do Furadouro e Torreira apenas foi aplicada uma média aritmética aos parâmetros, tendo devolvido um índice global apresentado no Quadro 2.5. Já em Veloso Gomes *et al.*, (2007), nos casos de Mindelo Norte e Mindelo Sul, foram dados pesos diferentes aos parâmetros de vulnerabilidade, obtendo assim uma média ponderada, o que parece mais correcto, visto que alguns parâmetros aqui contabilizados não parecem tão determinantes quanto outros.

Quadro 2.5 – Índice global de vulnerabilidade por zona

	Vulnerabilidade	
Mindelo Norte	4.1	Elevada
Mindelo Sul	4.4	Elevada
Marginal do Furadouro	4.2	Elevada
Praia da Torreira	4.1	Elevada

Analisando os índices globais, percebe-se uma certa uniformidade, o que revela que se está perante casos de estudo que realmente apresentam um elevado risco erosivo. No entanto, a praia da Torreira parece apresentar um índice global demasiadamente elevado face ao Furadouro e Mindelo. Isto poderá dever-se ao já referido, nomeadamente à não utilização de uma média ponderada. Porém, observando o Quadro 2.4, percebe-se que a avaliação atribuída à Torreira e Furadouro em cada um dos nove parâmetros, apenas difere na Taxa de Erosão/Acreção (EA), o que torna claro o índice global referente a cada caso.

2.4.4. USANDO GOOGLE EARTH

2.4.4.1. Medições de larguras de praia e de estruturas

Tomando partido das imagens do Google Earth, foi possível retirar um histórico de imagens aéreas das zonas de estudo. Recorrendo a algumas das suas ferramentas, ainda foram realizadas medições, tais como larguras de praia em dois locais pré-definidos (Anexo A), assim como a medição dos comprimentos das estruturas de defesa costeira (ver Quadros 2.6, 2.7 e 2.8).

No entanto os valores referentes às medições efectuadas, apenas devem ser tomados como meramente indicativos de uma simples análise. Razões para que as medições apresentadas sejam tomadas como informativas, é por exemplo, o facto de não se conhecer a hora a que foram tiradas as fotografias, não se conhecendo a que estado de maré corresponde, interferindo assim, na largura média da praia. Além disto também se pode referir que não são conhecidas as condições meteorológicas na altura da obtenção da fotografia, o que naturalmente faz toda a diferença, nomeadamente em relação à altura de onda e consequentemente à largura média de praia. E, por último, a falta de rigor anexada às ferramentas e ao método.

Quadro 2.6 – Medições médias de largura de praia (Mindelo)

	Largura (m)			
	13-01-2003	30-10-2006	10-07-2007	18-07-2010
Praia (A)	30	50	60	45
Praia (B)	55	40	55	45

Quadro 2.7 – Medições médias de largura de praia (Furadouro)

	Largura (m)				
	07-08-2003	16-05-2004	30-10-2006	11-10-2009	18-07-2010
Praia (A)	100	125	130	120	65
Praia (B)	70	65	85	70	70

Quadro 2.8 – Medições médias de largura de praia (Torreira)

	Largura (m)		
	14-05-2003	30-10-2006	18-07-2010
Praia (A)	85	110	125
Praia (B)	130	120	170

As medições foram realizadas em dois locais distintos, nomeados como Local de Medição A e Local de Medição B. Para cada praia foram definidos estes dois locais de medição (consultar Anexo A).

Relativamente às medições das estruturas implantadas nos três casos de estudo, tem-se para a praia do Furadouro, os valores indicados no Quadro 2.9.

Quadro 2.9 – Medições relativas às estruturas de defesa costeira no Furadouro

	Comprimento (11/10/2009) [m]
Esporão Norte	135
Esporão Sul	130
Estrutura longitudinal aderente (1)	550
Estrutura longitudinal aderente (2)	220

No Quadro 2.9, refere-se a data da imagem por onde foram medidos os comprimentos, pois no Furadouro devido às reparações existentes nas obras, existem ligeiras discrepâncias de valores.

Quanto a Mindelo e Torreira, como apenas têm uma estrutura cada um, agrupou-se no mesmo Quadro 2.10.

Quadro 2.10 – Medições relativas às estruturas de defesa costeira de Mindelo e Torreira

	Comprimento (m)
Estrutura longitudinal aderente (Mindelo)	485
Esporão (Torreira)	120

No Anexo A, estão referidas as estruturas, que foram objecto de medição e que constam no Quadro 2.9 e no Quadro 2.10.

2.4.4.2. HISTÓRICO DE IMAGENS

De seguida apresenta-se o histórico de fotografias, onde foram medidas as quantidades já enunciadas nos Quadros 2.6, 2.7 e 2.8, onde se pode fazer também uma analise visual das variações de comprimento de praia.

Porém, não se deve fazer relações directas quanto às larguras de praia de um dado ano para o seguinte, pois o mês e nalguns casos a estação do ano, não são o(a) mesmo(a), portanto entendendo não ser razoável estabelecer relações directas, pelas razões já enunciadas.

O histórico de imagens recolhido e apresentado de seguida, não faz contar com a imagem mais recente até à data, correspondente a cada caso de estudo, pois será divulgada no subcapítulo 2.4.4.3.

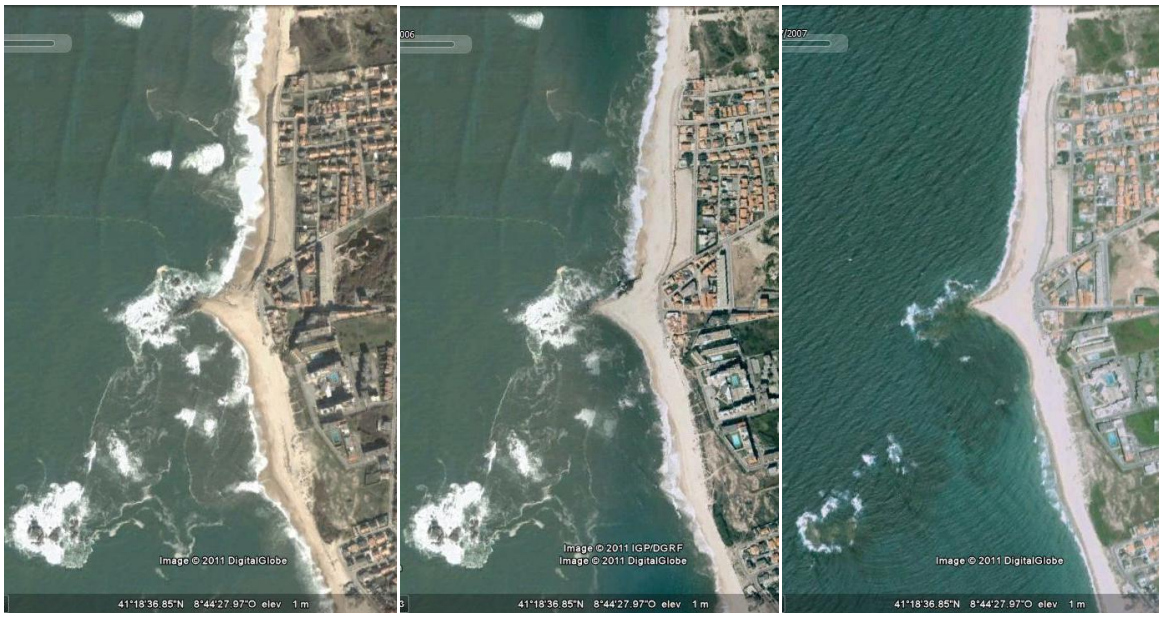


Figura 2.20 – Mindelo (Janeiro de 2003, Outubro de 2006, Julho de 2007)

Comentando Mindelo, é notório o avanço e a agitação do mar no mês de Janeiro de 2003, períodos estes, que são característicos de um clima de agitação intenso, o qual por várias vezes é responsável pela rotura ou encurtamento do areal das zonas costeiras.

Percebe-se que os afloramentos rochosos presentes um pouco ao largo da praia, funcionam como pequenos trechos de quebramares destacados, proporcionando a rebentação prematura das ondas, o que se torna importante na manutenção e estabilização da zona costeira.

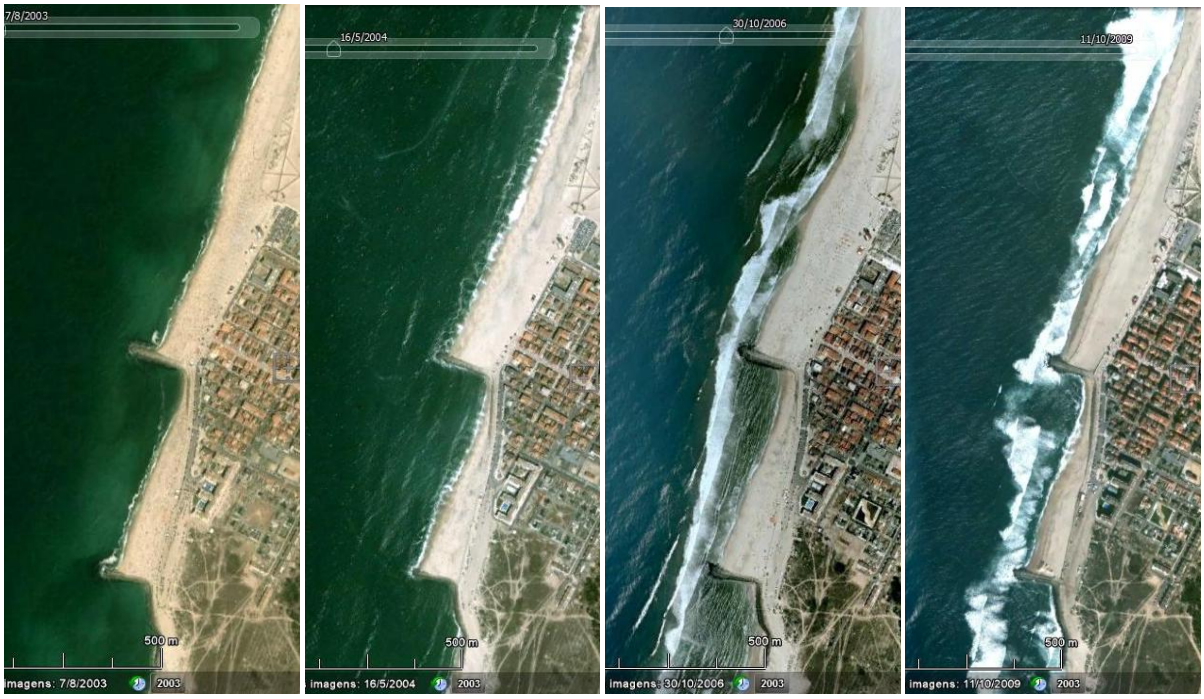


Figura 2.21 – Furadouro (Agosto de 2003, Maio de 2004, Outubro de 2006, Outubro de 2009)

Relativamente ao Furadouro, uma vez mais é perceptível o clima de agitação intenso já nos meses de Outubro.

Este é um caso em que se percebe facilmente que as estruturas lá existentes são essenciais para a manutenção da zona urbana construída, bastando olhar para o alinhamento da costa e para o histórico de acidentes que já ocorreram e que foram sendo minimizados com a implantação de novas estruturas.

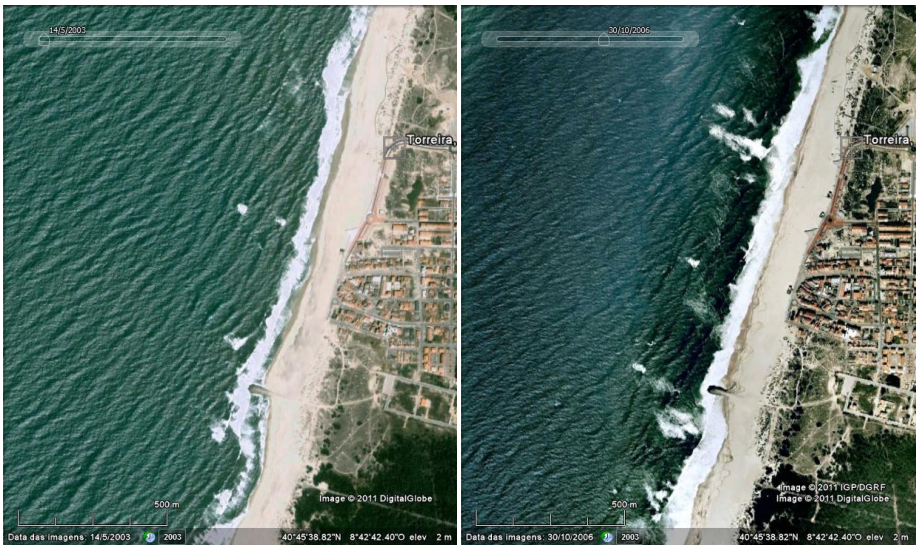


Figura 2.22 – Torreira (Maio de 2003, Outubro de 2006)

Quanto à praia da Torreira, verifica-se uma zona de erosão a sul do esporão. No entanto não é preocupante ao nível da segurança da população, visto que imediatamente a sul do esporão encontra-se zona florestal e zona dunar.

Na imagem de Outubro, a praia junto ao esporão aparenta um pequeno encurtamento face à imagem de Maio, o que transmite um sinal do clima de agitação que se faz sentir nestas épocas do ano.

Esta malha urbana foi toda ela construída sobre campos dunares, o que faz dela uma zona de risco a ter conta, a qual segundo as autoridades já justificou a implantação do esporão actual.

2.4.4.3. EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA

Partindo do histórico recolhido de fotografias locais de cada caso de estudo, foi ainda possível definir as linhas médias de costa em cada registo fotográfico, apresentando-as com a fotografia via Google Earth mais recente até à data.

Figura 2.23 – Evolução da linha de costa de Mindelo.

Fazendo uma análise comparativa da evolução da linha de costa, verifica-se pela Figura 2.23, um recuo significativo em 2003, mais pronunciado a norte da Ponta da Gafa, o que também pode ser explicado em parte pela estação do ano diferente dos dois registos comparativos.

Relativamente a 2007 e podendo nesta data fazer um relação mais directa visto serem referentes ao mesmo mês o que já reduz alguma da incerteza inerente à análise, percebe-se que tem havido uma

redução da largura de praia, e com o apoio dos dados recolhidos e apresentados no Quadro 2.6, pode-se referir um recuo médio de 5 m/ano.

Figura 2.24 – Evolução da linha de costa de Furadouro.

Quanto ao caso da praia do Furadouro, ocorreram em 2010 temporais causadores de uma situação crítica, que no capítulo 4 será matéria de desenvolvimento. Porém resultou num enorme recuo como é permitido visualizar.

Face a 2009, resultou numa diminuição da largura de praia para aproximadamente metade, ou seja na ordem dos 60 m de encurtamento, em apenas um ano.

Observando a zona mais a norte, fora do núcleo urbano, pode-se concluir que tem havido erosão generalizada ao longo dos anos.

Na praia a sul do esporão norte, nota-se uma relativa estabilidade, não havendo uma variabilidade acentuado entre registos.

Figura 2.25 - Evolução da linha de costa de Torreira.

Pela Figura 2.25, entende-se face à comparação com as linhas de costa aproximadas que este é um caso relativamente estável, que não tem sofrido recentemente grandes perturbações de erosão.

2.5. PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO EM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA

Numa zona costeira caracterizada por um regime de agitação tão energético quanto o que se verifica na costa portuguesa, com amplitudes de maré das ordem dos 4 m, recebendo temporais periódicos do Atlântico, a necessidade de intervenções periódicas nas estruturas de defesa costeira em zonas urbanas é patente.

Genericamente, consideram-se quatro modos distintos, para dar resposta aos problemas:

- A não intervenção na estrutura;
- Desmantelamento da estrutura;
- Reforço estrutural;
- Reabilitação e reconstrução da estrutura.

É necessário ter em conta. que as tipologias de intervenção são distintas em função da estrutura em análise. Existe toda uma diversidade de parâmetros que dificultam a realização de analogias directas entre estruturas. Cada trecho de costa tem as suas características que são muito próprias e que devem ser analisadas com rigor, antecipadamente a qualquer intervenção.

Cada intervenção enunciada tem os seus custos associados, no entanto todas têm com objectivo a minoração dos impactes negativos.

Quanto à opção de "não intervenção" na estrutura, esta implica o seu progressivo abandono. Esta situação acontece quando a estrutura deixa de ser eficiente na sua função e/ou se encontra num estado de degradação elevado, em que num plano económico se torna inviável a sua reabilitação ou mera remoção.

Quanto à medida de desmantelamento da estrutura, esta consiste na remoção da mesma, pela sua ineficácia, ou quando gera impactes negativos muito elevados.

Relativamente ao reforço estrutural, este vai ser muito dependente do clima de agitação presente, assim como das condições topo-hidrográficas e do nível de gravidade das anomalias.

Quanto a estruturas transversais como os esporões, ou estruturas longitudinais destacadas como os quebramares, consideram-se modos de intervenção ao nível do reforço estrutural muito semelhantes (Figura 2.26).

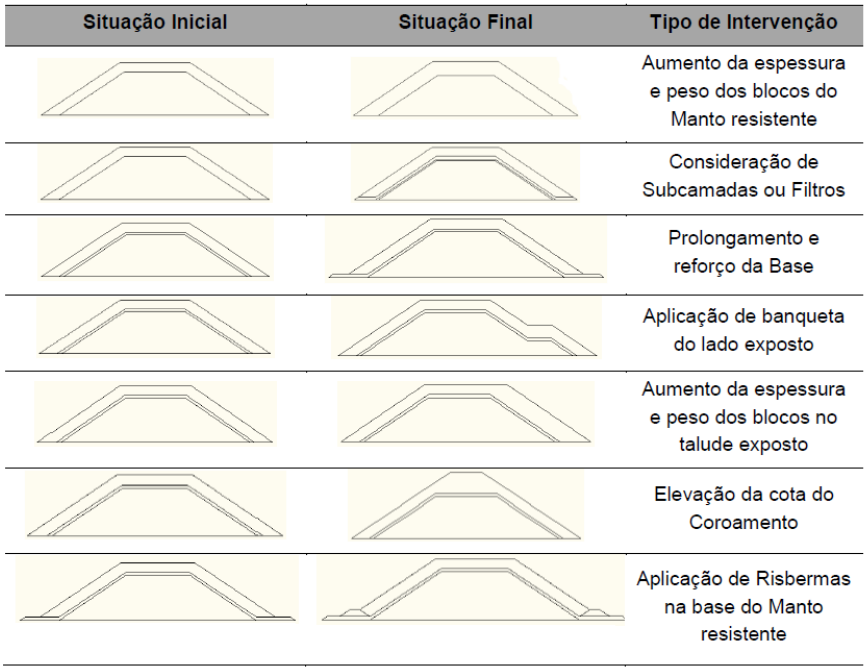


Figura 2.26 – Modos de intervenção de reforço estrutural de esporões e quebramares (Veloso Gomes, 2010a).

No que toca a estruturas longitudinais aderentes, tem-se como modos de intervenção os representados na Figura 2.27.

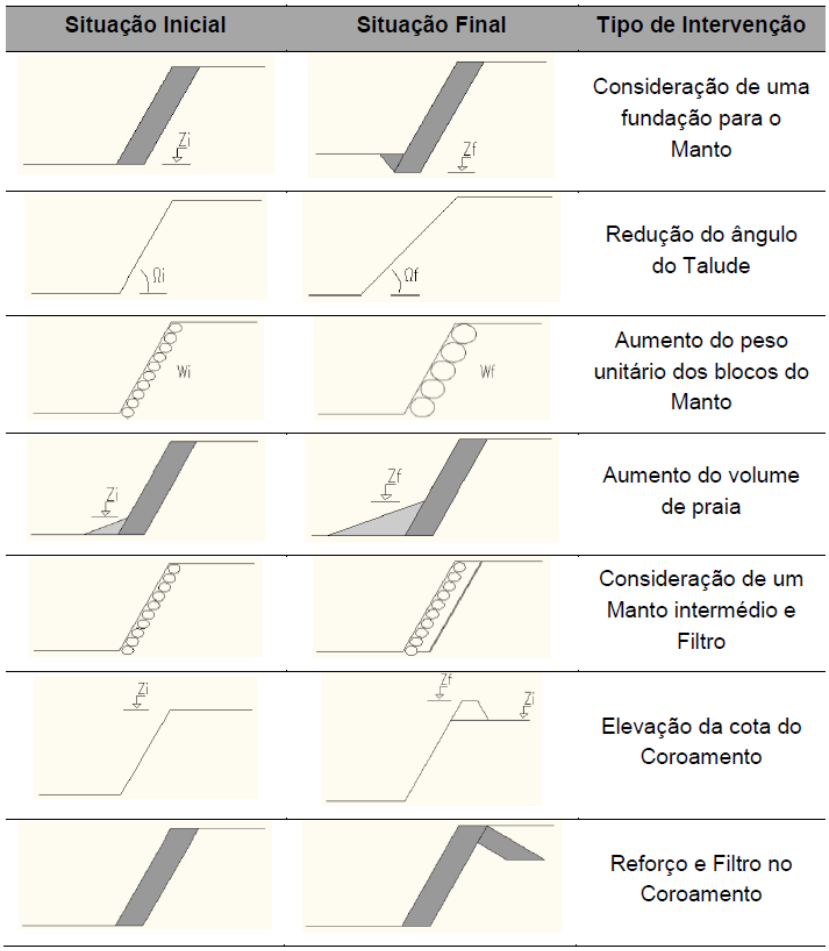


Figura 2.27 - Modos de intervenção de reforço de estruturas longitudinais aderentes (Veloso Gomes, 2010a)

A reabilitação e reconstrução das estruturas consiste em intervir com o intuito de repor ou melhorar as características que a estrutura tinha no passado, sem alterar a geometria e o peso dos blocos. Por vezes, esta forma de abordar o problema está interligada com o modo de actuação do reforço estrutural. Neste modo de intervir surgem algumas condicionantes quando se está perante uma estrutura construída com um método que nos tempos actuais já não são usuais, exemplo disso, são as estruturas aderentes em alvenaria.

3
CASO DE ESTUDO: MINDELO

3.1. ENQUADRAMENTO

Este primeiro caso de estudo, insere-se sobre a praia de Mindelo, localizada no concelho de Vila do Conde, distrito do Porto. Situa-se entre as praias de Árvore e de Pinhal dos Eléctricos, distando sensivelmente 3.5 Km a sul da foz do rio Ave, o qual é responsável por parte da sua dinâmica sedimentar.

Apresenta-se com uma extensa praia, associando-a a um sistema dunar. Na Ponta da Gafa existem alguns afloramentos rochosos, os quais são responsáveis pela formação de um tômbolo de sedimentos.

Figura 3.1 - Praia de Mindelo.

O porto da Póvoa de Varzim contribui para a erosão das praias a sul do mesmo, tendo-se assim verificado perda de sedimentos da praia de Mindelo. O porto de Vila do Conde agrava os problemas erosivos no Mindelo.

A Associação de Concessionários das praias de Vila do Conde, com o apoio de um parecer efectuado por parte da FEUP, apoia a ideia de que os dragados a realizar no porto da Póvoa de Varzim deverão ser colocados nas praias vila condenses, de forma a contribuir para a sua alimentação.

Figura 3.2 - Estrutura longitudinal aderente na praia de Mindelo

Na praia de Mindelo, a intervenção de defesa costeira executada é uma estrutura longitudinal aderente, identificada na Figura 3.2, executada no ano de 1999.

No entanto. é de registar que foi realizado também um paredão na zona tardoz do tômbolo de sedimentos, o qual tem funcionado como estrutura de retenção do arruamento marginal.

Por fim, ainda é de evidenciar o sistema dunar artificial, construído pela acção do homem, com o objectivo de defender a zona urbanizada que se encontra implantada em local de risco.

3.2. ESTADO EVOLUTIVO DO CASO DE ESTUDO

Segundo o INAG/DHVFBO, (2007), o litoral a sul de Vila do Conde tem sofrido várias transformações antrópicas, destacando-se o incremento substancial da urbanização, com consequente perda de área dunar, a extracção de areias na área da reserva Ornitológica e a construção do quebra-mar sul do estuário do Ave, o qual alterou a morfologia e a dinâmica da restinga arenosa.

No Mindelo, entre 1968 e 2000 verificou-se um substancial recuo da duna frontal, chegando a ultrapassar os 50 m, o que significa uma taxa de recuo médio superior a 1.5 m/ano. Nalguns pontos, esse recuo chega atingir um valor próximo dos 100 m, o que equivale a uma taxa anual próxima dos 3 metros. Hoje, a maioria das pequenas praias entre afloramentos estão reduzidas a uma faixa estreita de areal durante a maré-cheia, por isso o seu futuro enquanto local de recreio é pouco animador. Na praia de Mindelo, o areal apresenta afloramentos rochosos que deveriam conferir alguma protecção natural à praia, no entanto a frente urbana interrompe o cordão dunar, existindo construções sobre a duna, próximo da frente de erosão. Na zona norte existe uma obra aderente longitudinal em enrocamento e na zona sul são evidentes pronunciadas escarpas de erosão denunciando a recente evolução. No Mindelo, a linha de costa tem estado nos últimos anos em clara e evidente regressão. A regressão que se verifica em toda a freguesia justificou avultado investimento na construção de obras de protecção aderente.

Citando um Parecer, IHRH (1996), enviado à Direcção Regional do Ambiente/Norte, com conhecimento por parte do INAG, "na sequência dos temporais ocorridos na segunda semana de Janeiro de 1996, verificou-se uma acentuada e repentina erosão no troço costeiro imediatamente a norte do tômbolo do Mindelo (Ponta da Gafa), concelho de Vila do Conde, numa extensão com cerca de 300 metros e com um avanço que terá atingido 30 m. (…) a zona erodida apresenta uma configuração muito pronunciada na extensão mais próxima da frente urbana (sul), com um talude com 6 metros de altura. A norte, o trecho erodido está a 20 metros de habitações unifamiliares, sendo o desnível da ordem dos 2 a 3 m." Assim, no ano de 1996, ocorreram já os primeiros problemas com implicações na defesa da frente urbana na zona, no entanto apenas foram colocadas cerca 300 m^3 de enrocamento até 1 tf (Figura 3.3).

Figura 3.3 – Vista para sul, a partir do arruamento marginal da Ponta da Gafa, 14 de Janeiro de 1996 (IHRH, 1996)

Na Figura 3.3, está representado o enrocamento que foi colocado em 1996 em situação de emergência. No entanto, já em meados do ano de 1998 confirmou-se que não era uma medida duradoura.

Num outro Parecer do IHRH (1998) enviado para o INAG, com assunto centrado nas erosões verificadas e expondo algumas das alternativas recomendadas para defender a frente urbana, constam as fotografias seguintes (Figura 3.4).

Ainda de acordo com o Parecer, a Figura 3.4 representa a zona após os novos temporais de Dezembro de 1997 e Janeiro de 1998, onde ocorreram galgamentos, originando as arribas de erosão observadas.

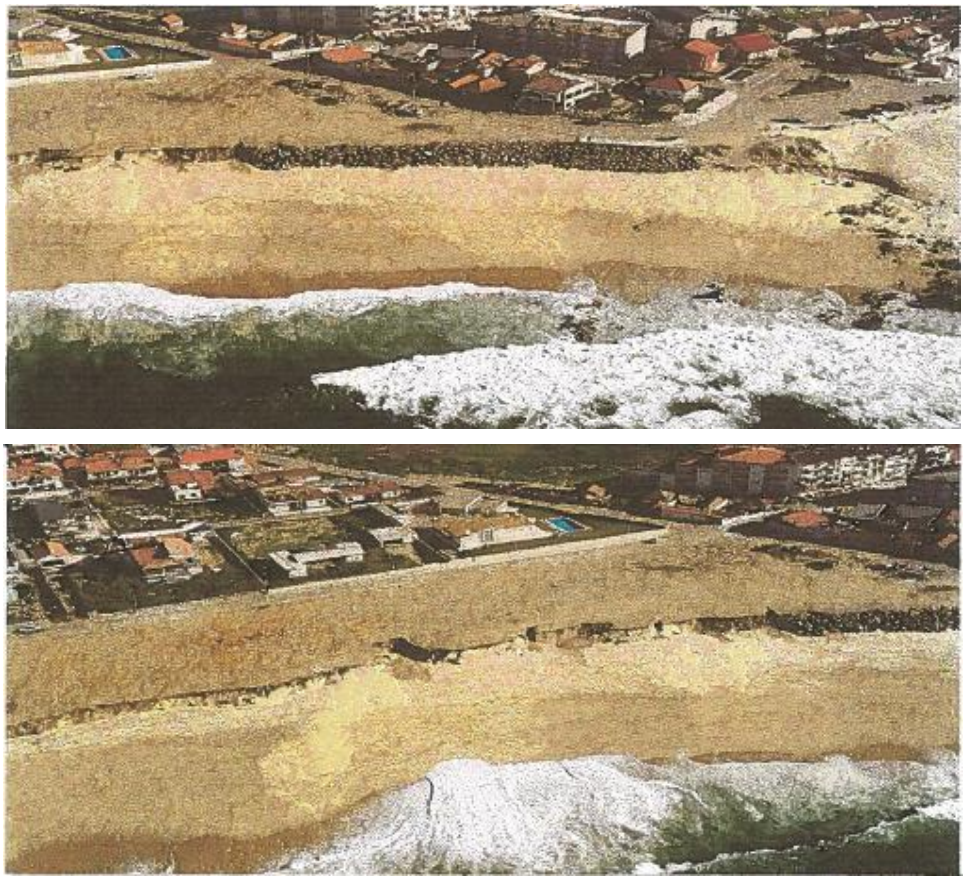


Figura 3.4 – Vistas aéreas da área a norte da Ponta da Gafa a 22 de Janeiro de 1998 (Piqueiro, 1998).

Neste mesmo Parecer ainda consta um esquema de resumo dos acontecimentos verificados neste trecho de costa (Figura 3.5).

Figura 3.5 – Esquema resumo de acontecimentos verificados de 1996 a 1998 (IHRH, 1998).

A Figura 3.5, faz ainda uma referência a um recuo acentuado a sul da Ponta da Gafa, associado à ocorrência de "galgamentos a sul aproximando-se de edifícios recentes" (Figura 3.6).

Figura 3.6 – Vista aérea de sudeste para noroeste, 22 Janeiro de 1998 (Piqueiro, 1998).

Após estes galgamentos foi realizado um cordão dunar artificial, ocorrendo também o reperfilamento da praia, para que se criasse em frente das urbanizações um obstáculo com alguma elevação, dificultando assim a chegada de caudais aos edifícios que se observam na Figura 3.6.

3.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

O sector litoral entre Caminha e Espinho coincide com a área em que a linha de costa se desenvolve sobre as rochas do Maciço Hespérico, de constituição granítica ou metamórfica. Este facto tem um papel fundamental na fisionomia da área, uma vez que, com a excepção das embocaduras dos rios, o substrato hercínico está sempre presente, mesmo quando mascarado pela cobertura de areias de praia ou de duna. Esta circunstância impede que os problemas de erosão costeira sejam tão graves como na área entre Espinho e a serra da Boa Viagem, em que a orla costeira assenta em formações pleistocénicas ou holocénicas, pouco consolidadas (Araújo, 1999).

O xisto-granítico do concelho de Vila do Conde encontra-se localizado na zona de Modivas, Vila Chã, Mindelo e a sul de Azurara, em zonas de contacto com os depósitos de praia.

Mindelo é uma zona que apresenta afloramentos rochosos um pouco por toda a costa, com cotas de coroamento distintas. Pela Figura 3.7, percebe-se que as áreas onde se encontram rocha, com alguma concentração e com relativa proximidade da costa, ocorre a fixação de sedimentos, sendo que caso se encontre estas condições com cotas de coroamento da ordem dos +2 a +4m ao ZH, verifica-se a formação de tômbolos de sedimentos na zona tardoz, como é o caso da Ponta da Gafa.

Figura 3.7 – Afloramentos rochosos na praia de Mindelo (adaptado Piqueiro, 2006).

3.4. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ESTRUTURAIS

3.4.1. TOPOGRAFIA E BATIMETRIA

De acordo com SNIRLit (2002), Mindelo apresenta uma costa rochosa baixa, com zona arenosa relativamente extensa. Em alguns locais a praia apresenta forma de concha, estando localizada entre tômbolos enraizados em afloramentos graníticos. A faixa costeira é formada por uma planície litoral talhada em rocha, com cobertura dunar em vários locais. As dunas encontram-se profundamente modificadas pela acção antrópica, nomeadamente pela construção civil e pela agricultura. A zona submersa apresenta uma série de afloramentos rochosos que conferem uma protecção natural à praia.

A zona arenosa apresenta-se orientada segundo a direcção dominante da ondulação marítima NNE-SSW. Descrevendo transversalmente a praia, verifica-se um pequeno relevo com uma elevação topográfica uniforme.

Analisando o Plano de Praia, referente ao POOC Caminha-Espinho, relativo à praia de Mindelo, constata-se que as ruas marginais na zona, encontram-se implantadas a cotas da ordem dos 8 a 9 m ao ZH, excepto na rua Vasco da Gama, em que se encontra nos 6 m ao ZH.

Ainda se conclui que as ruas têm o sentido descendente à medida que se afasta da costa, o que significa que em caso de galgamentos, a zona poderá ficar inundada, prejudicando assim a zona urbana. Pelo que deveriam ser tomadas medidas para a prevenção de situações desta natureza.

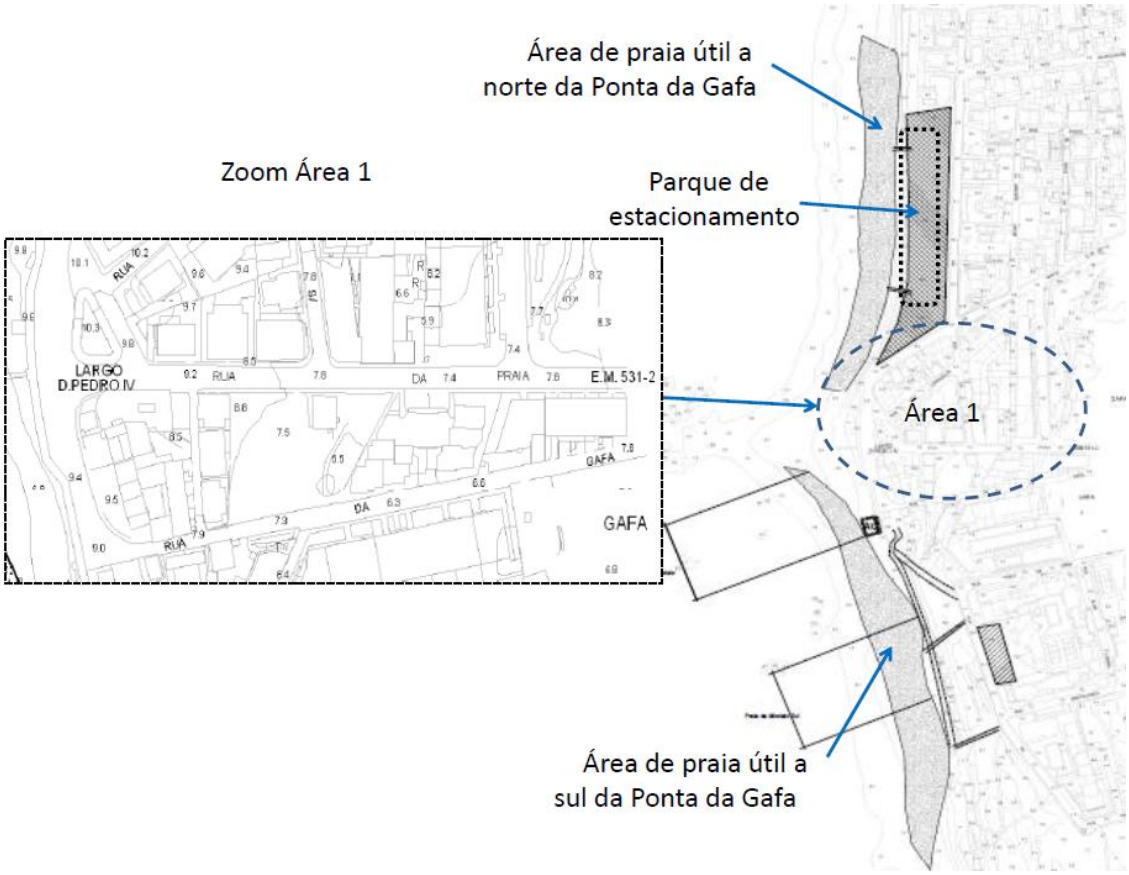


Figura 3.8 – Plano de Praia de Mindelo (adaptado INAG, 2007)

Quando se dimensiona uma estrutura de defesa costeira não se pode afirmar que esta não vai ser galgada pelo mar, isto não aconteceria em muitos dos casos, apenas com estruturas com elevadas cotas de coroamento, traduzindo-se naturalmente em impactes visuais/paisagísticos muito elevados. Assim tomando medidas de outra génese e de certo modo medidas de compromisso, pode-se minorar ou quase eliminar estes acontecimentos.

Um exemplo do que não se deve fazer é pavimentar grandes áreas junto das marginais, tal como o parque de estacionamento que se encontra pavimentado com betuminoso, tornando esta área impermeável e, portanto, incapaz de absorver possíveis caudais provenientes do mar. (Figura 3.9).

A colocação de paralelos, uma calçada em pedra, ou mesmo um pavimento betuminoso poroso, são medidas que permitem alguma permeabilidade, nestas zonas de primeira linha de costa.

Aliadas a um pavimento permeável, é sempre necessário um sistema de drenagem funcional.

Figura 3.9 – Parque de estacionamento (30/05/11 – 12 horas)

3.4.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO DE DEFESA COSTEIRA

Na praia de Mindelo está realizada uma estrutura longitudinal aderente com uma extensão aproximada de 490 metros, construída em blocos de enrocamento.

Esta solução está datada de 1999. Actualmente encontra-se com várias anomalias, identificadas no subcapítulo seguinte. Está previsto intervir na estrutura longitudinal no ano de 2012, de modo a reabilitá-la.

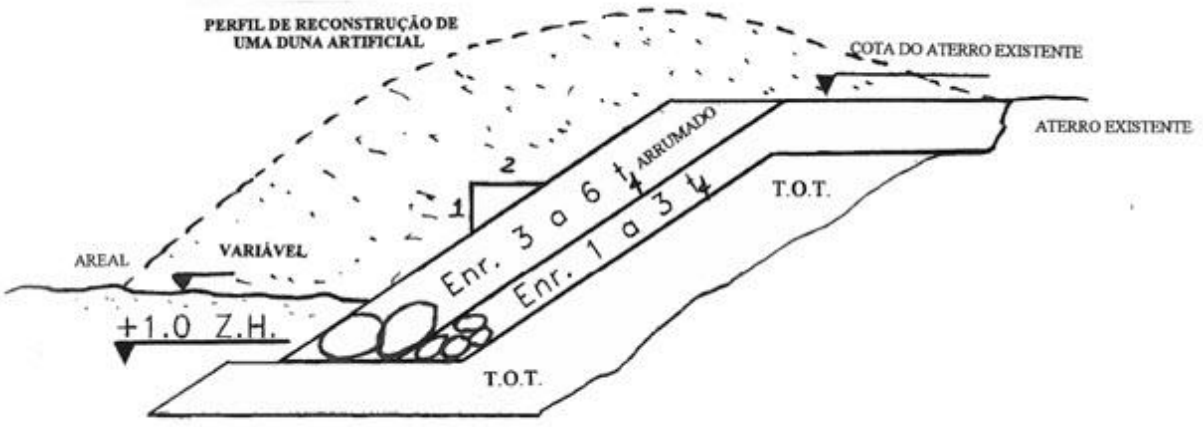


Figura 3.10 – Corte da estrutura longitudinal aderente (Veloso Gomes, 1998)

O corte da estrutura, representado na Figura 3.10, será próximo da solução actual de defesa costeira na praia de Mindelo. Está fundada à cota +1.0 ZH, é constituída por um manto de enrocamento de 3 a 6 tf, assente sobre uma camada intermédia de enrocamento de 1 a 3 tf, com um talude com inclinação de 2/1. O talude de assentamento das duas camadas, está regularizado com TOT, e ainda foi previsto construir uma duna artificial sobre as camadas da estrutura aderente.

3.5. ASPECTOS FUNCIONAIS E ESTADO DE CONSERVAÇÃO

3.5.1. FUNCIONAMENTO

A estrutura longitudinal aderente actualmente presente na praia de Mindelo, tem um papel fundamental na defesa de algumas habitações, porém, também defende indirectamente um parque de estacionamento.

Este parque foi construído sobre dunas, tendo sido previsto operações de loteamento nos meados da década de noventa. No entanto, após a ocorrência de alguns temporais que provocaram danos na zona, o loteamento foi inviabilizado.

Em suma, a obra de defesa longitudinal aderente, teve um papel fundamental. No entanto tendo em conta o seu estado actual de conservação, verifica-se uma crescente redução de eficiência, o que se reflecte em maior facilidade de galgamentos sobre a estrutura, o que tem vindo acontecer na extensão norte.

Porém, destaca-se para a observação da Figura 3.11, em que se verifica o recuo significativo do cordão dunar face à extremidade norte da estrutura aderente.

Pode-se assim concluir que a obra de defesa aderente tem tido um papel fundamental na fixação da linha de costa.

O recuo evidenciado na Figura 3.12 é da ordem dos 12 m.

Figura 3.11 – Recuo do cordão dunar relativamente à estrutura longitudinal aderente (30/05/2011 – 11:00 horas).

Figura 3.12 – Diferença do alinhamento do cordão dunar dentre 2003 e 2010.

3.5.2. ESTADO DE CONSERVAÇÃO

Actualmente a estrutura implantada na praia de Mindelo, está bastante degradada em algumas das suas zonas.

Na Figura 3.13, estão esquematizadas as anomalias principais detectadas na estrutura longitudinal aderente, identificadas com números de 1 a 3.

Figura 3.13 – Anomalias na estrutura longitudinal aderente da praia de Mindelo (adaptado de Piqueiro, 2006).

Verificam-se anomalias do tipo III, IV, V e VII (de acordo com a Figura 2.3).

Fazendo a correspondência entre o tipo de anomalia de acordo com a Figura 2.3 e da numeração encontrada na Figura 3.13, tem-se que:

- Tipo III e V (galgamento com danificação do coroamento e deslocamento de blocos) – 3
- Tipo IV ou VII (galgamento com danificação da plataforma ou colapso total) – 2
- Tipo VII (colapso total) – 1
- Tipo V (deslocamento de uma percentagem de blocos do manto) – 4

Figura 3.14 - Anomalia tipo III, correspondência com 3 (2/03/2011 – 15:00 horas).

Referem-se dois tipos de rotura (IV e VII) para a Figura 3.15, pois entende-se que existe uma clara degradação da plataforma ou arruamento marginal, no entanto também se verifica que a estrutura apresenta um estado tal, que possa ser definida como colapso total.

Figura 3.15 – Anomalia tipo IV, correspondência com 2 (2/03/2011 – 15:00 horas)

Na Figura 3.15 e Figura 3.16, as fotografias referem-se à estrutura longitudinal aderente que se encontra significativamente degradada e que está localizada na frente de habitações. Portanto, é de

extrema importância a boa operacionalidade da estrutura, o que implica um bom estado de manutenção.

Figura 3.16 – Anomalia tipo VII, correspondência com 1 (2/03/2011 – 15:00 horas)

Quanto à Figura 3.17, identificam-se alguns deslocamentos de blocos do manto, ao longo de uma larga extensão da estrutura com aproximadamente 50 metros, com predominância na zona inferior da estrutura.

Figura 3.17 – Anomalia tipo V, correspondência com 4 (30/05/2011 – 11:00 horas)

Finalizando, é notória a existência de um passadiço sobre o coroamento da estrutura aderente até à extremidade norte do parque de estacionamento. No entanto é de reparo o condicionalismo que cria numa situação de manutenção da estrutura, em que os equipamentos necessitam desta zona para operar.

3.6. PROPOSTA DE REABILITAÇÃO

Tendo já enunciado as principais anomalias presentes na estrutura longitudinal aderente, é necessário então apresentar uma proposta de reabilitação ao caso de estudo.

Para a praia de Mindelo propõe-se a reabilitação e o reforço estrutural da defesa aderente. Não se propõe um outro tipo de estrutura para a zona. No entanto, este é um caso merecedor de toda a precaução, visto haver nos últimos anos sinais de recuo de linha de costa. Tal como foi referido, as estruturas longitudinais aderentes fixam uma linha de costa, não promovendo o crescimento de praia.

Uma medida que se sugere que seja executada futuramente é a alimentação artificial de areias provenientes do porto da Póvoa de Varzim, como já foi dito anteriormente no presente trabalho.

Uma estrutura a ter presente seria a construção de um quebramar destacado, a qual seria mais facilmente exequível quando na presença de rocha, como parece evidenciar a Figura 3.7.

Passando agora à proposta de reabilitação, sugere-se que a norte do parque de estacionamento (zonas do caso 1 e caso 2 da Figura 3.13), seja construída de novo toda a extensão da estrutura. Devido ao seu estado actual de conservação, apenas se pode aproveitar algum do enrocamento aí existente.

O perfil a construir na zona a norte do parque de estacionamento, é de uma estrutura fundada à cota +0,0 ZH, constituída por um manto de blocos de enrocamento graníticos de 4 a 6tf, assente sobre uma camada intermédia de enrocamento granítico de 1 a 3 tf, com um talude de inclinação 2/3. Ainda será constituído por uma manta geossíntética de elevada resistência para impedir a transição transversal de finos, protegendo assim a organização das camadas. Parte do material restante da antiga estrutura, tentar-se-á utilizar na nova estrutura como TOT ou mesmo para a camada intermédia, caso apresente condições para tal.

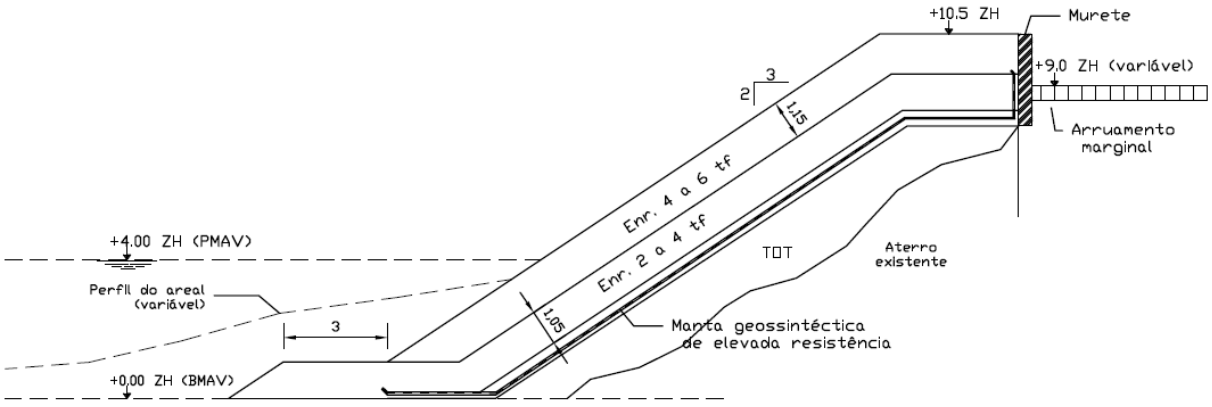


Figura 3.18 – Perfil da estrutura aderente a construir.

Para a execução desta empreitada, descrevem-se os vários trabalhos a serem realizados, discriminando além dos trabalhos, as quantidades e os custos associados (Quadro 3.1, 3.2 e 3.3).

É de referir que todas as quantidades referidas no Quadro 3.1, Quadro 3.2 e no Quadro 3.3, devem ser confirmadas após um levantamento topográfico actualizado, visto o estudo ter sido orientado segundo levantamentos datados de 1996 e 1999, naturalmente com algumas zonas desactualizados.

Os custos apresentados são meramente indicativos, servindo apenas para se ter uma ordem de grandeza.

Quadro 3.1 – Designação de trabalhos e seus respectivos custos

Designação dos trabalhos	Quantidades	Valor dos trabalhos
Levantamento topo-hidrográfico inicial, cobrindo uma faixa 2000 × 150 m.	1 unidade	2.100,00 €
Levantamento topo-hidrográfico final, cobrindo uma faixa 2000 × 150 m.	1 unidade	2.100,00 €
Montagem e manutenção do estaleiro, incluindo a mobilização de todos os equipamentos e encargos com a manutenção das condições de segurança, higiene e saúde, de acordo com o Decreto-Lei 273/2003, de 29 de Outubro	1 unidade	60.000,00 €
Desmontagem e desmobilização dos equipamentos incluindo limpeza, remoção de todos os materiais e reposição das condições iniciais	1 unidade	30.000,00 €

Figura 3.19 – Divisão de zonas de trabalho.

Quadro 3.2 – Designação dos trabalhos e a sua descrição geral

Designação dos trabalhos	Descrição	Unidades
Fornecimento, transporte e colocação de enrocamentos graníticos TOT na estrutura longitudinal aderente.	A norte do parque de estacionamento. 265 m × 14 m × 2 m × 1,6	tf
Fornecimento, transporte e colocação de enrocamentos graníticos de 2 a 4 tf na estrutura longitudinal aderente.	A norte do parque de estacionamento, no talude, coroamento e banqueta: 265m × 24m × 1,05m × 1,6 A sul do parque de estacionamento: 265 m × 5 m × 1,05 m × 1,6	tf
Fornecimento, transporte e colocação de enrocamentos graníticos de 4 a 6 tf na estrutura longitudinal aderente.	A norte do parque de estacionamento, no talude e coroamento: 265m × 19m × 1,15m × 1,6 A sul do parque de estacionamento: (50 m × 50% + 110 m × 40% + 40 m × 80%) × (15 m × 1,15 m × 1,6)	tf
Escavadora giratória de 45 toneladas em trabalho de recuperação e de reperfilamento com aproveitamento de enrocamento existente.	10 semanas × 5 dias × 8 h	h
Manta de geossintético de elevada resistência e permeável na extensão a reconstruir.	A norte do parque de estacionamento: 265 m × 23 m	m^2
Camadas de brita na envolvente do geossintético.	A norte do parque de estacionamento: 265 m × 23 m × 2 camadas × 0,2 m espessura	m^3
Fornecimento, transporte e colocação de betão simples C 30/37 XA1, Dmáx=25mm, no recobrimento das juntas do coroamento e de parte do talude.	500 m × 0,2 m × 7 m	m^3
Fornecimento, transporte, cofragem, armadura e colocação de betão no murete de transição para o arruamento.	220 m × 0,4 m × 2,5 m	m^3
Fornecimento e colocação de tout-venant, de 2º, de origem granítica, no enchimento parcial das juntas do coroamento.	500 m × 0,2 m × 7 m	m^3
Escavadora giratória de 30 toneladas em trabalho de escavação para movimentação e ripagem de areias.	6 semanas × 5 dias × 8 h	h
Buldozzer tipo CAT D7 em ripagens de areias.	6 semanas × 5 dias × 8 h	h
Dumpers tipo VOLVO A30 em transporte de areias.	6 semanas × 5 dias × 8 h × 2 veículos	h

Quadro 3.3 – Designação dos trabalhos com as respectivas quantidades e custos

Designação dos trabalhos	Quantidades	Preço unitário (€)	Valor dos trabalhos
Fornecimento, transporte e colocação de enrocamentos graníticos TOT na estrutura longitudinal aderente.	11872	7.6	90 227.20 €
Fornecimento, transporte e colocação de enrocamentos graníticos de 2 a 4 tf na estrutura longitudinal aderente.	10685 2184	7.75	99 734.75 €
Fornecimento, transporte e colocação de enrocamentos graníticos de 4 a 6 tf na estrutura longitudinal aderente.	9265 2788	8.8	106 066.40 €
Escavadora giratória de 45 toneladas em trabalho de recuperação e de reperfilamento com aproveitamento de enrocamento existente.	400	90	36 000.00 €
Manta de geossintético de elevada resistência e permeável na extensão a reconstruir	6090	-	
Camadas de brita na envolvente do geossintético	2438	5	
Fornecimento, transporte e colocação de betão simples C 30/37 XA1, Dmáx=25mm, no recobrimento das juntas do coroamento e de parte do talude.	700	80	56 000.00 €
Fornecimento, transporte, cofragem, armadura e colocação de betão no murete de transição para o arruamento.	220	120	26 400.00 €
Fornecimento e colocação de tout-venant, de 2º, de origem granítica, no enchimento parcial das juntas do coroamento.	700	5	
Escavadora giratória de 30 toneladas em trabalho de escavação para movimentação e ripagem de areias.	240	80	19 200.00 €
Buldozzer tipo CAT D7 em ripagens de areias.	240	100	24 000.00 €
Dumpers tipo VOLVO A30 em transporte de areias.	480	80	76 800.00 €

Figura 3.20 – Zona a sul do parque de estacionamento.

Figura 3.21 – Zona a norte do parque de estacionamento.

É preciso ter em conta que estes trabalhos estão dependentes da variação do nível de maré, assim como das características do clima de agitação que possa existir. Visto que a extremidade mais a norte da estrutura aderente a construir, encontra-se mais próxima das águas do mar e portanto uma frente de trabalho mais exposta, poderá ser necessário tomar medidas de carácter menos corrente.

A realização da obra seria agendada para o ano de 2012 a partir do mês de Março, no entanto, surge ainda um inverno entre a data actual e a data proposta para a realização dos trabalhos, o que causa alguma preocupação no troço mais a norte onde a estrutura se encontra praticamente destruída, defendendo em tempos, algumas habitações aí implantadas.

4
CASO DE ESTUDO: NORTE DO FURADOURO

4.1. ENQUADRAMENTO

A praia do Furadouro localiza-se no concelho de Ovar, distrito de Aveiro. É intercalada a norte pela praia de S. Pedro de Maceda e a sul pela praia do Torrão do Lameiro. Situa-se a 26 km a norte do porto de Aveiro e a 30 km a sul da foz do rio Douro.

Este caso de estudo, é o mais gravoso dos três apresentados, e os seus problemas principais passam por:

- Problemas acentuados de erosão;
- Intensa pressão urbana;
- Necessidade da construção/manutenção de obras de defesa costeira.

Figura 4.1 – Praia do Furadouro.

Uma hipótese será admitir que parte dos problemas de erosão verificados nesta praia estão relacionados com as estruturas executadas mais a norte como em Espinho, que se situa a 15 km a norte do Furadouro, pois nesta zona, desde 1988, estão implantados dois grandes esporões (aproximadamente 300 m), que dificultam o transporte longitudinal, resultando num menor fluxo de sedimentos nas praias mais próximas a sul desta.

Com a intensa erosão verificada ao longo dos anos, e face à existência de uma frente urbana, foi necessário executar estruturas de defesa costeira, tais como as observadas na Figura 4.1. É de referir, que ocorreram várias modificações, tanto na relocalização de esporões (esporão sul), como em intervenções de emergência após temporais e algumas reparações de manutenção.

4.2. ESTADO EVOLUTIVO DO CASO DE ESTUDO

De acordo com as Cartas de Risco do Litoral (INAG/CEHIDRO, 1999), em 1972-73 foram construídos três esporões no Furadouro. O esporão mais a norte encontra-se completamente soterrado na areia. O esporão mais a sul foi reconstruído em 1998 numa posição mais a sul do que aquela em que se encontrava. Em 1959 já existia uma pequena defesa frontal que veio a ser progressivamente prolongada e que une o enraizamento dos dois esporões que estão à vista e se prolonga um pouco para sul (Figura 4.2)

Figura 4.2 – Praia do Furadouro (Carta de Risco do Litoral, 1996)

A Carta de Risco (INAG/CEHIDRO 1999b) referente à praia do Furadouro ainda afirma que neste segmento costeiro podem ser considerados dois subsegmentos: um a norte da povoação do Furadouro e outro a sul. O subsegmento a norte não é mais do que a continuação do segmento que se estende até

ao esporão de Maceda e que deverá (INAG/CEHIDRO 1999b) "rodar em torno do esporão do Furadouro até atingir a posição de equilíbrio estático". O subsegmento a norte mostrou então grande estabilidade como atesta a comparação dos levantamentos de 1975 e 1996, segundo a mesma referência.

Acresce ainda de acordo com as Cartas de Risco, que a orientação deste segmento que se estende por quase 2 km para norte do esporão do Furadouro, já se encontra praticamente na posição de equilíbrio estático, não sendo por isso de esperar aqui grandes evoluções.

De acordo com os estudos realizados em sede de POOC Ovar-Marinha Grande, 2000, o subsegmento a sul do Furadouro, que faz parte do trecho que vai do Furadouro à Torreira terá ainda que rodar em torno do esporão da Torreira até adquirir a orientação Az=21º. Admitindo que a costa continuará a evoluir livremente e que nenhum ponto fixo será introduzido entre o Furadouro e a Torreira é de esperar que o recuo máximo nesta zona seja de cerca de 1100 m.

Neste trecho foi observado um pequeno recuo entre 1947 e 1958, aumentando de 1958 a 1980. A erosão a partir de 1980 alcançou valores ainda superiores (Veloso Gomes *et al*, 2006).

As taxas de recuo calculadas com base nos levantamentos de 1975 e 1996 são neste subsegmento muito variáveis, mas assumem valores que podem atingir quase os 200 m, ou seja, cerca de 10 m/ano.

Segundo Veloso Gomes *et al*, 2006, o trecho Maceda-Furadouro apresenta problemas significativos de erosão e galgamentos. No entanto, as consequências são menos gravosas porque o recuo da linha de costa, implica a perda de áreas florestais (Maceda), e não frentes urbanas (Furadouro). Nos próximos anos é expectável que a linha de costa irá recuar ainda mais.

A praia do Furadouro, tem sido objecto de intervenções recentes, pois no ano de 2010 ocorreram dois grandes temporais de sudoeste, que levaram a um recuo significativo da praia e alguns danos na marginal provocados pelos galgamentos sobre as estruturas longitudinais aderentes.

Em Março de 2010, deu-se o primeiro grande temporal que em parte é a causa da situação que ainda hoje se tenta recuperar. Houve uma elevada retirada de material sedimentar da praia norte do Furadouro, formando-se uma arriba quase vertical com cerca de 4 a 6 m, próxima da marginal (Figura 4.3).

Figura 4.3 – Praia do Furadouro em Outubro 2010 e a linha aproximada da arriba de erosão em 2010 (adaptado Veloso Gomes, 2010c).

Portanto ocorreu um recuo elevado da largura de praia, chegando nalguns locais aos 60 a 70 m de encurtamento de praia em relação a 2009.

Para mitigar esta situação, após os temporais de Março de 2010, foram levadas a cabo pela ARH Centro, as seguintes intervenções:

- Intervenções de emergência efectuadas no mês de Março de 2010, que consistiram na colocação de enrocamento de grandes dimensões junto ao muro que limita a praia do passeio marítimo, com o objectivo de ajudar na dissipação da agitação incidente, principalmente na redução dos galgamentos ocorridos na Avenida Marginal
- Intervenção de reabilitação da praia (Maio/Junho) com o objectivo de criar condições de usufruto da mesma durante a época balnear de 2010. Os trabalhos desenvolvidos passaram por assegurar o acesso ao areal, através da ripagem de areias na zona de rebentação, tendo sido previsto a movimentação de 30 a 40 mil m^3 de areias, numa extensão da ordem de 300m, pelo reperfilamento de 25 m de talude e coroamento da área adjacente à raiz do esporão; pela demolição dos 2 varandins intermédios, com novo alinhamento da obra marginal, agora mais recuado e, por fim, pelo reforço de coroamento da estrutura, no troço entre varandins, incluindo a selagem da fundação do muro da marginal em cerca de 60 m.

Com esta última intervenção, nomeadamente a ripagem de areias, a praia ficou com o aspecto que se pode ver na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Praia do Furadouro, após ripagem das areias (Google Earth)

Os novos muros marginais construídos e o recuo dado a estes, pode ser observado na Figura 4.5.

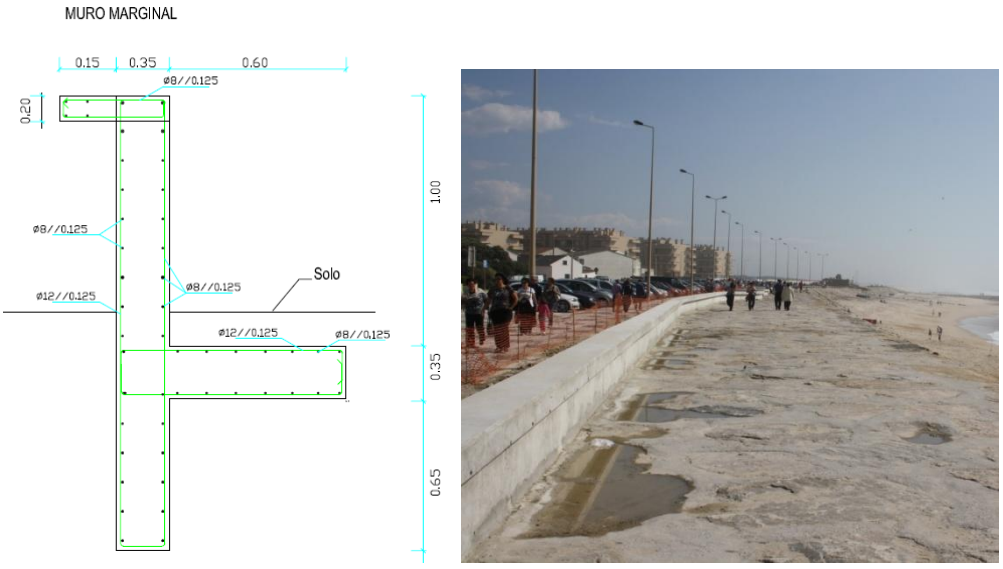


Figura 4.5 – Esquerda: Corte do muro marginal (adaptado ARH Centro); Direita: Muro marginal mais recuado (26/04/2011 – 16:00 horas)

Na Figura 4.6, estão representadas as alturas de onda que ocorreram na tempestade de Outubro de 2010, responsável pelo novo desaparecimento de parte da praia, assim como o galgamentos das estruturas em direcção à marginal do Furadouro. Fez-se destaque, na Figura 4.6 e Figura 4.7, ao dia 9, pois além de apresentar elevadas alturas de onda e rumo aproximadamente sudoeste, coincidiu com o dia de Outubro que mais contribuiu para a situação de retirada de material da praia. Isto porque, aliada às condições descritas anteriormente, a tempestade coincidiu com o nível de preia-mar, o que provavelmente não aconteceu no dia 3, que apesar de ter alturas de onda elevadas, não ocorreu em simultáneo com o nivel de preia-mar.

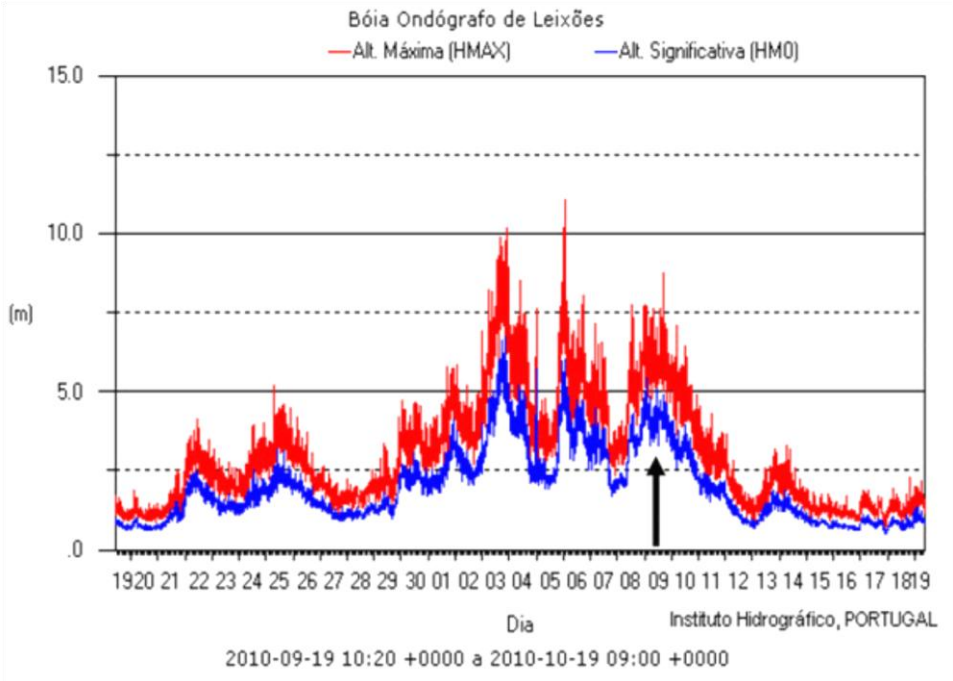


Figura 4.6 – Registo de altura de onda aquando das tempestades de Outubro de 2010 (Veloso Gomes, 2010)

Tal como é possível constatar pela Figura 4.6, no dia 9 de Outubro, a altura da onda significativa rondou os 5 m, presenciando-se ondas máximas de 7,5 a 8 metros.

Na Figura 4.7, confirma-se que a direcção da tempestade tomou aproximadamente o rumo sudoeste (SW), estando as praias não defendidas para este rumo, resultando nos já referidos impactes.

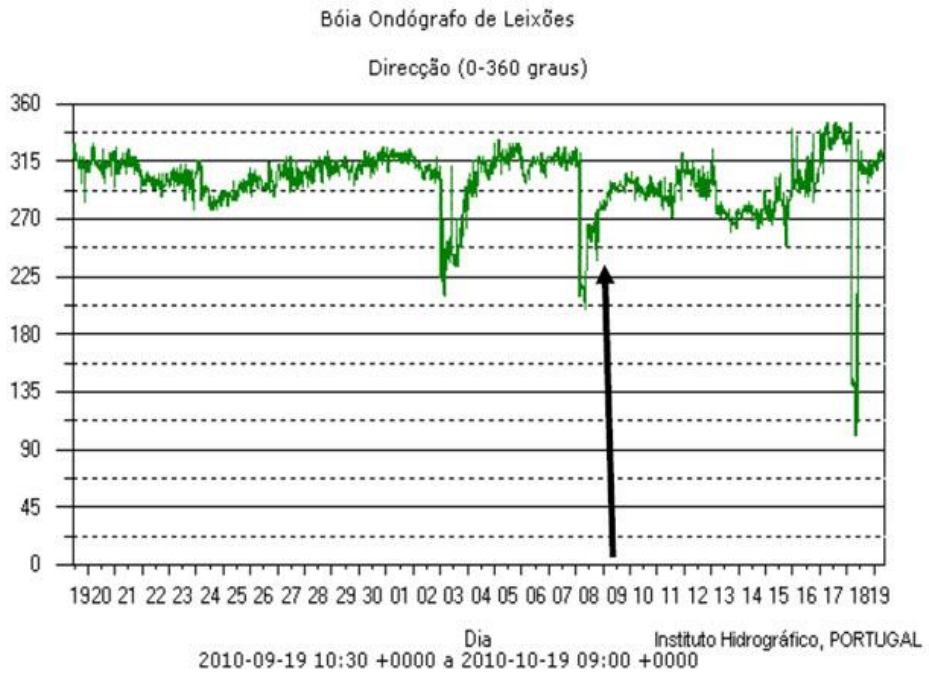


Figura 4.7 - Registo de direcções de onda aquando da tempestade de Outubro de 2010 (Veloso Gomes, 2010)

4.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

O POOC Ovar-Marinha Grande engloba um vasto sector litoral talhado em terrenos da Orla ocidental Mesocenozóica. Porém, predominam os terrenos de idade Quaternária, geralmente areias de praia e de duna (Araújo, 1999).

A praia do Furadouro é essencialmente formada por areias médias a grosseiras na sua parte emersa e por areias médias a finas na parte submersa. Desta forma é uma zona onde não há presença de rocha a profundidades tais que permita a fácil implantação de obras de defesa offshore. Esta é uma das razões para no capítulo 6, aquando do dimensionamento de um quebramar destacado para a praia do Furadouro, tomar-se como cotas de implantação -3.0m ZH.

4.4. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ESTRUTURAIS

4.4.1. TOPOGRAFIA E BATIMETRIA

De acordo com o SNIRLIT (2002), a costa do Furadouro é mal definida, com interrupções, visto encontrarem-se algumas estruturas de engenharia costeira implantadas, as quais são responsáveis por retenção parcial da deriva litoral proveniente de norte, condicionando o transporte longitudinal. A transição da praia para a faixa costeira efectua-se por arriba talhada na duna, na zona imediatamente a sul do Furadouro.

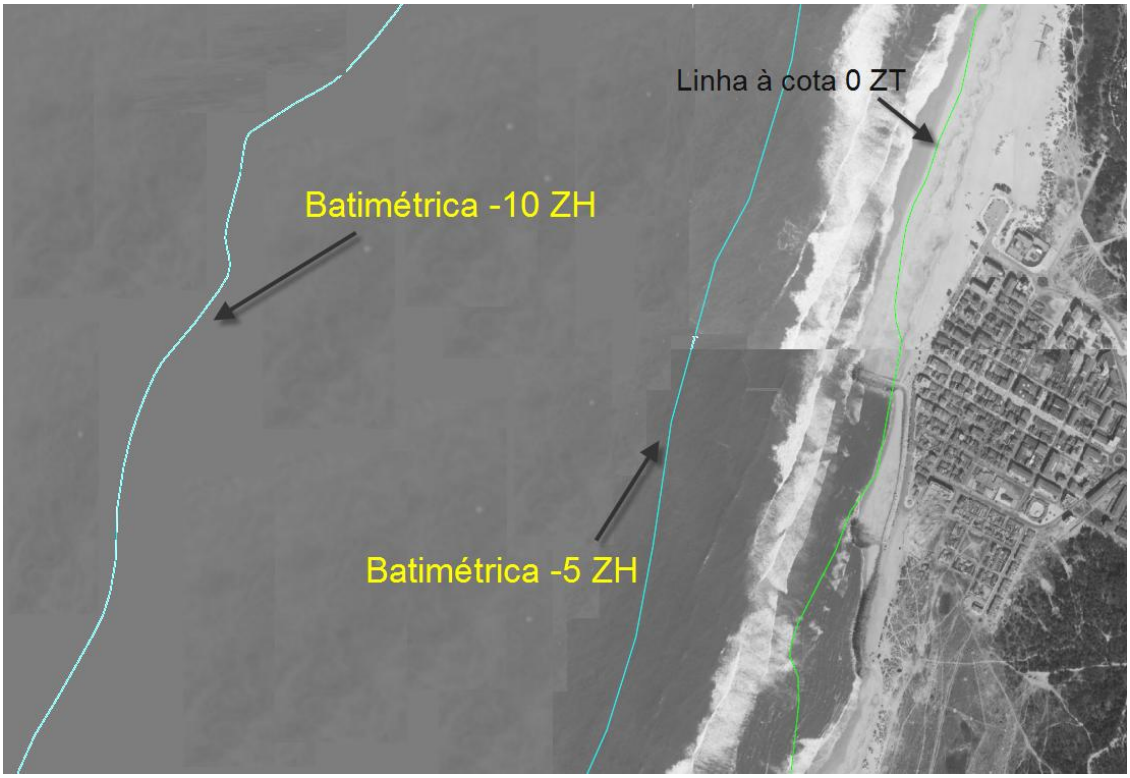


Figura 4.8 – Definição topográfica e batimétrica (adaptado Cartas de Risco do Litoral, 1996)

Observando a Figura 4.8, pode constatar-se que a linha de cota do 0 ZT, a qual corresponde aproximadamente ao +2.0 ZH, encontra-se próximo da marginal, imediatamente a norte do esporão norte.

Actualmente no Furadouro, verificam-se com alguma frequência galgamentos das estruturas de defesa costeira e por consequência a chegada de caudais às ruas marginais da zona urbanizada. No ano de 2010, ocorreram alguns incidentes desta natureza, tendo as principais ruas marginais da zona ficado inundadas por várias horas.

De acordo com o Plano de Praia definido para a praia do Furadouro, relativo ao POOC Ovar-Marinha Grande, percebe-se que a frente urbanizada está implantada a cotas da ordem dos 7 a 8 m relativo ao ZT, sendo as ruas adjacentes de inclinação descendente no sentido oposto ao da costa litoral.

Figura 4.9 - Topografia da zona do esporão norte do Furadouro (Plano de Praia do Furadouro, 2000)

Assim, com alguma facilidade a zona urbanizada é inundada aquando da ocorrência de galgamentos. Para mitigar a situação, têm sido apresentadas propostas tais como um sistema de drenagem adequado, com o objectivo de captar estes caudais provenientes das águas do mar, ou o levantamento da cota de coroamento das zonas marginais, o que levará a uma redução de visibilidade sobre o mar, sendo que esta última alternativa adicionará impactes paisagísticos elevados.

4.4.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO DE DEFESA COSTEIRA

No ano de 2010, existiam dois esporões, ambos com aproximadamente 130 m de comprimento, uma estrutura longitudinal aderente entre o enraizamento dos dois esporões e ainda a continuação desta ultima estrutura aderente em cerca de 220 m, para sul em direcção à zona florestal.

No presente ano (2011), já ocorreram algumas intervenções, consequência das já mencionadas tempestades, nomeadamente a conclusão da reparação dos esporões e a construção de 185 m de estrutura longitudinal aderente, localizada a norte do esporão norte (Figura 4.10 e 4.11Figura 4.11).

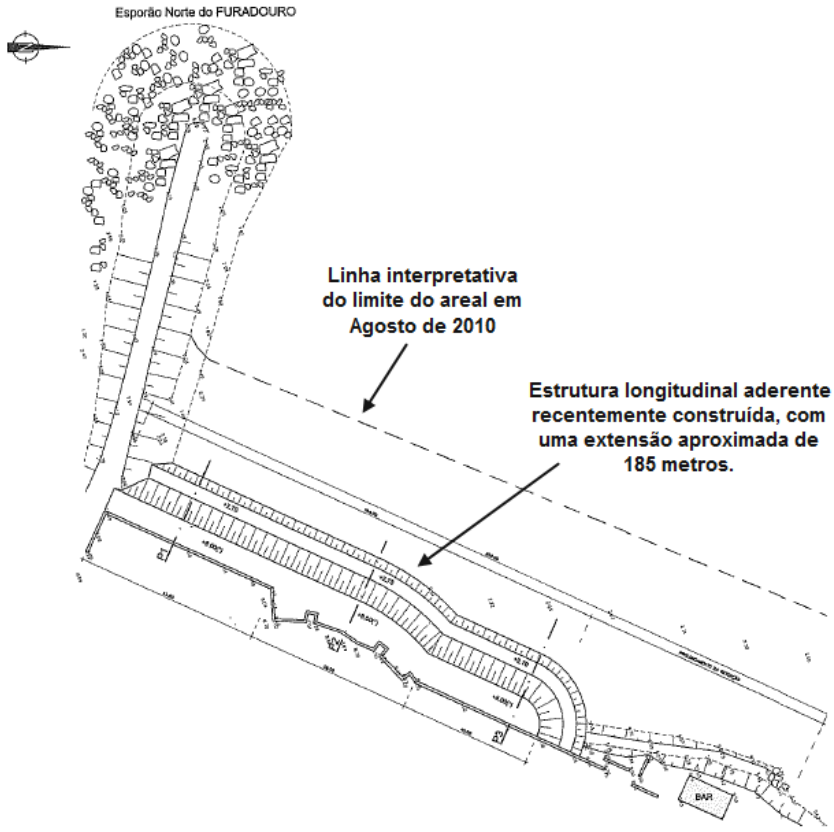


Figura 4.10 – Esquema representativo da praia norte do Furadouro (Consulmar, 2010a).

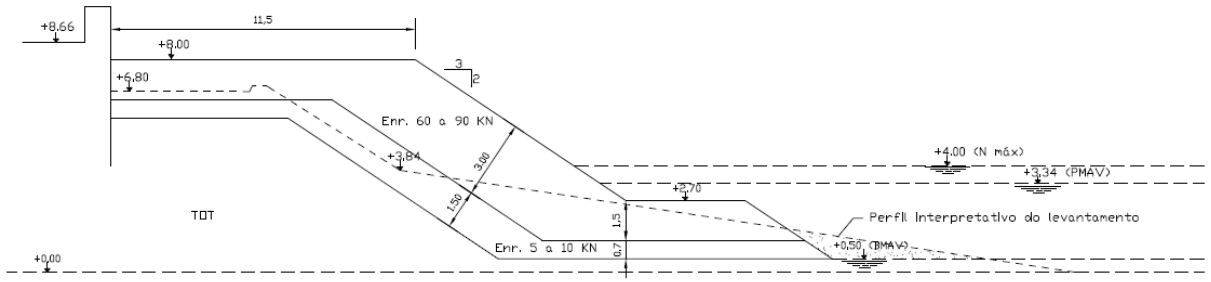


Figura 4.11 – Corte da estrutura longitudinal aderente (adaptado Consulmar, 2010a).

Esta nova estrutura está fundada à cota média de +0.5 (Z.H), apresenta um patamar à cota +2.7 (Z.H), sendo +8.0 Z.H a sua cota de coroamento. O seu talude tem inclinação de 2:3. O manto de enrocamento tem blocos de 60 a 90 kN, assente sobre uma camada intermédia de 5 a 10 kN.

Estes 185 m de estrutura longitudinal aderente foram uma primeira etapa de intervenção. De acordo com a ARH Centro, no presente ano apenas se construiu os 185 metros e não a totalidade da estrutura por questões de limitação económica, porém fica previsto no ano de 2012 dar-se continuidade à estrutura longitudinal dimensionada e já referida como projecto de execução, com um comprimento aproximadamente de 400 m (Figura 4.12).

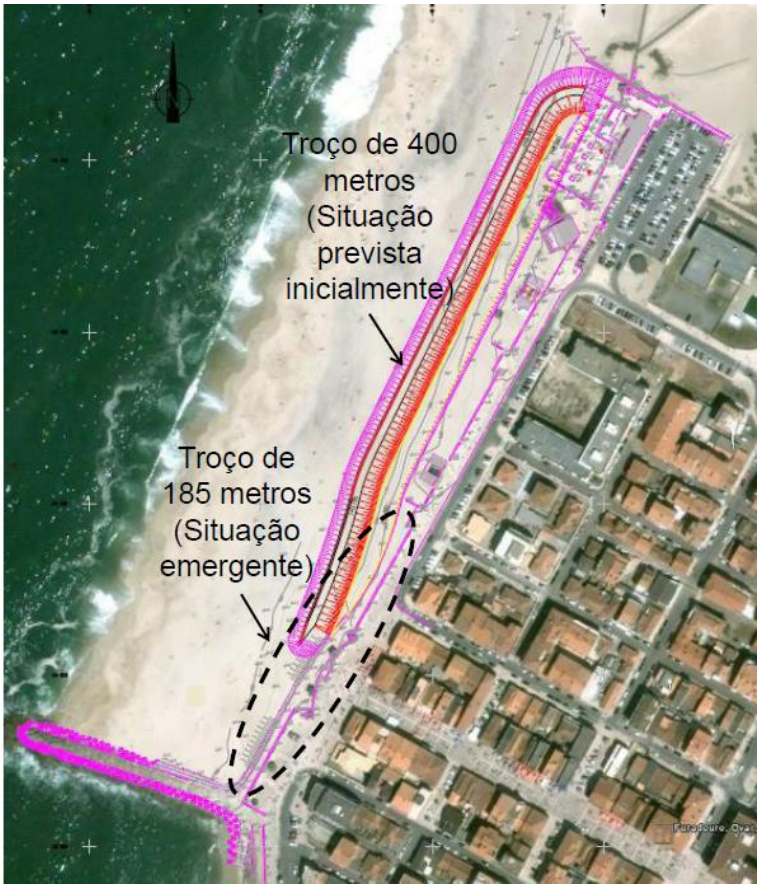


Figura 4.12 – Trecho do desenho do projecto de execução do Furadouro (adaptado ARH Centro/Consulmar, 2010b)

No projecto de execução, é possível verificar que neste não consta a primeira etapa de construção dos 185 m de estrutura aderente, pois foi uma medida tomada pela ARH Centro intitulada " Intervenção de Emergência na Praia do Furadouro - Protecção da Avenida Marginal e Recarga da Praia", sendo esta de carácter emergente. Desta forma, a estrutura já proposta em projecto de execução irá dar continuidade a esta primeira intervenção, fazendo assim o seu prolongamento, pelo que foi possível apurar junto da ARH Centro.

4.4.3. VARIAÇÃO QUANTITATIVA SEDIMENTAR DA PRAIA

Tomando como base dois levantamentos topográficos realizados pela empresa Irmãos Cavaco, S.A., um em Setembro de 2009 e outro em Março de 2010, após um temporal que se fez sentir neste mesmo mês, realizaram-se alguns perfis transversais da praia, tendo como objectivo comparar a brusca mudança de perfil transversal, assim como estimar o défice aproximado de volume sedimentar.

Há a referir que o levantamento topográfico realizado pela empresa Irmãos Cavaco, S.A., carece de cotas em várias zonas de praia, tendo sido possível apenas construir perfis nas zonas indicadas na Figura 4.13.

Figura 4.13 – Representação da localização dos perfis transversais (adaptado Google Earth, 2009).

Fazendo uso das cotas representadas nos levantamentos topográficos, foi possível então construir os perfis transversais da praia.

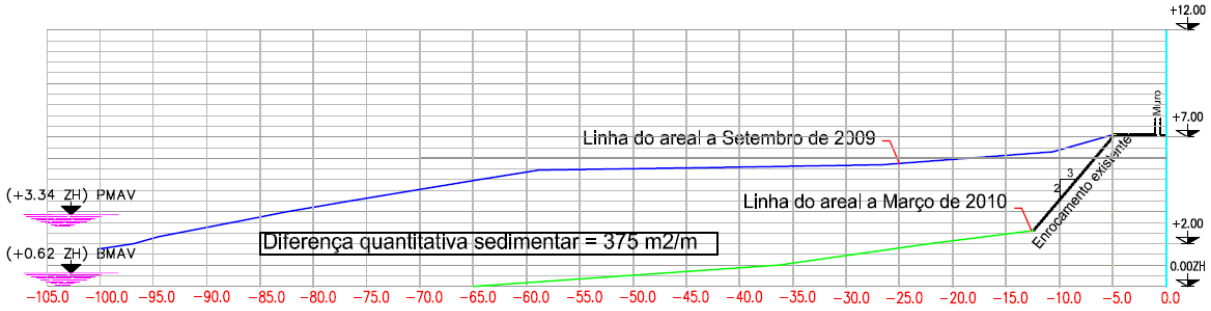


Figura 4.14 – Perfil transversal 1.

O Perfil 1 e o Perfil 2 são semelhantes tanto na geometria dos dois anos, como na diferença quantitativa sedimentar, justificado logicamente pela proximidade que apresentam. Repare-se que nos Perfis 1 e 2, no caso de 2010, o nível de água do mar atingia a estrutura aderente, passando esta a ficar exposta em cerca de 4.5 a 5 m em altura. Note-se que em 2009 a estrutura aderente estava sob o areal da praia e que após a ocorrência de temporais, ficou descoberta como se percebe visualizando a Figura 4.14 e 4.15. observando-se deste modo que o areal desta zona de praia na situação de PMAV, fica totalmente submerso.

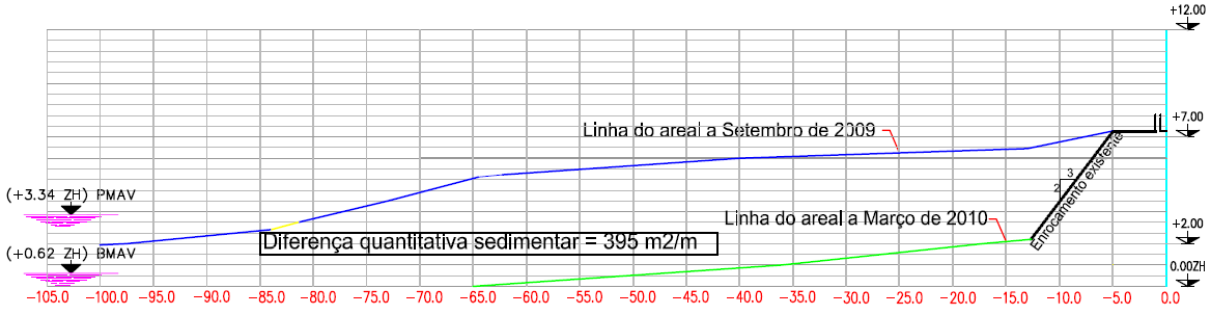


Figura 4.15 – Perfil transversal 2.

Constituindo o Perfil 3, uma zona já diminuída em questão de largura de praia, viu-se agravada a situação em 2010, provocando um novo recuo, agora mais acentuado e expondo ainda mais a estrutura longitudinal aderente, em cerca de 2.5 metros.

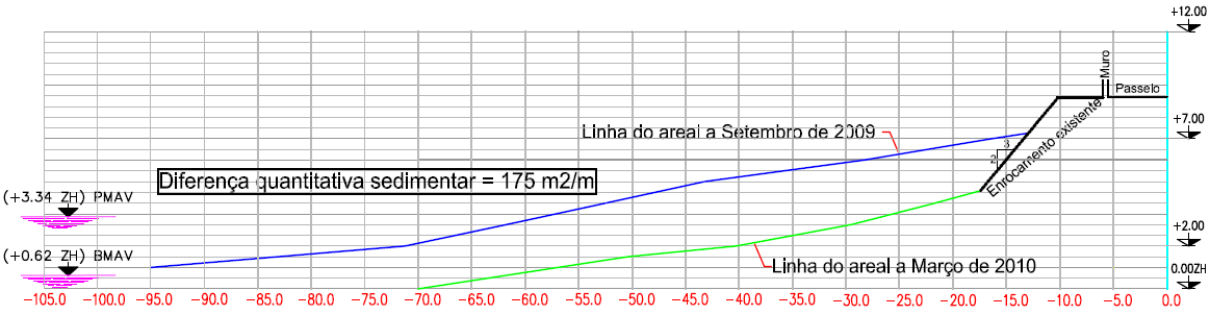


Figura 4.16 – Perfil transversal 3.

Já o Perfil 4, também se lhe reconhece uma mudança notória, no entanto fazendo uso da posição do PMAV e traçando uma linha horizontal intersectando as linhas referentes ao areal nos dois anos, obtém-se que para 2009, um comprimento de 90 m, enquanto que para 2010 um comprimento de 55 m. Há portanto um recuo, porém não é uma situação crítica como nos perfis já descritos.

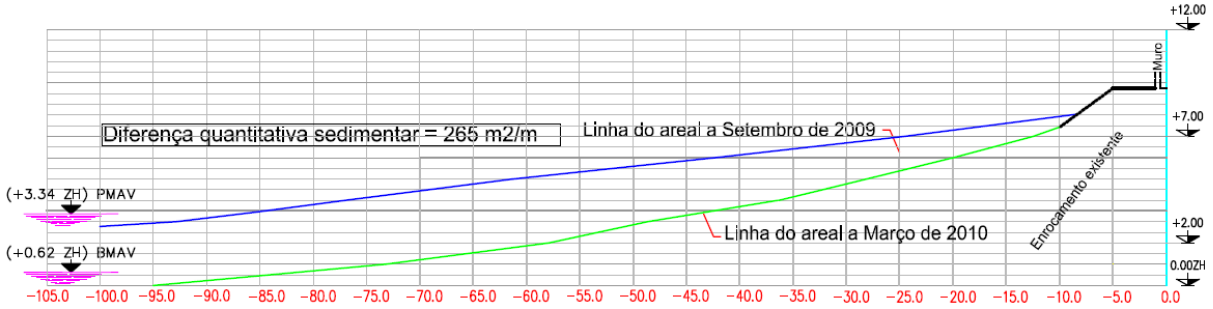


Figura 4.17 – Perfil transversal 4.

Foi possível quantificar de forma aproximada o volume de areia necessário a repor, para reconstruir o perfil de praia de 2009. No entanto refere-se que as diferenças quantitativas sedimentares dizem respeito apenas até cotas de 0 m (ZH), pois os levantamentos topográficos, não apresentavam cotas

inferiores a esta. Assim sendo, uma possível alimentação artificial teria que ter em conta esta limitação.

Não sendo simples a quantificação do volume a repor, tomaram-se as seguintes posições quanto à subdivisão das praias e as correspondentes diferenças quantitativas sedimentares (Quadro 4.1).

Para uma maior coerência e comparação de volumes finais a repor, tomou-se o comprimento de praia norte igual ao da praia sul (490 m).

Quadro 4.1 – Forma de subdivisão das praias e respectivas diferenças quantitativas sedimentares

	Extensão Total (m)	Subdivisão 1 (m)	Subdivisão 2 (m)	Diferença quantitativa sedimentar 1 (m^2/m)	Diferença quantitativa sedimentar 2 (m^2/m)
Praia sul	490	245	245	265	175
Praia norte	490	270	220	385	250 (valor estimado)

Relativamente à praia sul, de forma simples conseguiu-se fazer a ponderação de distâncias e áreas, dividindo-se em duas partes iguais como se constata pela Figura 4.18.

Figura 4.18 – Esquema de divisão de áreas sedimentares da praia sul do Furadouro

Quanto à praia norte, não foi tão simples, devido ao perfil de praia que é mais irregular e à falta de perfis ao longo da sua extensão. Apesar disto, para uma primeira subdivisão (Subdivisão 1), tomou-se um comprimento de 270 m, medido no Google Earth, como uma zona semelhante e onde se poderia atribuir uma diferença quantitativa igual. Já em relação à Subdivisão 2, arbitrou-se um deficit de 250 m^2/m na restante extensão de praia.

Desta forma determina-se os valores relativos aos volumes a repor, apresentados no Quadro 4.2, onde se verifica uma variação de volume de uma praia em relação à outra em cerca de 50%. Como já foi descrito a praia norte foi mais atingida pela forte agitação, tendo naturalmente ocorrido nesta um défice superior.

Quadro 4.2 – Volume sedimentar a repor no Furadouro

	Volume de areia perdido (m^3)
Praia sul	108000
Praia norte	159000

4.5. ASPECTOS FUNCIONAIS E ESTADO DE CONSERVAÇÃO

4.5.1. FUNCIONAMENTO

As várias estruturas de defesa costeira implantadas na praia do Furadouro são alvo de fortes danos por parte da agitação marítima, sendo também uma zona significativamente afectada pela erosão costeira.

Ao longo de vários anos a situação da praia esteve controlada apenas se verificando a dinâmica natural, mas sempre foi uma zona preocupante para as entidades responsáveis, e portanto sempre intervieram com medidas de reabilitação das estruturas e com intervenções de emergência.

No entanto, no ano de 2010, ocorreram os já referidos temporais, que tornaram ineficazes as estruturas de defesa, implantadas até então. Dadas as características anormais de direcção dominante da ondulação, afectado de ondas de elevada altura em marés vivas, levou com que a praia a norte do esporão norte quase desaparecesse. É de referir que as estruturas de defesa estão implantadas para receberem e serem funcionais numa direcção de agitação aproximadamente vinda de NW. Caso a direcção seja excepcional, as estruturas perderão a sua funcionalidade primária.

Dado isto, as autoridades responsáveis intervieram no intuito de defender a zona urbana, construindo uma estrutura longitudinal aderente, com a caracterização, que se pode ver na Figura 4.10 e Figura 4.11.

De acordo com a nota de imprensa publicada em Janeiro de 2011 pela ARH Centro, a estrutura de defesa proposta, que corresponde a uma estrutura aderente, implantada na praia, em talude de enrocamento, tem como principal objectivo o reforço da defesa a norte do esporão norte, permitindo, não só a protecção da marginal, mas também das edificações existentes. Esta solução permitirá, em situações excepcionais de agitação marítima, a dissipação de energia e contenção de parte do transporte sólido transversal, mantendo em situações "normais", a utilização do areal da praia. De forma sintética, foram considerados dois funcionamentos distintos da estrutura proposta, em função da dinâmica sazonal da praia. Durante os meses das estações de Outono e Inverno, e especificamente nas situações de temporal, considera-se que a estrutura ficará exposta, na sequência dos efeitos da agitação incidente, Durante a época balnear, a estrutura poderá ficar soterrada, garantindo-se assim a normal utilização da praia.

4.5.2. ESTADO DE CONSERVAÇÃO

A praia do Furadouro é frequentemente fustigada com a forte agitação que se faz sentir nesta zona, apresentando as estruturas alguns sinais que exigem intervenção de manutenção.

Figura 4.19 – Praia Norte do Furadouro (adaptado Piqueiro, 2006).

Fazendo a correspondência da numeração (casos) da Figura 4.19, temos:

- Caso 1 - Estrutura longitudinal aderente, recentemente construída e arriba de erosão;
- Caso 2 - Muretes marginais;
- Caso 3 - Esporão norte.

Figura 4.20 – Arriba de erosão, correspondente com o caso 1 (26/02/2011 – 14:30 horas).

Figura 4.21 – Estrutura longitudinal aderente, correspondente com o caso 1 (26/02/2011 - 14:30 horas).

A Figura 4.20 e 4.21, foram tiradas de sul para norte. Pela sua visualização é notória a arriba de erosão junto aos bares de praia, onde foram colocados alguns blocos de enrocamento numa tentativa de protecção temporária da zona.

Figura 4.22 – Danos nos muretes marginais, correspondente com o caso 2 (26/02/2011 - 14:30 horas).

O caso 2, é provocado por galgamentos sobre a estrutura longitudinal aderente, levando à danificação da plataforma junto ao arruamento marginal.

Figura 4.23 – Esporão em fase de reabilitação, correspondente com o caso 3 (26/02/2011 - 14:30 horas).

Passando à praia sul do Furadouro, entende-se que está mais protegida pelo facto de estar entre os dois esporões, verificando acumulação sedimentar mais a sul, junto ao esporão sul da praia e, naturalmente, uma erosão na zona imediatamente a sul do esporão norte, devido aos fenómenos de difracção.

Figura 4.24 – Praia sul do Furadouro (adaptado Piqueiro, 2006)

Posto isto, assinala-se dois casos observados:

- Caso 4 - Deslocamento de blocos de enrocamento do corpo da estrutura longitudinal aderente;
- Caso 5 - Esporão sul;
- Caso 6 - Construção de dunas artificias.

Figura 4.25 – Deslocamento de blocos do corpo da estrutura, correspondente ao caso 4 (26/02/2011 - 14:30 horas).

Na Figura 4.25, constata-se alguma desorganização de blocos no corpo da estrutura, sinal de acções vindas do mar, por embate das ondas e mesmo o galgamento da estrutura, como já foi justificado a partir da Figura 4.22.

Figura 4.26 – Esporão sul, correspondeste com o caso 5 (26/02/2011 - 14:30 horas)

Relativamente ao esporão sul, este também foi reabilitado (Figura 4.26).

Figura 4.27 – Construção de dunas artificiais (26/02/2011 - 15 horas).

Em finais de Fevereiro de 2011 na zona da Figura 4.27, encontrava-se a decorrer o projecto de requalificação ambiental na zona sul da praia do Furadouro, incluindo reposição dunar. O que está representado na Figura 4.27, diz respeito a um cordão de paliçadas que está proposto no projecto datado de Fevereiro de 2009 pelo ARH Centro.

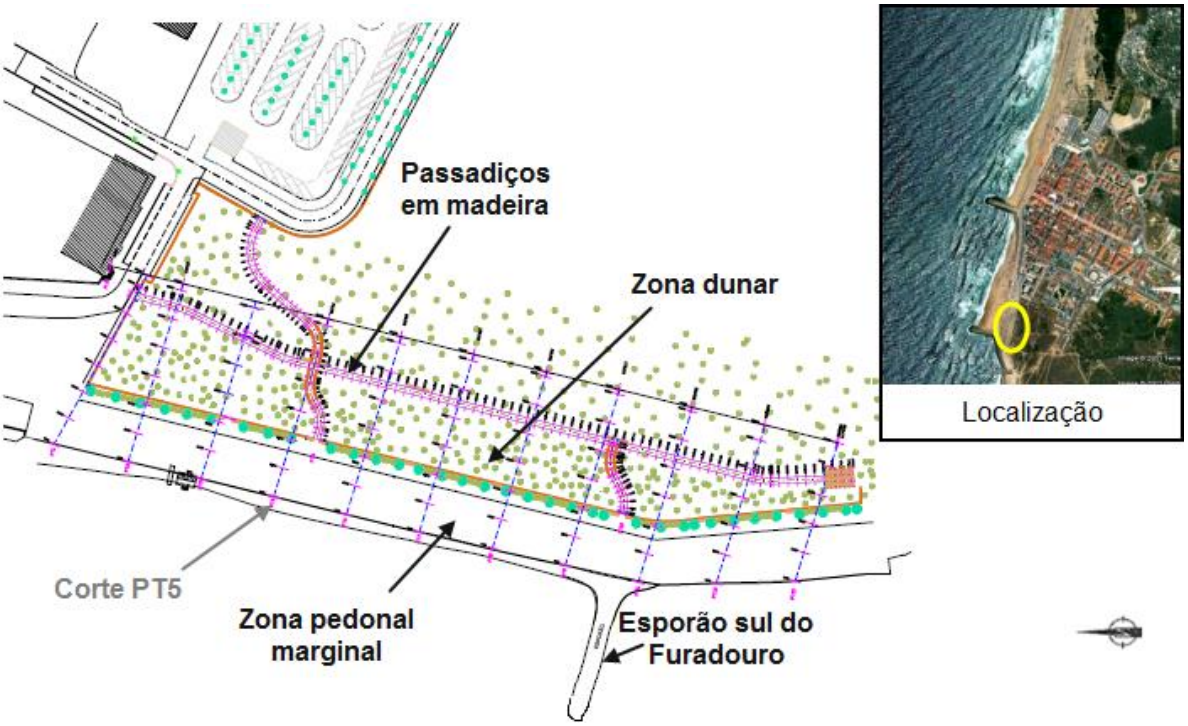


Figura 4.28 – Trecho do Projecto de Requalificação Ambiental da Zona Sul da Praia do Furadouro, incluindo reposição dunar (ARH Centro, 2009).

Assim, esta zona que anteriormente funcionava como parque de estacionamento automóvel, no futuro constituirá uma zona de tampão. Na Figura 4.29, apresenta-se ainda um corte da zona a requalificar.

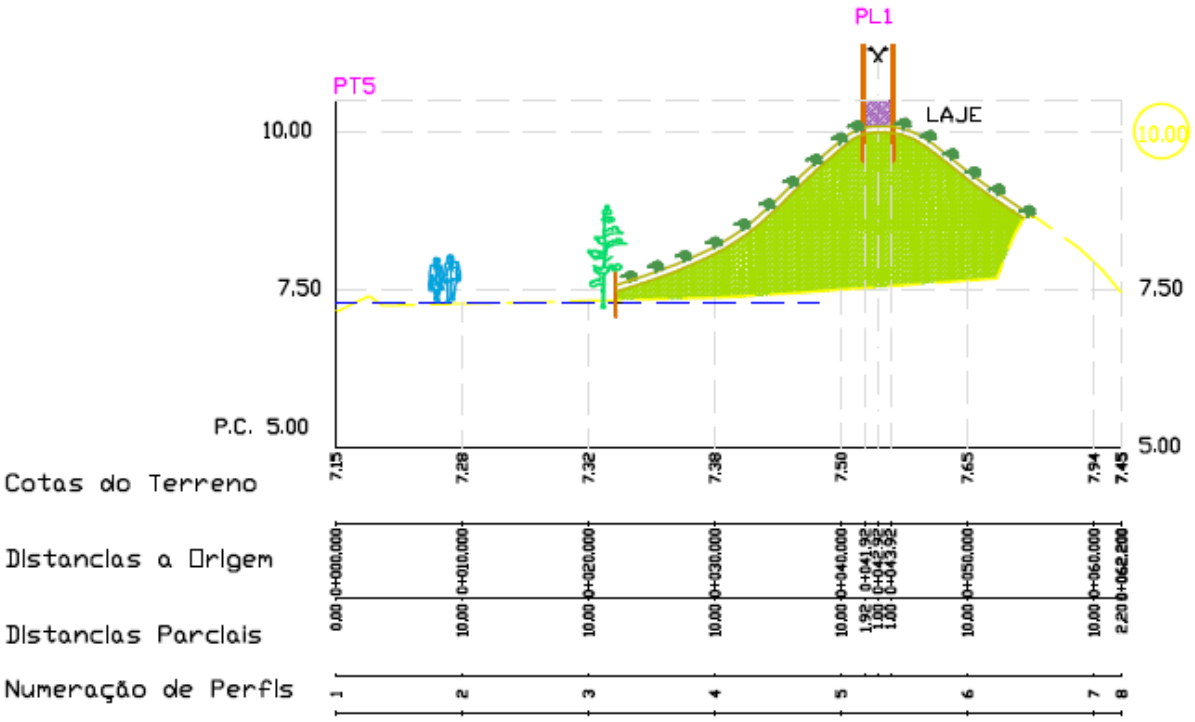


Figura 4.29 – Perfil transversal tipo da zona a requalificar PT5 (ARH Centro, 2009)

4.6. PROPOSTA DE REABILITAÇÃO

A proposta de intervenção, para fazer face aos problemas já descritos, será abordada no presente subcapítulo, assim como no capítulo 6 e 7.

Considerando este caso merecedor de maior destaque, nos capítulos 6 e 7, estudar-se-á a hipótese de implantação de um campo de quebramares destacados e o prolongamento das extremidades dos esporões na direcção aproximada de sudoeste. Descrever-se-á o pré-dimensionamento das estruturas, como a explicação da aplicabilidade do programa SMC a ser usado, para modelar as soluções propostas.

Apresenta-se de seguida uma abordagem semelhante à que foi feita no subcapítulo 3.6, relativo ao caso de Mindelo. Foi realizada uma visita ao local com o propósito de fazer um levantamento de danos nas estruturas, avaliando também pequenas soluções para alguns dos casos.

É de extrema importância referir que o estado de conservação que foi realizado no subcapítulo 4.5, tem como base, levantamentos de fins de Fevereiro de 2011. Sabe-se que na praia do Furadouro, durante os últimos meses têm ocorrido várias obras, mudando assim as suas condições de conservação. Destaca-se que no Anexo B, serão apresentadas várias imagens do local, mostrando assim as modificações ocorridas ao longo da realização do presente trabalho.

Passando agora à primeira etapa de proposta de reabilitação do caso de estudo e tendo como base de trabalho levantamentos no local a 11 de Junho de 2011, refere-se que as obras de defesa costeira estão genericamente bem conservadas. Tal estado de conservação das estruturas, justifica-se pelas

intervenções que ocorreram no passado ano de 2010, tendo-se realizado nesta altura obras de reabilitação/reforço estrutural do esporão norte, do esporão sul e ainda da estrutura aderente sul.

As situações para as quais se menciona uma possível e devida reparação são, nomeadamente, para a estrutura longitudinal aderente existente entre o enraizamento dos dois esporões, para um pequeno reparo no esporão sul, assim como, para a estrutura aderente sul.

Com a visita ao local, percebeu-se que aproximadamente 160 metros de estrutura aderente imediatamente a sul do esporão norte, encontrava-se em contacto permanente com a agitação marítima, isto num nível próximo de PMAV no dia 11 Junho de 2011, com aproximadamente +2,9 (ZH). É sabido que esta situação pode originar erosões agravadas junto da fundação da estrutura, provocado pelas consecutivas reflexões aqui verificadas, sendo estas agravadas quando se está perante um paramento tão inclinado quanto o descrito, na ordem do 1:1.

Para resolver esta situação tem-se como proposta mais imediata e económica, sendo que menos duradoura, o aumento de volume de areia nesta zona, ou por outro lado, menos económica e mais duradoura, a construção de uma fundação para o manto da estrutura. Tendo estas duas opções, o ideal será então rebaixar a cota de fundação da estrutura 1 a 1,5 m e aliado a isto, o aumento de volume de areal.

Figura 4.30 – Esquerda: Troço de 160 metros a sul do esporão norte; Direita: estrutura aderente e esporão sul.

A estrutura aderente situada entre o enraizamento dos dois esporões está representada na Figura 4.31 e Figura 4.32, verificando-se alguma desarrumação dos blocos de enrocamento.

Figura 4.31 – Vista geral da estrutura aderente (11/06/11 10:30 horas).

Figura 4.32 – Desarrumação dos blocos do manto resistente (11/06/11 10:30 horas).

Quanto à estrutura aderente sul, representa-se na Figura 4.33, evidenciando três zonas onde será necessário intervir, com a colocação de enrocamento e seu reperfilamento.

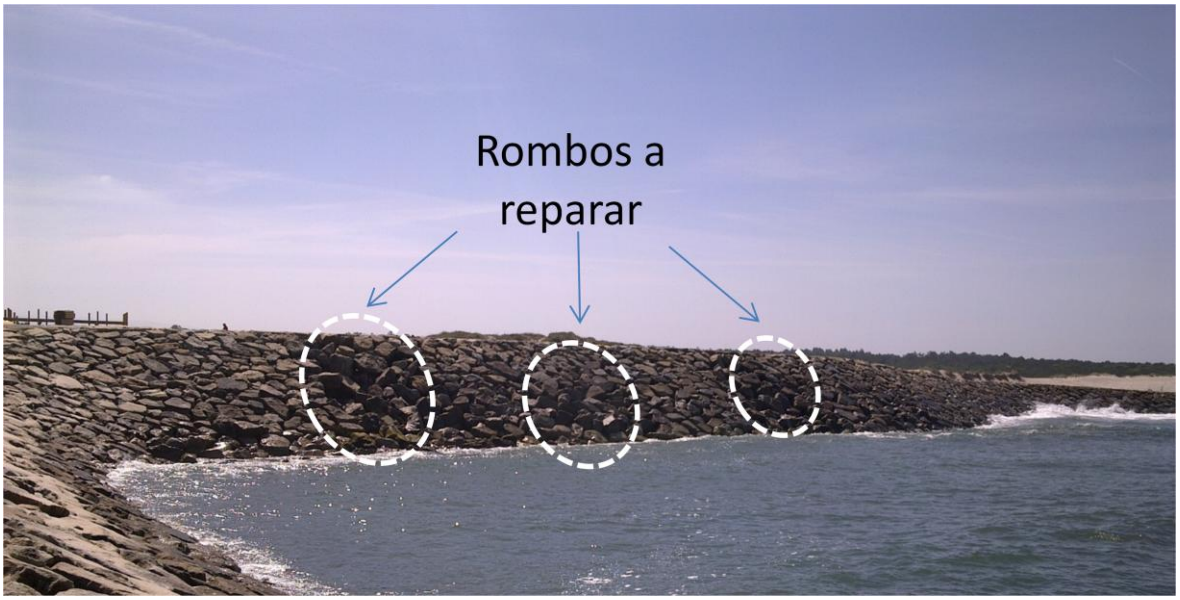


Figura 4.33 – Vista geral da estrutura longitudinal aderente sul (11/06/11 10:45 horas)

Com isto, foi possível executar um quadro de quantidades de trabalho a realizar na intervenção de reabilitação. Os custos apresentados são meramente indicativos, tendo sido retirados de vários locais e servindo apenas, para se ter uma ordem de grandeza.

Quadro 4.3 – Designação de trabalhos

Designação dos trabalhos	Quantidades	Valor dos trabalhos
Montagem e manutenção do estaleiro incluindo a mobilização de todos os equipamentos e encargos com a manutenção das condições de segurança, higiene e saúde, de acordo com o Decreto-Lei 273/2003, de 29 de Outubro.	1 unidade	42.000,00 €
Desmontagem e desmobilização dos equipamentos incluindo limpeza, remoção de todos os materiais e reposição das condições iniciais.	1 unidade	21.000,00 €

Quadro 4.4 – Descrição de trabalhos, quantidades e respectivos custos

Designação dos trabalhos	Descrição	Un.	Quantidades	Preço unitário (€)	Valor dos trabalhos
Estrutura aderente situada entre o enraizamento dos dois esporões					
Fornecimento, transporte e colocação de enrocamentos graníticos de 2 a 4 tf.	Para a zona corrente da estrutura aderente: 110 m × 60% × 6 m × 1,05 m × 1,6 Para a rampa de acesso à praia: 40 m × 4 m × 1.05 m × 1.6	tf	935	7.75	7 246.25 €
Fornecimento, transporte e colocação de enrocamentos graníticos de 4 a 6 tf na fundação da estrutura.	160 m × 50% × 1,15 m × 3 m × 1,6	tf	442	8.80	3 889.60 €
Escavadora giratória de 45 toneladas em trabalho de recuperação e de reperfilamento com aproveitamento de enrocamento existente.	3 semanas × 5 dias × 8 h	h	120	90.00	10 800.00 €
Dumpers tipo VOLVO A30 em transporte de areias.	2 semanas × 5 dias × 8 h	h	80	80.00	6 400.00 €
Estrutura aderente sul					
Fornecimento, transporte e colocação de enrocamentos graníticos de 2 a 4 tf.	Para a camada intermédia: 70 m × 10 m × 1,05 m × 1,6	tf	1176	7.75	9 114.00 €
Fornecimento, transporte e colocação de enrocamentos graníticos de 4 a 6 tf.	Para o manto resistente: 70 m × 10 m × 1,15 m × 1,6	tf	1288	8.80	11 334.40 €
Escavadora giratória de 60 toneladas em trabalho de recuperação e de reperfilamento com aproveitamento de enrocamento existente.	3 semana × 5 dias × 8 h	h	120	100.00	12 000.00 €
Esporão sul					
Fornecimento, transporte e colocação de enrocamentos graníticos de 9 a 12 tf.	15 m × 10 m × 1,2 m × 1,6	tf	288	9.00	2 592.00 €
Escavadora giratória de 45 toneladas em trabalho de reperfilamento com aproveitamento de enrocamento existente.	3 dias × 8 h	h	24	90.00	2 160.00 €

Além dos trabalhos referidos no Quadro 4.3 e Quadro 4.4, poderão surgir pequenos arranjos, com o decorrer da empreitada, como por exemplo, o reperfilamento de áreas não previstas no momento dos levantamentos efectuados.

É necessário ter em conta que o planeamento das tarefas está limitado pelas condições de maré, devendo antecipadamente fazer a gestão dos trabalhos consoante o nível desta, nomeadamente na estrutura aderente sul, onde se verificam cotas no perfil de praia muito reduzidas. No Quadro 4.4, apenas se colocou como equipamento para a realização dos trabalhos da estrutura aderente sul, uma escavadora giratória, pois admite-se que, aquando da realização da empreitada, se poderá fazer essa gestão de trabalhos, colocando a escavadora, ora no coroamento, ora na zona inferior da estrutura. Na impossibilidade desta situação, proceder-se-á à utilização de uma grua.

Os trabalhos propostos seriam realizados no ano de 2012 a partir do mês de Março.

5
CASO DE ESTUDO: TORREIRA

5.1. ENQUADRAMENTO

O último caso de estudo, localiza-se no concelho da Murtosa, distrito de Aveiro, situando-se entre a praia do Torrão de Lameiro a norte e a praia da Colónia de Férias a sul. A praia da Torreira faz parte do cordão litoral que vai desde o Furadouro até São Jacinto, tendo assim de um lado a ria de Aveiro e do outro o mar e a sul o quebramar norte do porto de Aveiro a uma distância de 13.5 km.

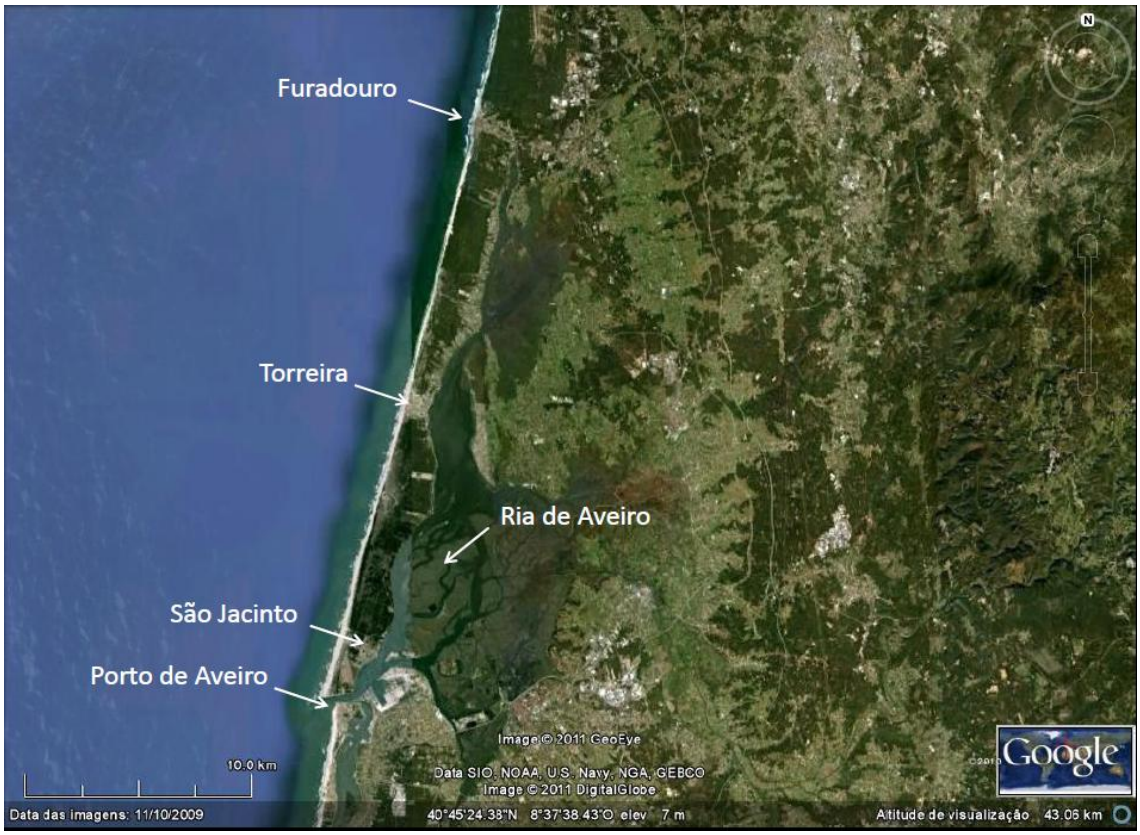


Figura 5.1 – Zona envolvente da Torreira.

Quanto a obras de defesa costeira existentes, apenas há a referir a implantação de um esporão (Figura 5.2)

É de notar na Figura 5.2, que a zona urbanizada está cercada por áreas dunares, estando mesmo implantada sobre área dunar.

A praia beneficia da erosão que ocorre nas praias mais a norte, o que faz desta zona uma praia relativamente estável. Ainda se acrescenta o facto de se situar a norte do quebramar norte do porto de Aveiro, que constitui uma barreira de retenção sedimentar.

Apesar de permanecer estável há alguns anos, já ocorreram tempestades que retiraram vários metros de largura de praia, tendo por isso sido construído um esporão para a defesa da zona urbana.

Figura 5.2 – Praia da Torreira.

Existe um paredão construído nos finais dos anos 80. No entanto não constitui uma obra de defesa costeira propriamente dita, pois está salvaguardado pela extensa praia aqui existente, tendo sido executado como um "remate" urbanístico.

5.2. ESTADO EVOLUTIVO DO CASO DE ESTUDO

Para sul do Furadouro a ocupação da faixa costeira é em termos de segurança do património edificado muito reduzida. Consequentemente, apesar de haver erosão costeira, não existem problemas graves. O único núcleo urbano com importância é o da Torreira (Figura 5.1).

De acordo com Ângelo em 1991, entre 1954 e 1990, verificou-se na Torreira um avanço da linha de costa a um ritmo médio de 0,7m/ano. Esta acreção deve-se, seguramente, à influência da construção, nos anos 50, do molhe Norte da barra de Aveiro, e seu posterior prolongamento nos anos 80 (Dias, 1994).

O molhe norte da barra de Aveiro interrompe a deriva litoral, promovendo a barlamar intensa acumulação de areias que foram exploradas durante vários anos para a indústria de construção.

Entre 1984 e 1990 verificou-se, na zona de influência do molhe norte de Aveiro, um recuo da linha de costa da ordem de 5m/ano, explicáveis pelo déficit existente na relação sedimentos acumulados/sedimentos extraídos (Ângelo, 1991).

Segundo INAG e CEHIDRO (1999), em 1974 foi feita a primeira intervenção na Torreira que consistiu na construção de uma pequena defesa frontal em enrocamento.

Imediatamente a sul da Torreira foi construído, em 1979 pela Direcção Geral de Portos, um esporão que, devido à acumulação de areia que induzia a barlamar, serviu de protecção à marginal da localidade.

A sul, provavelmente devido à erosão induzida pela construção do primeiro esporão, foi construído um segundo esporão, afastado de qualquer povoação ou edificação conhecida (Dias, 1994). No entanto, actualmente não é visível, o que leva a pensar que este esporão ou está soterrado na areia ou foi retirado, não se conseguindo qualquer informação acerca do assunto.

Por fim ainda se refere que em 1999 ocorreu a primeira intervenção por parte do INAG no esporão implantado actualmente na praia da Torreira.

5.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

O POOC Ovar-Marinha-Grande engloba um vasto sector litoral talhado em terrenos da Orla ocidental Mesocenozóica. Porém, predominam os terrenos de idade Quaternária, geralmente areias de praia e de duna (Araújo, 1999).

O trecho de costa, referente à Torreira, apresenta-se com areias médias a grosseiras na sua parte emersa e por areias médias a finas na parte submersa, não se verificando a presença de rocha que permita a construção de estruturas de defesa com fundações directas (SNIRLIT, 2002).

5.4. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ESTRUTURAIS

5.4.1. TOPOGRAFIA E BATIMETRIA

De acordo com o SNIRLIT (2002), a Torreira, apresenta-se com uma costa arenosa aberta e exposta, com praia arenosa extensa, com formas geralmente bem definidas, praticamente sem interrupções. A largura da praia é relativamente elevada, aumentando para sul por efeito de acumulação contra o quebramar norte do porto de Aveiro. A transição da praia para a faixa costeira, na zona imediatamente a sul do esporão, efectua-se por sucessão natural para antedunas e dunas, sem arriba.

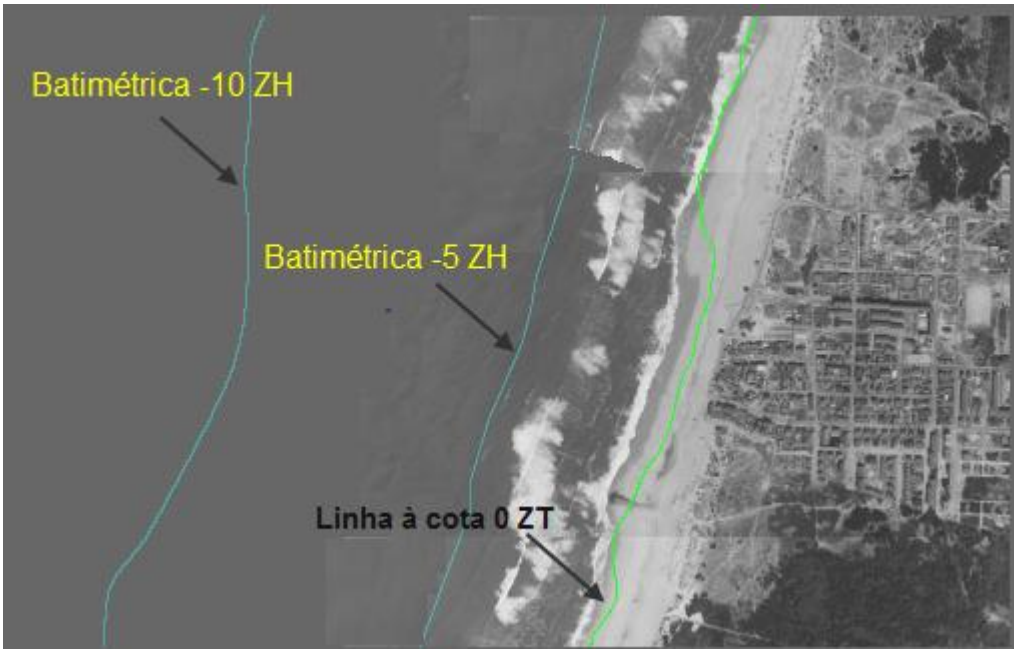


Figura 5.3 - Definição topográfica e batimétrica (adaptado Cartas de Risco do Litoral, 1996).

Dos três casos de estudo, a zona urbanizada da torreira será a que está mais recuada, no entanto também existem ruas com sentido descendente no sentido da costa para o interior da vila. Apesar disto, não existem registos que refiram a chegada de caudais provenientes de galgamentos do mar às zonas urbanas.

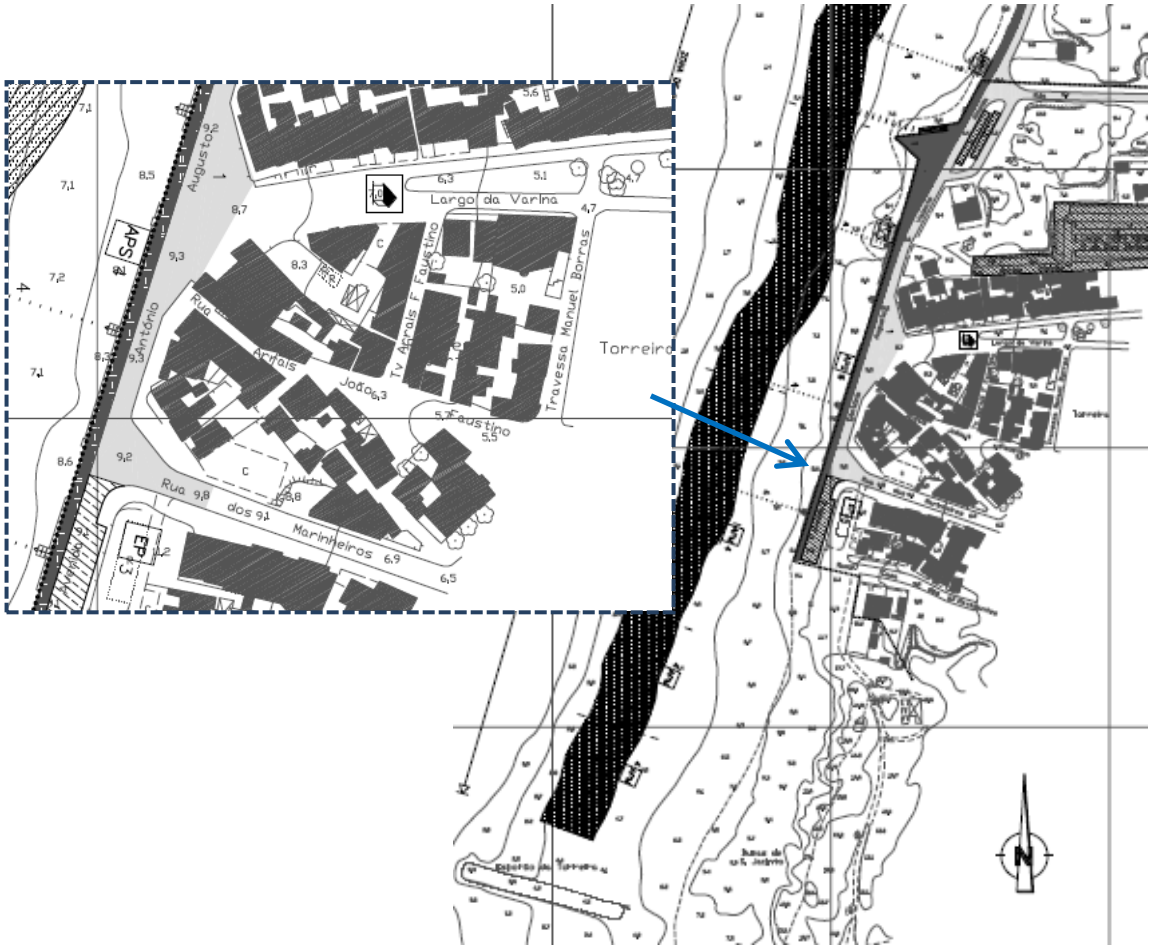


Figura 5.4 – Topografia da zona urbana da Torreira (Plano de Praia da Torreira, 2000).

5.4.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO DE DEFESA COSTEIRA

A solução presente na praia da Torreira consiste num único esporão, com um manto exterior construído em blocos de enrocamento. Terá um perfil transversal semelhante ao indicado na Figura 5.5.

O corte do esporão que está representado na Figura 5.5, é apenas a título informativo, pois não foi possível obter dados estruturais da obra instalada na Torreira.

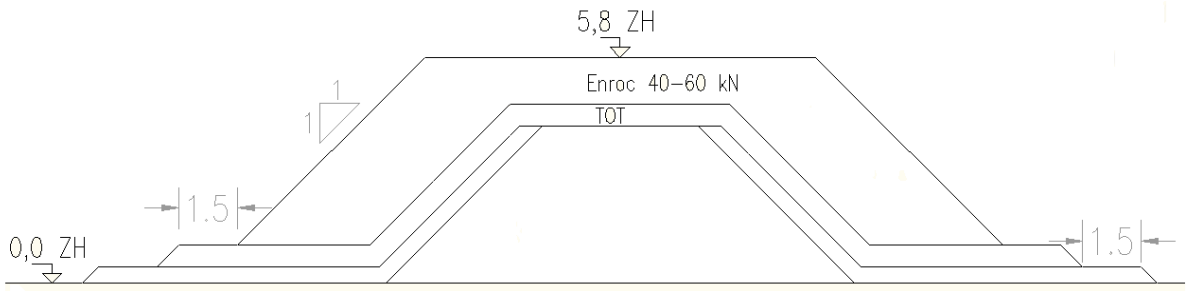


Figura 5.5 – Corte tipo de um esporão.

5.5. ASPECTOS FUNCIONAIS E ESTADO DE CONSERVAÇÃO

5.5.1. FUNCIONAMENTO

O caso de estudo da praia da Torreira, é dos três casos estudados o que se apresenta com melhor estado, tanto de conservação, assim como características de um bom funcionamento, portanto de uma solução que se tem mantido eficaz até à data.

Deste modo, não está planeado, qualquer tipo de nova intervenção, no que toca a estruturas "pesadas".

Antes de abrir a época balnear, foi realizado um reperfilamento do areal, usando os sedimentos junto do paredão marginal acumulados durante o ano, espalhando-os de forma uniforme ao longo da extensão da praia (Figura 5.6).

Figura 5.6 – Reperfilamento da praia (13/05/2011 – 15 horas).

Em relação a esta acumulação de sedimentos junto da marginal, a qual também estava presente nas ruas, pode-se concluir que é como um processo natural para a formação de zona dunares, mas que no entanto não se verifica pois existe uma malha urbana que não o permite. Ou seja, verifica-se a "vontade" da própria natureza querer reconstruir o já teve (campos dunares), na zona actualmente urbana.

5.5.2. ESTADO DE CONSERVAÇÃO

O esporão presente na praia da Torreira, aquando da sua construção, apenas foi intervencionado por uma única vez, em 1999. No Plano de Acção para o Litoral 2007-2013, está prevista a sua reabilitação no presente ano de 2011.

Quadro 5.1 – Trecho de tabela de resumo das Prioridades de Intervenção (Plano de Acção do Litoral, 2007)

Prioridade	Tipo de intervenção	Entidade responsável	Ponto de Situação	Investimento (€)		
				OE (Adm. Central + Autarquia	Fundos Comunitários (FEDER+FC)	Valor Global
Esporão norte da Torreira - Murtosa	Obra de defesa activa	INAG	Obra a lançar em 2011	60.000,00	140.000,00	200.000,00

Até à data, não aparenta sinais de degradação significativos, merecedores de destaque.

Figura 5.7 – Praia da Torreira (adaptado Piqueiro, 2006).

Apesar de não existirem sinais de degradação maiores, far-se-á referência a três situações a caracterizar:

- Caso 1 – Paredão marginal;
- Caso 2 – Esporão;
- Caso 3 – Sistema dunar.

Figura 5.8 – Paredão marginal parcialmente coberto de areia – Caso 1 (26/02/2011 – 4:30 horas).

Figura 5.9 – Paredão marginal – Caso 1 (13/05/2011 – 15 horas).

O esporão apresenta boas condições, não tendo aparentemente qualquer sinal de degradação, como é possível observar pela Figura 5.10 e Figura 5.11.

Figura 5.10 – Zona da cabeça do esporão da Torreira – Caso 2 (26/02/2011 – 4:30 horas).

Apenas se verifica uma pequena desarrumação na localização de alguns blocos de enrocamento na zona da cabeça. Porém, não é nada de preocupante para a estabilidade global da estrutura.

Figura 5.11 – Corpo e cabeça do esporão da Torreira – Caso 2 (13/05/2011 – 15 horas)

Figura 5.12 – Sistema dunar – Caso 3 (13/05/2011 – 15 horas)

Quanto aos ecossistemas existentes, está presente a preocupação da preservação destes, como é possível identificar pela Figura 5.12, com a construção de passadiços sobre a zona dunar.

5.6. PROPOSTA DE REABILITAÇÃO

Tal como se tem vindo a referir ao longo do desenvolvimento do presente trabalho, este não é um caso prioritário para a reabilitação da estrutura transversal existente. No entanto, aquando do Ponto de Situação de Agosto de 2009 do Plano de Acção do Litoral 2007-2013, ficou referido que a reabilitação do esporão da praia da Torreira seria uma prioridade de intervenção. Porém não se considera necessário tal intervenção, pelo que não será apresentada qualquer proposta de reabilitação.

6

PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES A APLICAR NO CASO DE ESTUDO DO FURADOURO

6.1. ENQUADRAMENTO

No presente capítulo enumeram-se as soluções a estudar para a reabilitação da praia do Furadouro, fazendo uso de quebramares destacados e o prolongamento das cabeças dos esporões já presentes no local. As soluções adoptadas em alternativa passam por:

1. Construir um quebramar destacado na praia norte e outro na praia sul
2. Construir dois quebramares destacados por praia
3. Prolongamento da cabeça dos esporões com direcção aproximada sudoeste

Começasse por apresentar algumas das metodologias intervenientes no dimensionamento hidráulico e estrutural. Após um pré-dimensionamento das estruturas, as soluções serão avaliadas por meio da aplicação de um software que será objecto de discussão no capítulo seguinte. A solução 3, apenas será discutida com a aplicação do software, não sendo neste presente capítulo abordada.

Tendo em consideração que o principal objectivo é efectuar um pré-dimensionamento, para que se possa introduzir alguns dados fundamentados no software, a abordagem apresentada carece de posterior aprofundamento.

6.2. CONDIÇÕES DE IMPLANTAÇÃO

Entende-se por condições de implantação, a definição da distância das estruturas à costa, definição de cotas geométricas, comprimentos dos quebramares, assim como o espaçamento entre quebramares destacados.

Assim, foram considerados alguns métodos empíricos, para o estudo das implicações morfológicas, sabendo à partida que são de certa forma limitados, devido à sua simplicidade. No entanto podem ser utilizados para uma primeira análise.

De entre vários modelos empíricos existentes, foram seleccionados alguns, como se pode consultar no Quadro 6.1. Foi ainda necessário conhecer antecipadamente um parâmetro importante, a ter em conta, sempre que se dimensione quebramares destacados, o coeficiente de transmissão K_t.

Como já foi referido, um dos objectivos de um quebramar destacado é a diminuição da agitação a sotamar, ou seja na zona entre a estrutura e a linha de costa. Por isso, é importante atender a esses aspectos no projecto, considerando que alguma agitação será sempre transmitida, seja devido à permeabilidade, ou aos galgamentos, ou aos dois fenómenos simultaneamente. Têm sido efectuados vários estudos no sentido de determinar a agitação que alcança a linha de costa após ultrapassar este

obstáculo, representado pelo coeficiente de transmissão K_t, que é de grande importância nos estudos relativos à resposta da linha de costa.

Briganti *et al.*, (2003) faz uma análise completa dos dados recolhidos e conclui que existem duas fórmulas que devem ser aplicadas. Uma para estruturas com coroamento estreito e outra para estruturas com coroamento largo e submersas. As equações que sugere, (equações 6.1 e 6.2), são fórmulas originalmente apresentadas por d'Agremond *et al*., (1996) com pequenas adaptações.

$$K_t = -0.4\,\frac{R_c}{H_i} + 0.64\left(\frac{b}{H_i}\right)^{-0.31}\left(1 - e^{-0.5\xi}\right),\ \frac{b}{H_i} < 10 \tag{6.1}$$

$$K_t = -0.35\,\frac{R_c}{H_i} + 0.51\left(\frac{b}{H_i}\right)^{-0.65}\left(1 - e^{-0.41\xi}\right),\ \frac{b}{H_i} > 10 \tag{6.2}$$

Estas equações relacionam parâmetros como a submergência relativa, R_c, a altura de onda incidente, H_i, a largura do coroamento, b, e o parâmetro de Battjes. Uma vez que o último está dependente da declividade, é de fácil compreensão que todos estes parâmetros indicados influenciam na realidade a transmissão através da estrutura.

No entanto, existe um limite para a aplicação das equações 6.1 e 6.2. Para a primeira, o limite de utilização é 0,07<Kt<0,80, e para a segunda, o coeficiente de transmissão deverá ser maior que 0,05 e menor que o valor dado pela equação 6.3.

$$K_t = -0.006\,\frac{b}{H_i} + 0.93 \tag{6.3}$$

Tendo-se avaliado o coeficiente de transmissão, está-se em condições de aplicar qualquer um dos modelos empíricos que se seguem (Quadro 6.1).

Quadro 6.1 – Condições para a formação de tômbolos e saliências.

Método	Condições	Resposta da linha de costa
Harris e Herbich (1986) e Daily e Pope (1986)	$1.0 \leq \frac{Ls}{X} < 1.5$	Tômbolo
	$0.5 \leq \frac{Ls}{X} < 1.0$	Saliência
	$\frac{L_g X}{L_s^2} > 0.5$	Saliência para múltiplos quebramares
Suh e Dalrymple (1987)	$1.0 < \frac{L_s}{X}$	Tômbolo
	$\frac{L_g X}{L_s^2} \approx 0.5$	Tômbolo para múltiplos quebramares
Pilarcyc (2003)	$1.0 < \frac{L_s (1 - K_t)}{X} < 1.5$	Tômbolo
	$\frac{L_s}{X} > \frac{1}{1 - K_t}$	Saliência
	$\frac{L_g X}{L_s^2} > 0.5 (1 - K_t)$	Saliência para múltiplos quebramares

Os modelos empíricos são muitas vezes propostos com base em estudos de várias estruturas existentes numa costa com determinadas características. Sendo assim, estes métodos, por vezes são mais adequados para determinado clima de agitação.

Fazendo uma síntese das estruturas destacadas existentes na costa portuguesa, observa-se no Quadro 6.2, as suas localizações e características como comprimento da estrutura (Ls), distância média à costa (X) e as respectivas relações.

Quadro 6.2 – Relações das obras destacadas presentes na costa portuguesa

Localização da obra destacada	Ls (m)	X (m)	Ls/X
Castelo de Neiva	235	180	1.31
Praia das Caxinas	185	95	1.95
Aguda	325	200	1.63

Todas as estruturas presentes na costa portuguesa geraram um tômbolo de sedimentos a sotamar da estrutura.

A solução destacada de Castelo de Neiva está fundada em rocha, tem numa das suas principais funções o abrigo das embarcações e a defesa costeira. O quebramar destacado é composto por um corpo principal em betão, talude de barlamar em blocos de enrocamento e com talude de sotamar vertical.

A estrutura da praia das Caxinas, esta tem como principal função a protecção da marginal. É constituído por blocos de enrocamento no manto resistente. Encontra-se protegida pelo porto da Póvoa de Varzim imediatamente a norte.

O quebramar da Aguda, está também fundado em rocha, e tem funções de protecção costeira e de abrigo para as embarcações. É constituído no seu núcleo por blocos de betão ciclópico, tendo enrocamento nos seus taludes.

6.3. CONSIDERAÇÕES ESTRUTURAIS

As estruturas marítimas estão sujeitas a várias acções às quais deverão estar preparadas para resistir, nomeadamente à agitação, correntes e marés. Existem algumas fórmulas empíricas para a escolha do peso dos blocos a usar na estrutura, entre as quais a fórmula de Hudson (1974), van der Meer (1988), Powell e Allsop (1985) e Vidal *et al*., (2000) que podem ser aplicadas abordando o dimensionamento segundo diferentes perspectivas. A primeira, sendo a mais simples, introduz poucas variáveis no cálculo, estando muito dependente das decisões do projectista; a segunda considera vários parâmetros representativos da agitação irregular; a terceira dá especial atenção aos níveis de estragos e por fim a última apresenta uma metodologia própria para quebramares destacados que diferencia a secção da estrutura. No entanto, apenas se focará nos dois primeiros métodos.

O pré-dimensionamento, necessita em várias fases, do bom senso do projectista, já que os métodos existentes possuem de um modo geral muitas simplificações, devendo a solução final ser sujeita a ensaios em modelo reduzido.

O principal parâmetro a determinar para que se possa aplicar os métodos, é a altura de projecto ($H_{proj.}$). Assim sendo, em função da profundidade a implementar nas estruturas destacadas, pode-se avaliar a altura máxima de onda (equação 6.4).

$$H_{máx} = 0.78\, d \tag{6.4}$$

Em grandes profundidades, este valor máximo não é alcançado, daí que diversos autores apresentem sugestões para aquela que deve ser a altura de onda de projecto. Actualmente são bastante utilizadas a altura de onda significativa, H_S e a altura de onda média do décimo superior, $H_{1/10}$, já que a onda máxima é demasiado elevada. Estas duas alturas de onda são referidas no CEM (2006) como sugestão do Shore Protection Manual (1977 e 1984) relativamente a estruturas flexíveis ou deformáveis (H_S) e estruturas rígidas ou flexíveis de difícil reparação ($H_{1/10}$).

Estudos estatísticos acerca da agitação irregular têm mostrado que as alturas de onda significativa e média do décimo superior estão relacionadas entre si. Assim, a altura de onda máxima limitada pela profundidade pode ser expressa pela equação (6.5).

$$H_{máx} = 1.76\, H_s \tag{6.5}$$

Quanto à altura de onda média do décimo superior, pode ser determinada pela equação (6.6).

$$H_{1/10} = 1.27\, H_s \tag{6.6}$$

Por fim, ainda se refere que nas metodologias apresentadas, apenas constam os blocos de enrocamento, pois foi o único tipo de bloco considerado para as soluções a apresentar.

6.3.1. FÓRMULA DE HUDSON (WES)

Uma das fórmulas mais utilizadas no cálculo do peso dos blocos para estruturas de defesa, como esporões e quebramares, é a fórmula de Hudson (1974), resultado de estudos desenvolvidos no *Waterways Experiment Station* (WES).

Considera a altura de onda, H, o ângulo do talude, α, o peso volúmico do material e da água do mar, Υ e Υ_w respectivamente, e um coeficiente K_D representativo da estabilidade dos blocos, este dependente do tipo, localização e forma dos blocos, da rugosidade, colocação, angulosidade, permeabilidade, encaixe, número de camadas do manto resistente e ainda é função do grau de destruição (equação 6.7).

$$W = \frac{H^3 \Upsilon}{K_D \left(\frac{\Upsilon - \Upsilon_W}{\Upsilon_W}\right)^3 cot\alpha} \tag{6.7}$$

Pelo facto, de um único coeficiente, representar várias variáveis de carácter estrutural e hidrodinâmico, resulta em alguma incoerência no seu uso, pois a sua definição nem sempre é objectiva. Assim, a escolha deste coeficiente deve ser efectuado com precaução, podendo consultar-se na publicação Coastal Engineering Manual, 2006, tabelas do SPM de 1984 (Quadro 6.3)

Quadro 6.3 – Coeficientes K_D da fórmula de Hudson para enrocamento (SPM, 1984)

Tipo de blocos	Nº camadas	Secção Corrente		Cabeça		Talude (cot α)
		Dentro da zona de rebentação	Fora da zona de rebentação	Dentro da zona de rebentação	Fora da zona de rebentação	
Liso e arredondado	2	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5 -3
Liso e arredondado	> 3	2.8	3.2	2.1	2.3	1.5 -3
Áspero e irregular	1	_	2.9	_	2.3	1.5 -3

Uma alternativa aos valores do coeficiente de estabilidade é dada pelo LNEC, sendo que esta abordagem é relativamente diferente, pois no SPM são distinguidas as secções, corrente e da cabeça, enquanto com o LNEC, os valores são dependentes da percentagem de quedas.

Quadro 6.4 - Coeficientes K_D da fórmula de Hudson para enrocamento (LNEC)

LNEC		Média dos valores observados nos ensaios	Valores estimados com base nos resultados dos ensaios		
			Probabilidade de não excedência		
Talude	Quedas (%)		0.01	0.05	0.1
3:2	0.0	9.8	0.07	0.2	0.4
	0.5	15.2	0.08	0.3	0.5
	1.0	17.5	4.1	5.7	6.9
	2.0	21.1	5.7	7.7	9.1
	2.5	22.8	6.4	8.6	10
	5.0	29.0	9	11.6	13.2

Fazendo uma análise crítica à fórmula de Hudson, destaca-se a forma simplista na quantificação da altura de onda de projecto (H), a consideração da indestrutibilidade dos blocos e a não consideração de alguns factores estruturais e hidrodinâmicos no coeficiente de estabilidade (K_D).

6.3.2. Fórmula de van Der Meer

Este método, além de considerar a irregularidade da agitação marítima, permite também considerar a permeabilidade da estrutura e o tipo de rebentação. O tipo de rebentação é caracterizado através do número de Iribarren (equação 6.8), comparando com o seu valor crítico, o qual depende da porosidade da estrutura (equação 6.9). Além da porosidade surgem nas expressões o ângulo do talude θ e a declividade da onda ao largo (equação 6.10).

$$\xi_m = \frac{tan\theta}{\sqrt{S_{op}}} \tag{6.8}$$

$$\xi_{mc} = (6.2P^{0.31}(tan\theta)^{0.5})^{\frac{1}{P+0.5}} \tag{6.9}$$

$$S_{op} = {H_{proj}}/{L_{op}} \tag{6.10}$$

Assim, é possível determinar o tipo de rebentação e proceder para o dimensionamento da dimensão característica dos blocos.

- Rebentação Mergulhante: $\xi_m < \xi_{mc}$;
- Rebentação Oscilante: $\xi_m > \xi_{mc}$.

No entanto, ainda se acrescenta, que para a definição do número de Iribarren crítico apenas será necessário acrescentar que na equação 6.9, (P) representa a porosidade, variável entre 0.1 e 0.6, de acordo com as diferentes combinações entre o manto resistente e os filtros (Figura 6.1).

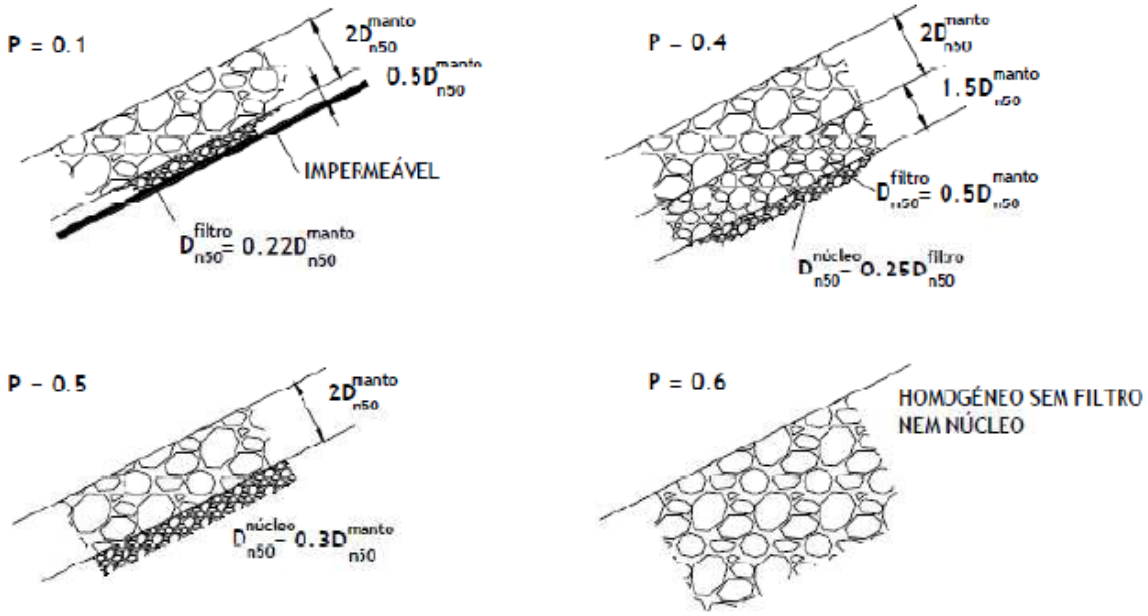


Figura 6.1 – Factor de porosidade, para vários tipos de situações, Van der Meer, 1988 (US Army Corps of Engineers, 2006, citado e adaptado por Taveira Pinto, 2010b)

Com as equações 6.11 e 6.12 (rebentação oscilante e mergulhante, respectivamente) pode-se calcular o diâmetro nominal dos blocos (D_{n50}), precisando apenas do nível de estragos (S), caracterizado pelo número de blocos deslocados ou removidos da sua posição original (Quadro 6.5). Ainda se refere que o número de ondas (N_Z) da tempestade está limitado a 7500 e a densidade relativa de blocos $\Delta = (\Upsilon - \Upsilon w) / \Upsilon w$.

$$\frac{H_S}{\Delta D_{n50}} = 1.0\, P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N_z}}\right)^{0.2} \sqrt{\cot g\, \theta}\, \xi_m^p \tag{6.11}$$

$$\frac{H_S}{\Delta D_{n50}} = 6.2\, P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N_z}}\right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} \tag{6.12}$$

As equações 6.11 e 6.12, são aplicáveis para quebramares não galgáveis. No presente trabalho admitiu-se que as estruturas a dimensionar seriam deste tipo, apesar de se saber que não o acontecerá.

Quadro 6.5 – Valores do parâmetro, S, recomendáveis para mantos resistentes constituídos por duas camadas de enrocamento, van der Meer (Taveira Pinto, 2010b).

Inclinação do talude	Estragos iniciais	Estragos intermédios	Ruína
1/1.5	2	3 -5	8
1/2	2	4 - 6	8
1/3	2	6 - 9	12
1/4 - 1/6	2	8 -12	17

6.4. PERFIL TRANSVERSAL TIPO

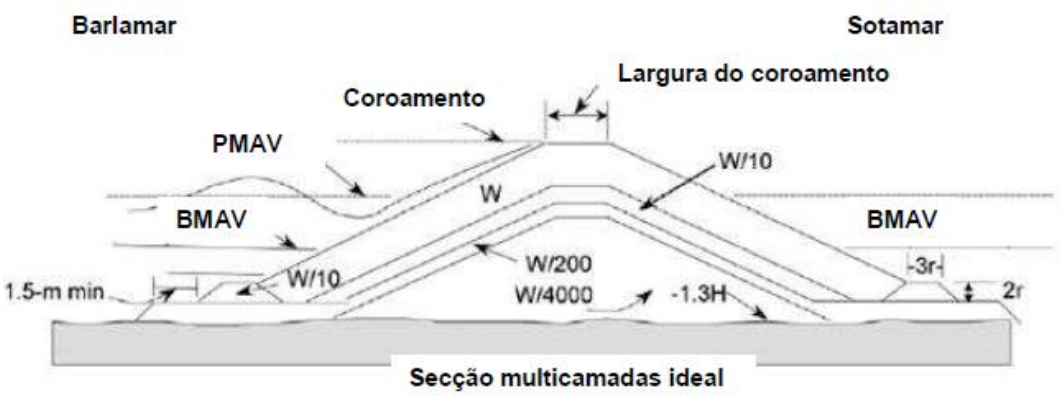
6.4.1. CAMADAS DA SECÇÃO TRANSVERSAL

Os pesos dos blocos pertencentes às sub-camadas podem ser determinados com base nas indicações do CEM (2006), pois estes estão relacionados com o peso dos blocos do manto resistentes W. A Figura 6.2, retirada do CEM explicita os pesos das subcamadas e da risberma. Apesar disso é necessário dar atenção especial à risberma, a qual é muito solicitada, podendo a sua rotura conduzir à ruína de toda a estrutura.

Para definir a geometria da secção transversal determina-se a espessura das várias camadas. Essa espessura é dada pela equação 6.13, onde se determina a espessura de cada fiada:

$$e\Delta = k\Delta \times \sqrt[3]{\frac{W}{\gamma}} \tag{6.13}$$

A espessura da camada depende do número de fiadas consideradas e do peso dos blocos. É introduzido um coeficiente de $K_{\Delta,}$ que traduz a organização dos blocos depois de colocados no talude da estrutura. O núcleo é usualmente composto por material de todo o tamanho (TOT).



Dimensão	Camada	Graduação	Legenda
W	Manto resistente	75 a 125 %	H = altura de onda
W/10	Risberma e 1° Subcamada	70 a 130 %	W= peso unitário do bloco
W/200	2° Subcamada	50 a 150 %	r=espessura média das camadas
W/4000	Núcleo e fundação	30 a 170 %	

Figura 6.2 – Secção transversal de um quebramar de taludes, com condições moderadas de galgamento (US Army Corps of Engineers, 2006 citado por Duarte, 2009).

6.4.2. FUNDAÇÃO

A correcta execução da fundação é essencial para a estabilidade da estrutura, protegendo-a de possíveis fenómenos erosivos, evitando que ocorra infra-escavação.

No sentido de garantir segurança, tem sido dada atenção à definição da fundação. Esta pode ser materializada por colocação de geossintéticos servindo para efectivar a separação dos fundos da estrutura, e também como filtro e dreno. Quando utilizado em fundos móveis garante o não arrastamento dos finos junto do pé do talude, melhorando a estabilidade da estrutura. A utilização de geossintéticos impede também que os materiais do fundo e o material do núcleo se misturem o que pode ser indesejável se um for granular e o outro fino, pois haveria alterações na resistência dos materiais e poderiam ocorrer fenómenos de liquefacção, levando ao deslize do talude (Pereira, 2008).

Têm sido procuradas outras soluções que apresentem vantagens face à segurança da fundação. No fundo todas elas procuram que haja estabilidade da estrutura e que sejam diminutas as erosões na base da estrutura. Uma das possíveis soluções é a aplicação de uma malha em polipropileno com cubos de betão que pode ser usada em médias e grandes profundidades. Uma vez que os blocos de betão são pré-fabricados, estas grelhas são de fácil execução. O seu funcionamento passa por dar maior resistência ao solo de fundação e impedir que o enrocamento TOT se dissipe no fundo arenoso.

Uma outra solução, mais usada, é a aplicação de camadas de enrocamento de modo a proteger a base e as risbermas, principalmente nos locais mais expostos à agitação. Quando correctamente utilizada, esta solução permite minimizar a erosão na fundação (Duarte, 2009).

6.5. PRÉ-DIMENSIONAMENTO

No presente subcapítulo apresentar-se-á as considerações efectuadas para uma solução de quebramares simples e múltiplos, não apresentando resultados caso se variasse alguns parâmetros, tais como a cota de coroamento, comprimentos das estruturas, orientação, entre outros.

Apenas se focará numa solução, pois não é objectivo do presente projecto o estudo de várias soluções de quebramares destacados. No entanto, é reconhecido que deveriam ser estudadas mais alternativas. Porém neste capítulo 6 pretende-se chegar a alguns valores representativos de uma possível solução a implantar no local.

A solução a chegar será encarada como uma situação de referência a introduzir no programa SMC, a qual poderá ser alterada em função dos resultados obtidos e comparada a esta mesma.

6.5.1. ELEMENTOS DE BASE

Os blocos utilizados neste projecto são de enrocamento granítico de peso volúmico 26,50 kN/m^3. Foi considerado que o peso volúmico da água do mar é de 10,25 kN/m^3.

Foram seleccionados alguns valores de coeficiente de estabilidade (K_D) para uma melhor observação dos vários pesos finais. De acordo com LNEC foi seleccionado um valor de K_D tendo em conta uma percentagem de quedas de 2,5%, com 0,01 de probabilidade de não excedência, obtendo assim um K_D=6,4.

Seguindo as indicações do SPM, para uma estrutura localizada na zona de rebentação, com blocos pouco rugosos no manto resistente de duas camadas utilizou-se na secção corrente um K_D de 2,1 e na cabeça 1,7.

Quanto ao coeficiente de forma, Cur/Cia, sem data, avaliaram vários coeficientes de forma para as distintas situações, das quais se elegem o coeficiente de forma de 1,1 (blocos rochosos e irregulares com colocação especial).

6.5.2. CONDIÇÕES DE IMPLANTAÇÃO

As estruturas estarão fundadas à cota média de -3 m (ZH), tendo uma altura de onda de projecto de 3,95m. A cota de coroamento das estruturas estará a +4.0 m (ZH), sendo a largura de coroamento aproximadamente de 8.5 m ($5D_{n50}$).

O procedimento para se executar o pré-dimensionamento no que se refere a comprimentos de estrutura e distância à linha de costa, foi iniciado tendo em consideração que a implantação dos quebramares não deveria estar a cotas inferiores a -3 m (ZH), pois criaríam vários problemas na estabilização da própria estrutura. Assim sendo como já se referiu, optou-se por uma profundidade de -3.0 m (ZH), distanciando-se em média esta batimétrica de 160 m da linha de costa.

Para a solução em quebramares simples (1 quebramar por praia), tomou-se uma extensão máxima (L_s) de 230 a 240 m por quebramar. Já para a solução de quebramares múltiplos tomou-se como extensão máxima (L_s) de150 m e de abertura entre segmentos (L_g) 65 m. Tendo isto, com o Quadro 6.1, determinou-se a resposta que a praia teria com os métodos empíricos escolhidos (Quadro 6.7).

Conclui-se que a resposta segundo os métodos empíricos, é a formação de um tômbolo de sedimentos, quer seja uma solução em quebramares simples ou múltiplos. Ainda se refere que para o cálculo do coeficiente de transmissão, usou-se a equação 6.1, auferindo um valor final que consta no Quadro 6.6.

Quadro 6.6 – Coeficiente de transmissão para cota de coroamento de +4.0 (ZH).

Critério	Parâmetros de cálculo		Coeficiente de transmissão
Briganti *et al*	Rc/Hi	0	0.084
	B/Hi	2.15	
	ξ	3.5	

Quadro 6.7 – Resposta da solução escolhida.

Método	Resposta da linha de costa	Resposta da solução escolhida
Harris e Herbich (1986) e Daily e Pope (1986)	Tômbolo	X
	Saliência	-
	Saliência para múltiplos quebramares	-
Suh e Dalrymple (1987)	Tômbolo	-
	Tômbolo para múltiplos quebramares	X
Pilarcyc (2003)	Tômbolo	X
	Saliência	-
	Saliência para múltiplos quebramares	-

Fazendo uso da síntese apresentada no Quadro 6.2, consta-se que o valor resultante da relação Ls/X da solução escolhida conduz a um resultado próximo de 1.5, estando este dentro dos intervalos resultantes das obras deste tipo na costa portuguesa.

6.5.3. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Fazendo uso da metodologia de *Hudson*, tem-se no Quadro 6.8, os vários pesos unitários, assim como, o diâmetro nominal para os vários coeficientes de estabilidade.

Quadro 6.8 – Peso unitário (W), e diâmetro nominal dos blocos D_{n50}.

K_D	Hproj (m)	Ɣ (KN/m3)	Ɣw (KN/m3)	cotg θ	W (KN)	D_{n50} (m)
K_D (SPM) = 2.1	3.95	26.5	10.25	2	97	1.54
K_D (SPM) = 1.7					120	1.65
K_D (LNEC) = 6.4					32	1.06

Como se constata, existe uma grande disparidade de valores quando se analisa a zona corrente (K_D=2.1 e K_D=6.4), já para a zona da cabeça do quebramar tem-se um peso unitário de 120 KN, não tendo termo de comparação.

Quanto à aplicação da formulação de van der Meer, é necessário definir alguns parâmetros antecipadamente para a sua quantificação (Quadro 6.9).

Após a determinação dos parâmetros do Quadro 6.9, verificou-se que o tipo de rebentação era mergulhante (ξ_m<ξ_{mc}), com $\xi_m = 3.589$ e $\xi_{mc} = 3.768$, prosseguindo para o cálculo do peso dos blocos (equação 6.12).

Quadro 6.9 – Parâmetros para a avaliação do peso unitário dos blocos do manto resistente

Parâmetro	Fonte	Valor
Porosidade (P)	Figura 6.1	0.4
tan θ	-	0.5
Duração da tempestade (h)	Estofa da PMAV	3
Nº de ondas (NZ)	-	
Nível de estragos	Quadro 6.5	2
Δ	-	1.59
Período de pico (s)	-	11.4
Lop (m)	-	202.9
Hproj	-	3.95
Sop	Equação 6.10	0.02

Quadro 6.10 – Peso unitário (W), e diâmetro nominal dos blocos (D_{n50})

Hproj (m)	KΔ	ϒ (KN/m3)	ϒw (KN/m3)	cotg θ	Dn50 (m)	W (KN)
3.95	1.1	26.5	10.25	2	1.55	98

Comparando os dois métodos de dimensionamento percebe-se que apresentam valores semelhantes para a zona corrente do manto.

A zona da cabeça de um quebramar destacado, é uma parte da estrutura a reforçar, pois está sujeita à acção directa das ondas, rebentação, difracção, galgamentos e ao facto de ter, no lado posterior uma inclinação negativa, podendo ocorrer a sucção dos blocos. Por isto, é de ter em conta uma majoração dos pesos para esta zona. Assim toma-se como 50% a percentagem a aumentar na zona da cabeça e 25% na zona corrente.

Admite-se como peso unitário dos blocos (W), para a solução final o valor de 98 KN (van der Meer), majorando esta quantidade como já referido (Quadro 6.11).

Quadro 6.11 – Peso e diâmetro nominal finais, a adoptar para a solução final

Zona	W (KN)	Dn50 (m)
Corrente	123	1.67
Cabeça	147	1.77

Por fim, para a definição da geometria da secção transversal falta determinar a espessuras das camadas, o número de fiadas, a gradação e o perfil adoptado. Ter-se-á em conta para a definição do perfil transversal o esquema da Figura 6.2.

Quadro 6.12 – Espessura da camada do manto resistente e da sub-camada

	Camada principal	Camada secundária
eΔ (corrente) [m]	1.83	0.85
eΔ (cabeça) [m]	1.95	0.90

Serão consideradas duas fiadas para cada camada.

Quadro 6.13 – Gradação dos pesos a colocar na camada do manto resistente e da subcamada

	W (KN)	W/10 (KN)
Gradação da zona corrente	92 - 154	9 - 16
Gradação da zona da cabeça	110 - 184	10 - 19

Os desenhos referentes à soluções aqui determinadas, encontram-se no Anexo C.

7

MODELAÇÃO NUMÉRICA DE SISTEMAS DE QUEBRAMARES DESTACADOS

7.1. ENQUADRAMENTO

No actual capítulo, descrever-se-ão as potencialidades e limitações do software usado na modelação numérica de um sistema de quebramares destacados para a praia do Furadouro.

O software usado, SMC (*Sistema Modelado Costero*), faz parte de um projecto intitulado de Modelo de Ayuda a la Gestión del Litoral, desenvolvido pelo grupo de engenharia oceonográfica e costeira da Universidade de Cantábria, para a Direcção de Costas do Ministério do Ambiente Espanhol.

Este software proporciona uma ferramenta numérica que no âmbito da engenharia costeira permite realizar vários tipos de estudos e projectos, entre eles (Santos da Costa, 2009):

- Criar um projecto de trabalho de uma zona de estudo, a partir de fotos, cartas náuticas e dados de batimétricos;
- Aceder ao Baco, programa que contempla uma base de dados de cartas náuticas do litoral espanhol assim como a sua batimetria, sendo a partir daí possível gerar um projecto de estudo que pode ser completado e combinado com outros dados batimétricos, permitindo depois modelar diferentes situações para o trecho de costa em estudo;
- Gerar projectos com base em fotos, cartas náuticas, permitindo depois prever a forma em planta da costa a longo prazo, comparando situações passadas, presentes e futuras;
- Criar projectos através de dados batimétricos de épocas diferentes, de forma a avaliar situações passadas e presentes, assim como prever situações futuras, função de vários cenários possíveis;
- Obter a batimetria da uma linha de costa a partir de uma carta náutica ou mapa referenciado;
- Aceder a um programa com uma base de dados da agitação do litoral espanhol, permitindo depois gerar os dados necessários à execução dos modelos numéricos do sistema;
- Aceder a informação sobre cotas de inundação em qualquer região do litoral espanhol;
- Executar diferentes modelos numéricos que permitam analisar a curto, médio e longo prazo uma zona em estudo.

Algumas das funções do programa, não são aplicáveis ao caso do Furadouro, e mesmo a nenhum caso da costa portuguesa, pois está vocacionado para uso na costa espanhola, como é exemplo, o modelo de Baco, Atlas e Odín, onde constam uma base de dados previamente inserida, dizendo respeito apenas à costa espanhola.

7.2. CONSIDERAÇÕES DO SOFTWARE SMC

7.2.1. ESTRUTURA GERAL DO SMC

O software é constituído por vários modelos numéricos, com funções distintas mas que se complementam. De forma simples, distingue-se três divisões: pré-processo, análise a longo termo e análise a curto termo (Figura 7.1). No pré-processo, tem-se três modelos, os quais permitem obter dados batimétricos (Baco), dados relativos a extremos de maré e de inundação (Atlas) e características de onda (Odín). Como já referido anteriormente, estes modelos (Baco, Atlas e Odín), não são aplicáveis à costa portuguesa.

Todas as aplicações do Sistema de Modelagem Costeira estão integrados no SMC, mas este também pode ser executado de forma autónoma. Neste sentido, o SMC pode ser visto como uma aplicação independente com um propósito específico, um exemplo é a análise a longo termo, em que permite a modelação do terreno assim como a análise de equilíbrio de praias.

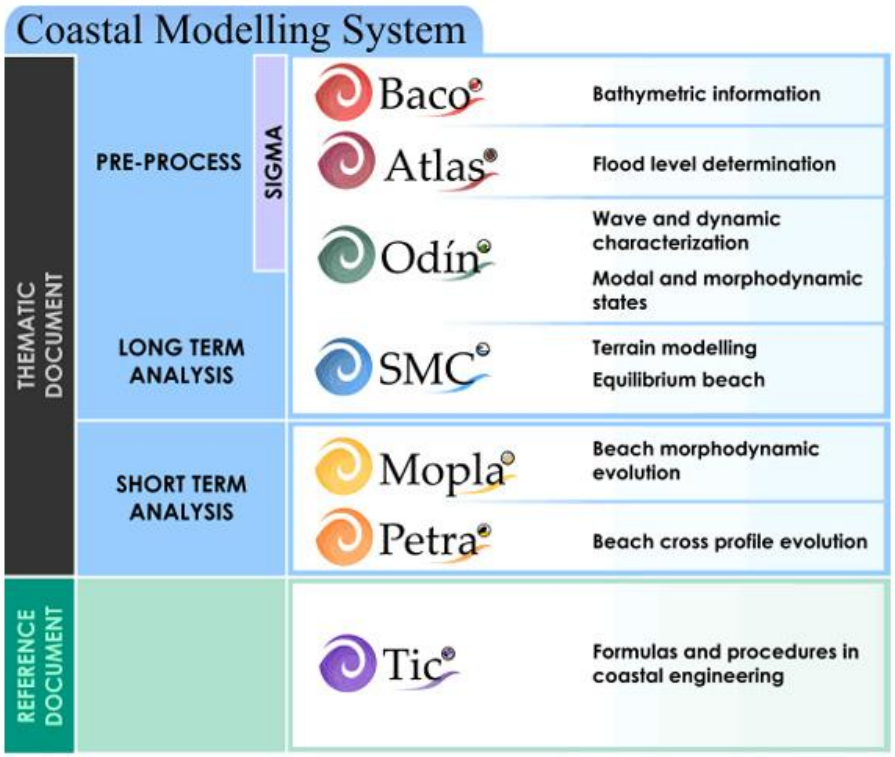


Figura 7.1 – Estrutura do SMC.

Quanto à análise a curto termo, esta é feita com o modelo Mopla e Petra, permitindo a análise morfodinâmica de praias. A modelação executada no actual trabalho, foi do tipo, curto termo, fazendo uso exclusivo do modelo Mopla.

Tem-se ainda, o módulo tutor de engenharia costeira (Tic), cujo principal objectivo é compilar num único documento interactivo, as fórmulas mais úteis e procedimentos utilizados em engenharia costeira, fazendo o apoio teórico aos modelos numéricos.

7.2.2. MÓDULO DE ANÁLISE DE PRAIAS A CURTO TERMO

Este módulo, o qual foi usado na modelação na praia do Furadouro, executa análises a uma escala temporal de curto prazo. Este módulo é constituído por dois modelos já referidos, os quais permitem a análise morfodinâmica a duas dimensões verticais (Petra) e também a duas dimensões horizontais (Mopla).

O modelo Petra resolve as equações de fluxo de sedimentos dentro da zona de ruptura, bem como as mudanças batimétricas associadas à variação espacial no transporte de sedimentos. A magnitude do transporte de sedimentos depende das características morfológicas do ambiente (sedimentação e batimetrias) e as condições hidrodinâmicas (ondas e correntes). Visa estudar a resposta da plataforma da praia durante uma tempestade no que diz respeito à recessão da linha da costa e do perfil de praia resultante.

O modelo MOPLA permite a simulação numérica da propagação de ondas a profundidades indefinidas para a linha de costa. Com isto, as correntes formadas na zona de ruptura podem ser obtidas, sendo a evolução morfodinâmica de uma praia simulada. O Mopla ainda inclui os seguintes sub-modelos:

- Oluca – sub-modelo de inclinação suave parabólica para a propagação de ondas (funciona tanto em agitação regular com irregular);
- Copla – sub-modelo para correntes de praia induzidos pela quebra de onda espectral;
- Eros – sub-modelo de acreção/Erosão e evolução batimétrica das praias.

7.2.3. HIPÓTESES E RESTRIÇÕES DO MOPLA

Passam-se a apresentar as principais hipóteses de base e restrições dos modelos que fazem parte do MOPLA. A informação que se segue é de acordo com Santos da Costa, 2009.

Quadro 7.1 – Modelo parabólico de propagação de agitação (Oluca-SP e Oluca-MC).

Fluido	Não viscoso; Incompressível; Densidade constante.
Fluxo	Irrotacional e estacionário.
Dinâmica	Pressão constante na superfície livre; Não é considerada a acção do vento; nem a acção da aceleração de Coriolis.
Contorno	Fundo de pendente suave - As equações do modelo partem do pressuposto de que a variação do fundo com a horizontal é pequena em comparação com o comprimento da onda. Berkhoff (1982) verificou que até pendentes de 1:3 o modelo é exacto, e que para pendentes maiores, prevê as tendências de forma adequada.
Propagação	Fraca dependência da equação da dispersão em relação à amplitude da onda regular ou à altura de onda significativa; modelo não linear de Stokes-Hedges; As ondas propagam-se na direcção principal *xx*, na qual se desprezam termos de 2ª ordem, sendo que a solução será tanto mais aproximada quanto menor a variação na direcção *xx.*

Limitações de Propagação:

- As pendentes do fundo devem ser menores que 18º (1:3) para garantir a condição de pendente suave (Figura 7.2);

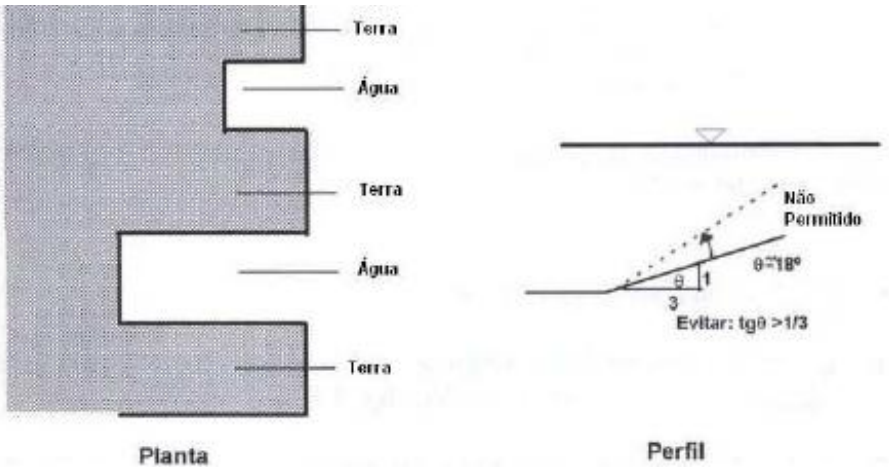


Figura 7.2 – Esquema de contornos que se devem evitar (manual Mopla, citado por Santos da Costa, 2009).

- O ângulo de propagação do primeiro alinhamento da malha deve estar dentro do intervalo +/- 55º, em relação ao eixo principal, eixo *xx* (Figura 7.3). Os erros começam a ser importantes se os ângulos saírem do intervalo referido. Deverá também orientar-se a malha na direcção principal da agitação;
- Como o modelo foi desenvolvido para ser aplicado em zonas costeiras e praias, onde os fenómenos dominantes são a refracção e a difracção, este não é aplicável para casos onde a reflexão é um fenómeno importante, isto é, no caso de portos (Figura 7.3).

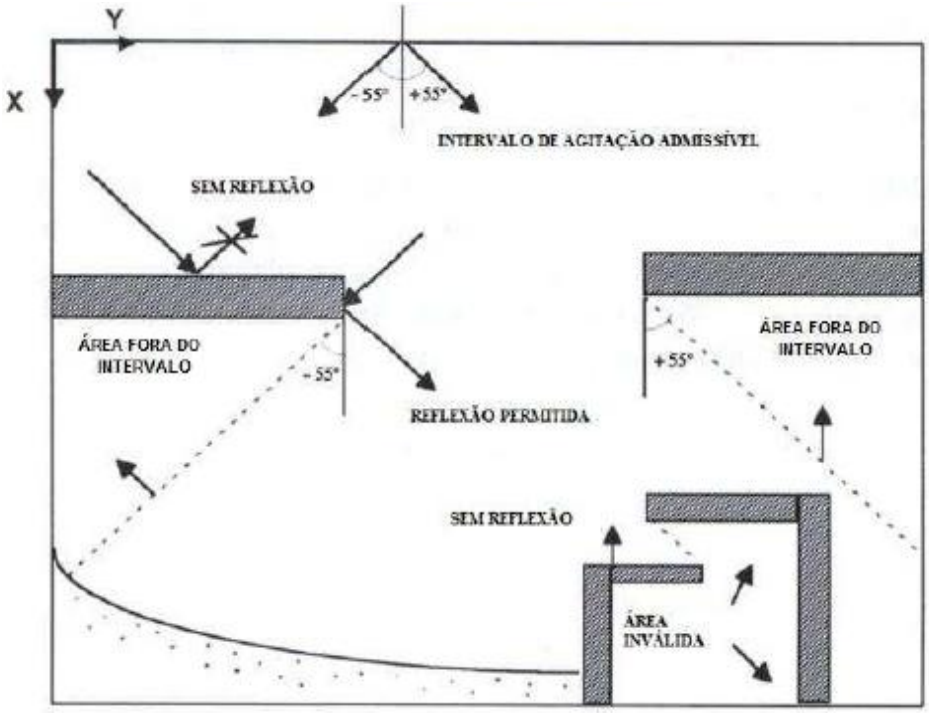


Figura 7.3 – Zonas válidas de propagação e ângulos limite (manual Mopla, citado por Santos da Costa, 2009).

Limitações de contornos e condições iniciais:

- Evitar mudanças bruscas na profundidade da batimetria (pendentes superiores a 1:3);
- É no primeiro alinhamento que se definem as condições iniciais de agitação, onde é assumido que a agitação é igual para todos os pontos (amplitude, período e direcção), pelo que é preferível que neste alinhamento não existam variações muito fortes nas profundidades;
- O MOPLA impõe condições de contornos laterais reflectores aplicando a lei de Snell, por isso, deve tentar evitar-se o efeito destes contornos laterais o mais longe possível da zona de estudo e também tentar que a batimetria destes contornos seja a mais paralela possível ao eixo dos *yy*;
- Evitar contornos laterais que alternam água-terra-água, pois podem gerar erros numéricos;
- O modelo só propaga ondas em profundidades superiores a 0,30 metros;
- O programa limita as batimétricas em terra a -7.0 metros, isto tendo em conta que o programa assume valores positivos para as batimétricas na direcção das profundidades crescentes do mar.

Quadro 7.2 – Modelo bidimensional de correntes em praias (Copla-MC e Copla-SP)

Fluido	Homogéneo; incompressível; densidade constante
Fluxo	A velocidade de corrente é independente da profundidade; cada conjunto de ondas cria o seu próprio sistema circulatório de correntes; o movimento oscilatório é essencialmente irrotacional; as flutuações turbulentas devidas à agitação são desprezáveis; as correntes são suficientemente fracas para se considerar a sua interacção com o conjunto de ondas
Dinâmica	Pressão constante na superfície livre; não é considerada a acção do vento; nem a influência da aceleração de Coriolis
Contorno	Visto que o modelo Copla é executado a partir dos resultados do modelo Oluca, isso implica que as considerações são semelhantes

Relativamente ao modelo de evolução morfológica de uma praia (Eros-MC e Eros-SP), este avalia o transporte de sedimentos a partir de formulações de agitação-correntes. As simulações, visto que são efectuadas com modelos de curto prazo, terão tempos máximos que não devem superar as 72 horas.

7.3. CONSIDERAÇÕES PARA AS SIMULAÇÕES DO CASO DE ESTUDO DO FURADOURO

7.3.1. DADOS BASE

Existe um grave problema, porque a batimetria existente da zona em estudo, está desactualizada e tem pouca resolução. No entanto, para mitigar esta condição foi alterada a batimetria para uma situação em que do ponto de vista actual (ano 2011), poderá ser mais próxima da realidade.

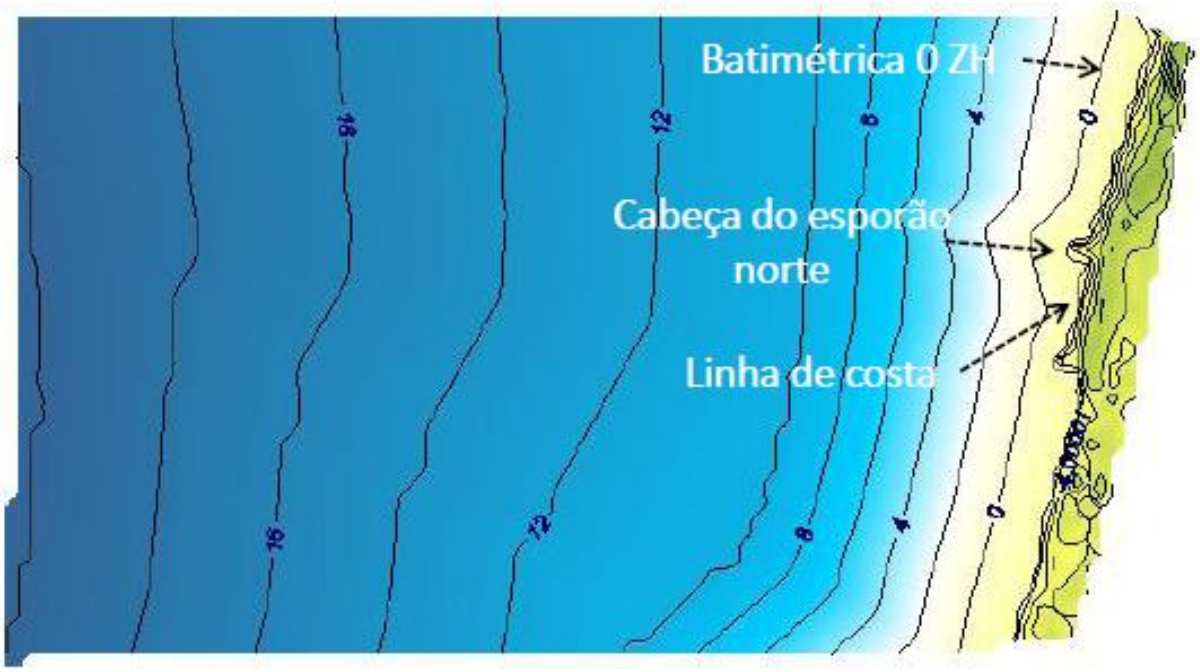


Figura 7.4 – Batimetria de data desconhecida e topografia de 2001 (Levantamento Litoral 2001, INAG).

Na Figura 7.4, está representada a batimetria fornecida, sendo esta a mais actual até à data. É possível verificar que esta se encontra completamente fora da realidade actual, bastando observar a batimétrica 0 (ZH) e a extremidade dos esporões, distando entre elas cerca de 250 m. Tal como se pode ver pelas várias fotografias já apresentadas, a batimetria 0 (ZH) actual encontra-se sensivelmente a meio da extensão do esporão norte. Portanto tem de se aproximar a batimetria 0 (ZH) da linha de costa em cerca de 200 metros.

Os dados topográficos, referem-se a 2001.

Dada a desactualização da batimetria fornecida, foi esta, redesenhada tentando obter uma situação mais próxima da actualidade (Figura 7.5).

Além de desenhar novas batimétricas, a área de trabalho, foi rodada em cerca de 11º, por uma questão de melhor visualização dos resultados finais.

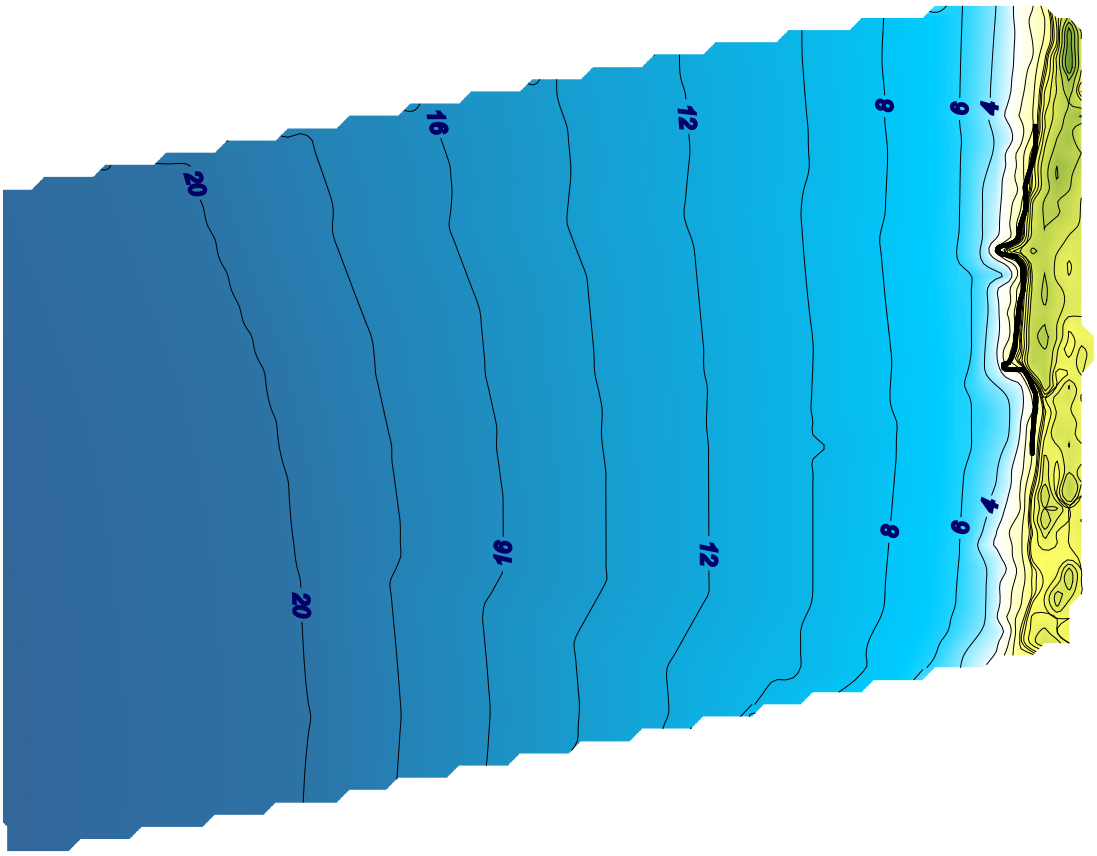


Figura 7.5 – Batimetria modificada, que se admite que seja mais próxima da realidade actual.

7.3.2. DEFINIÇÃO DAS SIMULAÇÕES

Começou-se por definir que só se realizariam simulações em regime de agitação irregular, dado ser este, o mais próximo da realidade. O Quadro 7.3, resume as condições de agitação adoptadas.

Quadro 7.3 – Dados principais referentes às simulações efectuadas

Amplitude de maré (m)	Altura de onda significativa (m)	Período de pico (s)	Orientação principal da agitação
4	1.5	10	N45°W (+/- 20°) e W (+/- 20°)
	2.2	11.4	
	3	12	
	5	13	

Na definição das simulações nomeadamente, na escolha da altura de onda significativa e do período de pico, variáveis estas que se relacionam, tomou-se como base a Figura 7.6. Observando a Figura 7.6, constata-se que esta diz respeito ao período médio e não ao período de pico. Assim foi com base nas variações dos períodos médios em função das alturas de onda significativas, que se determinaram os períodos de pico. Sintetizando, foram calculadas as variações dos períodos médios em função das

várias alturas de onda significativas, aplicando estas mesmas variações aos períodos de pico, resultando nos valores apresentados no Quadro 7.3.

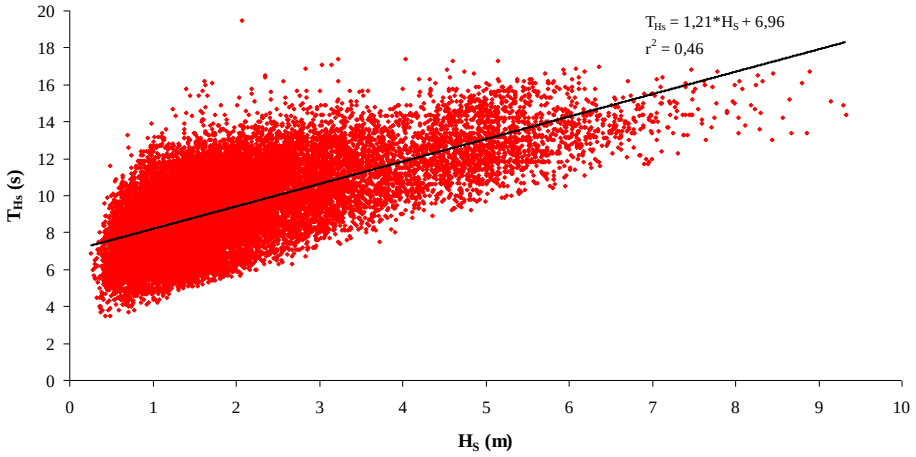


Figura 7.6 – Relação do período médio em função da altura significativa (Coelho, 2005)

Em agitação irregular o programa assume uma amplitude de maré e não um nível fixo de maré, admitindo uma variação da direcção principal de agitação, a qual pode ser editada.

Antes da introdução dos dados característicos, foi necessário definir grelhas. Criaram-se duas grelhas, uma simples e uma encadeada, sendo que a primeira tem dimensões de 1830.18 m × 2027.76 m, com espaçamentos em x de 49.47 m e em y de 49.45 m, quanto à grelha encadeada, esta usa resultados da grelha simples, assumindo-os como dados de entrada nesta, tendo dimensão de 1213.83 m × 1536.44 m, com espaçamento em x de 19.58 m e em y de 24.73 m. A dimensão das grelhas, foi algo que teve de ser ponderado, pois com a diminuição do espaçamento destas, por vezes deparou-se com casos de não inclusão nos cálculos de alguns pontos de grelha. Tendo isto, foram realizadas várias tentativas com o objectivo de encontrar a grelha que fosse a mais precisa, incluindo todos os pontos pretendidos.

Após a criação das grelhas, formaram-se casos de estudo introduzindo os dados apresentados no Quadro 7.3. Além do cruzamento de dados apresentados no Quadro 7.3, foram tomadas outras opções tais com a definição do espectro a usar, TMA, no modelo de agitação que foi do tipo composto, a dissipação por rotura foi do tipo Thornton e Guza, na dissipação por fundo foi escolhida a opção camada limite turbulenta e contornos laterais abertos. Para o modelo de correntes foi tomado um intervalo de 500 segundos, como parâmetros físicos a rugosidade de Nikuradse 1,0 m e a viscosidade turbulentas igual a 8 m^2/s, sendo que estes parâmetros são determinados automaticamente pelo programa.

Relativamente ao espectro TMA, segundo Santos da Costa, 2009, este é aplicável desde águas profundas a pequenas profundidades, até à zona de rebentação. A sua forma final é expressa por:

$$S_{TMA}(f,d) = S_p(f)\emptyset_{PM}(f,fm)\emptyset_j(f,fm,\Upsilon,\sigma_a,\sigma_b)\emptyset_K(2\pi f,d) \tag{7.1}$$

$$S_{TMA}(f) = \alpha g^2(2\pi)^{-4}f^{-5}\exp\left[-\frac{5}{4}\left({}^{f}/_{f_m}\right)^{-4}\right] \times exp\left\{\ln(\Upsilon)\exp\left[-\frac{(f-f_m)^2}{2\sigma^2 f_m^2}\right]\right\} \times \emptyset_K(2\pi f,d) \tag{7.2}$$

$$\alpha = 0{,}0078K^{0{,}49} \tag{7.3}$$

$$\Upsilon = 2{,}47K^{0{,}39} \tag{7.4}$$

$$K = \left(\frac{U_{10}^2}{g}\right) K_m \tag{7.5}$$

Esta expressão contém a função do espectro de Pierson e Moskowitz ($\emptyset_{PM}$), e também a função do espectro de JONSWAP ($\emptyset_j$). Poderá também ser expressa sob a forma de 7.2. As constantes α e γ são definidas consoante a profundidade segundo as relações 7.3 e 7.4, onde K, corresponde à expressão 7.5, em que $Km = (2\pi/Lm)$, corresponde ao número de onda para a frequência de pico fm e Lm é o comprimento de onda para a profundidade *d*. Apesar de Hughes (1984), referido por Silvester *et al.* (1997), ter defendido que o espectro TMA era aplicável para ondas geradas pelo vento em qualquer profundidade, Goda (1990), também referido por Silvester *et al.* (1997), concluiu que o uso do TMA em pequenas profundidades deveria ser efectuado com reservas porque o modelo é essencialmente para ondas geradas pelo vento ainda na fase de crescimento. Na Figura 7.7, está representada uma comparação entre o espectro TMA para vento uniforme de 20 m/s, para um fetch de 500 Km, para as várias profundidades, e também para o espectro JONSWAP para a profundidade de 50 metros.

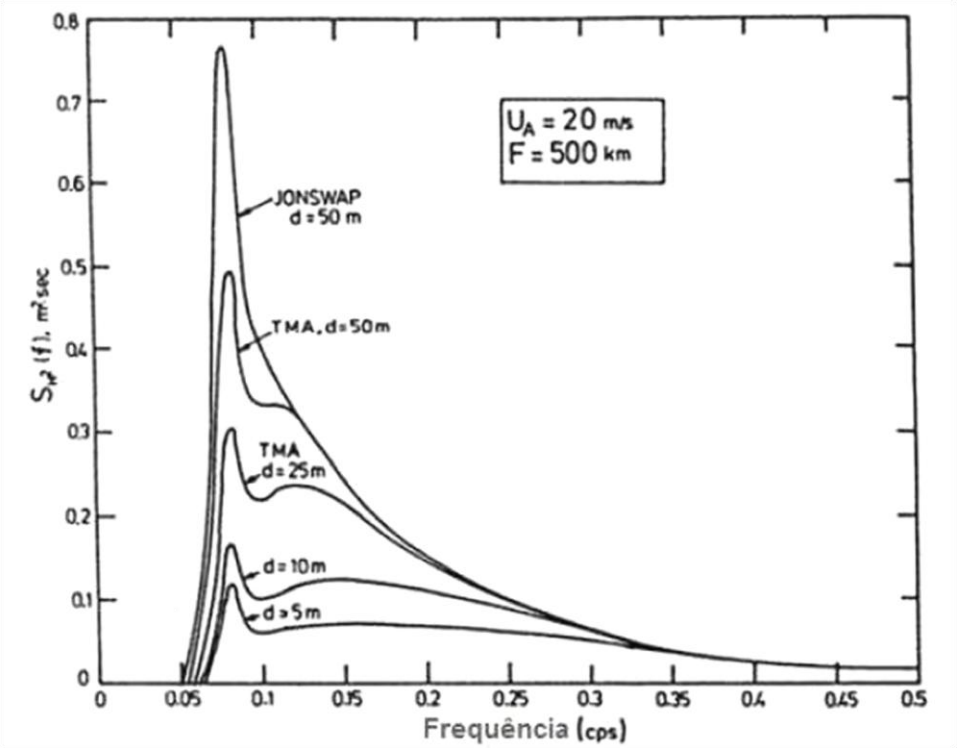


Figura 7.7 – Comparação do espectro TMA para várias profundidades com o espectro JONSWAP (adaptado de Silvester et al, 1997, citado por Santos da Costa, 2009)

.

Considerou-se uma situação de referência, à qual se atribui características representativas de uma situação média, ou seja um estado de agitação descritivo da média que ocorre no Furadouro. Para esta simulação foram tomados os valores de Hs=2.2 m, período de pico de 11.4 seg. e direcção N45°W (+/-

20°). A altura de onda, período de pico e direcção principal foram parâmetros criteriosamente escolhidos de acordo com o estudo desenvolvido por Costa *et al*, 2001.

As simulações apresentadas de seguida, correspondem a uma duração de 12 horas, porém foram feitas simulações com durações superiores, concluindo que não seria fundamental a sua apresentação, pois a única diferença nos resultados dizem respeito a uma maior intensidade nos fenómenos de acreção/Erosão, não apresentando se quer, novas áreas afectadas.

É possível ainda retirar do programa o espectro de frequências e o espectro direccional, representados na Figura 7.8 e Figura 7.9, referidos ao estado de agitação médio (Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; N45°W (+/- 20°)).

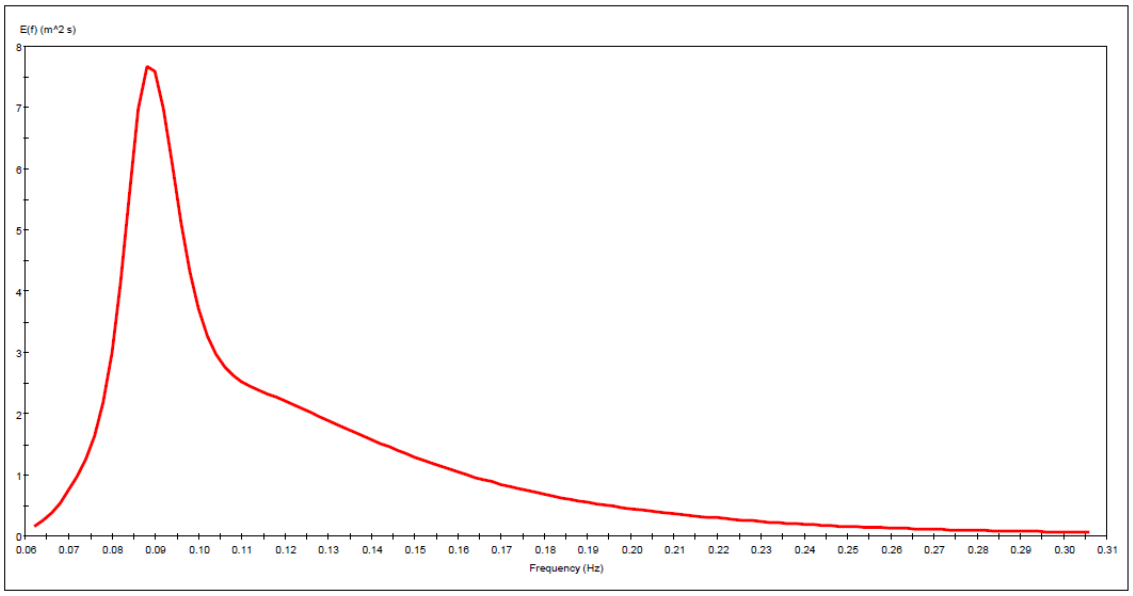


Figura 7.8 – Espectro de frequências (Hs=2.2m; Tp=11.4 s; ϒ=3.3; nº componentes=15)

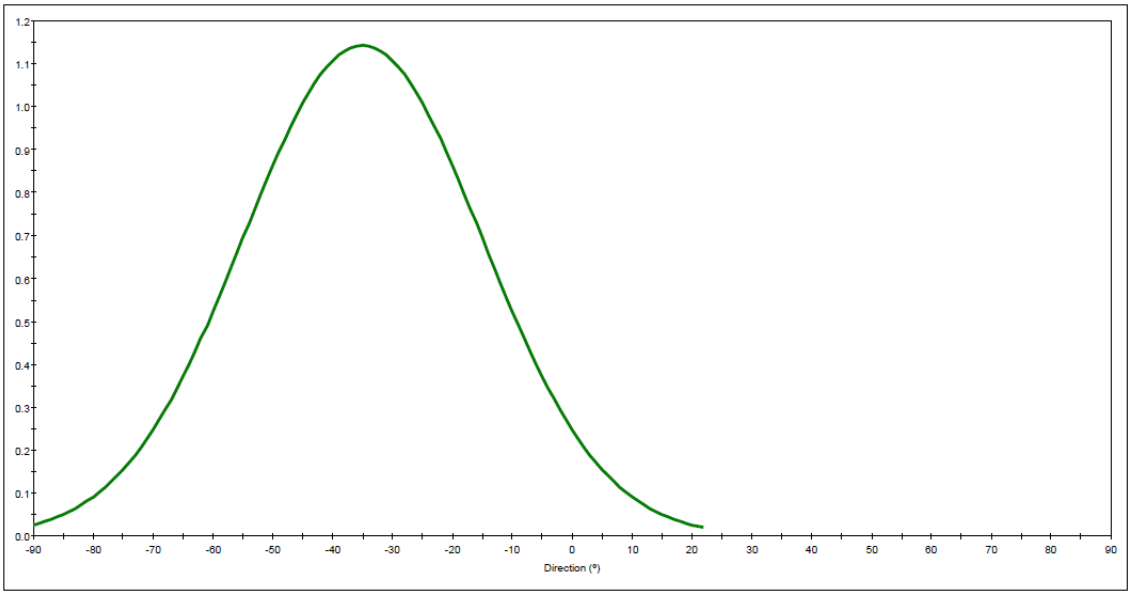


Figura 7.9 – Espectro direccional (N45°W (+/- 20°))

7.4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

7.4.1. BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

De seguida estão apresentados os resultados da situação de referência, com orientação principal de N45°W (+/- 20°), altura de onda significativa de 2.2 metros e período de pico de 11.4 segundos.

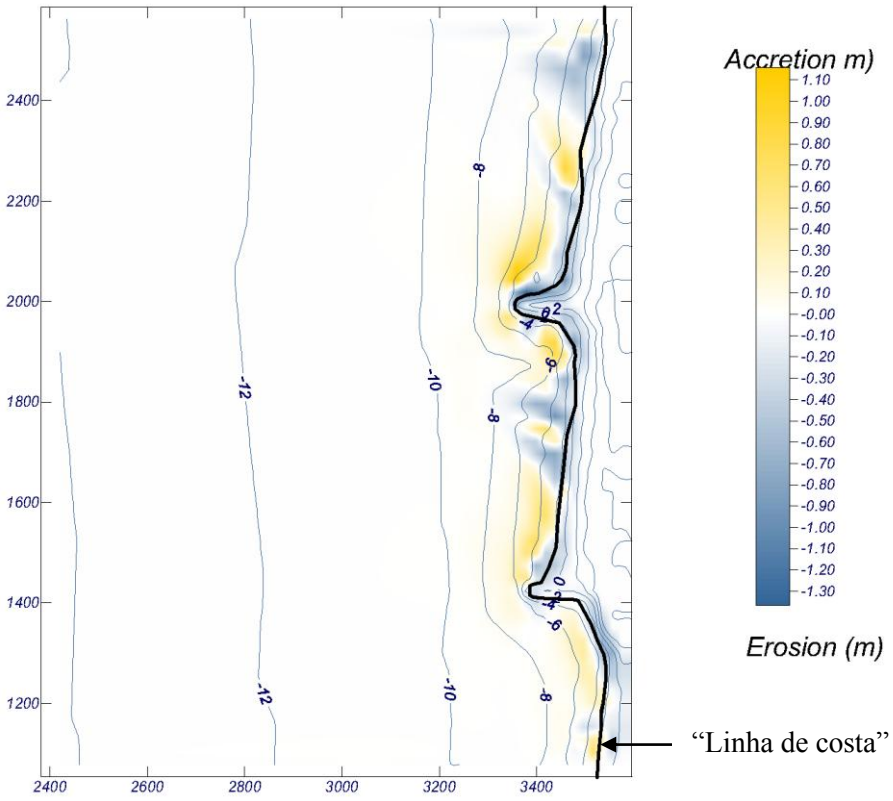


Figura 7.10 - Variação do fundo, com topografia final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s)

Na apresentação desta primeira simulação, ser-se-á crítico em relação aos *layouts* que se podem retirar do modelo Mopla. Começando pela Figura 7.10, interpreta-se que, o que aparentemente seriam batimetrias, referem-se a alturas de nível de água do mar, ou seja, observando na Figura 7.5 as batimétricas representadas e comparando com a Figura 7.10, percebe-se que a cada batimétrica (Figura 7.5) foram somado 4 m (amplitude máxima de maré), dando origem ao representado na Figura 7.10. Na definição de cada simulação é necessário informar a amplitude de maré (4 m), assim entende-se que os *layouts* apresentados pelo modelo correspondem sempre ao instante de Preia-Mar. Esta abordagem está também implícita na Figura 7.13, quando se refere à topografia inicial, sendo que a topografia final parte da inicial acrescida de variações que têm como base as alterações de fundo, como a acreção ou Erosão, identificadas na Figura 7.10.

Outro aspecto importante a ser referido, que consta em cada *layout*, é relativamente à "linha de costa" (Figura 7.10), que é a linha equivalente à cota +2.0 m (ZH). Esta condição é imposta pelo software já que apenas reconhece dois tipos de ficheiro, um relativo à informação batimétrica (.xyz) e outro relativo à linha de costa (.cos), sendo que este deverá coincidir com o nível médio das águas do mar.

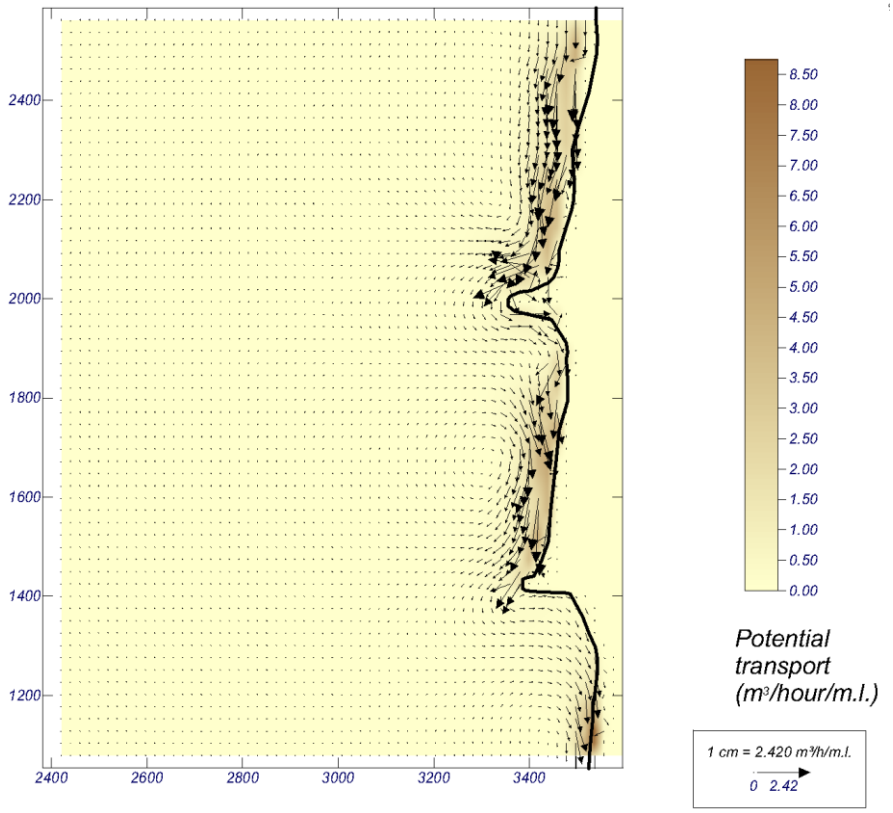


Figura 7.11 – Transporte sedimentar potencial (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

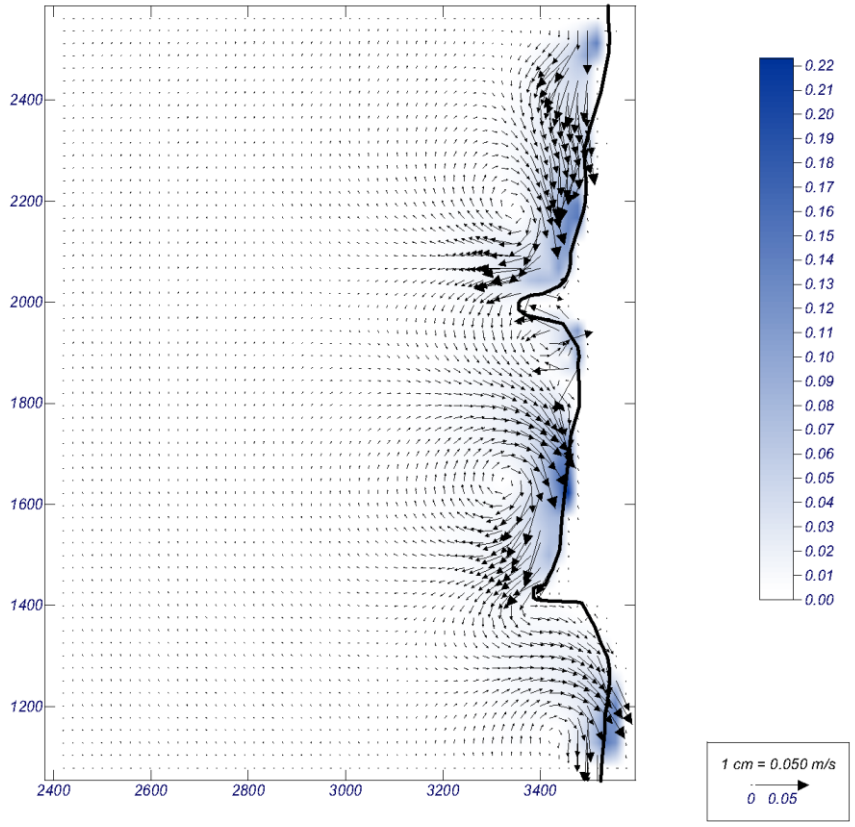


Figura 7.12 – Vectores corrente e respectiva intensidade (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

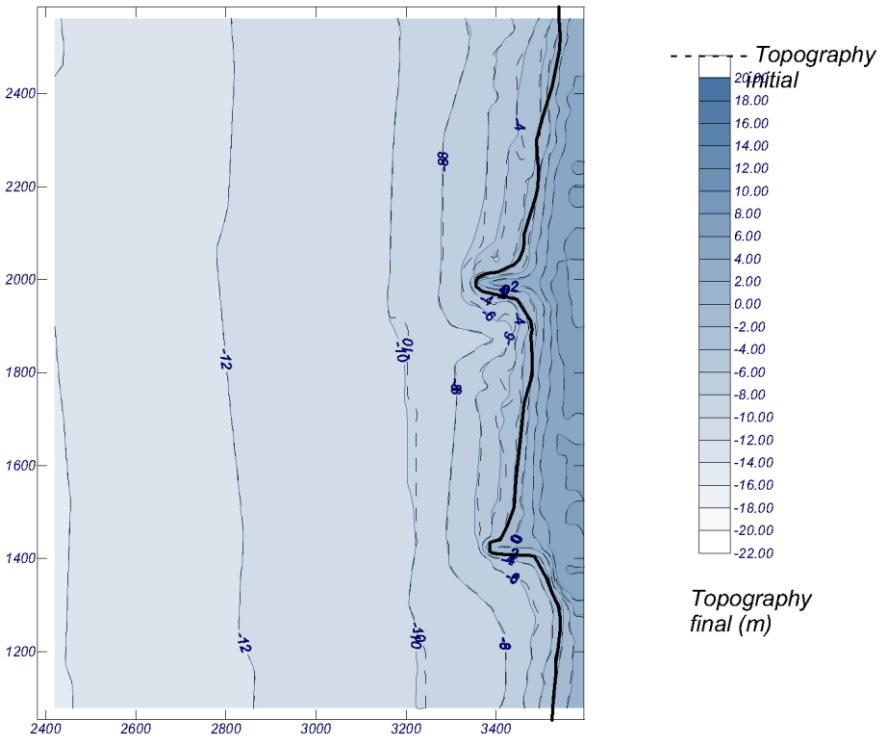


Figura 7.13 – Comparação da topografia inicial e final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

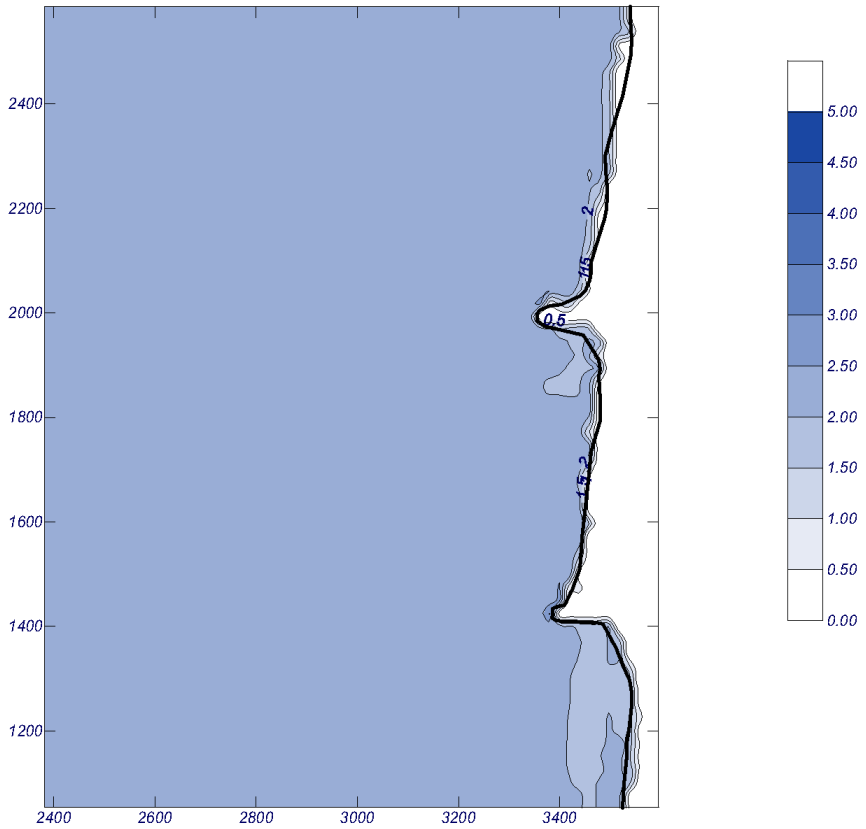


Figura 7.14 - Alturas de onda (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

Caracterizando a situação referente ao estado médio de agitação, percebe-se que a profundidade de fecho está dentro dos valores de referência (-9, -10 ZH), não havendo portanto variações significativas de batimetrias.

Verifica-se que o transporte sedimentar potencial (Figura 7.11), está de acordo com o espectável, ou seja, com sentido de norte para sul e a sua acumulação a norte dos esporões (Figura 7.10).

Quanto aos vectores corrente (Figura 7.12) reconhece-se o contorno aquando do encontro de uma singularidade, como é o caso dos dois esporões, assim como a definição das correntes difractadas a sul dos esporões. No entanto, a sul do esporão sul, seria esperado que a intensidade fosse mais pronunciada, ao contornar a estrutura aderente.

Relativamente às alturas de onda (Figura 7.14) constata-se algumas irregularidades, justificadas pelas incoerências da batimetria.

Uma outra situação interessante de simular são os temporais de Março e Outubro já descritos no caso de estudo do Furadouro (capítulo 4). Assim definiu-se como orientação principal W (+/- 20°), altura significativa de 5 m, período de pico de 13 seg.

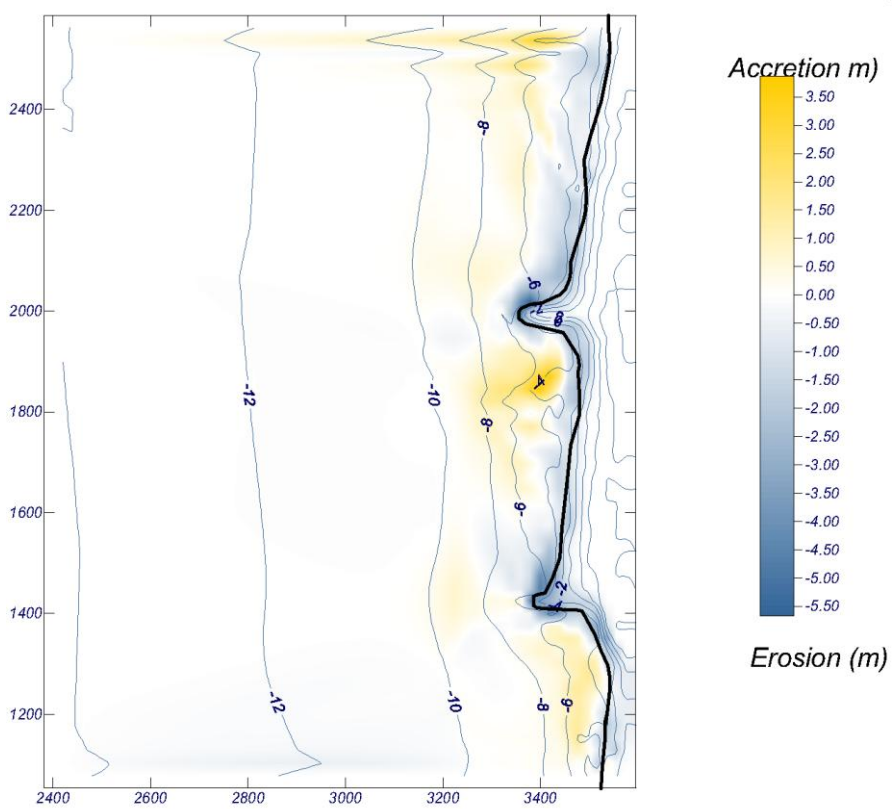


Figura 7.15 – Variação do fundo, com topografia final (Hs=5 m; Orientação oeste; Tp=13 s).

Observando a Figura 7.15, verifica-se uma maior intensidade nos fenómenos de Erosão/acreção, ocorrendo zonas de Erosão de 4,5 m de profundidade, juntos aos esporões. Recorde-se que no capítulo 4, se destacou uma arriba de Erosão, com cerca de 5 a 6 metros de altura a norte do esporão norte, o que é traduzido com esta simulação de alguma forma. Verificam-se zonas de Erosão com elevado nível de intensidade, no entanto é de ter em conta, que a extremidade dos esporões é um dos locais

mais vulneráveis, não só pela profundidade a que está assente como é onde ocorre a rebentação de ondas. No entanto o estado de agitação definido é representativo de temporal, o que já é espectável que ocorram estragos nas estruturas, assim como um encurtamento de praia. Outro aspecto a ter em conta, é que, como já referido, a linha representada refere-se à cota +2.0 ZH e não o coroamento dos esporões.

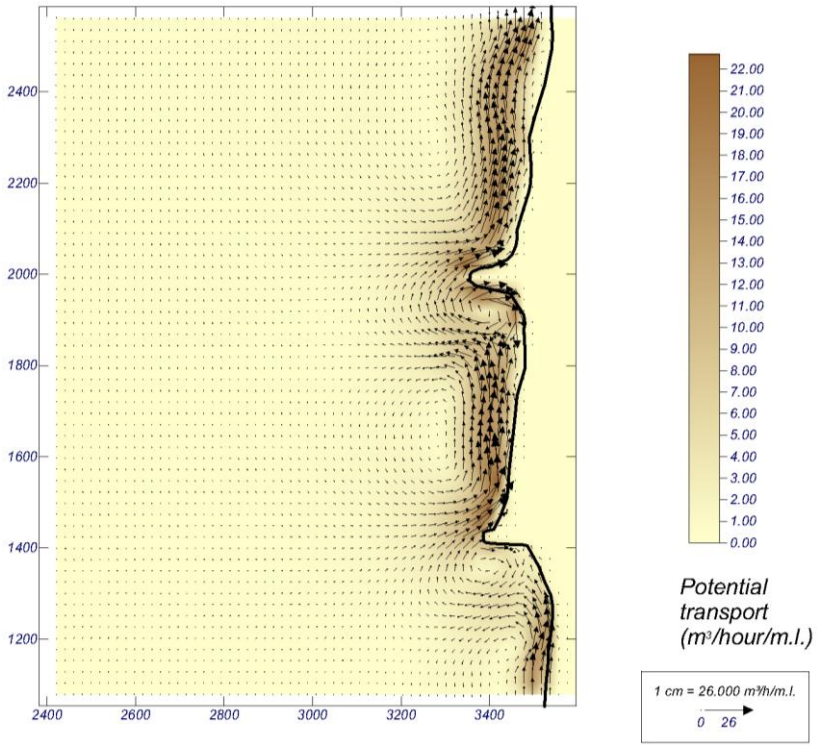


Figura 7.16 - Transporte sedimentar potencial (Hs=5 m; Orientação oeste; Tp=13 s).

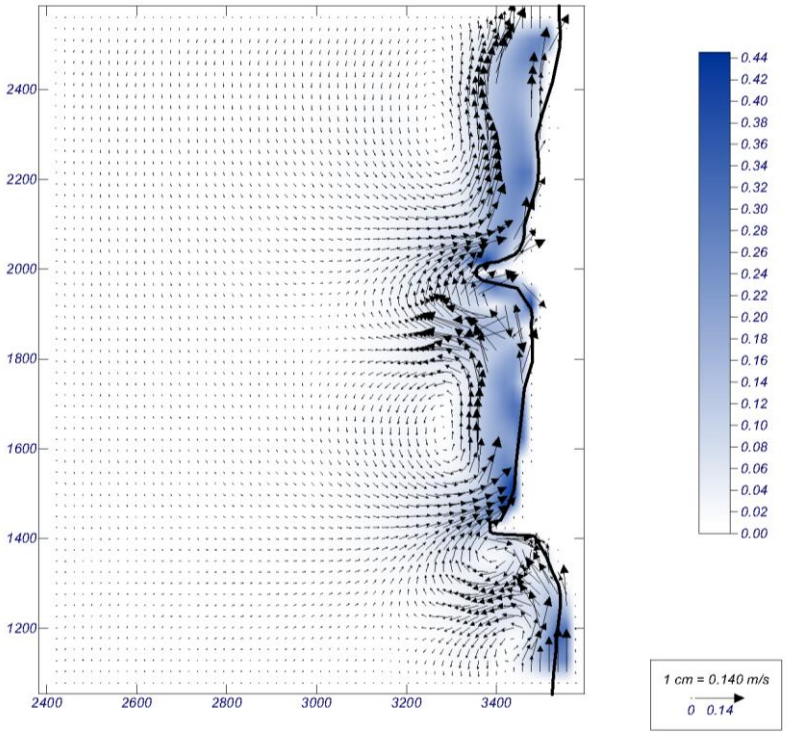


Figura 7.17 – Vectores corrente e respectiva intensidade (Hs=5 m; Orientação oeste; Tp=13 s).

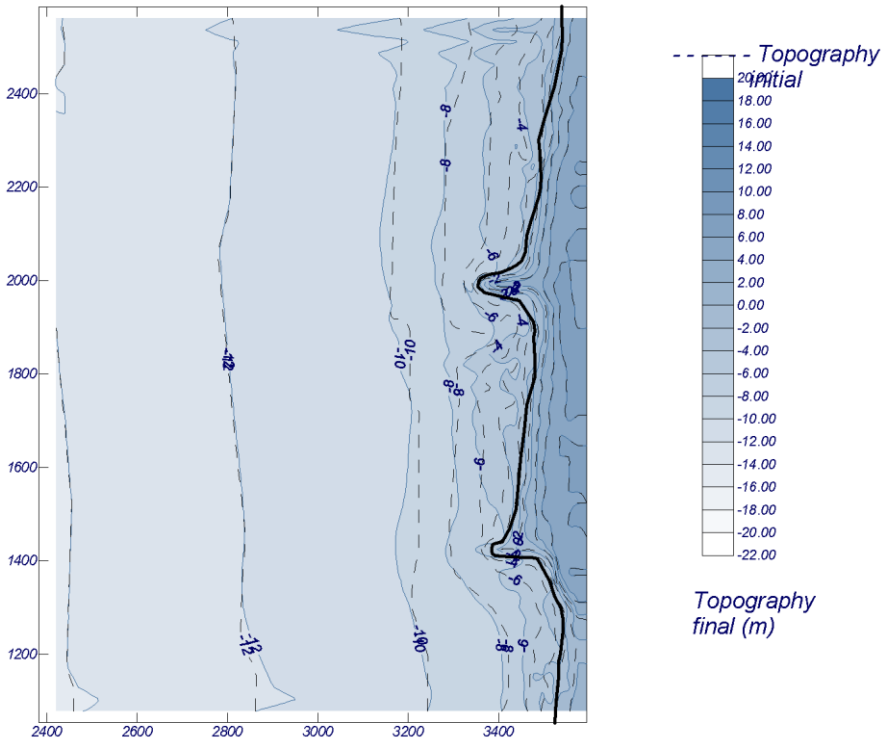


Figura 7.18 - Comparação da topografia inicial e final (Hs=5 m; Orientação oeste; Tp=13 s).

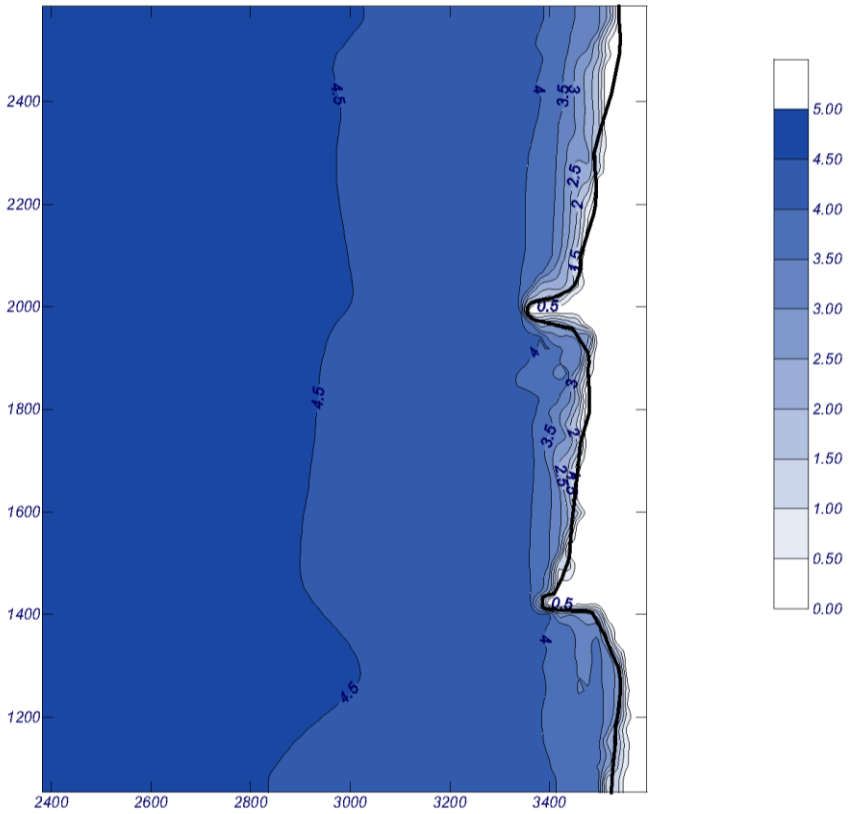


Figura 7.19 - Alturas de onda (Hs=5 m; Orientação oeste; Tp=13 s).

Aumentado a altura de onda, o transporte sedimentar aumenta, assim como a intensidade dos vectores corrente. Tal facto é observado na Figura 7.16 e Figura 7.17. Verifica-se uma maior concentração de vectores corrente junto aos esporões, traduzindo-se numa maior intensidade comparativamente com a situação de referência (Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; N45°W (+/- 20°)).

7.4.2. Soluções em Quebramares destacados

Usando então as soluções em quebramares destacados para o controlo de problemas de erosão costeira para a praia do Furadouro, começa-se por apresentar a solução de um quebramar de 240 m de extensão, com cota de coroamento a +4,0 (ZH) e largura de 38 m.

A simulação que se segue, refere-se à situação de estado de agitação médio, apenas introduzindo os dois quebramares, mantendo a altura de onda significativa de 2.2 metros, o período de pico de 11.4 segundos e orientação principal N45°W (+/- 25°). Todos os outros parâmetros são iguais aos descritos em 7.3.2. No anexo D e E, constam simulações com diferentes condições. No decorrer deste capítulo apenas se apresentam as simulações que se acham mais representativas para o caso de estudo.

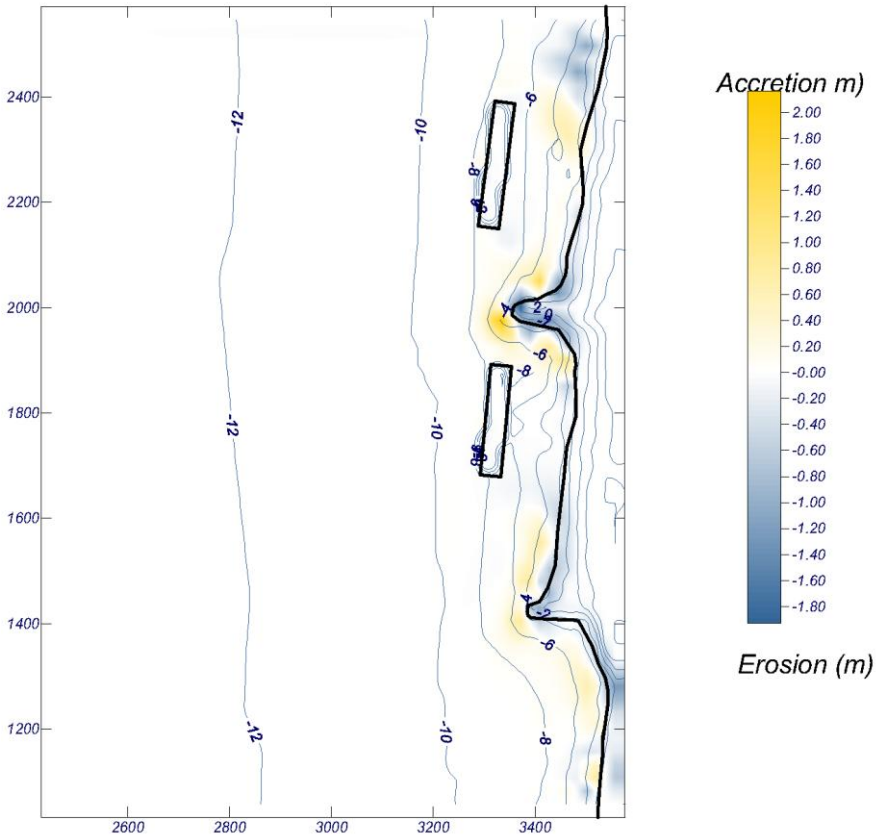


Figura 7.20 - Variação do fundo, com topografia final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

Analisando a Figura 7.20, entende-se que existe uma maior área onde não ocorrem Erosões, comparativamente com a Figura 7.10. Existe portanto, uma maior protecção da zona costeira. Não é detectável a formação de um tômbolo nem de saliência. No entanto, o modelo em questão é de simulações de curto termo, sendo estas formações requerentes de alguns meses ou mesmo anos para se detectarem. Porém, existindo um estado de agitação semelhante ao médio, alterando apenas o rumo

principal para oeste, reconhecem-se maiores zonas de acreção, como é espectável, justificada pela orientação das estruturas destacadas (Figura 7.21).

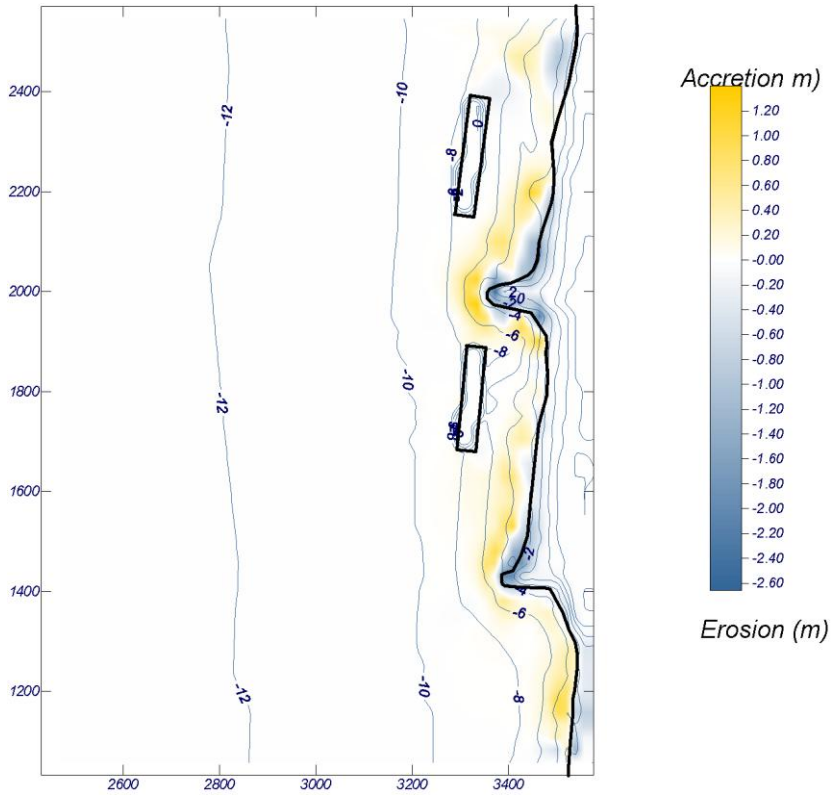


Figura 7.21 - Variação do fundo, com topografia final (Hs=2.2 m; Orientação oeste, Tp=11.4 s).

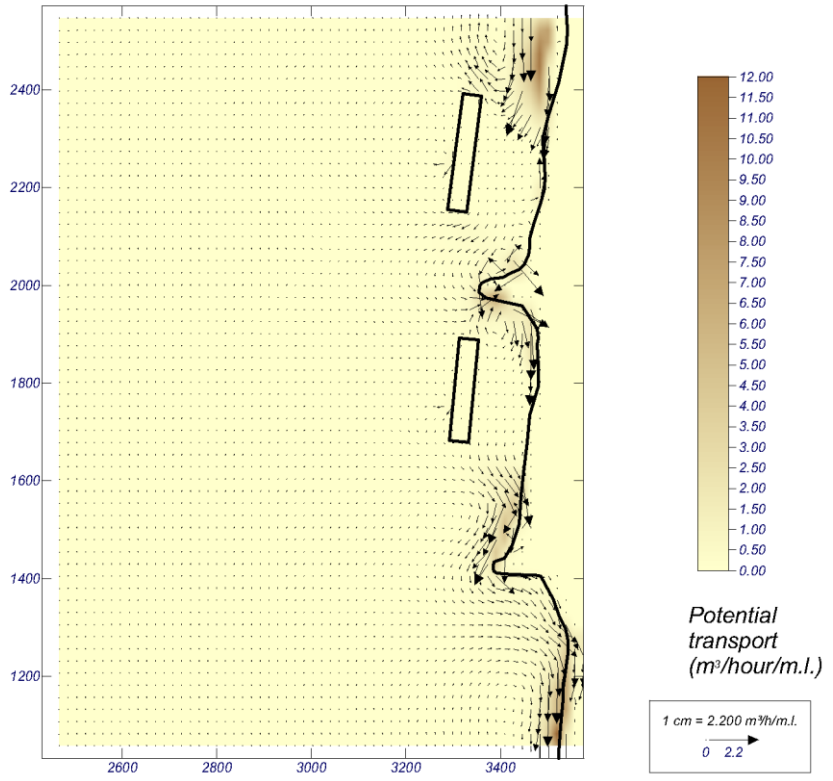


Figura 7.22 – Transporte sedimentar potencial (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

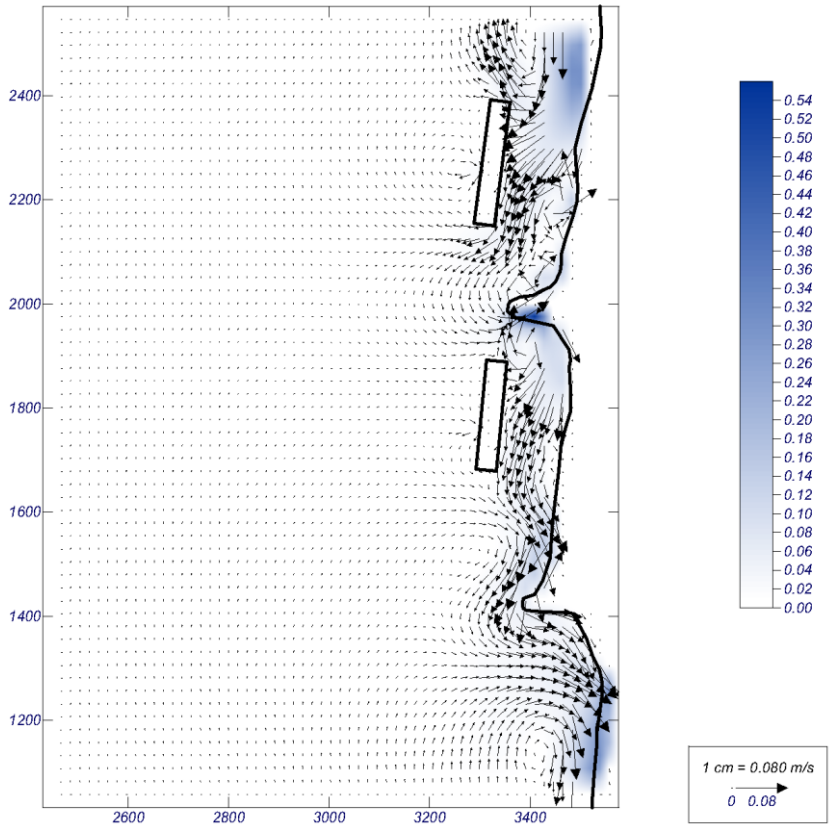


Figura 7.23 – Vectores corrente e respectiva intensidade (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

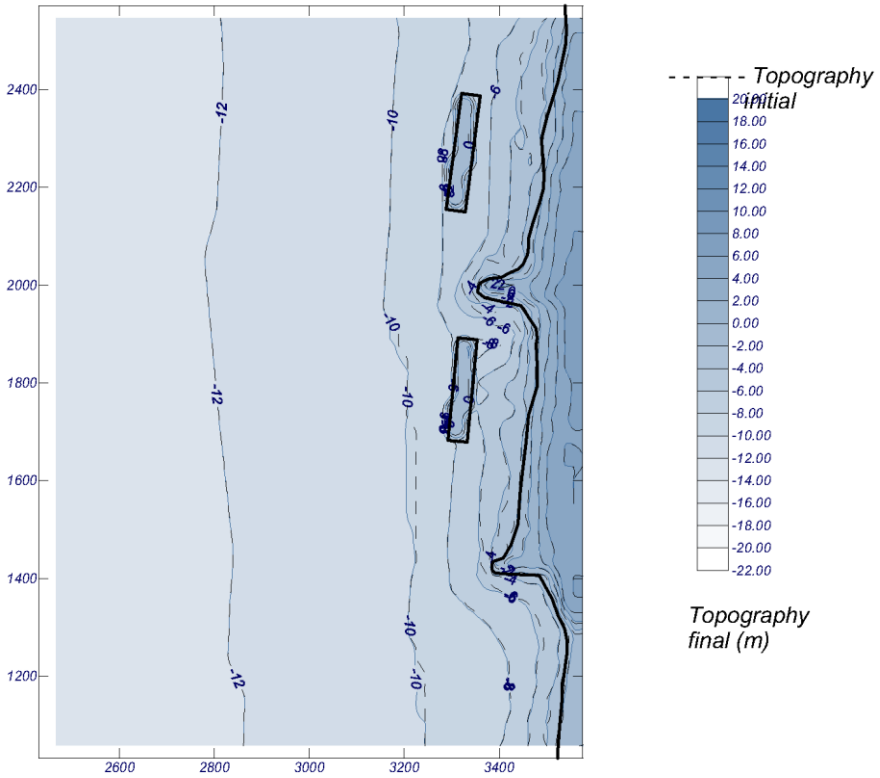


Figura 7.24 - Comparação da topografia inicial e final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

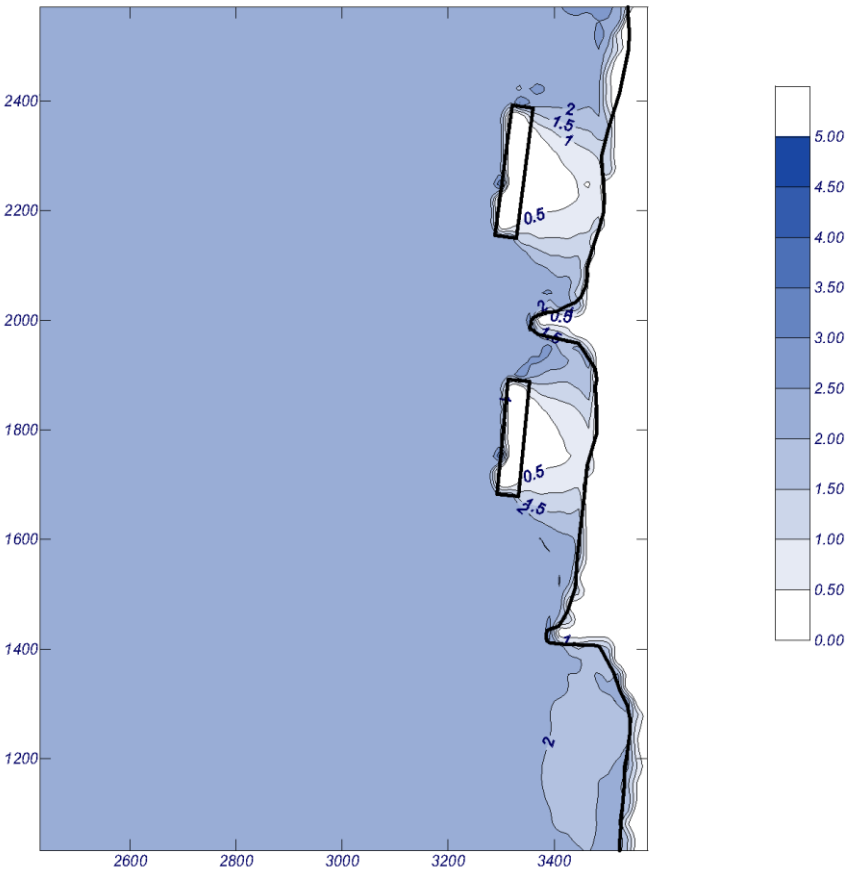


Figura 7.25 - Alturas de onda (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

Comparando a Figura 7.11 e Figura 7.22, constata-se que com a construção de estruturas destacadas, o transporte sedimentar sofre alteração de rumos.

Verifica-se recirculação dos vectores corrente na Figura 7.23, sendo que este fenómeno se verifica com maior intensidade na praia situada entre os dois esporões.

A difracção das ondas a sotamar dos quebramares destacados, é bem reconhecida pelo software, observando-se de igual forma a sul do esporão sul (Figura 7.25).

Passou-se a testar agora uma solução com quebramares destacados múltiplos, cuja extensão de cada estrutura tem 150 m e um espaçamento entre segmentos de 65 m, igualmente com cota de coroamento a +4,0 (ZH).

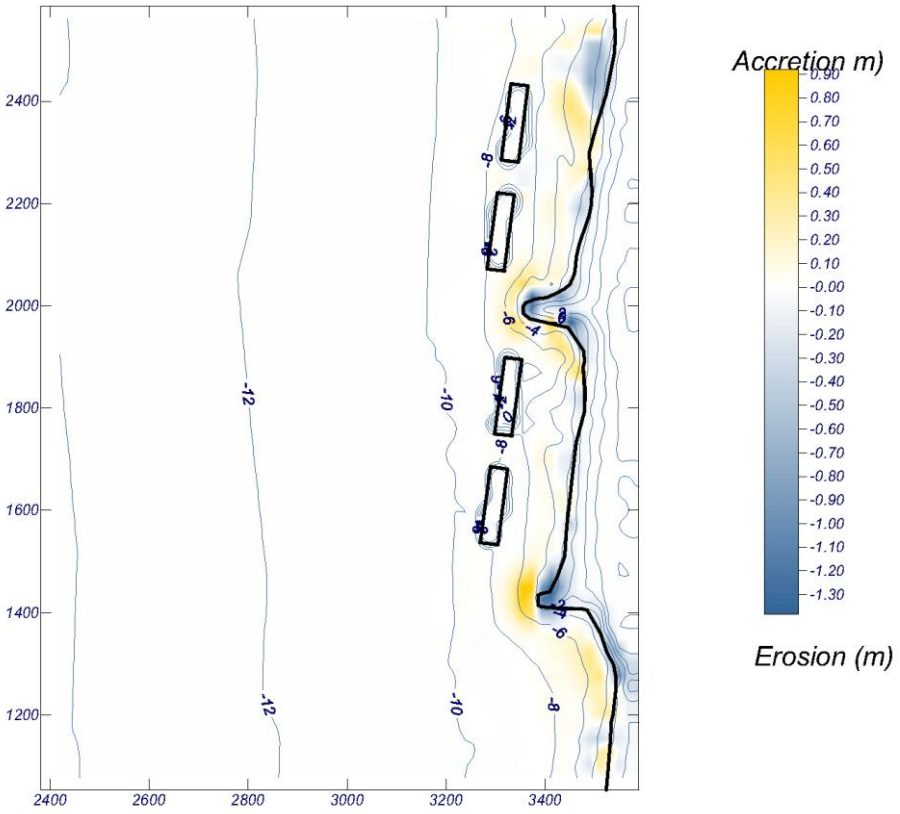


Figura 7.26 – Variação do fundo, com topografia final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

Comparativamente à solução de um só quebramar destacado por praia (Figura 7.20), percebe-se que com uma solução de quebramares múltiplos (Figura 7.26), existe uma maior protecção da zona costeira e por consequente redução das Erosões verificadas. Algo justificado por uma maior extensão total de estrutura destacada face à solução de um único quebramar destacado.

Verifica-se uma menor intensidade nos fenómenos de acreção/Erosão face à solução representada na Figura 7.20, assim como a uma menor intensidade de correntes comparativamente com Figura 7.23. Nesta última figura, dos vectores corrente, identifica-se na praia norte, uma zona crítica junto à "linha de costa", associada ao regime de correntes, provocado pela abertura existente entre segmentos de quebramar. Esta zona crítica é observável na Figura 7.26, como zona erodida.

Quanto ao transporte potencial representado na Figura 7.27, detectam-se uns vectores junto dos esporões, com elevada intensidade e tomando direcções díspares. Encara-se esta situação como uma falha de representação por parte do software.

Mais uma vez as alturas de onda (Figura 7.30), descrevem de forma correcta o fenómeno da difracção das ondas a sotamar das estruturas destacadas.

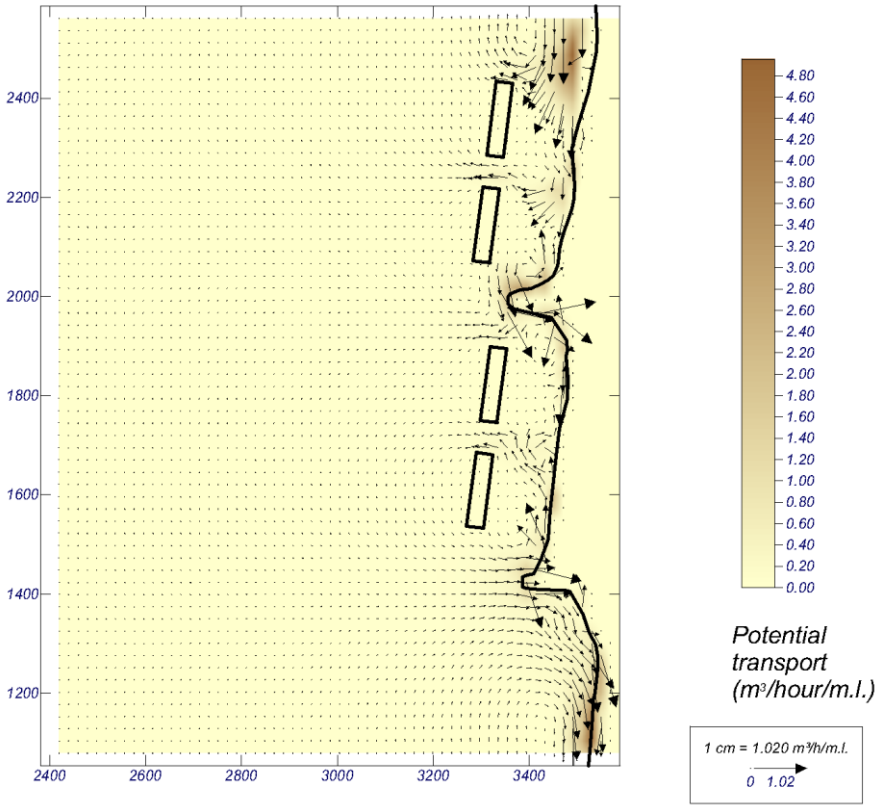


Figura 7.27 – Transporte sedimentar potencial (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

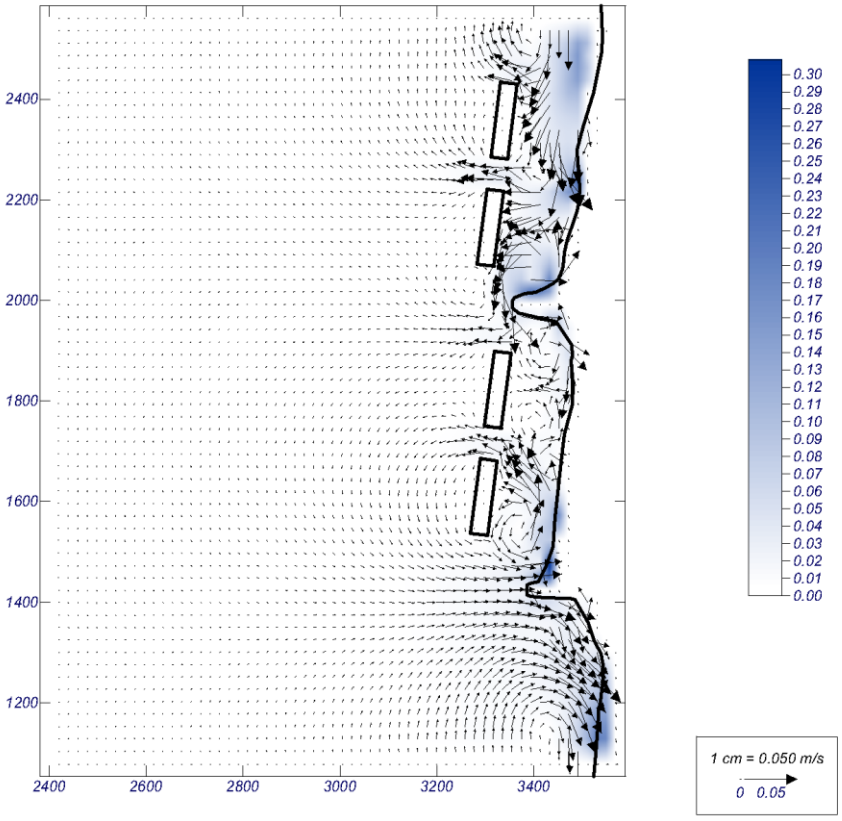


Figura 7.28 – Vectores corrente e respectiva intensidade (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

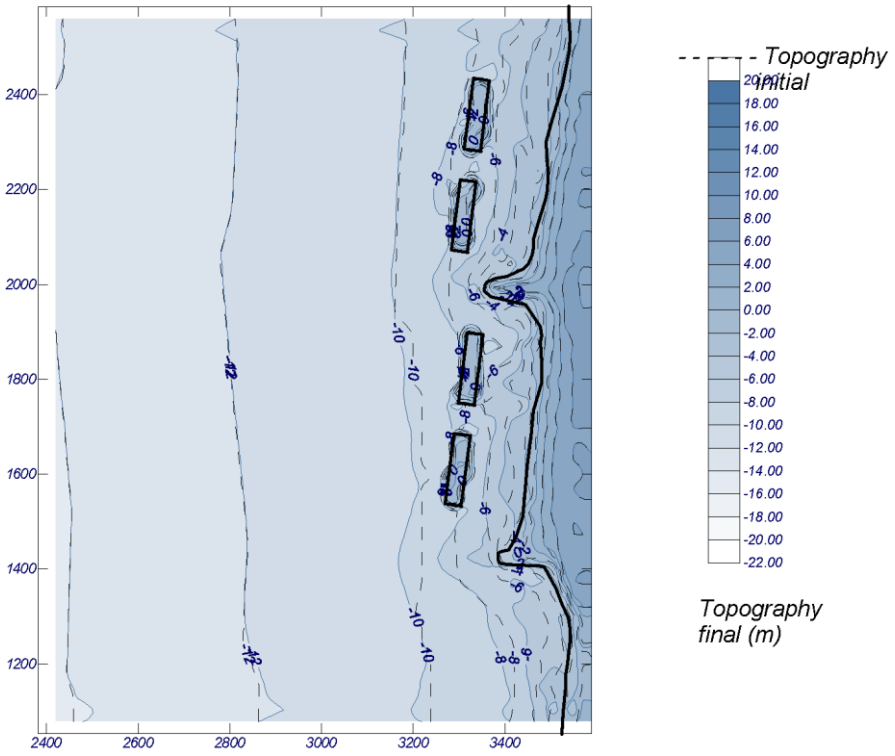


Figura 7.29 – Comparação da topografia inicial e final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

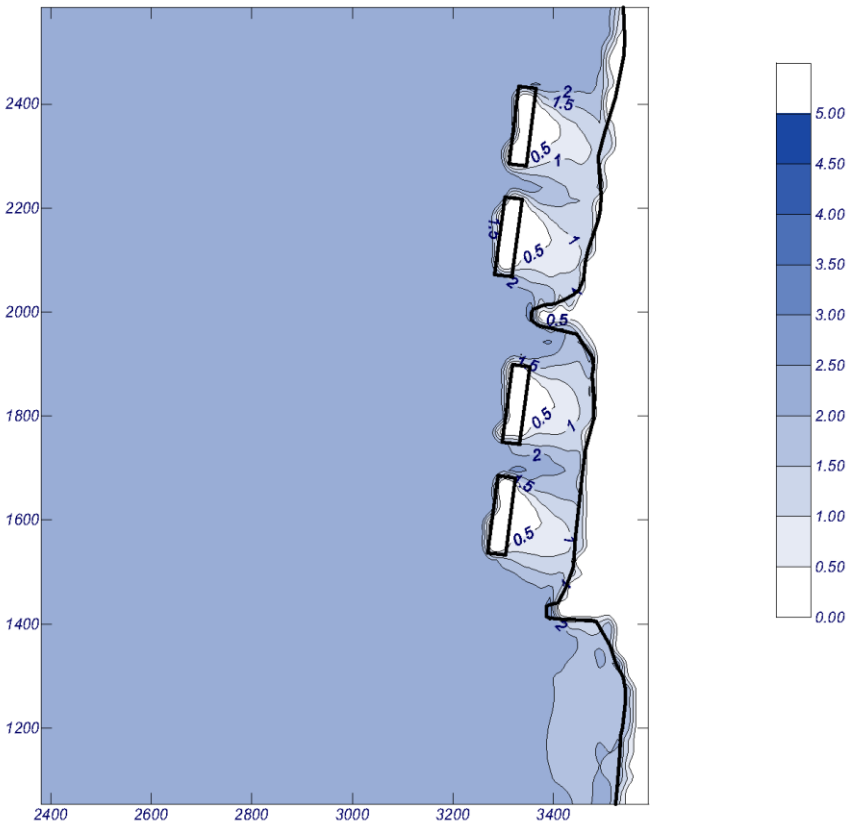


Figura 7.30 - Alturas de onda (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

7.4.3. OUTRAS SIMULAÇÕES

Uma das dificuldades com os resultados gerados por cada simulação, é a definição das escalas de representação de resultados, tanto da intensidade dos fenómenos de acreção/Erosão, de correntes assim como de transporte sedimentar. Assim sendo, seleccionaram-se os resultados de vectores correntes sem escala de cores representativas de intensidade do fenómeno (Figura 7.31).

Observando a Figura 7.31, que apresenta as três simulações com a mesma escala gráfica, percebe-se, que com o aumento de altura de onda, há um aumento da intensidade dos vectores, assim como uma menor dispersão direccional dos vectores.

Verificam-se alguns vectores representados isoladamente com elevada intensidade ao longo da "linha de costa", o que mais uma vez se pode interpretar como imprecisões na representação por parte do Mopla.

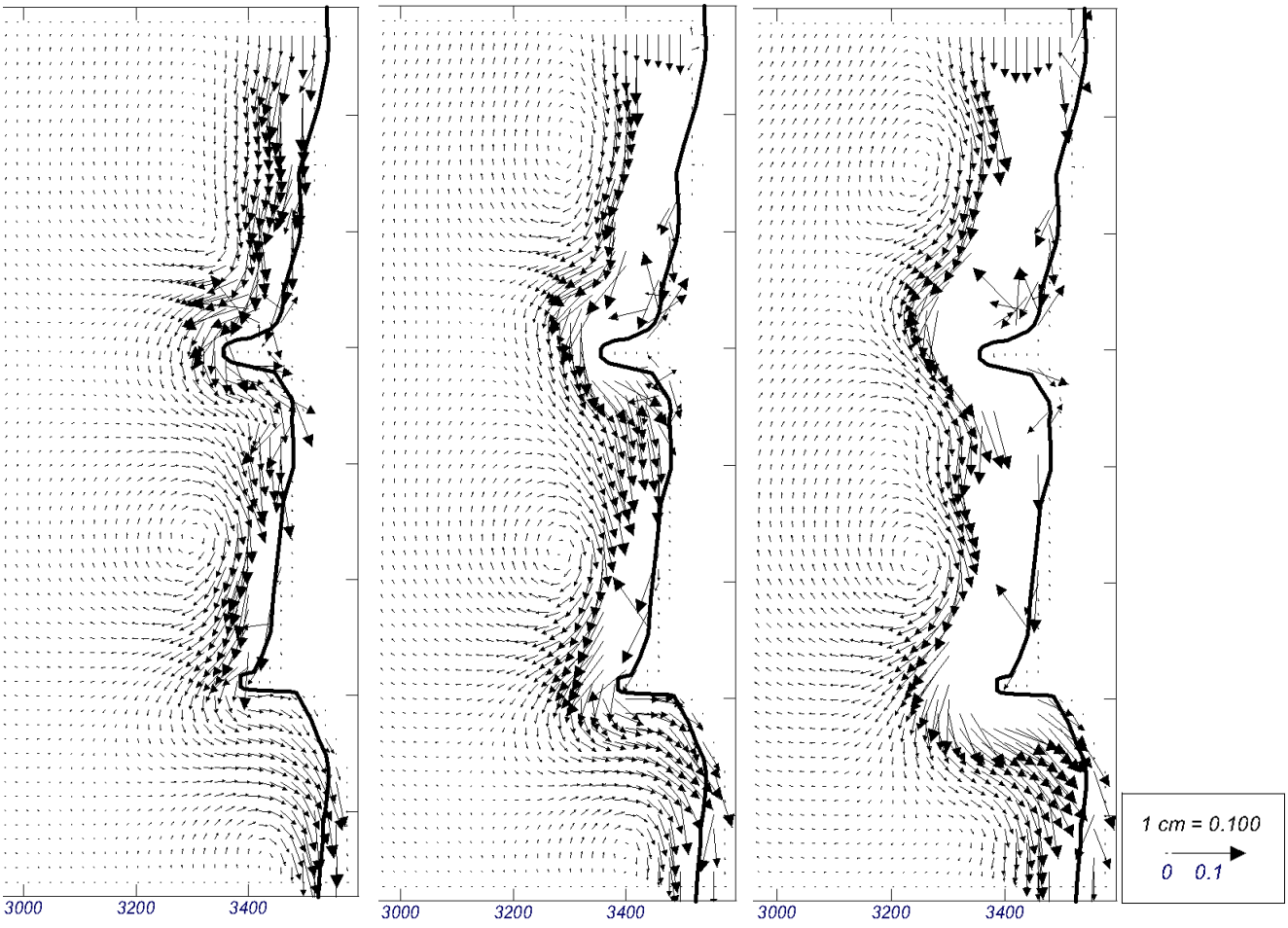


Figura 7.31 – Vectores corrente, para as várias alturas de onda (2.2; 3 e 5 m - da esquerda para a direita), com direcção noroeste

Além do estudo de soluções de defesa costeira com sistemas de quebramares destacados para a praia do Furadouro, também se achou pertinente a demonstração dos possíveis efeitos positivos que um prolongamento dos esporões na direcção aproximada de sudoeste poderiam trazer para a praia. Assim tomou-se como 50 metros, a extensão a prolongar. Na Figura 7.32, representam-se os vectores

corrente, identificando-se de imediato uma redução de intensidade destes nas zonas imediatamente a sul dos esporões. Tanto a norte do esporão norte, como do esporão sul, ocorre uma maior dispersão de correntes, parecendo justificar-se pelo aumento da estrutura, que introduz um elemento rígido, perturbando a hidrodinâmica aqui existente.

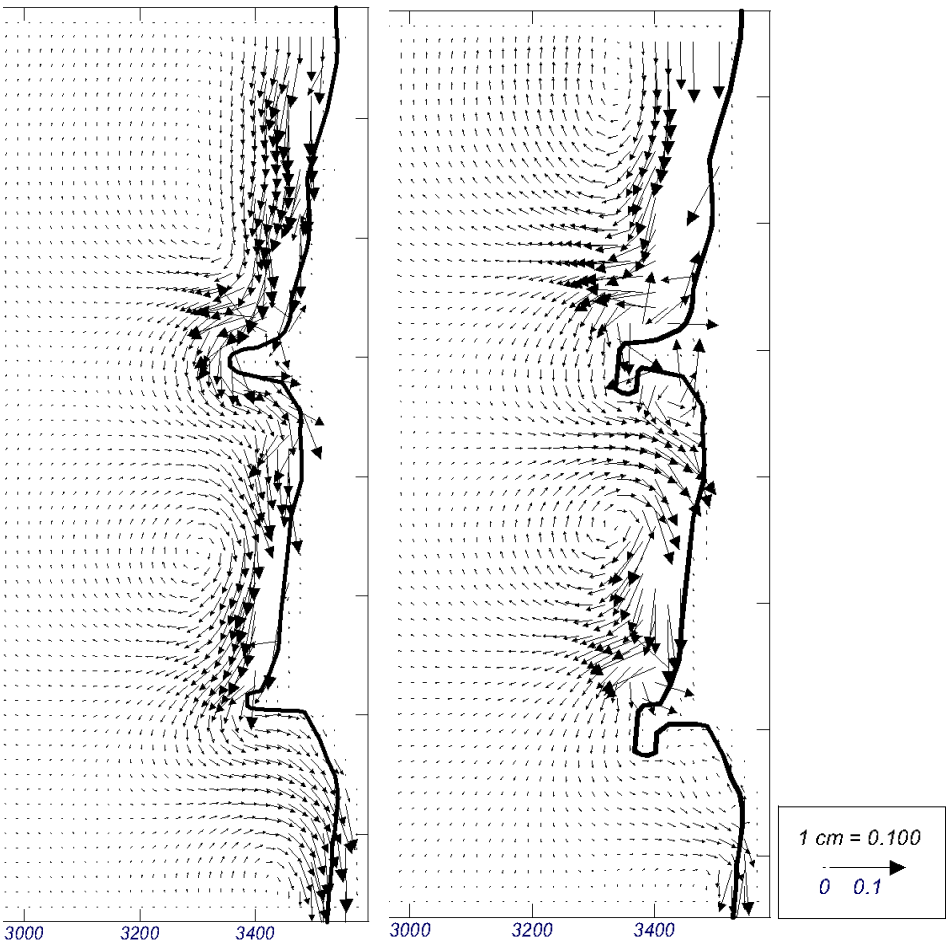


Figura 7.32 – Vectores corrente para a situação correspondente ao estado médio de agitação (Hs=2.2; Tp=11.4; NW), com e sem prolongamento dos esporões

No entanto, pretendia-se prever a vantagem que resultaria do prolongamento dos esporões em termos de acumulação de sedimentos a sul destes, onde são sempre zonas susceptíveis de antecipação de Erosões. Assim, observando a Figura 7.33, constata-se que a sul do esporão norte parece existir uma maior protecção em relação às erosões e por conseguinte uma maior área de acreção, face à Figura 7.10. Já a sul do esporão sul, não ocorrem assoreamentos significativos, no entanto também não se observam Erosões. Conclui-se que existem melhorias, mesmo que mínimas, quando se prolongam os esporões. No entanto, a experiência diz que este tipo de soluções nem sempre são bem sucedidas, na zona costeira portuguesa. Assim, termina-se dizendo que parece existir alguma coerência nesta simulação, com uma razoável representação do espectável.

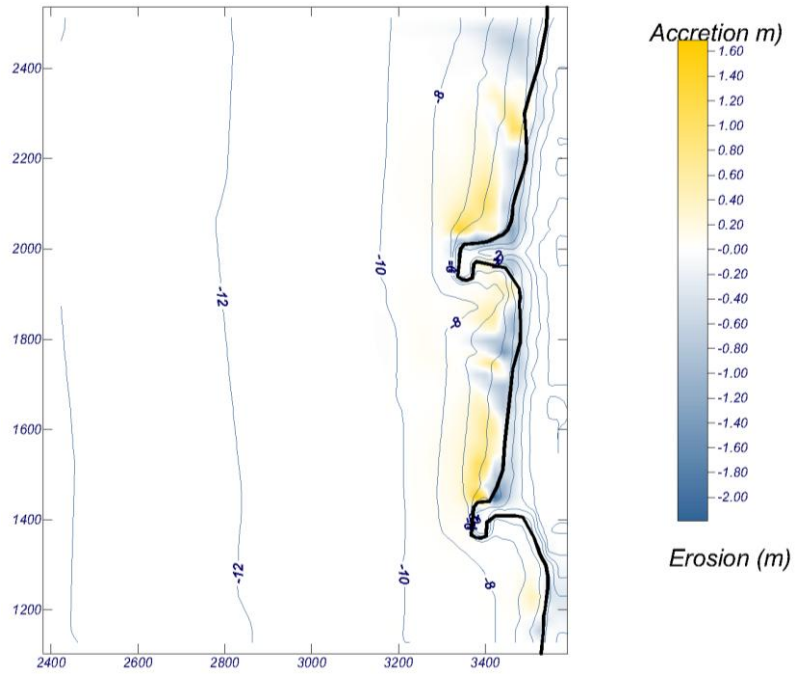


Figura 7.33 – Variação do fundo, com topografia final (Hs=2.2 m; Orientação noroeste, Tp=11.4 s).

Apresenta-se agora a comparação de correntes entre a solução existente actualmente, e as duas soluções tomadas com quebramares destacados (Figura 7.34). Primeiramente, tem-se na representação actual da praia, um estado de correntes muito intenso, face à situação de colocação de estruturas destacadas, notando-se uma significativa redução de correntes aquando da implantação de um campo de quebramares destacados.

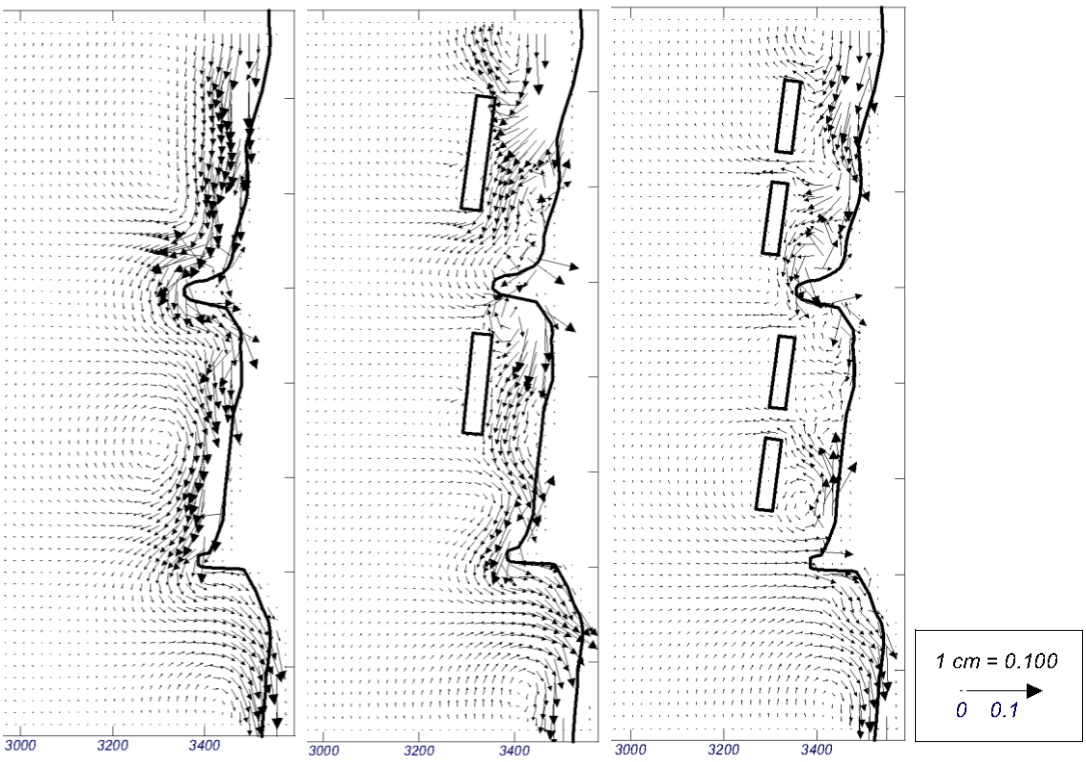


Figura 7.34 - Vectores corrente, para a situação correspondente ao estado médio de agitação (Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; NW), com a solução actual e as soluções com quebramares destacados.

Na solução de um quebramar de maiores dimensões por praia, o estado de correntes parece mais descritivo do espectável, face ao de dois quebramares por praia. Sendo que nesta última solução, tem-se na praia sul, algo que não parece correcto.

De forma geral compreende-se, que a implantação de obras destacadas permitirá uma pré-rebentação das ondas, diminuindo a energia e por conseguinte, uma menor intensidade de correntes, o que poderá permitir assoreamento a sotamar das estruturas.

Optando por uma das soluções de quebramares destacados, tem-se que, para a solução de dois segmentos de quebramar por praia, esta implicará duas frentes de obra em cada praia, além da construção de mais duas cabeças por praia, assim como um maior volume de material, pois a extensão total desta solução é superior. Estes últimos aspectos podem ser interpretados como desvantagens. Porém, como já se referiu, construindo dois quebramares destacados por praia, haverá uma maior defesa da costa e portanto maior resguardo em caso de ocorrência de temporais (ver simulações do Anexo D).

Além das simulações já referidas no presente capítulo, no Anexo D e E encontram-se a totalidade das simulações. Apresenta-se para o estado médio de agitação, simulações com agitação regular, com cotas de coroamento das estruturas destacadas distintas, e com tempos de simulação superiores. É de salientar que a apresentação no presente capítulo de todas as soluções seria excessivo por isso optou-se pela selecção de algumas simulações e sua descrição. Também nos anexos não foram colocadas todas as situações que se simularam, já que o objectivo principal desta dissertação de mestrado não foi a realização e interpretação de simulações.

Nas simulações de agitação regular (simulações 5.1; 6.2; 7.2; 8.1 do Anexo E), observaram-se algumas diferenças, como nos *layouts* de alturas de onda, que assumem ligeiras diferenças na sua configuração e o transporte sedimentar que é superior na agitação regular do que na agitação irregular. Conclui-se que a representação de correntes na agitação irregular, é mais representativa da realidade.

Apresenta-se um último comentário, quanto a simulação das estruturas com cotas de coroamento diferentes de +4.0 (ZH). Com a simulação 6.3 e 7.3 do Anexo E, com cota de coroamento de +3.0 (ZH), percebe-se uma maior intensidade dos fenómenos de acreção/Erosão face às simulações correspondentes de cota +4.0 (ZH). O estado de correntes é distinto assim como o estado de ondas, justificado pelo metro a menos de altura das estruturas destacadas, o que numa situação de Preia-Mar permite a passagem das ondas superiormente e assim uma menor eficiência na dissipação de energia. Relativamente às simulações 6.4 e 7.4 do Anexo E, com cota de coroamento de +5.0 (ZH), não se registam diferenças assinaláveis, continuando a ocorrer uma pronunciada difracção das ondas a sotamar dos quebramares, não se verificando diferenças assinaláveis no estado de correntes que é em tudo semelhante às simulações correspondentes com coroamento de +4.0 (ZH).

8
CONCLUSÕES

8.1. SÍNTESE DO TRABALHO E PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Tendo como tema de desenvolvimento, o estudo da reabilitação de estruturas de defesa costeira, aplicado a três frentes urbanas, procurou-se em primeiro lugar perceber o porquê da necessidade de intervir nas zonas costeiras. Existem diferentes problemas para distintas zonas costeiras, levando também a intervenções específicas de acordo com as características de cada caso.

É razoável concluir que as estruturas de defesa costeira, são implantadas quase exclusivamente para a protecção da malha urbana, que em muitos dos casos ficam numa situação de risco.

As estruturas de defesa costeira, particularmente as que estão localizadas em fundos móveis, tornam-se vulneráveis a acontecimentos frequentes associados ou não a temporais. Quando não existem intervenções de manutenção com alguma periodicidade, podem em muitos dos casos ocorrer situações críticas, ao ponto de a reabilitação já não ser viável, podendo tornar zonas urbanas em risco.

São necessárias pequenas reparações a cada dois invernos, devendo ao fim de dez invernos (em média) proceder-se a uma intervenção de maior dimensão.

Foram três os casos de estudo analisados. A praia da Torreira, não tem justificado qualquer tipo de intervenção ao longo dos últimos anos. No Furadouro, existem problemas que se conhecem há várias décadas, e que se têm mitigado com intervenções significativas. Com frequência são realizadas pequenas reparações, para a sua conservação. Quanto ao caso de Mindelo, este foi intervencionado em 1998 com uma estrutura aderente para dar resposta aos resultados após sucessivos temporais aí registados. Após 1998, nunca mais se registaram intervenções de manutenção da estrutura, estando actualmente num estado elevado de degradação, como referido no capítulo 4. Este é um exemplo, em que caso, tivessem sido executadas as tais pequenas intervenções periódicas, não seria necessário reconstruir em aproximadamente metade da estrutura, com um novo perfil.

Apresentaram-se dados relativos a larguras de praia, com o intuito de perceber a evolução que tem sido verificada nos casos de estudo.

Foram efectuadas análises de vulnerabilidade aos casos de estudo, podendo-se concluir, que a praia do Furadouro, é o caso mais gravoso dos três. É uma zona com grande risco de exposição das frentes edificadas e aglomerados urbanos, às acções energéticas do mar.

Apresentaram-se e quantificaram-se, propostas de reabilitação dos casos de estudo, com base em levantamentos efectuados nos locais. A proposta de Mindelo, passa pela construção de um novo perfil numa extensão de 265 metros, sendo a restante extensão da estrutura reabilitada. Quanto ao Furadouro, fez-se uma análise semelhante, com intervenções de menor dimensão num maior número de frentes de obra. Além da proposta de reabilitação, estudou-se uma solução que defendesse a zona a

médio/longo prazo com a implantação de estruturas destacadas. Das simulações realizadas, atribui-se uma condição vital ao sucesso de qualquer estudo decorrente de um modelo numérico, a batimetria actualizada. Esta não existia, e portanto teve de ser adaptada.

Apesar das condicionantes, conclui-se que o software reconhece as irregularidades físicas (estruturas costeiras), apresentando campos de correntes de acordo com o espectável. A profundidade de fecho, está de acordo com o que seria de esperar. A interpretação do transporte sedimentar potencial apresenta resultados razoáveis. Quanto às alterações morfológicas, os resultados são satisfatórios.

A aplicação deste software deve ser encarada como preliminar e deverá ser complementada, com uma análise mais profunda, com modelação física e dados de campo.

Para a retirada de conclusões de modelos numéricos, é necessário ter em conta algumas reservas, pois estes evidenciam ainda muitas limitações que devem ser aperfeiçoadas.

8.2. PERSPECTIVAS FUTURAS

A hipótese de estudo de quebramares destacados no reforço de defesa da praia do Furadouro, deverá ser enunciado a nível da revisão do POOC Ovar-Marinha Grande. Esta hipótese, já havia sido considerada no âmbito do PROT Centro Litoral (Plano Regional do Ordenamento do Território)

É imprescindível, a realização de levantamentos topo-hidrográficos por toda a costa portuguesa, para que permita, a realização de estudos como o de Furadouro. Estudos como o presente trabalho não devem ser limitados por falta de dados de base, como a batimetria, pois o conhecimento batimétrico é algo essencial em qualquer estudo costeiro.

Quanto à aplicação do programa SMC, entende-se que é uma das ferramentas que poderá ser útil no estudo de problemas costeiros, podendo uma possível integração da costa portuguesa nos dados de base do modelo numérico espanhol (Baco, Atlas e Odín), ser algo pertinente a ser concretizado num futuro próximo. Apresentando parte da costa espanhola (costa norte), características semelhantes ao nível do clima de agitação e amplitude de maré, presente na costa portuguesa, seria este, um ponto em comum e portanto o seu processamento facilitado. No entanto só poderia ser feita esta integração, aquando da realização de levantamentos topo-hidrográficos actualizados.

As escalas de cores em que representam intensidades de fenómenos, deveriam poder ser editadas, para que se ajustem e permitam uma comparação directa com outras simulações. A definição das escalas, foi uma das condicionantes na apresentação dos resultados, tendo-se no entanto apresentado figuras relativas a vectores corrente, em que se conseguiu impor a mesma escala gráfica, e comparar directamente os resultados.

Os resultados dos modelos não se referem a uma secessão representativa, do estado de agitação ao longo de um período de meses ou anos, onde a variação das alturas de onda, rumo, períodos e níveis de maré, origina configurações morfológicas que não são necessariamente as que resultam de estados de agitação isolados como os que foram simulados.

Um último comentário, diz respeito a uma condicionante temporal, ou seja, ao tempo definido para o desenvolvimento de uma tese de mestrado. Para uma análise e estudo mais aprofundado é necessário mais tempo, pois o processo de aprendizagem, aplicação e interpretação dos resultados de um modelo numérico é moroso, salientando-se ainda que a modelação numérica não estava inicialmente prevista. No entanto assumiu-se a responsabilidade de a concretizar no melhor possível.

BIBLIOGRAFIA

Ângelo, C. (1991). *Taxas de variação do litoral oeste: uma avaliação temporal e espacial*. Proceedings do seminário *A Zona Costeira e os Problemas Ambientais*, Com. Nac. EUROCOAST, p.109-120, Aveiro..

Araújo, M. (1999). *A Zona Costeira de Portugal*.

ARH Centro. (2009). *Projecto de Requalificação Ambiental da Zona Sul da Praia do Furadouro, Incluindo Reposição Dunar*. Planta de Implantação.

ARH Centro. (2010). *Defesa Longitudinal Aderente na Praia do Furadouro.* Perfil Tipo.

ARH Centro/Consulmar. (2010a). *Planta da Retenção e Perfis Tipo*. Projecto Base.

ARH Centro/Consulmar. (2010b). *Planta Geral da Defesa Longitudinal Integral*. Projecto de Execução.

Coelho, C. (2005). *Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para diferentes Intervenções de Defesa Costeira*. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal. 404 p.

Coelho. C, Silva. R, Veloso Gomes. F, Taveira Pinto. T.(2006). *Avaliação de Riscos. Modelos de previsão da evolução da configuração costeira*. 1ª Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente. FEUP, Porto.

Costa, M., Silva, R. e Vitorino, J. (2001). *Contribuição para o Estudo do Clima de Agitação Marítima na Costa Portuguesa.* In: 2as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Sines, Portugal, 17-19 Outubro, 20 p. Associação Internacional de Navegação (publicação em CD).

Dias, J. (1994). *Estudo Sintético de Diagnóstico da Geomorfologia e da Dinâmica Sedimentar dos Troços Costeiros entre Espinho e Nazaré.*

Duarte, S. (2099). *Projecto de um sistema de quebramares destacados para a frente marítima da foz do rio Douro no Porto.* Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP.

Piqueiro, F. (1998). *Fotografia aérea efectuada sobre o trecho de costa litoral atlântica de Vila do Conde*. FEUP, Porto.

Piqueiro, F. (2006). *Fotografia aérea efectuada sobre o trecho de costa litoral atlântica entre a foz do Cávado e Leirosa*. FEUP, Porto.

Green, C., Thompson, P., Coker, A., Tunstall, S., Richards C., Parker, D. (1992). The Economics of *Coastal Management: a Manual on Benefit Assessment Techniques*. Belhaven Press, London.

IHRH (1996). *Intervenção de emergência na marginal do Mindelo*. Parecer enviado ao Director Regional do Ambiente e INAG. Porto.

IHRH (1998). *Erosões na zona de Mindelo*. Parecer enviado ao INAG. Porto.

IHRH/FEUP. (1993). *Plano de Aproveitamento da Zona entre o Molhe Sul e a Ponte-Cais nº3*. Estudos de Agitação no Porto de Leixões, Vol. 1.

INAG/CEHIDRO. (1999a). *Carta de Risco do Litoral*, versão digital (CD-ROM) – Trecho *Caminha - Foz do Douro*, 1ªEdição.

INAG/CEHIDRO. (1999b). *Carta de Risco do Litoral*, versão digital (CD-ROM) – Trecho *Foz do Douro - Nazaré,* 1ªEdição.

INAG. (2000). *Plano de Ordenamento da Orla Costeira Ovar-Marinha Grande*. Plano de Praia do Furadouro.

INAG. (2000). *Plano de Ordenamento da Orla Costeira Ovar-Marinha Grande*. Plano de Praia da Torreira.

INAG. (2007). *Plano de Acção para o Litoral 2007-2013*. Ponto de situação a 31 de Agosto de 2009.

INAG. *Intervenções na Orla Costeira*, (http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/obras/int_o_costeira_01.html). 2 de Março de 2011.

INAG/DHVFBO. (2006). *Alteração ao POOC Caminha – Espinho*, Fase 5, Vol.1

Irmãos Cavaco, S.A./INAG. (2009). D*efesa aderente de Esmoriz, Cortegaça e Furadouro. Levantamento Topográfico.* Situação inicial, 3 de Setembro de 2009.

Irmãos Cavaco, S.A./INAG. (2010). D*efesa aderente de Esmoriz, Cortegaça e Furadouro. Levantamento Topográfico.* Situação final, Março de 2010.

Pereira, G. (2008). *Projecto de um Quebramar Destacado de Protecção para a Frente Marítima de Espinho*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP.

Philips, M., Jones, A. (2006). *Erosion and Tourism Infrastructure in the Coastal Zone: Problems, Consequences and Management*. Tourism Management 27, pp. 517–524.

Silvester, R., Hsu, J.R.C., (1997). *Coastal Stabilization*. World Scientific.

Taveira Pinto, F. A. (2001). *Análise das Oscilações e dos Campos de Velocidades nas Proximidades de Quebramares Submersos Sob a acção da Agitação Marítima.* Dissertação de Doutoramento, FEUP.

Taveira Pinto, F. (2007). *Análise da Concepção e Dimensionamento Hidráulico-Estrutural de Quebramares Destacados*. Lição de Síntese, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Taveira Pinto, F. (2010a). *Análise da Concepção e Dimensionamento Hidráulico-Estrutural de Quebramares Destacados*. Lição de Síntese, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Taveira Pinto, F. (2010b). *Quebramares de Taludes*. (elementos de apoio à docência da disciplina de Trabalhos Marítimos 1). FEUP, Porto.

Veloso Gomes, F., Taveira Pinto, F., das Neves, L., Pais Barbosa, J. (2006). *EUrosion: Pilot site of River Douro – Cape Mondego and case studies of Estela, Aveiro, Caparica, Vale de Lobo and Azores*. IHRH/ FEUP, Porto.

Veloso Gomes, F., Taveira Pinto, F., Coelho, C., Fátima Alves, M., das Neves, L. (2007a). *Estudos Temáticos Sobre Riscos Relacionados com o Interface Terra/Mar*, IHRH, Porto.

Veloso Gomes, F. (2007b). *Algumas Reflexões sobre a Problemática das Obras de Protecção Costeira*. Apontamentos da disciplina de Protecção Costeira, FEUP.

Veloso Gomes, F. (2010a), *Intervenções e estruturas de defesa costeira* (elementos de apoio à docência da disciplina de Trabalhos Marítimos 1). FEUP, Porto.

Veloso Gomes, F. (2010b). *Agitação marítima* (elementos de apoio à docência da disciplina de Trabalhos Marítimos 1). FEUP, Porto.

Veloso Gomes, F. (2010c). Situação crítica na marginal a norte do esporão norte da praia do Furadouro. Protocolo FEUP/INAG, Porto.

Santos da Costa, G. (2009). *Modelação de Quebramares Destacados*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP.

Sousa, F. (2010). *Reabilitação de Estrutura de Defesa Costeira entre a foz do rio Ave e a foz do rio Minho*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP.

Vidal, A. (2009). *Metodologia de Avaliação de Quantidades de Trabalho na Manutenção e Reparação de Estruturas de Defesa Costeira com Taludes.* Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP.

U.S. Army Corps of Engineers (2006). Fundamentals of design. In Coastal Engineering Manual - Coastal Geology, pp VI-5-1/VI-5-158, http://chl.erdc.usace.army.mil/cemtoc, Junho de 2011

U.S. Army Corps of Engineers (2006). Types and functions of coastal structures. In Coastal Engineering Manual - Coastal Geology, pp VI-2-1/VI-2-50, http://chl.erdc.usace.army.mil/cemtoc, Junho de 2011

Sítio da Internet (http://www.arhcentro.pt/website/ARH_do_Centro/Instituto/Notas_de_Imprensa/Interven%C3%A7%C3%A3o_na_Praia_do_Furadouro.aspx). 30 de Março de 2011.
Sítio da Internet (http://www.geo.snirh.pt/snirlit/site/consulta.php?ul=8&ulc=03). 8 de Abril 2011.

Sítio da Internet (http://www.geo.snirh.pt/snirlit/site/consulta.php?ul=13&ulc=06). 9 de Abril 2011.

ANEXO A

1. **INDICAÇÃO DOS LOCAIS DE MEDIÇÃO DE LARGURAS DE PRAIA E IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA**
2. **CORDÃO DUNAR DE MINDELO EM 2003**

1. INDICAÇÃO DOS LOCAIS DE MEDIÇÃO DE LARGURAS DE PRAIA E IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA

Figura A.1 - Identificação dos locais de medição de larguras de praia e a identificação das estruturas de Mindelo

Figura A.2 - Identificação dos locais de medição de larguras de praia e a identificação das estruturas de Furadouro

Figura A.3 - Identificação dos locais de medição de larguras de praia e a identificação das estruturas de Torreira

2. CORDÃO DUNAR DE MINDELO EM 2003

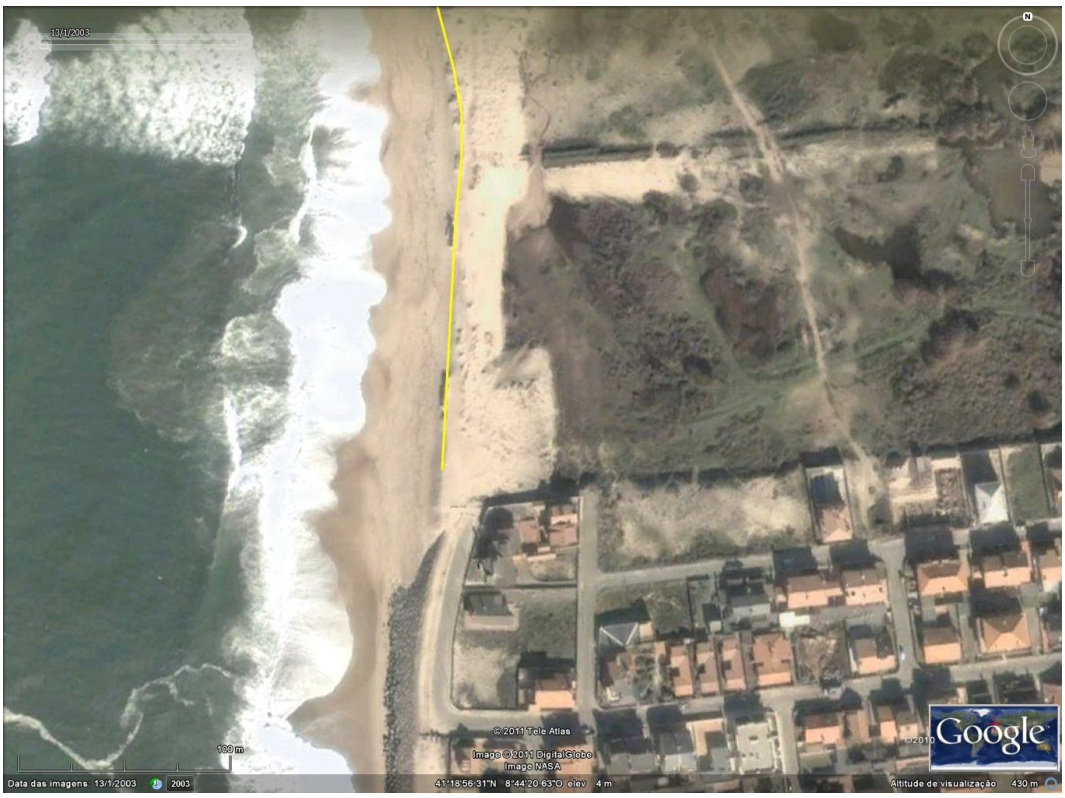


Figura A.4 – Cordão dunar de Mindelo em 2003

ANEXO B

1. **FOTOGRAFIAS LOCAIS DE MINDELO**
2. **FOTOGRAFIAS LOCAIS DO FURADOURO**
3. **FOTOGRAFIAS LOCAIS DA TORREIRA**

1. FOTOGRAFIAS LOCAIS DE MINDELO

Figura B.1 – Vista da praia a norte da Ponta da Gafa (02/03/11 – 16:30h)

Figura B.2 – Vista da praia a norte da Ponta da Gafa (30/05/11 – 11:30h)

Figura B.3 – vista de norte para sul da praia a norte da Ponta da Gafa (02/03/11 – 16:30h)

Figura B.4 – Sistema dunar artificial, a sul da Ponta da Gafa (02/03/11 – 16:30h)

2. FOTOGRAFIAS LOCAIS DO FURADOURO

Figura B.5 – Vista do areal da praia norte e do esporão norte (26/02/11 – 3 horas)

Figura B.6 - Vista do areal da praia norte e do esporão norte (25/04/11 – 16:30h)

Figura B.7 - Vista do areal da praia norte e do esporão norte (11/06/11 – 10h)

Figura B.8 – Zona da arriba de erosão, após os temporais (26/02/11 – 3 horas)

Figura B.9 - Zona da arriba de erosão, após os temporais (25/04/11 – 16:30h)

Figura B.10 - Zona da arriba de erosão, após os temporais (11/06/11 – 10h)

Figura B.11 – Praia a sul do esporão norte (26/02/11 – 3 horas)

Figura B.12 - Praia a sul do esporão norte (25/04/11 – 16:30h)

Figura B.13 - Praia a sul do esporão norte (11/06/11 – 10h)

3. FOTOGRAFIAS LOCAIS DA TORREIRA

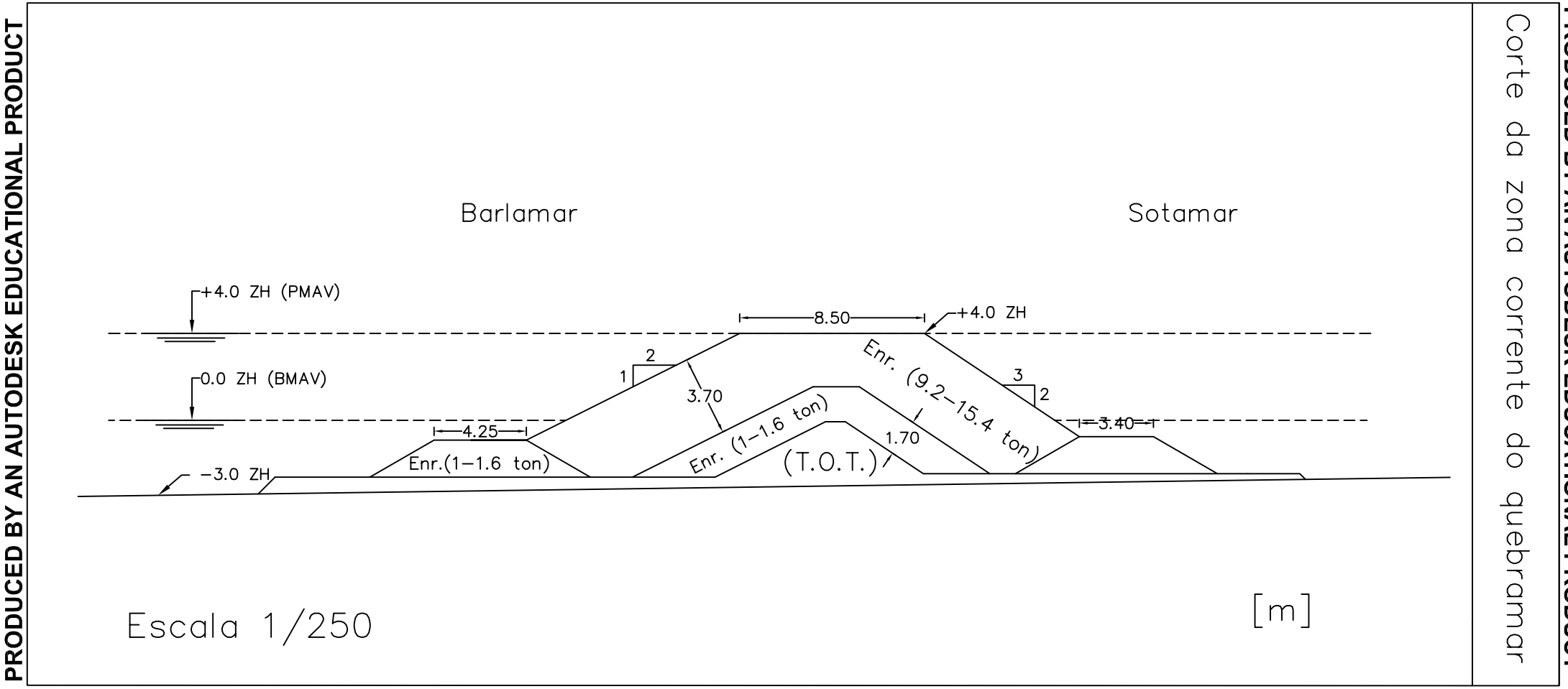
Figura B.14 – Vista da praia a norte do esporão (13/05/11 – 3h)

Figura B.15 – Vista da praia a sul do esporão (13/05/11 – 3h)

ANEXO C

1. **CORTE TRANSVERSAL DA ZONA CORRENTE DO QUEBRAMAR DESTACADO**
2. **CORTE TRANSVERSAL DA ZONA DA CABEÇA DO QUEBRAMAR DESTACADO**
3. **PLANTA COM SOLUÇÃO DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES**
4. **PLANTA COM SOLUÇÃO DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS**

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Corte da zona corrente do quebramar

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

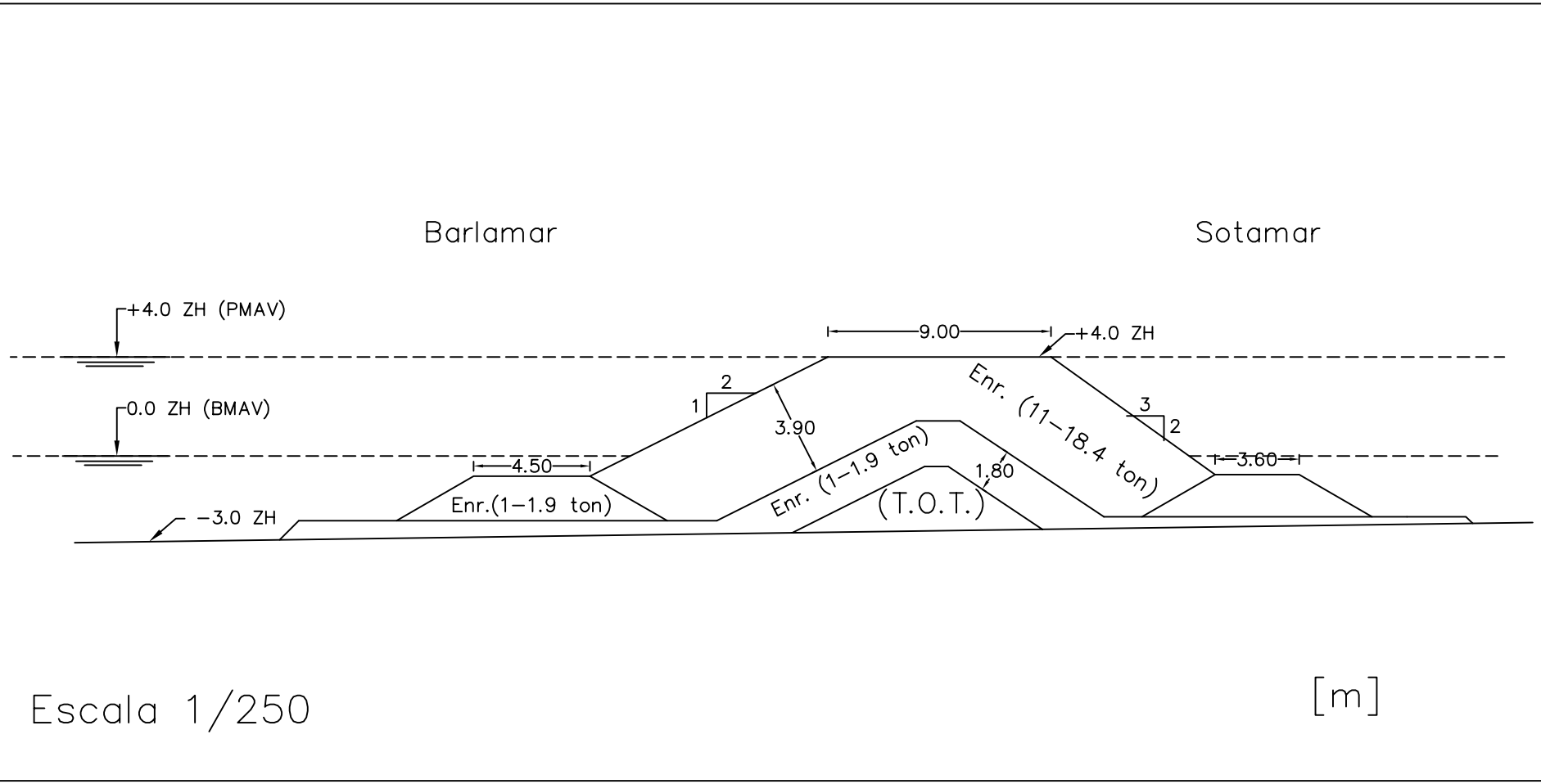
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Corte da zona da cabeça do quebramar

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Escala 1/5500

Escala 1/5500

ANEXO D

SIMULAÇÕES NUMÉRICAS COM O MODELO MOPLA (AGITAÇÃO IRREGULAR, EVENTOS DE 12H E Z_C=+4.0 ZH)

1. BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA EXISTENTES

1.1. Amplitude maré de 4 metros; Hs=1.5 m; Tp=10 s; N45°W (+/- 20°)

1.2 Amplitude maré de 4 metros; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; N45°W (+/- 20°) [já referida no capítulo 7]

1.3. Amplitude maré de 4 metros; Hs=3 m; Tp=12 s; N45°W (+/- 20°)

1.4. Amplitude maré de 4 metros; Hs=5 m; Tp=13 s; N45°W (+/- 20°)

1.5. Amplitude maré de 4 metros; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; W (+/- 20°)

1.6. Amplitude maré de 4 metros; Hs=5 m; Tp=13 s; W (+/- 20°)

2. SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

2.1. Amplitude maré de 4 metros; Hs=1.5 m; Tp=10 s; N45°W (+/- 20°)

2.2 Amplitude maré de 4 metros; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; N45°W (+/- 20°) [já referida no capítulo 7]

2.3. Amplitude maré de 4 metros; Hs=3 m; Tp=12 s; N45°W (+/- 20°)

2.4. Amplitude maré de 4 metros; Hs=5 m; Tp=13 s; N45°W (+/- 20°)

2.5. Amplitude maré de 4 metros; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; W (+/- 20°)

2.6. Amplitude maré de 4 metros; Hs=5 m; Tp=13 s; W (+/- 20°)

3. SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

3.1. Amplitude maré de 4 metros; Hs=1.5 m; Tp=10 s; N45°W (+/- 20°)

3.2 Amplitude maré de 4 metros; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; N45°W (+/- 20°) [já referida no capítulo 7]

3.3. Amplitude maré de 4 metros; Hs=3 m; Tp=12 s; N45°W (+/- 20°)

3.4. Amplitude maré de 4 metros; Hs=5 m; Tp=13 s; N45°W (+/- 20°)

3.5. Amplitude maré de 4 metros; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; W (+/- 20°)

3.6. Amplitude maré de 4 metros; Hs=5 m; Tp=13 s; W (+/- 20°)

4. PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

4.1. Amplitude maré de 4 metros; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; N45°W (+/- 20°)

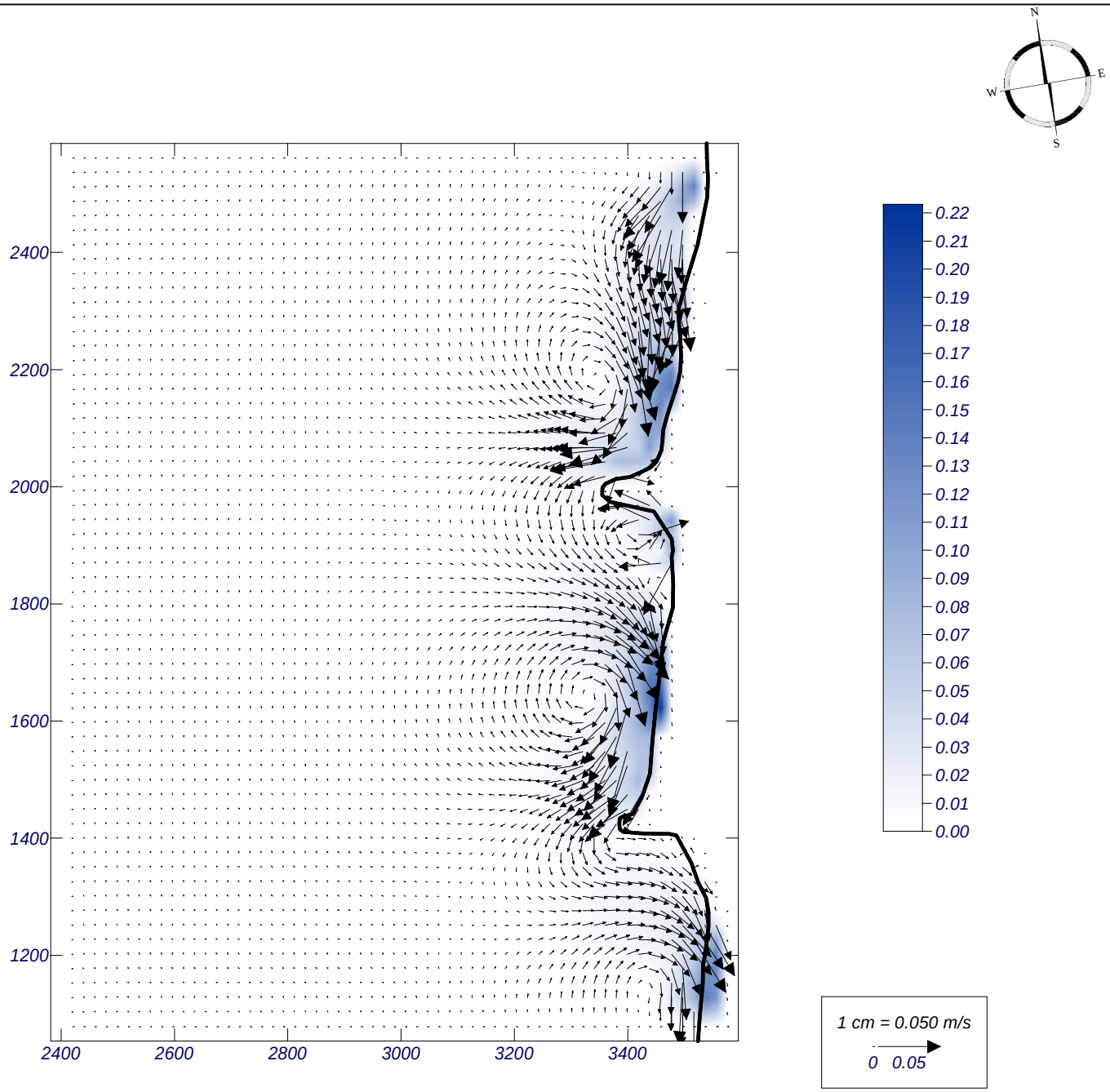
4.2. Amplitude maré de 4 metros; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; W (+/- 20°)

1.1 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Current vectors

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

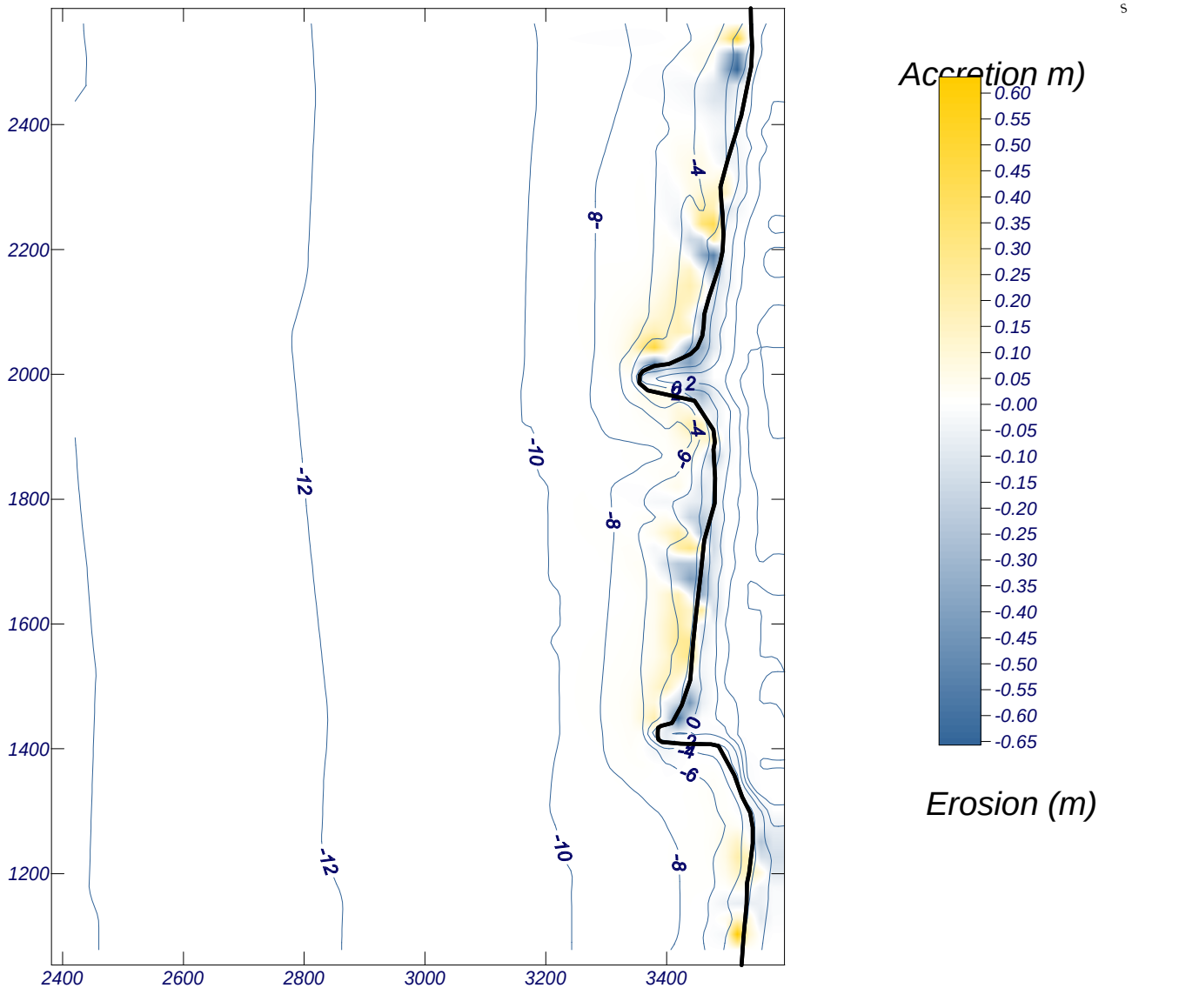
Programa desarrollado por

1.1 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

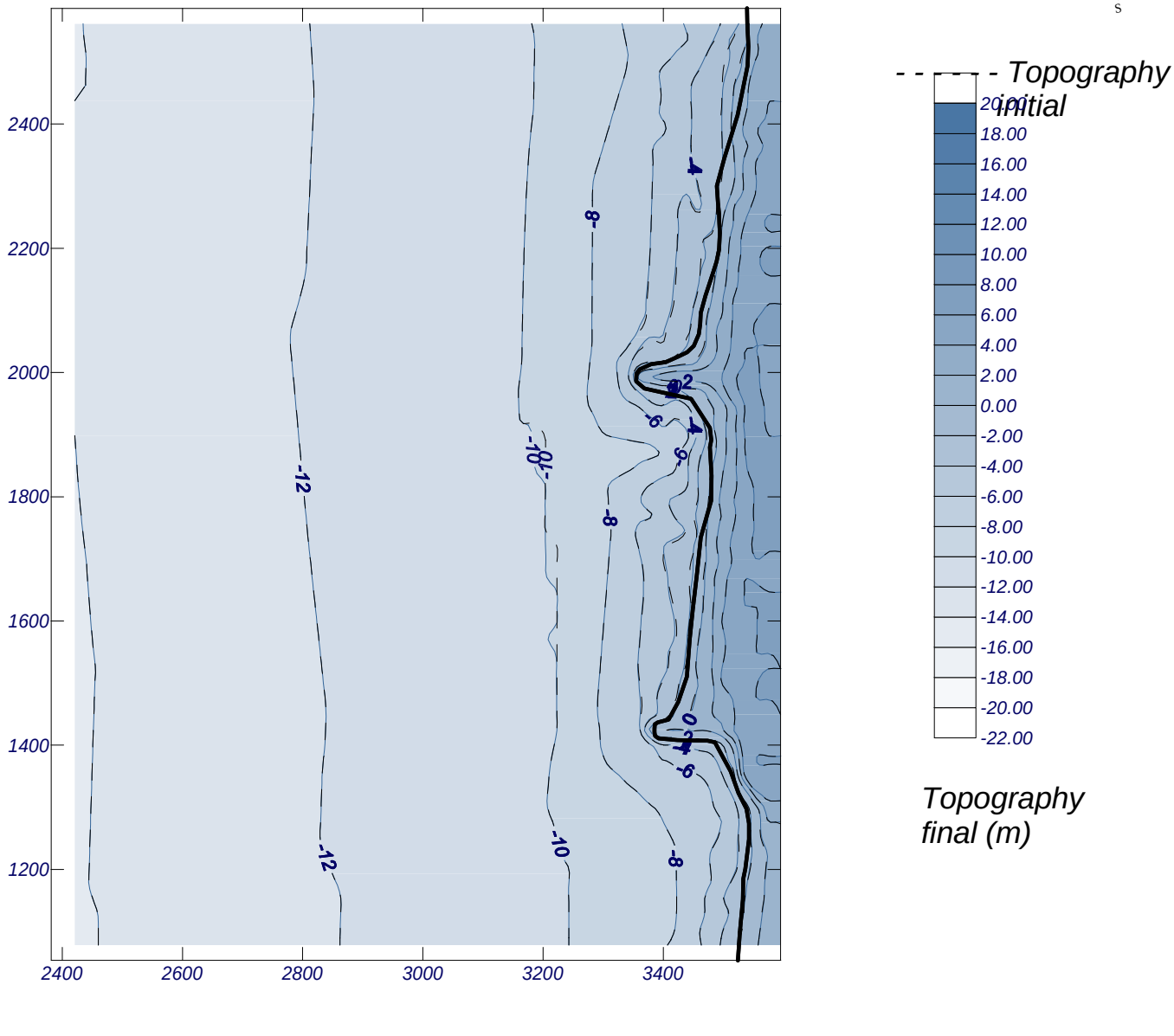
Programa desarrollado por

1.1 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby

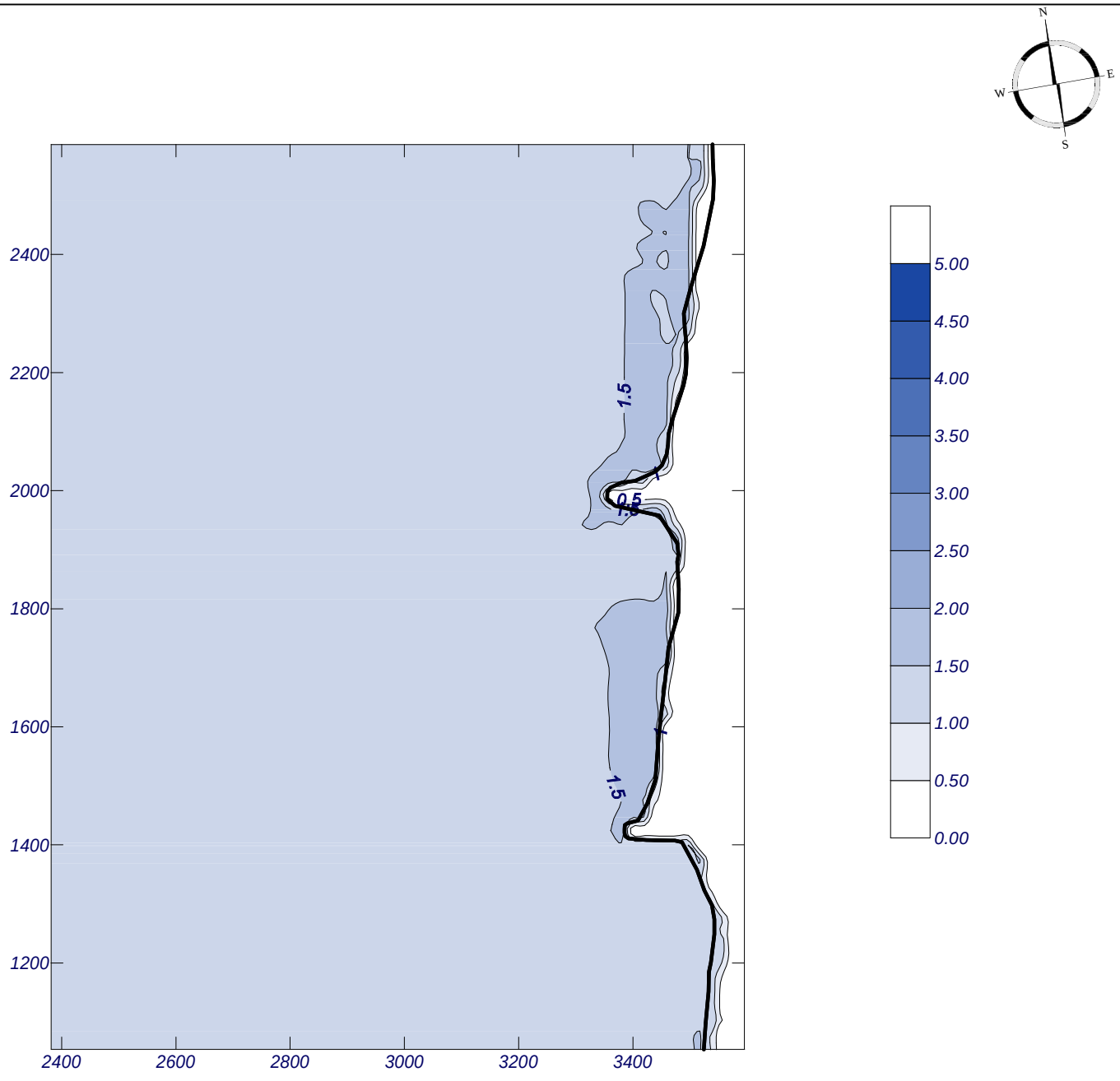


1.1 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Significant wave height

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP **Frequency spectrum (TMA)** Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

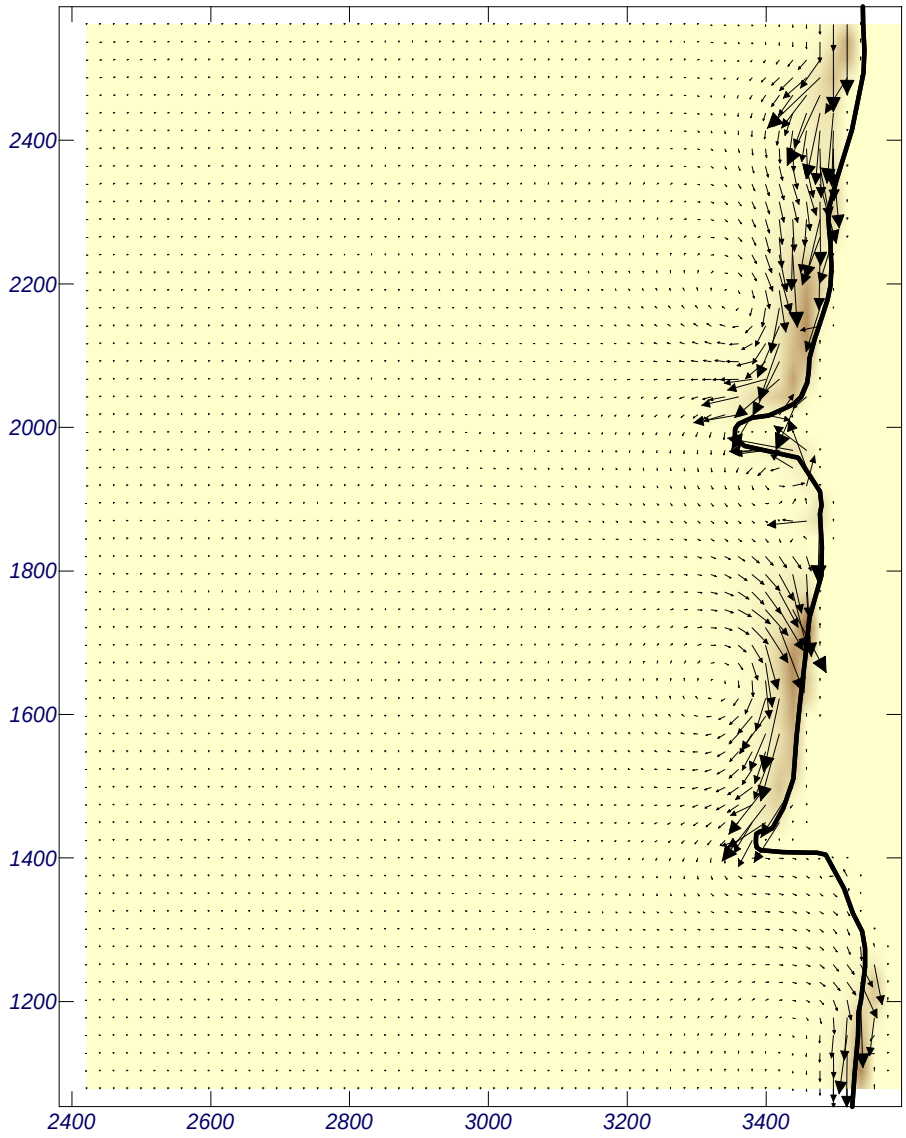
Programa desarrollado por

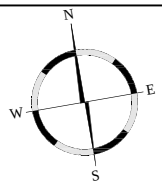
1.1 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

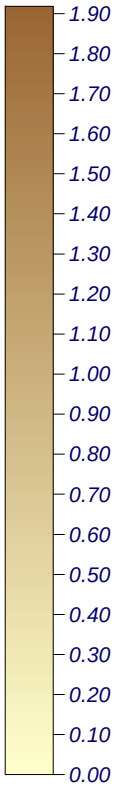
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 0.410 m^3/h/m.l.
0 0.41

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

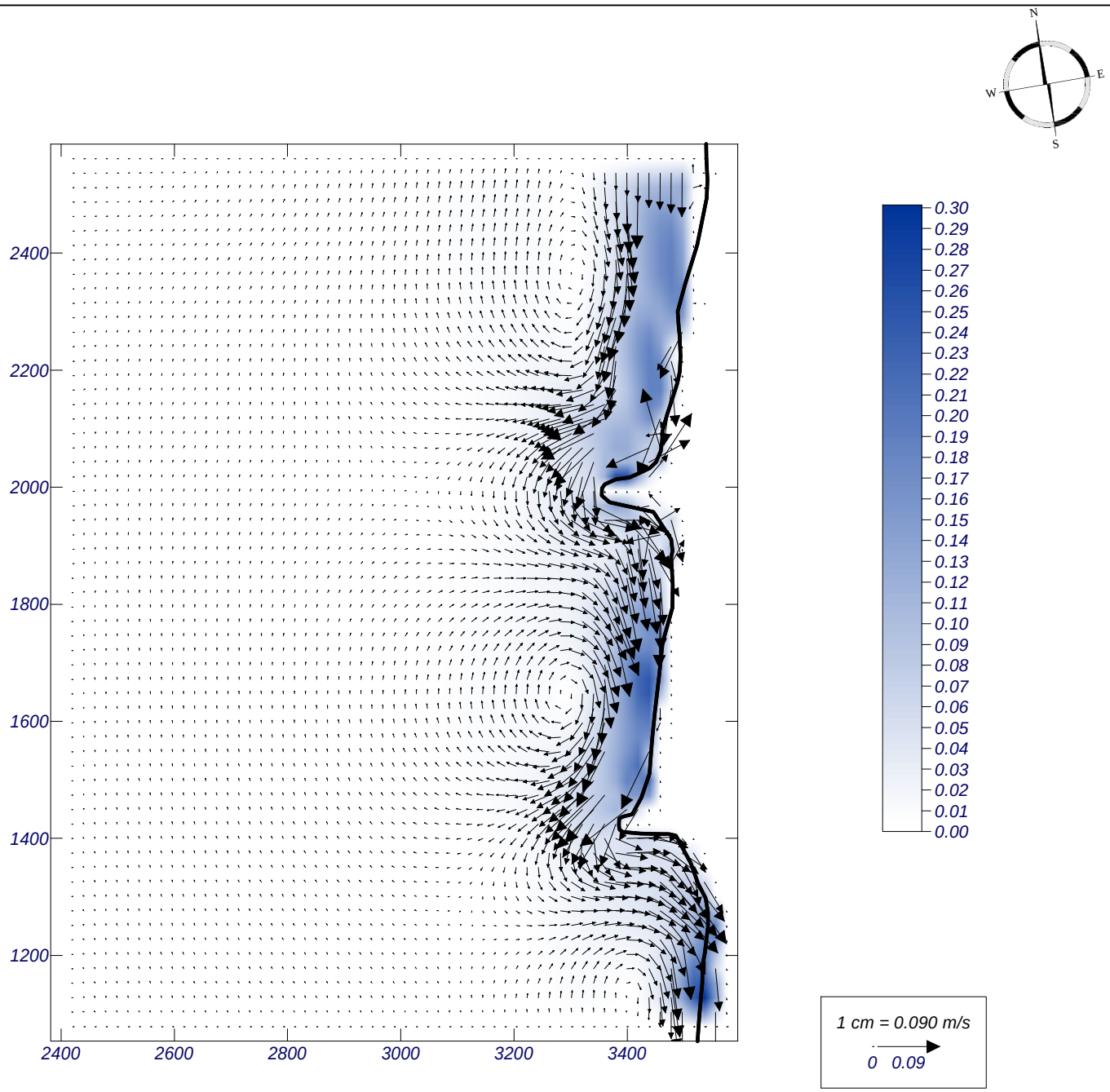
Programa desarrollado por

1.3 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Current vectors

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

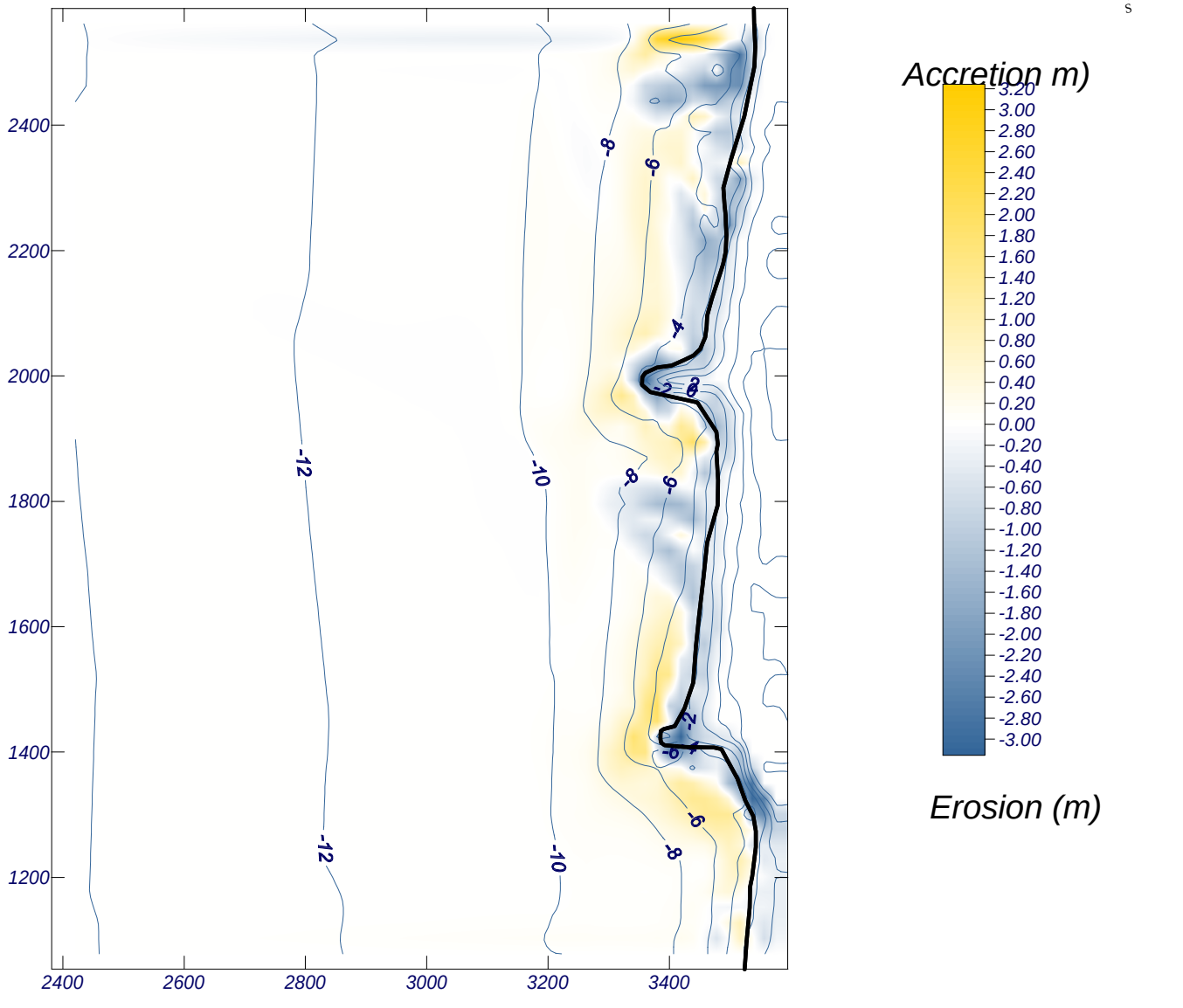
Programa desarrollado por

1.3 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

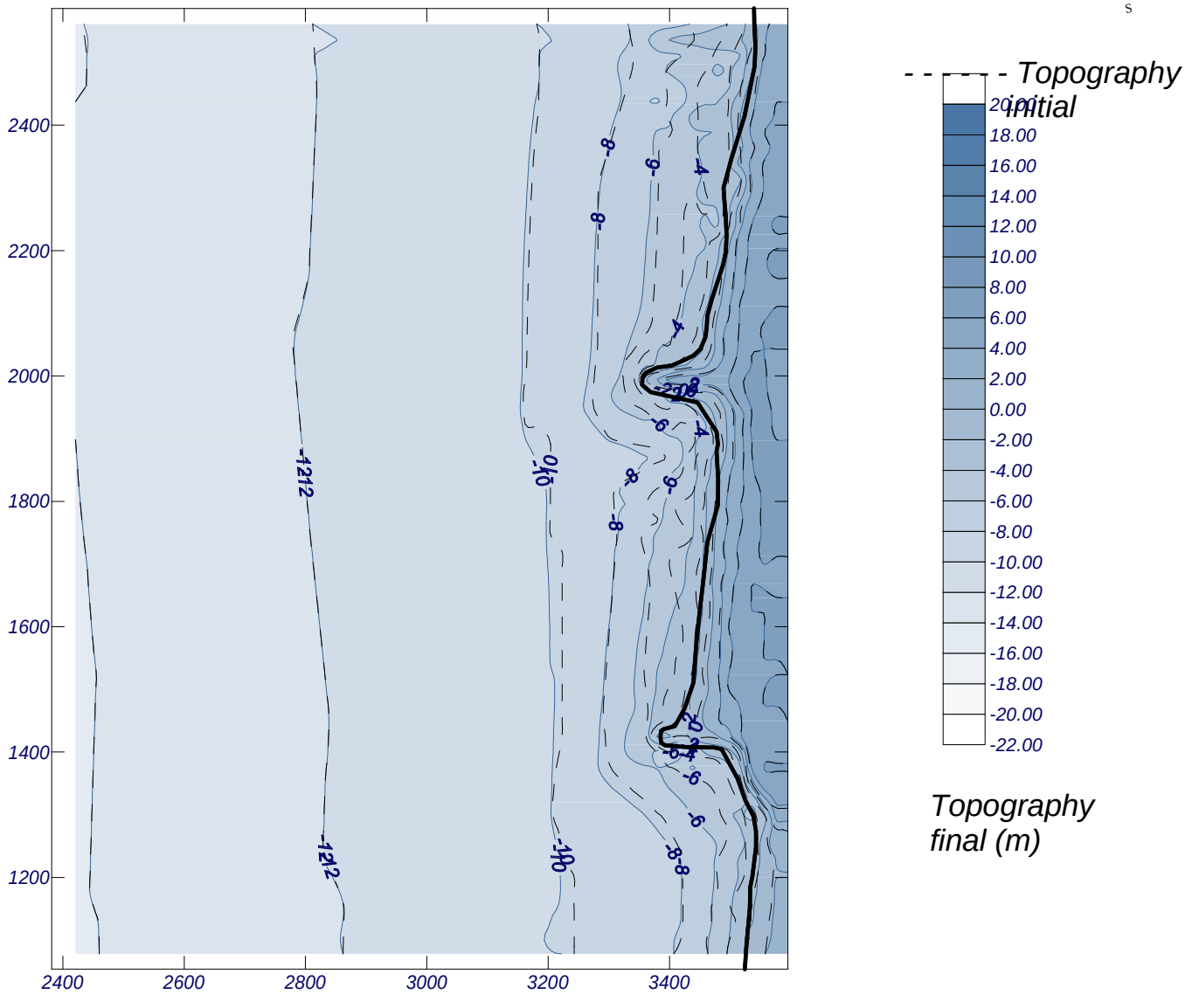
Programa desarrollado por

1.3 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

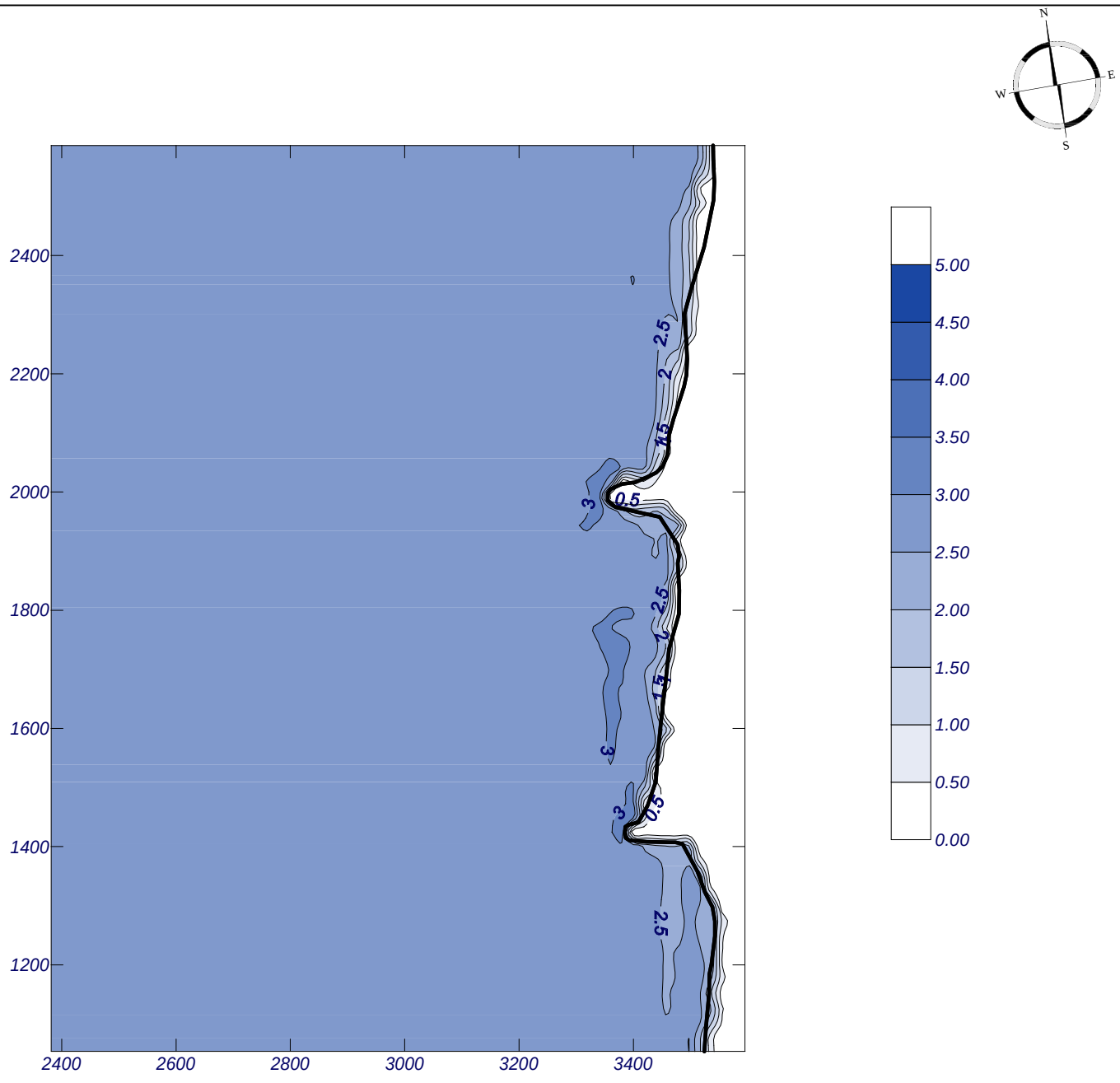
Programa desarrollado por

1.3 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Significant wave height

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

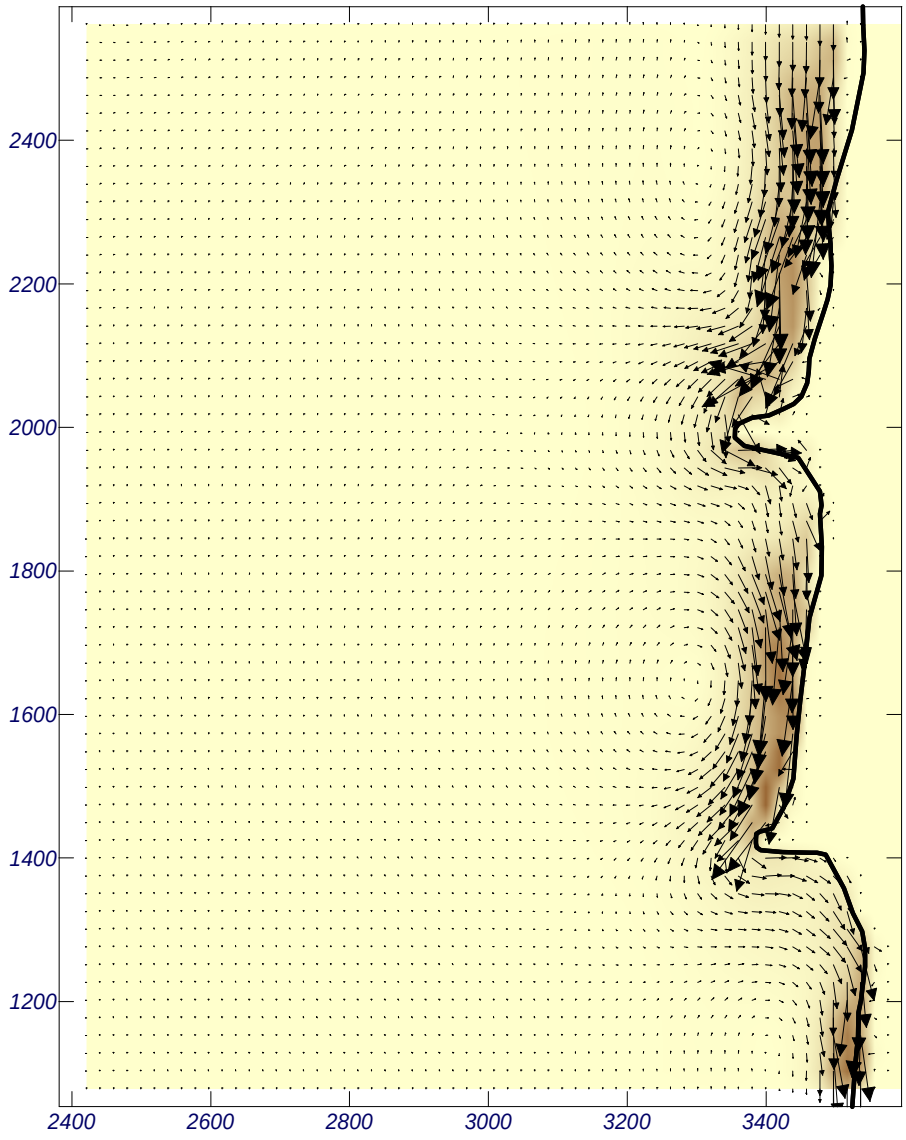
1.3 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

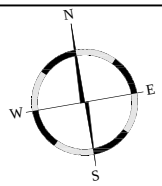
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

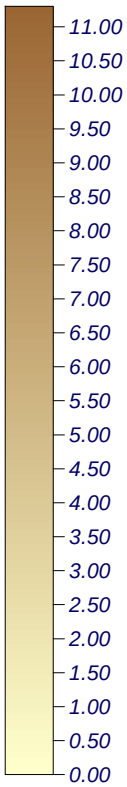
Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m³/hour/m.l.)

1 cm = 7.130 m³/h/m.l.
0 7.13

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

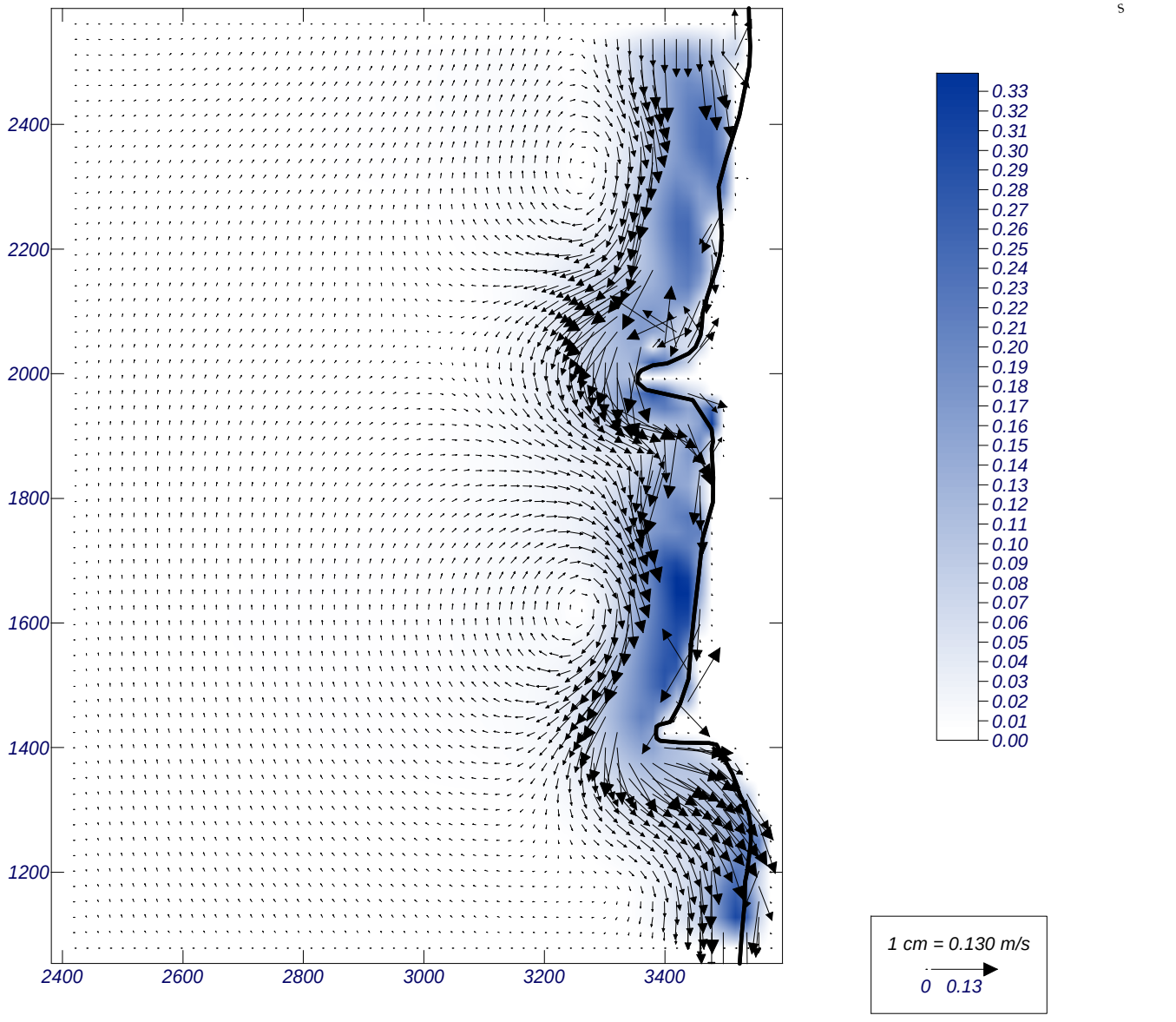
Programa desarrollado por

1.4 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Current vectors

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

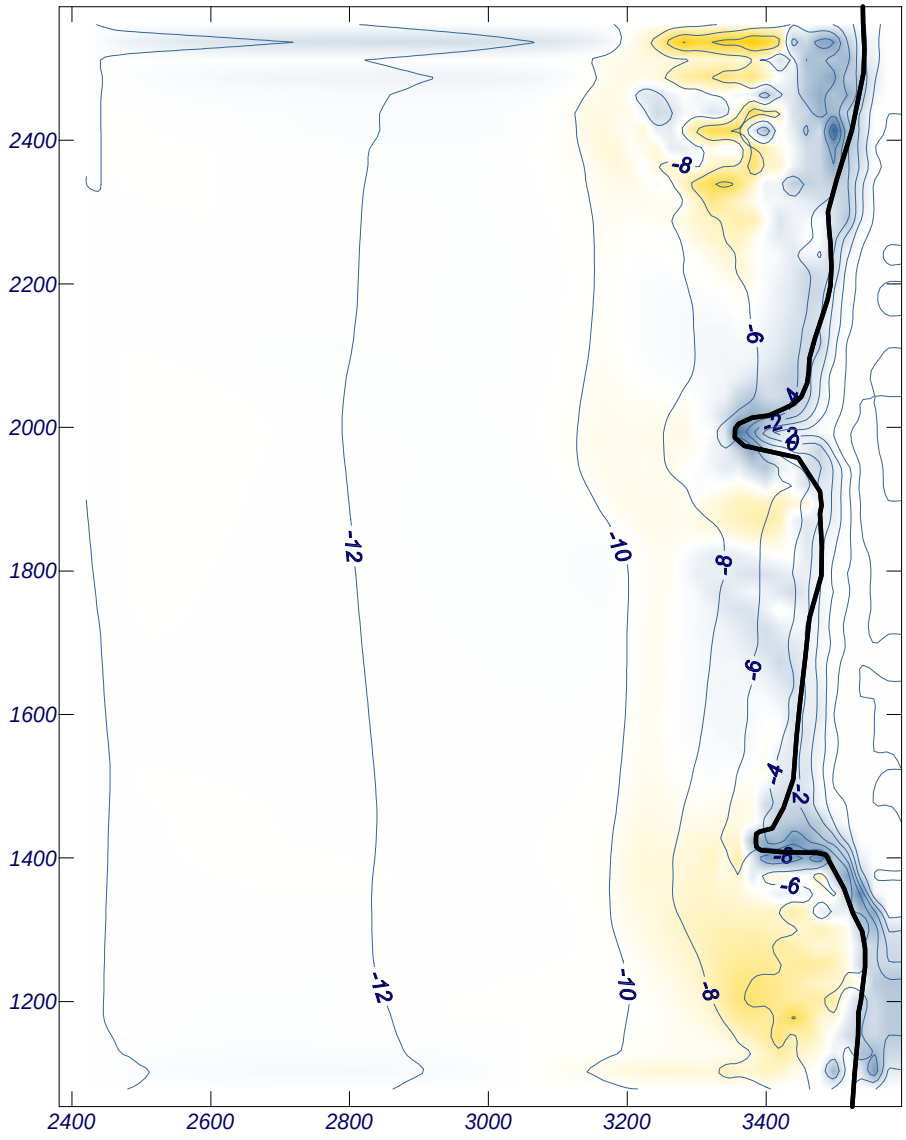
Programa desarrollado por

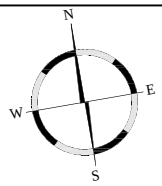
1.4 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby





Accretion m)

5.00
4.50
4.00
3.50
3.00
2.50
2.00
1.50
1.00
0.50
0.00
-0.50
-1.00
-1.50
-2.00
-2.50
-3.00
-3.50
-4.00
-4.50
-5.00
-5.50
-6.00
-6.50
-7.00
-7.50

Erosion (m)

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

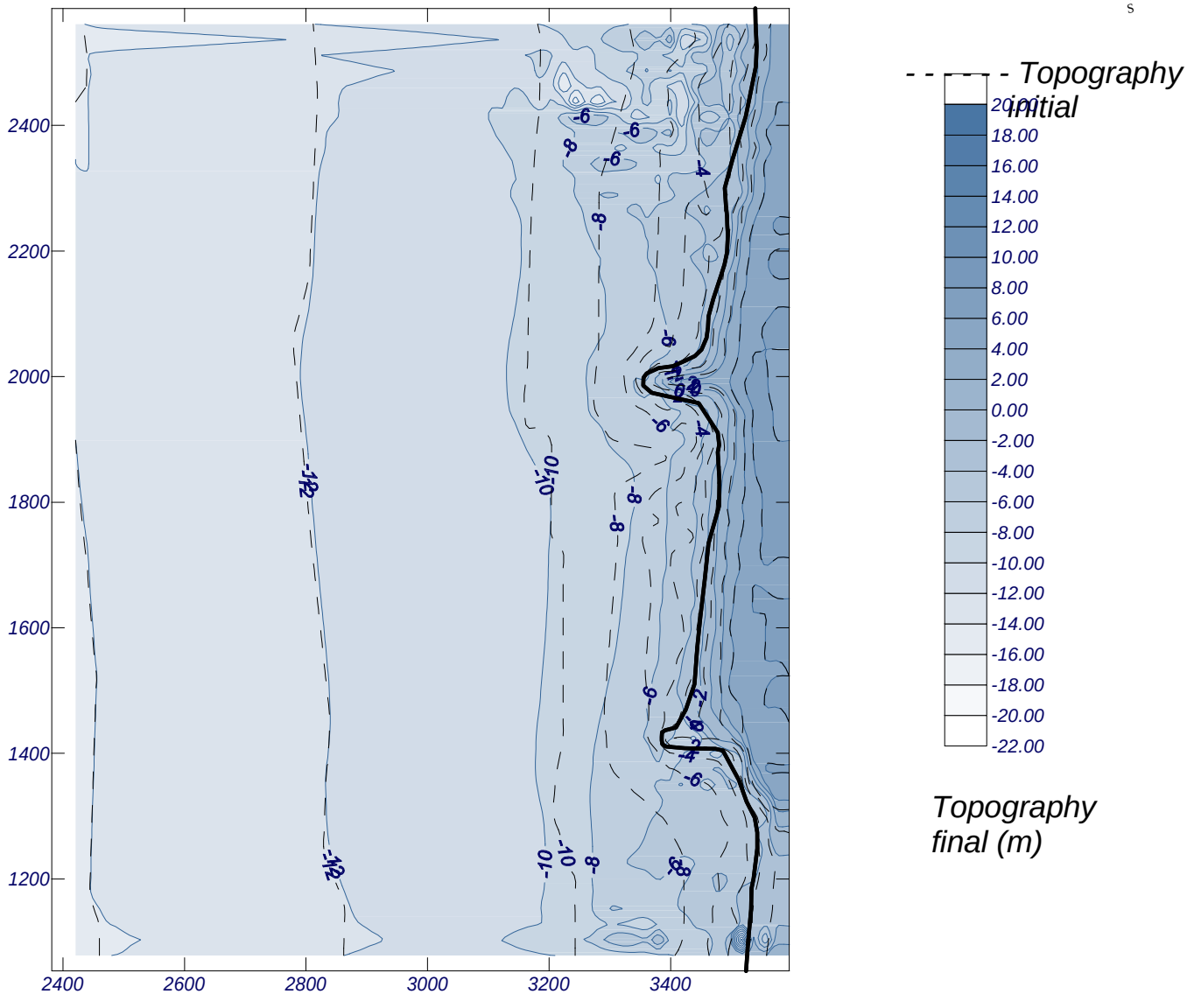
Programa desarrollado por

1.4 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby

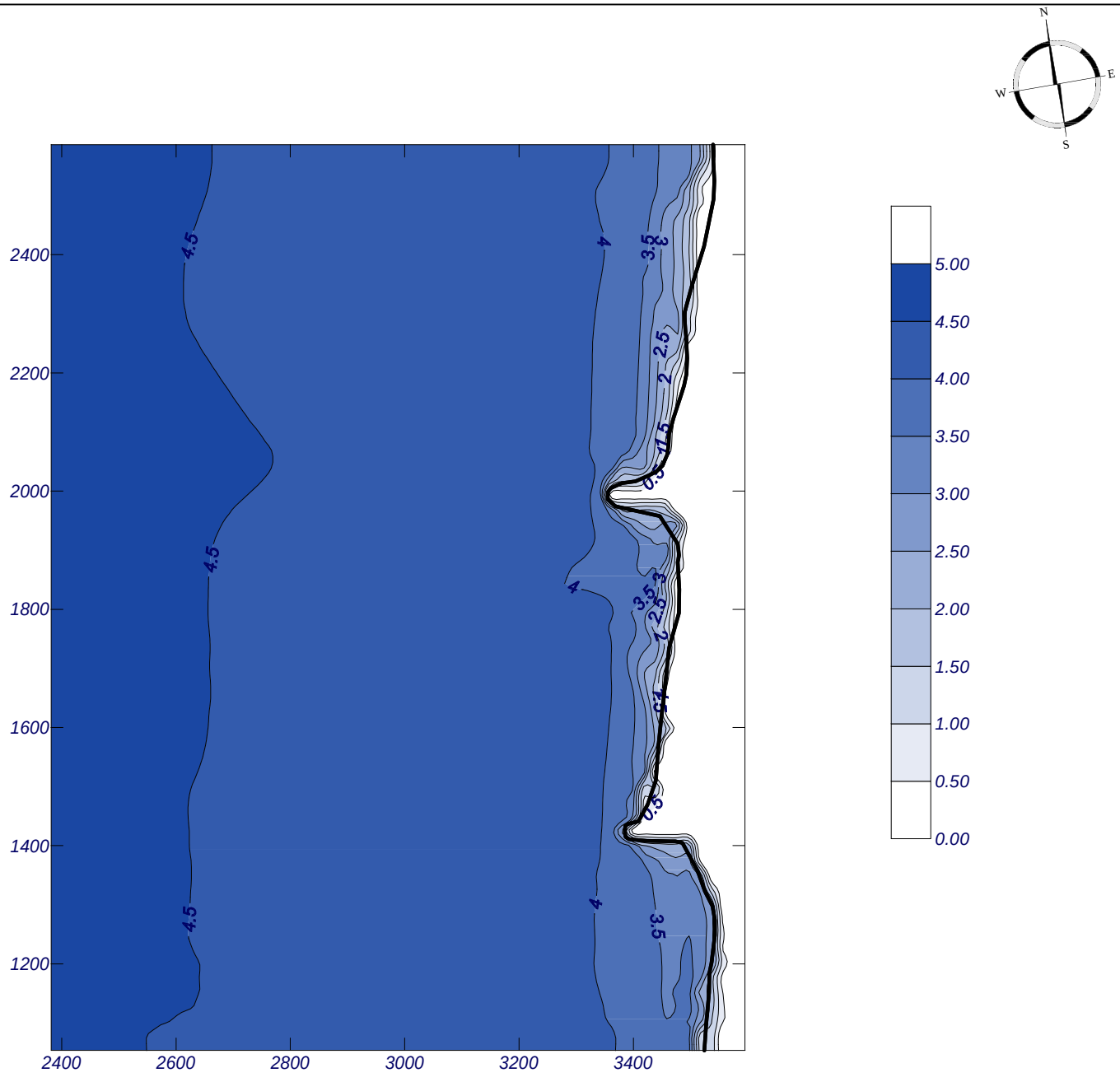


1.4 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Significant wave height

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

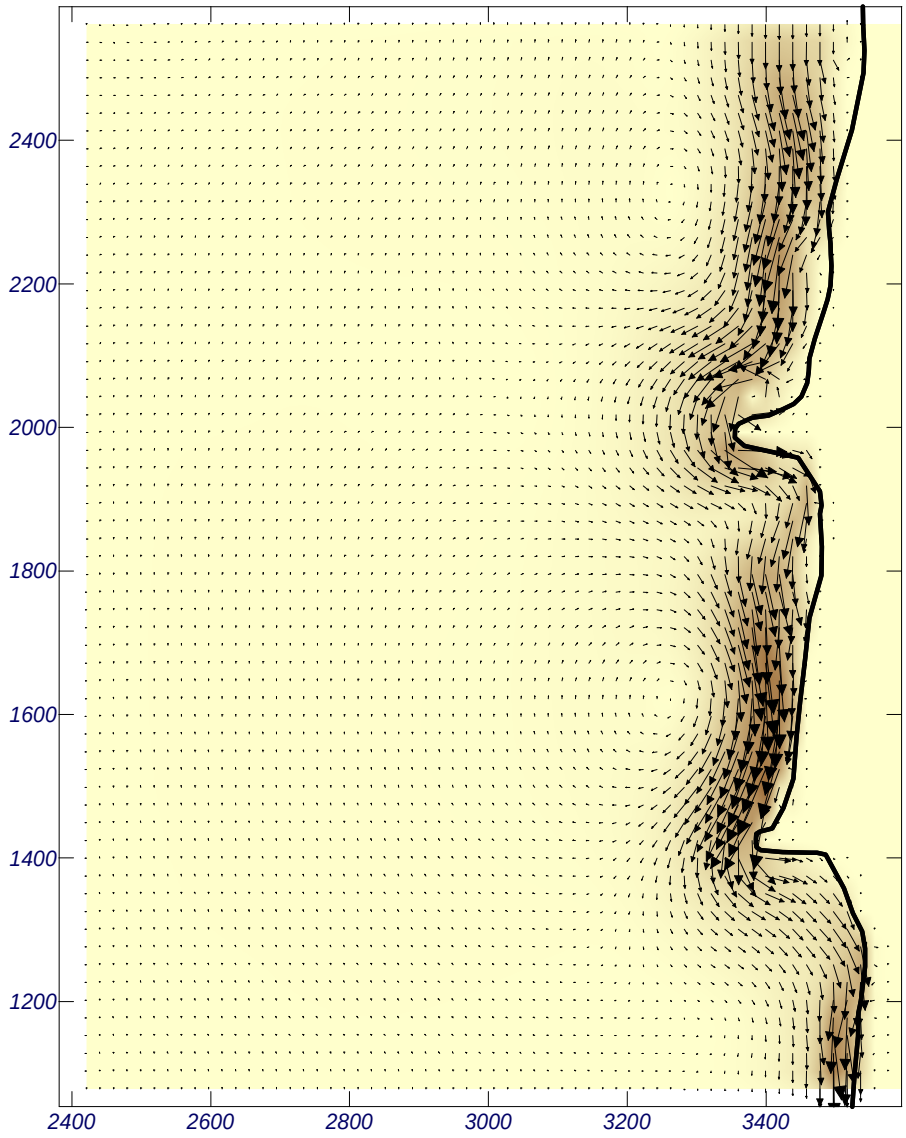
Programa desarrollado por

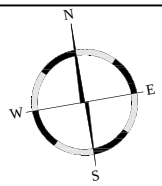
1.4 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

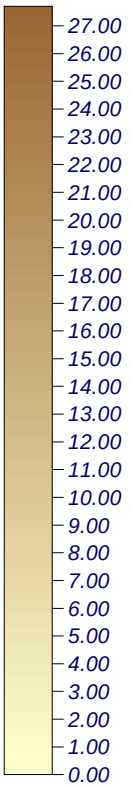
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 26.620 m^3/h/m.l.
0 26.62

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

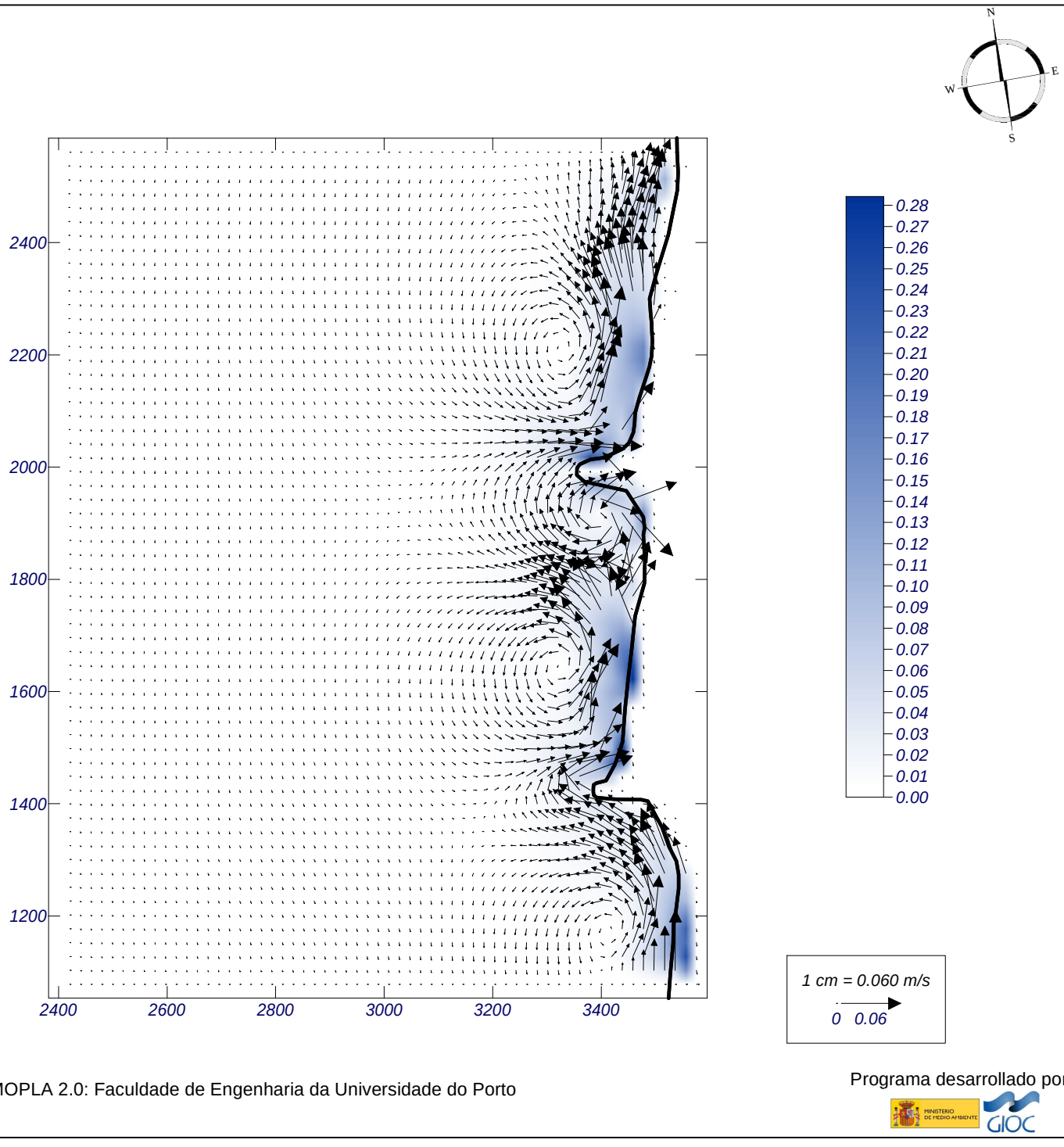
Programa desarrollado por

1.5 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Current vectors

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

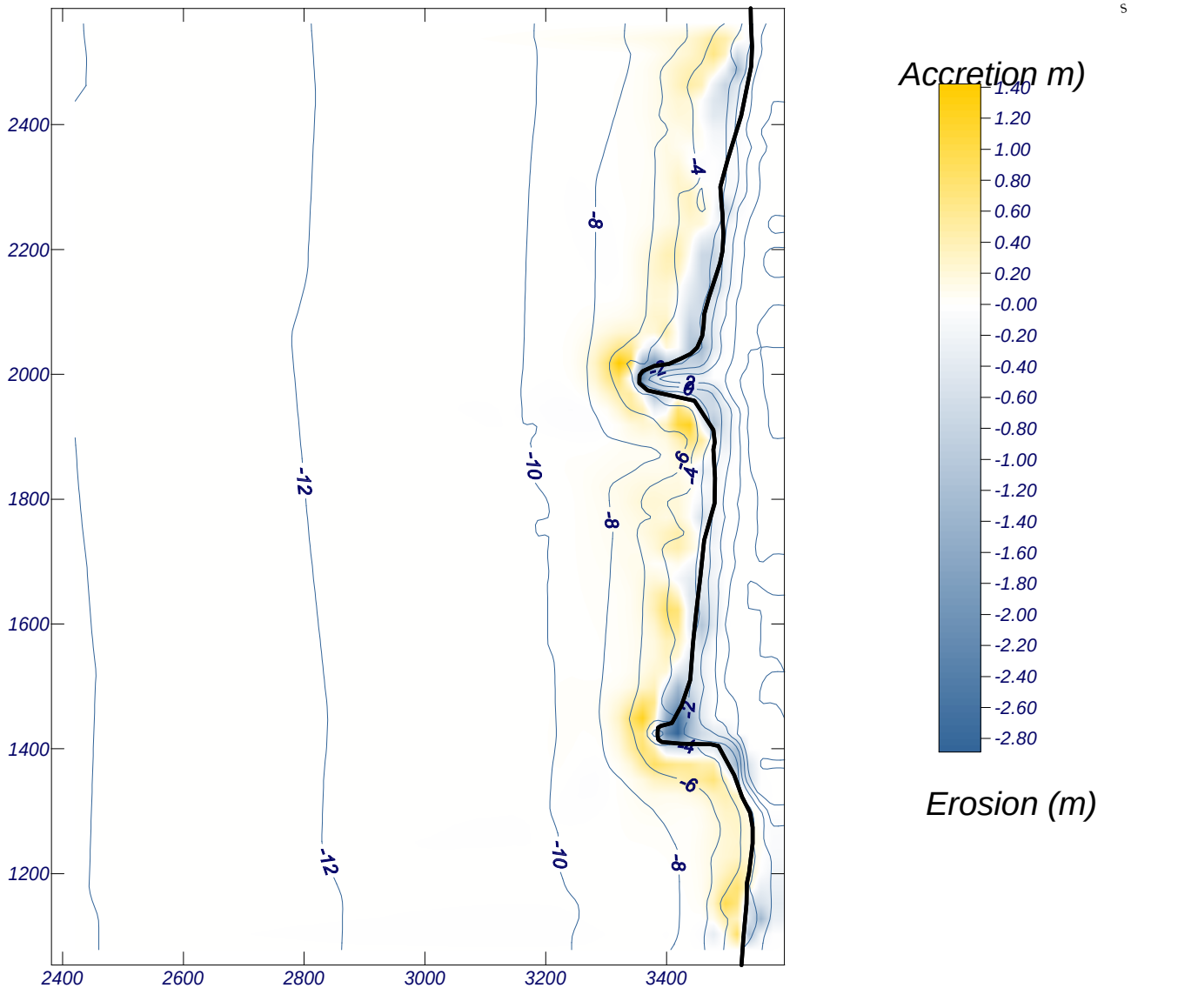
Programa desarrollado por

1.5 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

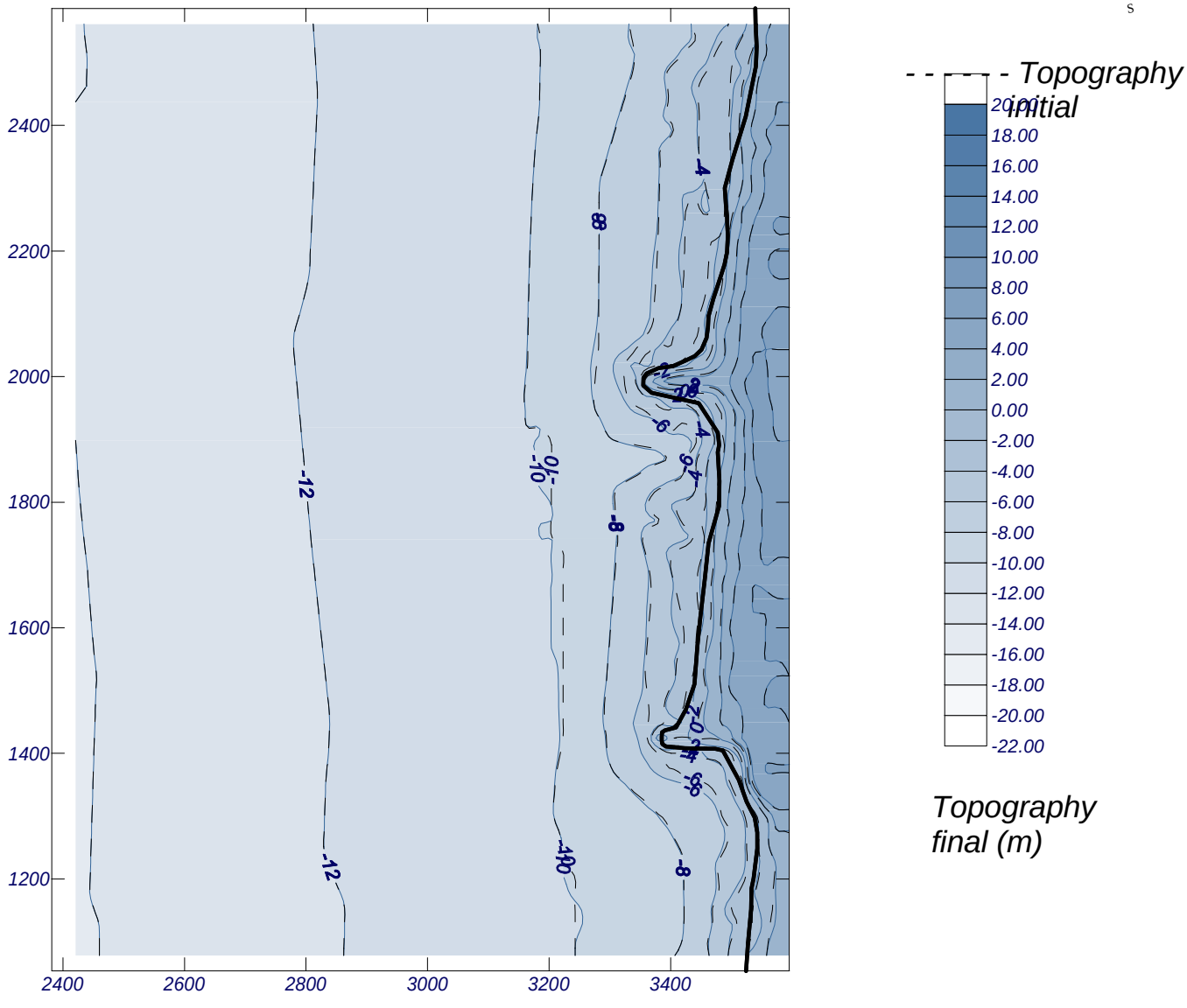
Programa desarrollado por

1.5 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby

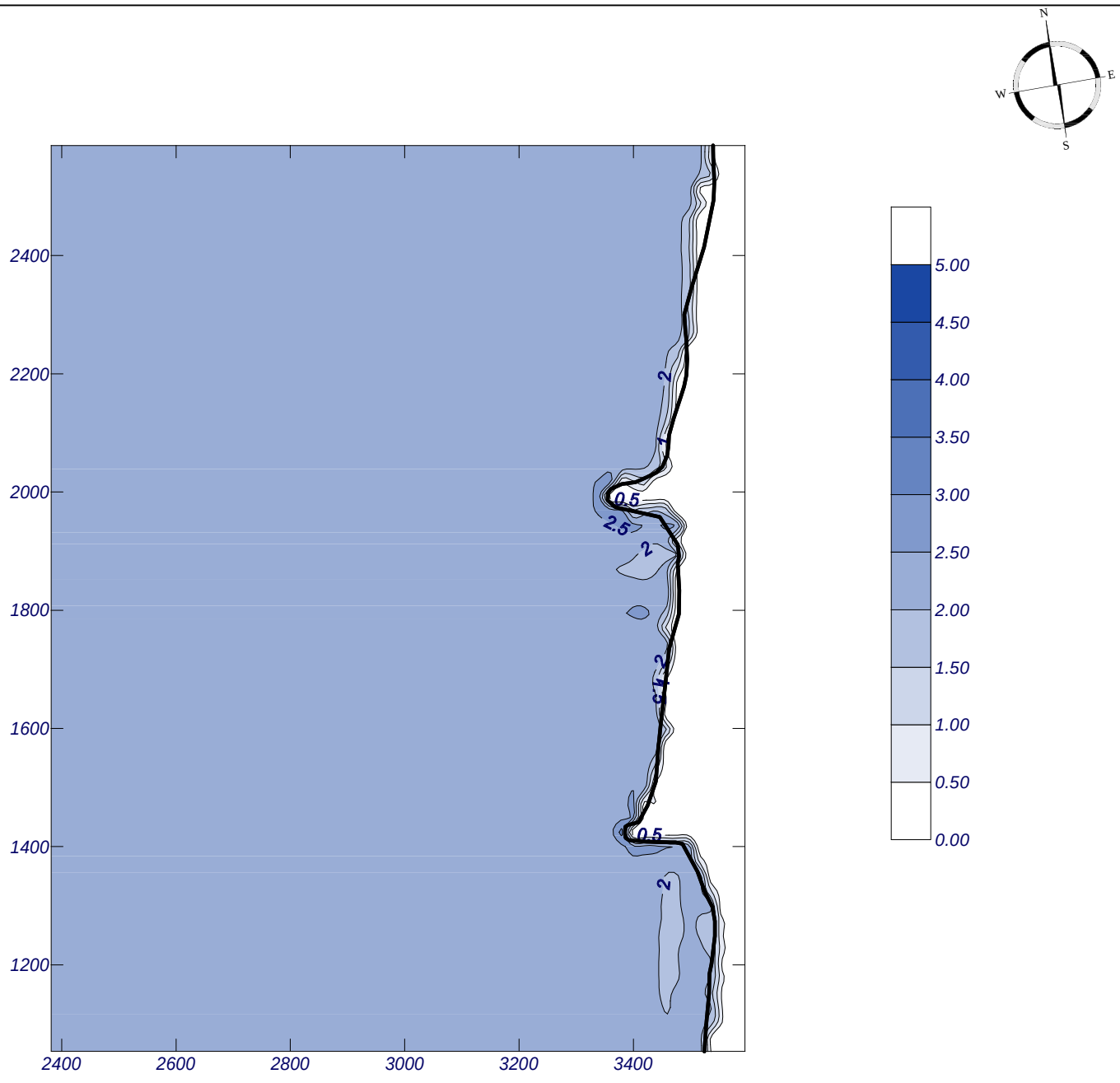


1.5 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Significant wave height

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		

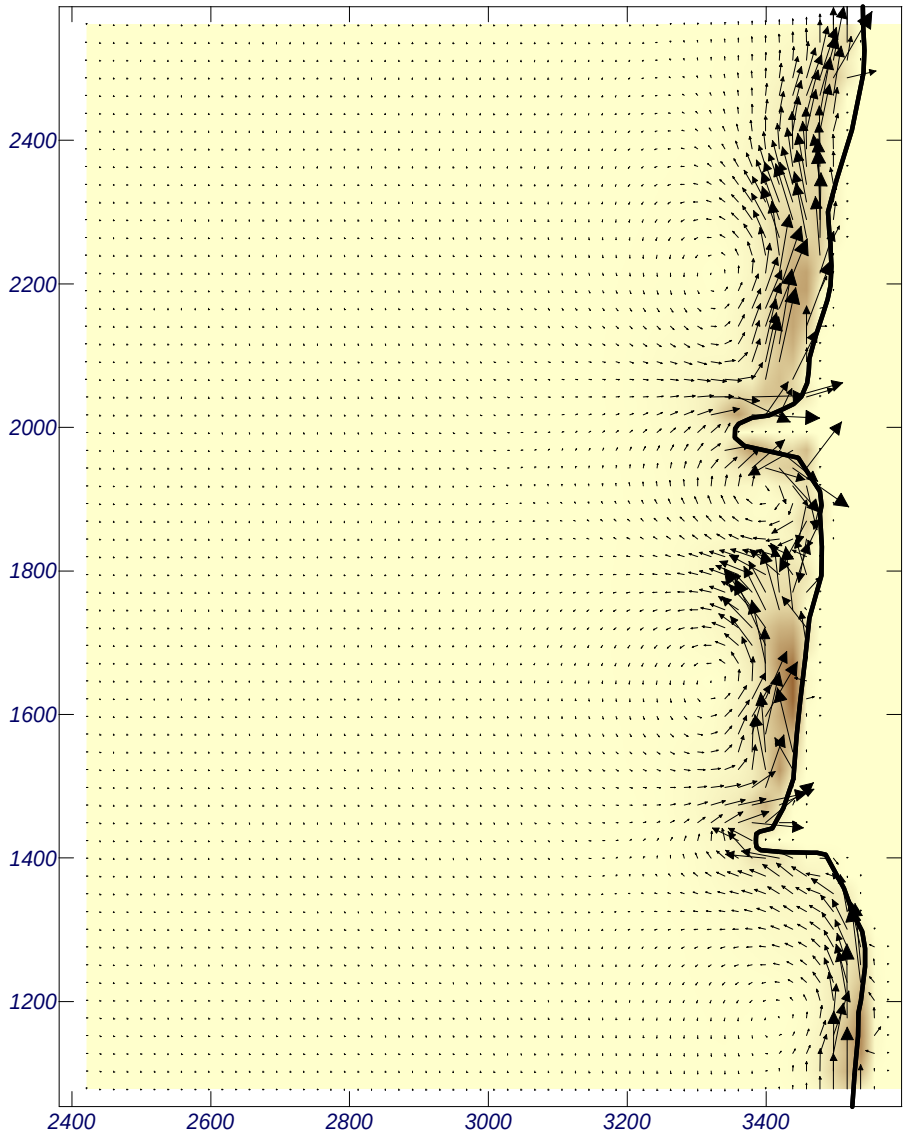


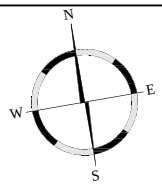
1.5 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

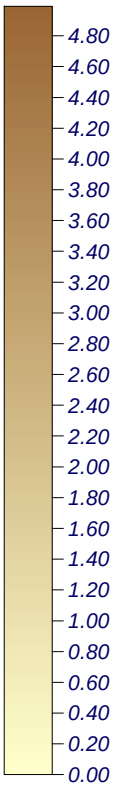
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 1.950 m^3/h/m.l.
0 1.95

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

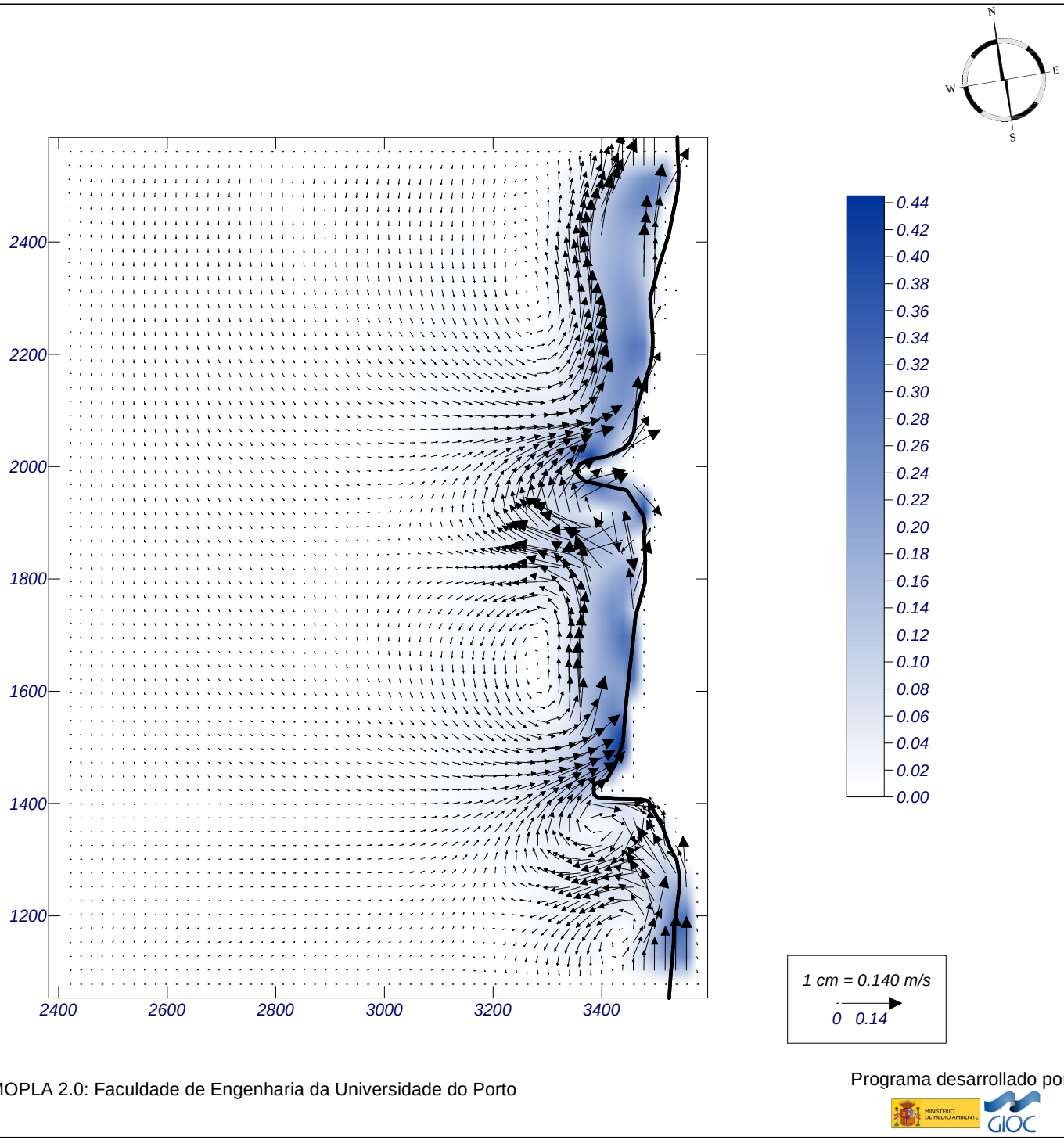
Programa desarrollado por

1.6 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Current vectors

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

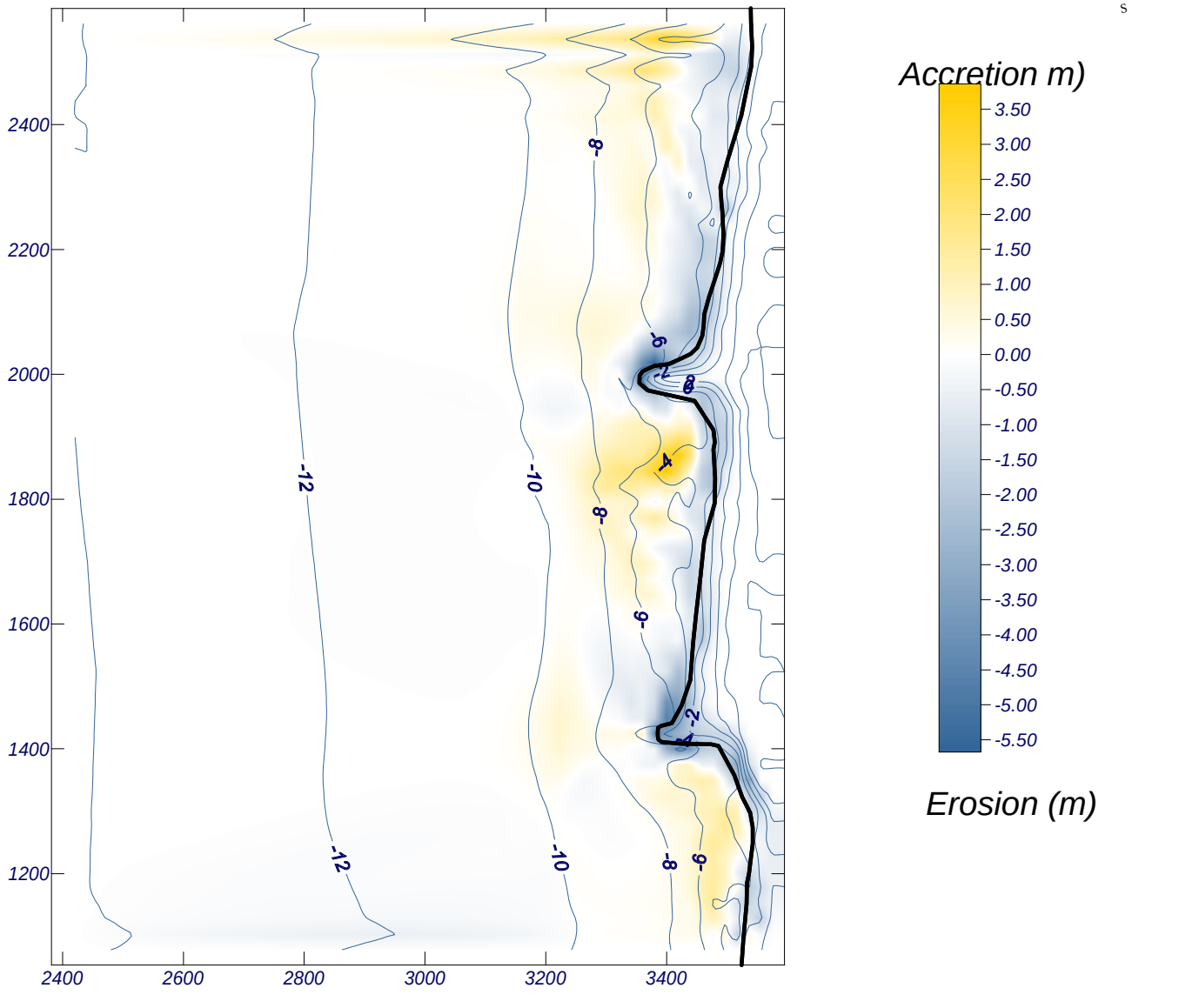
Programa desarrollado por

1.6 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

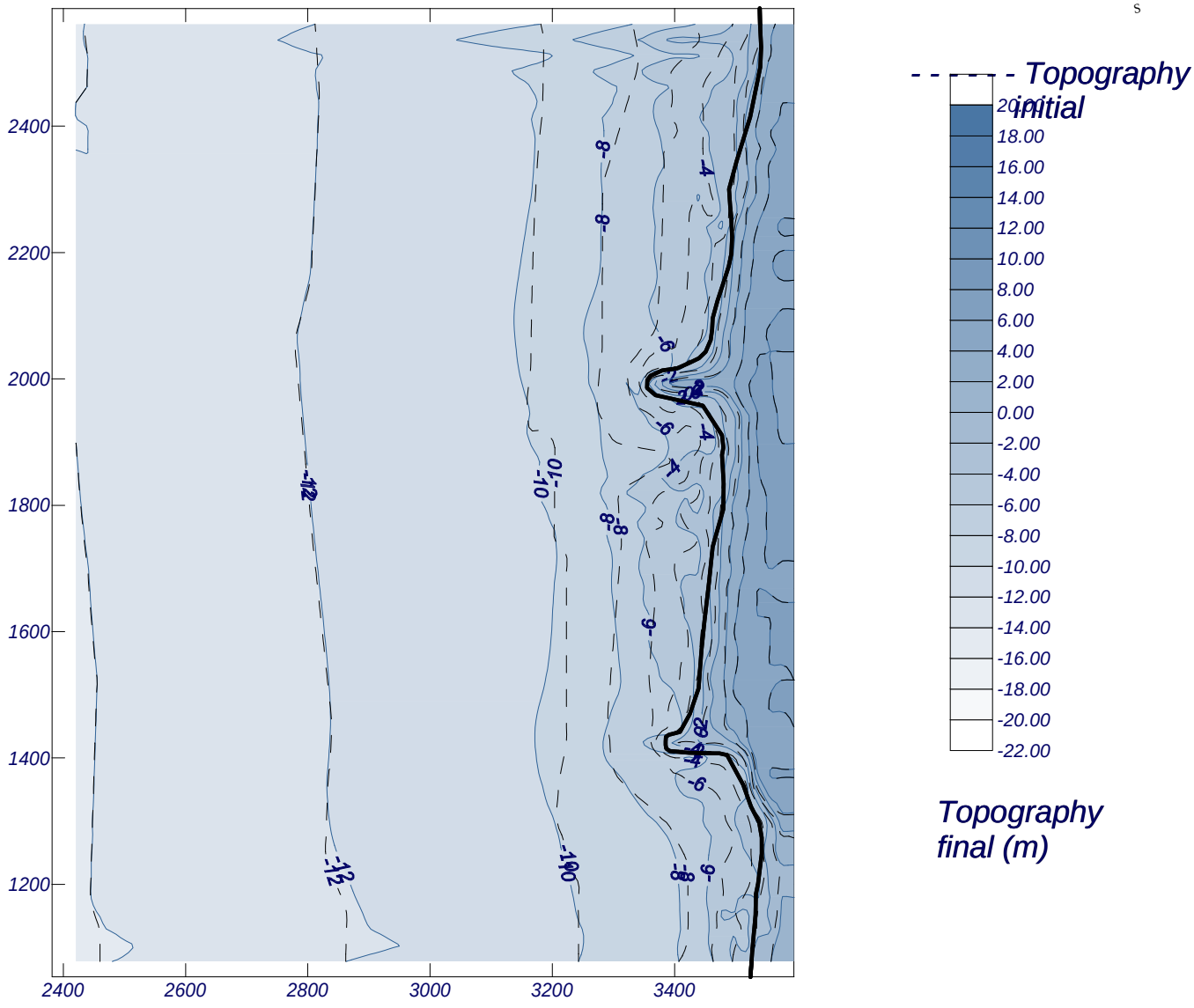
Programa desarrollado por

1.6 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA)		
Hs: 5 m	Nikuradse Roughness	D_{50}: 0.40 mm
h: 17 m	Kswc: 1 m	Duration: 12.0 h
fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s)	Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	Formulation: Soulsby
γ: 3.3		
Nº Comp.: 15		
Directional spectrum		
θ_m : 10º (W)		
σ: 20º - Nº Comp.: 15		

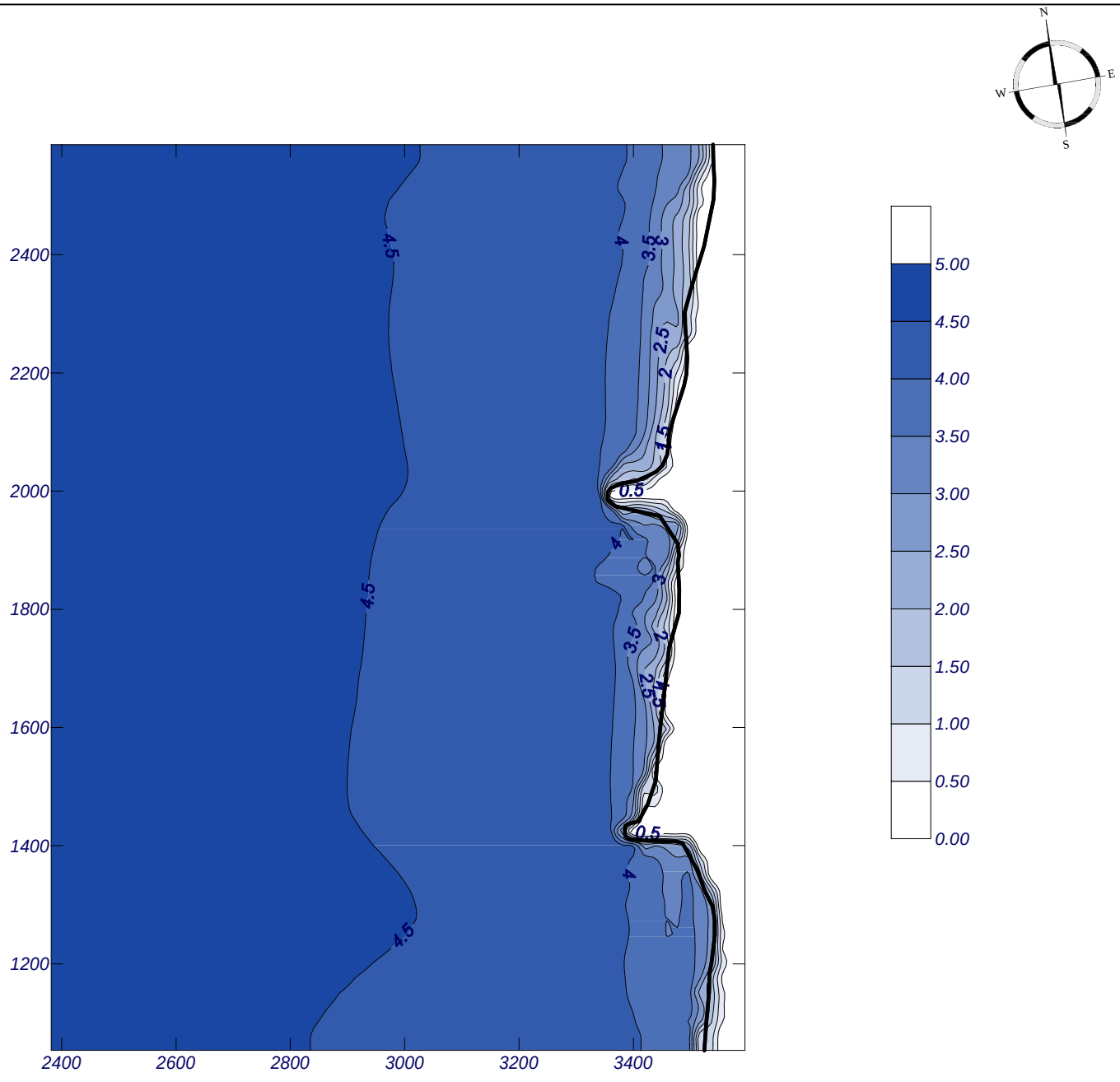


1.6 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Significant wave height

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		

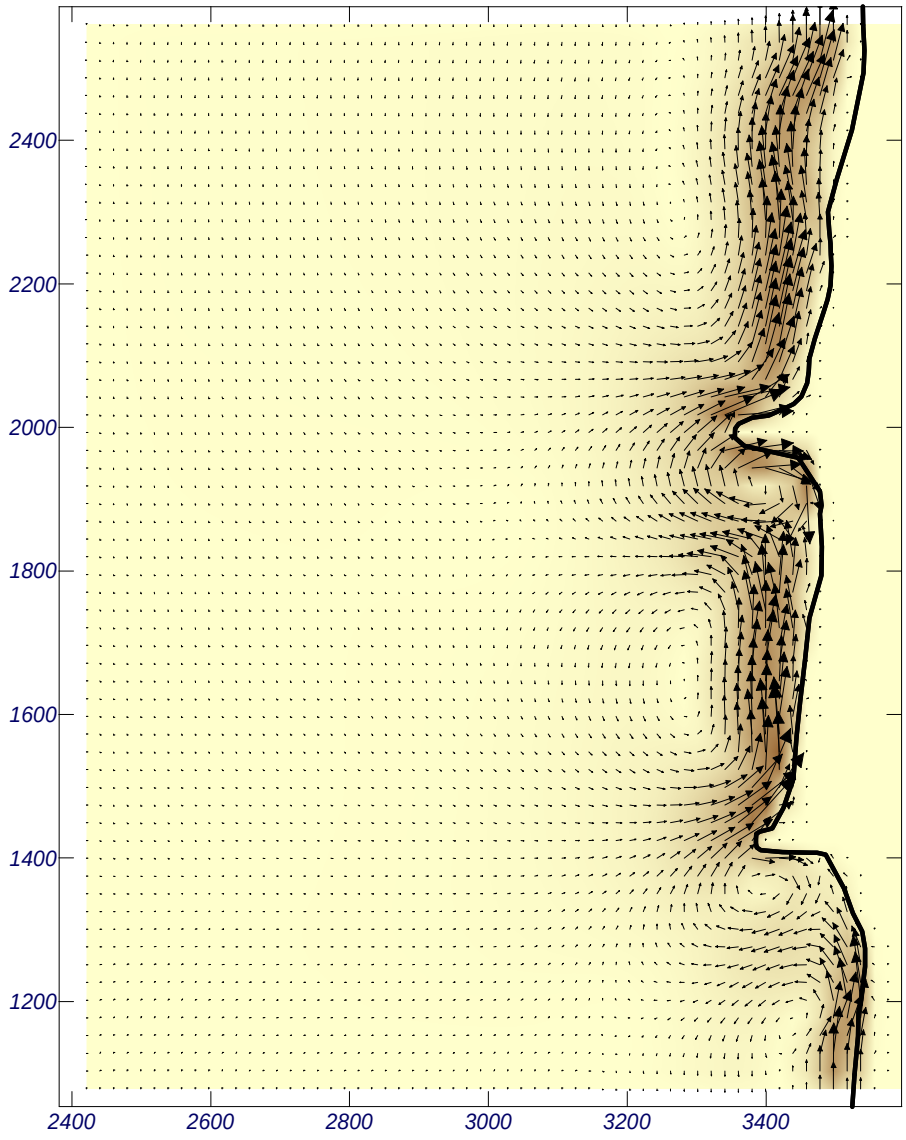


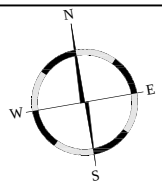
1.6 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

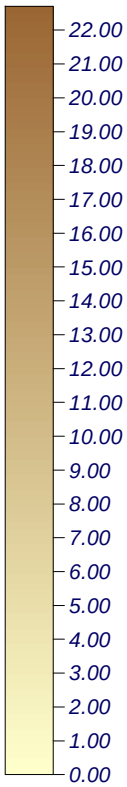
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 26.000 m^3/h/m.l.
0 26

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

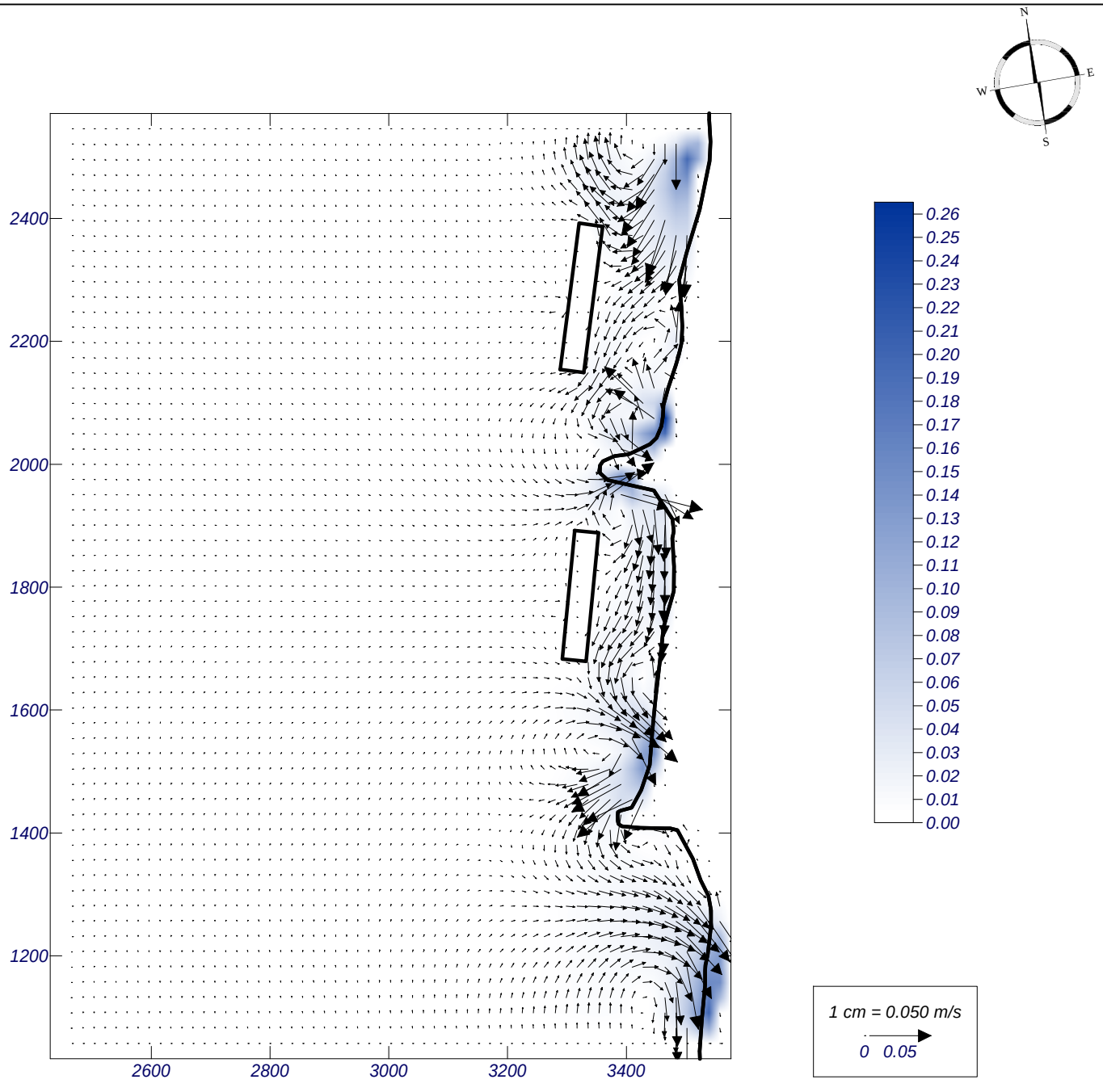
Programa desarrollado por

2.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m^2/s	

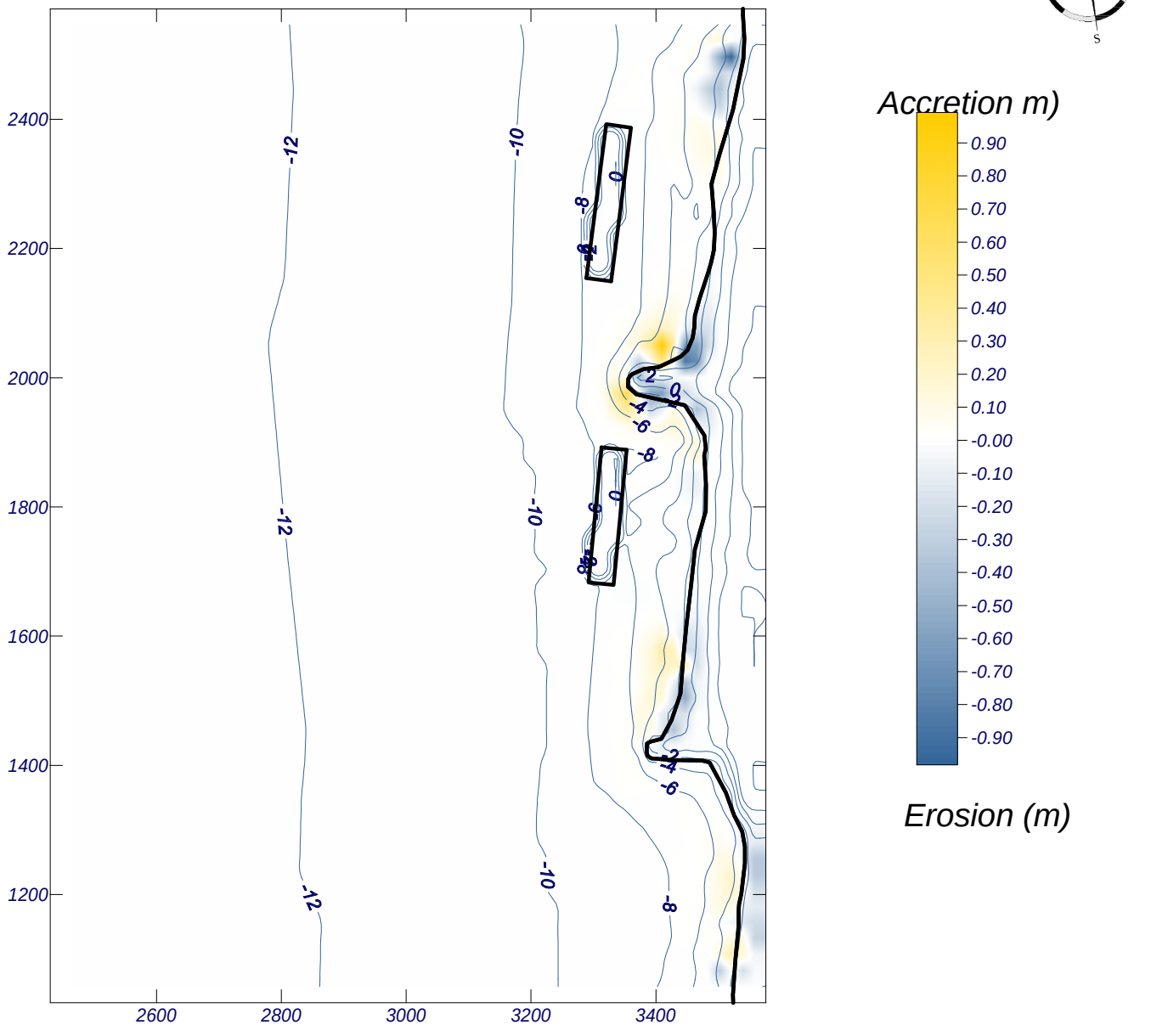


2.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP **Frequency spectrum (TMA)** Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	**COPLA-SP** Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	**MOPLA-SP** D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

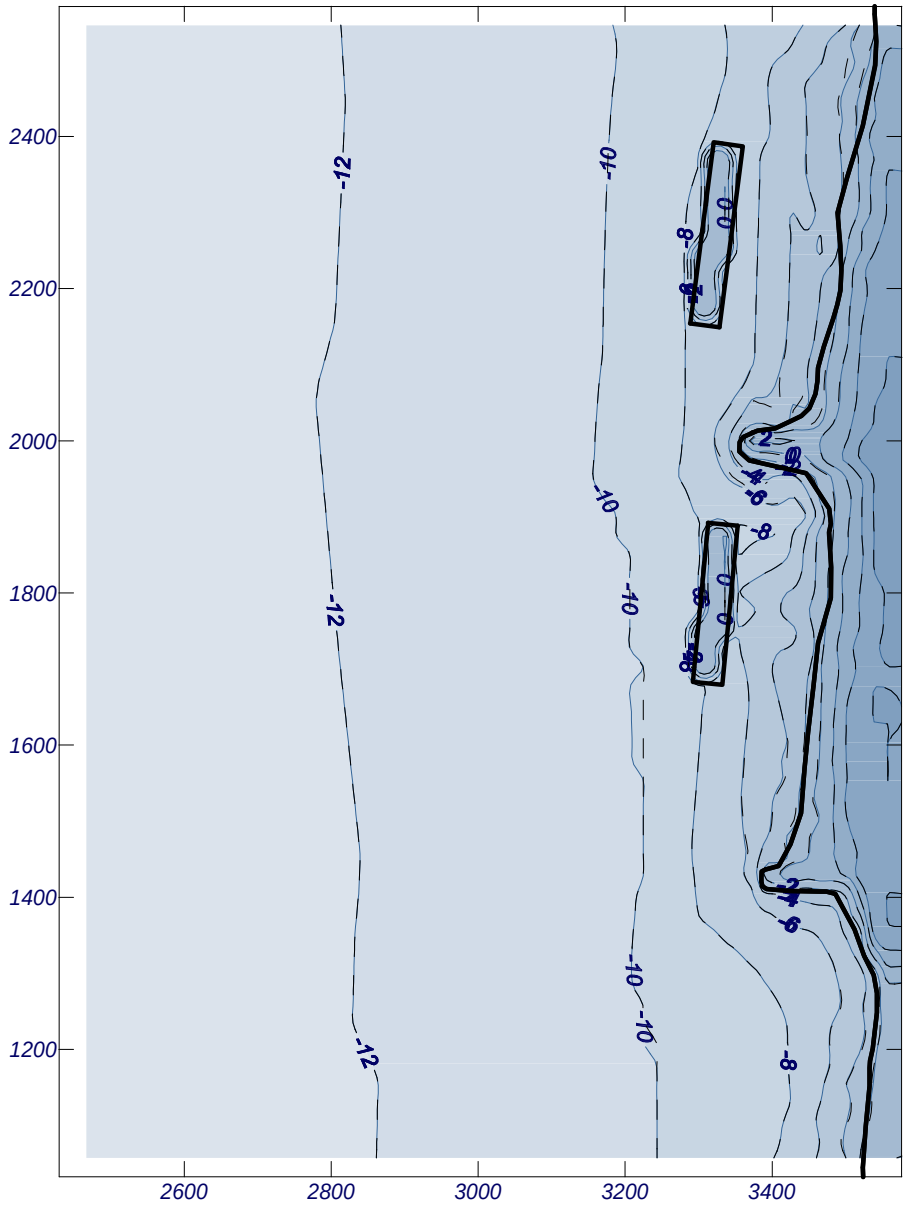
Programa desarrollado por

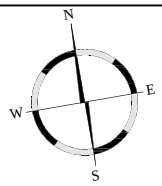
2.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

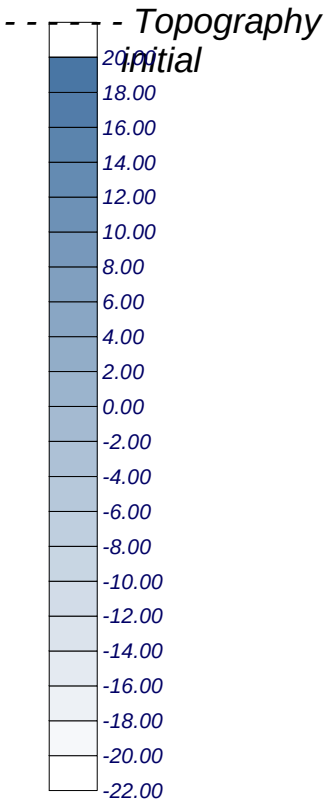
Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Topography final (m)

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

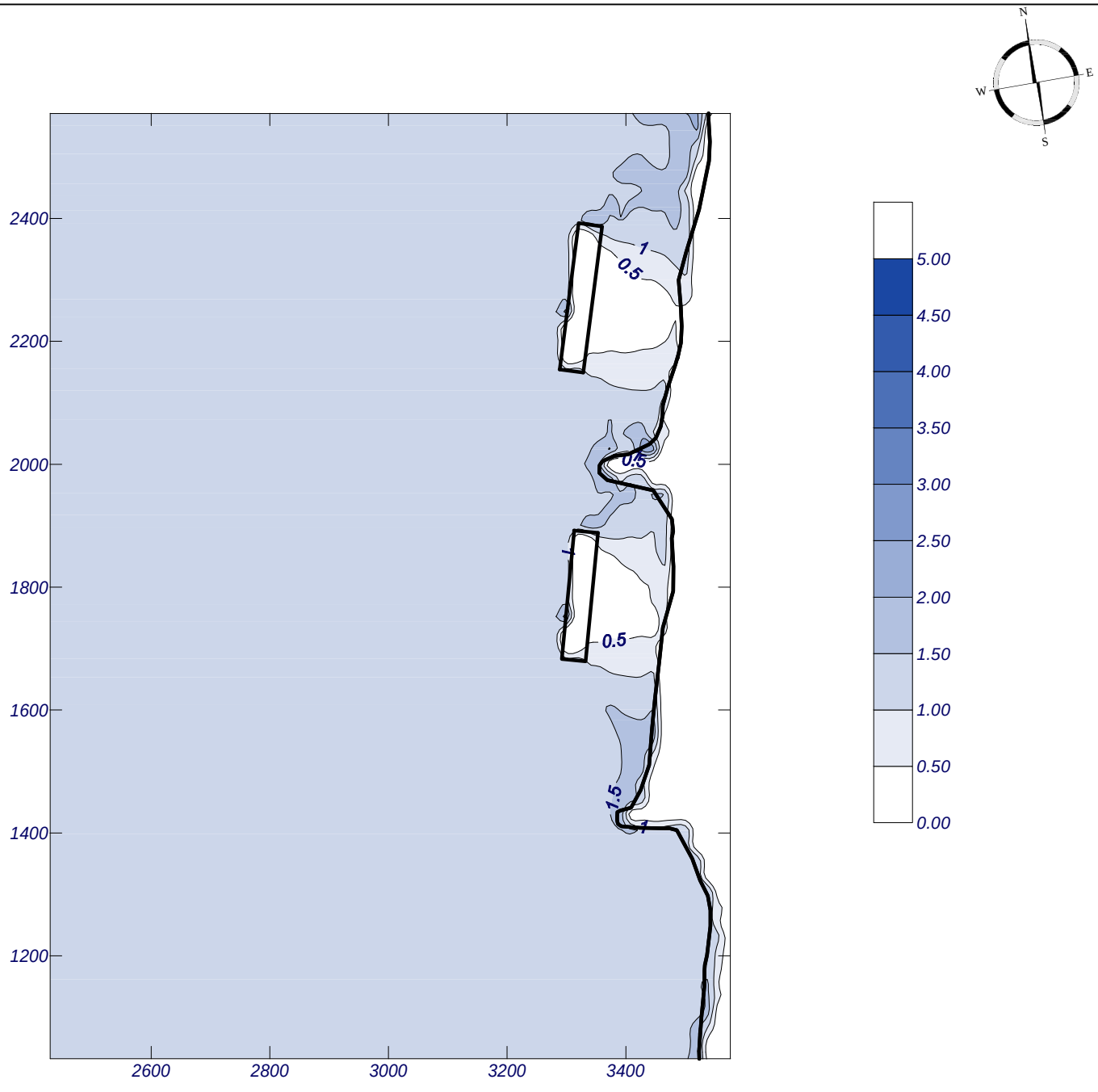
Programa desarrollado por

2.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



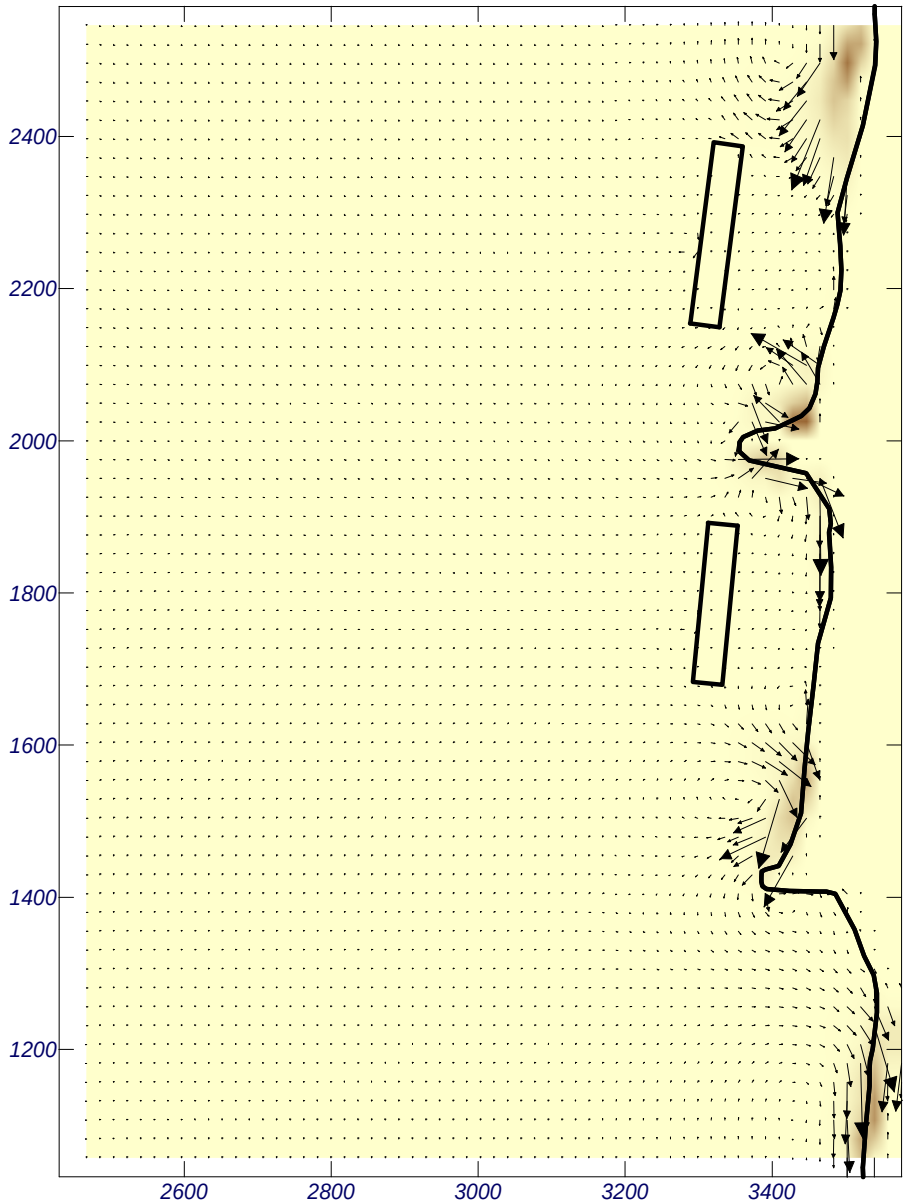
2.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

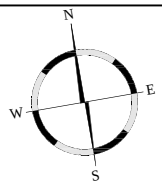
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

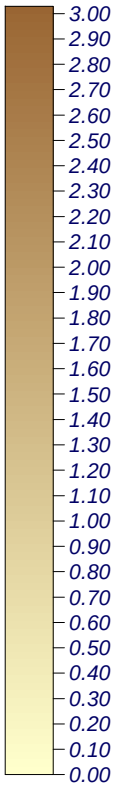
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m³/hour/m.l.)

1 cm = 0.350 m³/h/m.l.
0 0.35

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

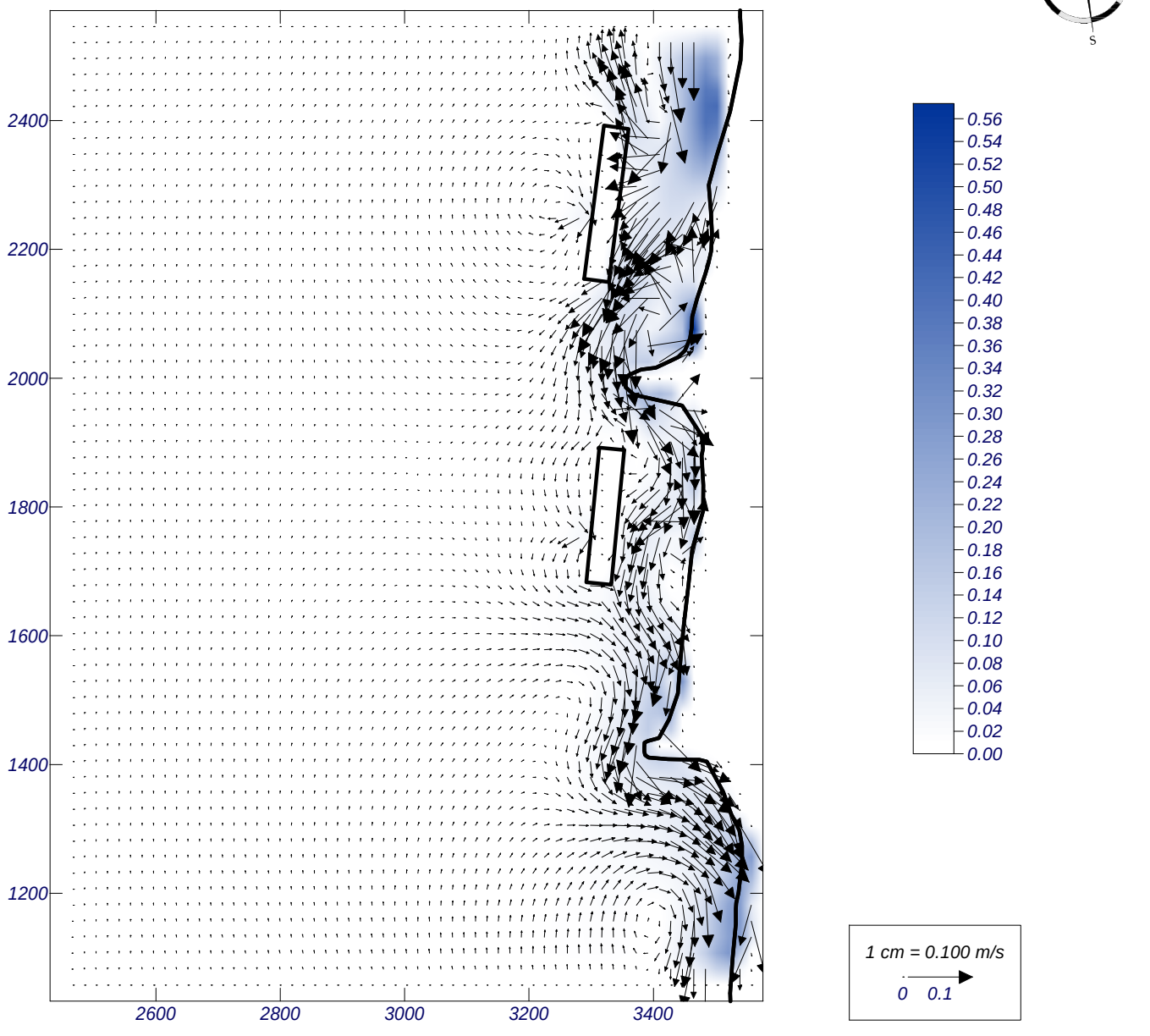
Programa desarrollado por

2.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP **Frequency spectrum (TMA)** Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	**COPLA-SP** Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m^2/s	**MOPLA-SP**



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

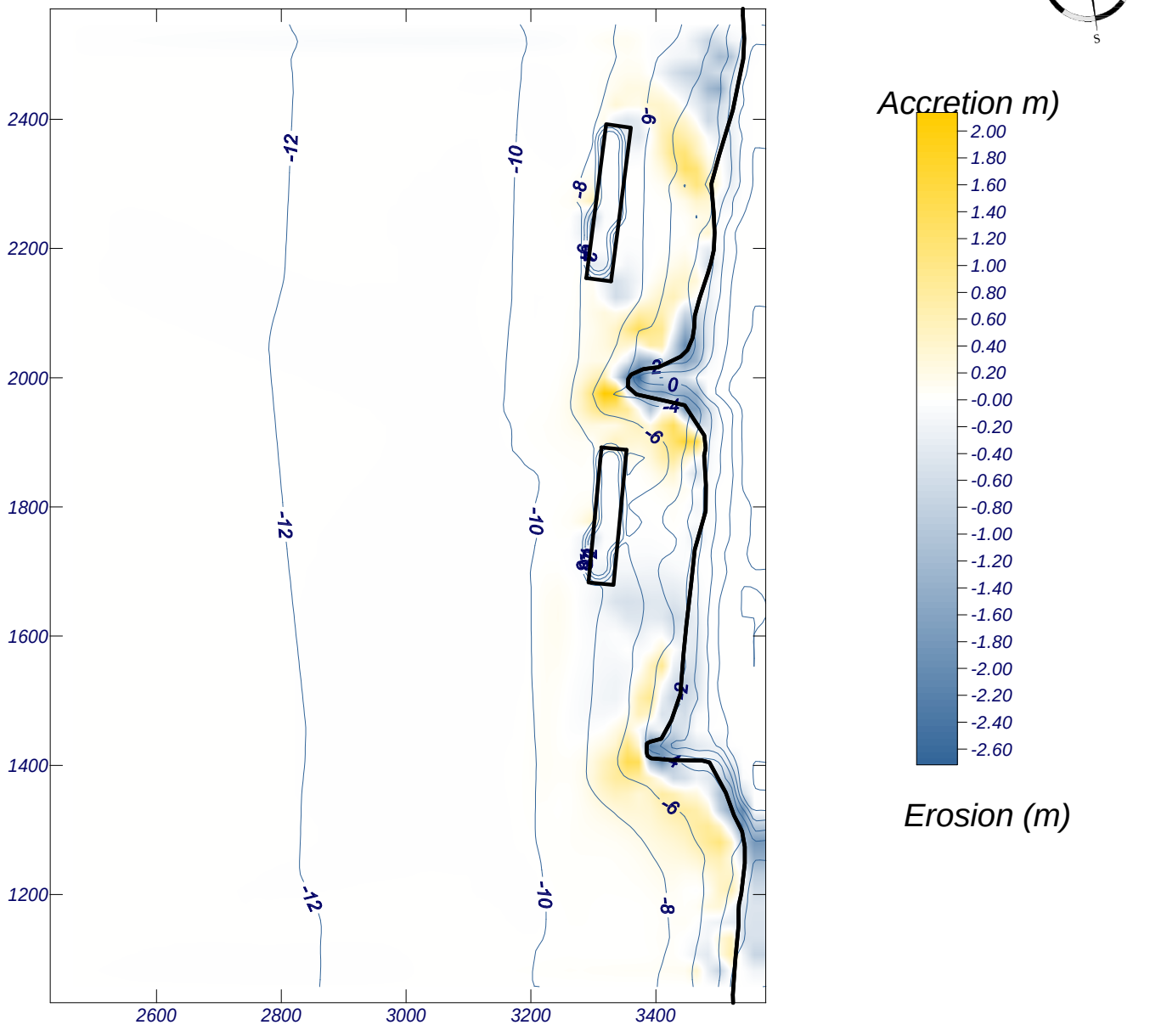
Programa desarrollado por

2.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

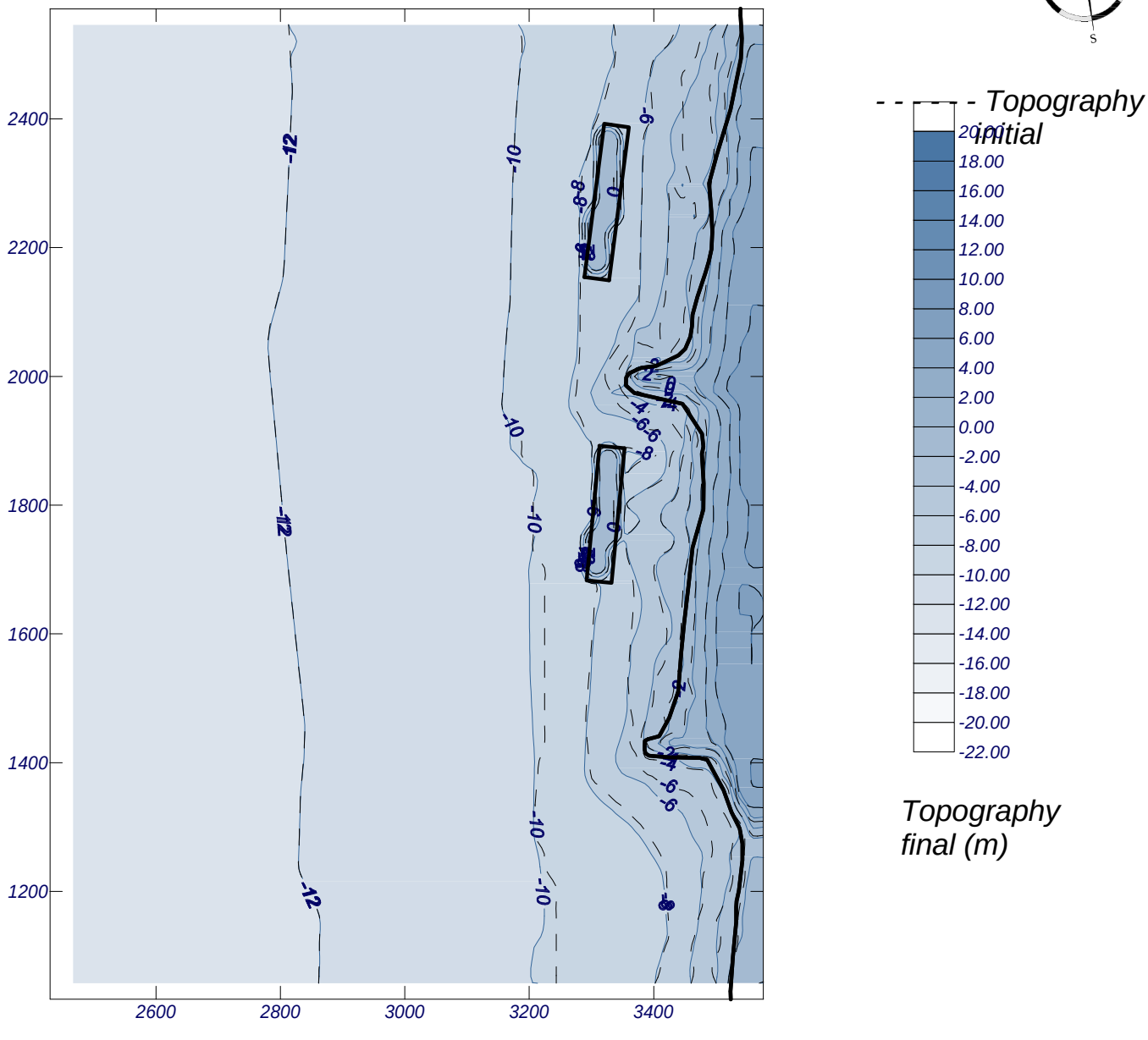
Programa desarrollado por

2.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

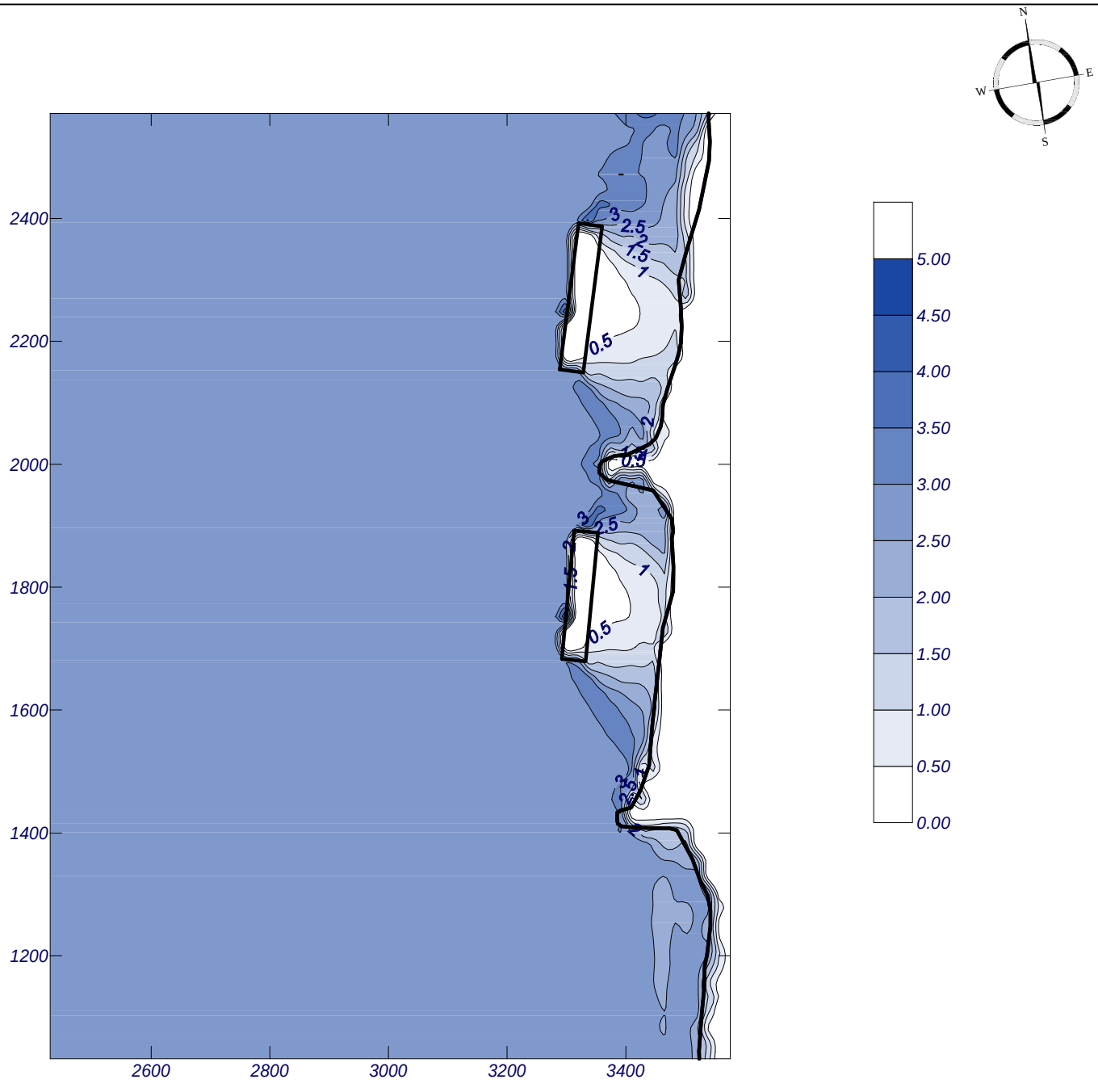
Programa desarrollado por

2.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

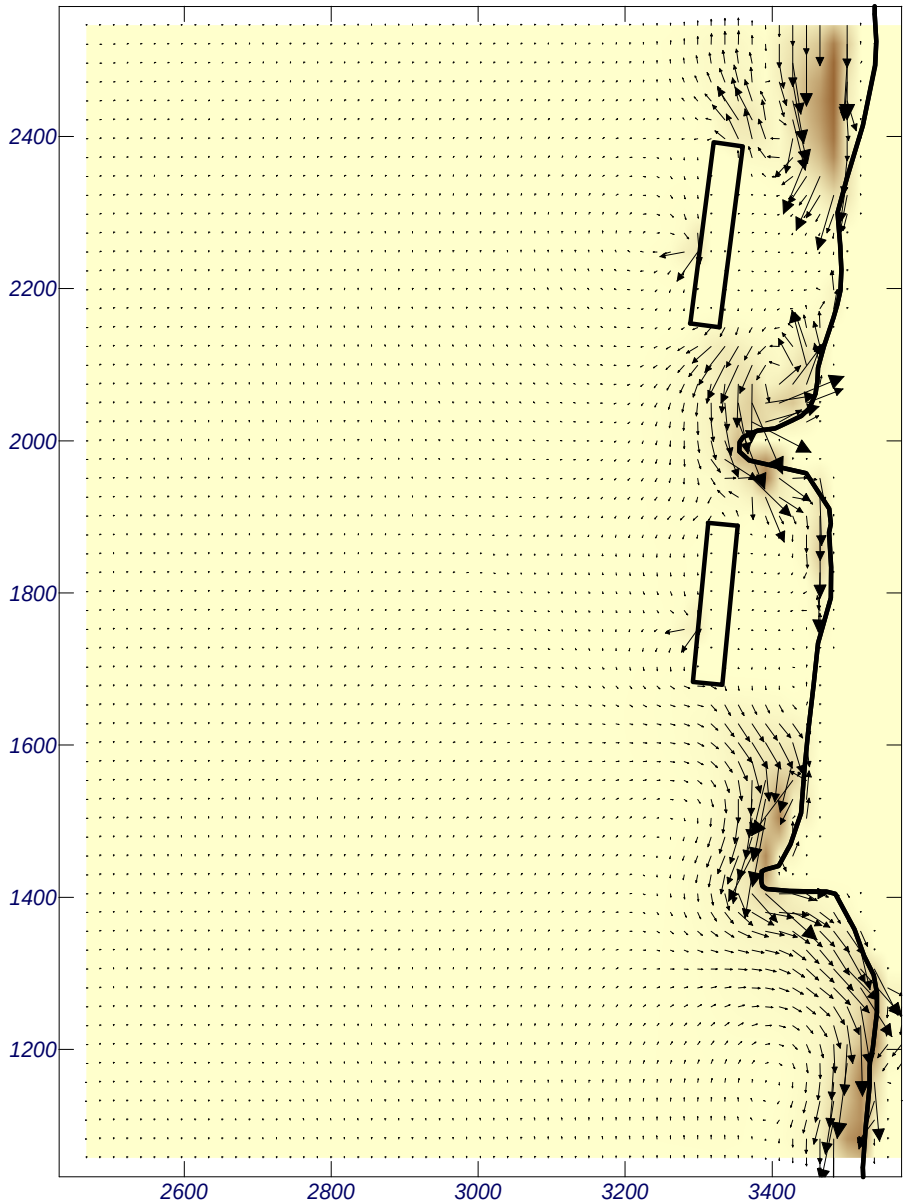
2.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

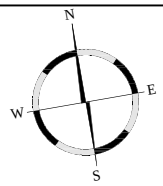
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

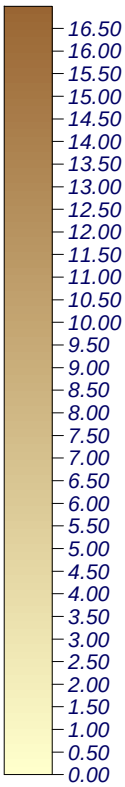
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m³/hour/m.l.)

1 cm = 5.740 m³/h/m.l.
0 5.74

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

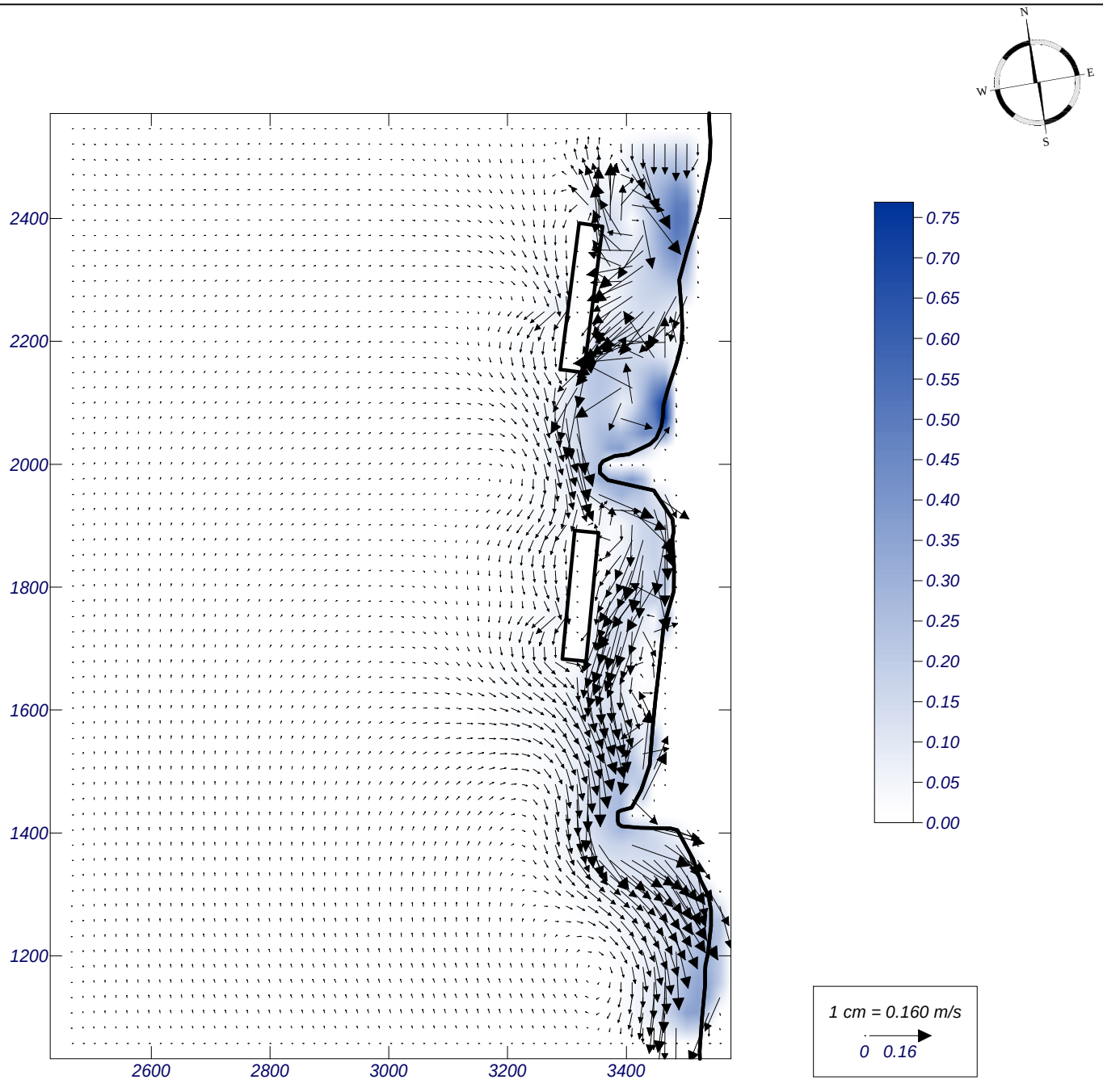
Programa desarrollado por

2.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

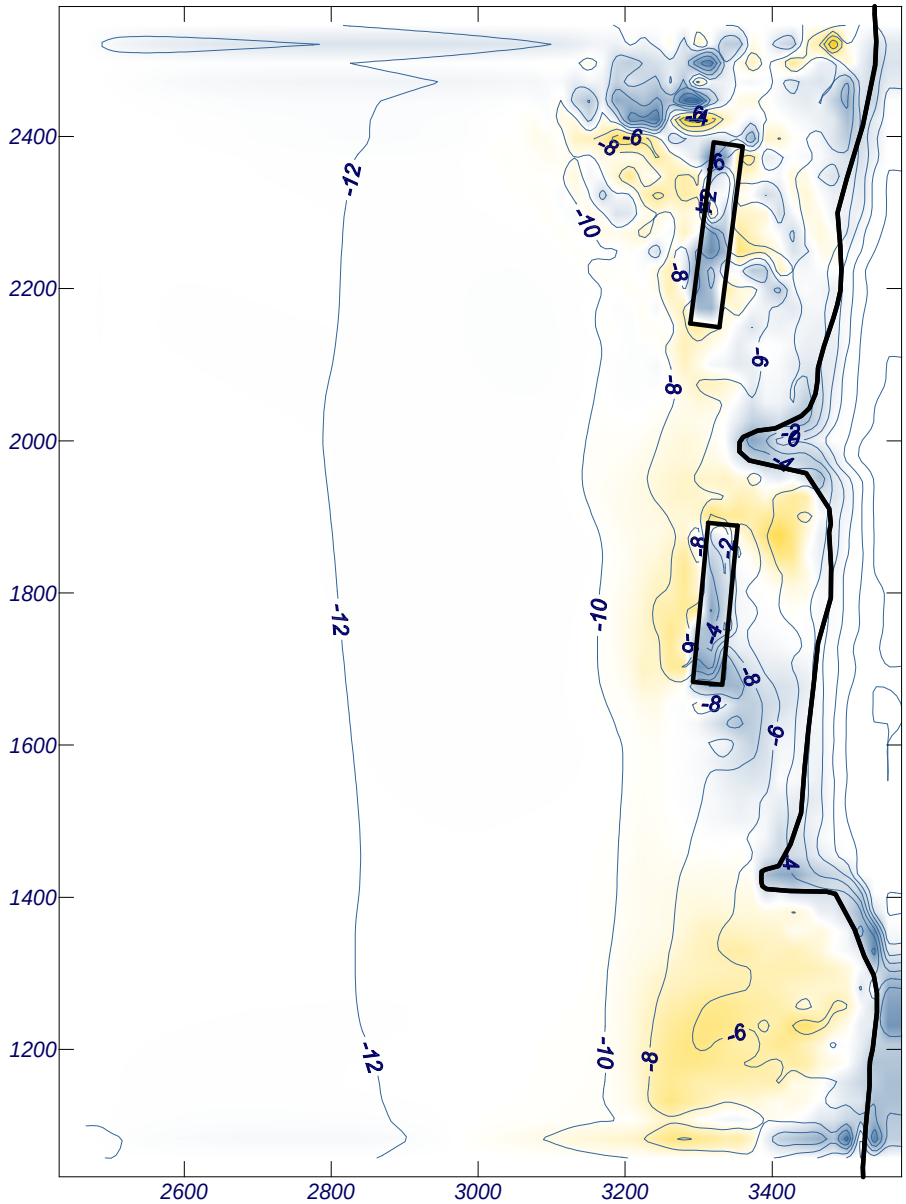
Programa desarrollado por

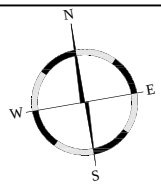
2.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

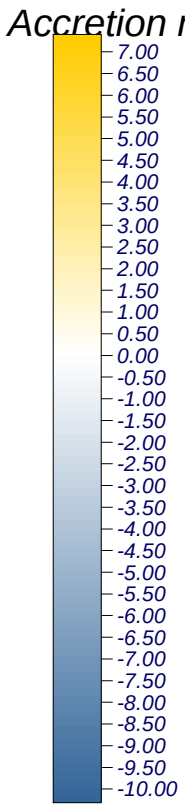
Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

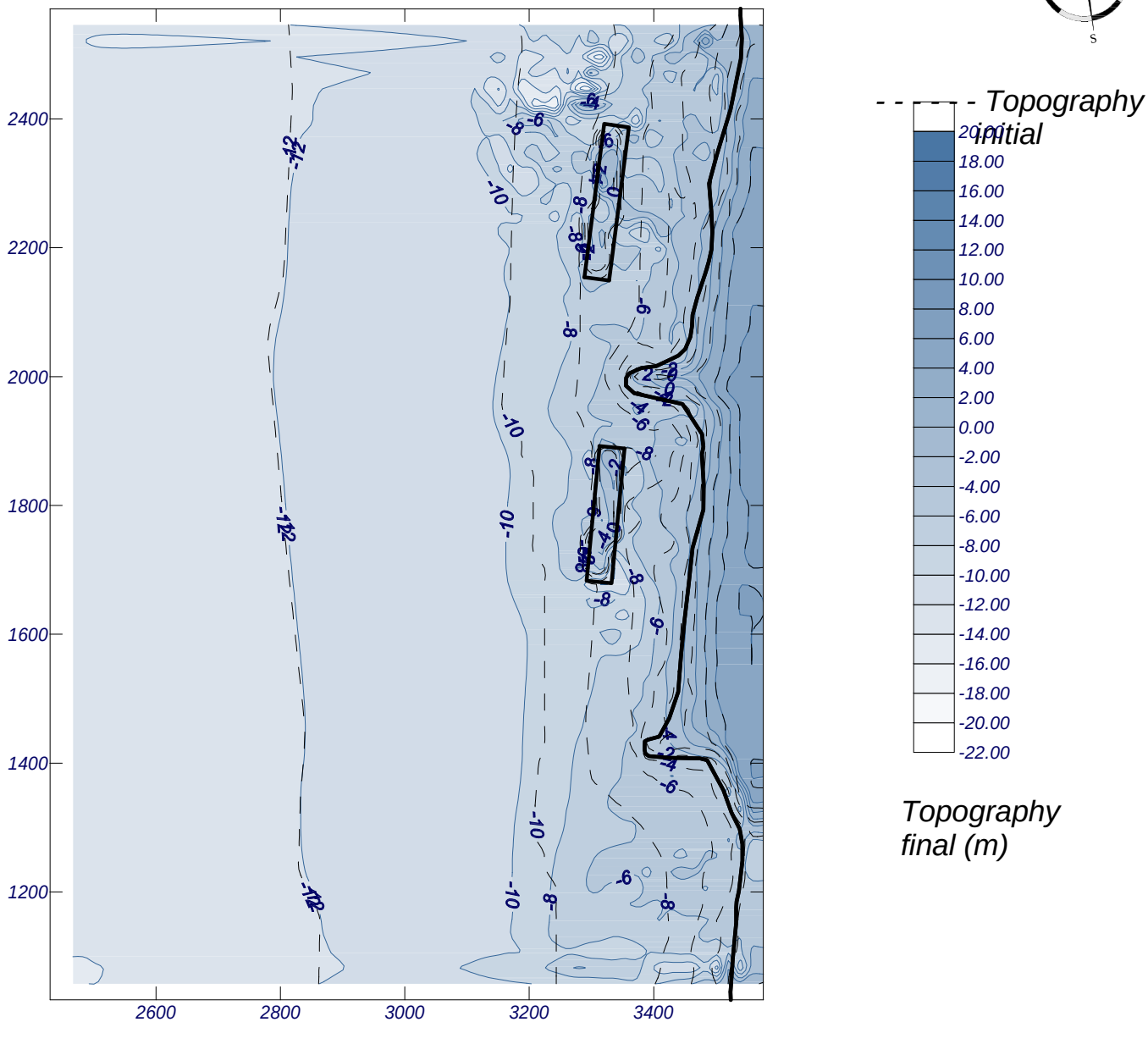
Programa desarrollado por

2.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

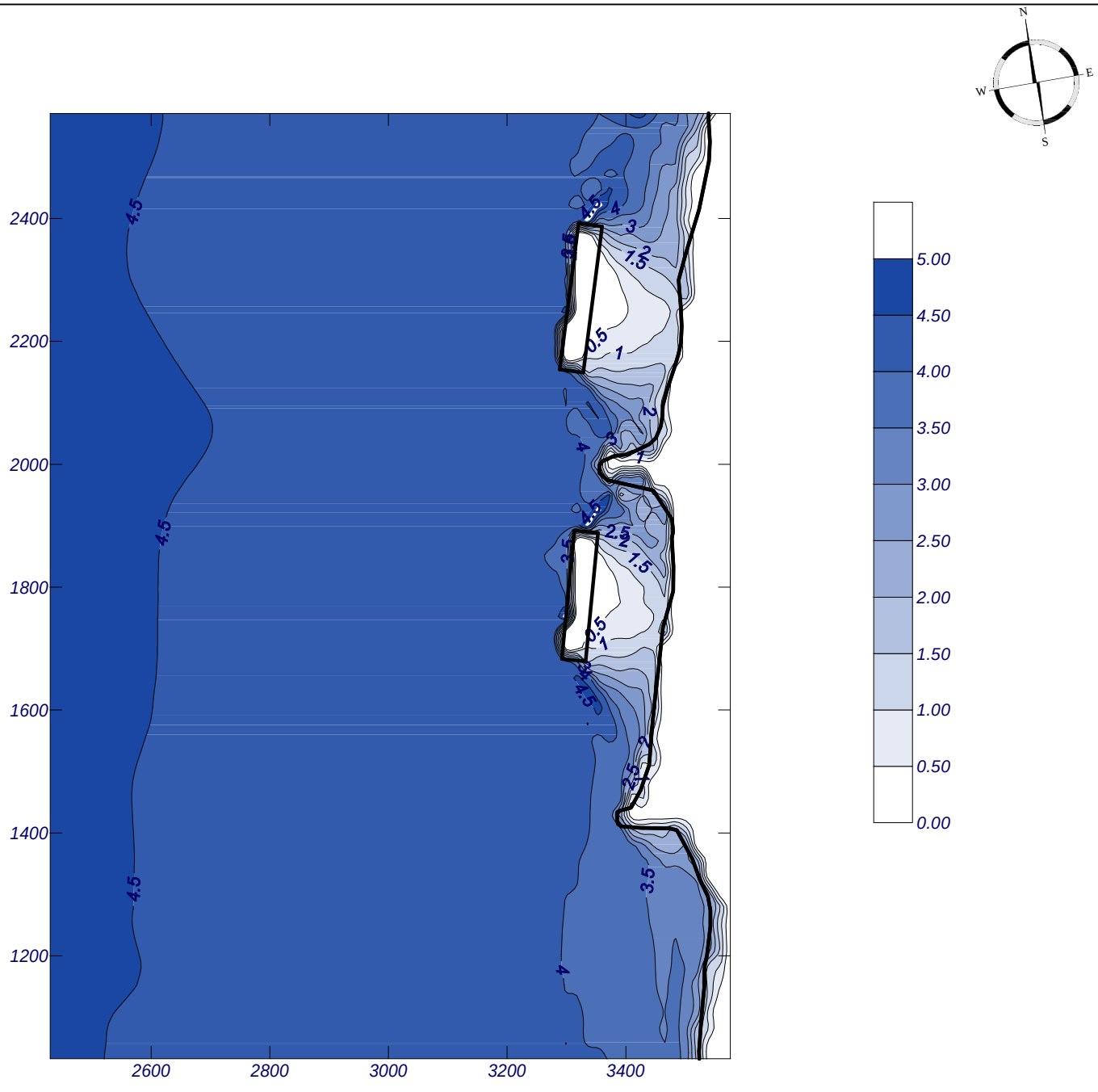
Programa desarrollado por

2.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

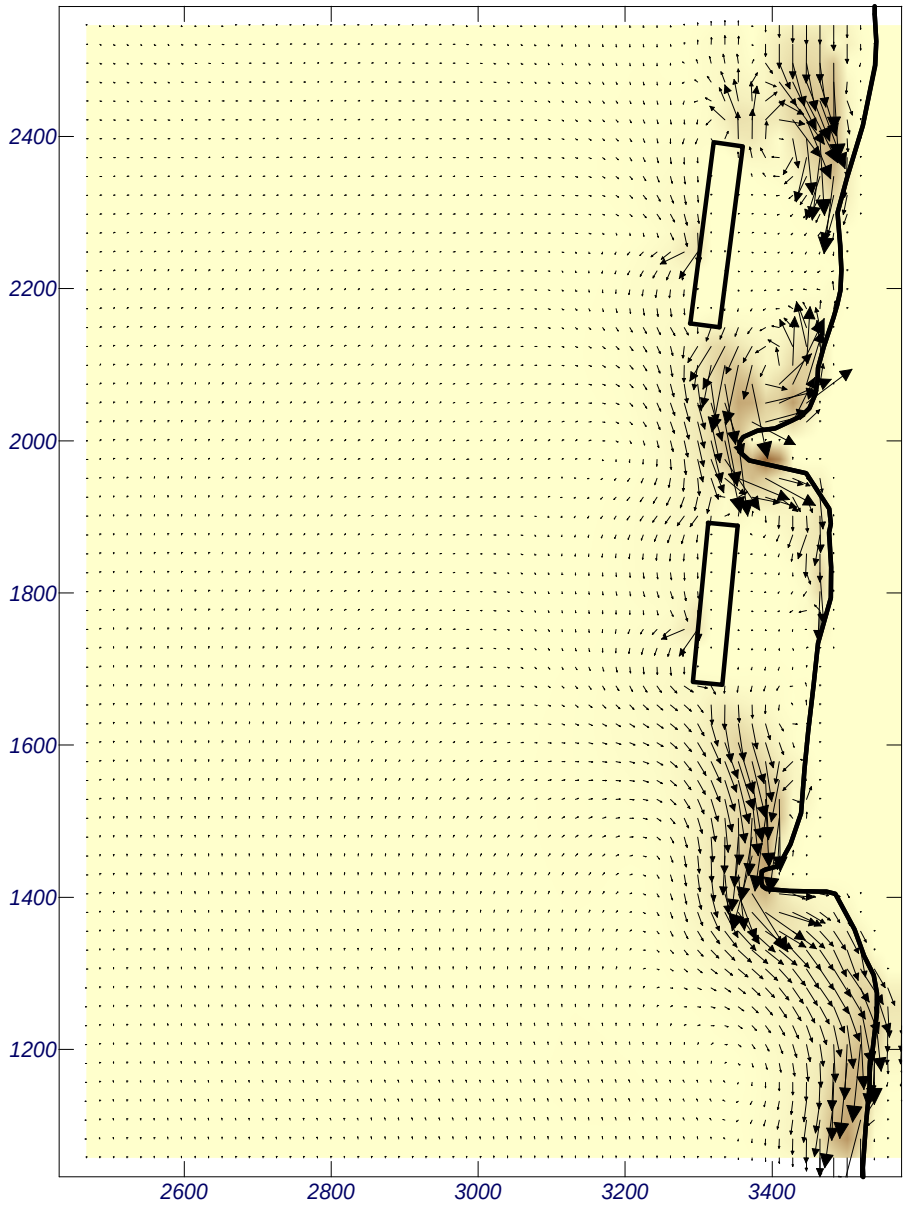
Programa desarrollado por

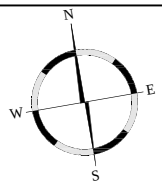
2.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

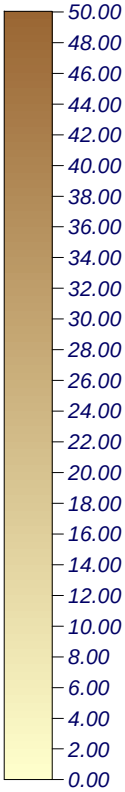
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 21.630 m^3/h/m.l.
0 21.63

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

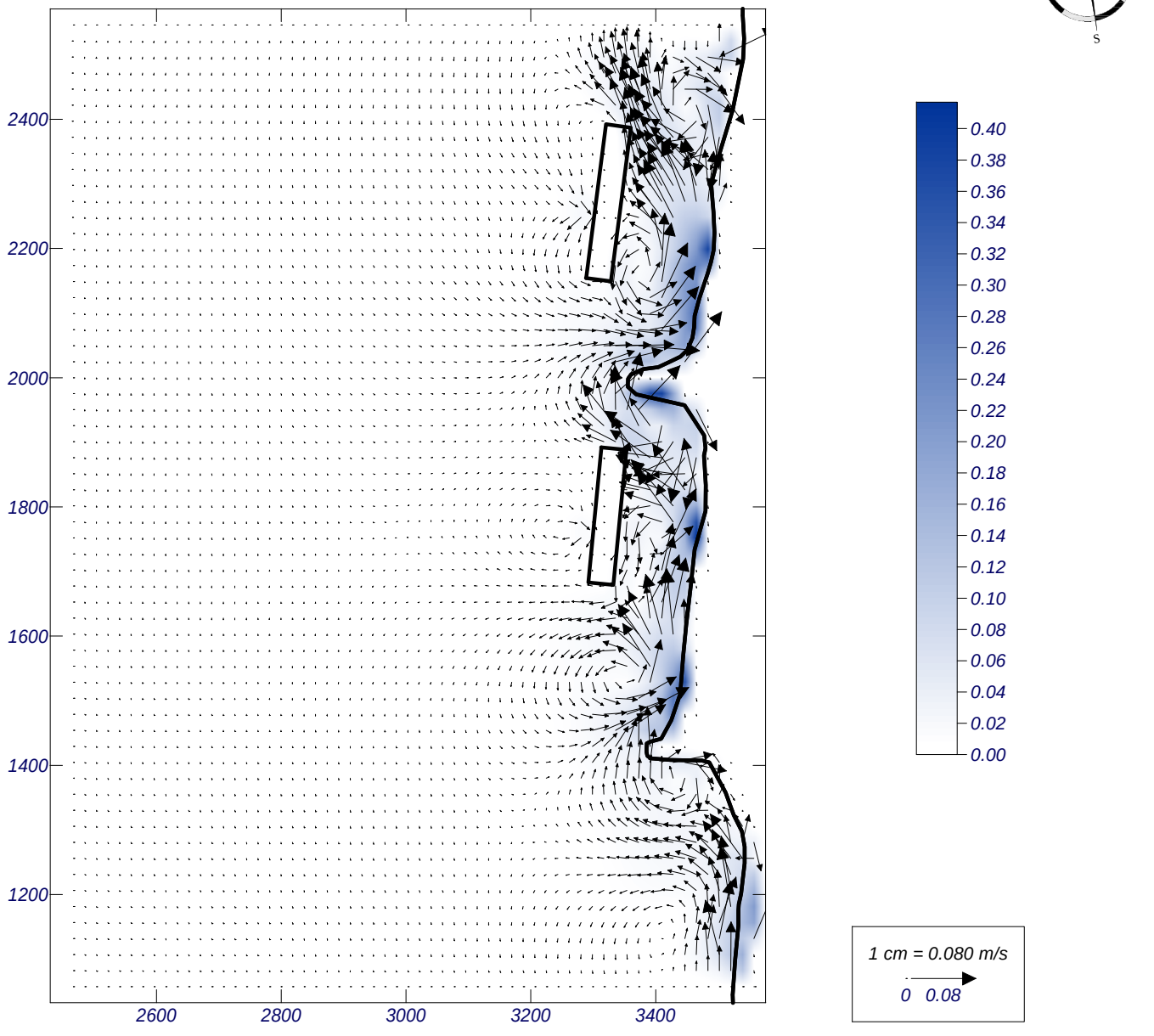
Programa desarrollado por

2.5 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP **Frequency spectrum (TMA)** Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	**COPLA-SP** Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	**MOPLA-SP**



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

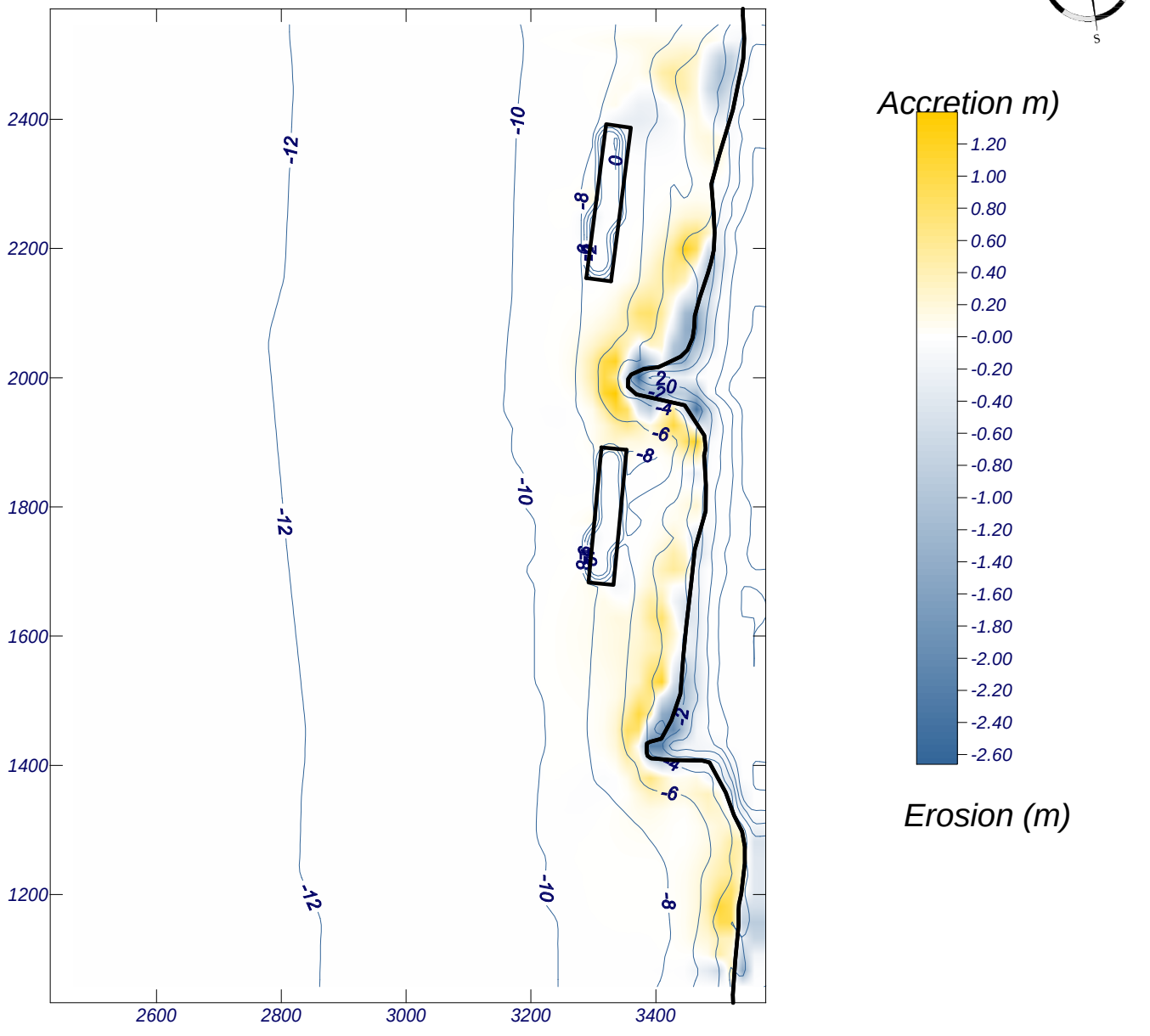
Programa desarrollado por

2.5 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity ν: 9 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

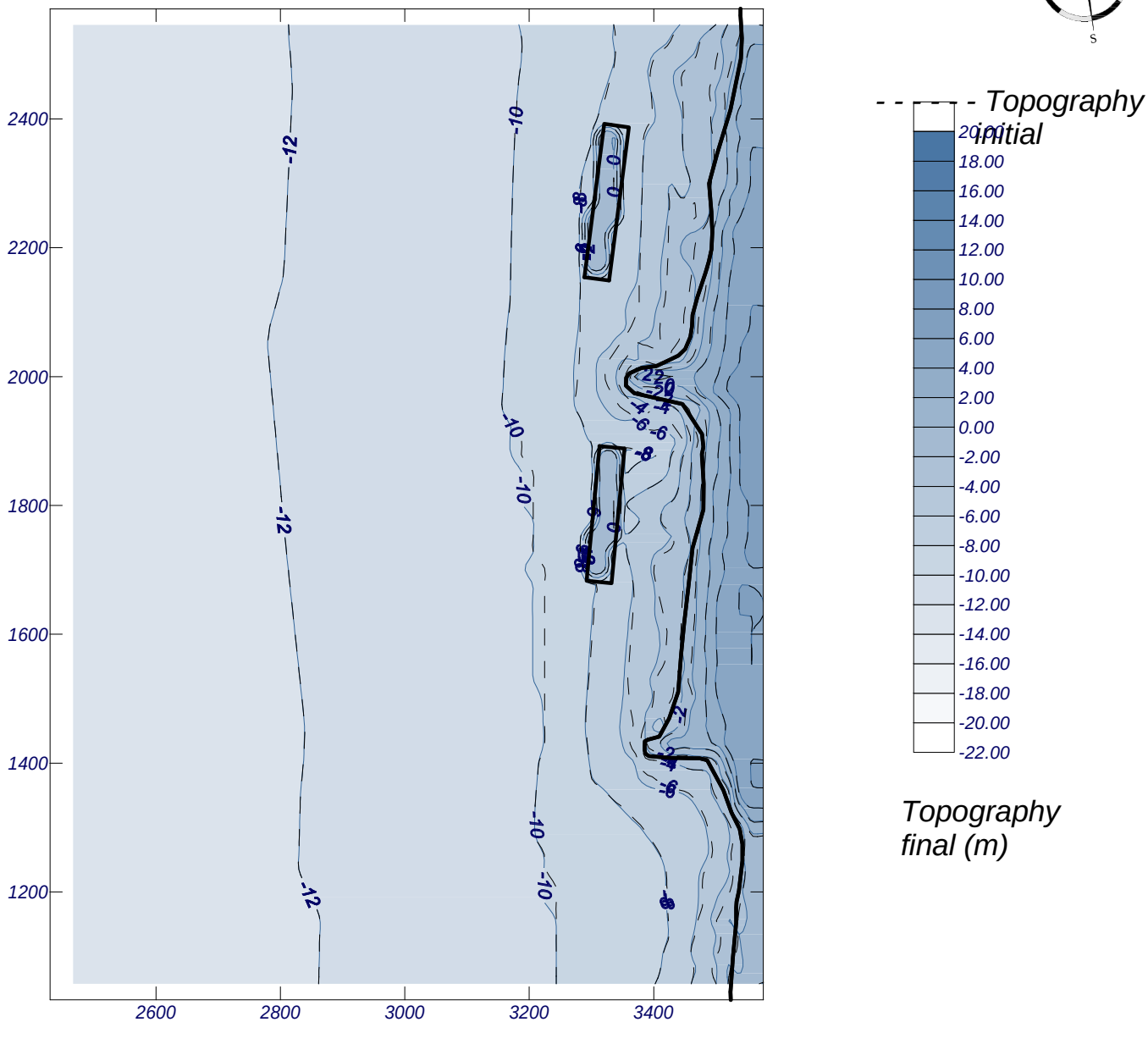
Programa desarrollado por

2.5 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity ν_ε: 9 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

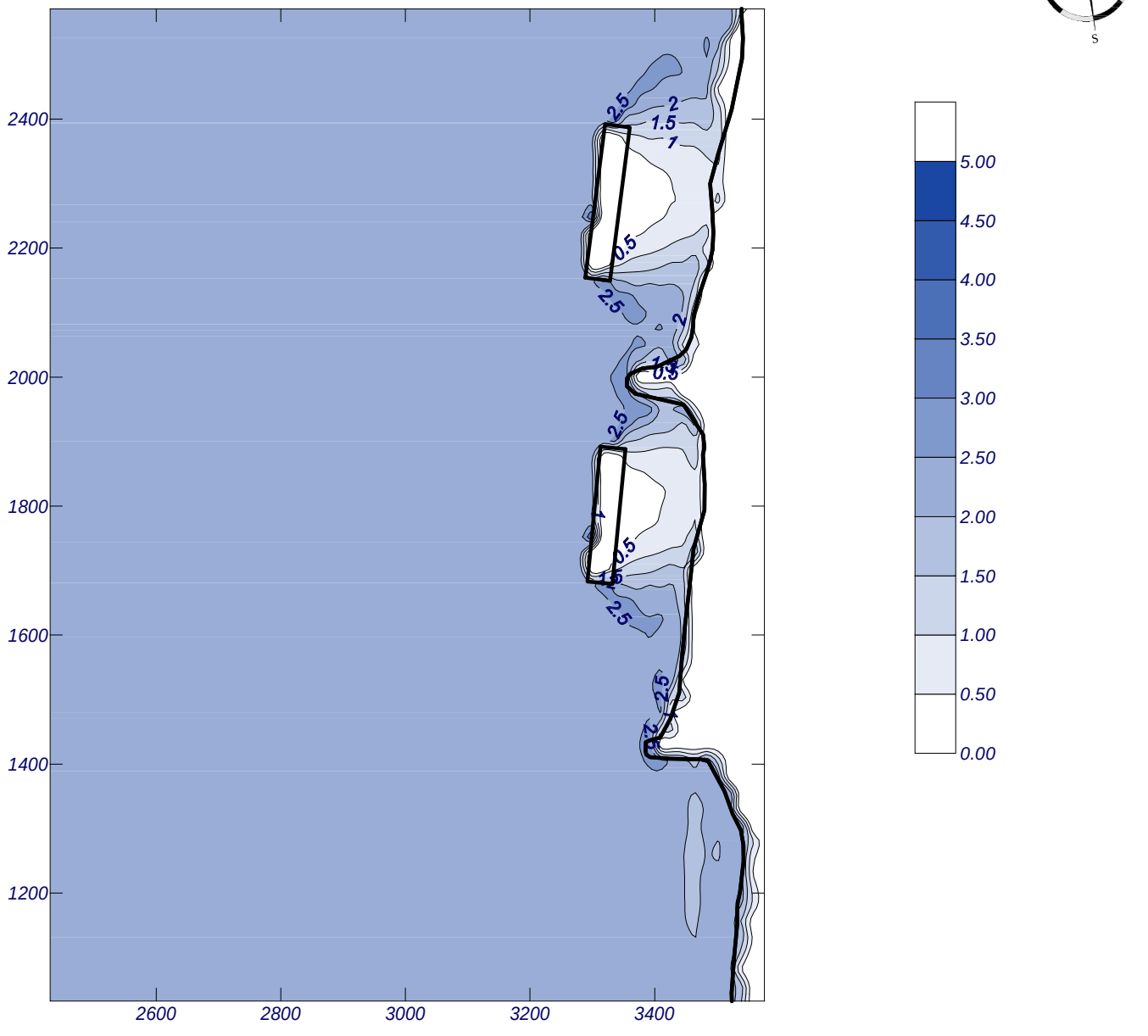
Programa desarrollado por

2.5 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

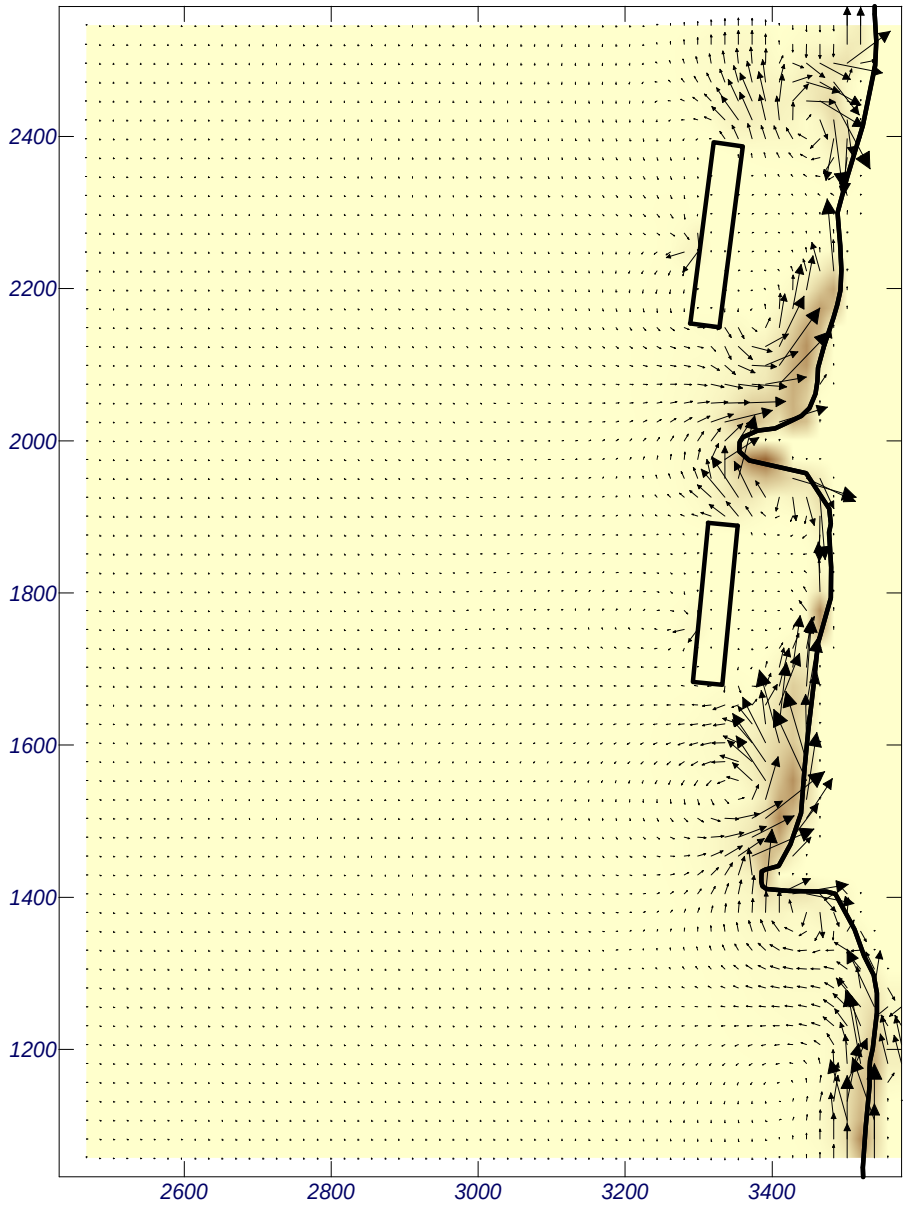
2.5 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

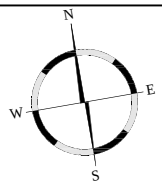
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

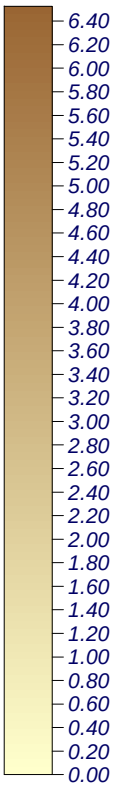
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 1.840 m^3/h/m.l.
0 1.84

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

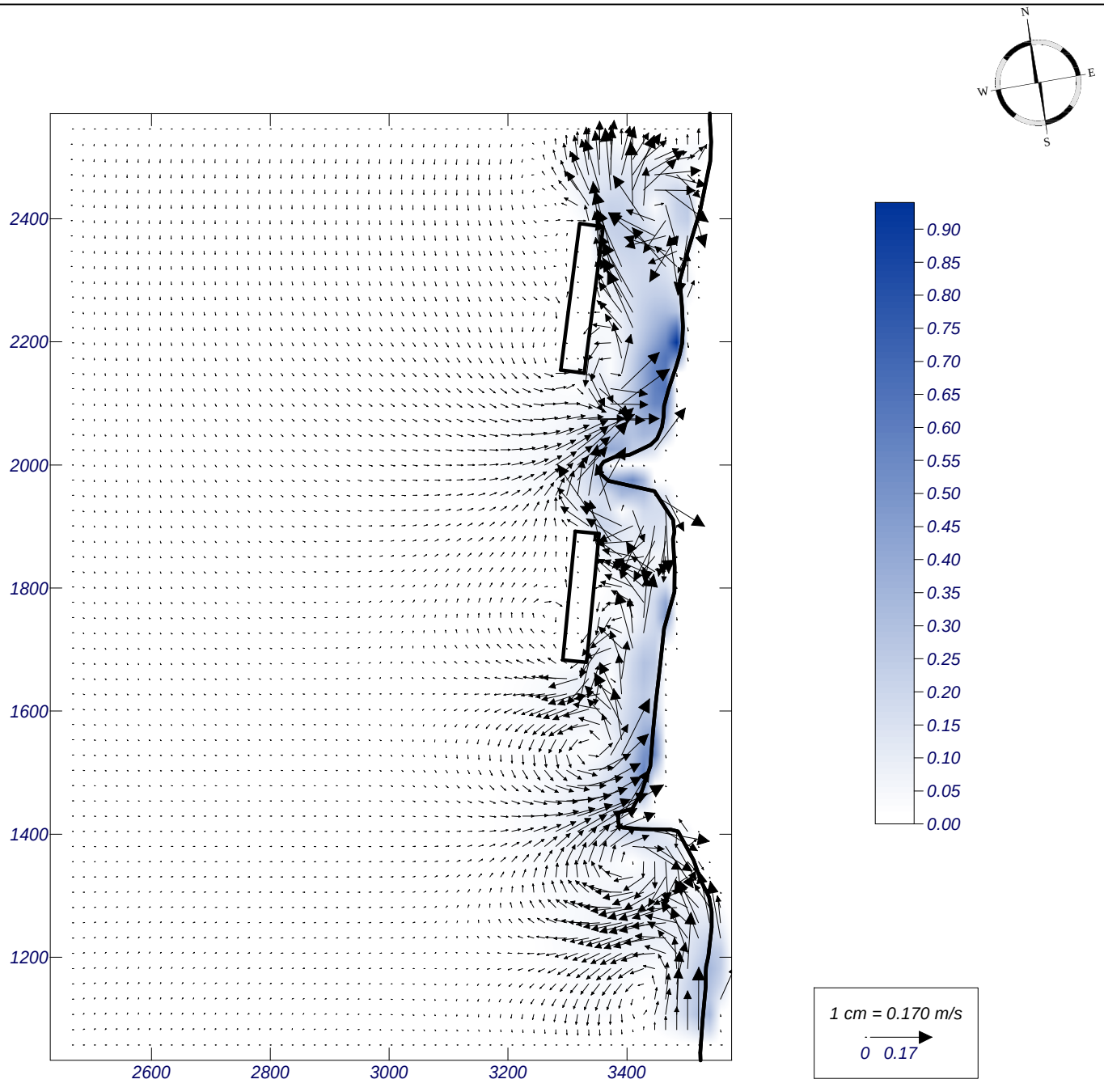
Programa desarrollado por

2.6 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

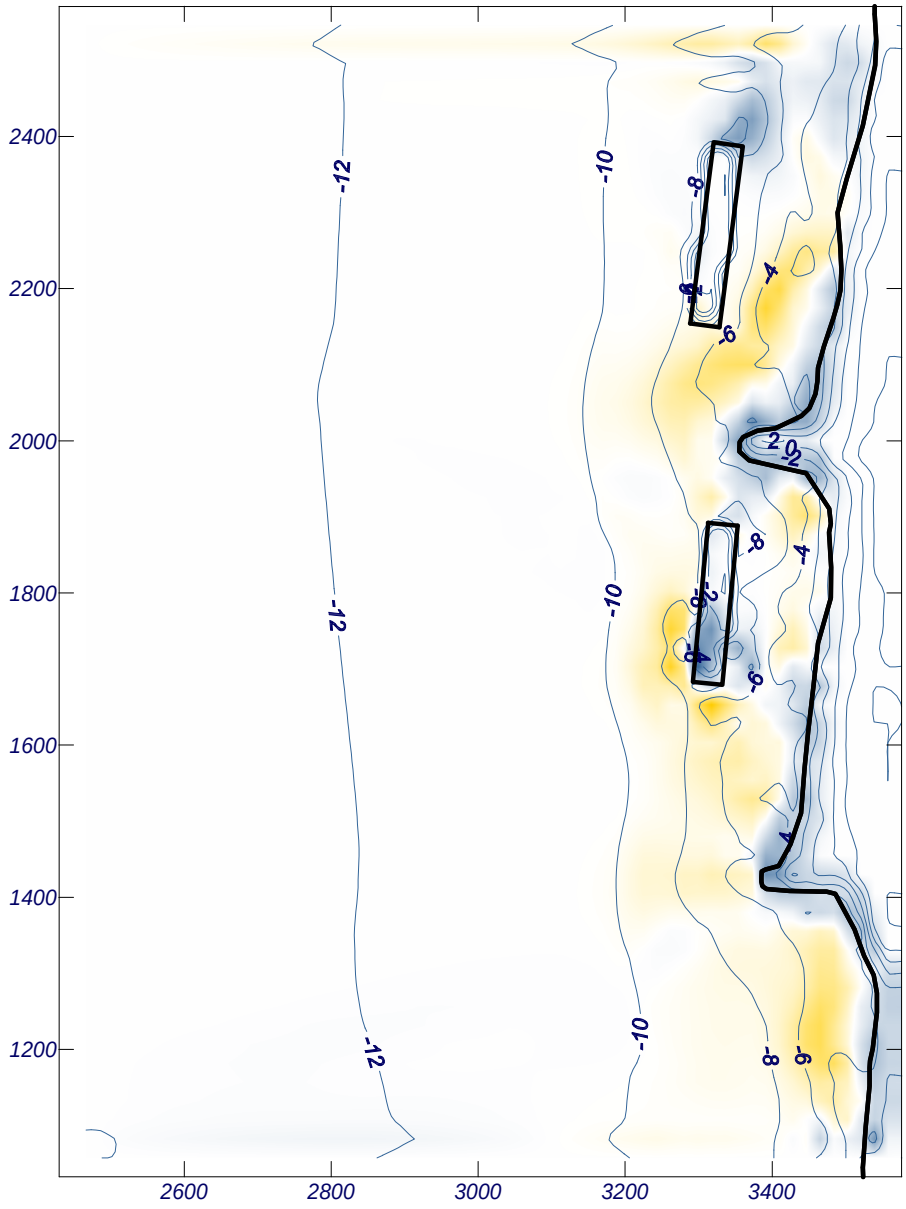
Programa desarrollado por

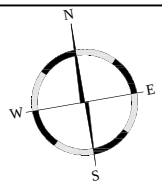
2.6 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

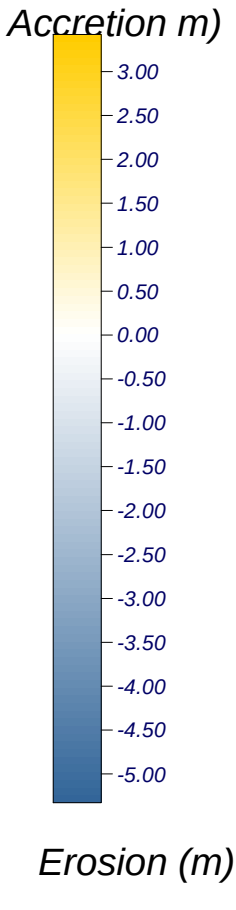
Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

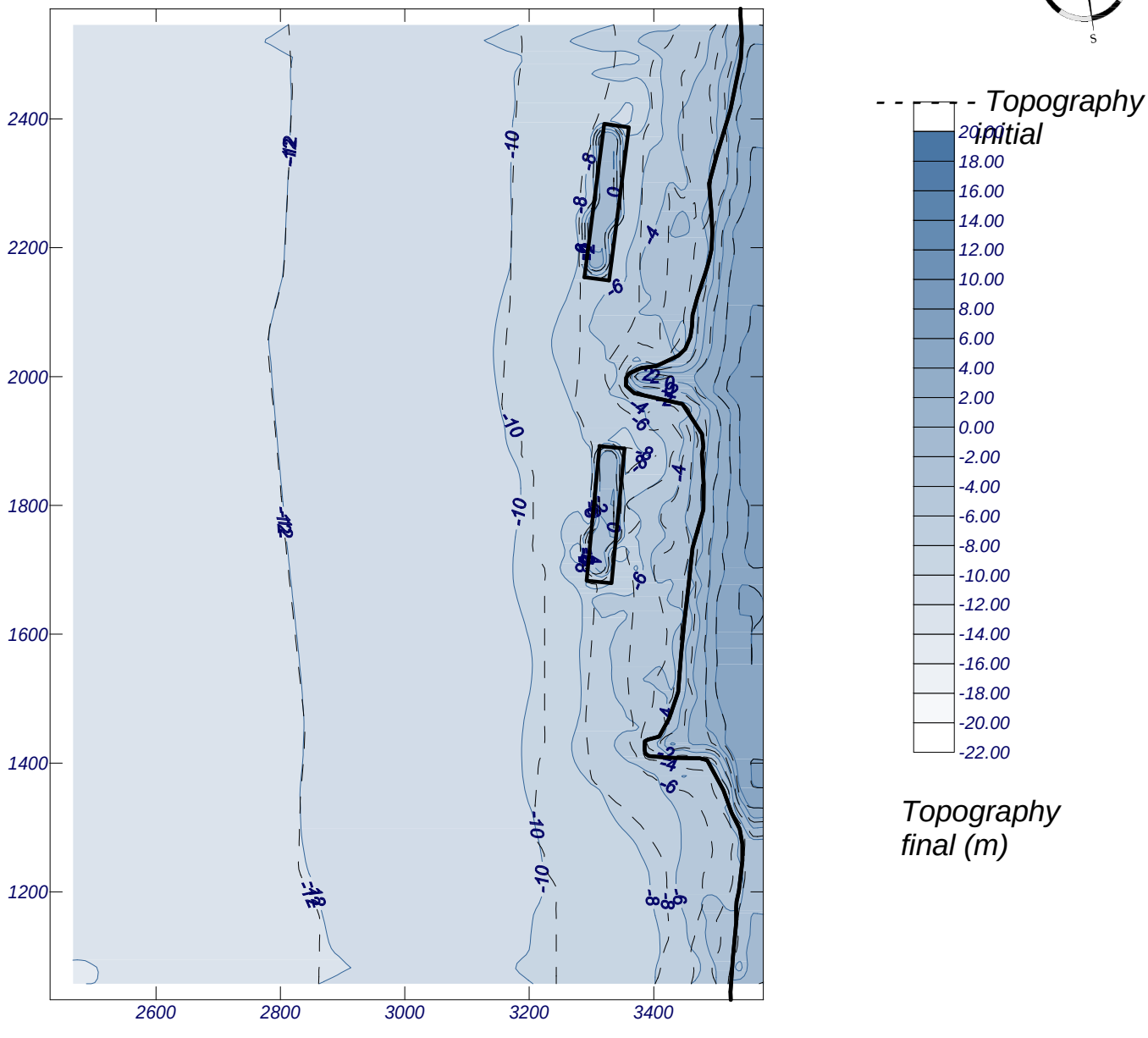
Programa desarrollado por

2.6 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP **Frequency spectrum (TMA)** Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	**COPLA-SP** Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	**MOPLA-SP** D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

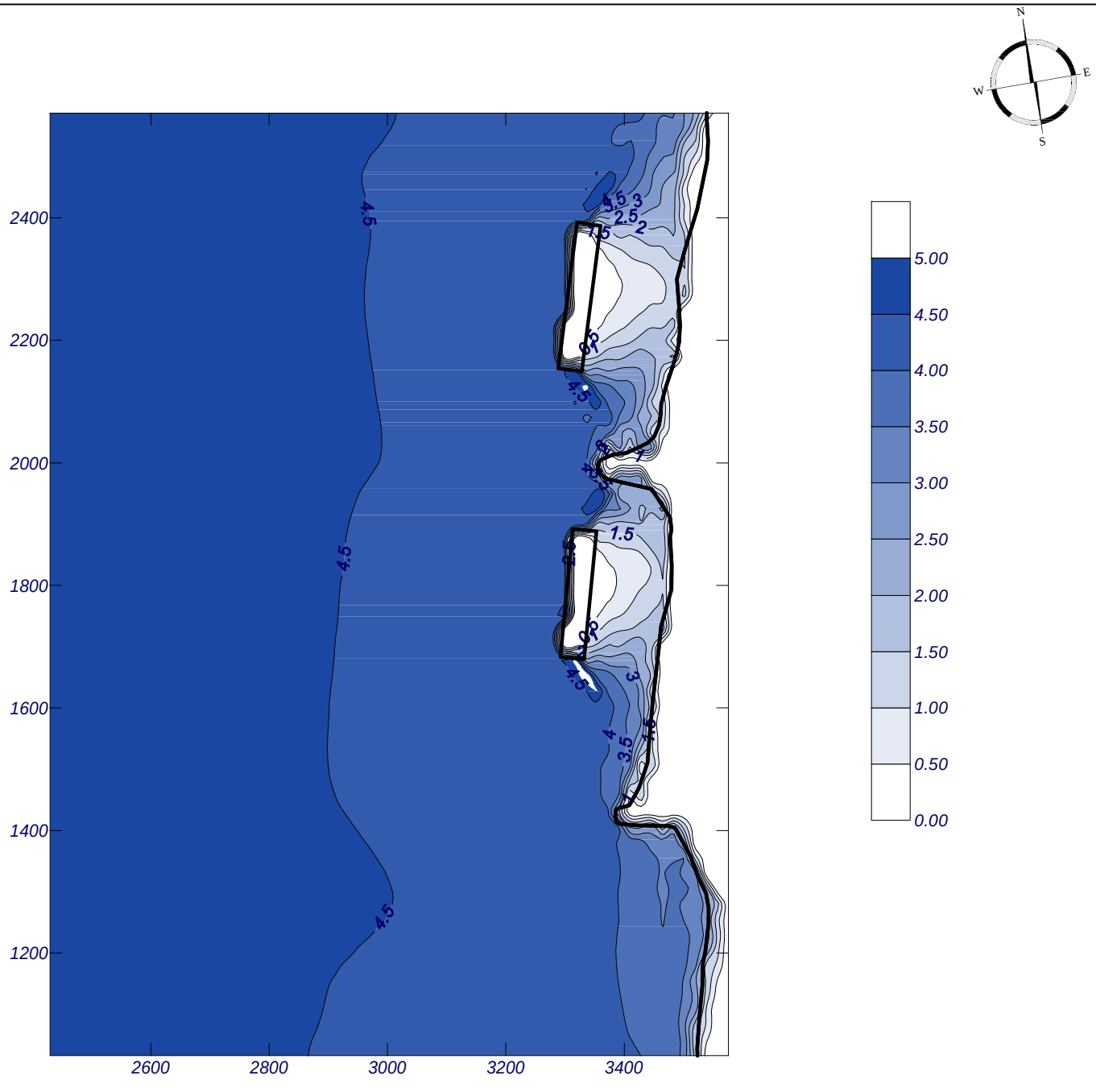
Programa desarrollado por

2.6 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

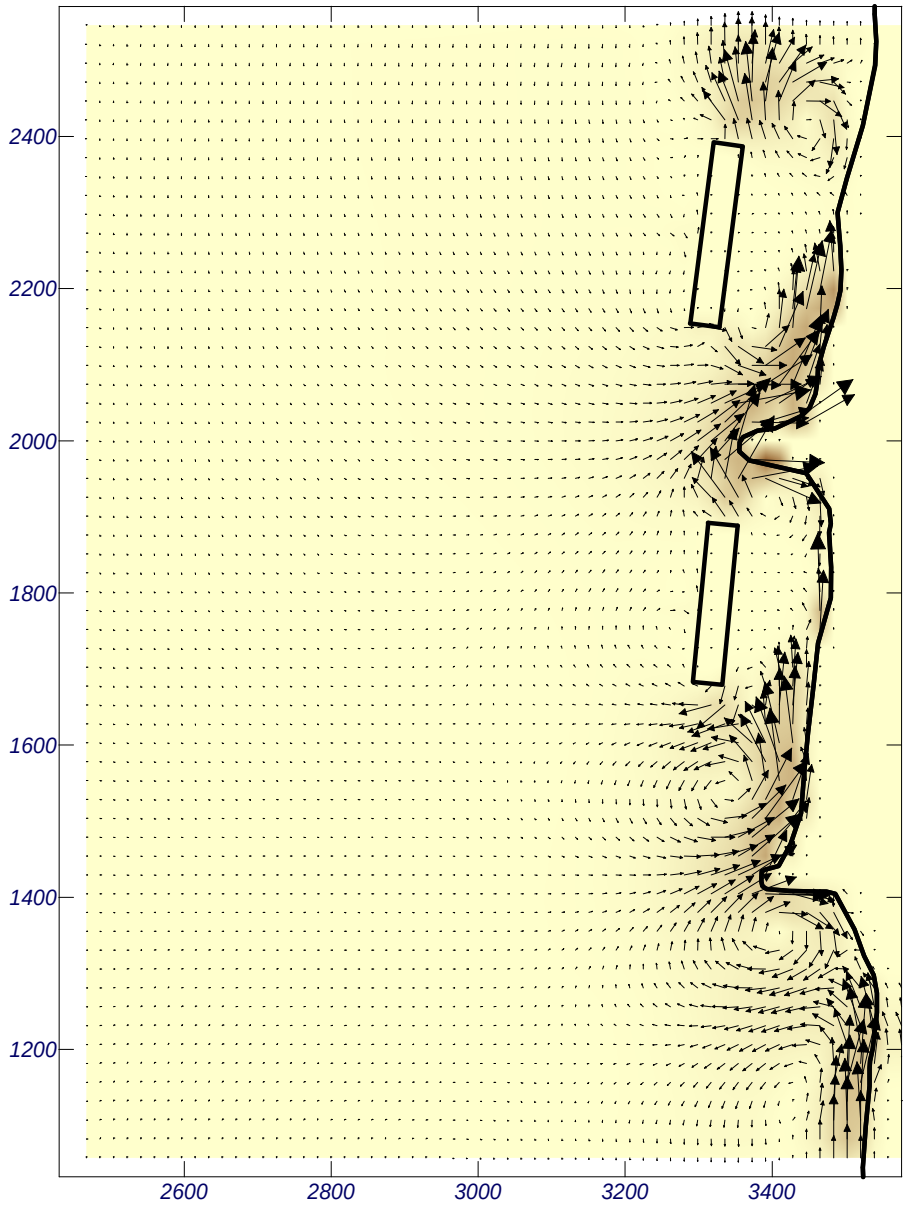
Programa desarrollado por

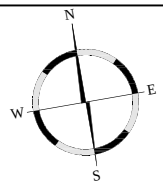
2.6 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

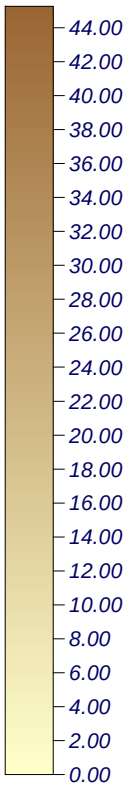
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m³/hour/m.l.)

1 cm = 21.550 m³/h/m.l.
0 21.55

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

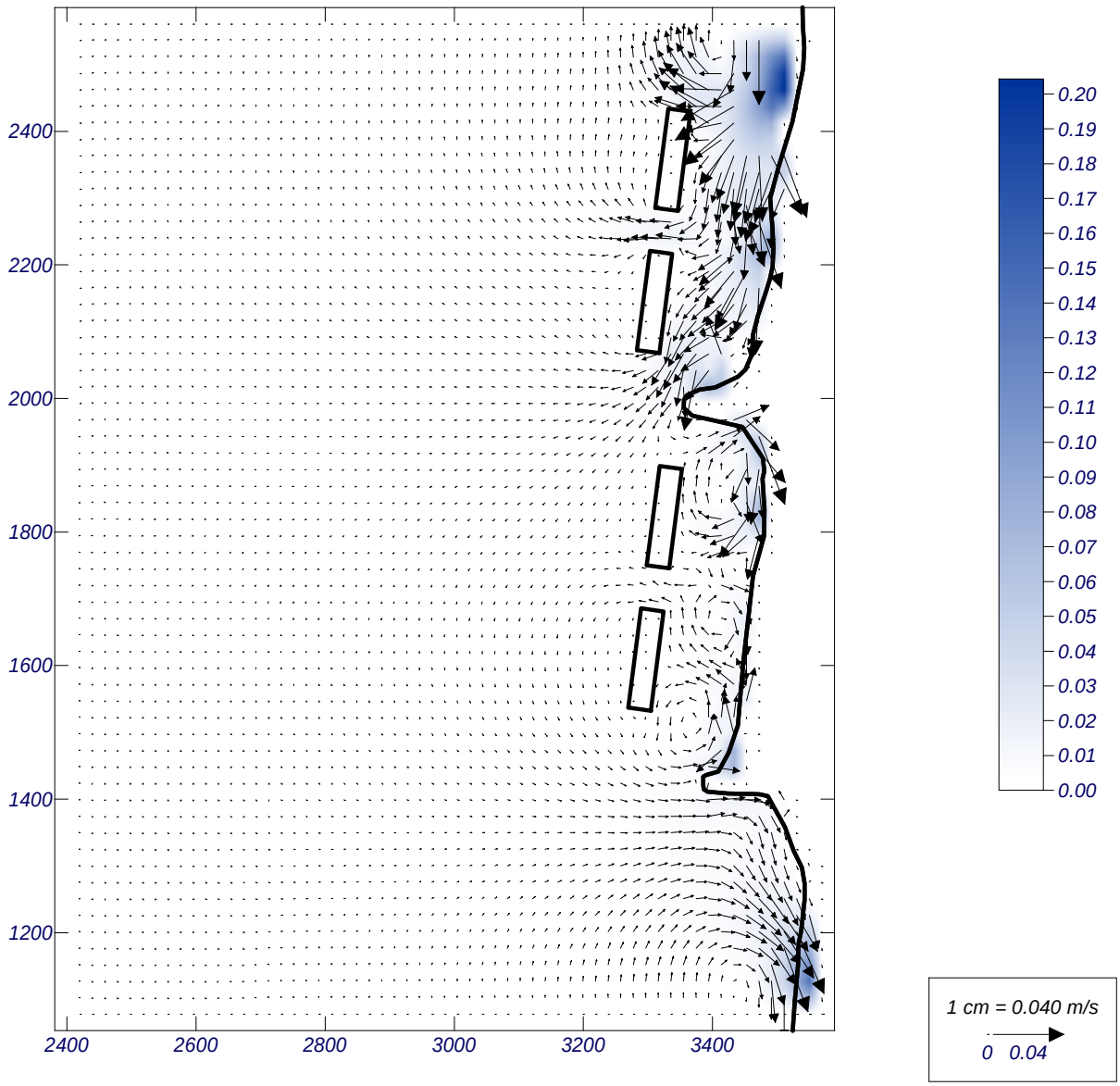
Programa desarrollado por

3.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

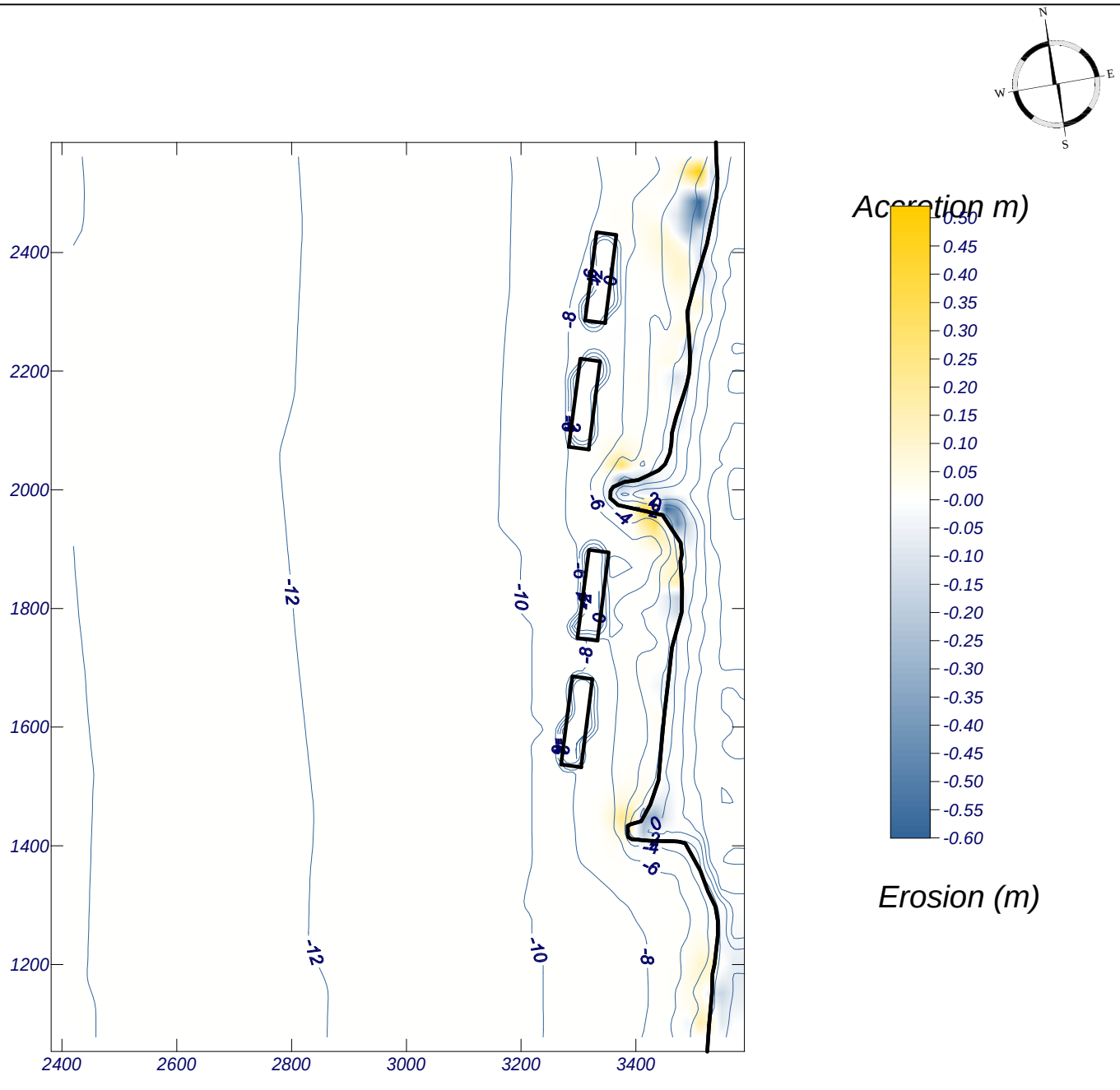
Programa desarrollado por

3.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP **Frequency spectrum (TMA)** Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	**COPLA-SP** Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	**MOPLA-SP** D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

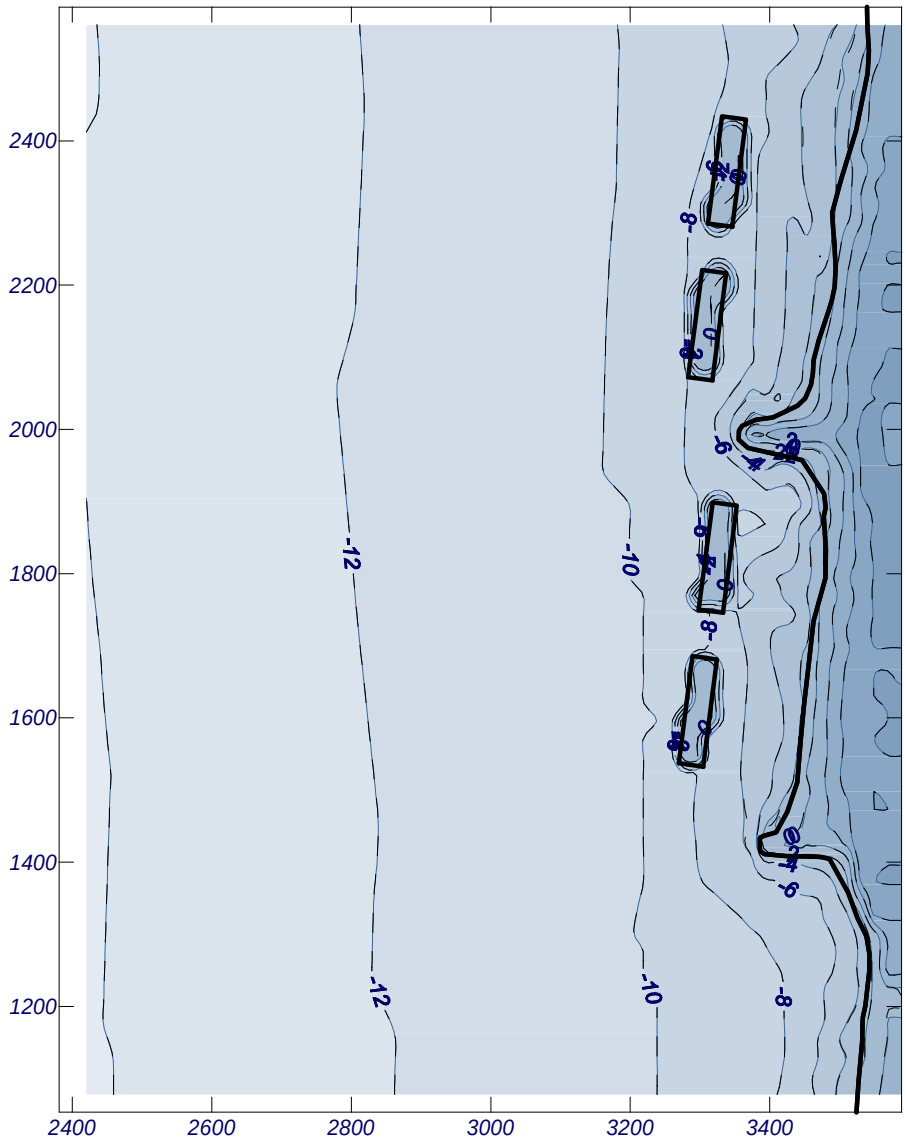
Programa desarrollado por

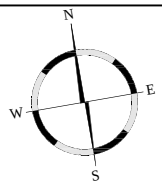
3.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

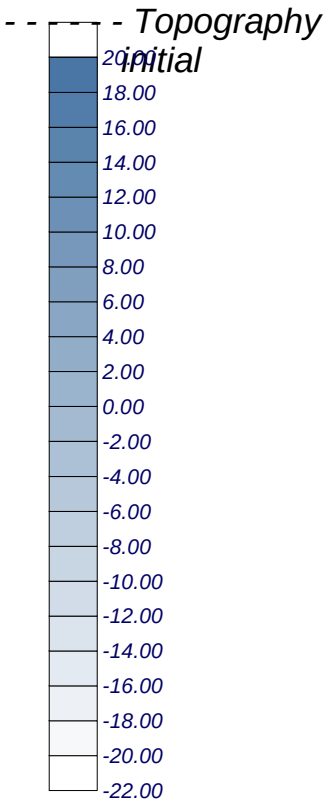
Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity ν_ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Topography final (m)

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

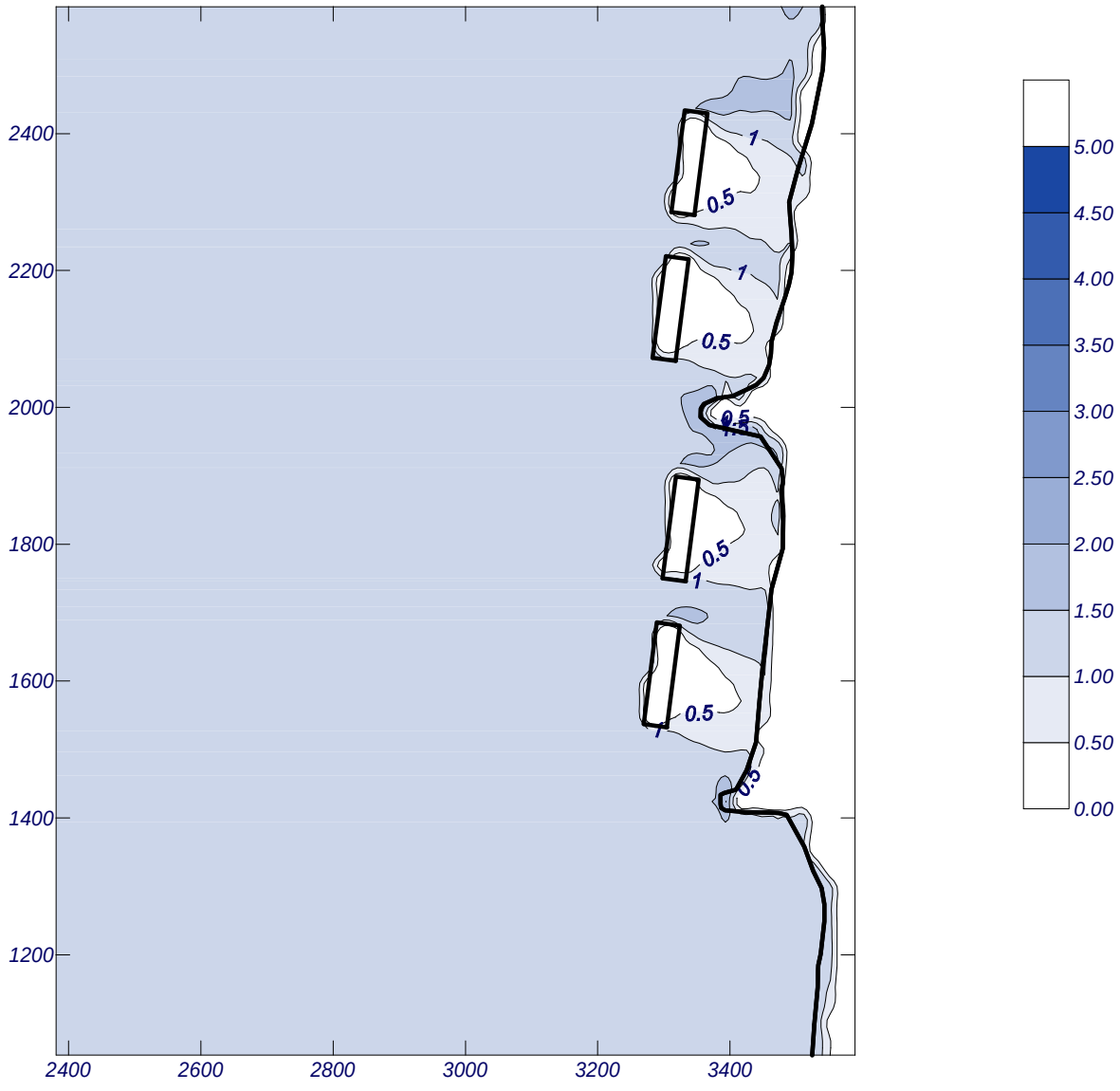
Programa desarrollado por

3.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

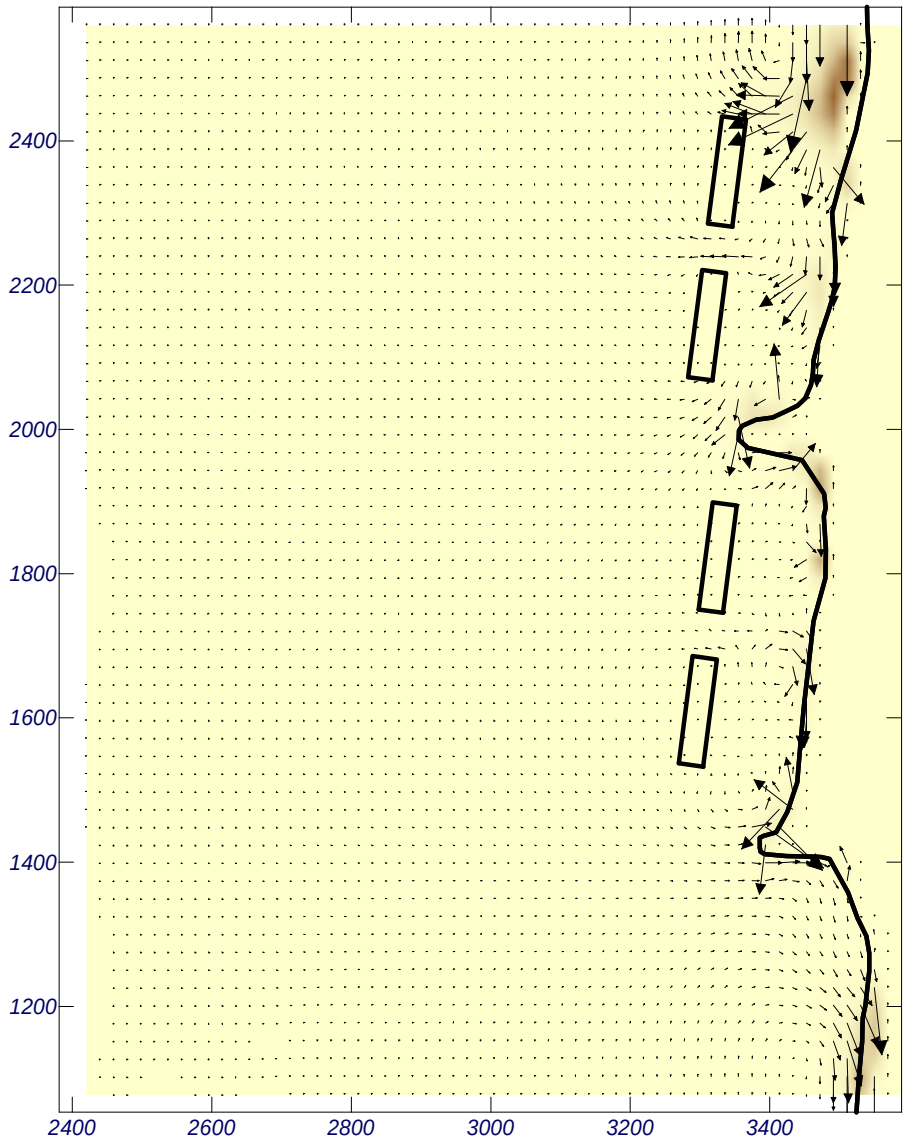
3.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

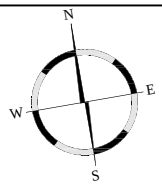
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

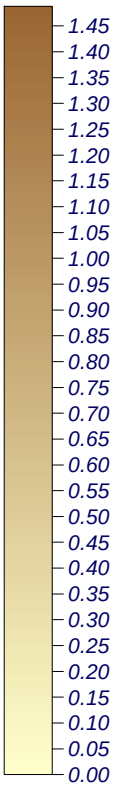
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 1.5 m h: 17 m fp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 0.160 m^3/h/m.l.
0 0.16

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

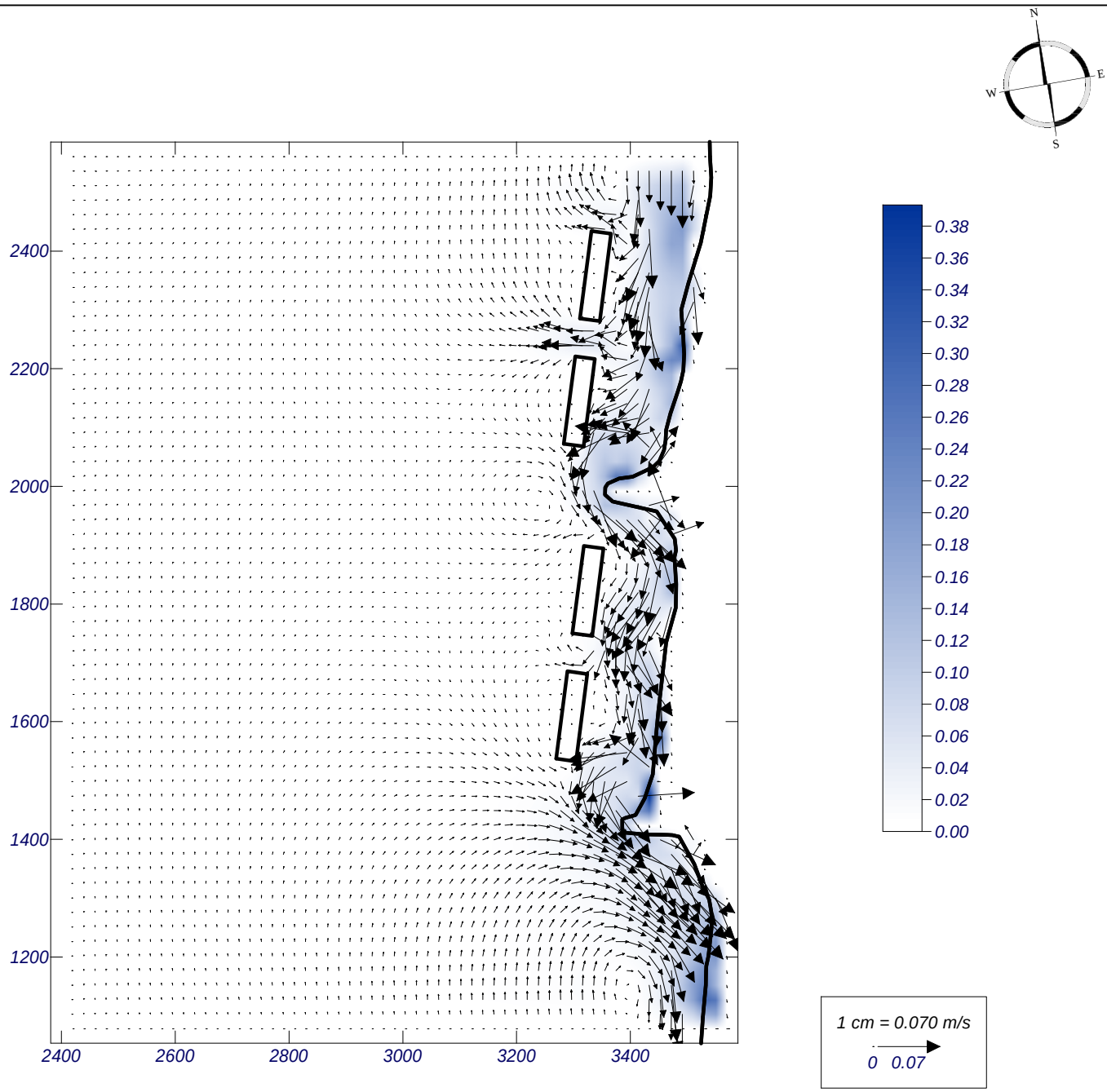
Programa desarrollado por

3.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

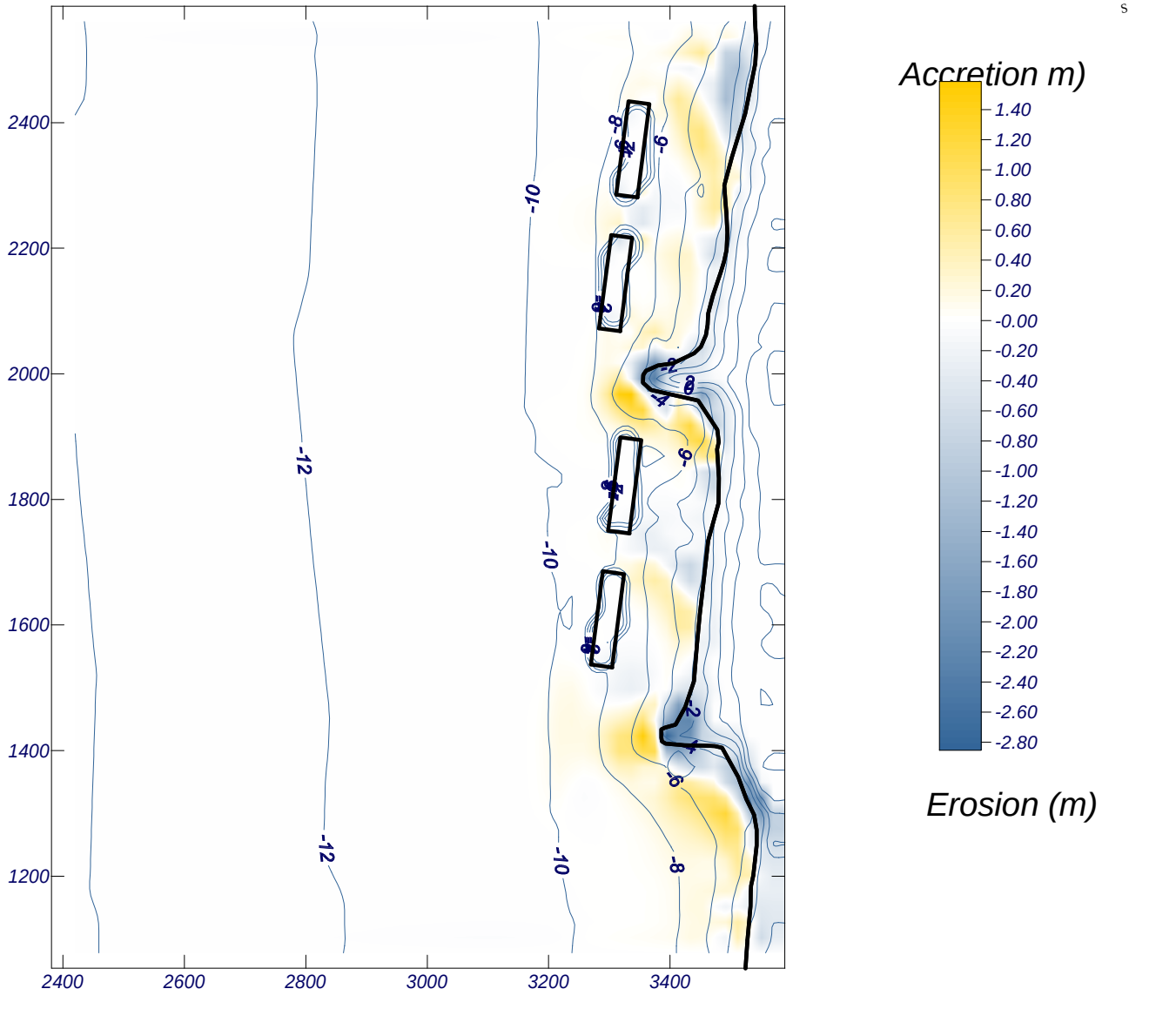
Programa desarrollado por

3.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity ν_ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

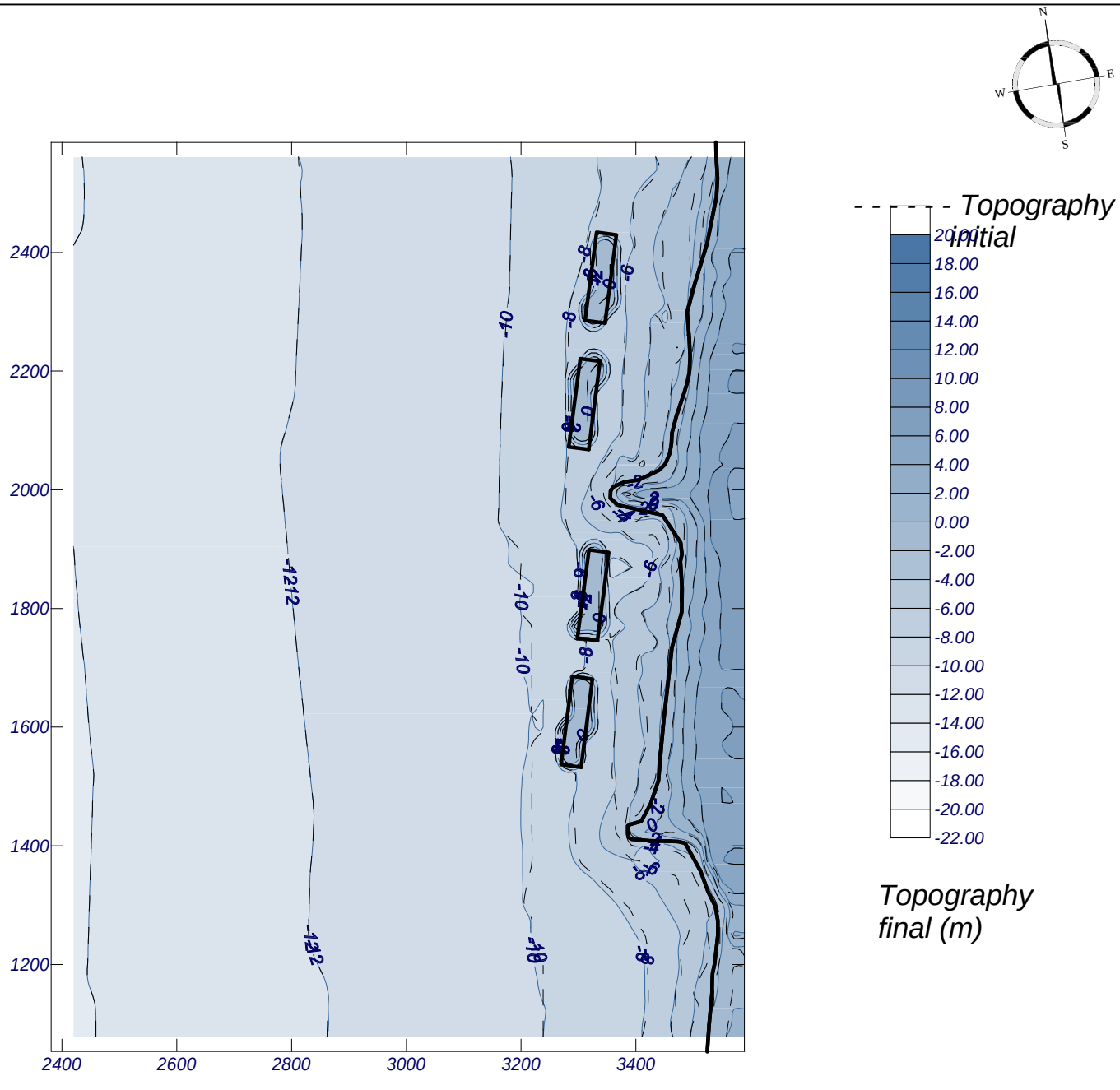
Programa desarrollado por

3.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

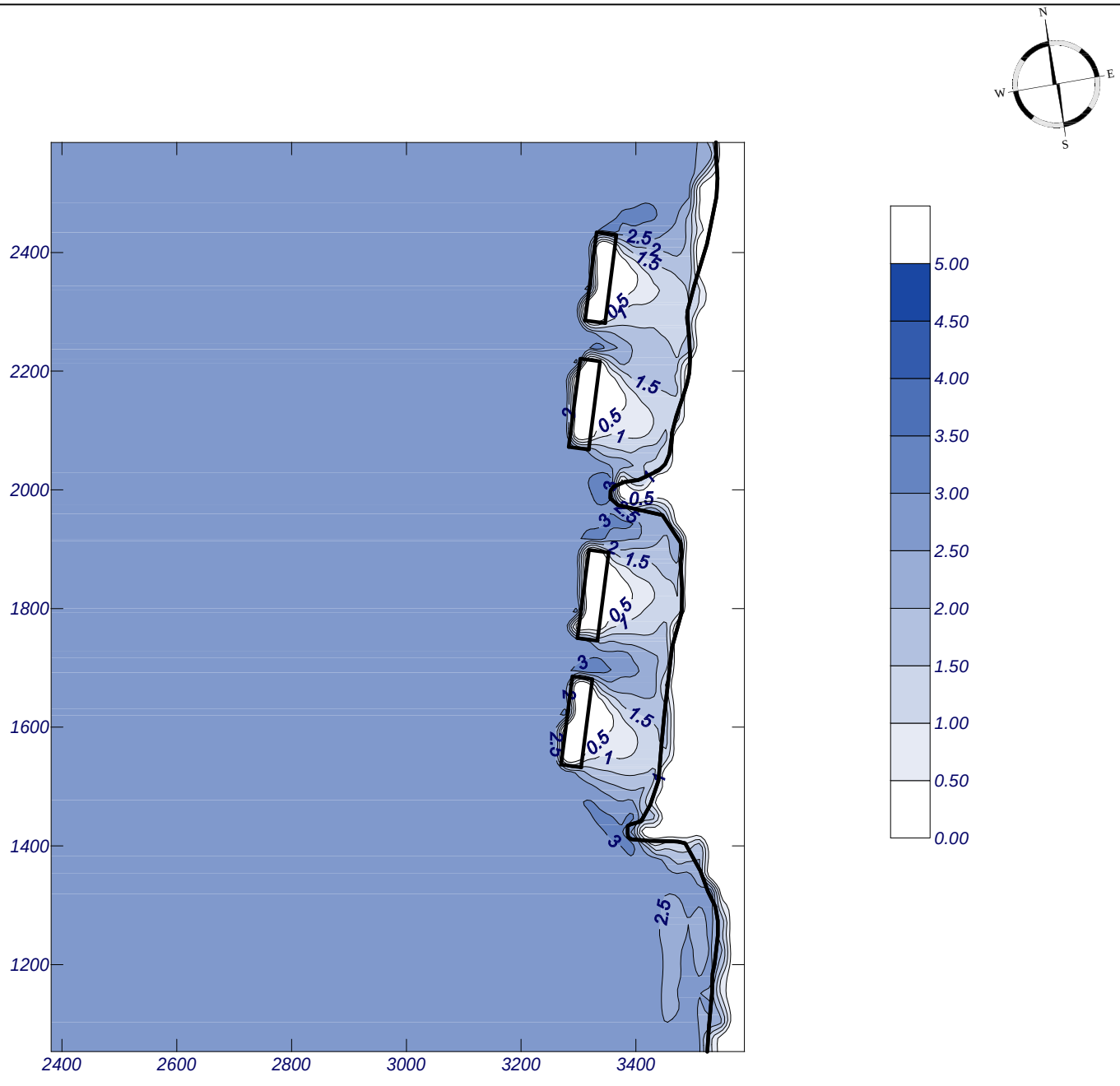
Programa desarrollado por

3.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

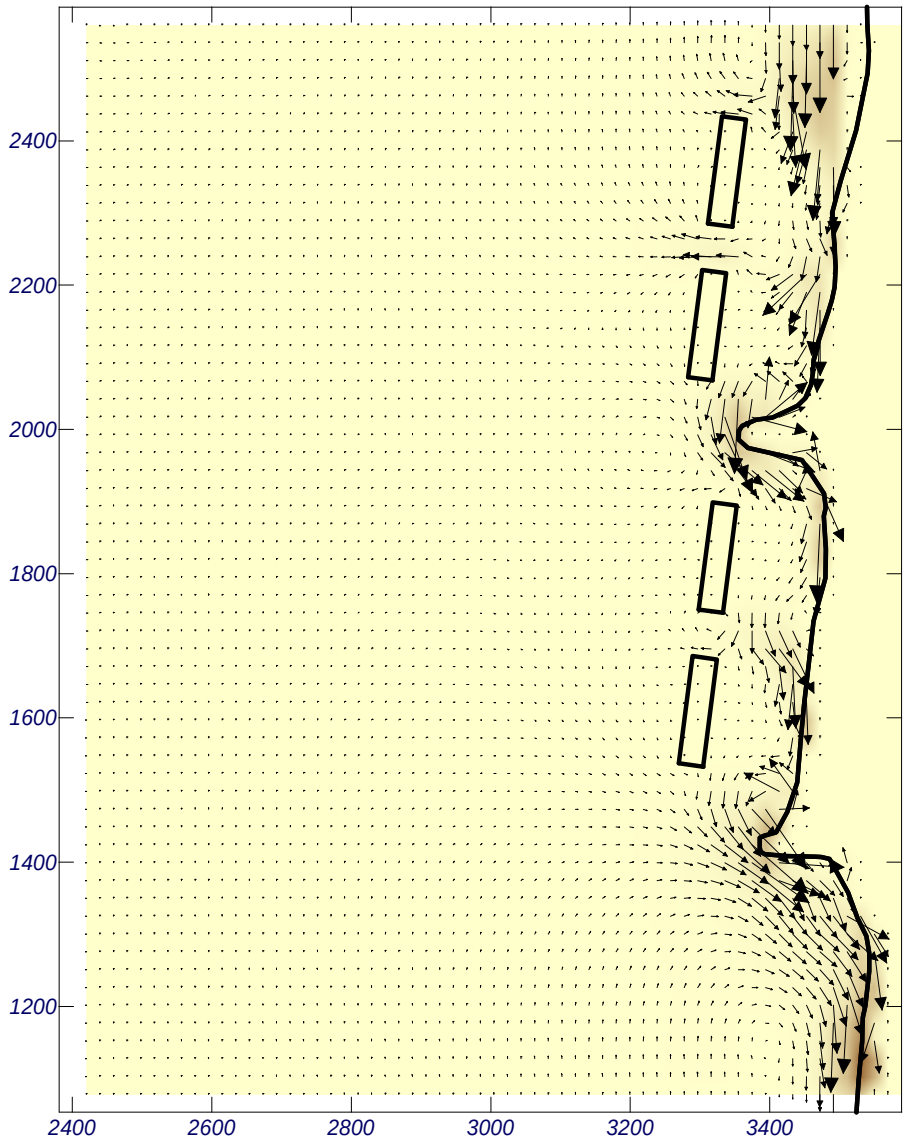
Programa desarrollado por

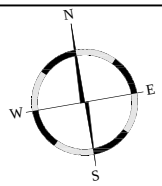
3.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

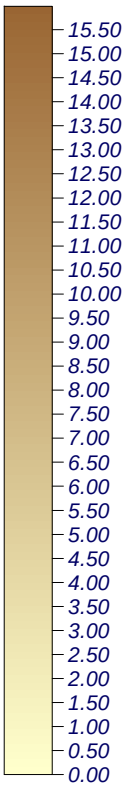
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 3 m h: 17 m fp: 0.0833333 Hz (Tp: 12 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m³/hour/m.l.)

1 cm = 3.460 m³/h/m.l.
0 3.46

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

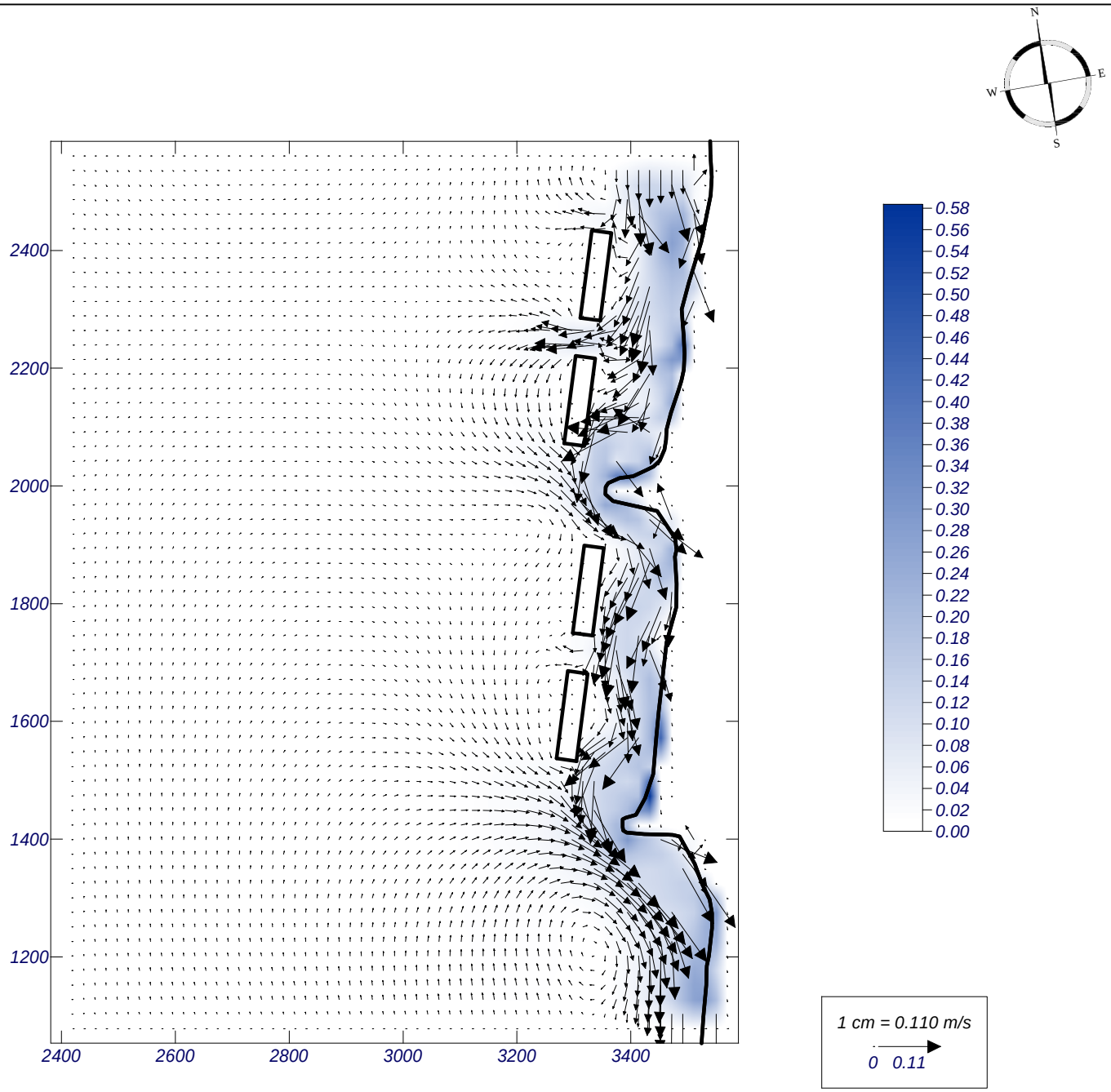
3.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

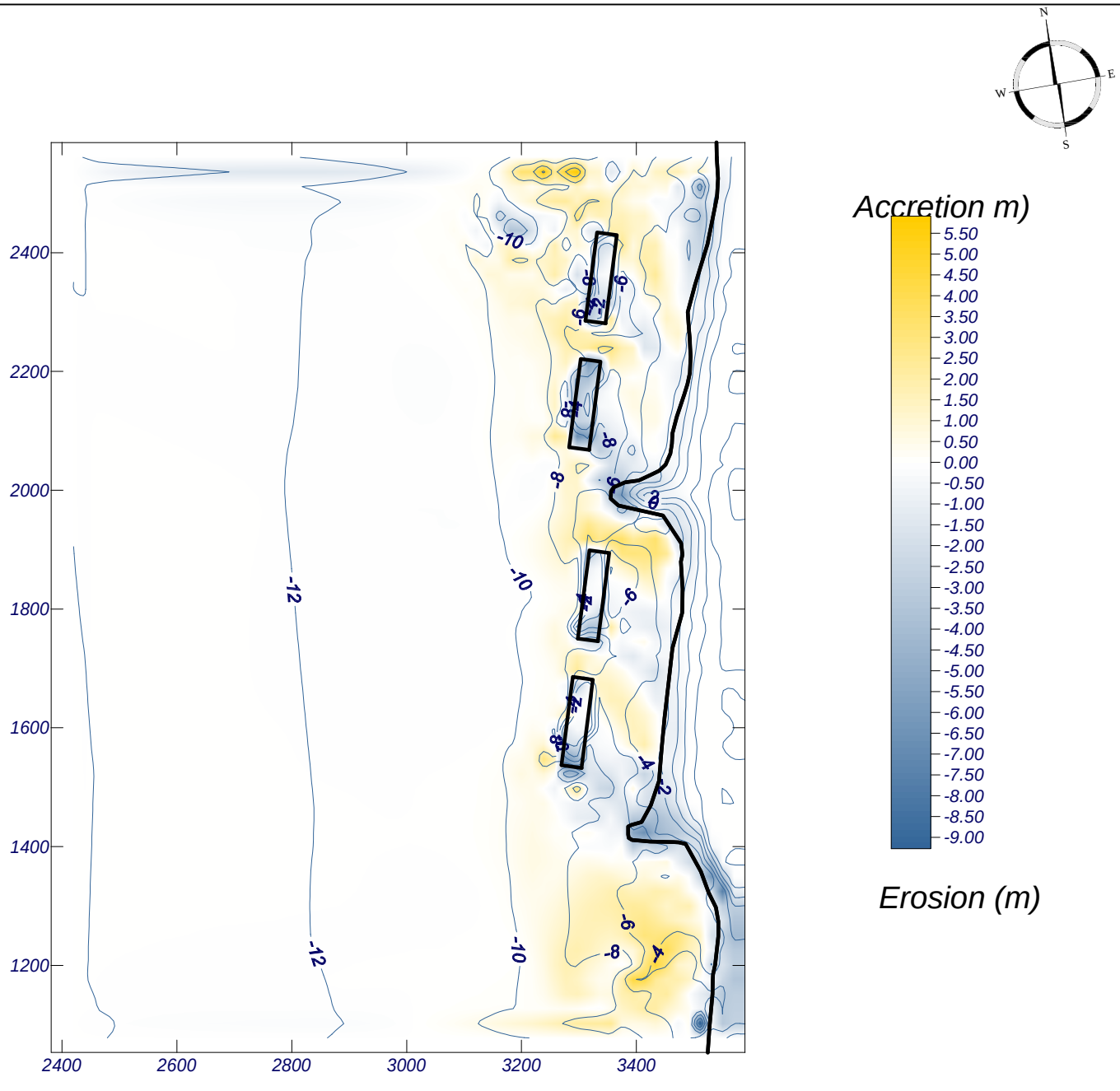
Programa desarrollado por

3.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

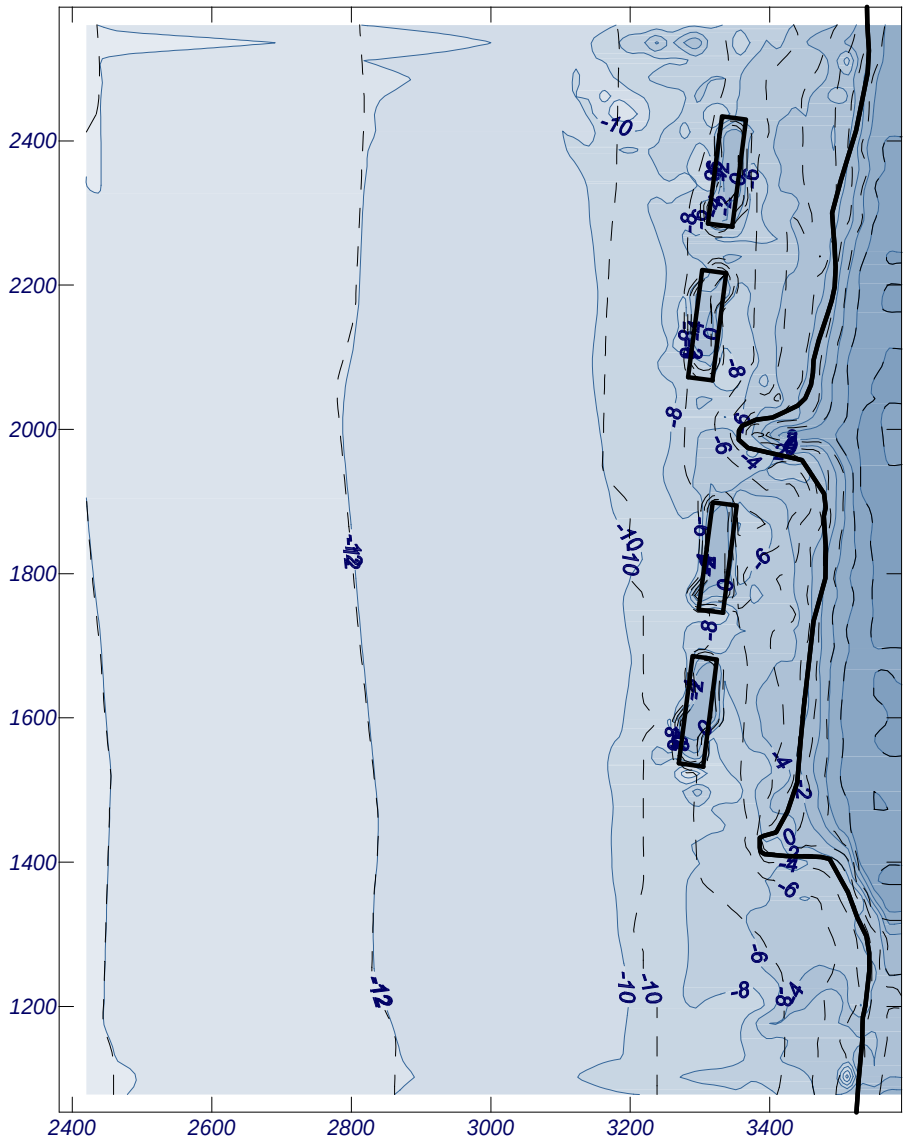
Programa desarrollado por

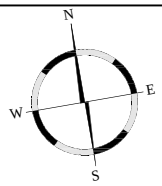
3.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

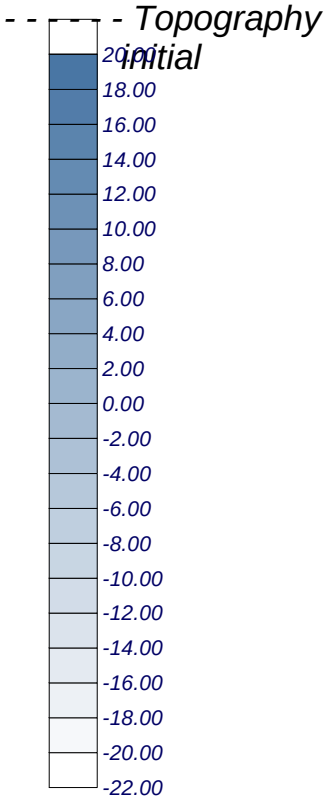
Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

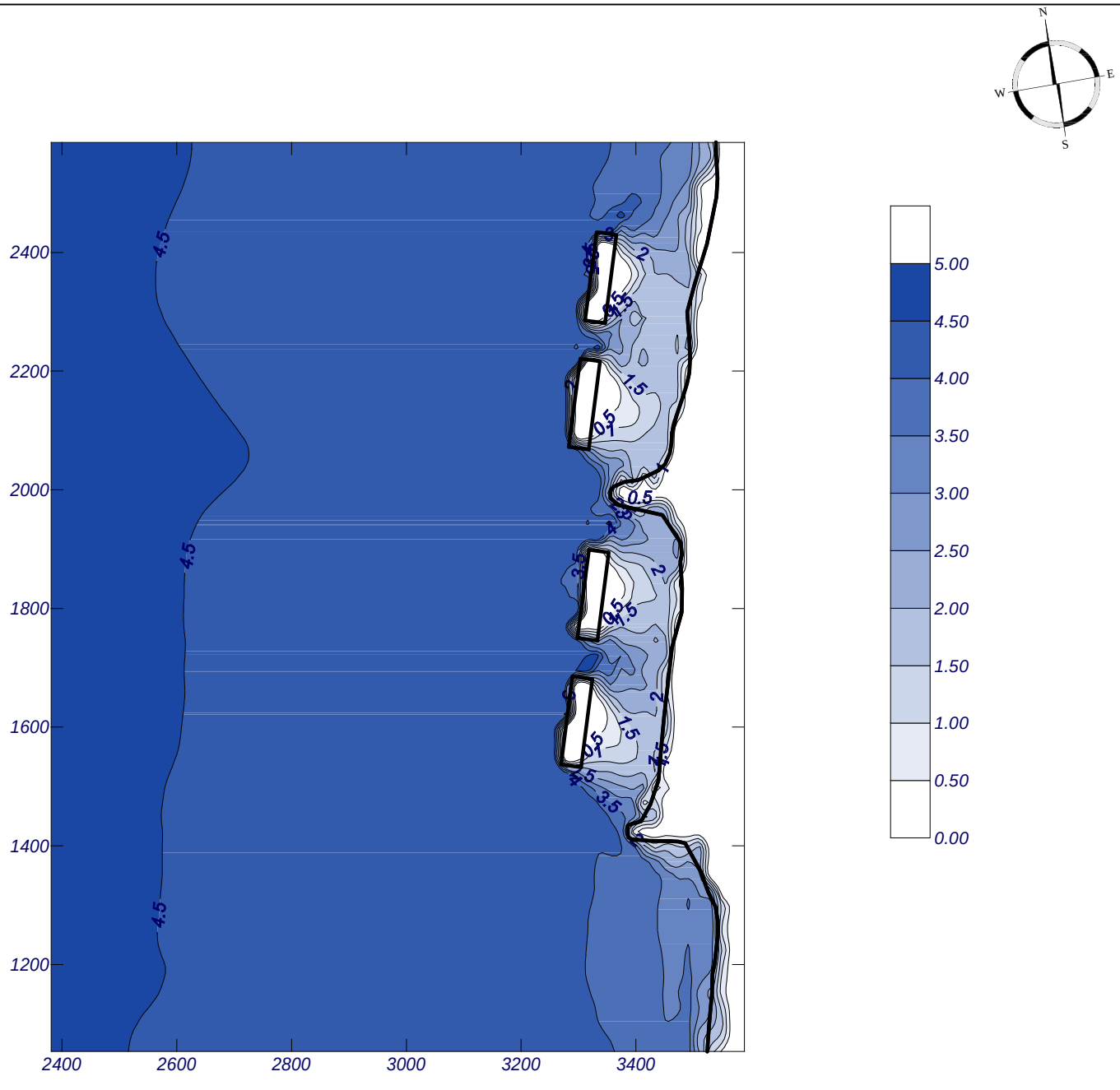
Programa desarrollado por

3.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

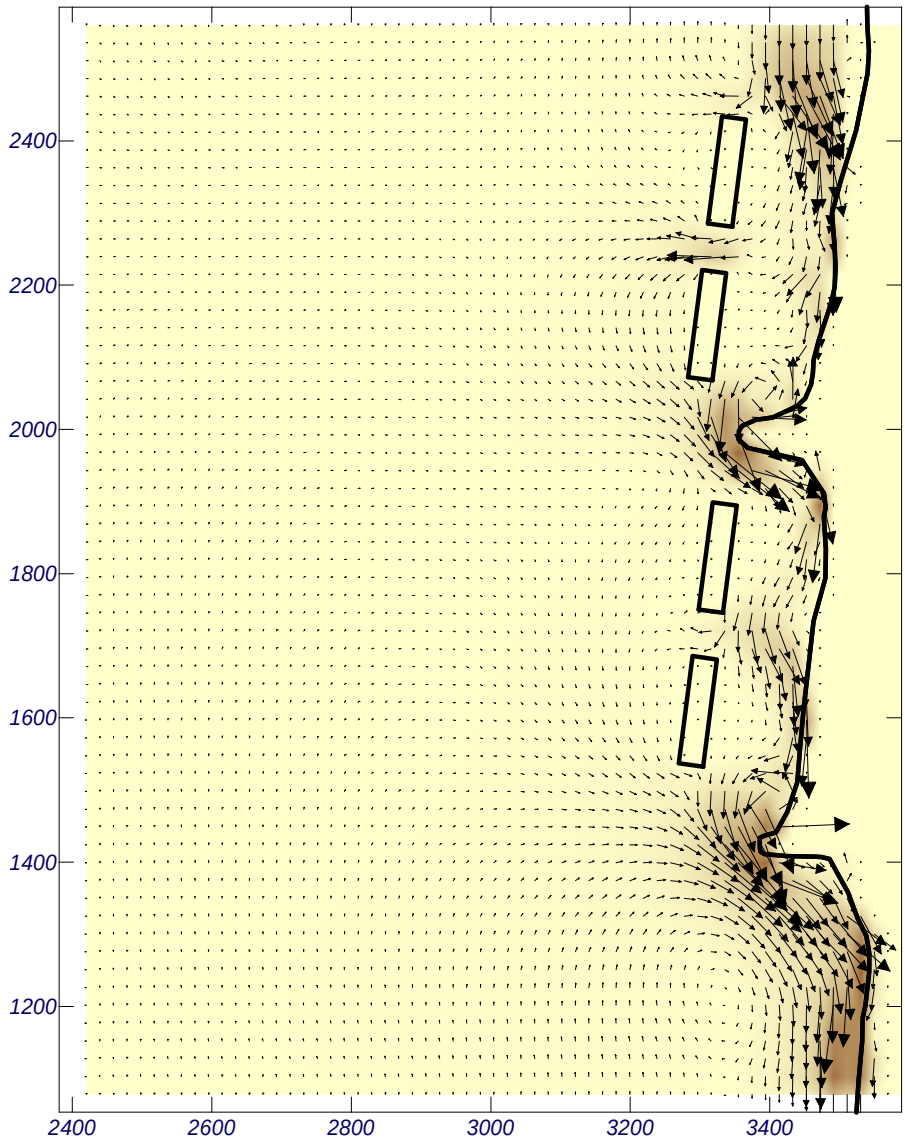
3.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

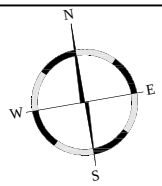
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

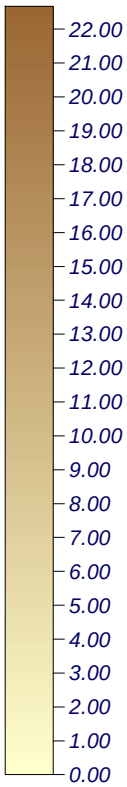
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m³/hour/m.l.)

1 cm = 13.610 m³/h/m.l.
0 13.61

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

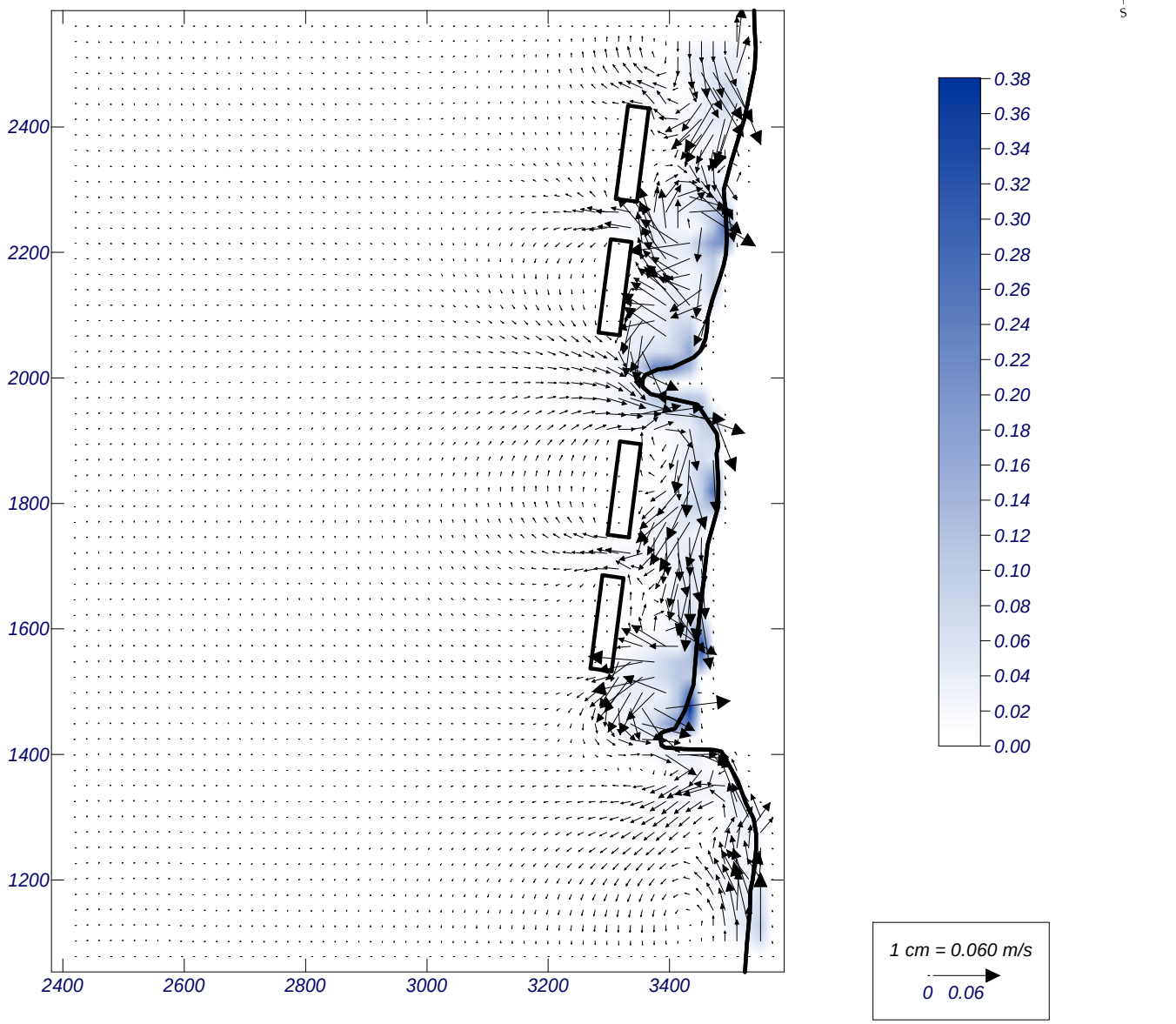
Programa desarrollado por

3.5 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

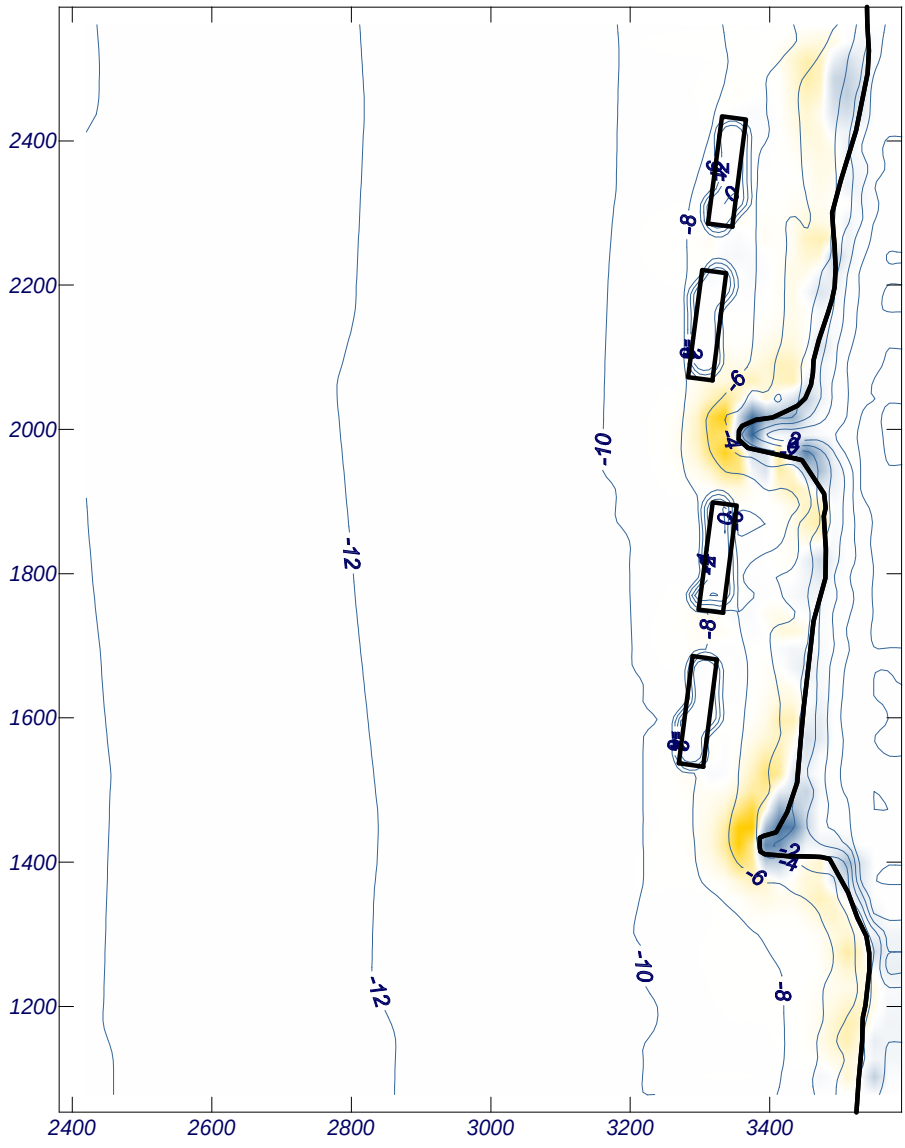
Programa desarrollado por

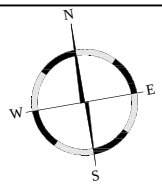
3.5 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

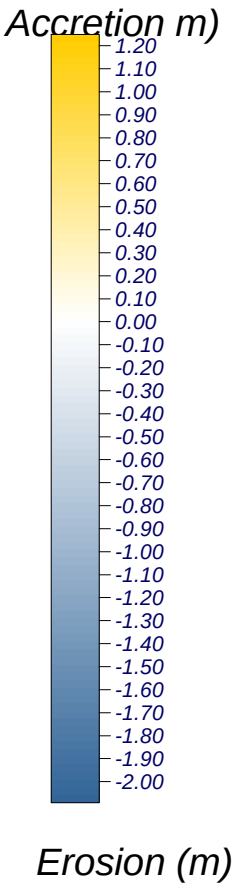
Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity ν_ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

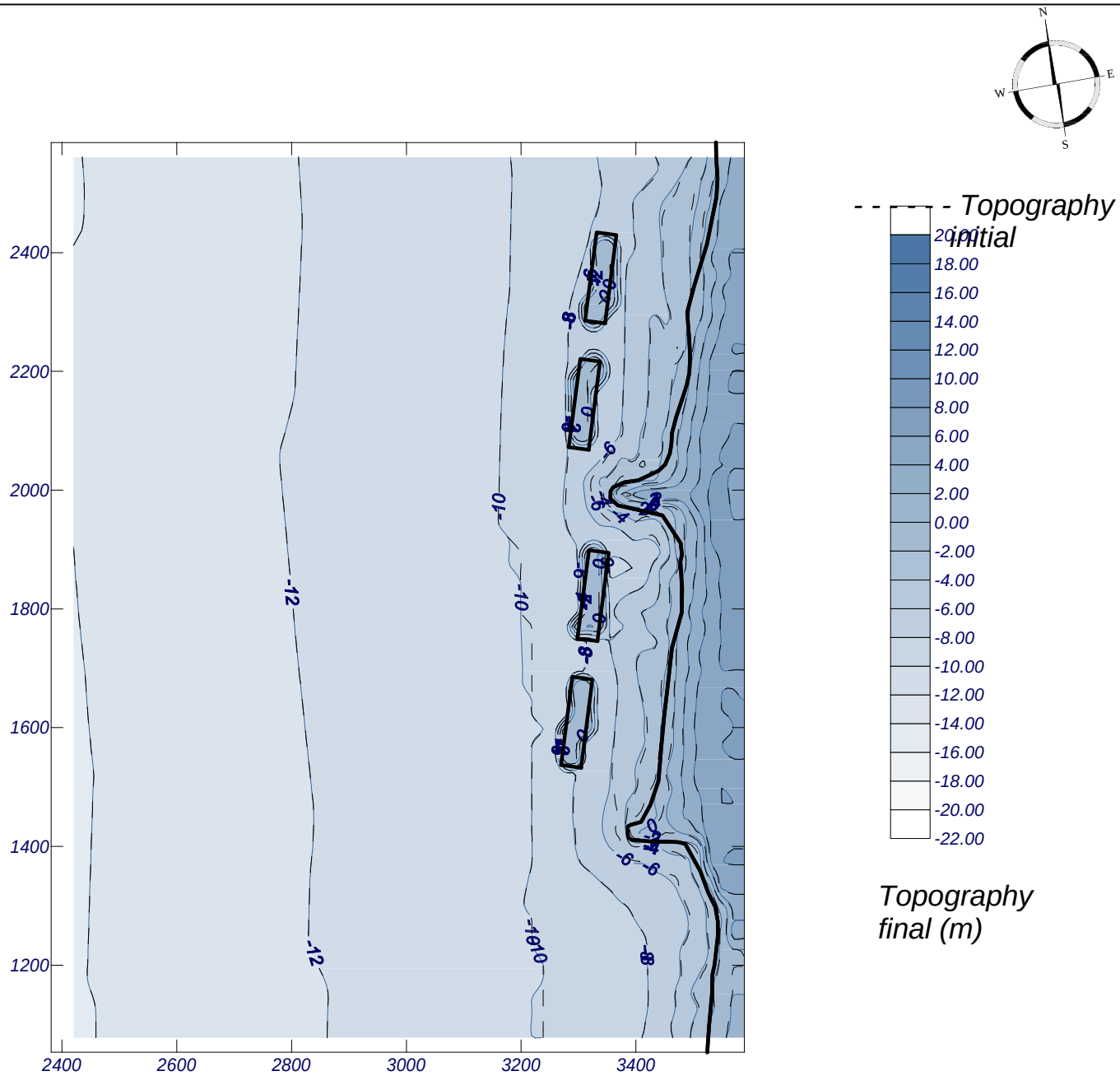
Programa desarrollado por

3.5 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP **Frequency spectrum (TMA)** Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	**COPLA-SP** Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity ν: 10 m²/s	**MOPLA-SP** D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

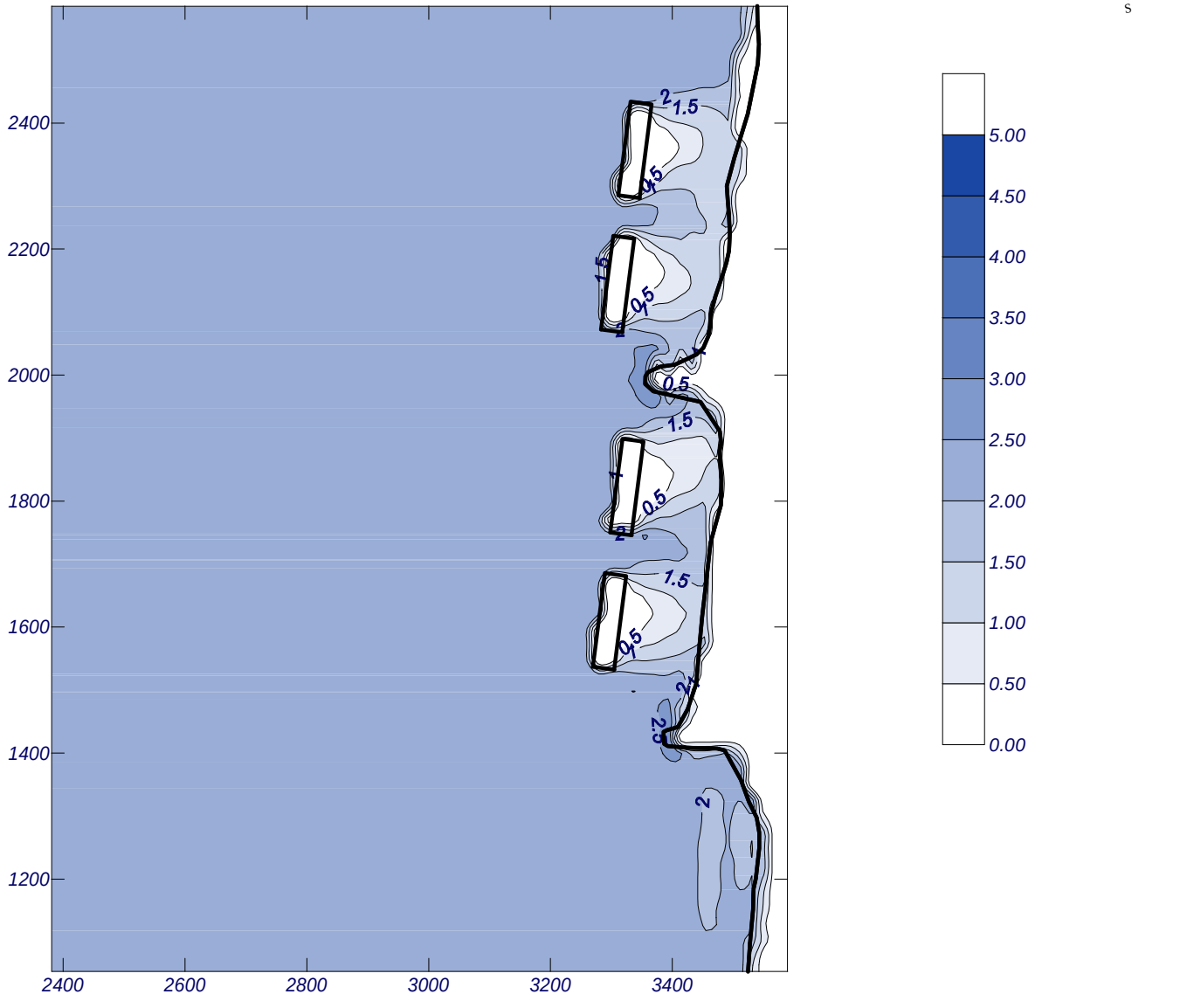
Programa desarrollado por

3.5 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

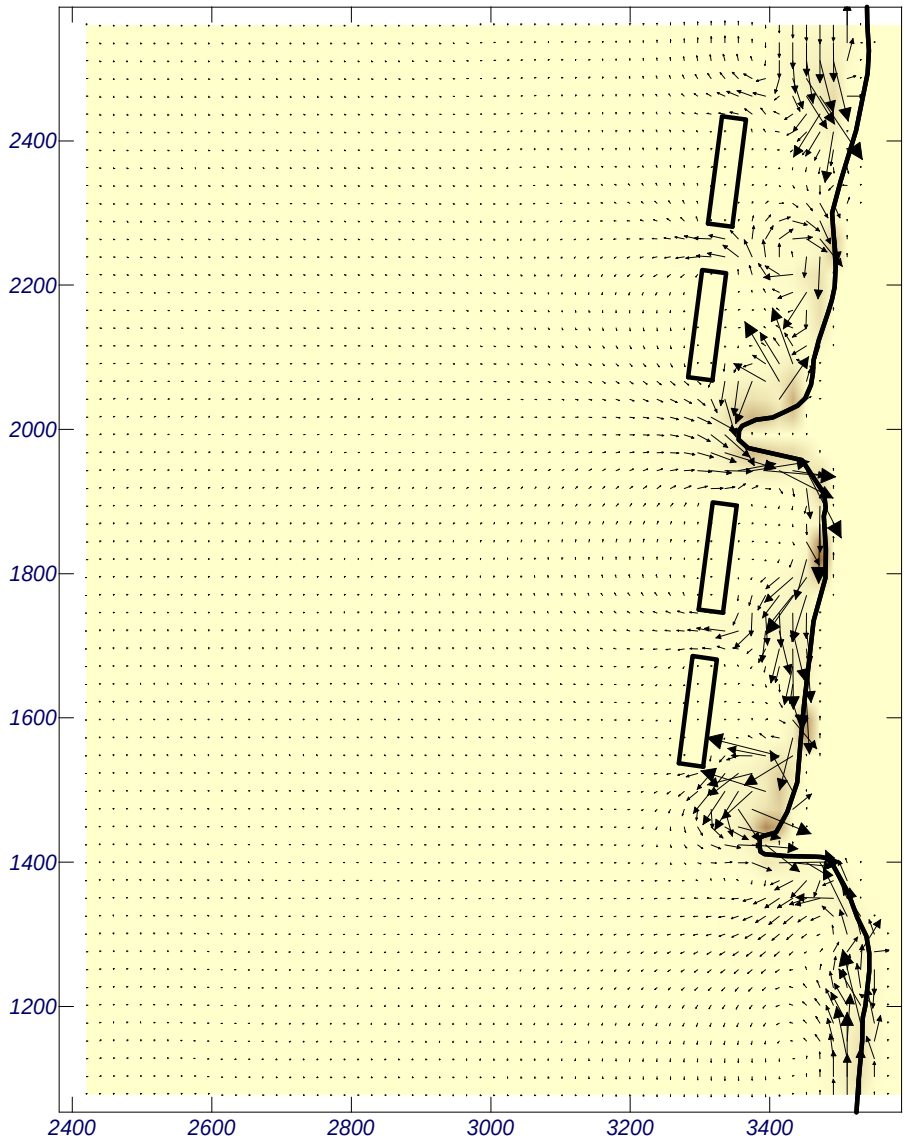
3.5 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

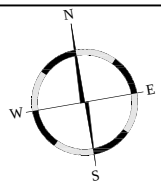
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

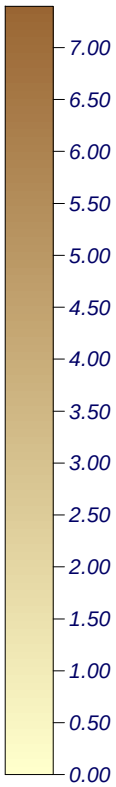
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity ν_n ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m³/hour/m.l.)

1 cm = 1.050 m³/h/m.l.
0 1.05

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

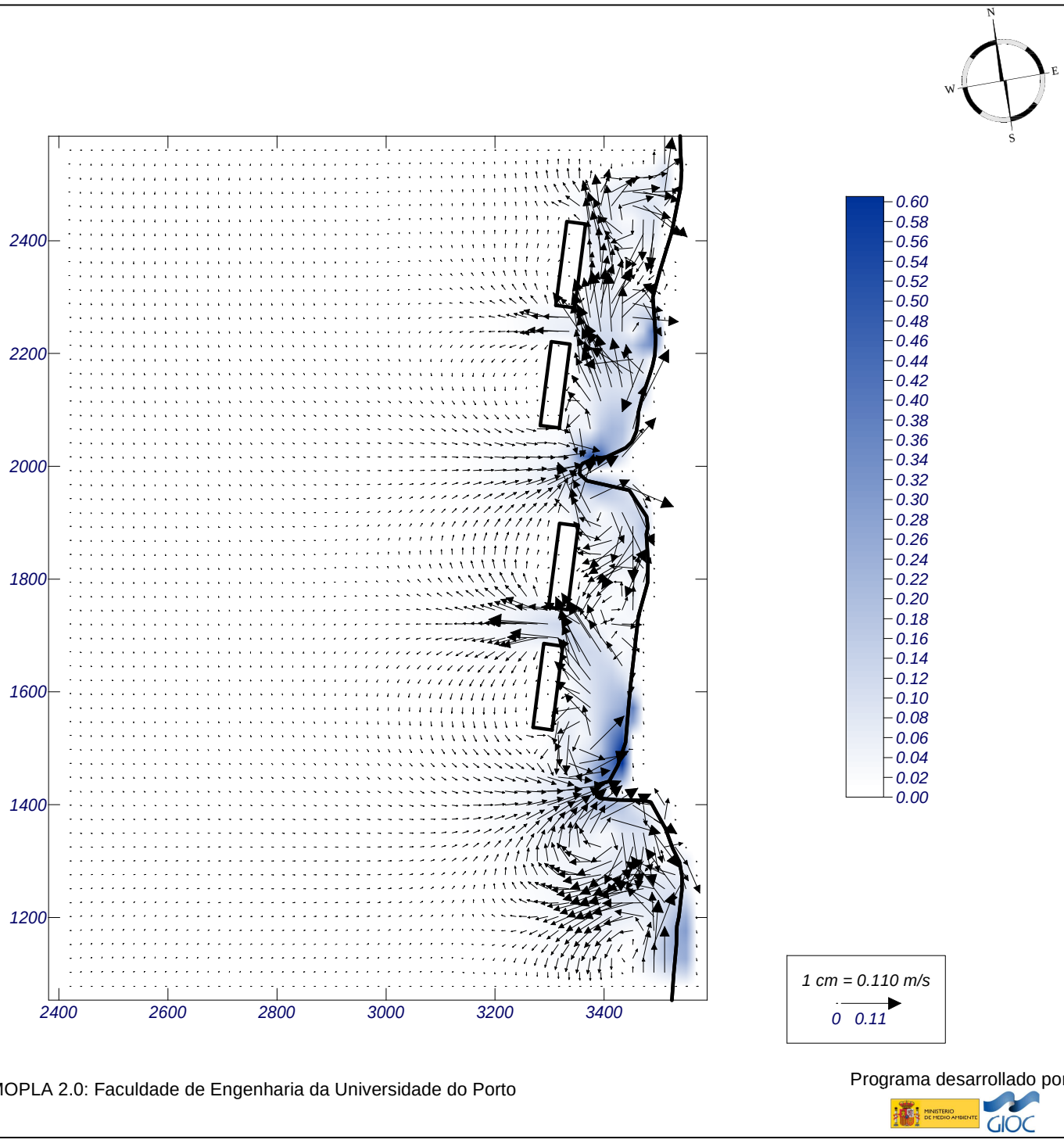
Programa desarrollado por

3.6 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

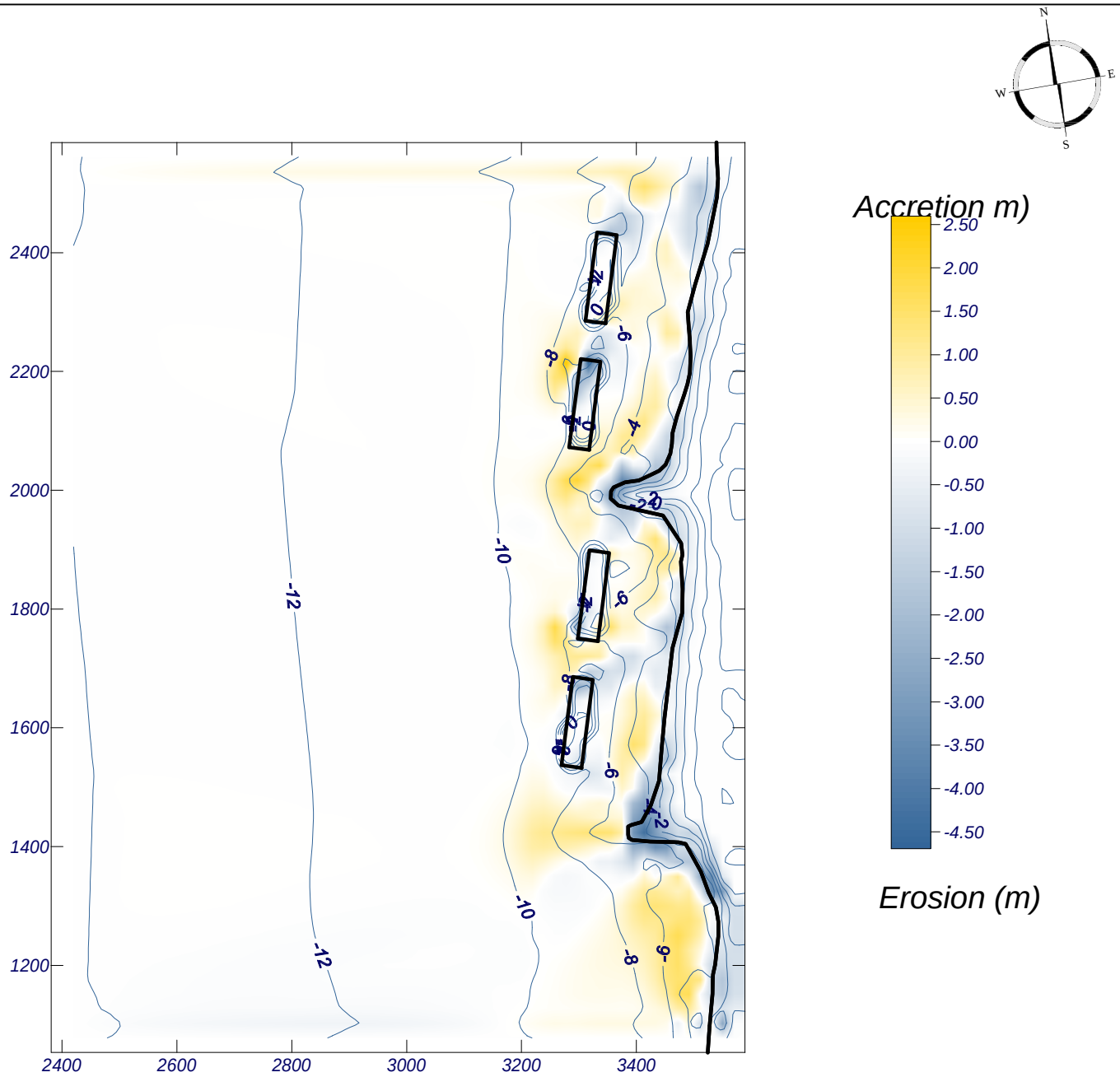
Programa desarrollado por

3.6 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

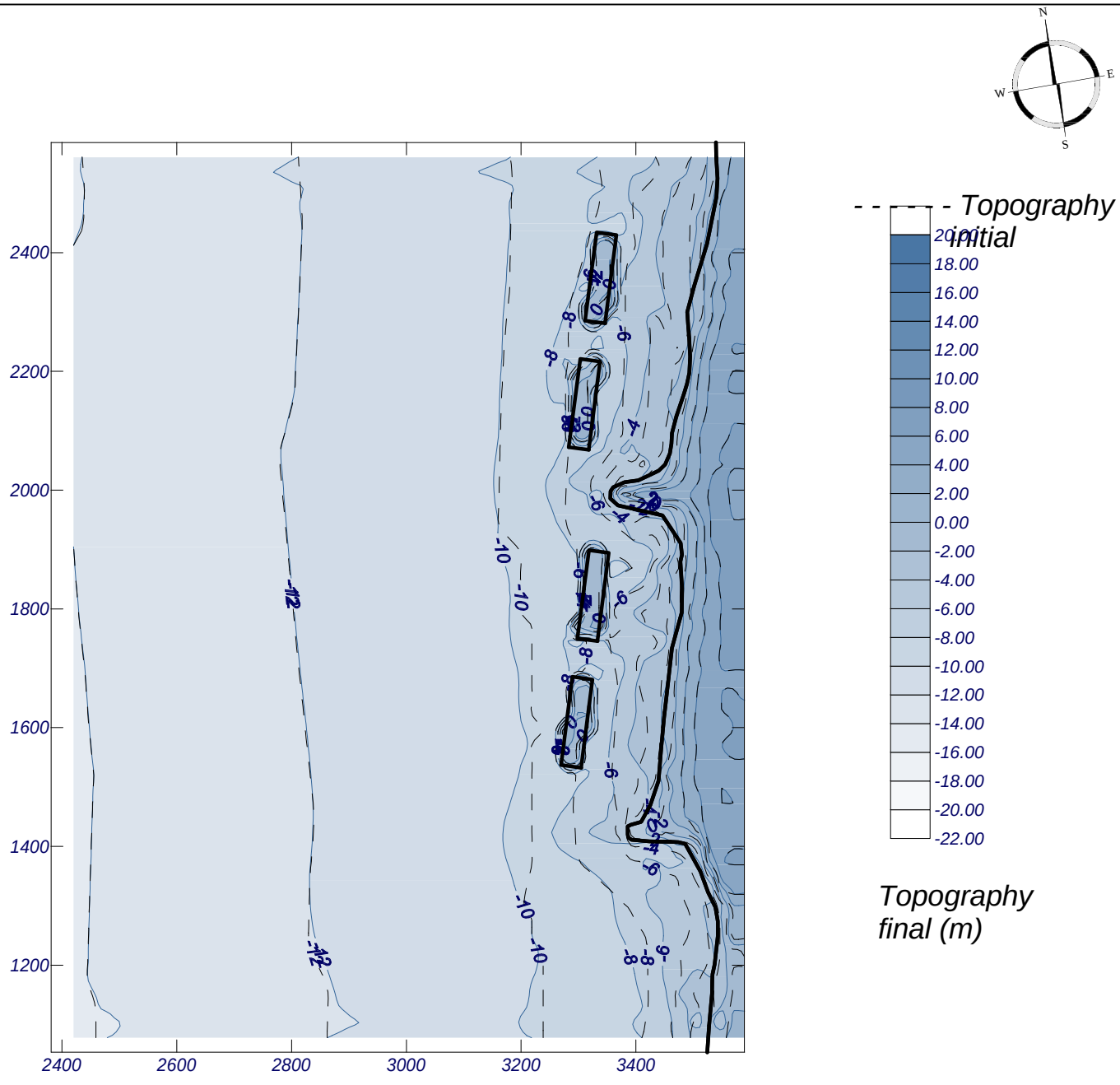
Programa desarrollado por

3.6 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

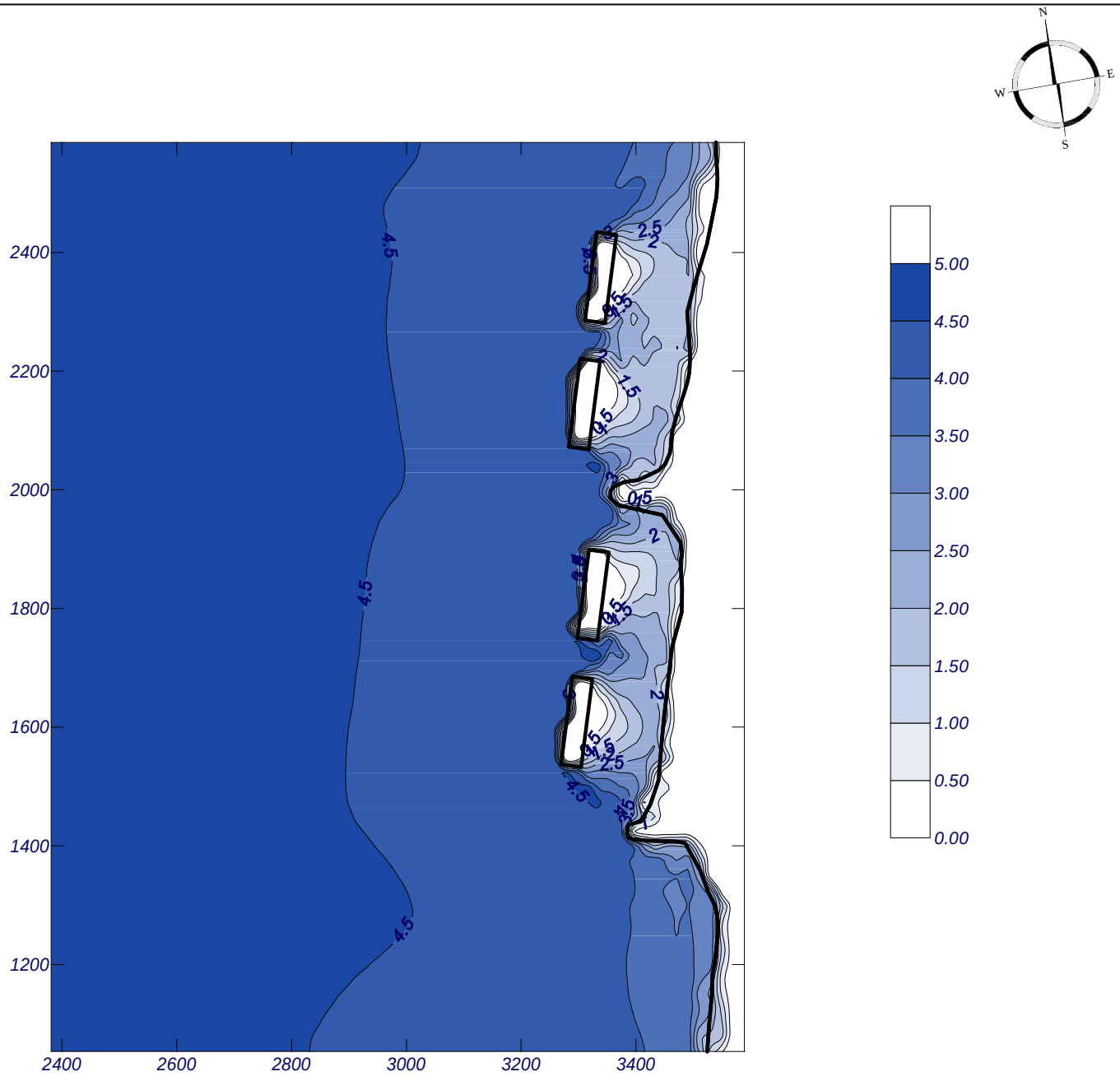
Programa desarrollado por

3.6 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

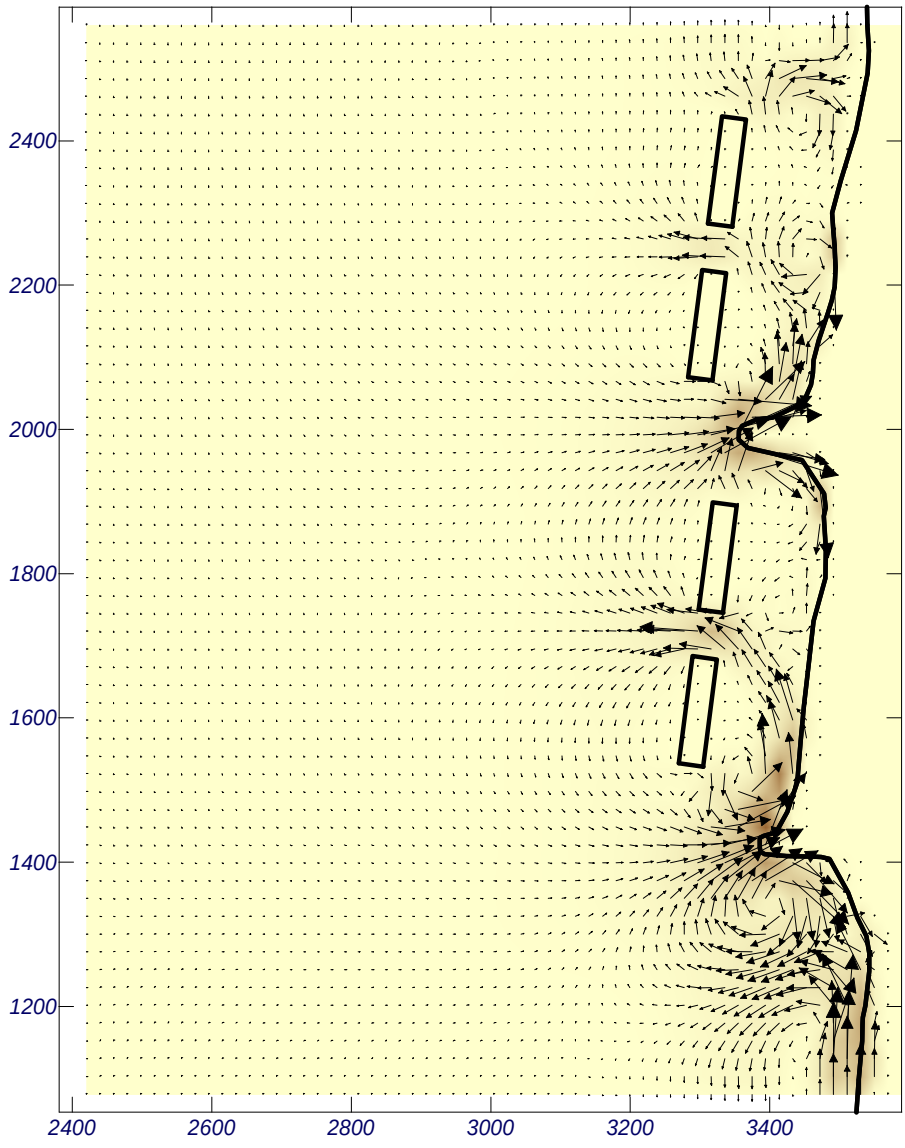
3.6 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

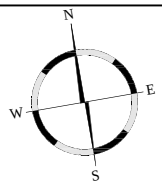
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

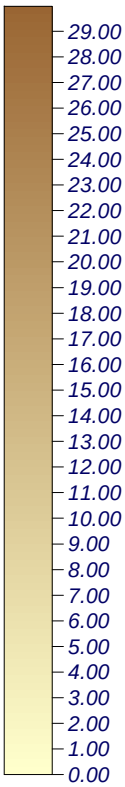
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m³/hour/m.l.)

1 cm = 11.820 m³/h/m.l.
0 11.82

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

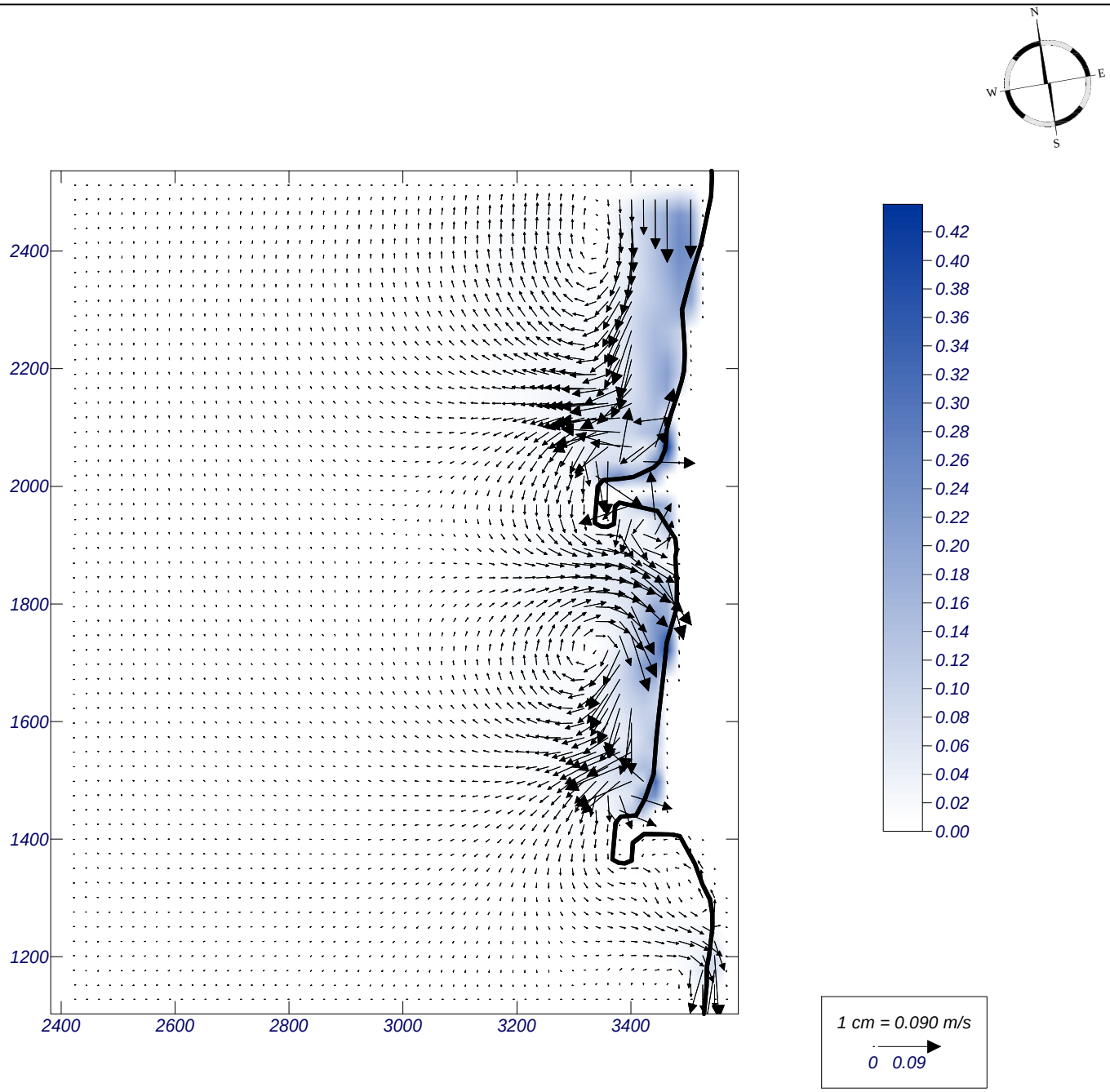
Programa desarrollado por

4.1 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	*Nikuradse* *Roughness* *Kswc: 1 m* *Eddy* *viscosity* η_ε: 10 m^2/s	

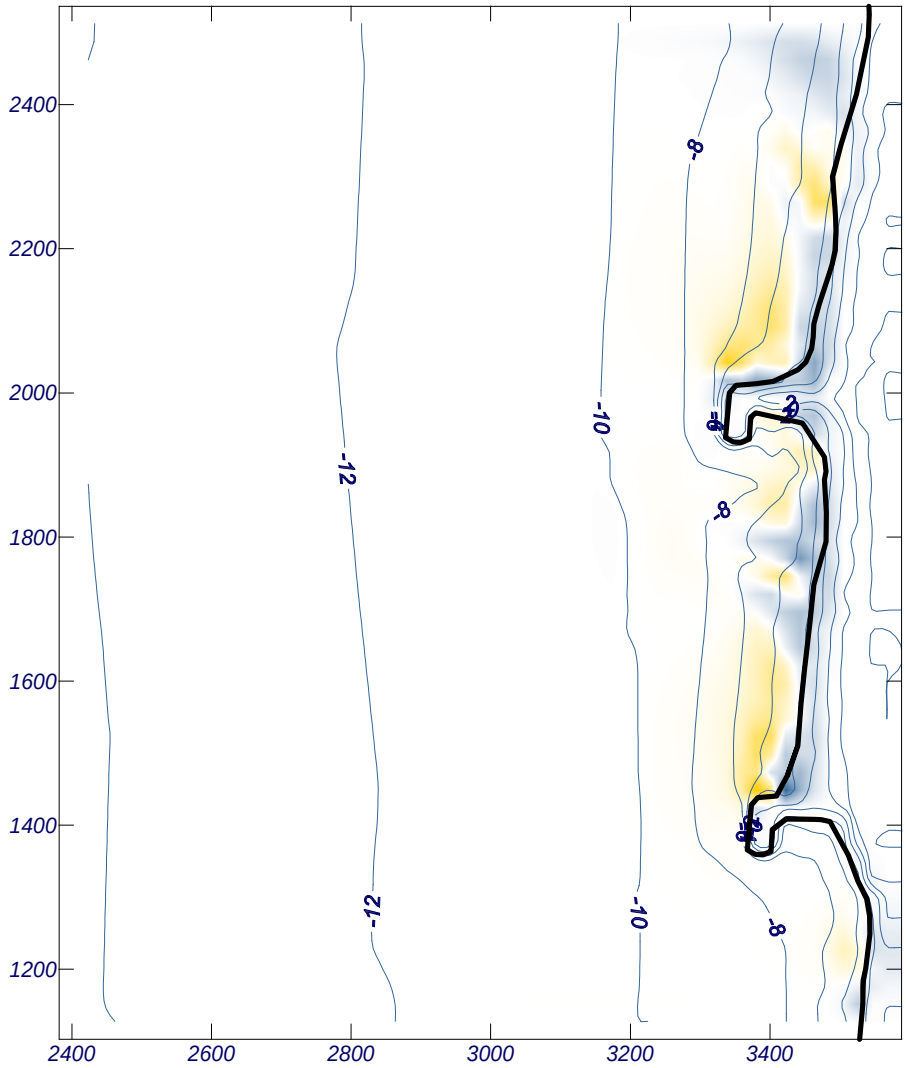


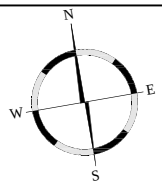
4.1 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

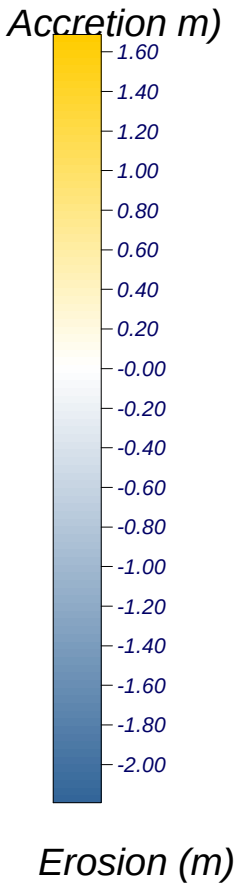
Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

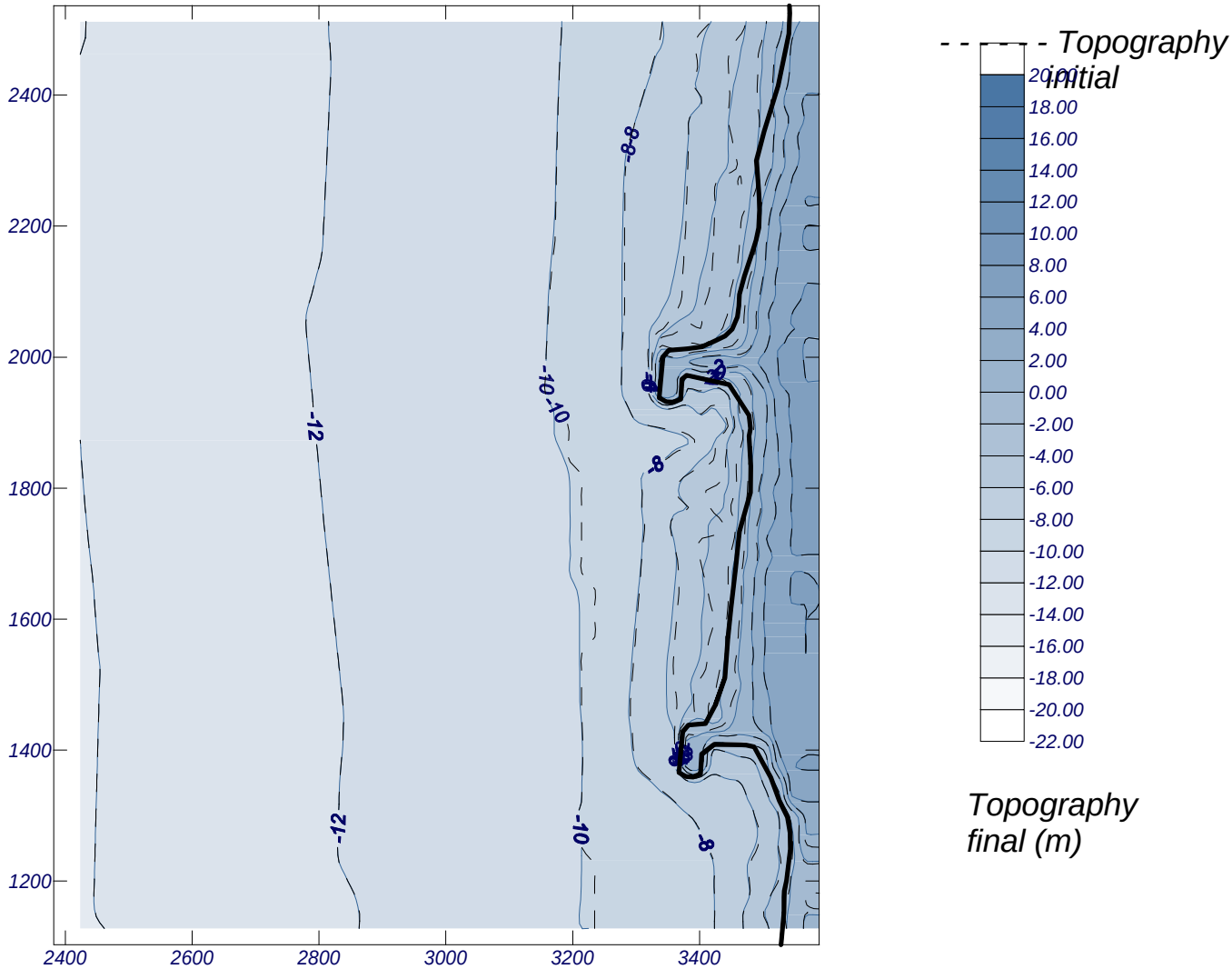
4.1 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby

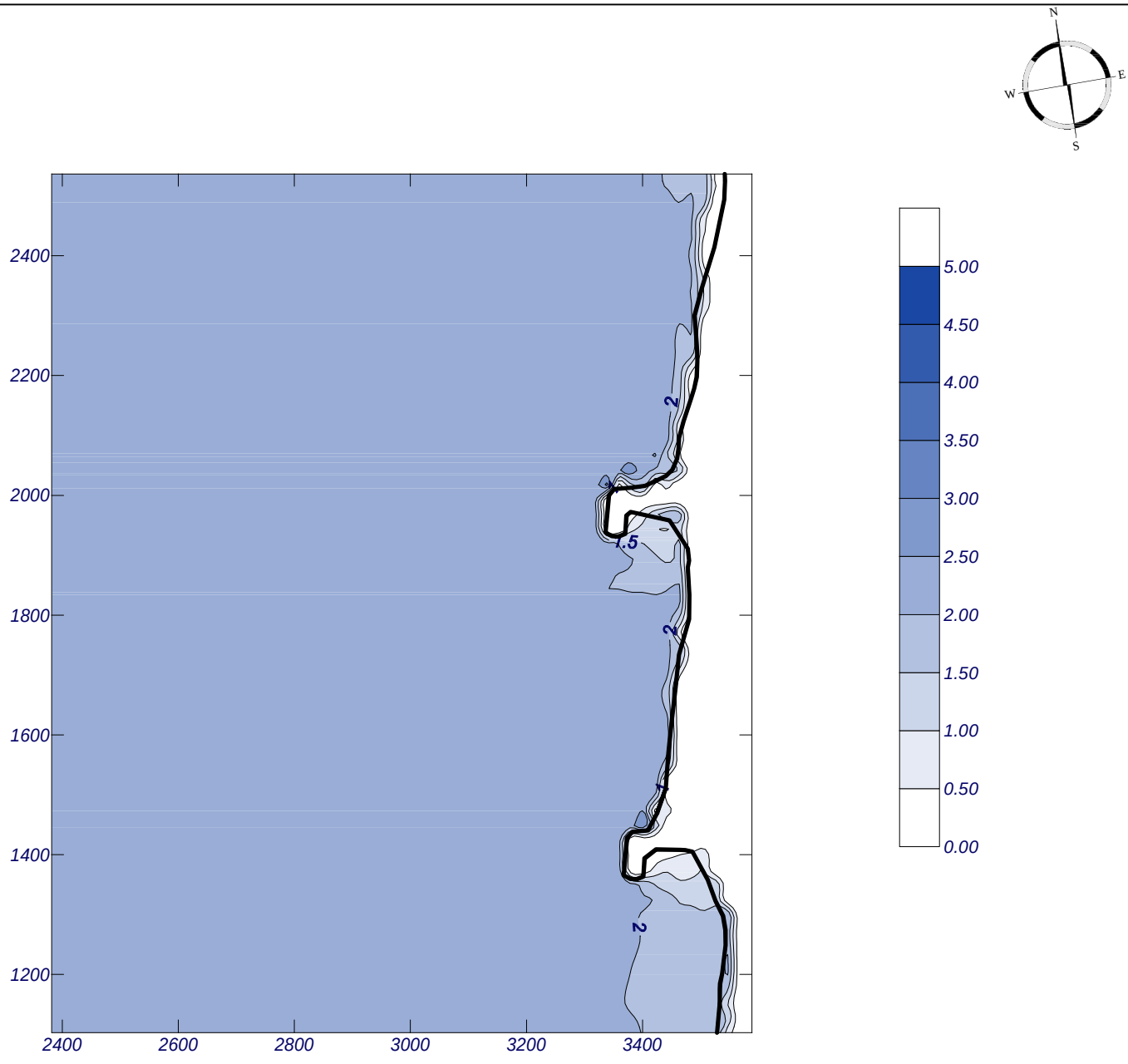


4.1 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



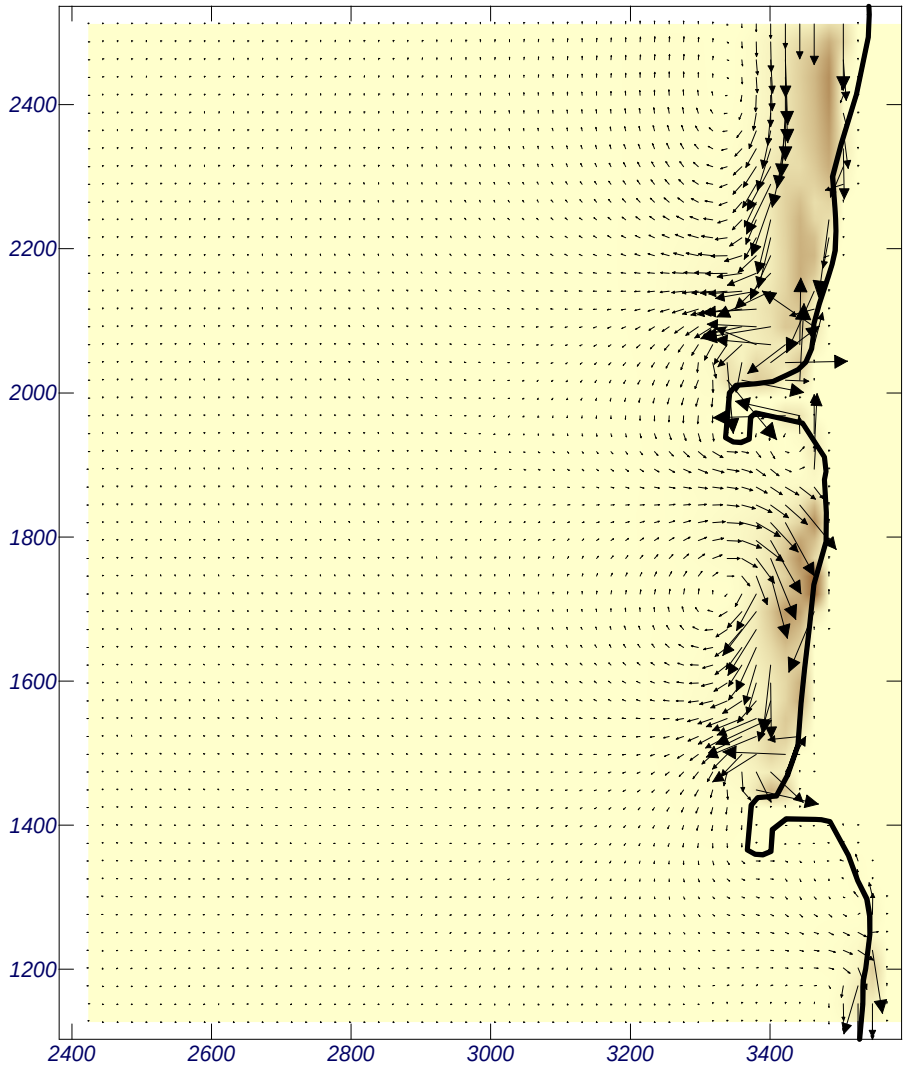
4.1 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

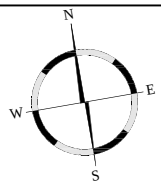
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

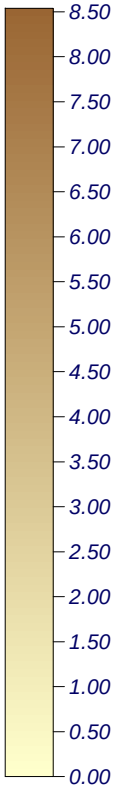
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m³/hour/m.l.)

1 cm = 1.800 m³/h/m.l.
0 1.8

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

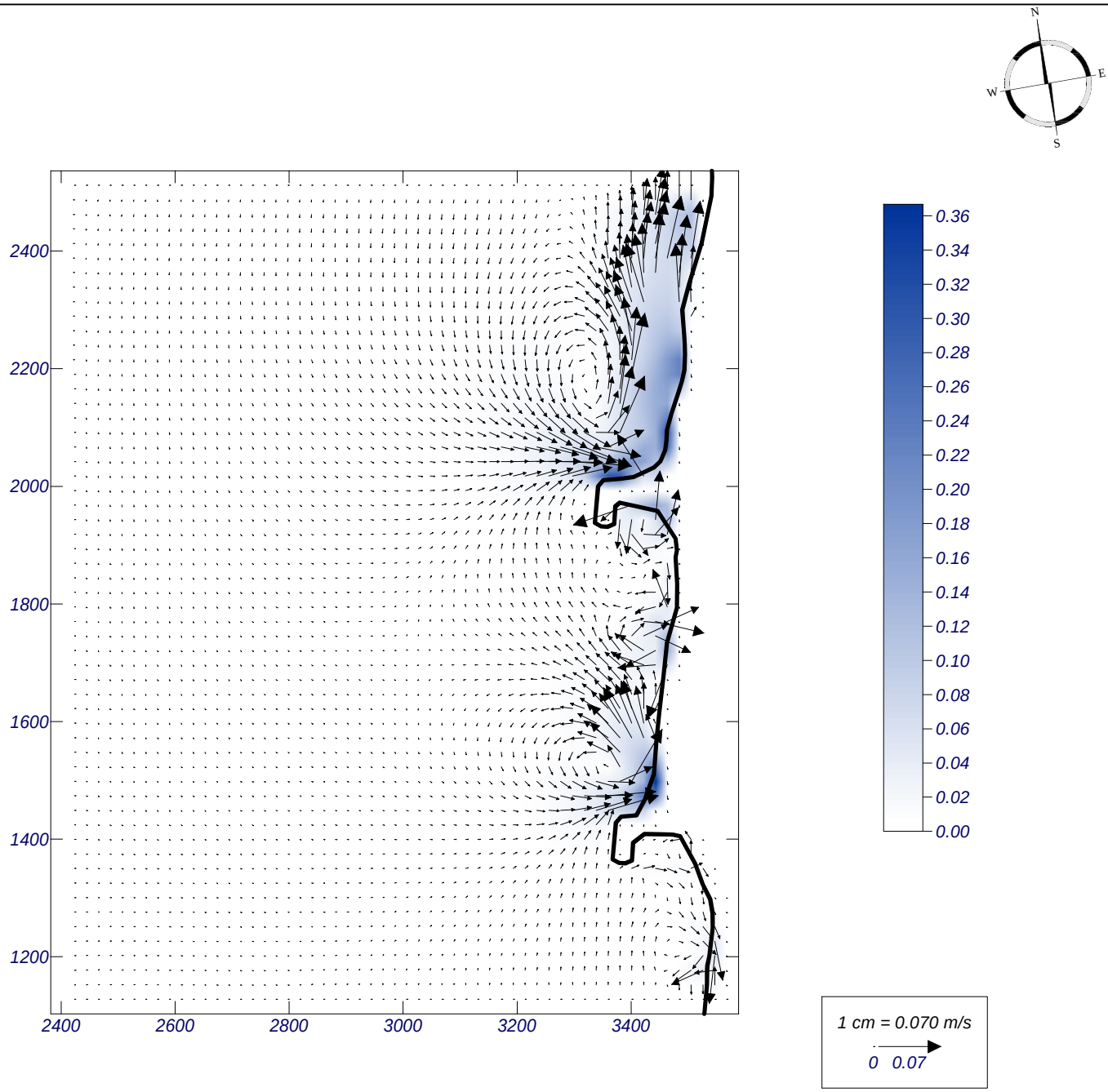
Programa desarrollado por

4.2 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

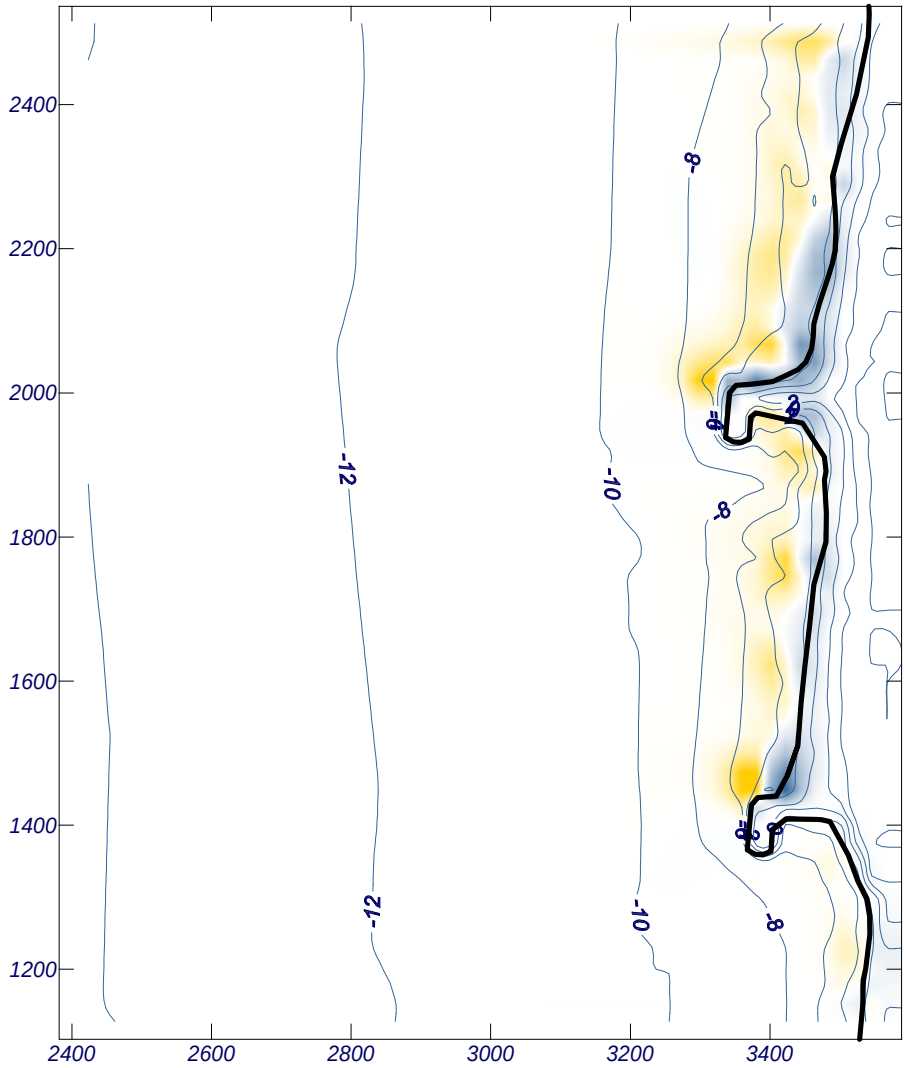
Programa desarrollado por

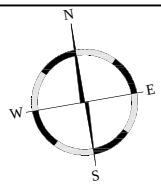
4.2 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

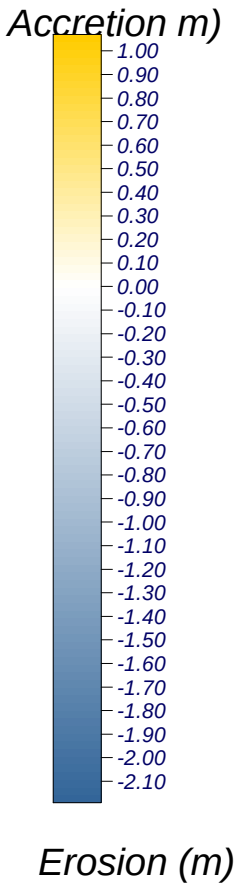
Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

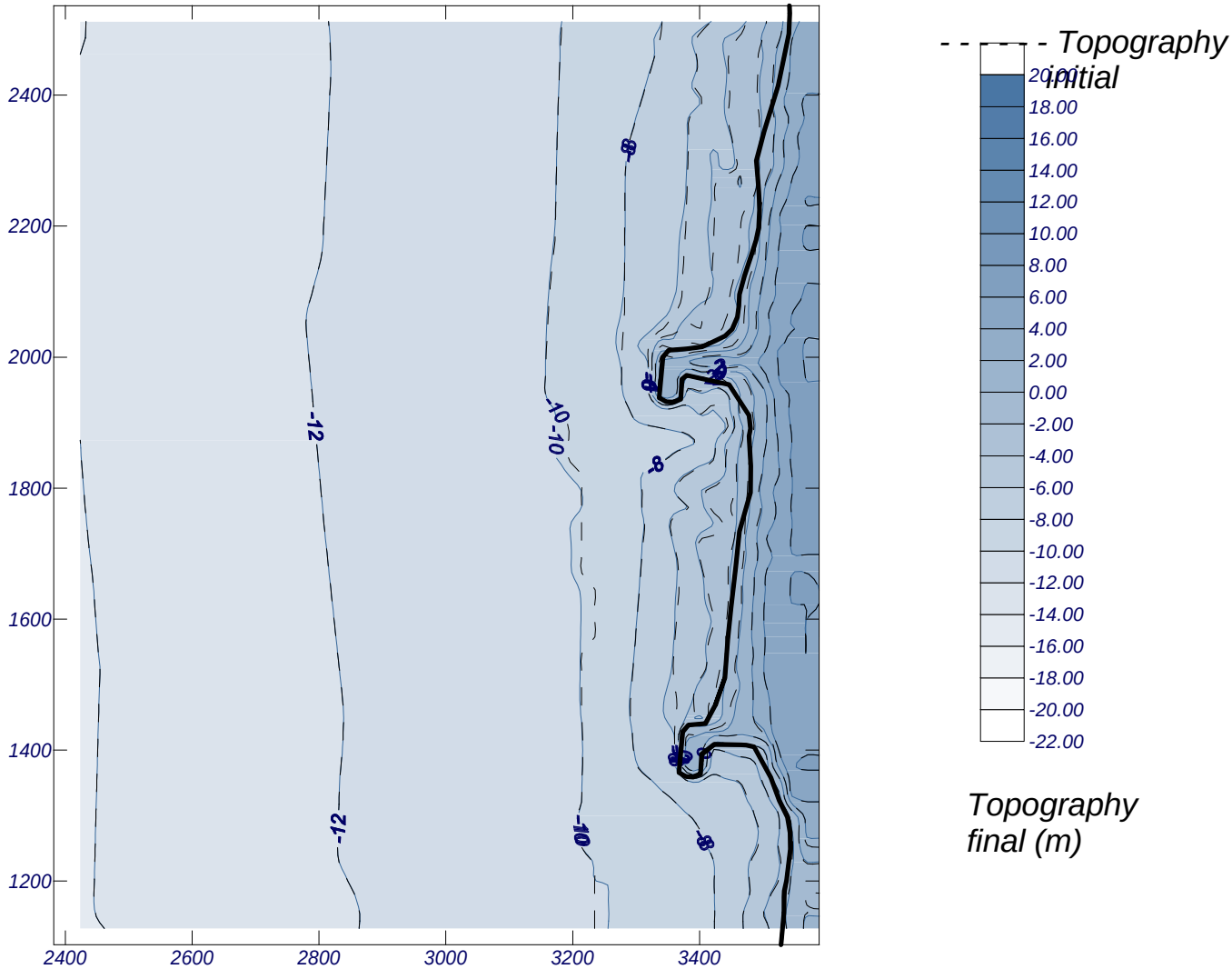
4.2 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

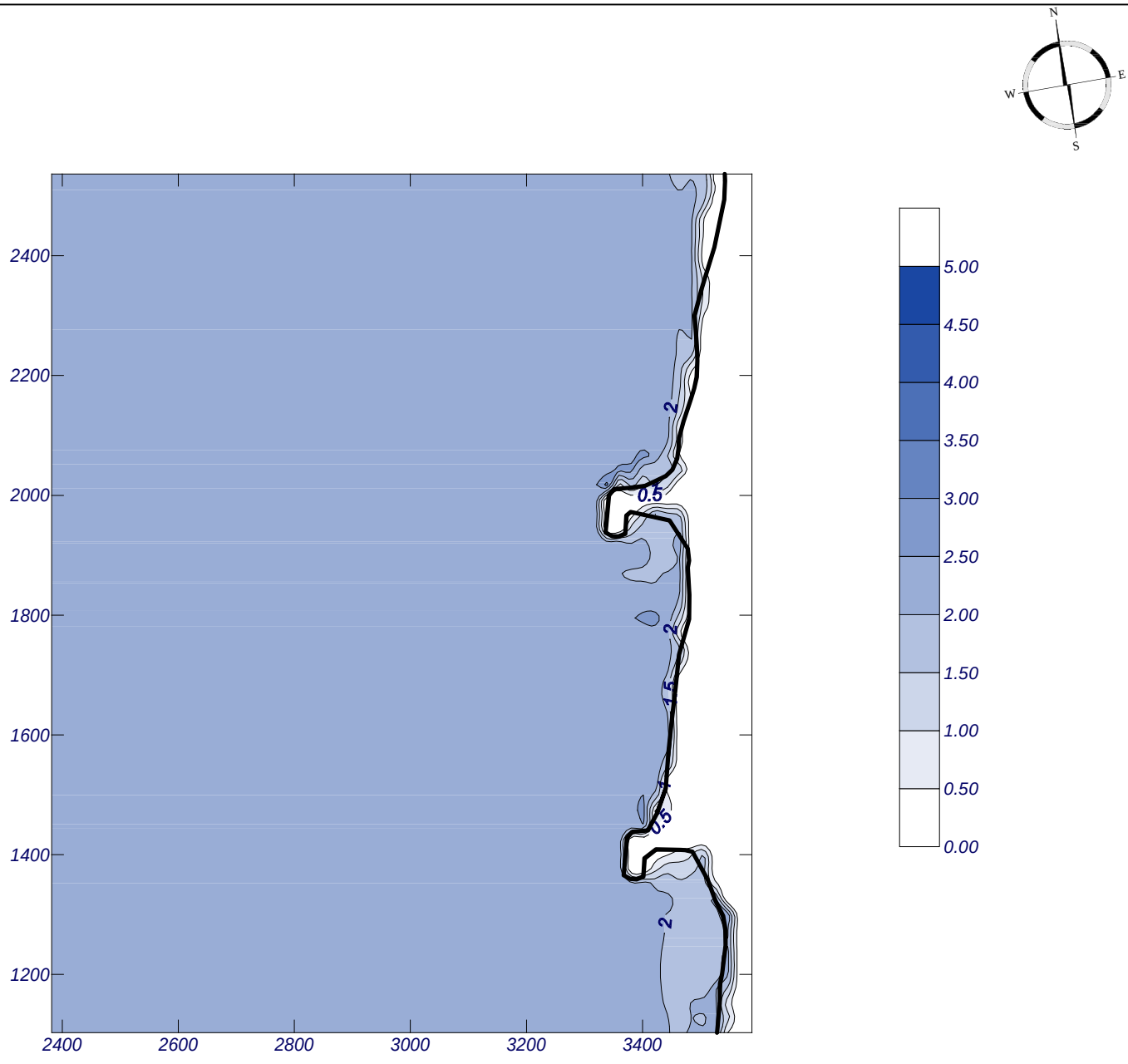
Programa desarrollado por

4.2 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



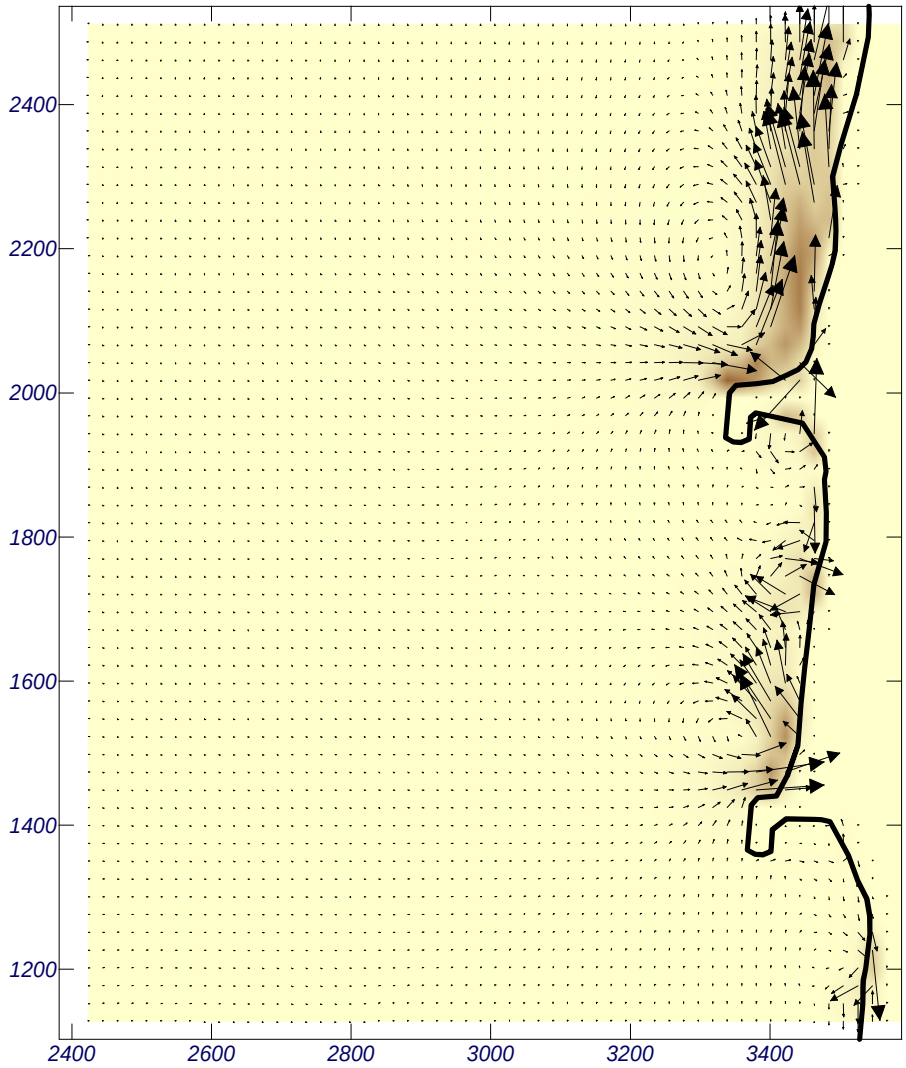
4.2 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

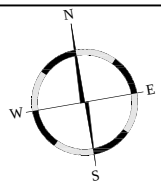
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

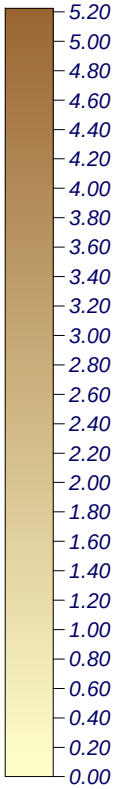
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : 10º (W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity ν_ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 1.790 m^3/h/m.l.
0 1.79

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

ANEXO E

OUTRAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS COM O MODELO MOPLA

5. BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA EXISTENTES

5.1. Nível de maré de 4 metros; duração de 12 h; Hs=2.2 m; Tm=7.2 s; N45°W; Agitação regular

6. SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

6.1. Amplitude maré de 4 metros; duração de 72 h; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; W (+/- 20°); Zc = +4.0 ZH; Agitação irregular;

6.2. Nível de maré de 4 metros; duração de 12 h; Hs=2.2 m; Tm=7.2 s; N45°W; Zc= + 4.0 ZH; Agitação regular

6.3. Amplitude maré de 4 metros; duração de 12 h; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; N45°W (+/- 20°); Zc = +3.0 ZH; Agitação irregular;

6.4. Amplitude maré de 4 metros; duração de 12 h; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; N45°W (+/- 20°); Zc = +5.0 ZH; Agitação irregular;

7. SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

7.1. Amplitude maré de 4 metros; duração de 72 h; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; W (+/- 20°); Zc = +4.0 ZH; Agitação irregular;

7.2. Nível de maré de 4 metros; duração de 12 h; Hs=2.2 m; Tm=7.2 s; N45°W; Zc= + 4.0 ZH; Agitação regular

7.3. Amplitude maré de 4 metros; duração de 12 h; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; N45°W (+/- 20°); Zc = +3.0 ZH; Agitação irregular;

7.4. Amplitude maré de 4 metros; duração de 12 h; Hs=2.2 m; Tp=11.4 s; N45°W (+/- 20°); Zc = +5.0 ZH; Agitação irregular;

8. PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

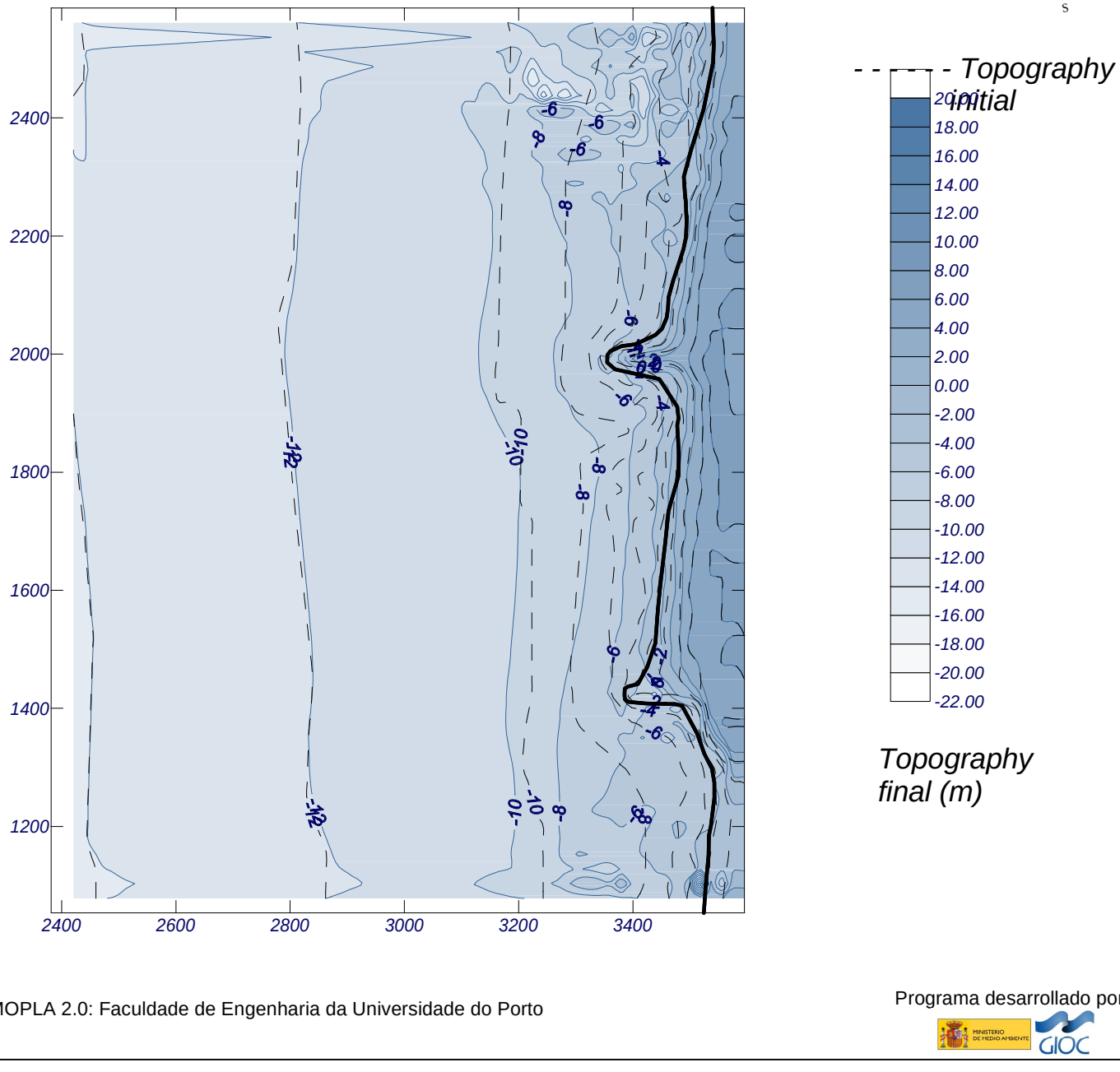
8.1. Nível de maré de 4 metros; Hs=2.2 m; Tm=7.2 s; N45°W; Zc= + 4.0 ZH; Agitação regular

5.1 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: Z101
Z1:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 5 m h: 17 m fp: 0.076923 Hz (Tp: 13 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



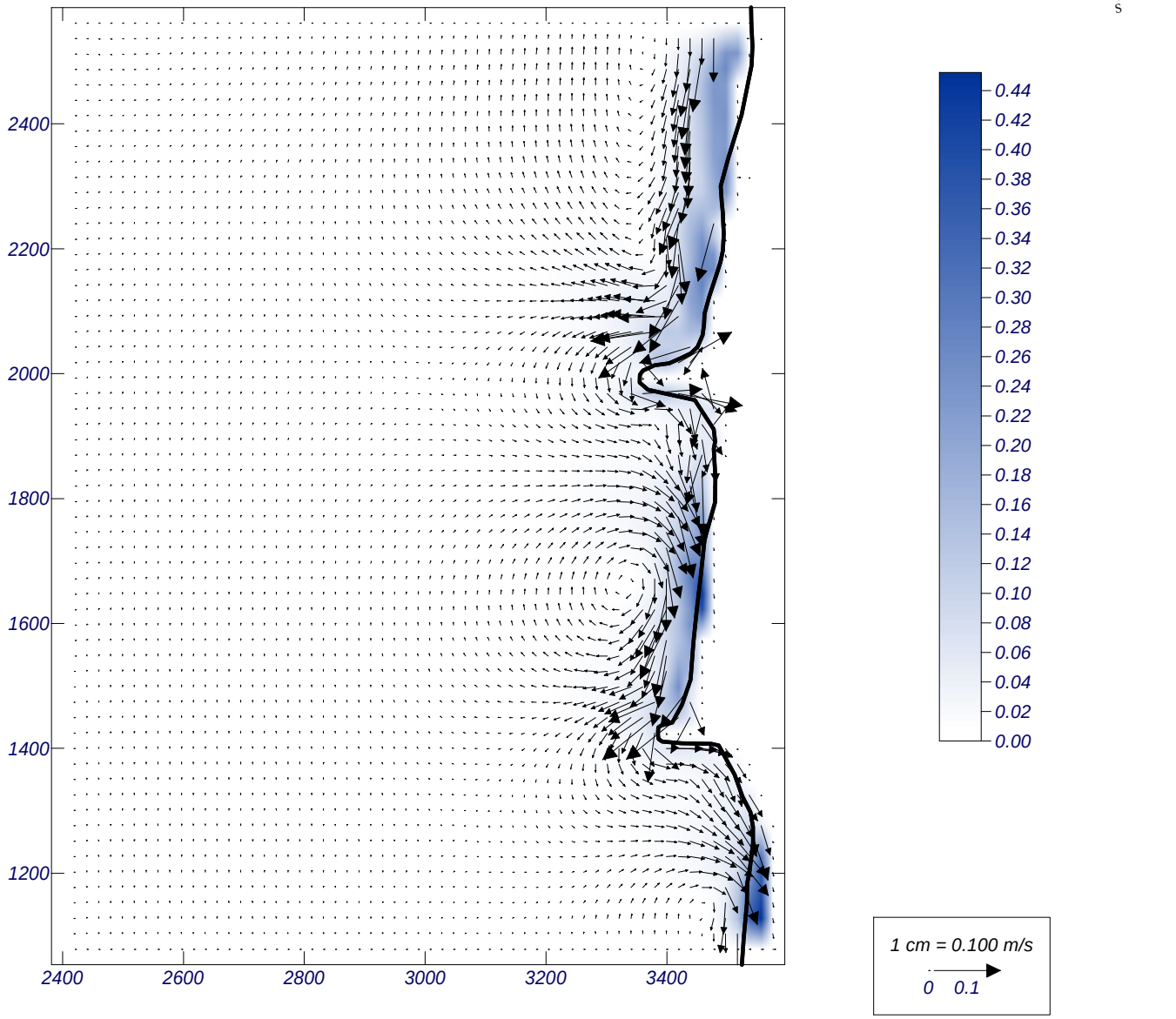
5.1 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Current vectors

Monochromatic case : Z102

Z1:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

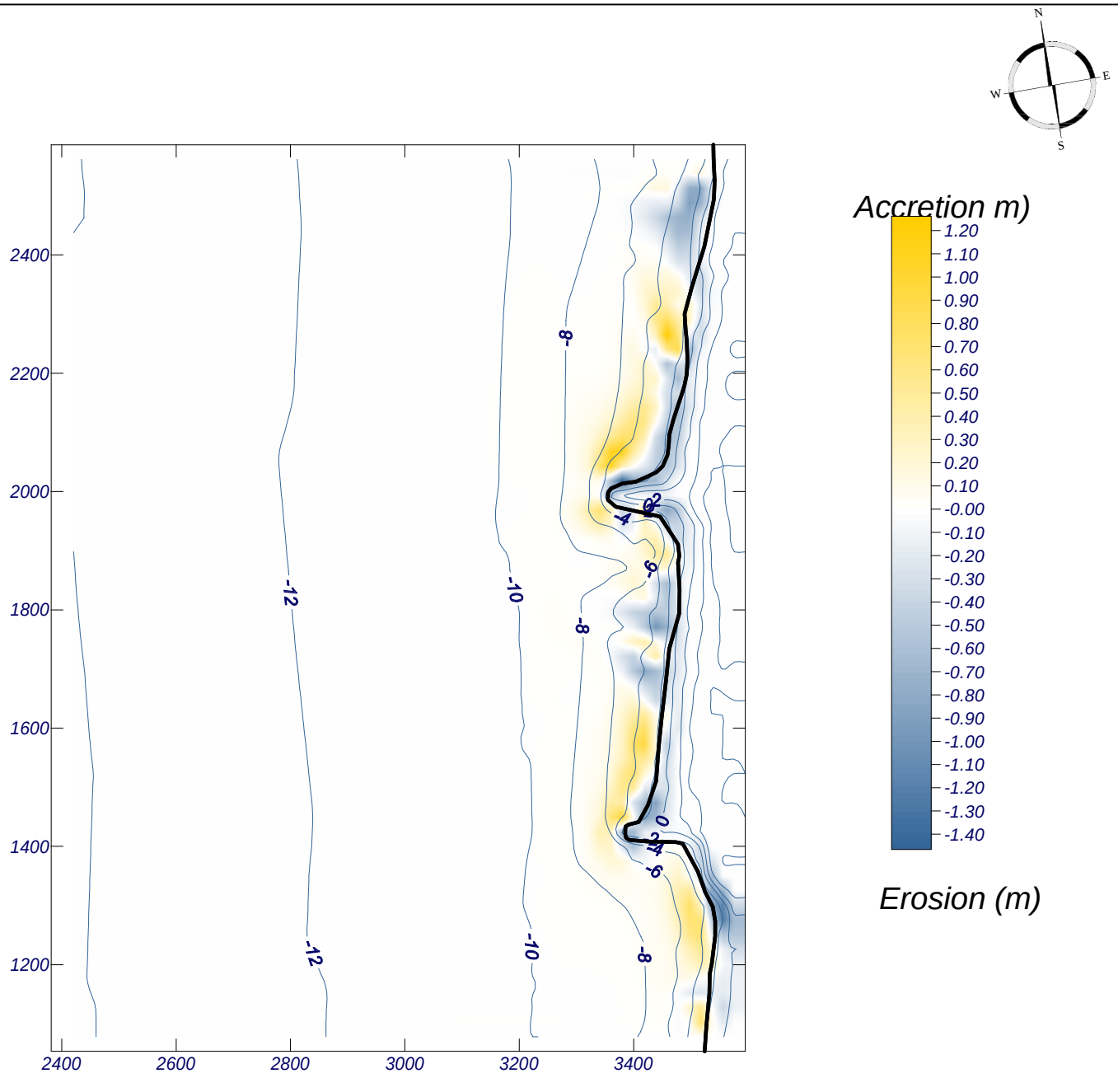
5.1 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Final topography and variation of the topography

Monochromatic case : Z102

Z1:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

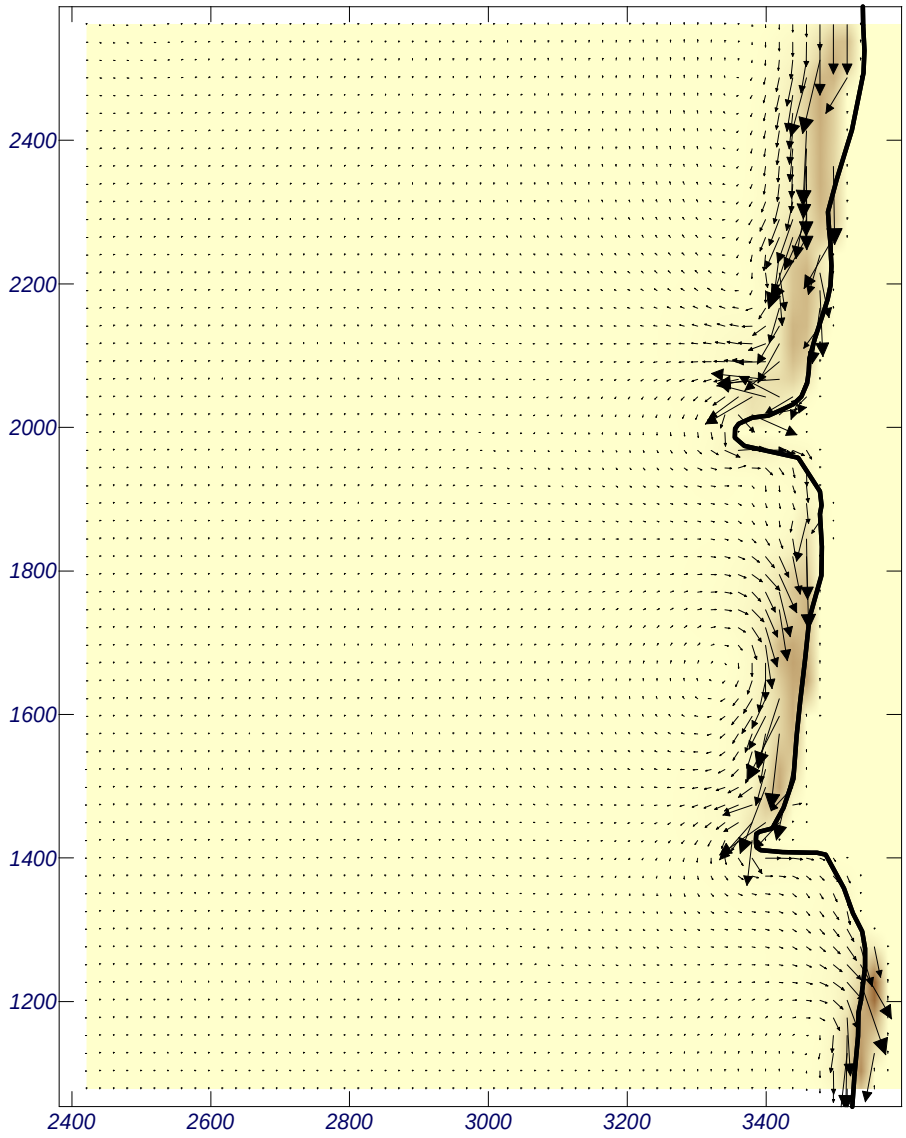
5.1 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

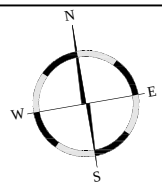
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

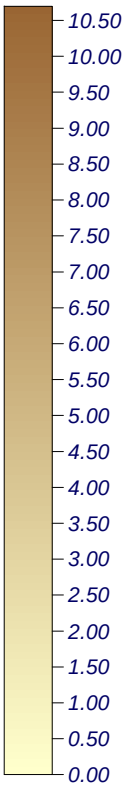
Monochromatic case : Z102

Z1:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 3.040 m^3/h/m.l.
0 3.04

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

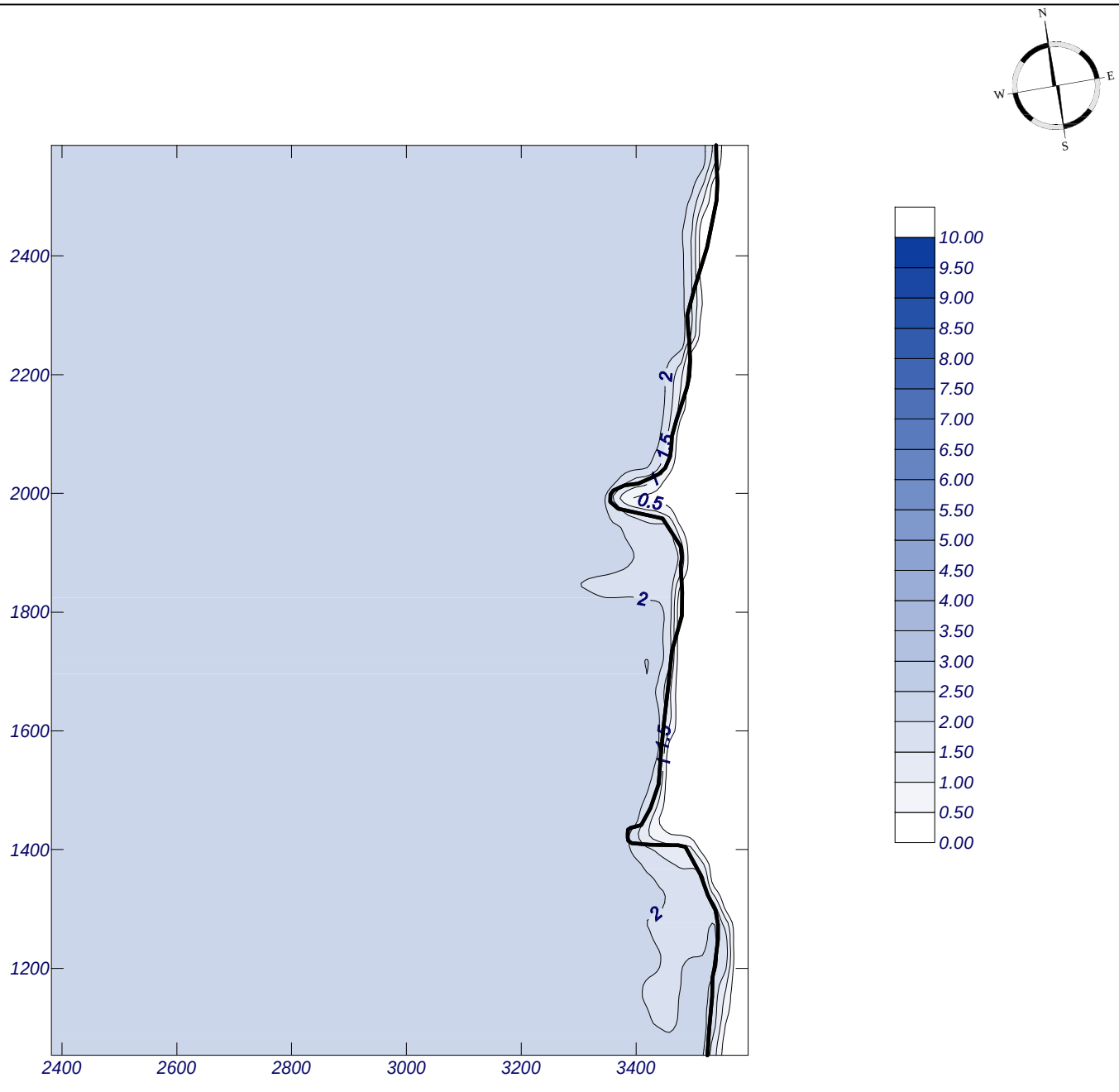
5.1 BATIMETRIA BASE COM ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA JÁ EXISTENTES

Graph: Wave height

Monochromatic case : Z102

Z1:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m		

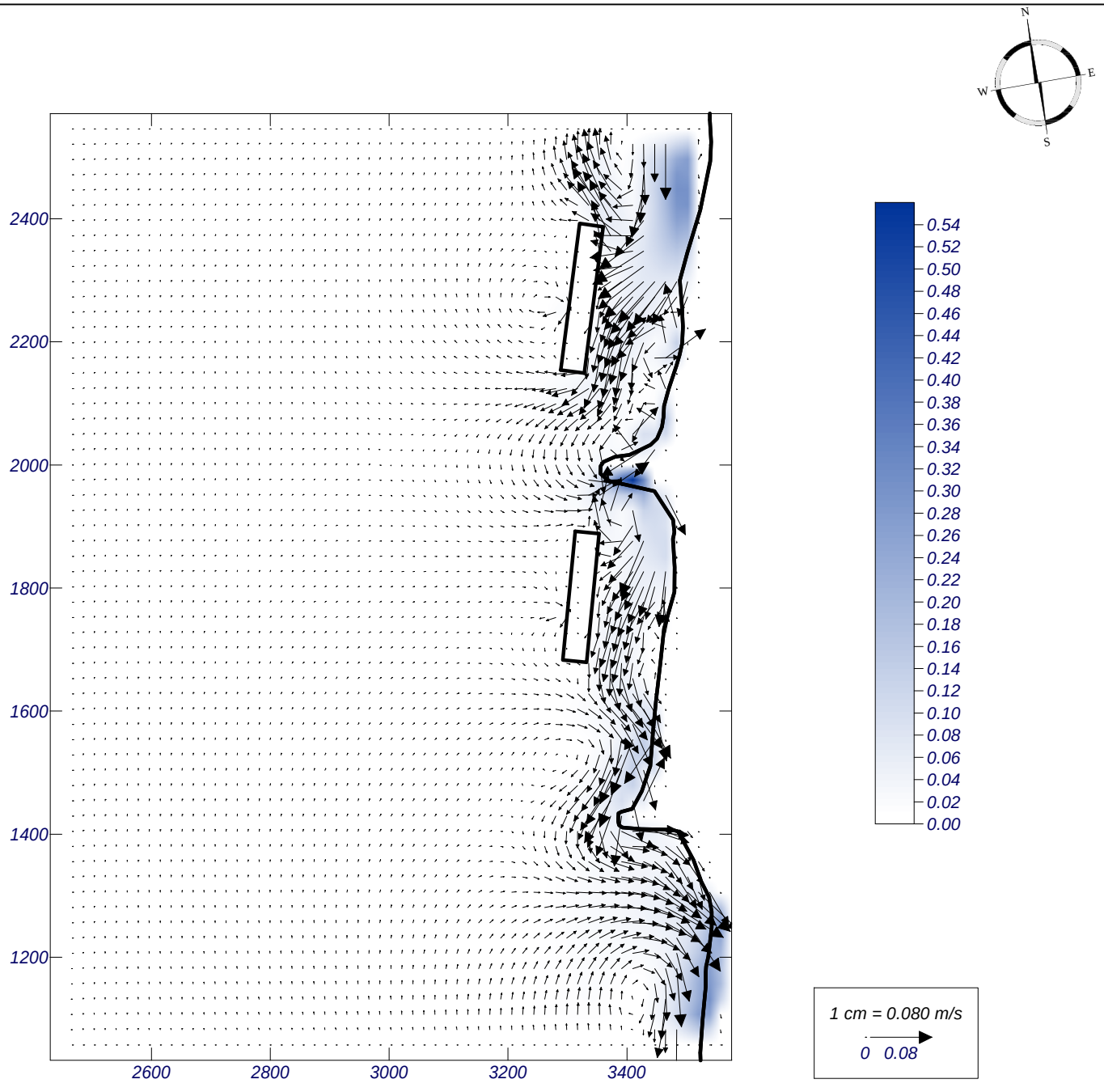


6.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

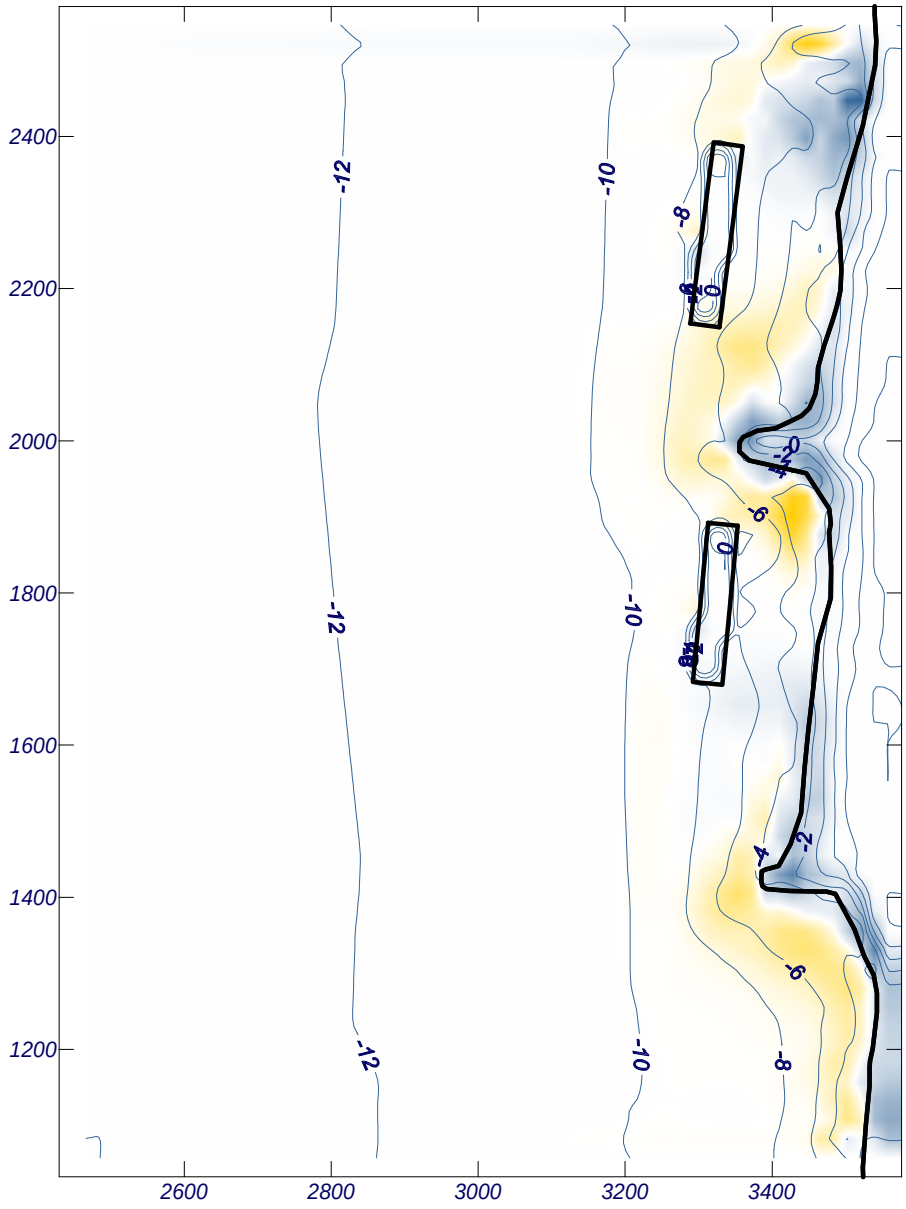
Programa desarrollado por

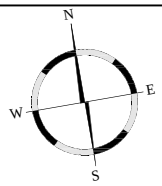
6.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

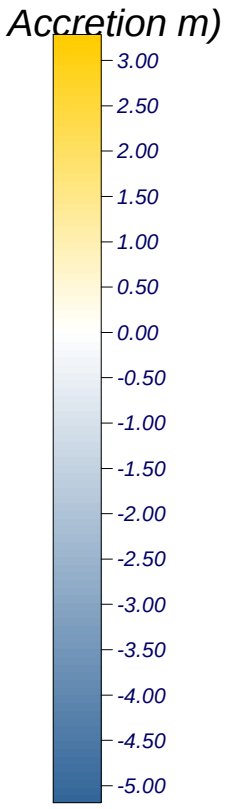
Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity $^{o}n_{\varepsilon}$: 9 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 72.0 h Formulation: Soulsby







MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

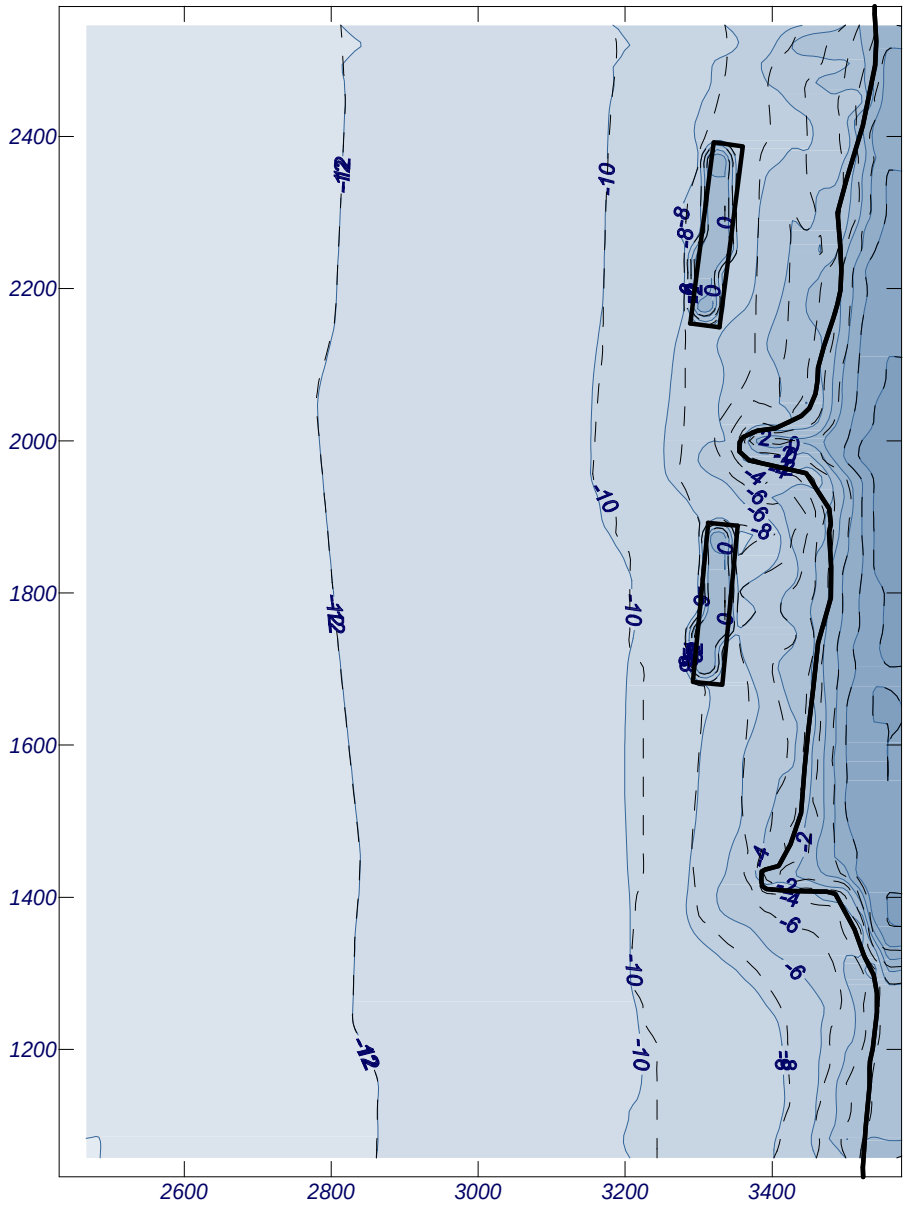
Programa desarrollado por

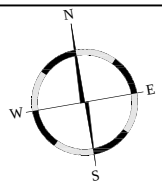
6.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Initial and final topographies

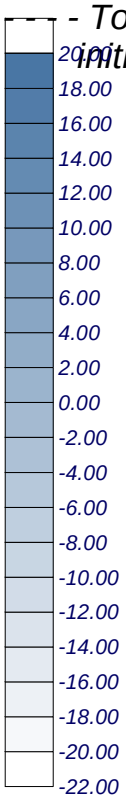
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 72.0 h Formulation: Soulsby





- - - - *Topography initial*



Topography final (m)

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

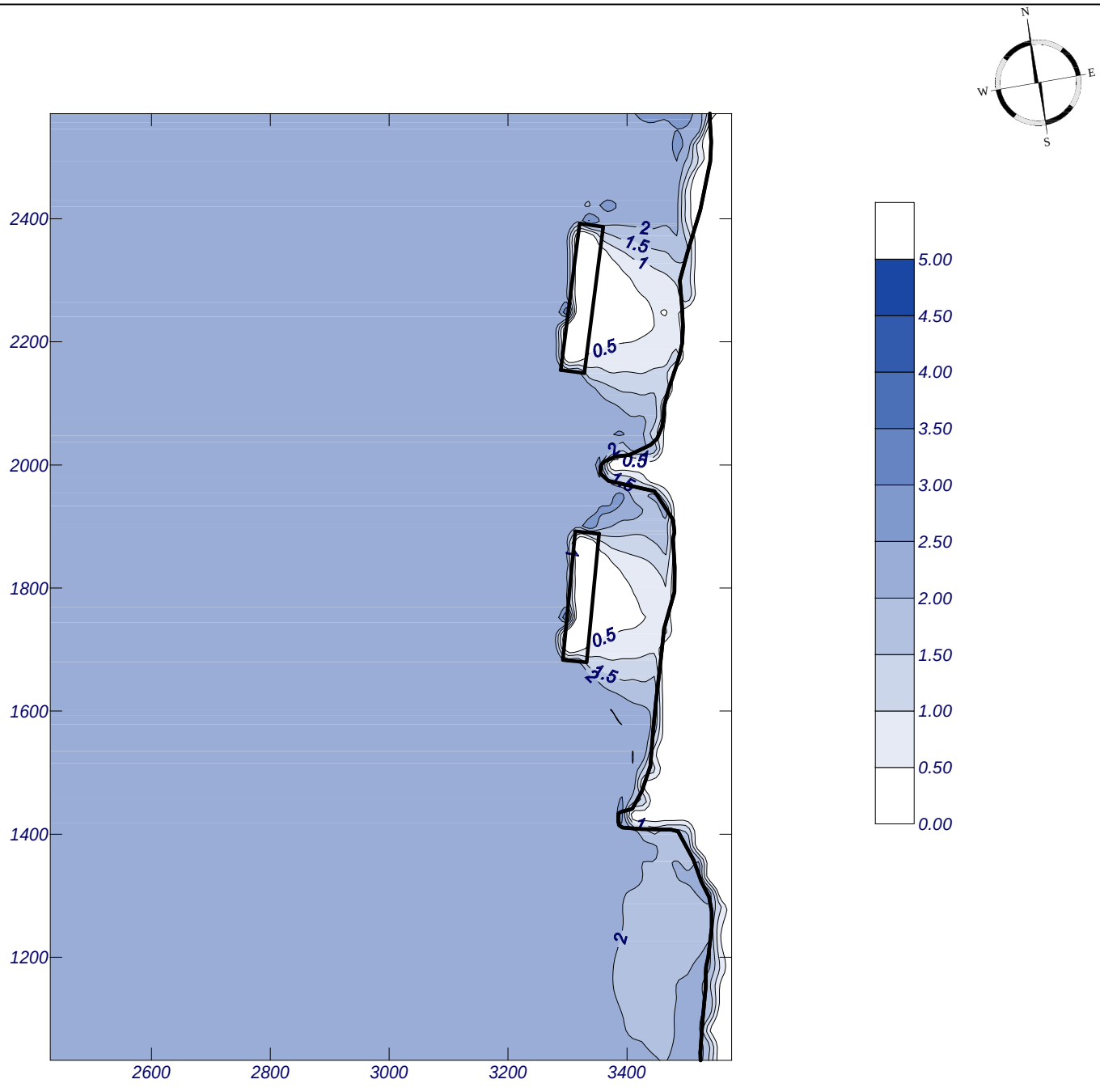
Programa desarrollado por

6.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

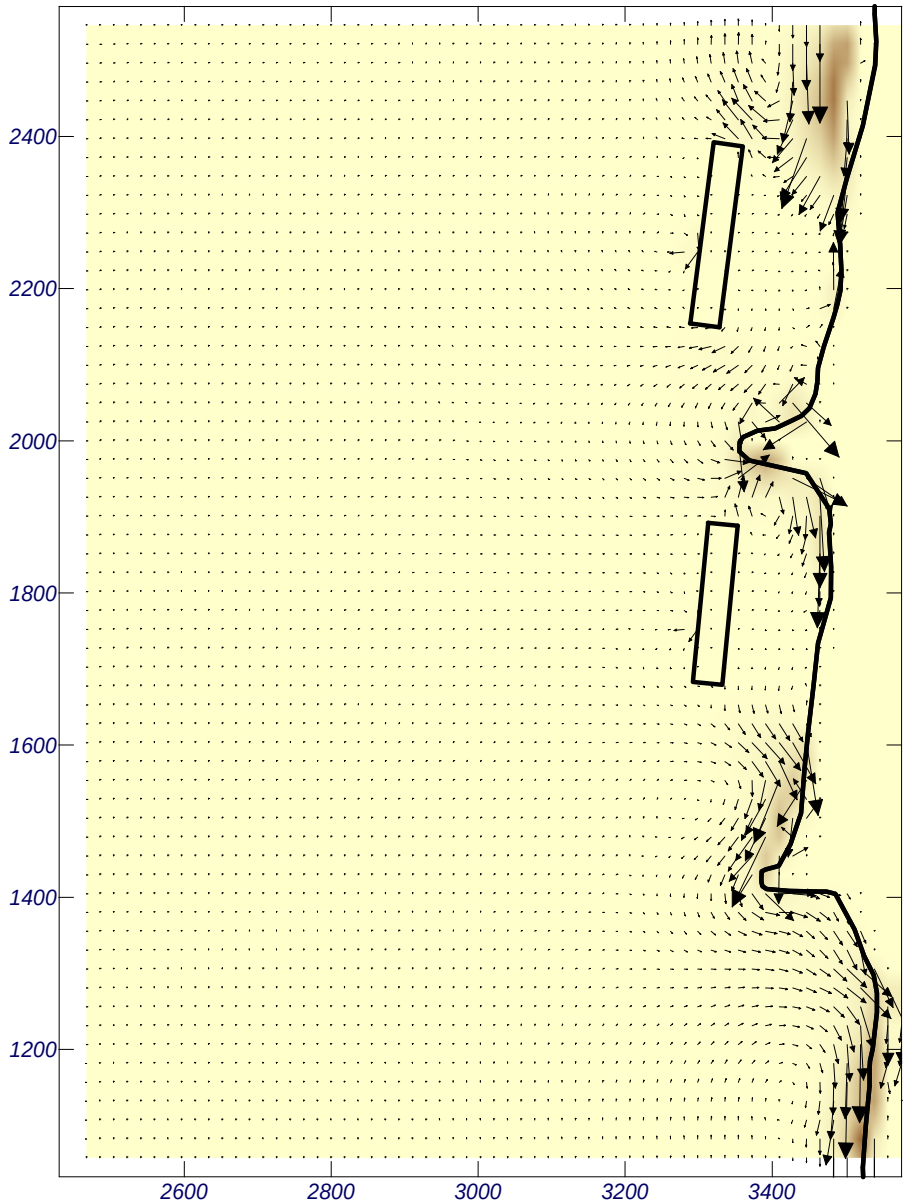
6.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

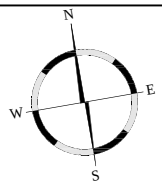
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

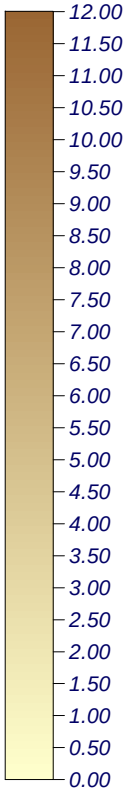
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 72.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m³/hour/m.l.)

1 cm = 2.200 m³/h/m.l.
0 2.2

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

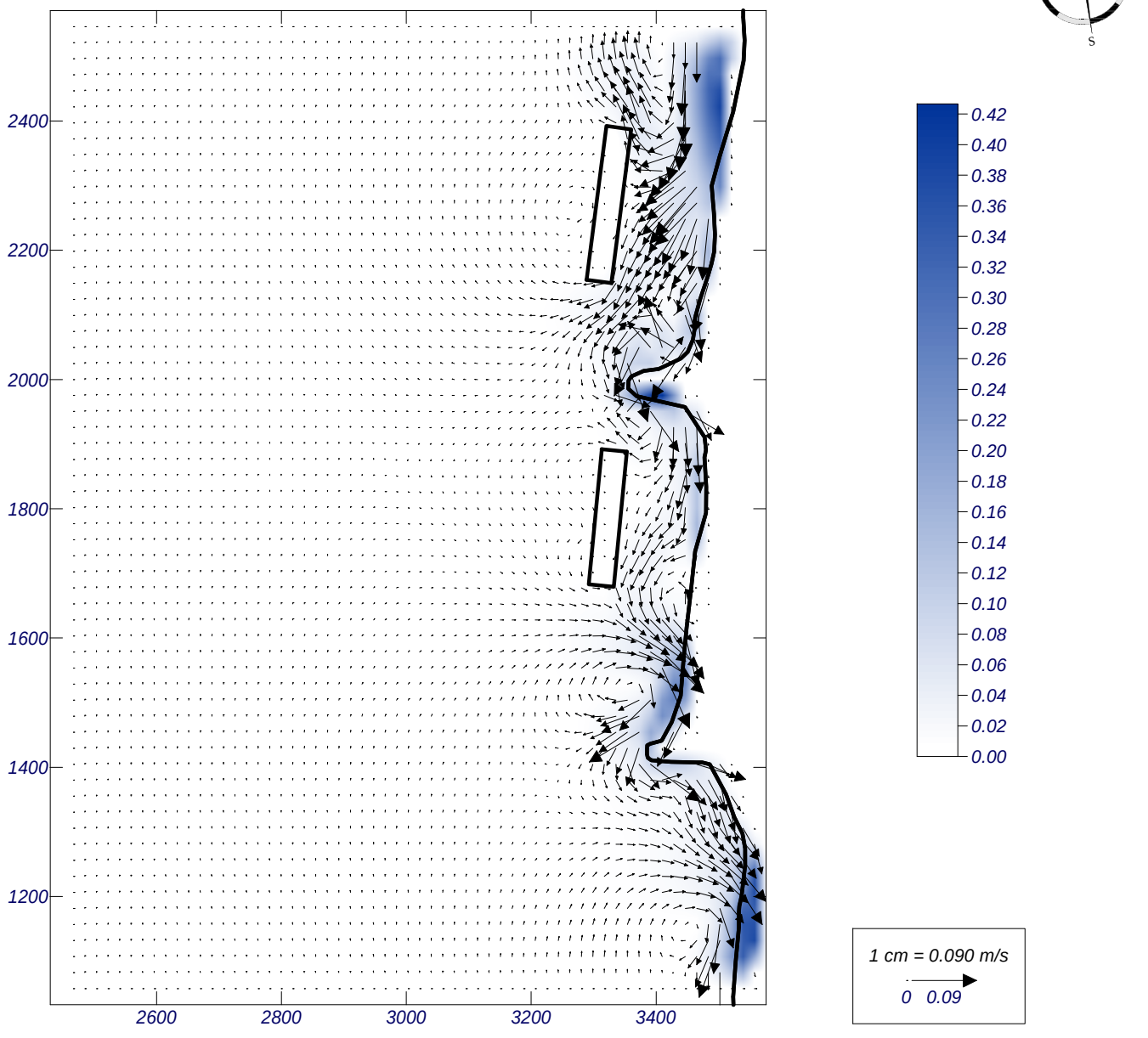
6.2 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Current vectors

Monochromatic case : A202

A2:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ε: 9 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

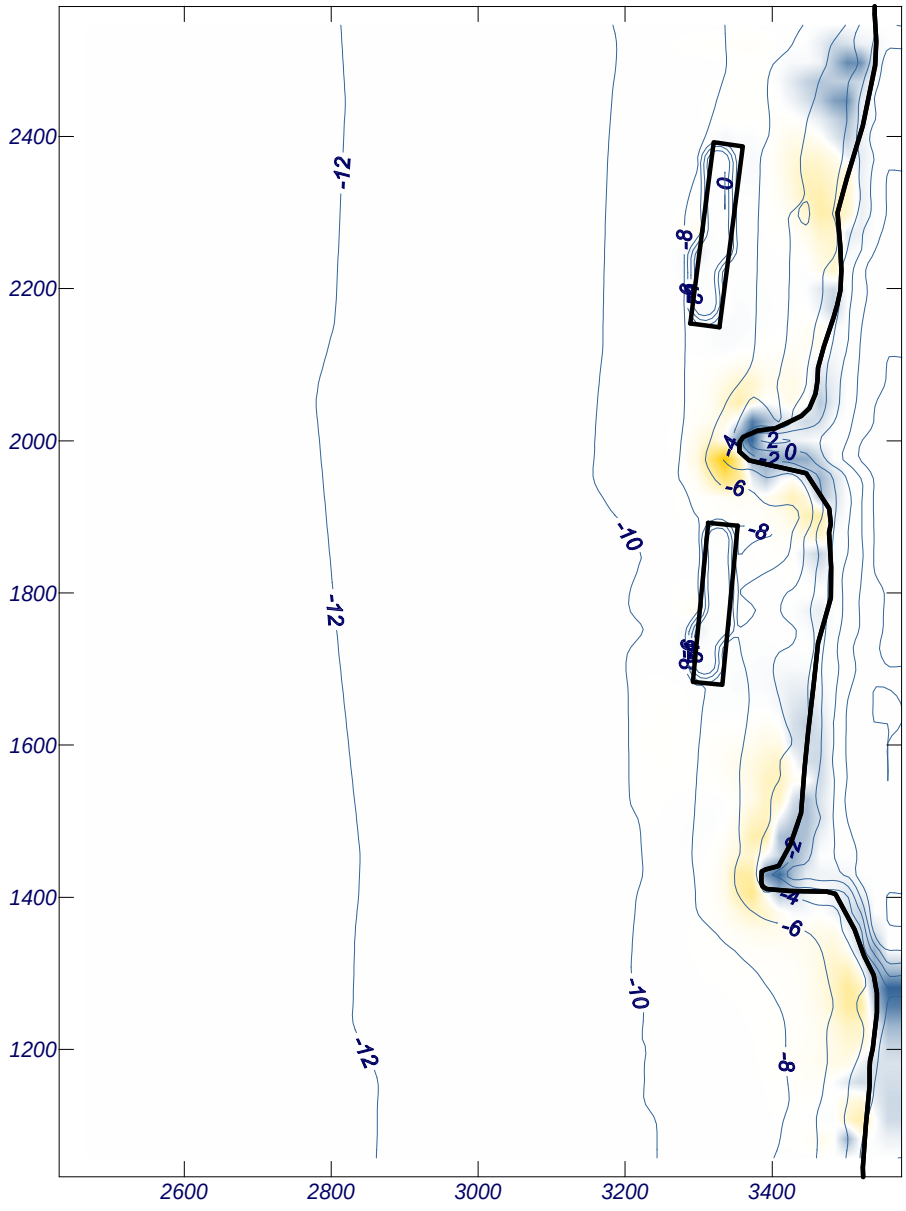
6.2 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

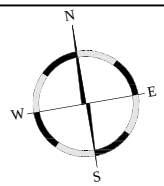
Graph: Final topography and variation of the topography

Monochromatic case : A202

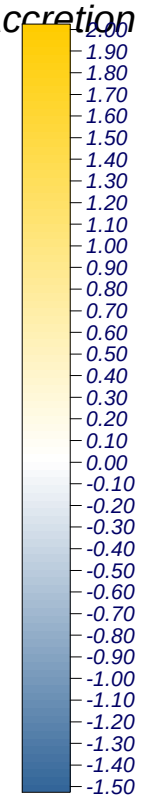
A2:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ε: 9 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby





Accretion m)



Erosion (m)

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

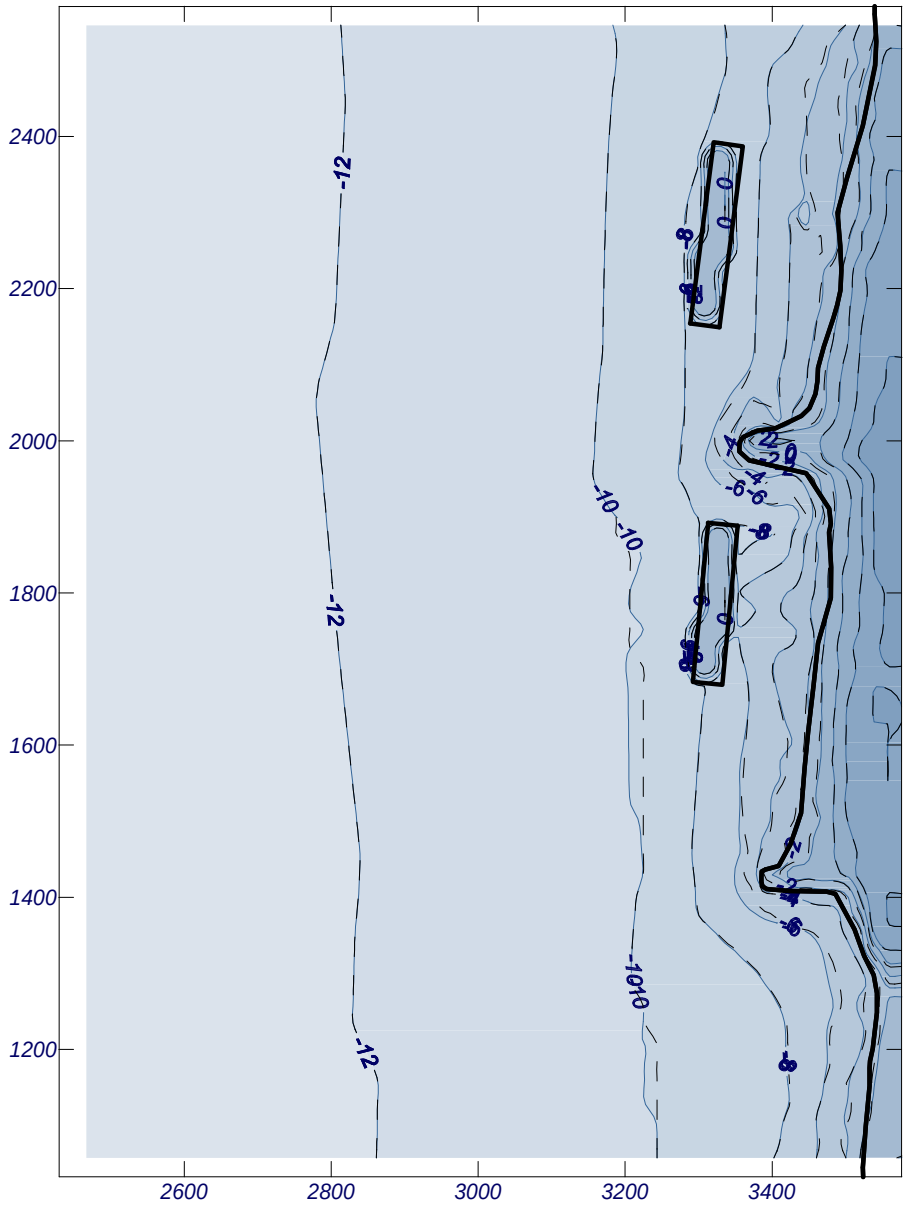
6.2 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

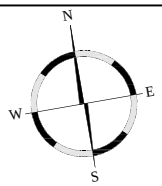
Graph: Initial and final topographies

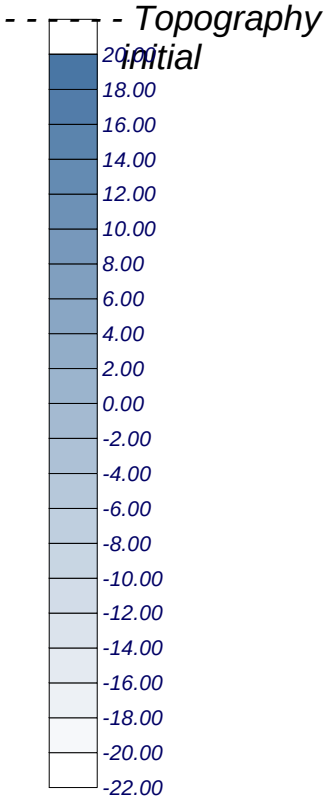
Monochromatic case : A202

A2:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ε: 9 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

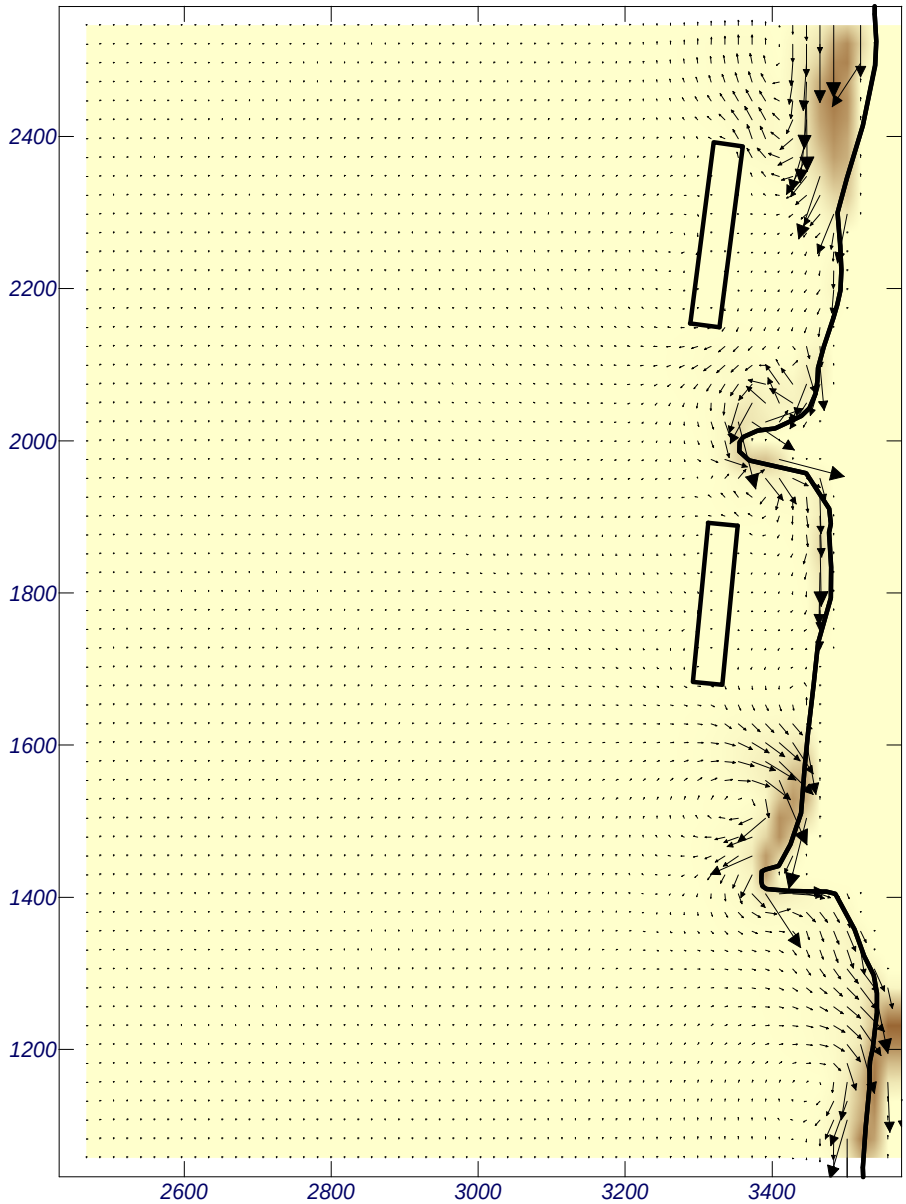
6.2 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

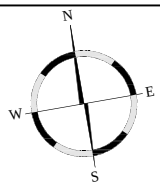
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

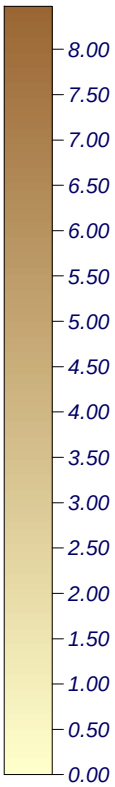
Monochromatic case : A202

A2:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ε: 9 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 2.110 m^3/h/m.l.

0 2.11

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

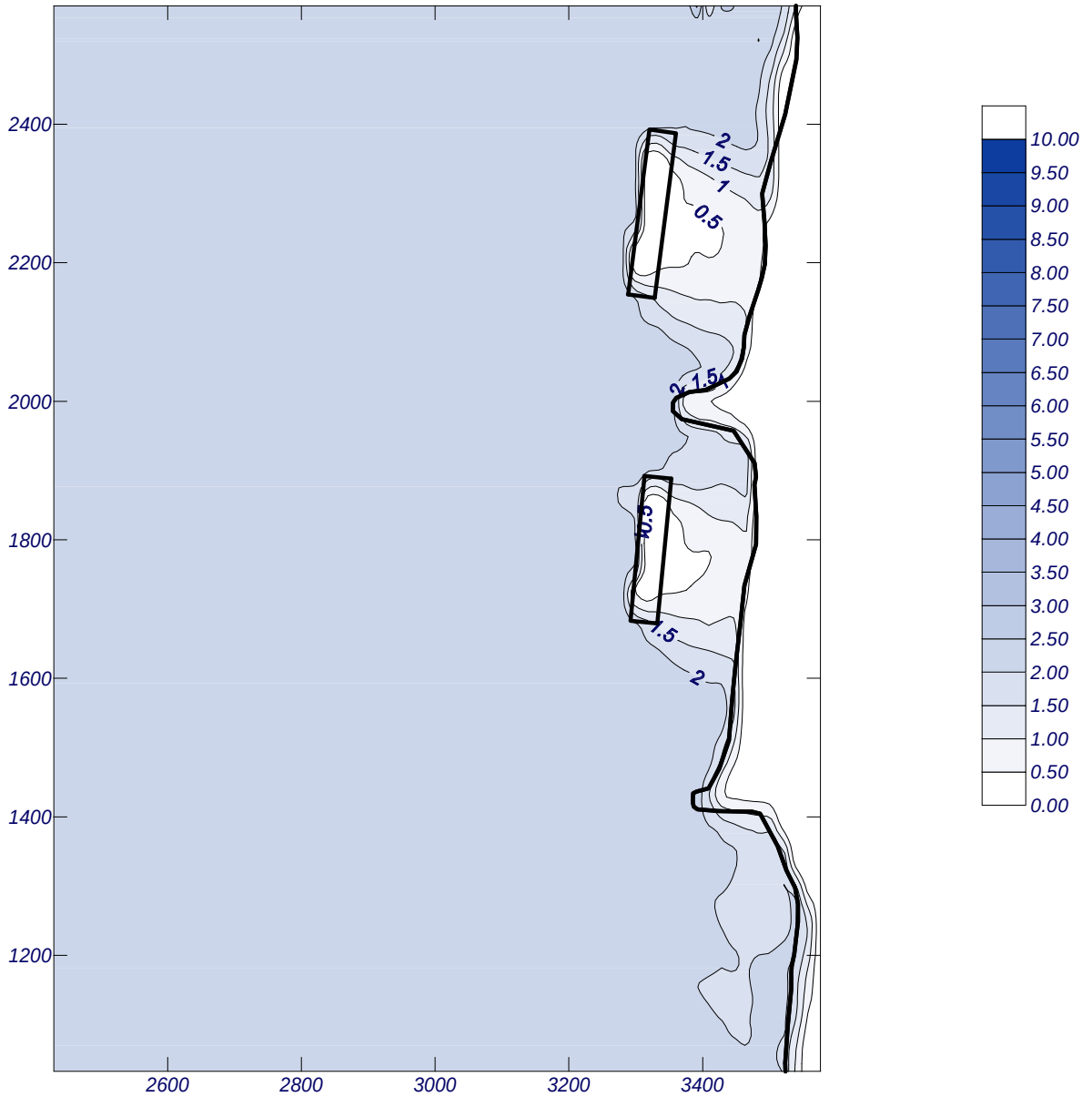
6.2 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Wave height

Monochromatic case : A202

A2:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

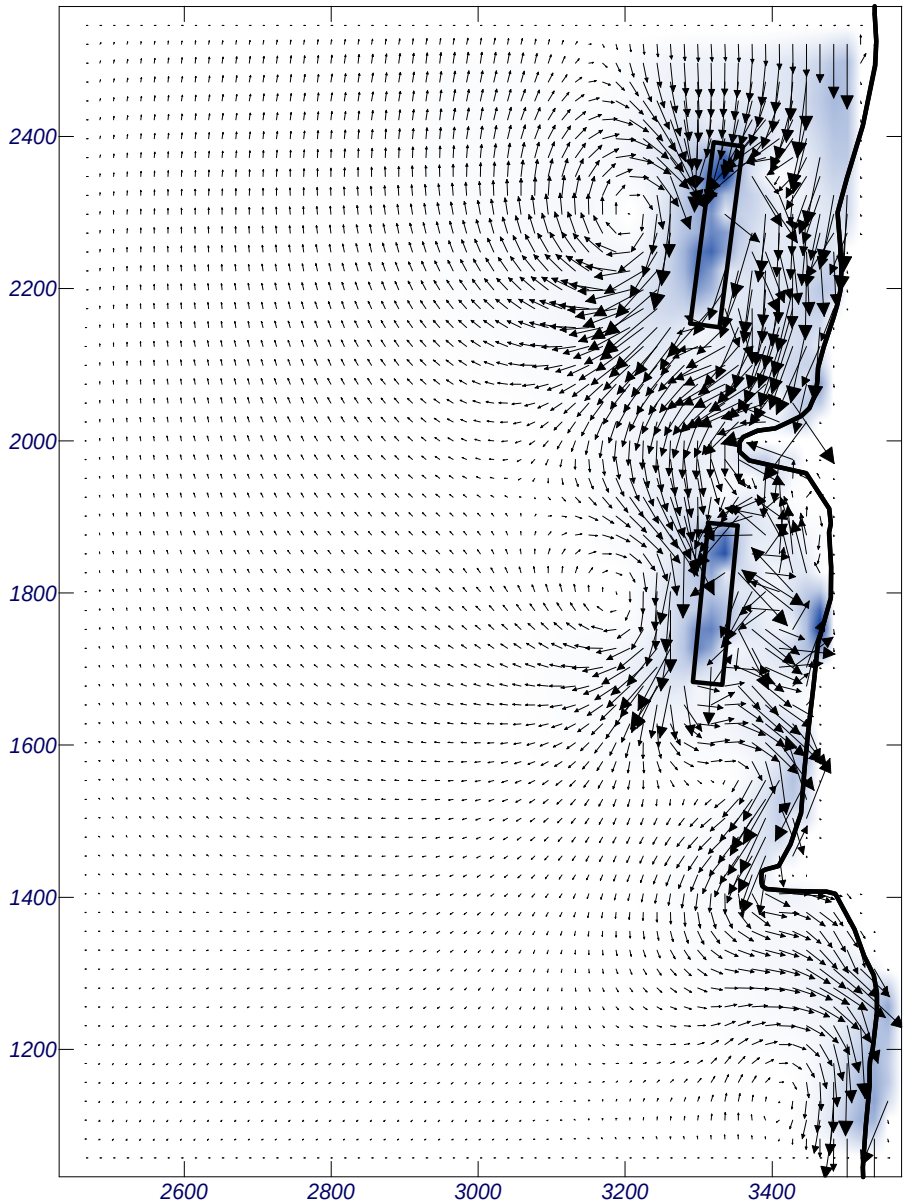
Programa desarrollado por

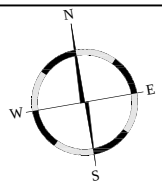
6.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

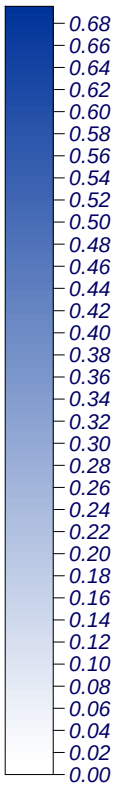
Graph: Current vectors

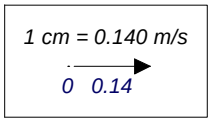
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	









MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

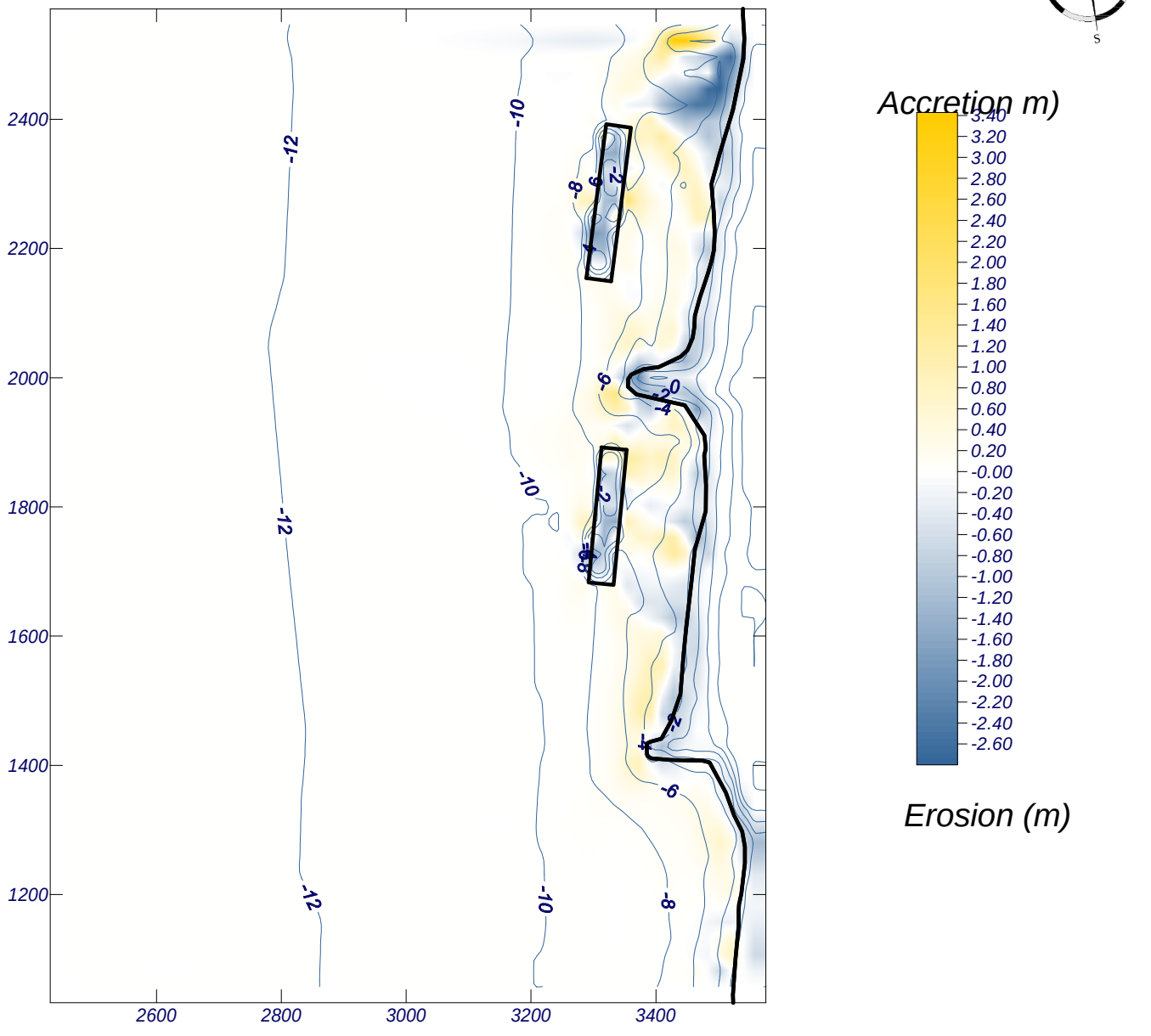
Programa desarrollado por

6.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

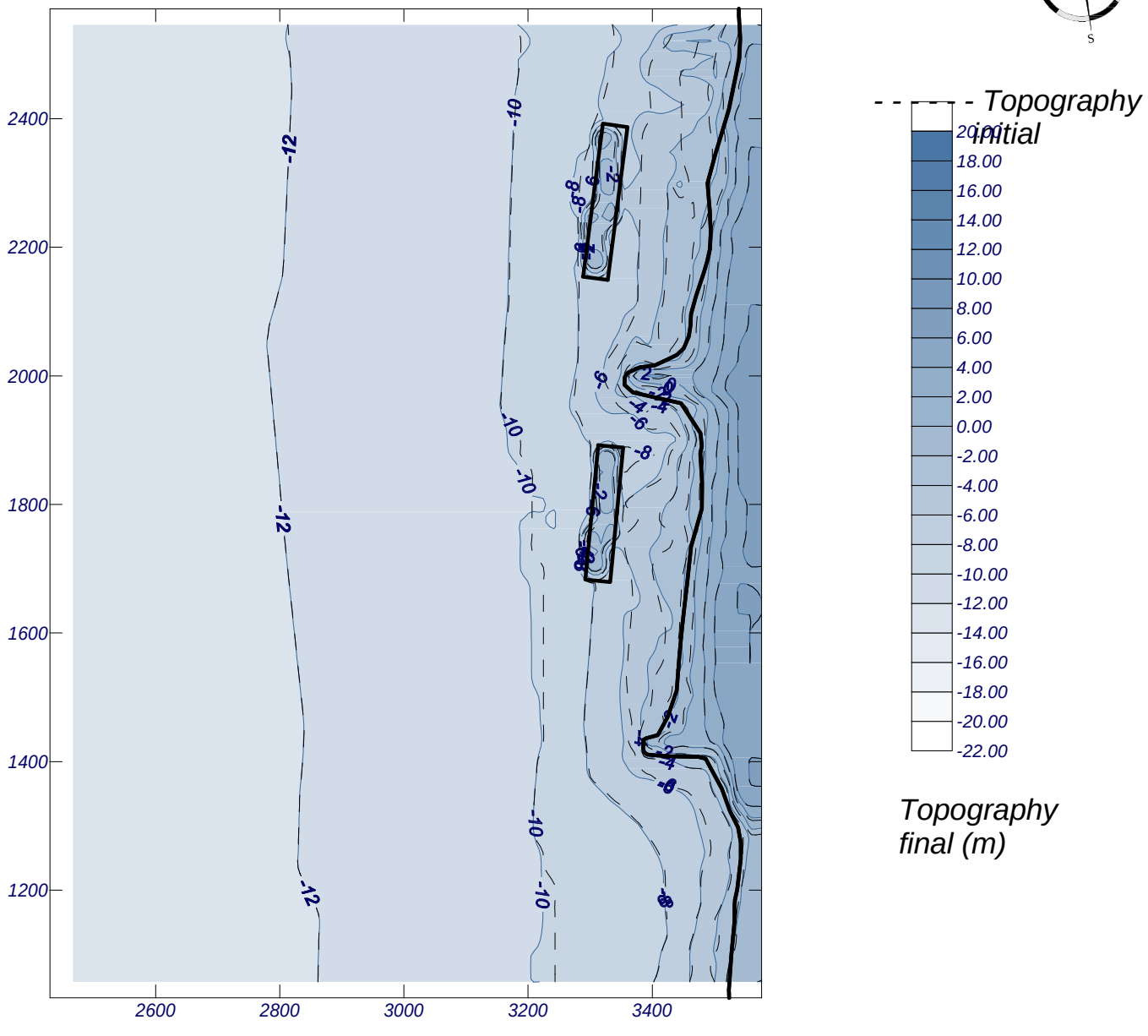
Programa desarrollado por

6.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

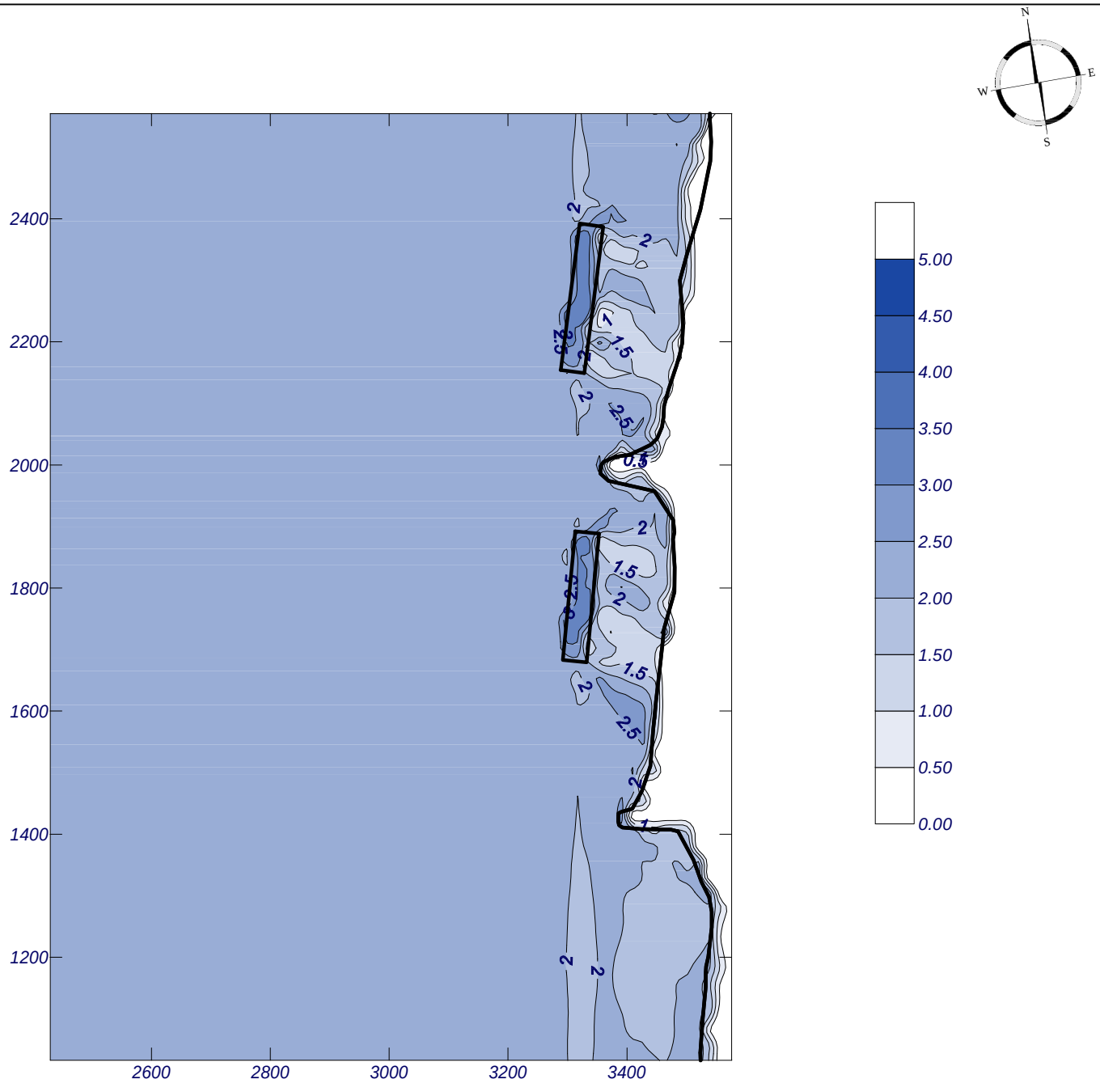
Programa desarrollado por

6.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

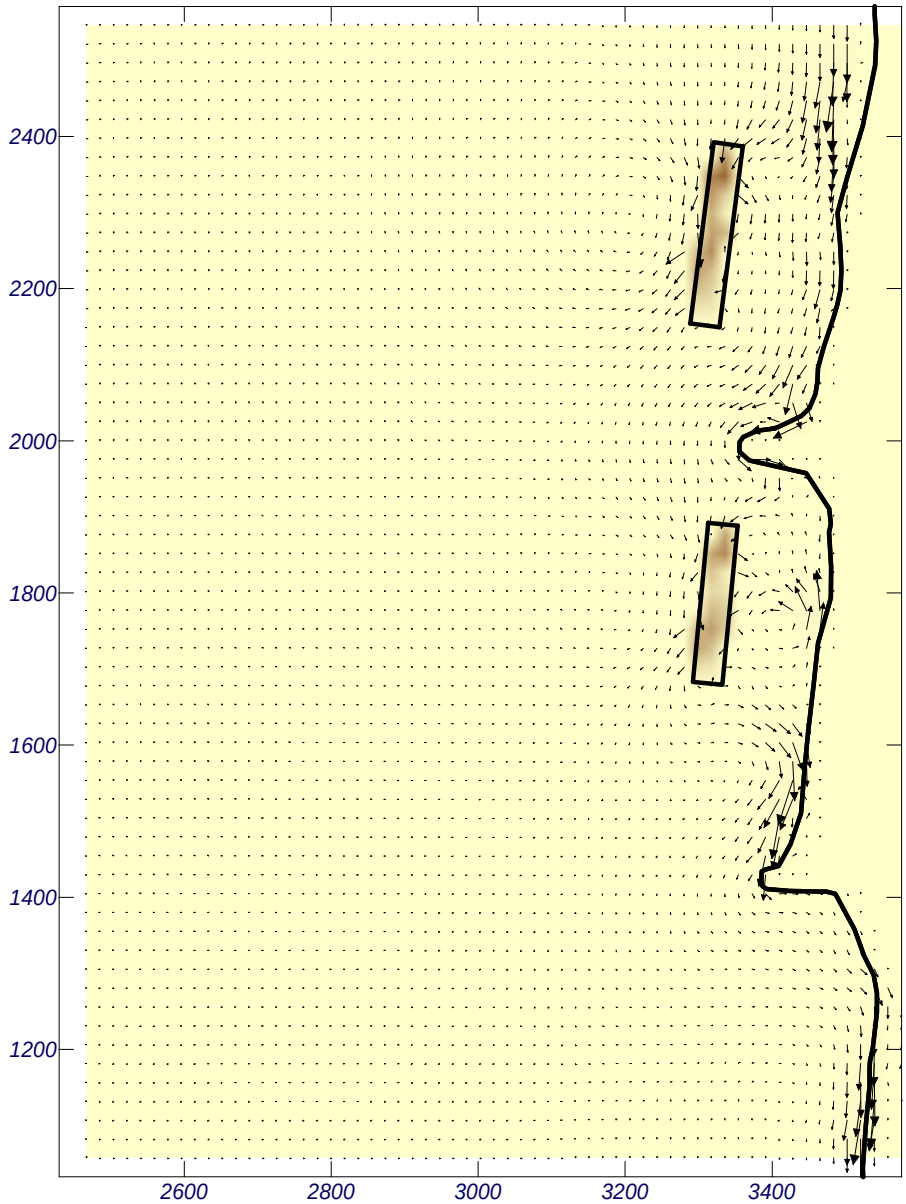
6.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

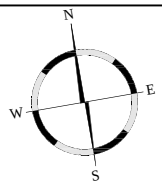
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

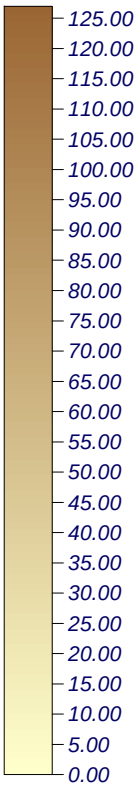
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m³/hour/m.l.)

1 cm = 12.320 m³/h/m.l.
0 12.32

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

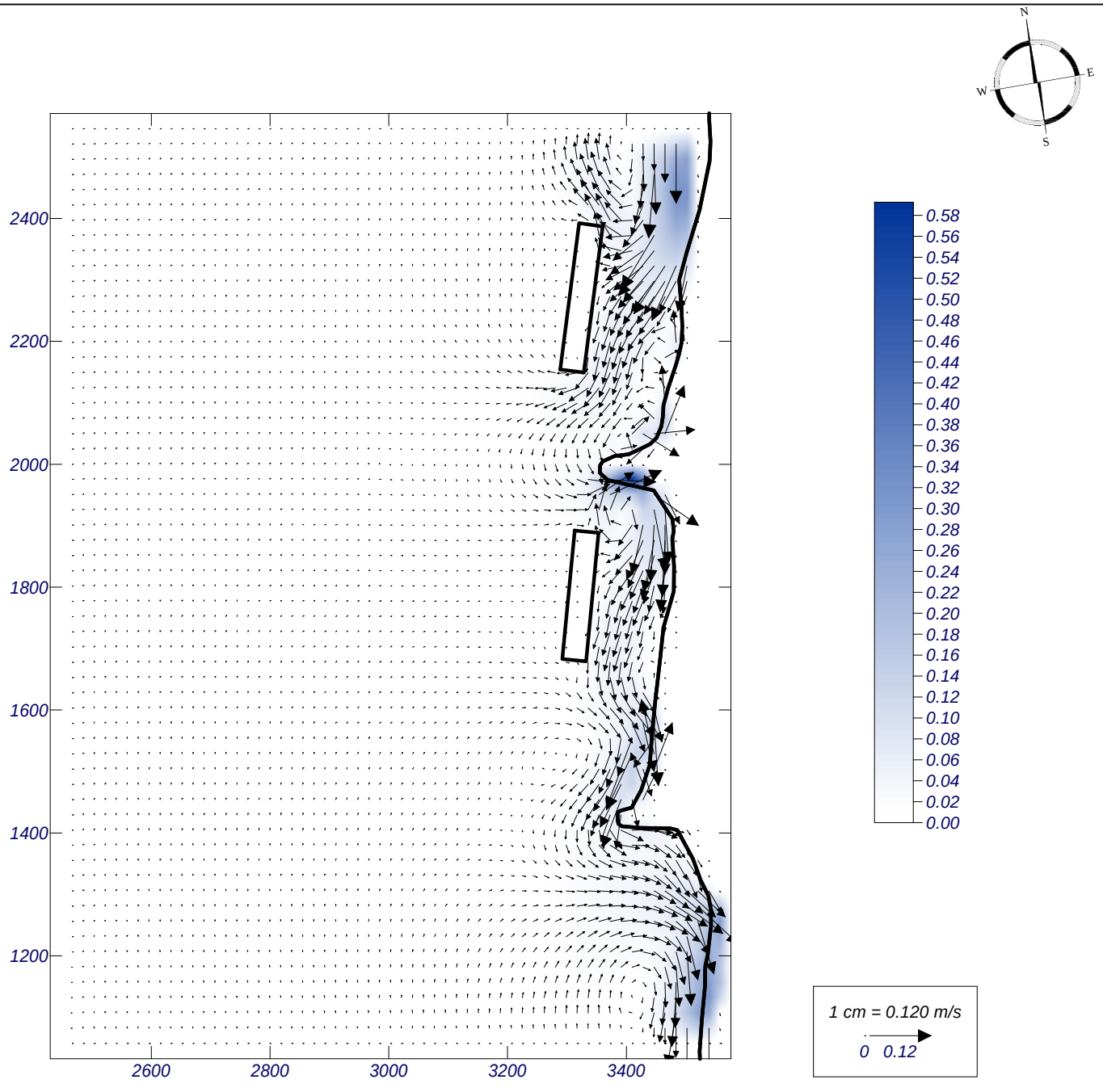
Programa desarrollado por

6.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

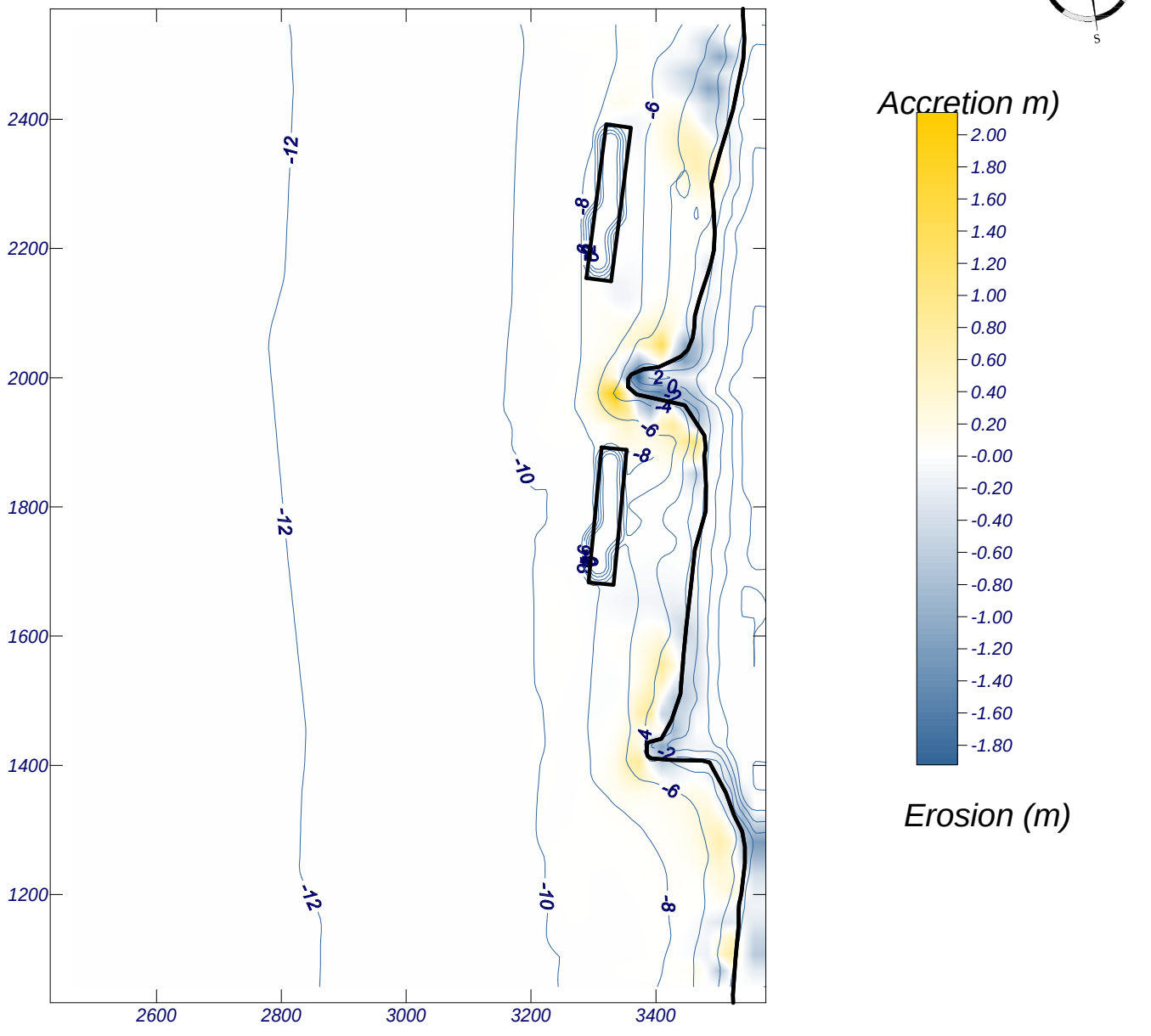
Programa desarrollado por

6.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity $^{o}n_{\varepsilon}$: 9 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

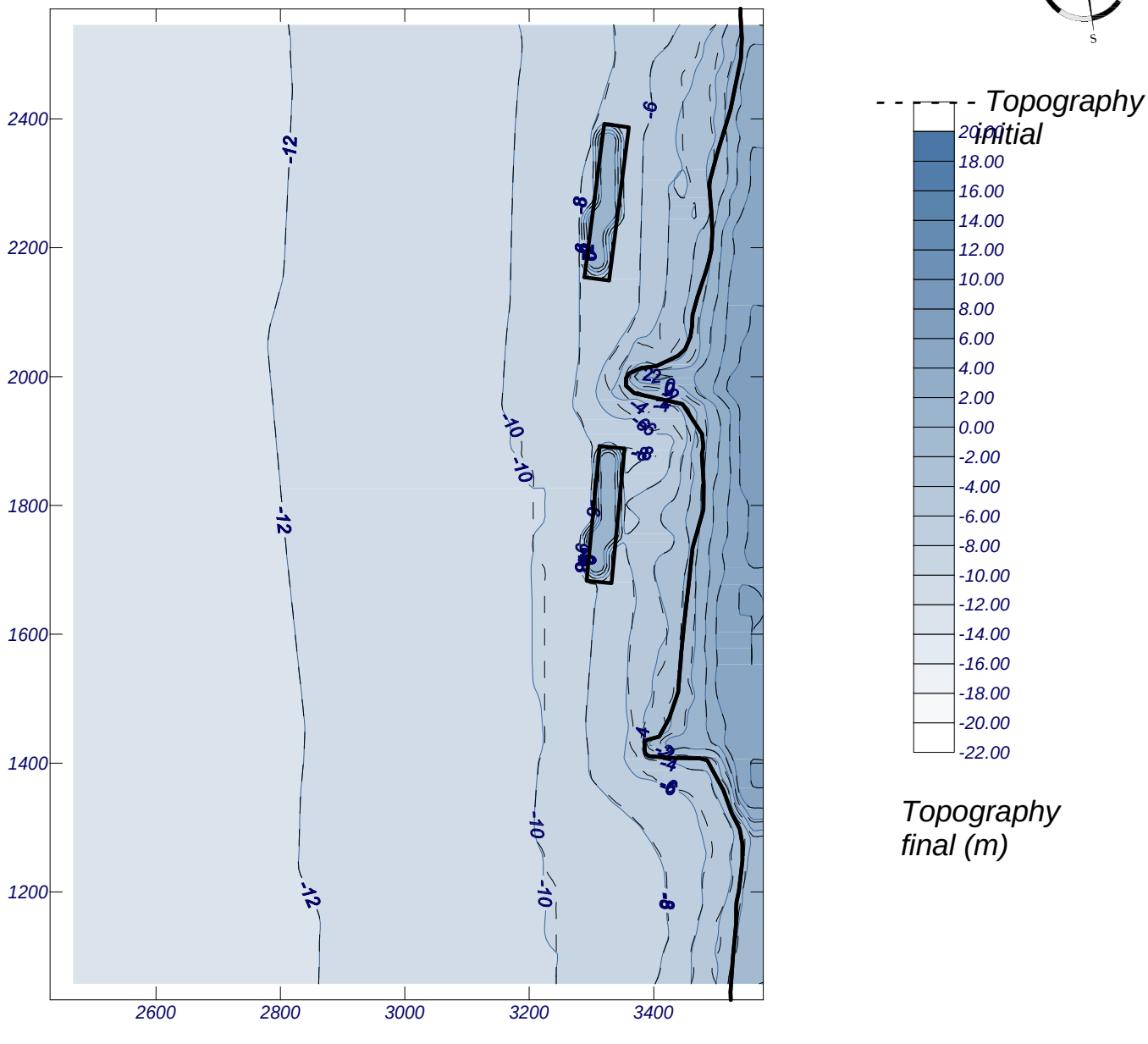
Programa desarrollado por

6.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity ν_t: 9 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

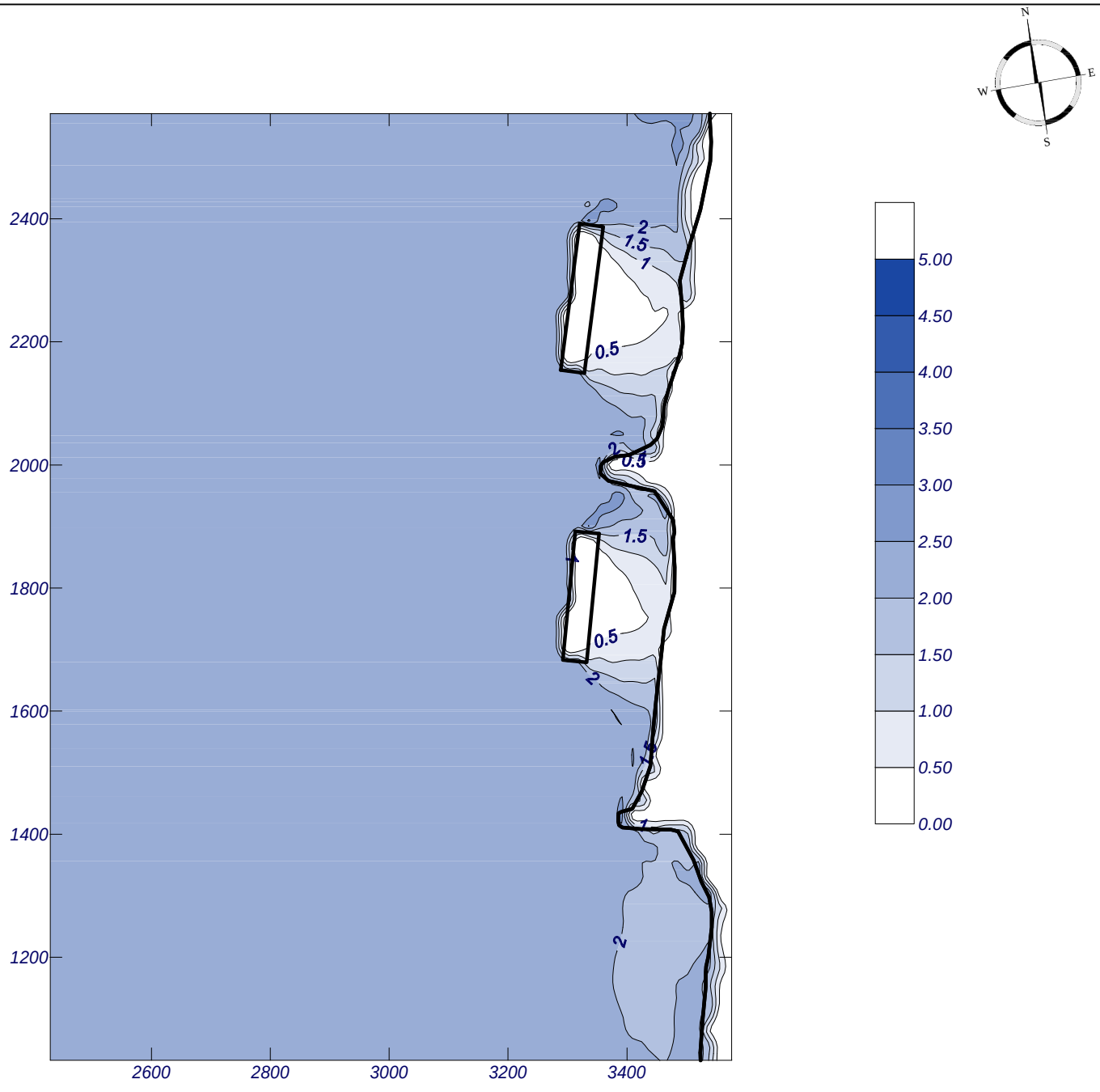
Programa desarrollado por

6.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

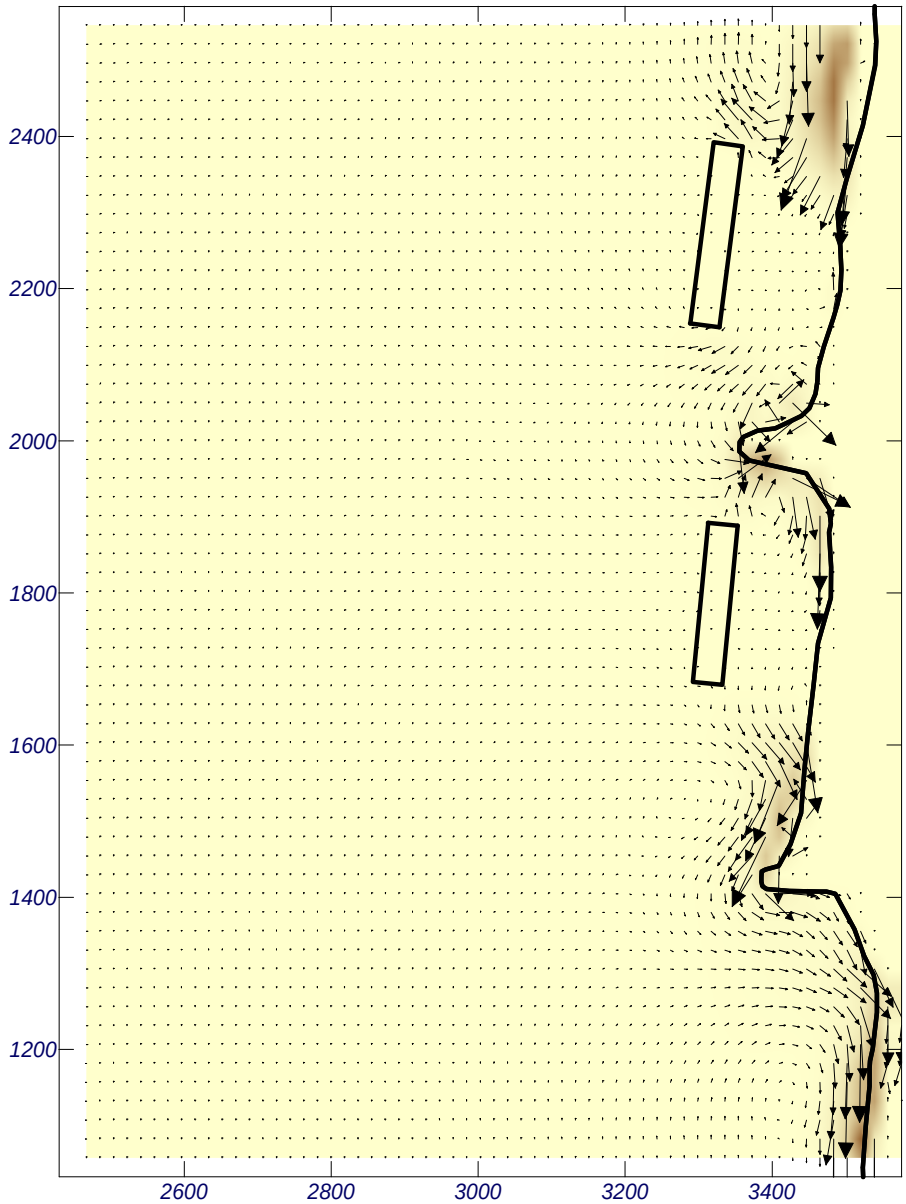
Programa desarrollado por

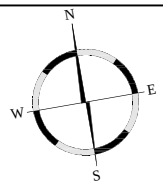
6.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS SIMPLES

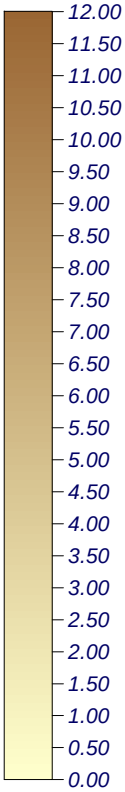
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 9 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m³/hour/m.l.)

1 cm = 2.210 m³/h/m.l.
0 2.21

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

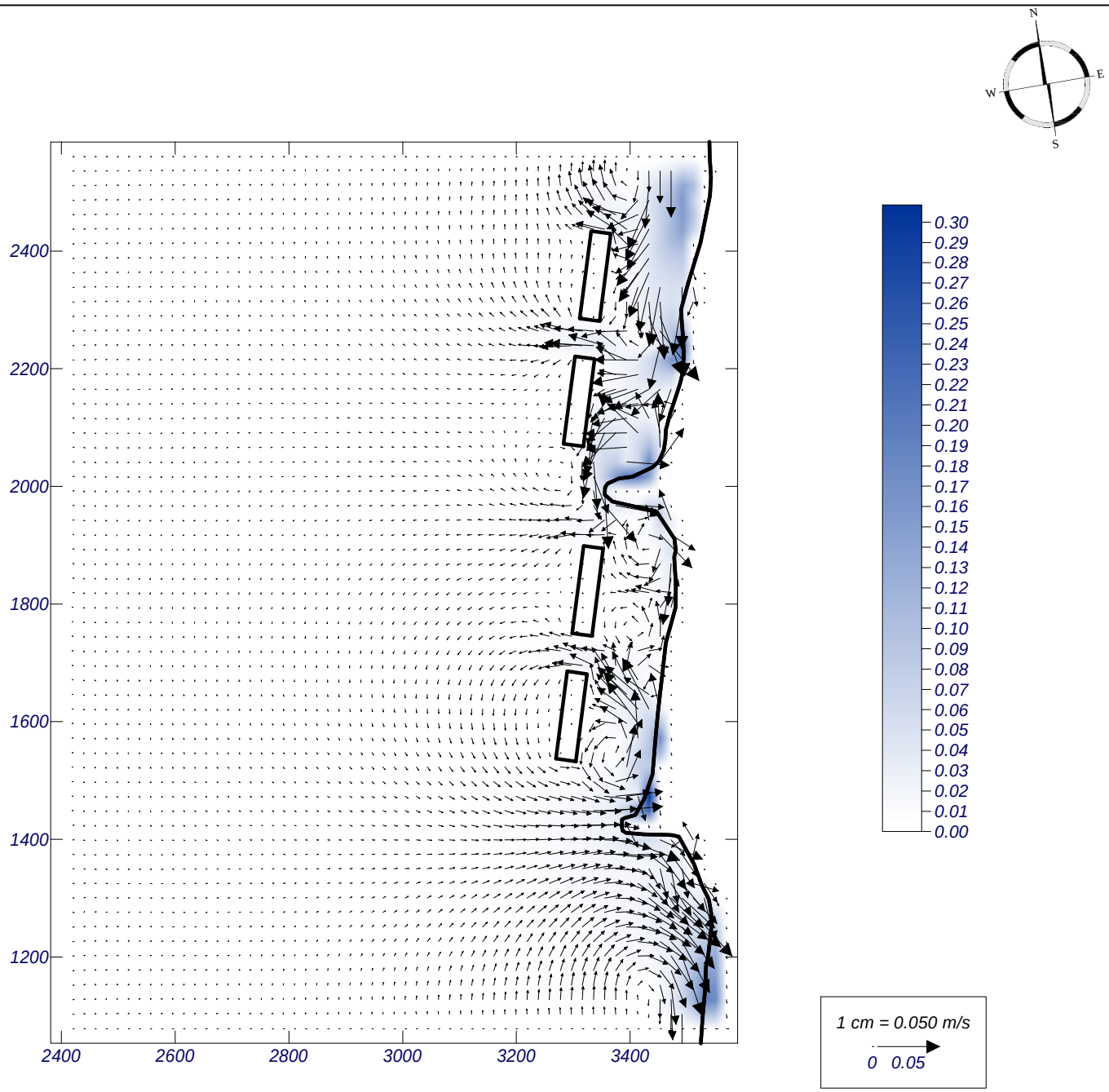
7.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

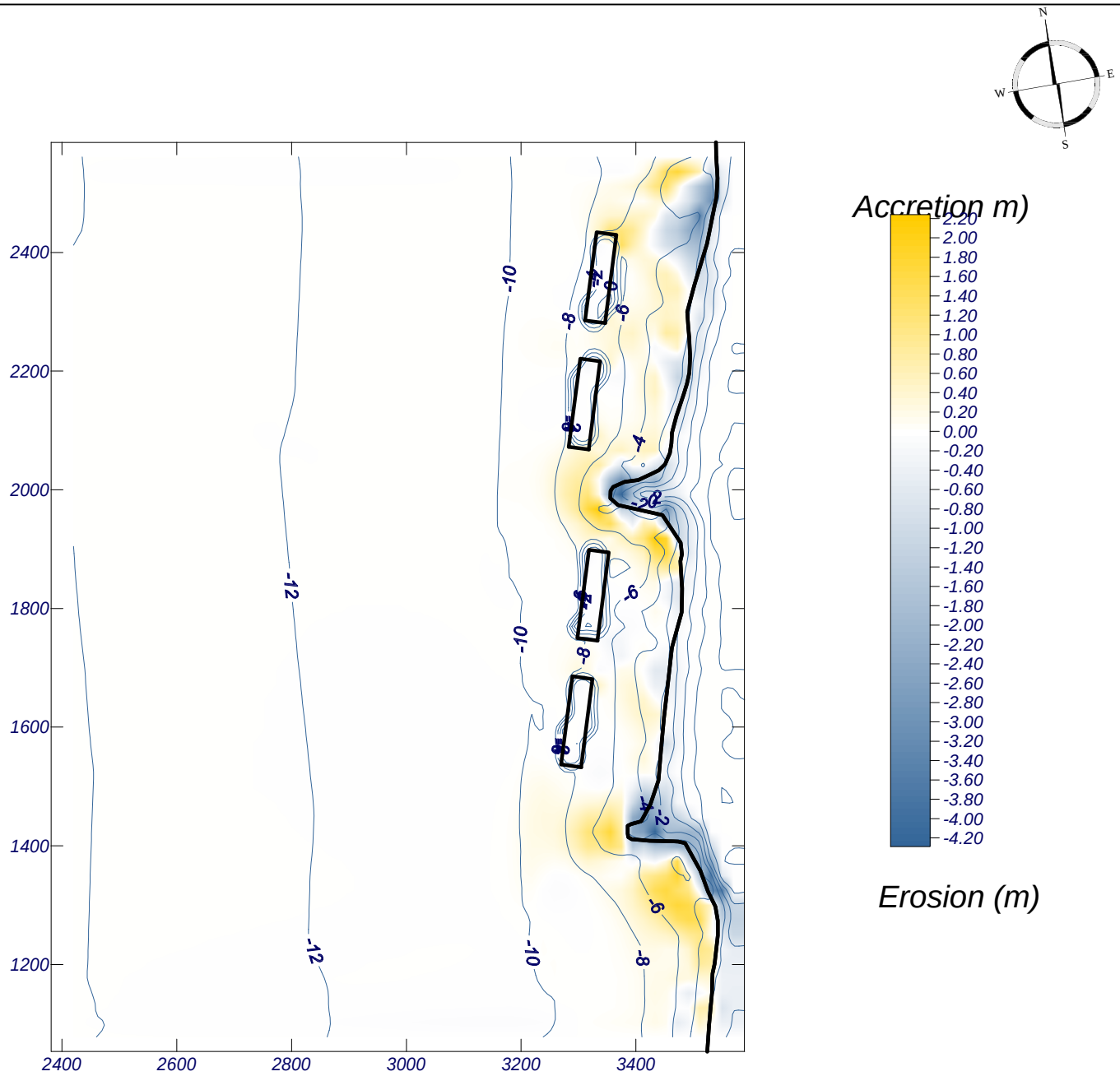
Programa desarrollado por

7.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP **Frequency spectrum (TMA)** Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	**COPLA-SP** Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	**MOPLA-SP** D_{50}: 0.40 mm Duration: 72.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

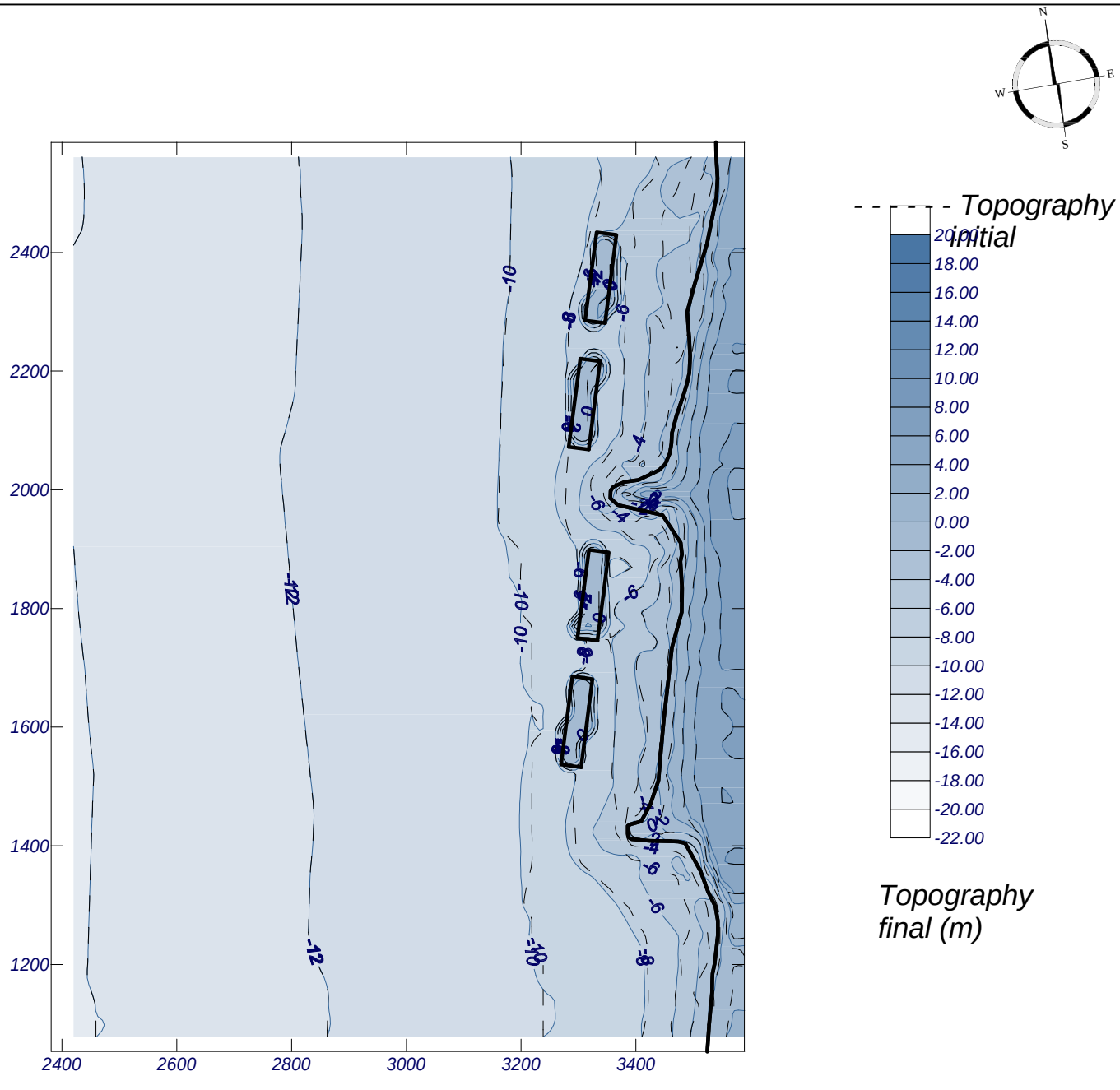
Programa desarrollado por

7.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity ν_ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 72.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

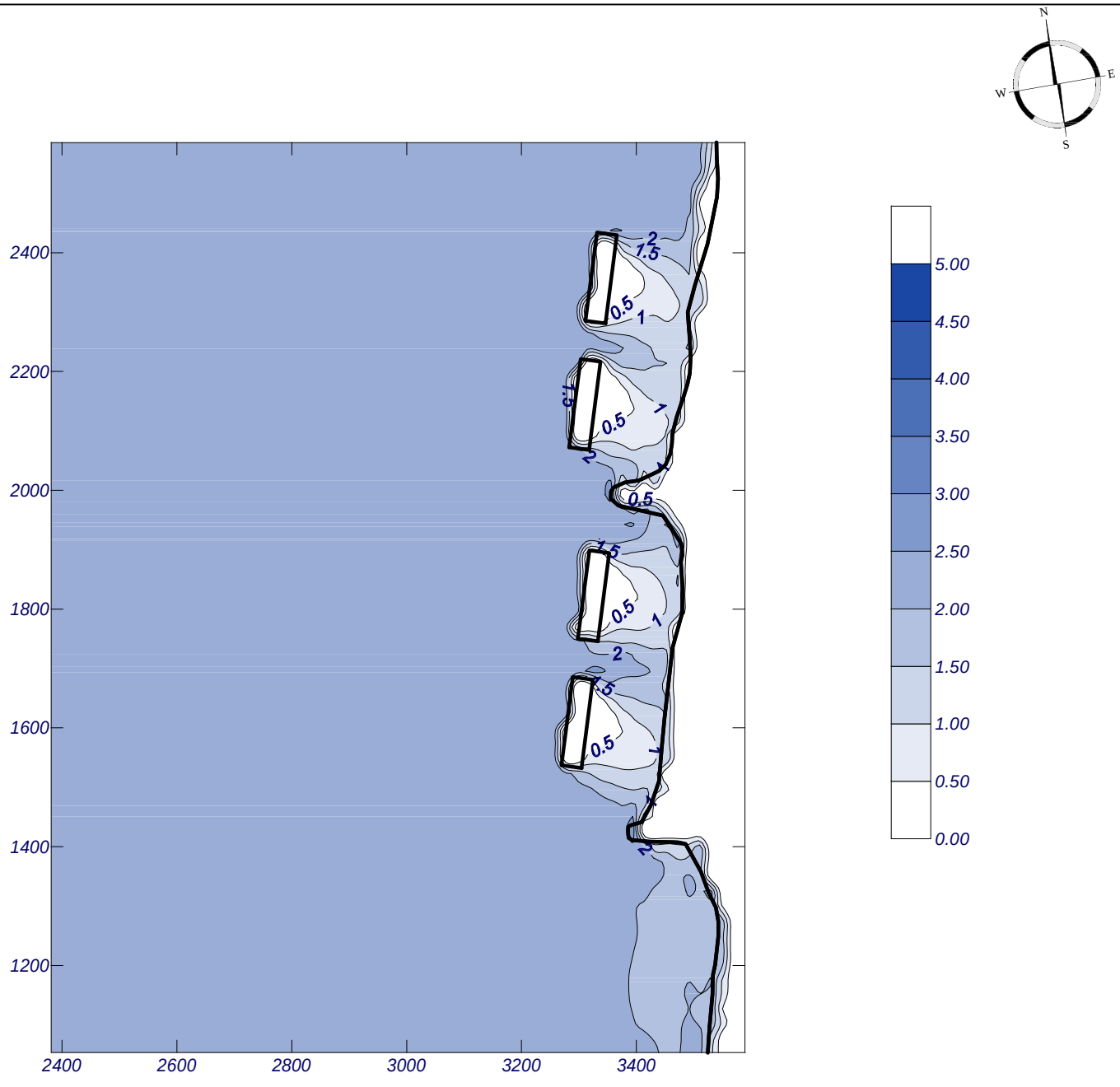
Programa desarrollado por

7.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

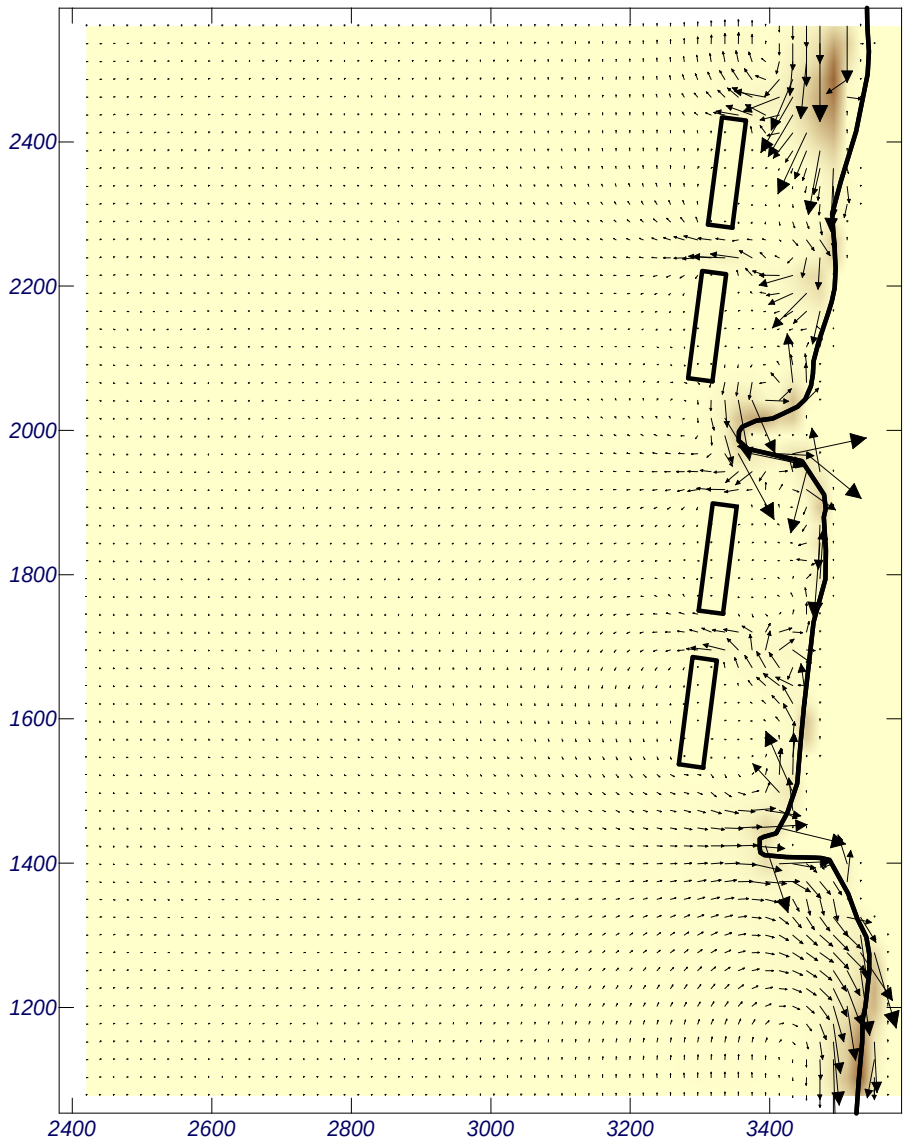
7.1 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

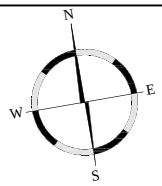
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

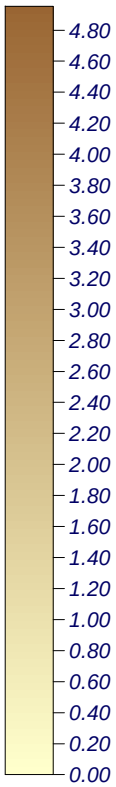
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 72.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m³/hour/m.l.)

1 cm = 1.020 m³/h/m.l.
0 1.02

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

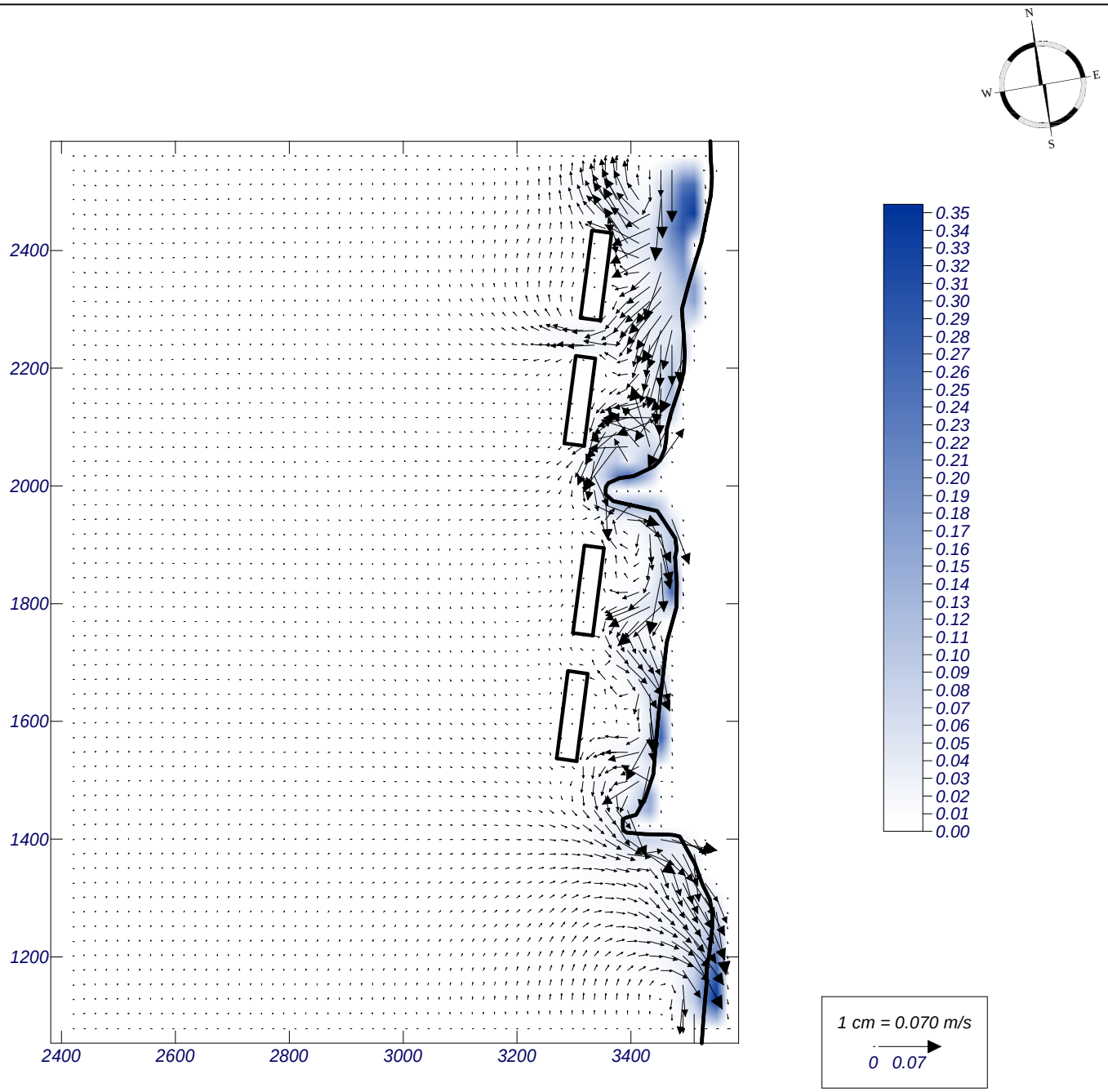
7.2 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Current vectors

Monochromatic case : A202

A2:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

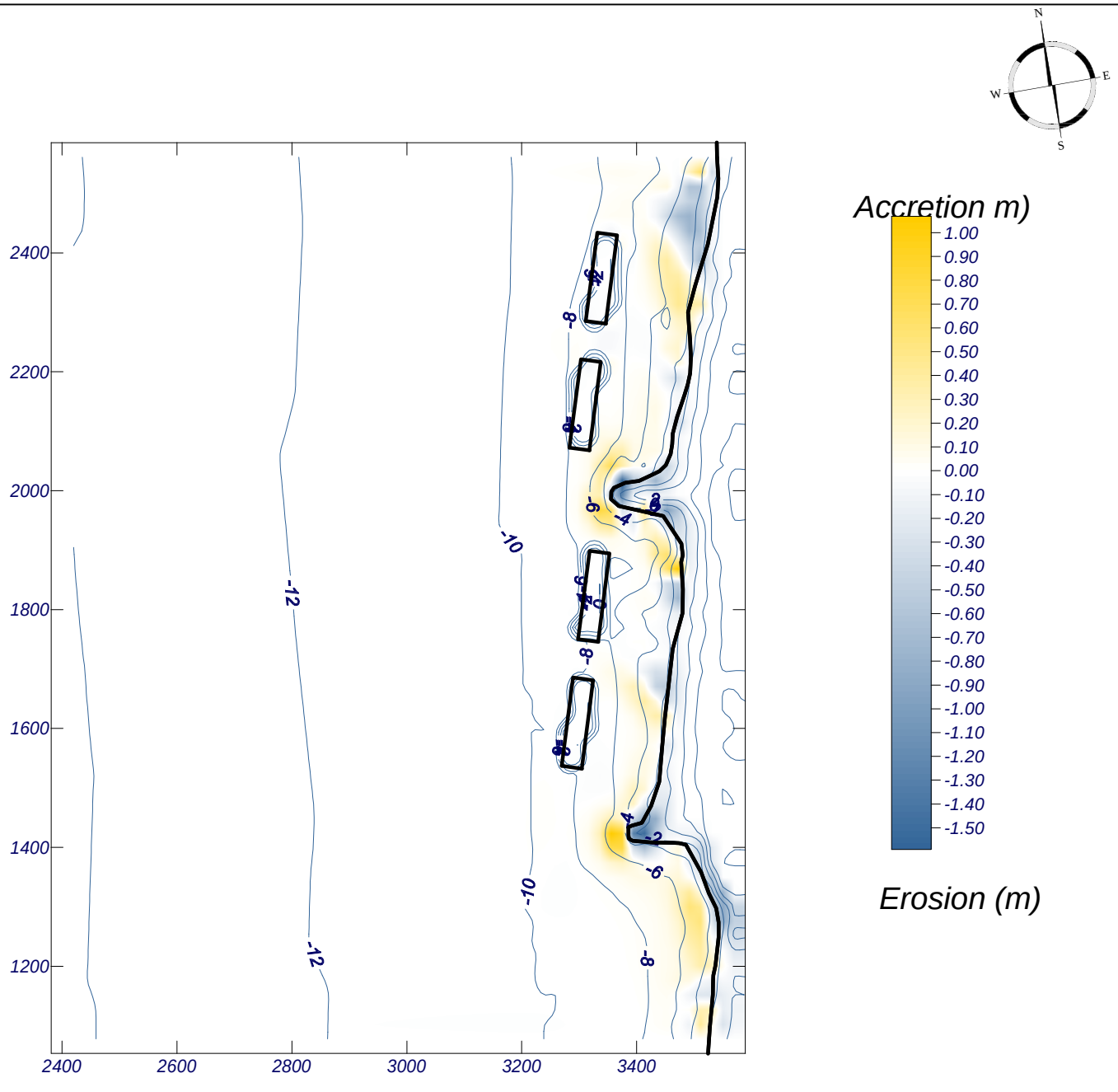
7.2 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Final topography and variation of the topography

Monochromatic case : A202

A2:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

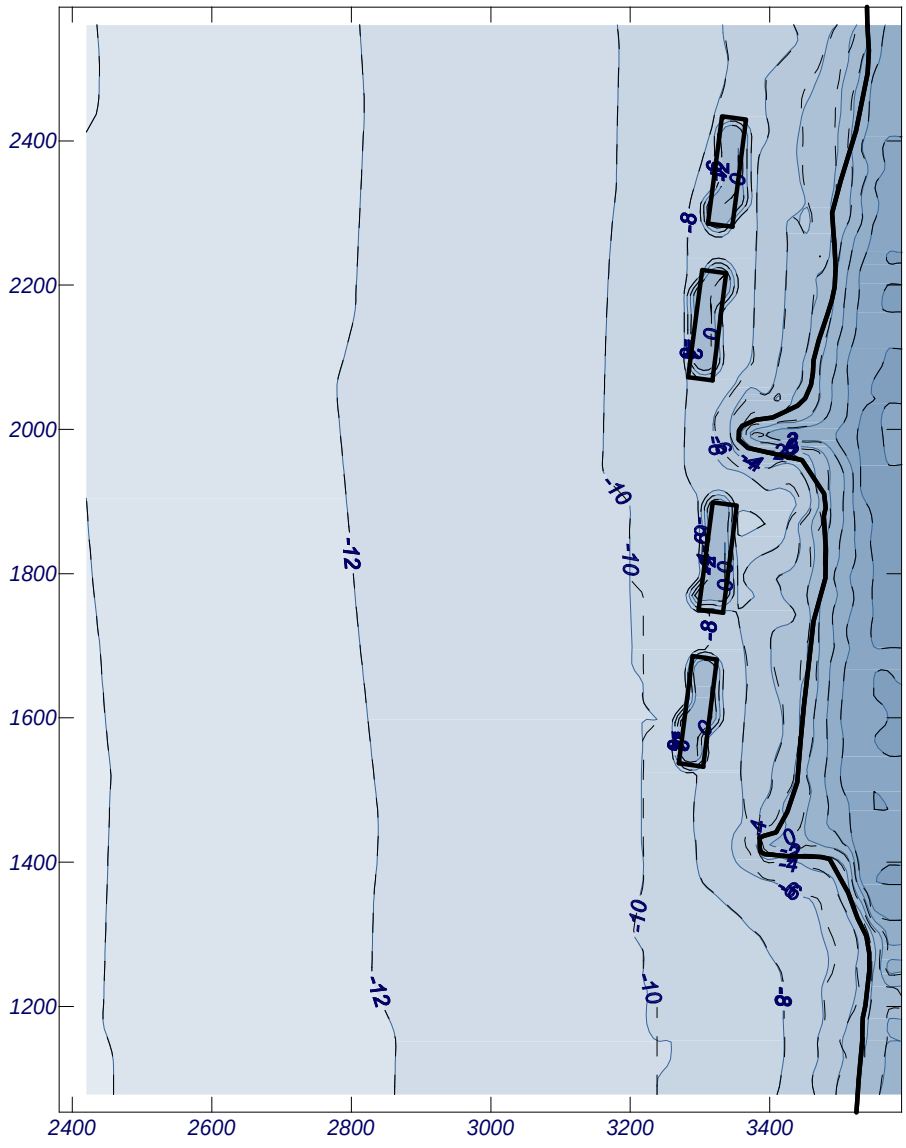
7.2 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

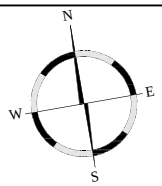
Graph: Initial and final topographies

Monochromatic case : A202

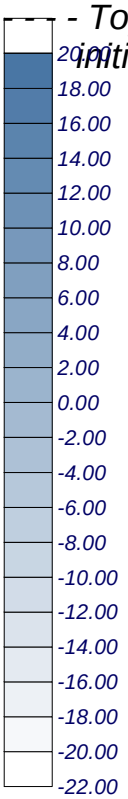
A2:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby





- - - - *Topography initial*



Topography final (m)

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

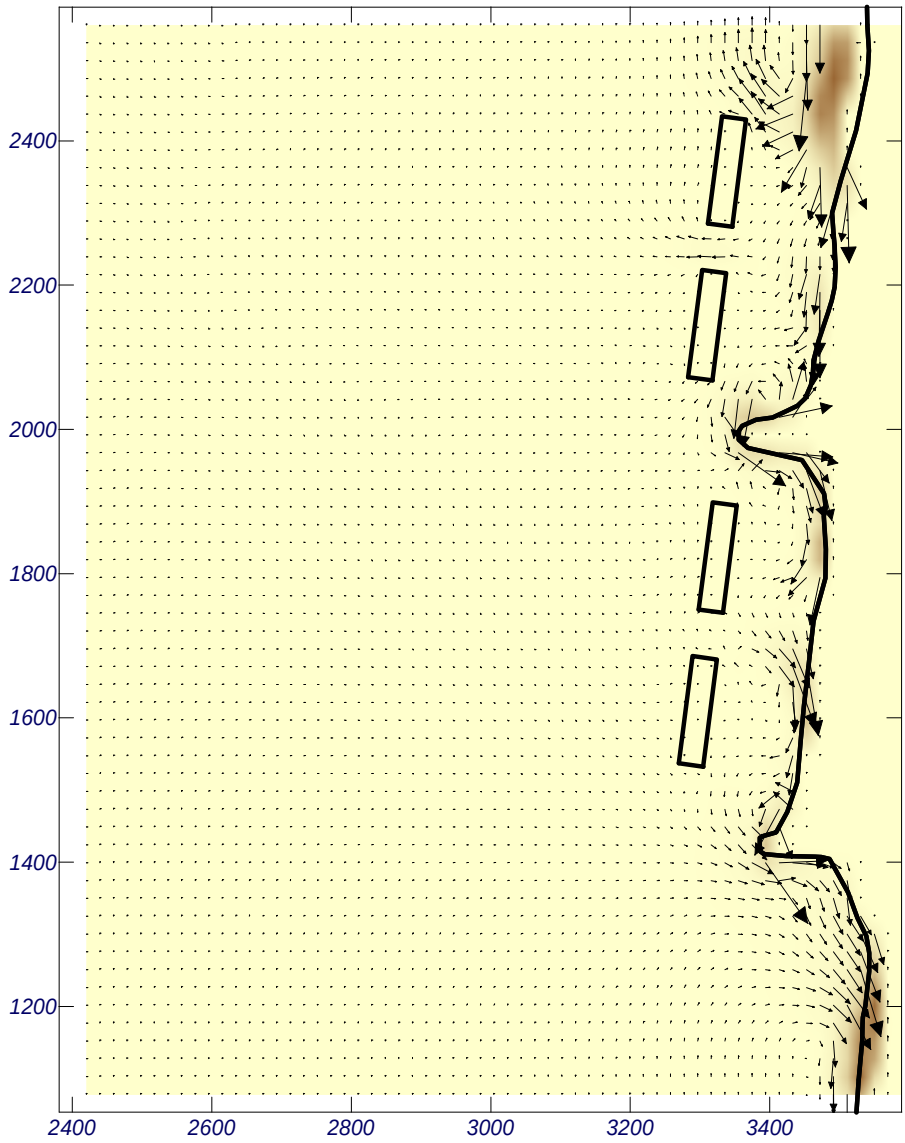
7.2 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

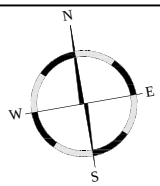
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

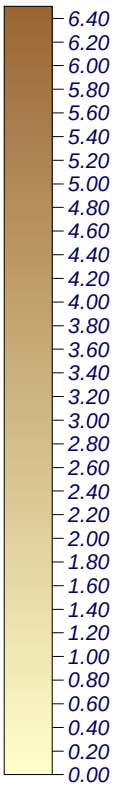
Monochromatic case : A202

A2:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity $^{o}n_{\varepsilon}$: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 1.310 m^3/h/m.l.
0 1.31

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

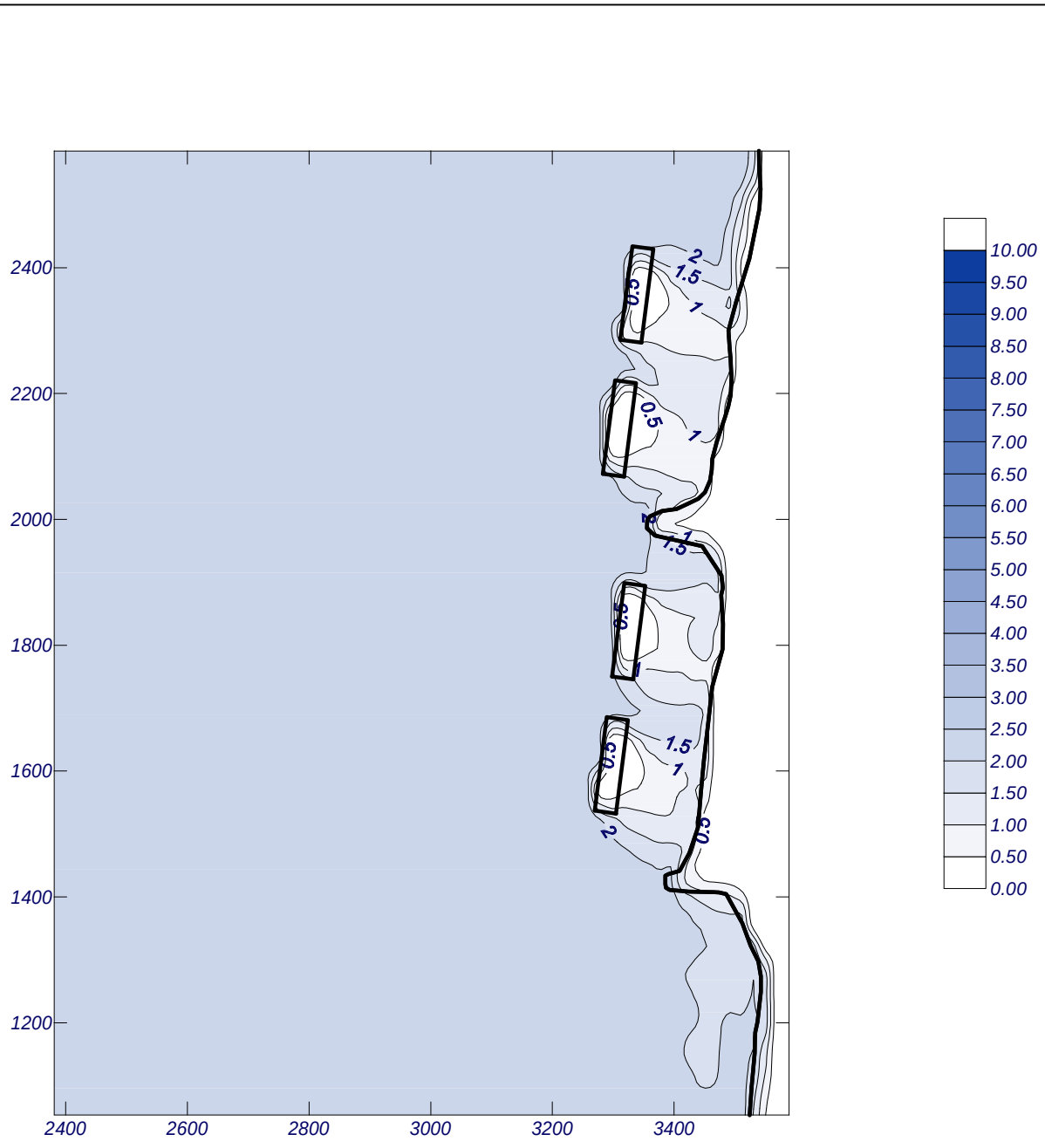
7.2 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Wave height

Monochromatic case : A202

A2:
02: regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m		

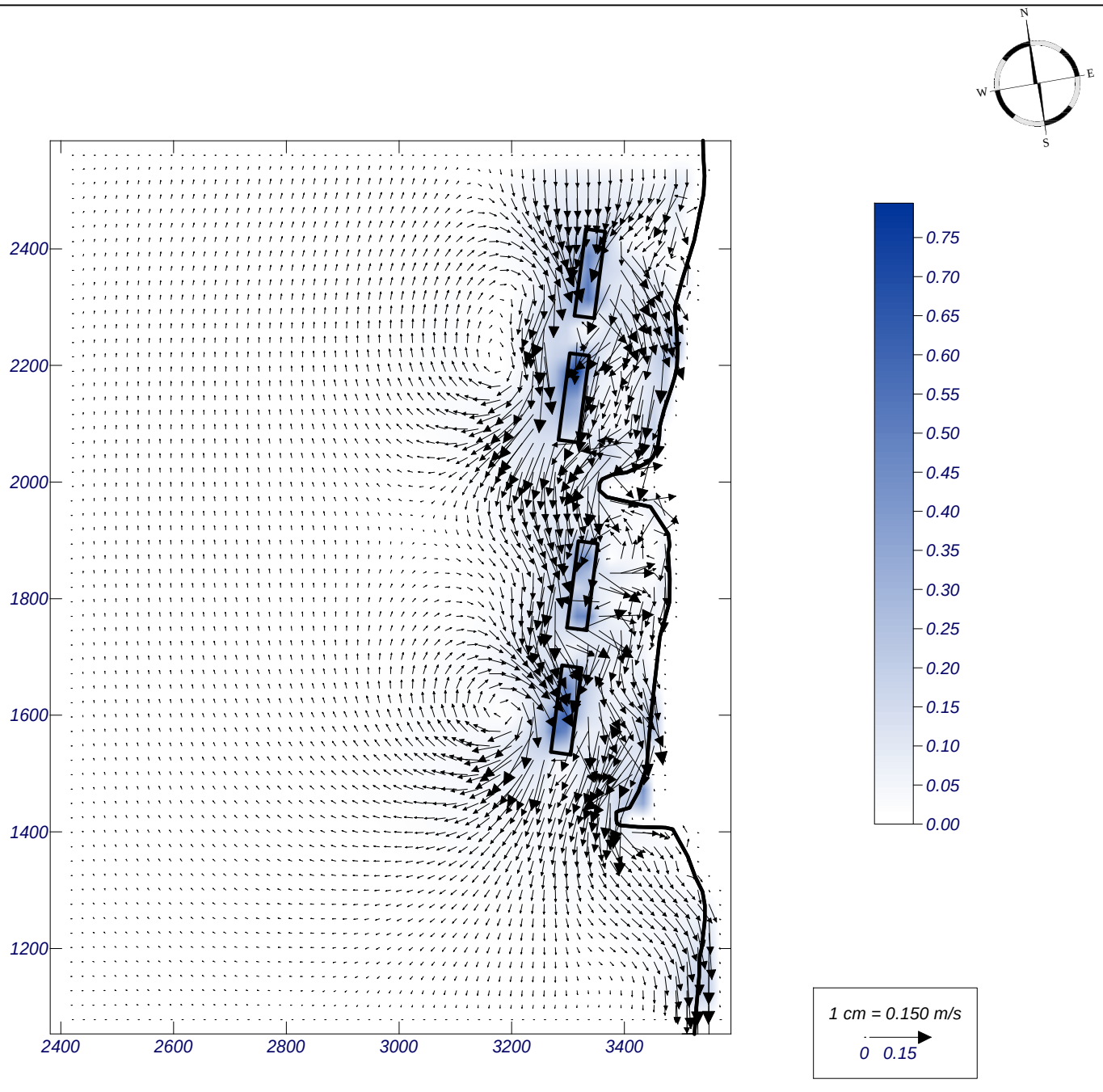


7.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

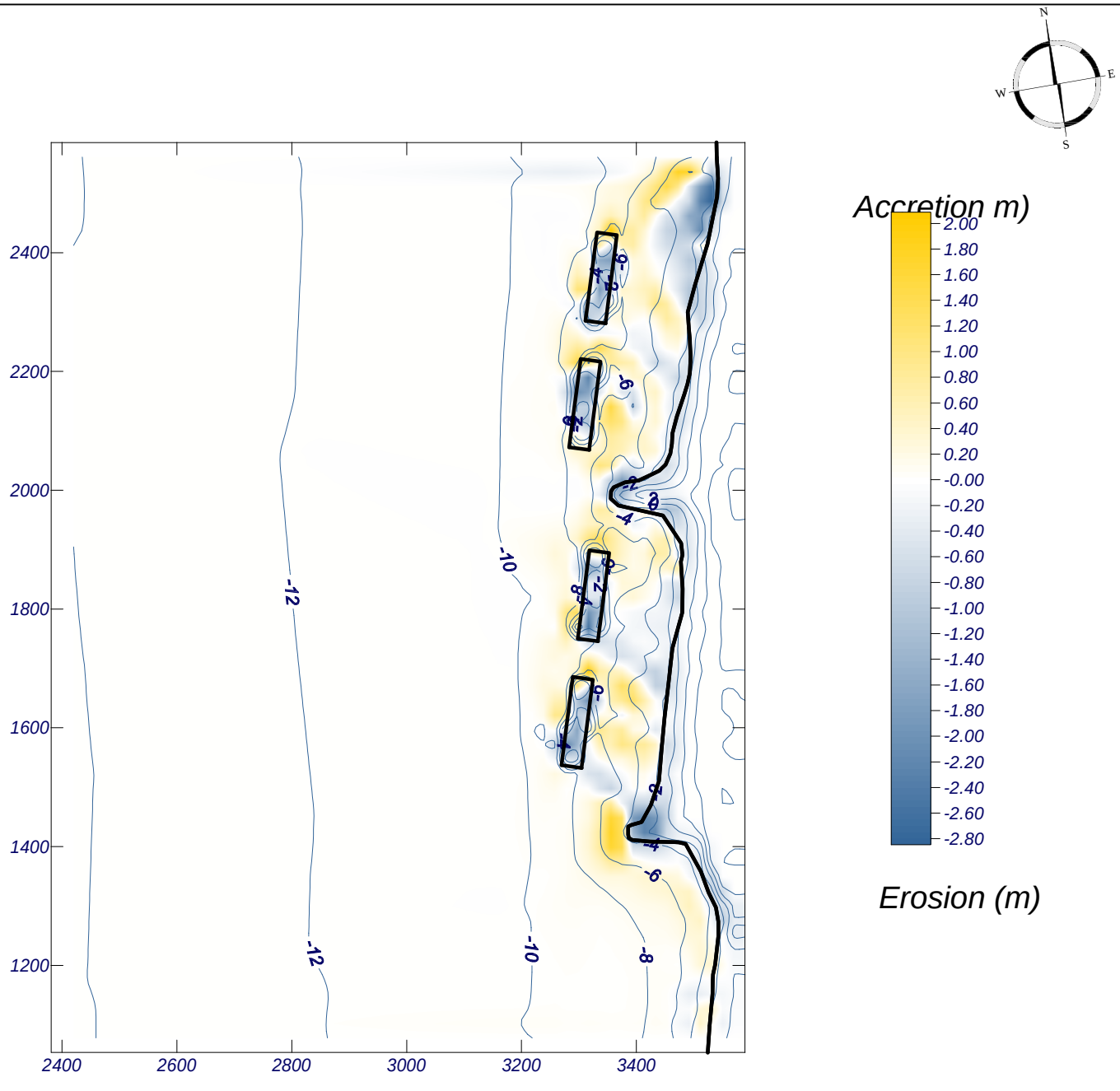
Programa desarrollado por

7.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP **Frequency spectrum (TMA)** Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	**COPLA-SP** Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	**MOPLA-SP** D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

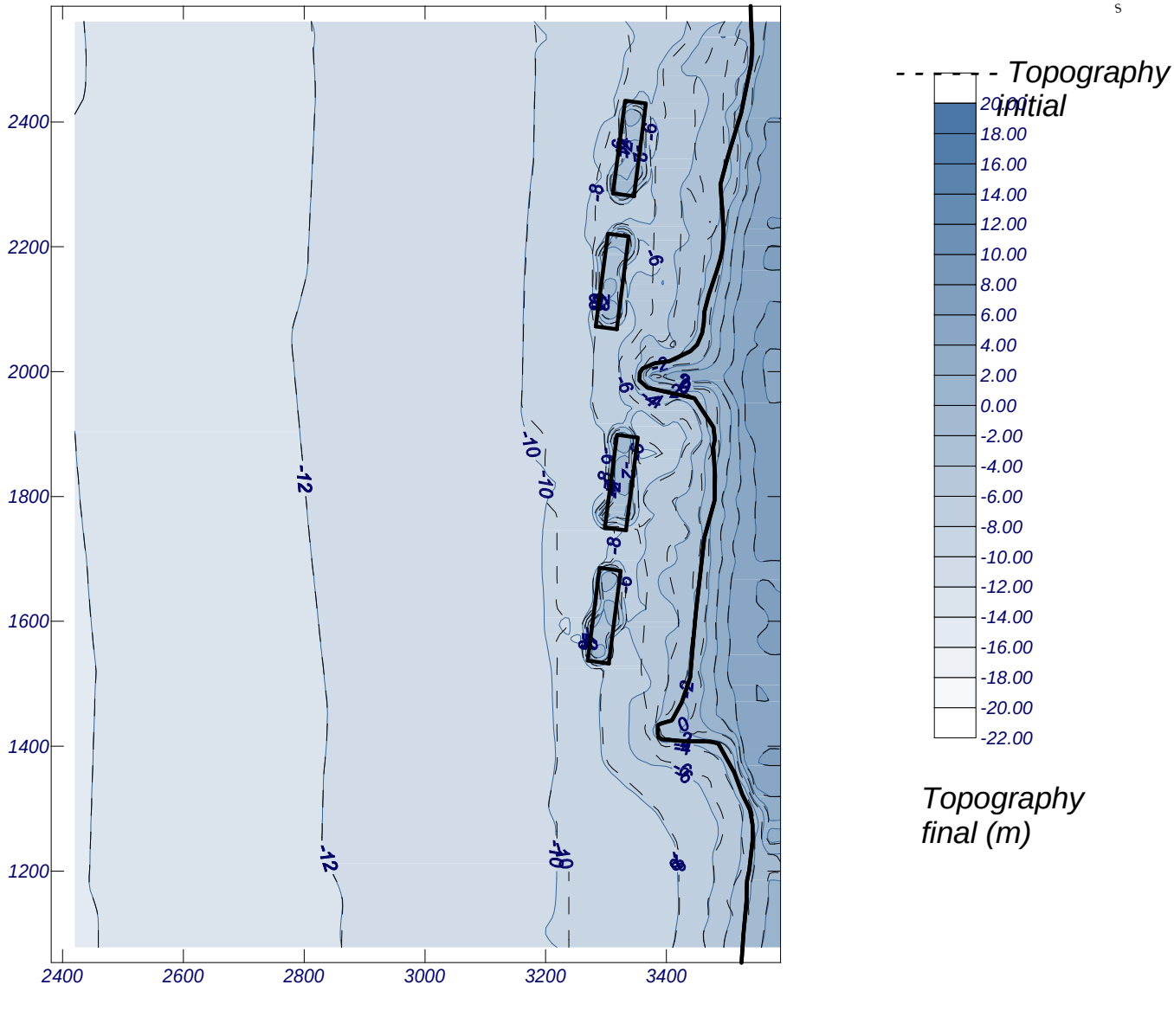
Programa desarrollado por

7.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity ν_ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

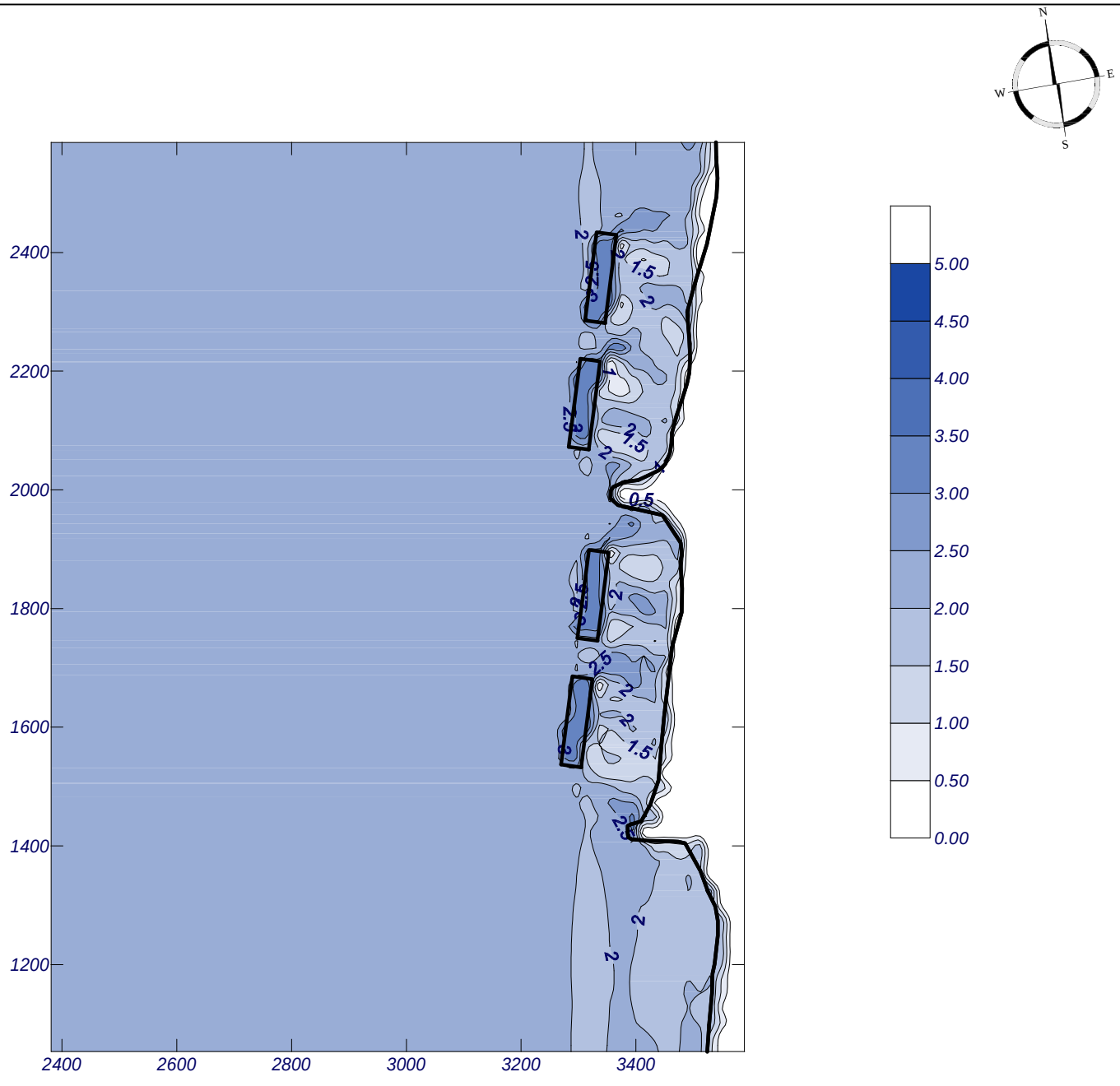
Programa desarrollado por

7.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

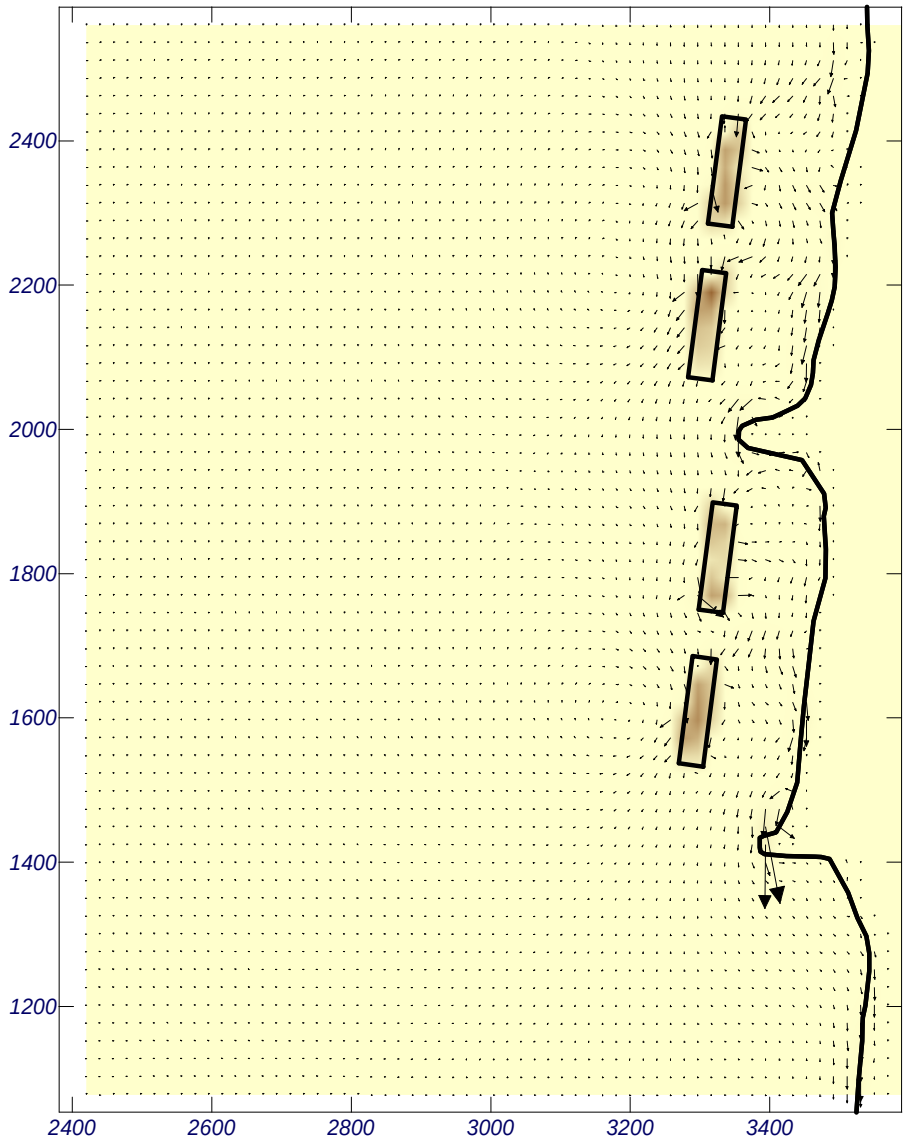
7.3 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

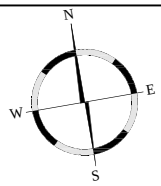
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

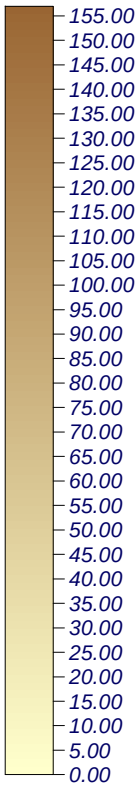
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 16.810 m^3/h/m.l.
0 16.81

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

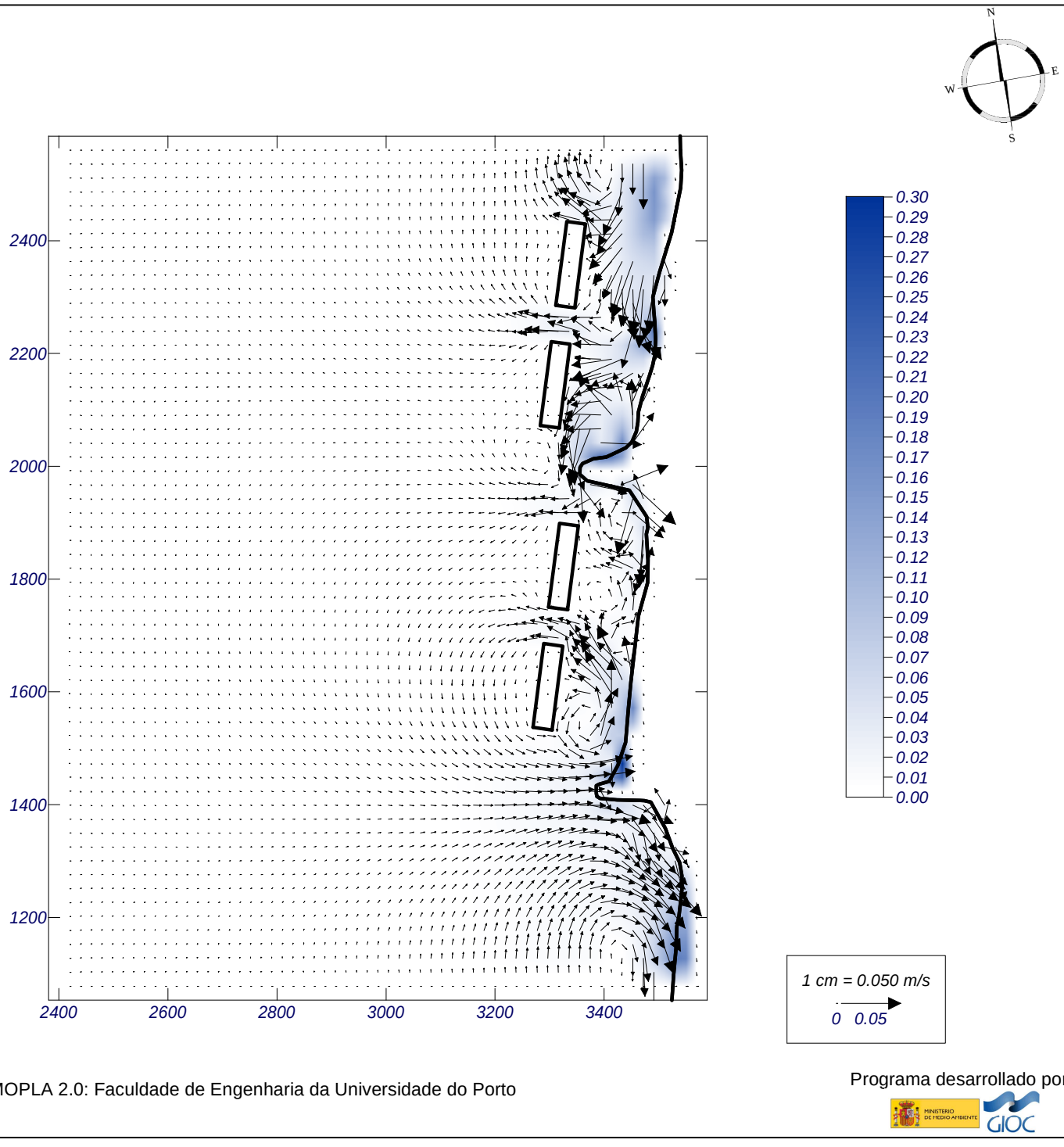
Programa desarrollado por

7.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Current vectors

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

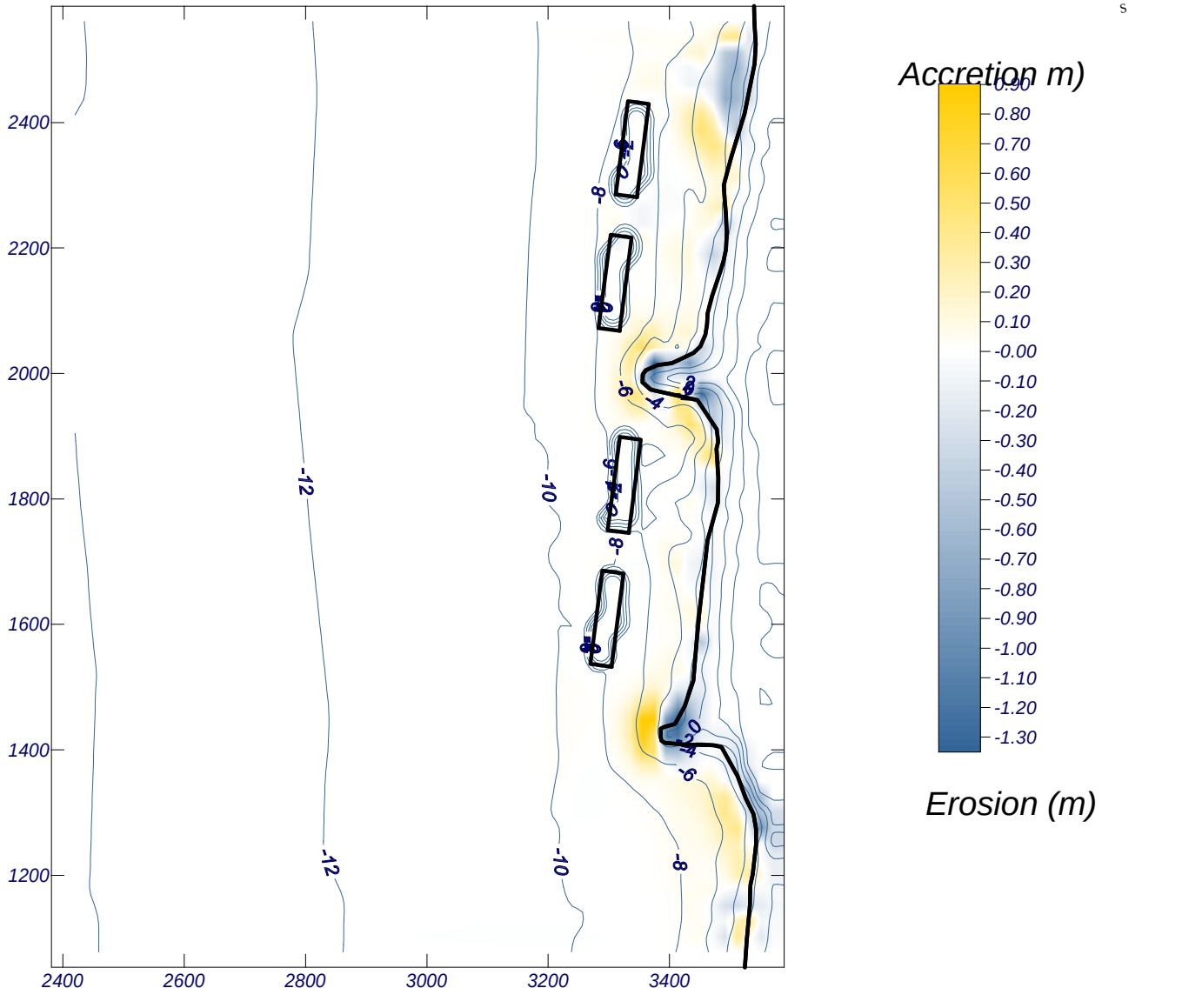
Programa desarrollado por

7.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Final topography and variation of the topography

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

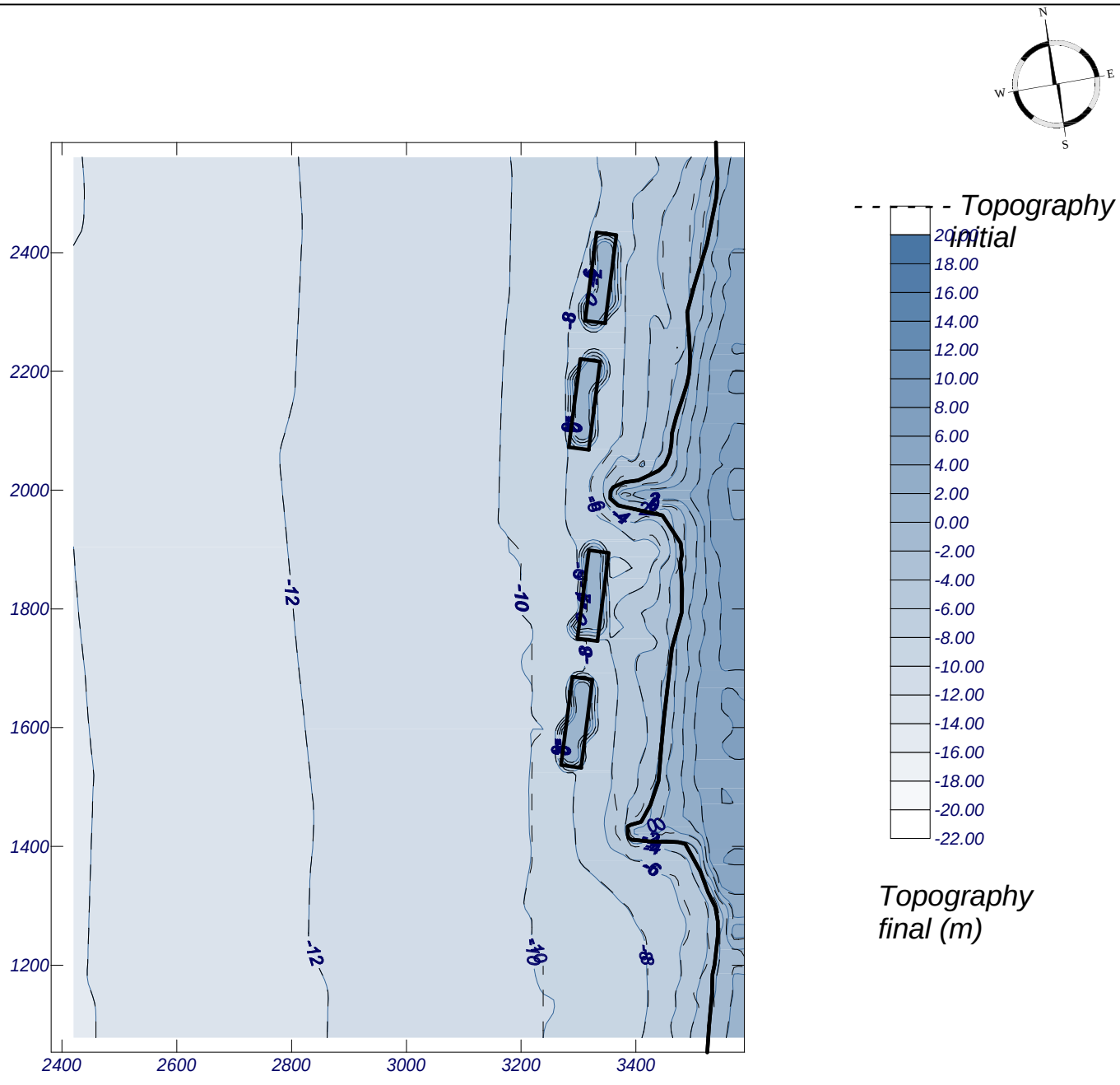
Programa desarrollado por

7.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Initial and final topographies

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP **Frequency spectrum (TMA)** Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	**COPLA-SP** Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity ν_ε: 10 m²/s	**MOPLA-SP** D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

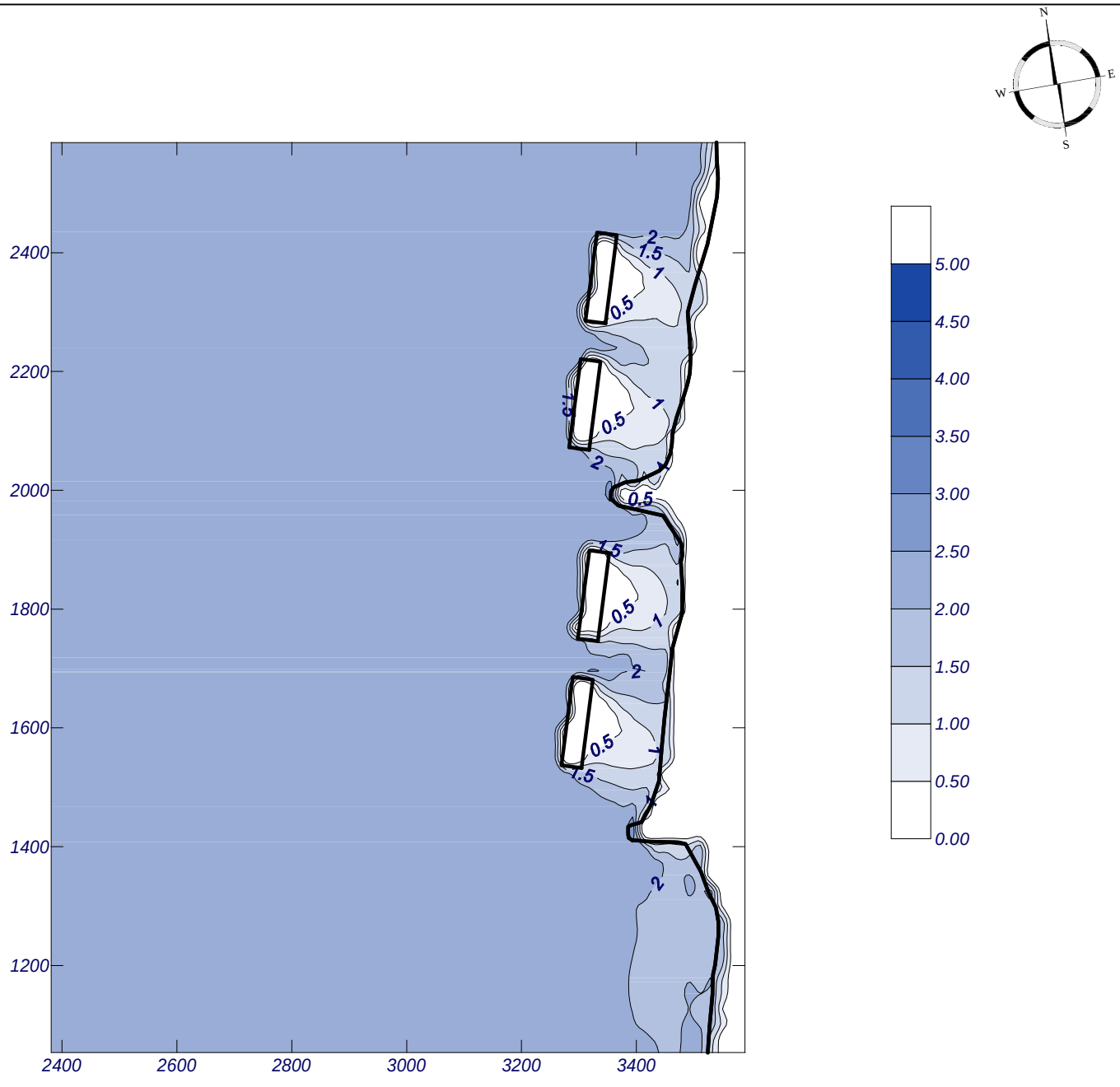
Programa desarrollado por

7.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

Graph: Significant wave height

Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación		
OLUCA-SP	**COPLA-SP**	**MOPLA-SP**
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15		



MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

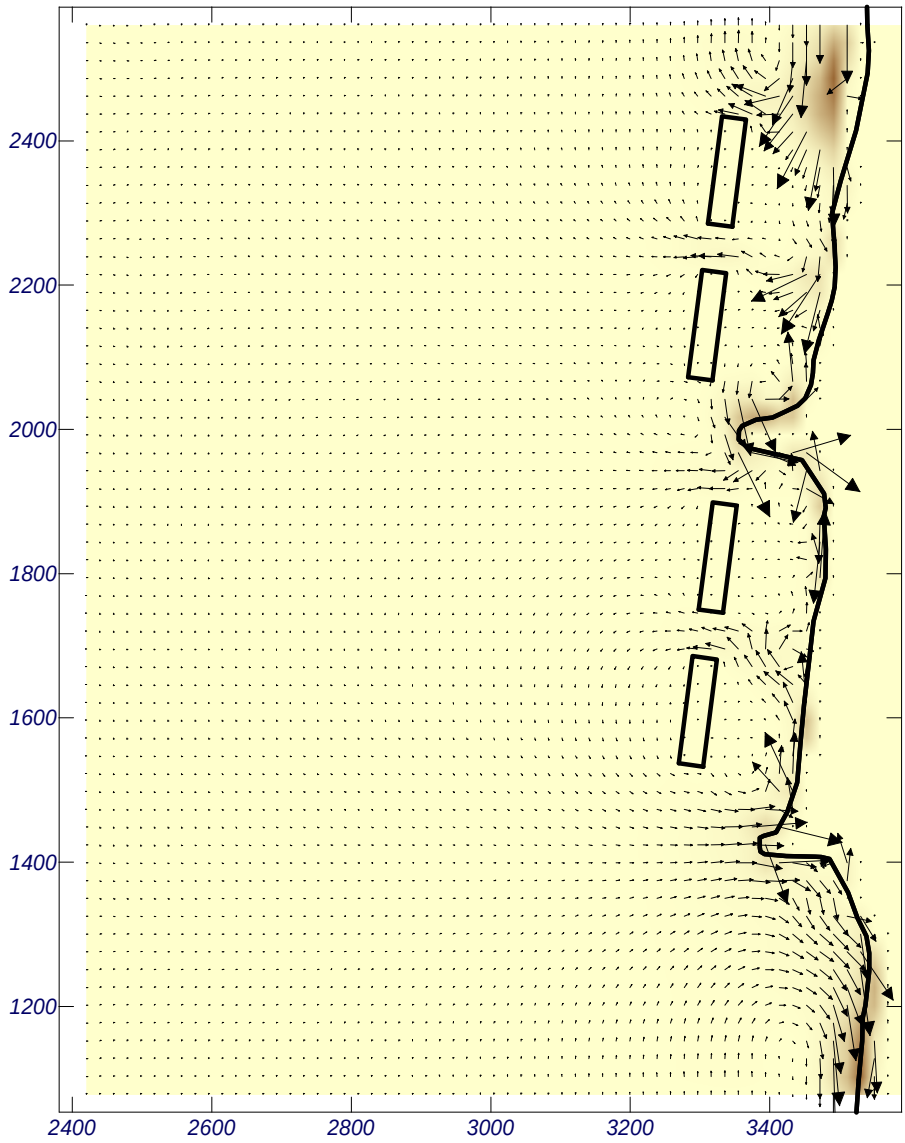
7.4 SISTEMA DE QUEBRAMARES DESTACADOS MÚLTIPLOS

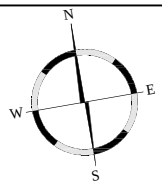
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

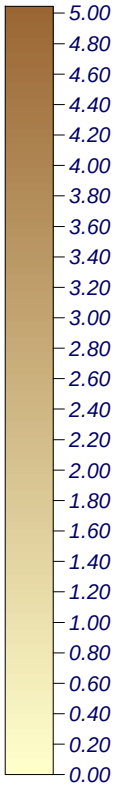
Spectral case: A201
A2:
01:

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Frequency spectrum (TMA) Hs: 2.2 m h: 17 m fp: 0.087719 Hz (Tp: 11.4 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 15 **Directional spectrum** θ_m : -35º (N45.0W) σ: 20º - Nº Comp.: 15	Nikuradse Roughness Kswc: 1 m Eddy viscosity on ε: 10 m²/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby







Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 0.990 m^3/h/m.l.
0 0.99

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

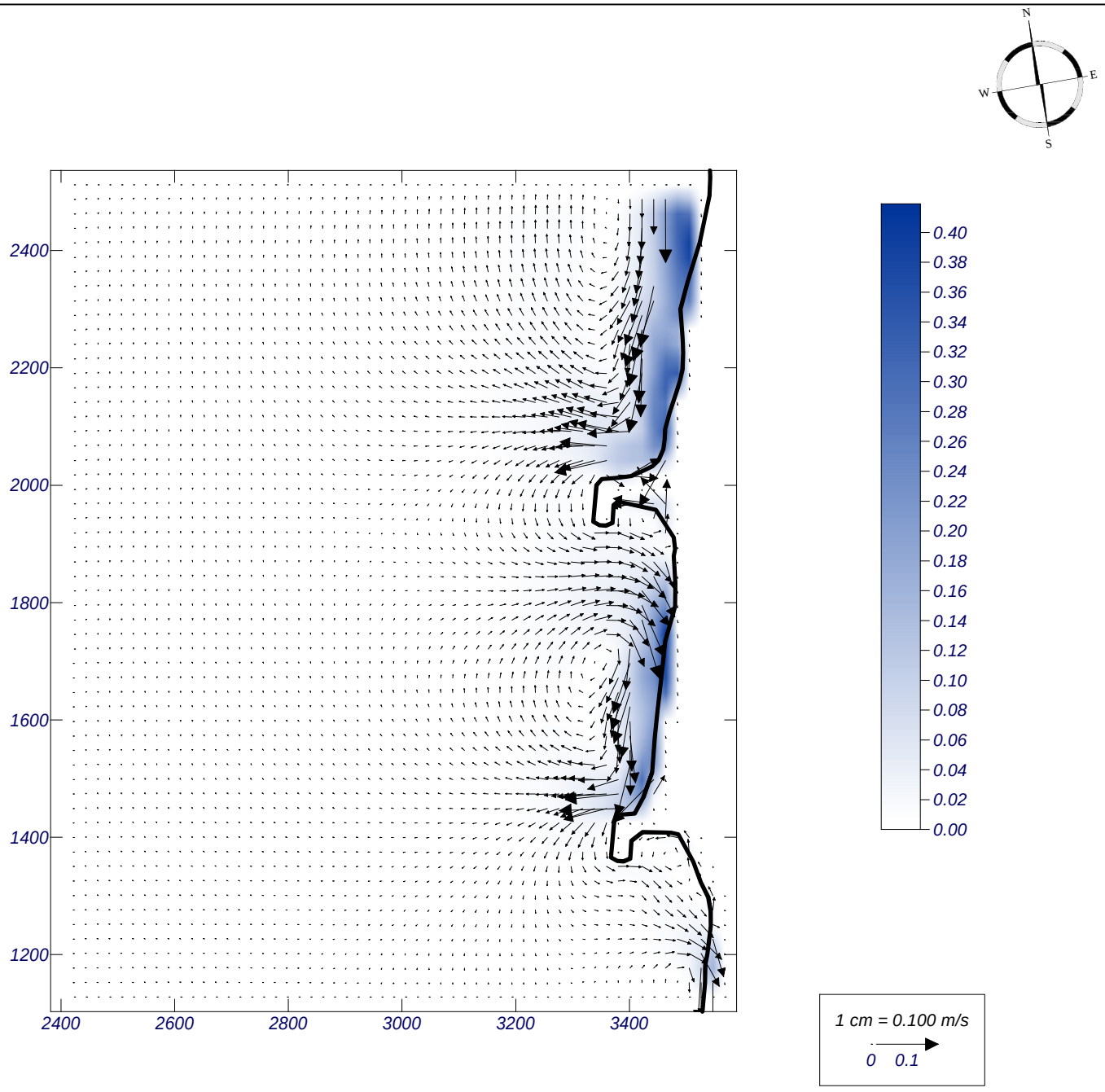
8.1 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

Graph: Current vectors

Monochromatic case : A202

A2:
02: agitação regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ν_ε: 10 m^2/s	



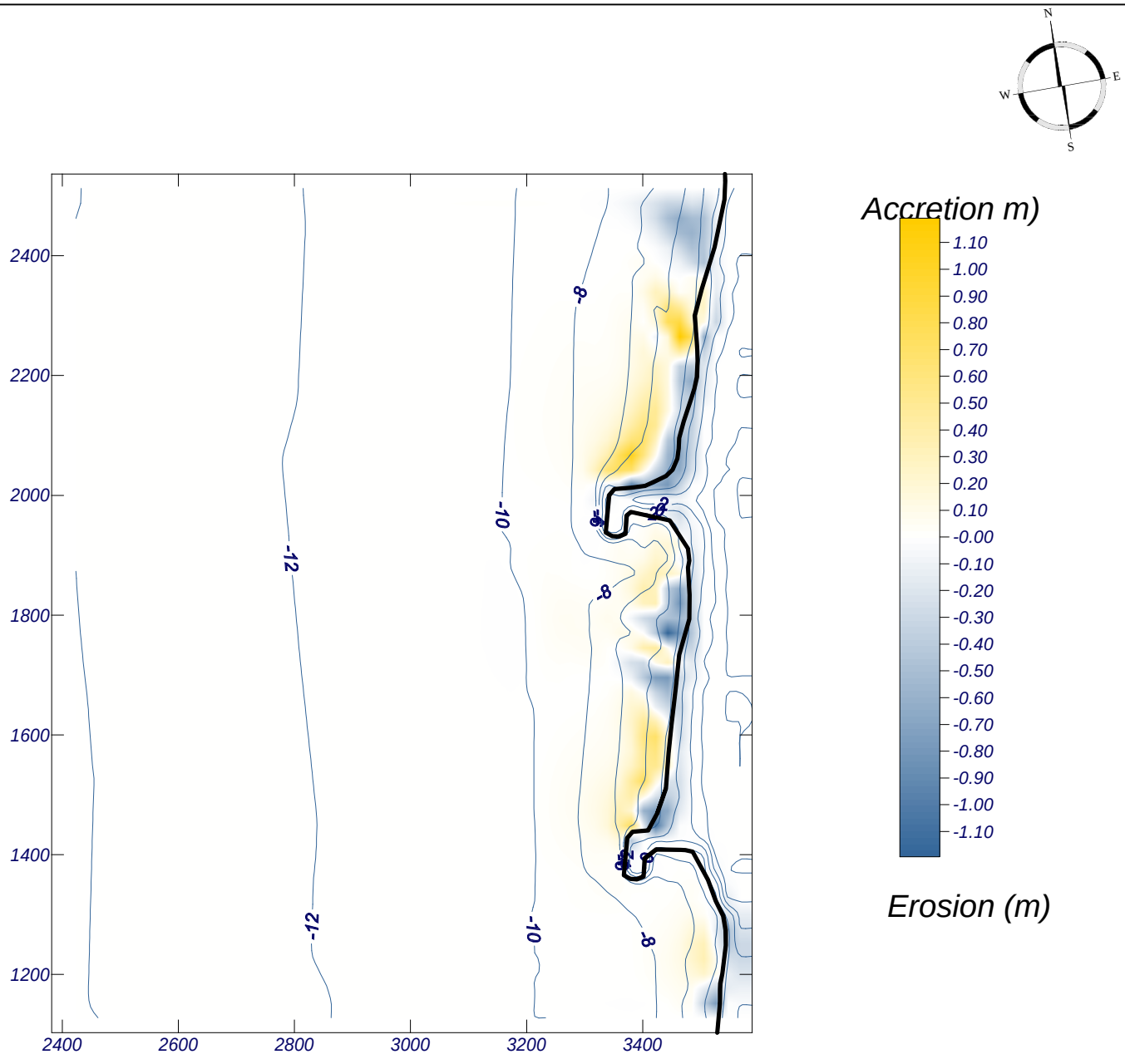
8.1 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

Graph: Final topography and variation of the topography

Monochromatic case : A202

A2:
02: agitação regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



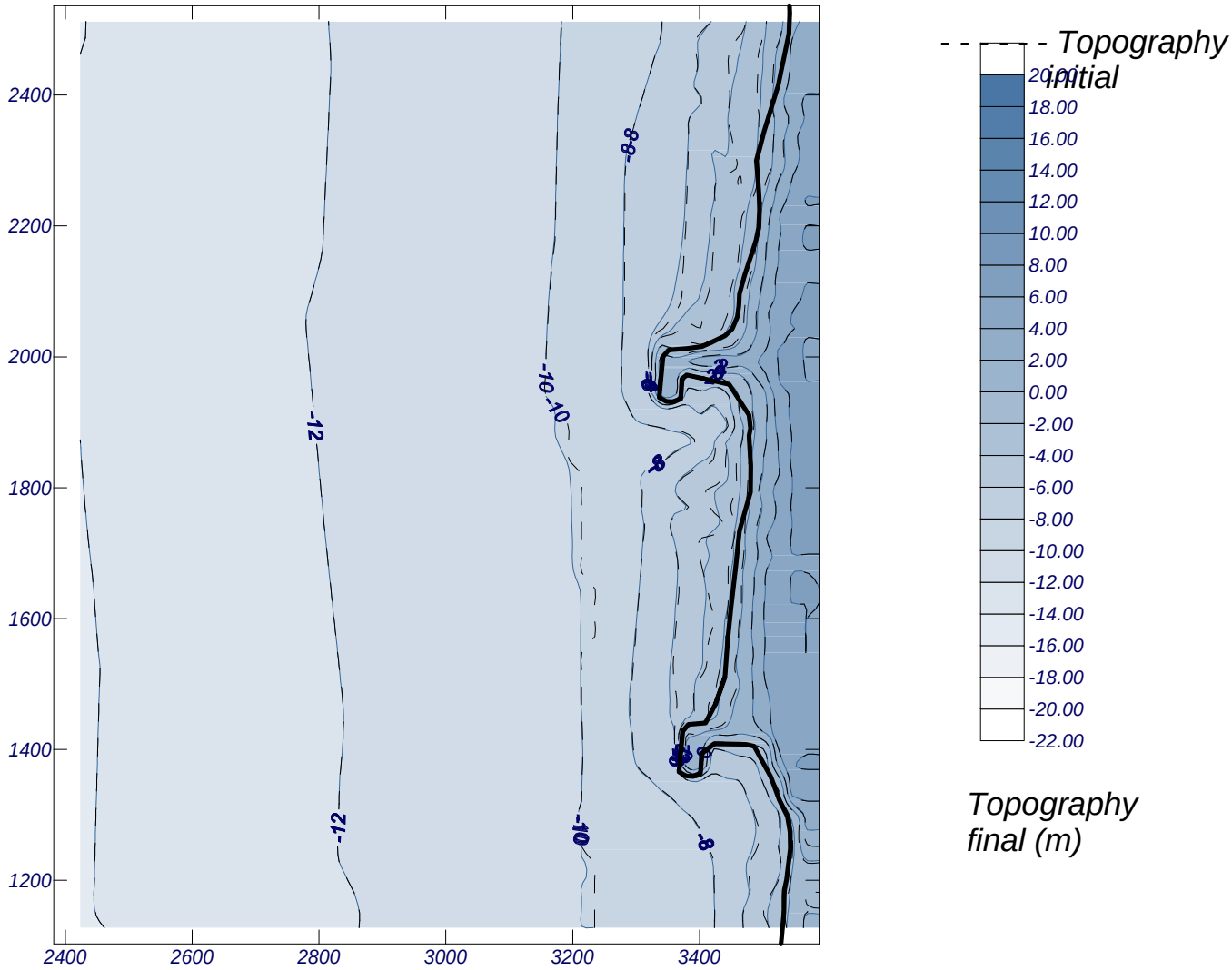
8.1 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

Graph: Initial and final topographies

Monochromatic case : A202

A2:
02: agitação regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby



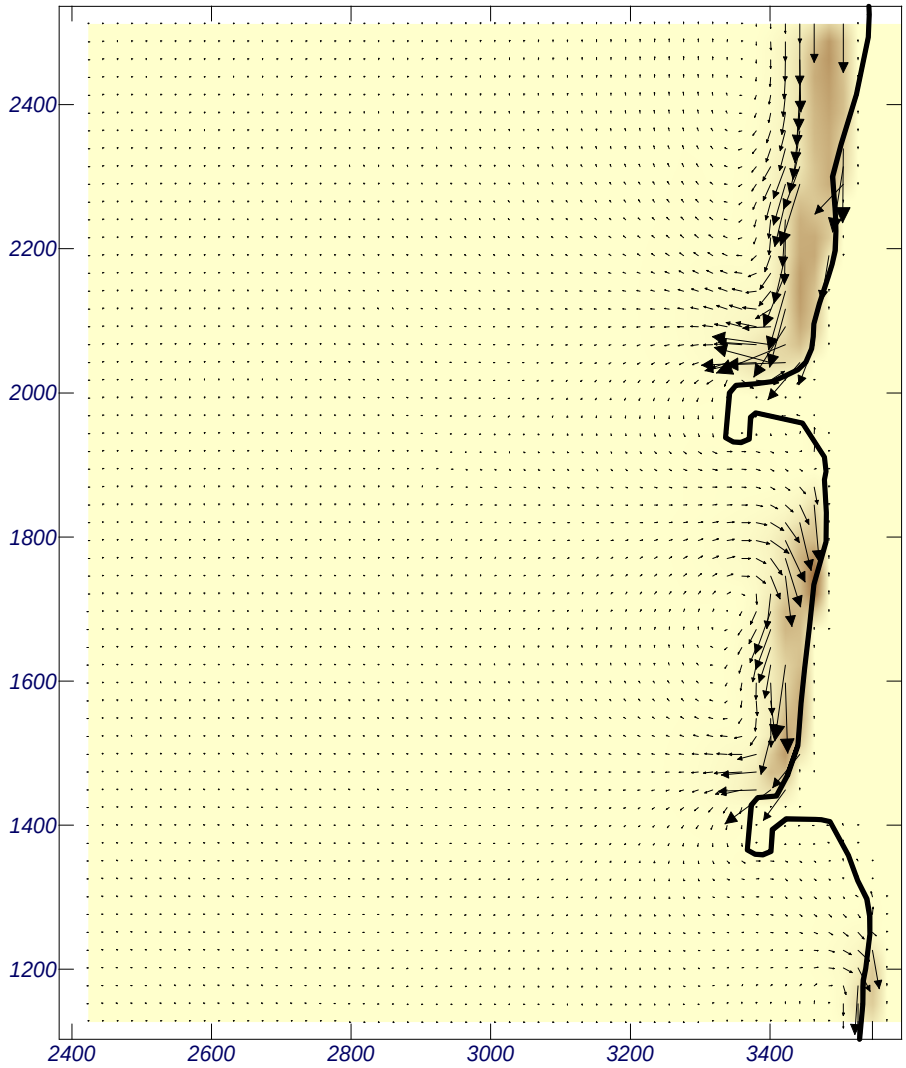
8.1 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

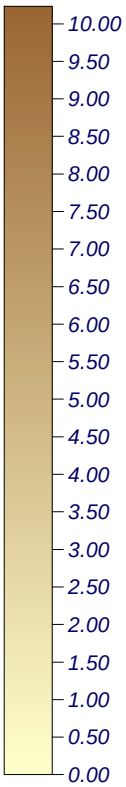
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

Monochromatic case : A202

A2:
02: agitação regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m	Chezy C: 10 $m^{1/2}/s$ Eddy viscosity ε: 10 m^2/s	D_{50}: 0.40 mm Duration: 12.0 h Formulation: Soulsby





Potential transport (m^3/hour/m.l.)

1 cm = 3.080 m^3/h/m.l.
0 3.08

MOPLA 2.0: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Programa desarrollado por

8.1 PROLONGAMENTO DA CABEÇA DOS ESPORÕES EXISTENTES EM 50 METROS

Graph: Wave height

Monochromatic case : A202

A2:
02: agitação regular

Características de la simulación		
OLUCA-MC	**COPLA-MC**	**MOPLA-MC**
Period T: 7.2 s Height H: 2.2 m Direction: -35 º (N45.0W) Tide MSL: 4 m