

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

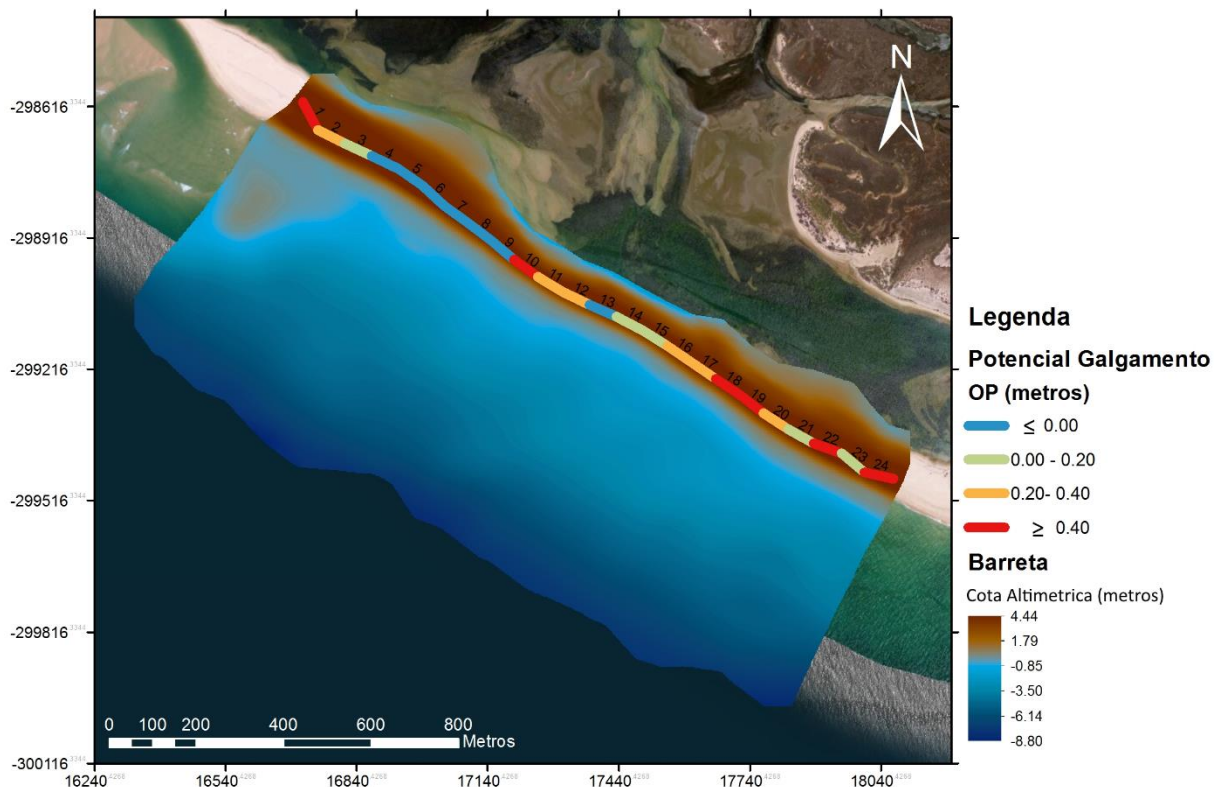
Faculdade de Ciências e Tecnologia & Instituto Superior de Engenharia

*“A influência da batimetria no regime de impacte de tempestades.
Estudo de um caso prático com recurso a SIG.”*

Sílvia Maria Ferreira de Almeida

Relatório de Projeto

Mestrado em Geomática – Ramo de Ciências da Informação Geográfica



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologia & Instituto Superior de Engenharia

*“A influência da batimetria no regime de impacte de tempestades.
Estudo de um caso prático com recurso a SIG.”.*

Sílvia Maria Ferreira Almeida

Relatório de Projeto

Mestrado em Geomática

Ramo de Ciências da Informação Geográfica

Trabalho de Projeto efetuado sob a orientação de:

Ana Matias – investigadora doutorada no CIMA

Sara Madeira – aluna de doutoramento na UALG

2015

***“A influência da batimetria no regime de impacte de tempestades.
Estudo de um caso prático com recurso a SIG.”***

Declaração de autoria de trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Copyright © 2015 by Sílvia Maria Ferreira de Almeida

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A Ana Matias e Sara Madeira, por todo um trabalho de orientação e correções, por todos os ensinamentos e, sem dúvida, paciência.

A Carlos Loureiro, por todos os ensinamentos de SWAN. A João Horta, por me ensinar a brincar ao quebra-cabeças com o *ModelBuilder*. A André Pacheco, pelo auxílio em conceitos estatísticos. A Óscar Ferreira, Rita Carrasco, Margarida Ramires e toda a Equipa do Laboratório de Cartográfica e Teledeteção do CIMA – UALG, por todo o apoio e motivação.

A Tomé Silva, Sr. João Brandão e Sra. Ermelinda, Vera Pascoal, André Rocha, Luís Almeida, Pedro Machado, família e bons amigos, que em muito contribuíram para a conclusão deste trabalho.

A todos presto o meu sincero agradecimento pela disponibilidade e ajuda. A vós, dedico de alma e coração:

O dia mais belo: hoje
A coisa mais fácil: errar
O maior obstáculo: o medo
O maior erro: o abandono
A raiz de todos os males: o egoísmo
A distração mais bela: o trabalho
A pior derrota: o desânimo
Os melhores professores: as crianças
A primeira necessidade: comunicar-se
O pior defeito: o mau humor
A pessoa mais perigosa: a mentirosa
O pior sentimento: o rancor
O presente mais belo: o perdão
O mais imprescindível: o lar
A rota mais rápida: o caminho certo
A sensação mais agradável: a paz interior
A maior proteção efetiva: o sorriso
O maior remédio: o otimismo
A maior satisfação: o dever cumprido
A força mais potente do mundo: a fé
As pessoas mais necessárias: os pais
A mais bela de todas as coisas: o amor!
Madre Teresa de Calcutá

Resumo

O galgamento representa um fenómeno natural modelador da geomorfologia das zonas costeiras e áreas adjacentes. Os sistemas de ilhas-barreira são os mais expostos e vulneráveis aos efeitos da atuação do galgamento. Desta forma, é fundamental a realização de estudos que permitam conhecer e prever a vulnerabilidade das ilhas-barreira ao galgamento. A possibilidade de traçar mapas de vulnerabilidade representa um instrumento que contribui para o planeamento e ordenamento do território através do conhecimento das principais zonas suscetíveis à ocorrência do galgamento.

Este relatório de projeto descreve o desenvolvimento de uma caixa de ferramentas de geoprocessamento para obtenção de mapas do potencial de vulnerabilidade ao galgamento denominada por **Geo**processamento do Potencial de Vulnerabilidade ao **Gal**gamento (**GeoGal**). Esta tem como objetivo principal o estudo do Potencial de Galgamento (*Overwash Potential* - OP), tendo como informação de base a influência das morfologias submersas sobre a propagação e incidência da agitação marítima sobre as ilhas-barreira, através do cálculo de onze fórmulas de *runup* (R).

A ferramenta **GeoGal** foi testada e validada para uma área de estudo na Ilha Barreta pertencente ao sistema de ilhas-barreira da Ria Formosa, a sul de Portugal. Os dados cedidos e processados são oriundos do Projeto de Investigação *RUSH* (*From runup to overwash*. PTDC/CTE-GIX/116814/2010. CIMA/FCT/UAlg), onde se enquadra o tema de trabalho do presente relatório. O dia 29 de Setembro de 2012 foi selecionado como teste.

Para a criação da informação de entrada a fornecer à ferramenta **GeoGal**, foi desenvolvida uma metodologia de pré-processamento de dados em ambiente *ArcMap* (*software ArcGIS v.10 - ESRI*) que potencia a qualidade dos resultados obtidos em **GeoGal**. O Pré-processamento é principalmente focalizado na seleção do método de interpolação que melhor descreve a superfície em estudo e as condições de propagação da agitação marítima do largo até à costa (modelo numérico SWAN – *Simulating WAVes Nearshore*). A qualidade dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) é de extrema importância uma vez que são a base sobre a qual se gera a informação do modelo numérico SWAN e da ferramenta. Para o caso de estudo, *Ordinary Kriging* demonstrou ser o melhor método de interpolação.

GeoGal foi desenvolvida segundo uma metodologia em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) com recurso ao *ModelBuilder* (*ArcMap – software ArcGIS v.10*

– *ESRI*) auxiliado com a linguagem de programação *Python*. É composta por dois módulos, o **Módulo 1 – *Runup_GIS*** e o **Módulo 2 – *OP_GIS***.

GeoGal permite, de modo eficaz, a identificação da fórmula empírica de *runup* que melhor descreve a suscetibilidade de um dado ponto da costa à ocorrência do galgamento, tendo em conta a geomorfologia e a agitação marítima junto à costa.

Palavras-Chave:

Potencial de Galgamento (*Overwash Potential* - *OP*); *Runup* (*R*); Sistemas de Informação Geográfica (*SIG*); *SWAN*, Modelos Digitais de Elevação (*MDE*); *ModelBuilder* – *ArcMap*, software *ArcGIS v.10*, *ESRI*; ***GeoGal***

Abstract

Overwash is a natural phenomenon that contributes to the shaping of the geomorphology of coastal zones and adjacent areas. The barrier-island systems are the most exposed and vulnerable to the effects of overwashing. It is therefore essential to undertake studies that improve our knowledge of this process and enable prediction of the vulnerability of barrier-islands to overwashing. The construction of such “vulnerability maps” can be seen as an important asset that contributes towards land-use planning by identifying which zones are particularly susceptible to overwashing.

This project report describes the development of a geoprocessing toolbox to generate overwash vulnerability maps, dubbed *GeoGal* (*Geoprocessamento do Potencial de Vulnerabilidade ao Galgamento*). The main purpose of this toolbox is to assess the Overwash Potential (OP), having into account knowledge on the influence of submerged morphologies on the propagation and incidence of maritime agitation on the barrier-island, through the calculation of eleven *runup* (R) formulae.

The *GeoGal* tool was tested and validated with data obtained from a zone of Ilha Barreta, which belongs to the Ria Formosa barrier-island system, in Southern Portugal. This dataset was obtained in the context of research project RUSH, within which the work described in this report was undertaken. Specifically, the data collected on September 29th 2012 was selected for testing purposes.

To obtain the input data to be supplied to the *GeoGal* tool, a pre-processing methodology was developed, using the *ArcMap software* environment (*ArcGIS v.10, ESRI*), which contributes to the quality of the tool’s output results. This pre-processing step is mainly focused on selection of an appropriate interpolation method that accurately describes the studied surface, as well as the propagation conditions of the maritime agitation, from the open sea to the coast (SWAN numerical model). The quality of the Digital Elevation Models (MDE) is of the utmost importance, given that all the information generated by SWAN and *GeoGal* are based on them.

The toolbox was developed under a Geographic Information System (GIS) environment, using *ModelBuilder–ArcMap* (*ArcGIS v.10 – ESRI*) and the Python programming language. It consists of two modules: **Module 1 – *Runup_GIS*** and **Module 2 – *OP_GIS***.

GeoGal enables, in an effective way, to obtain parameters that assist in the prediction of locations which are particularly vulnerable to overwash, having into account both the geomorphology and the maritime agitation in coastal areas.

Keywords:

Overwash Potential – OP; *Runup* (R); Geographic Information System (GIS); SWAN; Digital Elevation Models (DEM); *ModelBuilder* – *ArcMap*, *ArcGIS v.10*, *ESRI*; ***GeoGal***

Índice Geral

Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	v
Abstract	vii
Índice de Acrónimos e Abreviaturas	xi
Índice de Equações.....	xiii
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas.....	xx
1. Introdução.....	1
2. Enquadramento.....	4
2.1. Conceitos sobre Sistemas de Informação Geográfica	4
2.2. Galgamento Oceânico – Conceitos e Ferramentas de Análise à Vulnerabilidade	8
3. <i>GeoGal</i>	21
3.1. Estrutura <i>GeoGal</i>	22
3.1.1. Módulo 1 – <i>Runup_GIS</i>	23
3.1.1.1. Etapa 1	29
3.1.1.2. Etapa 2	31
3.1.1.3. Etapa 3	34
3.1.2. Módulo 2 – <i>OP_GIS</i>	41
4. <i>GeoGal</i> – Aplicação num caso de estudo.....	44
4.1. Pré-processamento	46
4.1.1. Área Estudo	48
4.1.1.1. Caraterização Oceanográfica	49
4.1.1.2. Ilha da Barreta.....	50
4.1.2. Informação Geográfica da Área Estudo	51
4.1.3. Modelos Digitais de Elevação (MDE)	56
4.1.3.1. Preparação dos dados para a criação de MDE	60
4.1.3.2. Métodos de interpolação – <i>Ordinary Kriging</i> versus <i>Topo to Raster</i>	62
4.1.3.2.1. <i>Ordinary Kriging</i>	63
4.1.3.2.2. <i>Topo to Raster</i>	66
4.1.3.3. Seleção por teste estatístico – Validação cruzada.....	68
4.1.4. SWAN.....	72

4.1.4.1.	Domínio geográfico	73
4.1.4.2.	Condições de Fronteira	74
4.1.4.3.	Fenómenos Físicos	75
4.1.4.4.	Requisitos aos Resultados	76
4.2.	GeoGal, Módulo1 – <i>Runup_GIS</i>	77
4.2.1.	Etapa 1	77
4.2.2.	Etapa 2	81
4.2.3.	Etapa 3	85
4.3.	GeoGal, Módulo 2 - <i>OP_GIS</i>	90
5.	Discussão.....	93
6.	Conclusão	100
6.1.	Perspetivas Futuras.....	101
	Bibliografia.....	103
	Anexos.....	111
	Anexo 2 – Modelo numérico SWAN	112
	Anexo 3 – Scripts SWAN	113
	Anexo 3.1 – Malha 1	113
	Anexo 3.2 – Malha 2	115
	Anexo 3.3 – Malha 3	117
	Anexo 4 – CD-ROM	119
	Anexo 5 – GeoGal, Módulo 1 – <i>Runup_GIS</i>	120
	Anexo 5.1 – Etapa 1	121
	Anexo 5.2 – Etapa 2	122
	Anexo 5.3 – Etapa 3	123

Índice de Acrónimos e Abreviaturas

CAD – *Computer Aided Design*

CIG – Ciências da Informação Geográfica

CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, sediado na Universidade do Algarve

DR – Deteção Remota

DIR – Direção Média da Onda, em graus

D_{HIGH} – valor de elevação mais alto da praia onde se encontra a “primeira linha de defesa” da ilha-barreira.

D_{LOW} – nas praias onde há duna frontal, é a elevação da posição da base da duna.

ESRI – *Environmental Systems Research Institute*

E – Este

ξ – Número de Iribarren

FCT¹ – Faculdade de Ciências de Tecnologias da Universidade do Algarve

FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia

GeoGal – **Geo**processamento do Potencial de Vulnerabilidade ao **Gal**gamento

GPS – Sistemas de Posicionamento Global

h – representa o nível da maré que inclui ambos os componentes da maré

$H_{c_{max}}$ – Altura máxima da crista, em metros

$H_{s_{max}}$ – Altura máxima significativa da onda, em metros

H_s – Altura Significativa da Onda, em metros

$H_{sb_{max}}$ – Altura significativa na rebentação, em metros

IG – Informação Geográfica

ISE – Instituto Superior de Engenharia

L_0 – comprimento da onda em águas profundas (em metros)

MDE - Modelo Digital de Elevação

NMM – nível médio do mar.

m – metros

NW-SE – Noroeste - Sudeste

NE-SW – Nordeste - Sudoeste

OP – *Overwash Potential*, traduzido para português Potencial de Galgamento

OK – *Ordinary Kriging*

Ts – Período de Pico da Onda, em segundos

Q_b – Fração representante da quantidade de energia que esta a ser dissipada no ponto de rebentação da crista de onda, induzida pela profundidade.

R – *Runup*, altura atingida pelo espraio da onda

R_{2%} – nível vertical de espraio excedido a 2%.

R_{max} – valor máximo de elevação do nível de água

RUSH – *From runup to overwash*, Projeto de investigação – Do espraio ao galgamento (PTDC/CTE-GIX/116814/2010. CIMA/FCT/UAlg).

R_{LOW} – valores de elevação mais baixo de praia, isto é, abaixo desta altura a praia está continuamente submersa.

R_{HIGH} – altura máxima (em direção a terra) da atuação oscilante do espraio da onda.

valor significativo da altura vertical de runup (R_s)

SIG – Sistemas de Informação Geográfica.

SWAN – *Simulating WAves Nearshore*

storm surge – nível da maré meteorológica

S – Pendor

SE - Sudeste

T – Período da onda, segundos

TIG – Tecnologias de Informação Geográfica

Tp – Período de Pico da Onda, em segundos

UAlg – Universidade do Algarve

W – Oeste

W- SW – Oeste-Sudoeste

Índice de Equações

Equação (1): R_{HIGH} , equação que escreve a maior elevação de espraio em direção a terra relativa a uma posição fixa da crista.	14
Equação (2): Simpleficação da equação de R_{HIGH} (Equação (1)).....	14
Equação (3): Galgamento, quando a diferença de valor entre $R_{2\%}$ e $H_{c_{max}}$ é superior a zero.	15
Equação (4): Espraio da onda, quando a diferença de valor entre $R_{2\%}$ e $H_{c_{max}}$ é inferior a zero.	15
Equação (5): R_{max} , valor maximo de elevação do nível da água do mar, Equação de Hunt (1959) adaptada por Bettjes (1974).	35
Equação (6): ξ – número de Iribarren.....	35
Equação (7): Altura vertical significativa de runup (R_s), equação de Guza e Thornton (1982)	35
Equação (8): Altura de runup excedida em 2% ($R_{2\%}$), equação de Holman (1986)..	36
Equação (9): Altura de runup excedida em 2% ($R_{2\%}$), equação de Mase (1898).	36
Equação (10): Valor de Altura maxima de runup (R_{max}), equação de Mase (1898).	36
Equação (11): Altura de runup excedida em 2% ($R_{2\%}$) para valores de pendor (S) maiores ou iguais a 0,10 ($S \geq 0,10$), equação de Nielsen and Hanslow (1991).	36
Equação (12): Altura de runup excedida em 2% ($R_{2\%}$) para valores de pendor (S) inferiores a 0,10 ($S < 0,10$), equação de Nielsen and Hanslow (1991).	36
Equação (13): H_{rms} , raiz quadrada da média dos quadrados de todas as alturas de onda, em águas profundas.	37
Equação (14): L_0 , comprimento da onda em águas profundas (em metros).	37

Equação (15): g, aceleração da gravidade, em metros, por segundo, ao quadrado.....	37
Equação (16): Altura de <i>runup</i> excedida em 2% ($R_{2\%}$) para $\xi < 1,5$, equação de <i>van der Meer and Stam (1992)</i>	37
Equação (17): Altura de <i>runup</i> excedida em 2% ($R_{2\%}$) para $\xi > 1,5$, equação de <i>van der Meer and Stam (1992)</i>	37
Equação (18): Altura de <i>runup</i> excedida em 2% ($R_{2\%}$), equação de <i>Komar (1998)</i>	38
Equação (19): Altura de <i>runup</i> excedida em 2% ($R_{2\%}$), quando $\epsilon > 2,5$, pela equação de <i>Ruggiero et al. (2001)</i>	38
Equação (20): Altura de <i>runup</i> excedida em 2% ($R_{2\%}$), quando $\epsilon < 2,5$, pela equação de <i>Ruggiero et al. (2001)</i>	38
Equação (21): ϵ – Épsilon	38
Equação (22): Hugles (2004), para a obtenção da altura de <i>runup</i> excedida em 2% utiliza o critério <i>wave momentum flux</i> , onde define os seguintes critérios: $\frac{H_s}{L_0} \leq 0,0225$ e $\frac{1}{4} \leq \tan \alpha \leq 1$	39
Equação (23): Hugles (2004), para a obtenção da altura de <i>runup</i> excedida em 2% utiliza o critério <i>wave momentum flux</i> , onde define os seguintes critérios: $\frac{H_s}{L_0} \leq 0,0225$ e $\frac{1}{4} \leq \tan \alpha \leq 1$	39
Equação (24): <i>Hughes (2004)</i> define o valor de <i>runup</i> excedido em 2%, aplicando o <i>wave momentum flux</i> (M_F). Representa o fluxo máximo de ondas irregulares relacionado com a profundidade.....	39
Equação (25): Altura de <i>runup</i> excedida em 2% ($R_{2\%}$), equação de <i>Stockdon (2006)</i>	39
Equação (26): H_b , altura da onda na rebentação (em metros).....	40

Índice de Figuras

Figura 1: Componentes da Informação Geográfica. Adaptado de Shirey (2001).....	4
Figura 2: Comparação das tecnologias de informação geográfica (TIG) atendendo aos subsistemas que as ferramentas de sistemas de informação geográfica (SIG) abrangem. Adaptado de: Julião (2001).	6
Figura 3: Definição comum de um sistema de informação geográfica (SIG). Sistema composto por hardware e software, num ambiente institucional, que permite armazenar, processar, visualizar e analisar dados de natureza geoespacial. Adaptado de: Painho (2006, p.27).....	7
Figura 4: Apresentação da classificação das diferentes formas morfológicas que constituem uma típica zona costeira arenosa. <i>Fonte:</i> http://www.aprh.pt/rgci/glossario/espraiodaonda.html	8
Figura 5: Morfologias de ilhas-barreira resultantes do fenómeno de galgamento. (a) Galgamento em planície ou terraço. (b) Galgamento em leque ou lóbulo. Adaptado de: Matias <i>et al.</i> (2010).	10
Figura 6: Exemplificação esquemática das variáveis utilizadas na escala de impacte de tempestade sobre ilhas-barreira. Adaptado de: Sallenger (2000).....	11
Figura 7: Delimitação numérica e esquemática dos quatro regimes para a caracterização do impacte de tempestades em ilha-barreira. O valor de <i>RLOW</i> não pode ser maior que o de <i>RHIGH</i> , correspondendo a valores indeterminados no gráfico (zona a negro). O limite transitório entre os regimes de espraiamento e colisão apresenta-se a tracejado no gráfico dado que o valor de $RHIGHDHIGH = DLOWDHIGH$ depende da dimensão da praia, não sendo constante. Adaptado de: Sallenger (2000).....	12
Figura 8: Ilustração que esquematiza a posição das variáveis de runup (<i>R</i>) e altura máxima da crista (<i>Hcmax</i>)(exemplo de uma ilha barreira). Adaptado de: Matias <i>et al.</i> (2012).	15

Figura 9: Representação do regime de vulnerabilidade ao galgamento ao longo da área de estudo (Península do Ancão, Faro) para os 5, 10 e 25 para os períodos de retorno de tempestades. Fonte: Rodrigues (2009).....	18
Figura 10: A) Representação dos resultados obtidos após o cálculo dos três índices num espaço temporal de 25 anos. B) Classificação final da vulnerabilidade ao galgamento após a integração dos 3 índices baseada na soma das classificações individuais obtidas pelos índices. Adaptado de: Garcia <i>et al.</i> (2010).....	19
Figura 11: Estrutura da <i>Toolbox GeoGal</i> dentro do ambiente <i>ArcToolbox, ArcGIS v10</i>	22
Figura 12: Organograma da Ferramenta. Enumeração dos dados de entrada e saída dos respetivos Módulos de <i>GeoGal</i>	22
Figura 13: Estrutura GeoGal . Esquema elucidativo dos dados de entrada fornecidos pelo utilizador necessários para a execução dos Etapas 1 a 3 e o resultado final de entrada no Módulo 2	25
Figura 14: Assistente de Parametrização do Módulo 1 – Runup_GIS . Identificação dos campos que correspondem aos dados de entrada e cada um dos sectores de processamento do Módulo (variáveis fornecidas pelo utilizador dependem das "condições" de cada área de estudo).....	26
Figura 15: Descrição dos atributos que compõem o resultado final do Módulo 1 – Runup_GIS	28
Figura 16: Esquematização dos processos executados no Etapa 1.	29
Figura 17: Descrição dos atributos que compõem os dois resultados intermédios guardados na pasta Runup_GIS do Etapa 1, Módulo 1 – Runup_GIS	31
Figura 18: Esquematização dos processos executados no Etapa 2.	32
Figura 19: Descrição dos atributos que compõem os dois resultados intermédios guardados na pasta Runup_GIS do Etapa 2, Módulo 1 – Runup_GIS	33
Figura 20: Representação esquemática da Etapa 3.	34
Figura 21: Assistente de parametrização do Módulo 2 - OP_GIS	41

Figura 22: Módulo 2 – OP_GIS . Estrutura do processamento criado dentro do <i>ModelBuilder</i>	43
Figura 23: Esquema síntese dos passos de trabalho com os respectivos dados de entrada e saída.	45
Figura 24: Esquemática do fluxo da criação dos dados necessários até a sua aplicação na caixa de ferramentas <i>GeoGal</i> . A laranja – fonte dos dados – Projeto RUSH e Miron. A azul – criação de informação geográfica de diferentes tipos pelo utilizador. Modelos digitais de elevação (três malhas a diferentes resoluções representativas da área de estudo). Duas <i>Shapefiles</i> com geometria de pontos e outra de polígono. A verde – execução do modelo numérico de propagação de ondas SWAN. A roxo – dados de entrada para a aplicar.	47
Figura 25: Enquadramento da Área de Estudo. A) Localização da Ria Formosa, na região do Algarve, Portugal. B) Sistema de ilhas barreira da Ria Formosa. C) Área de estudo, secção da Ilha Barreta.	48
Figura 26: Representação da distribuição espacial dos pontos xyz amostrados para a área de estudo. A) Levantamento de Referência. B) Levantamento Barreta.	53
Figura 27: Ilustração esquemática do equipamento utilizado para o levantamento batimétrico pelo Projeto RUSH. Equipamento utilizado no levantamento batimétrico. Adaptado de: Horta <i>et al.</i> (2014)	54
Figura 28: Ilustração esquemática do equipamento e <i>software</i> utilizado para o levantamento batimétrico pelo Projeto RUSH. Integração da informação pelos Equipamentos e o resultado final. Adaptado de Horta <i>et al.</i> (2014)	55
Figura 29: Esquema ilustrativo dos processos de trabalho realizados na Etapa 1 e 2, para a obtenção das malhas desejadas a partir dos dados disponibilizados pelo Projeto RUSH.	56
Figura 30: Exemplo ilustrativo de uma superfície gerada usando um modelo de malha regular.	57
Figura 31: Processo desenvolvido em <i>ModelBuilder</i> para a compilação dos dados topográficos e batimétricos entre Levantamento de Referência e Barreta. Obtendo-se uma nova <i>shapefile</i> de pontos denominada <i>Barreta_Completa</i>	61

Figura 32: Exemplificação do resultado final da criação da Shapefile Barreta_Completa. A preto, a Área de Estudo, corresponde aos limites exteriores do levantamento da Barreta realizados. A roxo, representa a área de Malha 3 a criar.	62
Figura 33: Esquema da localização dentro do software ArcMap v.10 dos dois métodos de interpolação, Ordinary Kriging e Topo to Raster.....	63
Figura 34: Ilustração que demonstra o ajuste dos critérios estatísticos à tipologia dos dados topográficos e batimétricos para a criação de Modelos Digitais do Terreno para o Levantamento de Referência na ferramenta Geostatistical Wizard, segundo o método interpolador Ordinary Kriging. (isto é, semivariograma e a anisotropia).	64
Figura 35: Malha 2, dados de origem Levantamento de Referência. Aplicação do Método de interpolação <i>Ordinary Kriging</i>	65
Figura 36: Malha 3, dados de origem Levantamento de Referência. Aplicação do Método de interpolação <i>Ordinary Kriging</i>	65
Figura 37: Malha 2 - dados de origem Levantamento de Referência. Aplicação do Método de interpolação Topo to Raster.	67
Figura 38: Malha 3 - dados de origem Levantamento Barreta. Aplicação do Método de interpolação Topo to Raster.	67
Figura 39: Seleção do melhor métodos de interpolação (Topo to Raster e Ordinary Kriging) através do conceito estatístico validação cruzada. 1) Metodologia utilizada para a obtenção dos dados para tratamento estatístico no ArcMap. 2) Resultado final da validação cruzada realizada com recurso ao Matlab, cftool.....	71
Figura 40: As três malhas computacionais utilizadas para efetuar os cálculos com o modelo SWAN.....	74
Figura 41: Resultados do modelo SWAN para a Malha 3. Campo de variação de H_s com respetiva escala e vetores que mostram a direção da ondulação para o dia teste, 29 de Setembro de 2012, 15h.	76
Figura 42: Mapa ilustrativo dos 25 perfis criados a partir dos pontos de Origem e Fim que constituem os dados de entrada no Módulo 1 – Runup_GIS	78

Figura 43: Mapa topográfico, com representação das curvas de nível, sobreposto a fotografia aérea da área de estudo.....	78
Figura 44: Perfis resultantes da interseção das curvas de nível com os segmentos de reta representativos dos perfis.....	79
Figura 45: Perfis transversais de: A) Perfil 1; B) Perfil 8; C) Perfil 16; e D) Perfil 24.	80
Figura 46: Superfície representativa dos valores de altura significativa da onda, H_s , para a área de estudo. Resultado da aplicação do modelo SWAN em modo estacionário. O valor de -9 corresponde a valores de Terra, excluídos da representação da superfície.....	81
Figura 47: Superfície representativa dos valores Q_b (quantidade de energia da onda que é dissipada, indicativo dos locais de rebentação) para a área de estudo resultando da aplicação do modelo SWAN, em modo estacionário. O valor de -1 corresponde a valores de Terra, excluídos da representação da superfície.....	82
Figura 48: Superfície representativa dos valores de T para a área de estudo. Resultado da aplicação do modelo SWAN em modo estacionário. O valor de -9 corresponde a valores de Terra, excluídos da representação da superfície.....	82
Figura 49: Superfície ilustrativa do Pendor na área de estudo.....	83
Figura 50: Conjunto de gráficos que representam os valores de H_s e Q_b em função da Distância, com a indicação do valor de H_{smax} obtidos pelo Módulo 1-Runup_GIS . Metodologia a partir da qual se extrai o valor da altura da onda na rebentação, H_{sb} . A) Perfil 1. B) Perfil 8. C) Perfil 16. D) Perfil 24.....	84
Figura 51: Representação da posição do valor de H_{cmax} para cada perfil.....	85
Figura 52: Valores de $runup$ para cada um dos perfis transversais, obtidos com as fórmulas de vários autores, e representação da elevação da crista de barreira (H_{cmax}).	86
Figura 53: Representação das duas estimativas resultantes da fórmula de Mase (1989), comparando os valores de elevação do $runup$ com H_{cmax}	88
Figura 54: Demonstra a variação dos valores de OP, em metros, obtidos para os 24 setores.	90

Figura 55: Mapa de Vulnerabilidade à ocorrência de Galgamento para área em estudo da Ilha Barreta.	92
Figura 56: Perfil de Vulnerabilidade ao galgamento correlacionado com o perfil de galgamento medido em campo.	93
Figura 57: Representação dos valores obtidos pela aplicação do método estatístico Validação Cruzada para a Malha 3 gerada com o método interpolativo <i>Ordinary Kriging</i>	98
Figura 58: Sugestão de otimização do Módulo 1 em três novos módulos. Enumeração dos dados de entrada, de saída e intermédios.....	102

Índice de Tabelas

Tabela 1: Escala de Impacte de Tempestades em ilhas-barreira proposta por Sallenger (2000). A tabela apresenta os valores padrão para cada regime, com o respetivo nível de potencial de impacte em cada regime, que varia de 1 até 4 com o aumento de <i>RHIGHDHIGH</i> . Adaptado de: Sallenger (2000).	13
Tabela 2: Descrição síntese da Informação Geográfica de entrada em pré-processamento. ...	55
Tabela 3: Síntese geral da informação dos dados que se utilizaram para a criação das Malhas e a recetiva caracterização das Malhas 1, 2 e 3.....	59
Tabela 4: Tabela síntese com os conceitos selecionados no método de interpolação Ordinary Kriging.	64
Tabela 5: Tabela síntese com os conceitos selecionados no método de interpolação Topo to Raster.....	66
Tabela 6: Tabela sintese das características gerais das malhas a aplicar no modelo SWAN...	73

Tabela 7: Parametros Oceanográficos, do dia teste 29/09/2012 pelas 15:00h. Fonte: Instituto Hidrográfico Português (IH).	75
Tabela 8: Resultado Final do Módulo 1 - Runup_GIS	87
Tabela 9: Valores de <i>runup</i> obtidos pela Ferramenta Módulo 1 - Runup_GIS , para as 2 fórmulas de Mase (1989) aplicadas, com os respetivos valores de altura maxica significativa de onda (<i>Hsmax</i>), altura máxima da crista da ilha <i>Hcmax</i> e Pendor, por perfil, usados nas fórmulas.....	89
Tabela 10: Tabela de atributos por Perfis de altura da crista (<i>Hcmax</i>), o potencial de galgamento (OP), as respetivas coordenadas xy da posição do valor de <i>Hcmax</i> e o comprimento em metros da poli-linha. As respetivas coordenadas xy da posição do valor de <i>Hcmax</i> e o comprimento em metros da poli-linha.	91
Tabela 11: Tabela síntese das classes de vulnerabilidade aplicadas e suas respetivas cores. ..	91
Tabela 12: Tabela que resume o número de sectores que incidem nas classes de vulnerabilidade aplicadas e suas respetivas cores.....	94
Tabela 13: Sectores que não estão em concordância com o perfil de validação. Para os sectores 1, 2, 3, 8, 9 e 13 apresentam-se os valores de altura máxima da crista de duna (<i>Hcmax</i>), o resultado da equação Mase R_{max} e os respetivos valores de potencial de galgamento.	95

1. Introdução

O presente relatório de projeto de mestrado insere-se no Projeto de Investigação *RUSH - Do espraio ao galgamento* (PTDC/CTE-GIX/116814/2010)¹, do Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA)², Universidade do Algarve (UAlg), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT). Desta forma, o desenvolvimento metodológico foi delineado com base na informação, critérios estruturantes, objetivos e métodos do projeto *RUSH*. Este tem como área de estudo o sector Oeste (W) das ilhas-barreira da Ria Formosa, em Portugal. Tem o propósito de conhecer os processos de evolução do espraio de onda até ao galgamento, avaliar o papel das variações morfológicas longilitorais no galgamento e desenvolver um modelo conceptual tridimensional do galgamento. Os dados recolhidos no âmbito do projeto *RUSH* incluem a medição de variáveis hidrodinâmicas (onda, maré, corrente, espectro de elevação do espraio e hidráulica de galgamento) e ainda medições morfológicas, tais como: morfologia emersa e submersa e reconhecimento de importantes alinhamentos longitudinais (perfil da crista de barreira, linhas de espraio e linhas de galgamento), repetidos em função das situações de pré e pós-galgamento.

A zona costeira está em constante variação por se enquadrar numa área de transição entre dois domínios distintos, o continente e o oceano, coexistindo forças construtivas e destrutivas que contribuem para um equilíbrio dinâmico. Esta zona tem sido frequentemente submetida a inúmeras transformações económicas, sociais e culturais, como resultado da concentração de elevado número de atividades humanas. A estas transformações estão associadas fortes modificações no próprio ambiente físico-espacial, sendo uma das consequências emergentes, as perdas irreparáveis de fauna e flora constituintes da zona costeira (Matias, 2006; Garcia *et al.*, 2010; Almeida *et al.*, 2012). A dinâmica costeira constitui objeto de estudo relevante para uma avaliação constante da vulnerabilidade do ecossistema. Torna-se, assim, fundamental o estudo dos processos de atuação que condicionam a dinâmica costeira.

¹ Informação sobre o Projeto de Investigação *RUSH*:
<http://www.cima.ualg.pt/cimaualg/index.php/pt/32-projectos-section/277-project-rush>

Tem sido debatido nas últimas décadas, a nível mundial, a vulnerabilidade das áreas costeiras e sua erosão. Fenómenos como a subida do nível médio do mar, inundações costeiras e galgamentos, a poluição ambiental e a elevada pressão demográfico-económica (resultante da atividade industrial e turística) provocam alterações nos ecossistemas naturais, levando a um conflito entre o Homem e o seu comportamento, face à dinâmica natural nestas áreas. Como exemplo desse aspeto refiro o sucedido na ilha da Fuzeta em 2010³, em que um fenómeno natural (tempestade) causou a destruição de diversas construções na orla costeira. Assim sendo, alguns dos estudos realizados sobre esta temática são de considerável relevância, já que se verifica um aumento da concentração da população junto ao litoral (Censos 2011).

Dos vários impactes que as tempestades têm sobre o litoral (erosão costeira, galgamentos, inundações, assoreamento de barras, destruição de propriedade), destaca-se neste trabalho o estudo dos galgamentos costeiros.

Com recurso à área científica da Geomática, que integra os meios utilizados para a aquisição de variáveis espaciais que compõem a superfície terrestre, torna-se possível a identificação de áreas vulneráveis ao galgamento (objetivo a atingir com o presente relatório) através do levantamento e processamento de dados característicos (linhas de propagação de onda, morfologia submersa, pendor de praia, elevação de zonas frontais de barreira, entre outras) que representam o mundo real.

A Geomática possui uma forte interligação com a área da Informática, onde se adquirem as bases computacionais para o desenvolvimento das aplicações que a constituem. A utilização de sistemas computacionais otimiza a aquisição e tratamento de dados espaciais, permitindo um acesso rápido e eficiente à informação. Dentro desta área, surgiu o conceito de SIG, que representa a agregação de diferentes aplicações e ferramentas informáticas de trabalho, cada uma com funcionalidades específicas, dirigidas a diferentes objetivos e utilizadores.

Vários são os artigos, teses e relatórios que abordam os processos dinâmicos de galgamento e a vulnerabilidade a que os sistemas de ilhas-barreira estão sujeitos, segundo metodologias que utilizam os SIG's. No presente projeto, pretende-se levar a cabo a criação de uma metodologia mais completa que incorpore o processamento de informação das condições geomorfológicas (topográficas e batimétricas) e das condições da agitação marítima para a obtenção de informação geográfica (IG) que possibilite a criação de

³ Nova barra na Ilha da Fuzeta, Algarve.
http://www.cima.ualg.pt/cimaualg/cimaualg_old/MICORE/WebLinkDocs/webpage_Olinks_pt.html

mapas de vulnerabilidade ao galgamento. Desta forma, o objetivo central do trabalho diz respeito à criação de uma ferramenta de geoprocessamento que tem como informação de base a influência da morfologia submersa sobre a propagação da agitação marítima e incidência sobre as ilhas-barreira e constitui um instrumento de apoio ao estudo da ocorrência de galgamento.

A presente ferramenta criada foi aplicada e validada num sector da Ilha Barreta, Ria Formosa, para o dia 29 de Setembro de 2012, com as condições de onda para as 15:00 horas, através da obtenção de um mapa de vulnerabilidade da ilha ao galgamento oceânico, tendo em conta a escala de classificação do potencial de galgamento.

O presente relatório de Projeto compõe cinco capítulos, a que se adicionam as referências bibliográficas, glossário, apêndices e anexos. No capítulo **2. Enquadramento** apresenta-se os conceitos de galgamento, de SIG e ferramentas desenvolvidas na mesma área de aplicação do presente relatório. No capítulo **3. GeoGal** é descrita a ferramenta de geoprocessamento desenvolvida que, no capítulo **4. Aplicação ao caso de Estudo**, é utilizada para a avaliação da vulnerabilidade num sector da Ilha Barreta, tal como a metodologia aplicada para criar os dados de entrada na ferramenta. No capítulo **5. Discussão** são abordados, de forma crítica e explicativa, os métodos utilizados para criação dos dados de entrada e os resultados obtidos pela ferramenta. No capítulo **6. Conclusão** são retiradas as respetivas ilações no que diz respeito à ferramenta desenvolvida, com vista à sua capacidade de resposta ao objetivo proposto.

2. Enquadramento

2.1. Conceitos sobre Sistemas de Informação Geográfica

Desde sempre, o Homem sentiu a necessidade de representar o mundo que o rodeia. Dessa necessidade surgiu a cartografia, que constitui uma importante ferramenta para o estudo das Ciências da Terra e do Mar (Geociências).

A cartografia é a representação da superfície terrestre nas diversas variáveis que a compõem. No domínio da geomorfologia⁴, a cartografia, ao aplicar ferramentas e modelos matemáticos, permite a criação de documentos cartográficos mais completos e abrangentes que facilitam a criação de IG de eficaz comunicação. A IG permite representar todo o tipo de entidades, localizadas na superfície terrestre, suscetíveis de serem georreferenciadas⁵ (Artimo, 1994; Machado, 1993; Câmara *et al.*, 1996).

A informação geográfica inclui três componentes (Figura 1) essenciais para descrever e representar entidades⁶: Gráfica, Alfanumérica e Metadados (Shirey, 2001).

Tema de Informação Geográfica

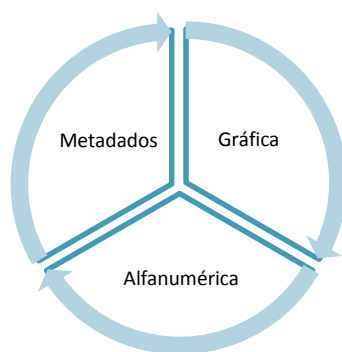


Figura 1: Componentes da Informação Geográfica. Adaptado de Shirey (2001).

⁴ A geomorfologia é a ciência que estuda diferentes forças endógenas e exógenas que, de forma geral, são fatores modeladores do relevo terrestre (Guerra, 1987).

⁵ A georreferenciação diz respeito a dados geográficos ou mapas que têm coordenadas cartográficas (x, y), geográficas ou geodésicas (latitude, longitude) reais associadas permitindo manejar e fazer análises de entidades reais (perímetro, área, entre outros) (Câmara *et al.*, 1996).

⁶ Entidade ou objeto espacial – representações da realidade associada a uma representação geométrica (fenómeno - acontecimento) (Câmara *et al.*, 1996).

A componente gráfica descreve o espaço ocupado pela entidade ou fenómeno representado e georreferenciado segundo um sistema de referência cartográfico ou geográfico. A informação geográfica pode ser representada, processada e armazenada sob a forma de dois tipos de estrutura de dados: vetorial ou matricial. No modelo vetorial, os objetos representam a localização e as fronteiras de entidades geográficas através de três tipos de geometria: ponto, linha e polígono. No modelo matricial a representação é feita através de malhas (mapas) de *pixels* ou células e a sua resolução depende do tamanho da mesma. Cada camada matricial é, na realidade, uma matriz bidimensional em que, para cada célula existe um valor único correspondente a uma única característica representada. Este formato é o mais usado para representar elevação do terreno ou outro tipo de fenómeno que não tenha uma representação com limites bem definidos (Câmara *et al.*, 1996).

A componente alfanumérica corresponde a um conjunto de propriedades associadas que caracterizam a natureza dos objetos espaciais (isto é, os seus atributos). Como o próprio nome indica, estes servem para descrever propriedades ou características de entidades nos espaços geográficos, sendo armazenadas em tabelas (modelo vetorial) (Câmara *et al.*, 1996).

Os metadados descrevem o conteúdo e a qualidade da componente espacial e alfanumérica, permitindo assegurar uma correta utilização da informação geográfica (Câmara *et al.*, 1996).

A criação de IG requer conhecimentos em diversas áreas de estudo, sendo as mais relevantes: estatística, engenharia geográfica e civil, investigação operacional, sistemas periciais e metodologias a elas associadas. Na prática, segundo Matos (2008), a IG serve para aproximar, generalizar e simplificar a representação da realidade e é suscetível de ser aplicada em domínios de utilização tais como: informação cadastral; infraestruturas; planeamento e gestão de recursos; visualização de informação geográfica; navegação e outros.

Na década de 1960, com a evolução tecnológica tanto de *hardware* como de *software*, surgiram as primeiras ferramentas de geoprocessamento. Neste período surge o termo Ciências da Informação Geográfica (CIG), que corresponde aos fundamentos teóricos associados às Tecnologias de Informação Geográfica (TIG) e ao conhecimento do comportamento geoespacial de fenómenos que permite a integração de dados de diversas naturezas (Painho, 2002).

Os TIG abrangem todos os tipos de tecnologias para recolher e tratar de IG. Podem ser distinguidos quatro grandes grupos (Figura 2): *Computer Aided Design (CAD)*, Sistemas de Posicionamento Global (GPS), Detecção Remota (DR) e SIG (Julião, 2001).

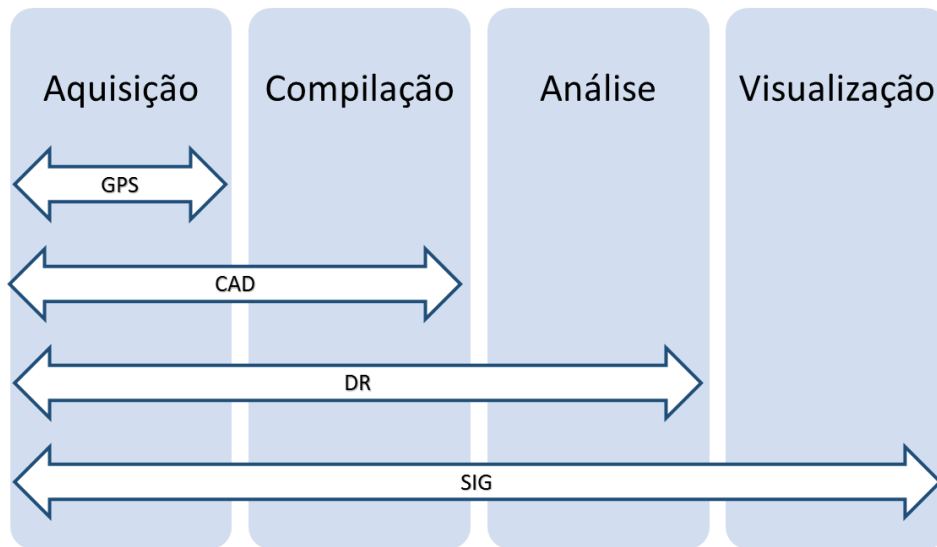


Figura 2: Comparação das tecnologias de informação geográfica (TIG) atendendo aos subsistemas que as ferramentas de sistemas de informação geográfica (SIG) abrangem. Adaptado de: Julião (2001).

Um SIG é utilizado para designar um sistema de visualização, processamento e análise de IG. Este tem a capacidade de relacionar diferentes camadas de informação (*layers*) que se sobreponham, analisando e apresentando resultados. Um SIG é convencionalmente definido como:

- a) “... um SIG, com o seu conjunto de funções, deve ser visto como um processo e não meramente como software ou hardware. Os SIG servem para tomar decisões. O modo como os dados são armazenados e analisados dentro de um SIG deve refletir a maneira como a informação irá ser usada numa tarefa específica ou na tomada de uma decisão.” (Kenneth *et al.*, 1995);
- b) “... uma interface que integra operações convencionais de bases de dados, com possibilidades de seleção, busca de informações e análise estatística, conjuntamente com a possibilidade de visualização e análise geográfica oferecida pelos mapas.” (Rosa, 2004).

Os SIG são apresentados na literatura (exemplos, Andrews *et al.*, 2002; Stockdon *et al.*, 2007; Garcia *et al.*, 2010; Almeida *et al.*, 2012), como sistemas que compilam ferramentas de aquisição, compilação, análise e visualização de informação espacial georreferenciada (Figura 2), mas que permitem também a geração de nova IG (Figura 3). Assim, a sua utilização tem-se intensificado no âmbito da oceanografia e das análises de geomorfologia costeira, para a avaliação de fenómenos naturais e antropogénicos. Permitem a tomada de decisões fundamentadas e objetivas quanto aos melhores planos de ação para a gestão destas zonas particularmente sensível á mudança (Wright, 2011). Nos últimos anos, estes conceitos têm vindo a ser cada vez mais abordados com recurso aos SIG, com a apresentação e discussão de metodologias utilizadas para a aquisição de dados, análise e apresentação de resultados (Tabajara *et al.*, 2005).

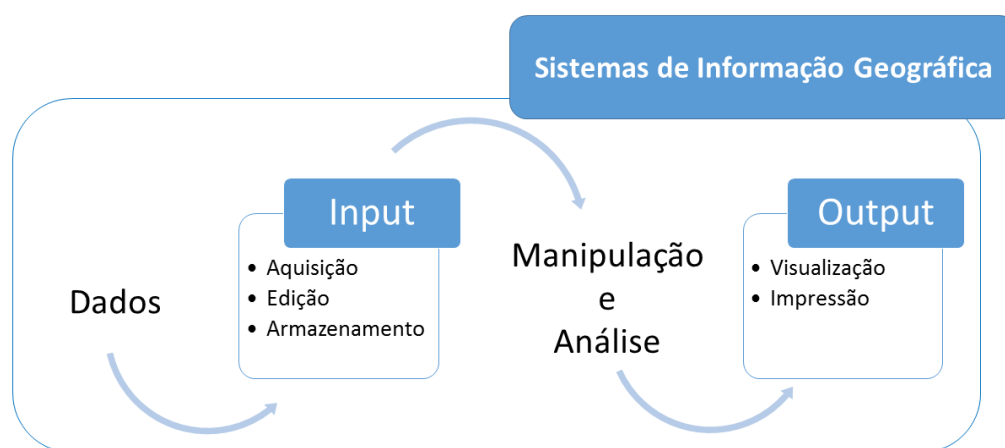


Figura 3: Definição comum de um sistema de informação geográfica (SIG). Sistema composto por *hardware* e *software*, num ambiente institucional, que permite armazenar, processar, visualizar e analisar dados de natureza geoespacial. Adaptado de: Painho (2006, p.27)

O desenvolvimento dos SIG apresenta ainda grandes desafios às Ciências da Informática, não só na criação de novas ferramentas que beneficiem de tecnologias mais recentes, como na sua integração apropriada nos domínios de análise. Esta é uma área em desenvolvimento e expansão, apresentando boas razões de investigação pelas possíveis aplicações já mencionadas.

Existem atualmente vários sistemas SIG *open source* (código aberto) e comerciais no mercado. As empresas produtoras de *software* SIG ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) e a Intergraph (*Interactive Graphics*) destacam-se das demais empresas, em grande parte devido à sua difusão internacional (Matos, 2008). Também de

relevo internacional, destaca-se o sistemas de código aberto disponibilizado pelo *US Army Construction Engineering Laboratories (GRASS GIS, Geographic Resources Analysis Support System)*. Existem ainda aplicações e *softwares* de código aberto como o *gvSIG, Quantum GIS e Kosmo GIS*. Apesar das diferenças, todos apresentam um sistema de funcionamento e estruturação do *software* comum, que é ilustrado na Figura 3.

2.2. Galgamento Oceânico – Conceitos e Ferramentas de Análise à Vulnerabilidade

A orla costeira está sujeita a fenómenos naturais diversificados, sendo que a tempestade oceânica é uma das principais causadoras de vulnerabilidade costeira.

As tempestades são dos mais importantes fenómenos responsáveis pela erosão costeira. A associação das suas componentes, características e consequências destrutivas são de elevada importância científica e socio-económica. O conhecimento da agitação marítima e seus principais processos físicos daí resultantes (galgamento, entre outros) são fundamentais para a compreensão dos processos dinâmicos das regiões costeiras – responsáveis pela forma do litoral (Figura 4).

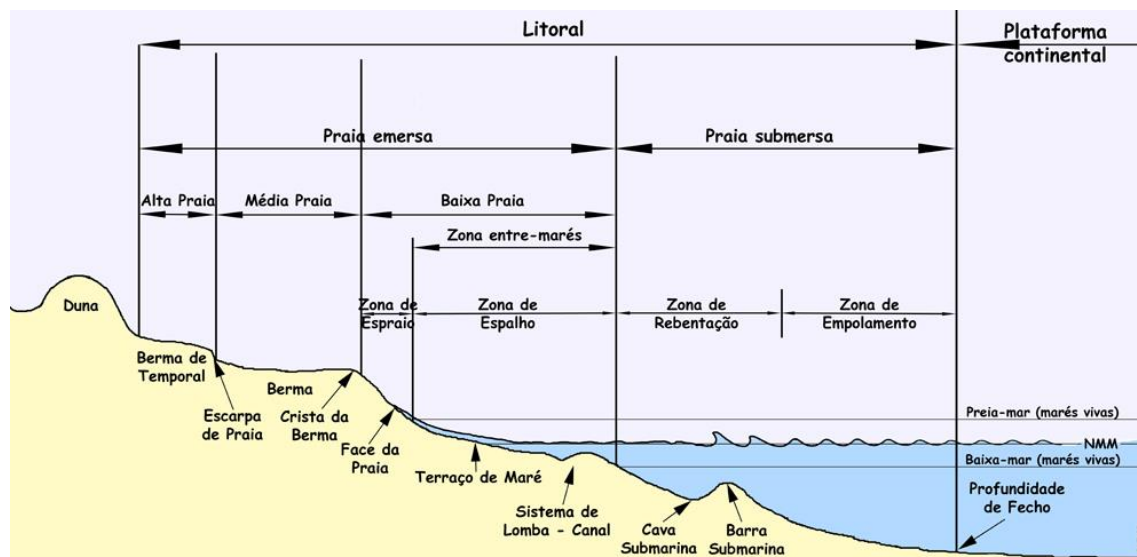


Figura 4: Apresentação da classificação das diferentes formas morfológicas que constituem uma típica zona costeira arenosa. Fonte: <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/espraiodaonda.html>

Dos vários impactes que as tempestades têm sobre o litoral (erosão costeira, galgamentos, inundações, assoreamento de barras, destruição de propriedade), destaca-se neste trabalho o estudo do galgamento costeiro. O galgamento é um processo natural frequentemente decorrente de tempestades (ou furacões, ou sismos), dependendo da agitação marinha e do nível do mar e resultando da interação entre condições geomorfológicas costeiras e oceanográficas. A sua ocorrência é registada em vários ambientes costeiros e lacustres, com uma ação mais destrutiva e modeladora em sistemas de ilhas-barreira (Matias *et al.*, 2009). Este processo define-se como sendo uma intrusão da água do mar sobre os limites superiores da morfologia da praia, que podem causar ou não, a rutura do cordão dunar. A sua atuação continua a médio-longo prazo e é responsável pela evolução e modelação dos sistemas de ilhas-barreira, através de importantes processos de erosão/sedimentação (construção e/ou destruição) (Leatherman, 1979, 1988).

Pelo seu carácter destrutivo, mas também evolutivo, o galgamento em ilhas-barreira é alvo constante de estudos pela comunidade científica. O mesmo foi inicialmente definido como a continuação do espraio da onda sobre a berma ou a crista da duna (Shepard, 1973). A definição de galgamento segundo Donnelly *et al.* (2006) é um evento natural resultante de um fluxo de água - com transporte de sedimento - sobre a crista da praia o qual não retorna ao corpo de água que lhe deu origem. Dependendo da largura da ilha e da magnitude da tempestade, o pico máximo do transporte resultante do galgamento pode atingir os limites interiores das ilhas-barreira como é o caso de zonas lagunares, sapais, pântanos e/ou baías. A quantidade de sedimento que nestas zonas é depositado depende de vários fatores como o volume de água do mar e da quantidade de sedimentos que este transporta.

A ocorrência de galgamento é identificada pelas alterações do relevo padrão que provoca sobre as ilhas-barreira (Figura 5 (a) e (b)). A ocorrência de dois principais tipos morfológicos é descrita por Matias *et al.* (2010):

- (a) corte de galgamento em planície ou terraço (Figura 5 (a)) correspondendo a uma intrusão que passa sobre a crista para o terraço, podendo chegar até ao interior da ilha. Este tipo de galgamento é comum em ilhas com morfologia de baixa altitude, semi-planas, sem corpos dunares e vegetação, sobre as quais os processos de galgamento são mais frequentes e relacionados com a elevação do nível médio da água do mar (sobre-elevação do nível da maré);

(b) corte de galgamento em lóbulo ou leque (Figura 5 (b)) correspondendo a uma intrusão que rompe o cordão dunar em locais específicos lateralmente confinados pelas dunas. É causador de um depósito sedimentar característico com a forma de leque facilmente identificável em campo.

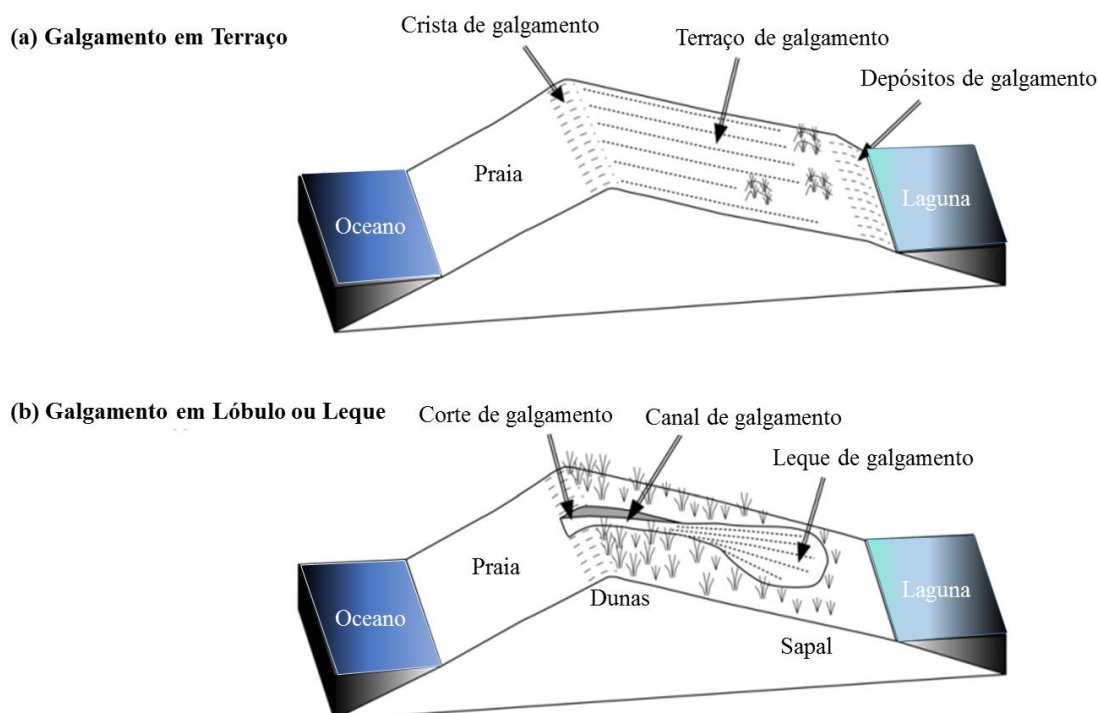


Figura 5: Morfologias de ilhas-barreira resultantes do fenômeno de galgamento. (a) Galgamento em planície ou terraço. (b) Galgamento em leque ou lóbulo. Adaptado de: Matias *et al.* (2010).

A frequência e intensidade de ocorrência do galgamento numa determinada região (tal como a morfologia resultante dessa mesma ocorrência) são condicionadas pelas condições oceanográficas (altura de onda e período, nível da maré e sobre-elevação meteorológica), pela orientação da costa relativamente à direção de propagação da tempestade, pela topografia e batimetria da zona de praia emersa, pela elevação da zona de espraio e pela existência ou não de infraestruturas costeiras (Matias *et al.*, 2009).

Para categorizar os impactes de tempestade em sistemas de ilhas-barreira, Sallenger (2000) propõe uma escala que consiste na junção dos mecanismos forçadores dos processos atuantes e geometria da costa. Esta foi desenvolvida com base nas condições estimadas de níveis máximos de água, maré e onda, que permitiam a previsão

da resposta costeira a eventos extremos. Desta forma, são tidos em conta 4 parâmetros que sectorizam a praia, consoante a morfologia existente: R_{LOW} , R_{HIGH} , D_{LOW} e D_{HIGH} , ilustrados esquematicamente na Figura 6.

R_{LOW} representa os valores de elevação mais baixo de praia, isto é, abaixo desta altura a praia está continuamente submersa.

R_{HIGH} representa a altura máxima (em direção a terra) da atuação oscilante do espraio da onda. R_{LOW} e R_{HIGH} são valores altimétricos medidos em relação a um ponto de referência vertical fixo para a ilha-barreira.

D_{HIGH} representa o valor de elevação mais alto da praia onde se encontra “primeira linha de defesa” da ilha-barreira, ou seja, é o valor de elevação da crista da duna frontal ou do topo da berma de praia.

D_{LOW} , nas praias onde há duna frontal, é a elevação da posição da base da duna. Na ausência de uma crista de duna frontal, $D_{LOW} = D_{HIGH}$.

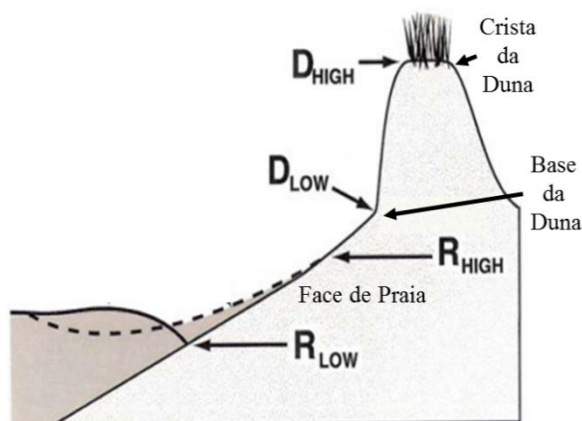


Figura 6: Exemplificação esquemática das variáveis utilizadas na escala de impacto de tempestade sobre ilhas-barreira. Adaptado de: Sallenger (2000).

Após a apresentação destes quatro parâmetros para a obtenção da escala de impacto de tempestade, é possível identificar quatro níveis de padrões de magnitude e

erosão na morfologia de costa, sendo eles: o regime de espraio (*swash regime*), o regime de colisão (*collision regime*), o regime de galgamento (*overwash regime*) e o regime de inundação (*inundation regime*), Figura 7 e Tabela 1.

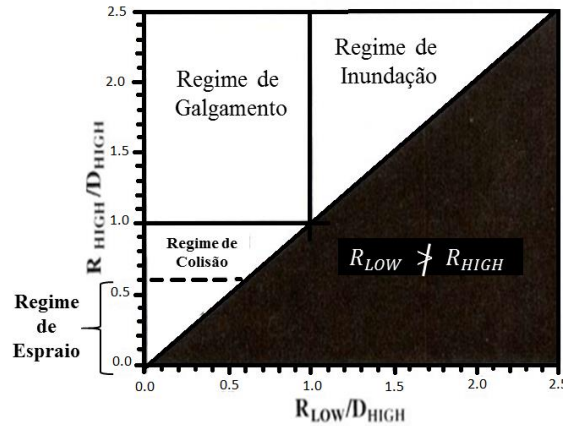


Figura 7: Delimitação numérica e esquemática dos quatro regimes para a caracterização do impacto de tempestades em ilha-barreira. O valor de R_{LOW} não pode ser maior que o de R_{HIGH} , correspondendo a valores indeterminados no gráfico (zona a negro). O limite transitório entre os regimes de espraio e colisão apresenta-se a tracejado no gráfico dado que o valor de $R_{HIGH}/D_{HIGH} = D_{LOW}/D_{HIGH}$ depende da dimensão da praia, não sendo constante. Adaptado de: Sallenger (2000).

Regime de espraio - o espraio da onda é um movimento ascendente de água incidente após a rebentação confinado à área de face de praia. O valor de $\frac{R_{HIGH}}{D_{HIGH}}$ que define esta zona é menor do que o limite crítico definido por $\frac{R_{HIGH}}{D_{HIGH}} = \frac{D_{LOW}}{D_{HIGH}}$. Neste regime, a areia da praia é transportada para a área da praia submersa que, em condições climáticas e da agitação favoráveis, regressam à face de praia (Sallenger, 2000).

Regime de colisão - ocorre quando o limite crítico da equação $\frac{R_{HIGH}}{D_{HIGH}} = \frac{D_{LOW}}{D_{HIGH}}$ é excedido, mas o valor de $\frac{R_{HIGH}}{D_{HIGH}} < 1$. Neste caso, os sedimentos que sofrem erosão da face de praia são transportados para o largo e dificilmente é reposta na praia e duna adjacente (Sallenger, 2000).

Regime de galgamento - ocorre quando $R_{HIGH} > D_{HIGH}$, caso em que o valor do limite crítico de $\frac{R_{HIGH}}{D_{HIGH}} = 1$ é excedido. Neste caso, o espraio da onda ultrapassa a crista

da duna (ou berma) e a sua velocidade de propagação em direção à terra vai diminuindo ao longo da distância que percorre. Este fluxo de água leva à erosão da duna e à deposição do sedimento por ele transportado (Sallenger, 2000).

Regime de inundação - este regime definido pelo limite $\frac{R_{LOW}}{D_{HIGH}} = 1$ ocorre quando o aumento do nível do mar (induzido pela tempestade) é suficiente para submergir completamente a parte frontal da ilha-barreira. A parte mais interior da ilha passa a ser a localização da atuação dos processos de rebentação da onda que chegam e/ou ultrapassam toda a largura da ilha até a zona lagunar (Sallenger, 2000). A inundação pode ser vista como uma forma extrema de galgamento ocorrendo quando o nível do mar é igual ou superior ao da elevação da crista da barreira (Orford *et al.*, 2003).

Tabela 1: Escala de Impacte de Tempestades em ilhas-barreira proposta por Sallenger (2000). A tabela apresenta os valores padrão para cada regime, com o respetivo nível de potencial de impacte em cada regime, que varia de 1 até 4 com o aumento de R_{HIGH}/D_{HIGH} . Adaptado de: Sallenger (2000).

Nível de Impacto	Definição para $\frac{R_{HIGH}}{D_{HIGH}}$ e $\frac{D_{LOW}}{D_{HIGH}}$	Classificação do Regime
1	$\left(\frac{R_{HIGH}}{D_{HIGH}} = 0\right)$ para $\frac{D_{LOW}}{D_{HIGH}}$	Regime de Espraio
2	$\left(\frac{D_{LOW}}{D_{HIGH}} = \frac{R_{HIGH}}{D_{HIGH}}\right) < 1$	Regime de Colisão
3	$\frac{R_{HIGH}}{D_{HIGH}} > 1$ e $\frac{D_{LOW}}{D_{HIGH}} < 1$	Regime de Galgamento
4	$\frac{R_{HIGH}}{D_{HIGH}} > 1$ e $\frac{D_{LOW}}{D_{HIGH}} > 1$	Regime de Inundação

Segundo Sallenger (2000), a maior elevação de espraio em direção a terra relativa a uma posição fixa de R_{HIGH} corresponde a:

$$R_{HIGH} = \text{maré} + \text{storm surge} + \text{runup}$$

Equação (1)

Onde, *maré* corresponde ao nível da maré astronómica (em metros), *storm surge* ao nível da maré meteorológica e *runup* ao nível atingido pelo espraio da onda. Esta equação pode ser simplificada para:

$$R_{HIGH} = h + R_{2\%}$$

Equação (2)

Onde, *h* representa o nível da maré que inclui ambos os componentes da maré e $R_{2\%}$ o nível vertical de espraio excedido a 2%.

A avaliação da precisão da escala de impacte de tempestades de Sallenger (2000) demonstra que esta pode ser usada na previsão de uma resposta costeira a tempestades severas com o intuito de explicação de parte da variabilidade espacial observada na costa e na alteração de volumes da praia. Os erros de previsão que lhes podem estar associados devem-se, principalmente, à medição incorreta de R_{HIGH} , quando influenciada por níveis extremos de água, tempestades ou por modelação da propagação de ondas de forma preditiva (Stockdon *et al.*, 2007).

A compreensão da magnitude e a variabilidade máxima do *runup* sobre a praia é fundamental para a previsão de impactes sobre as dunas (Stockdon *et al.*, 2006). A avaliação das várias equações existentes (isto é, estimativa de *runup*), com o intuito de prever ocorrências de galgamento, foi feita por Matias *et al.* (2012) com base em dados obtidos numa barreira protótipo dentro de um tanque de ondas de grande escala. Durante as experiências, uma análise de todas as variáveis conhecidas e manipuladas no processo em causa permitiu o desenvolvimento de um método quantitativo para a definição das condições que conduzem ao galgamento. Um dos métodos é baseado no conceito de OP e é obtido pela diferença entre os valores de *runup* ($R_{2\%}$) e altura máxima da crista ($H_{c_{max}}$), ilustrado na Figura 8.

O resultado de OP traduz uma medida de probabilidade de ocorrência de espraio ou galgamento numa dada área em estudo, isto é:

$$R_{2\%} - H_{c_{max}} > 0 \leftrightarrow \text{Galgamento}$$

Equação (3)

$$R_{2\%} - H_{c_{max}} < 0 \leftrightarrow \text{Espraio}$$

Equação (4)

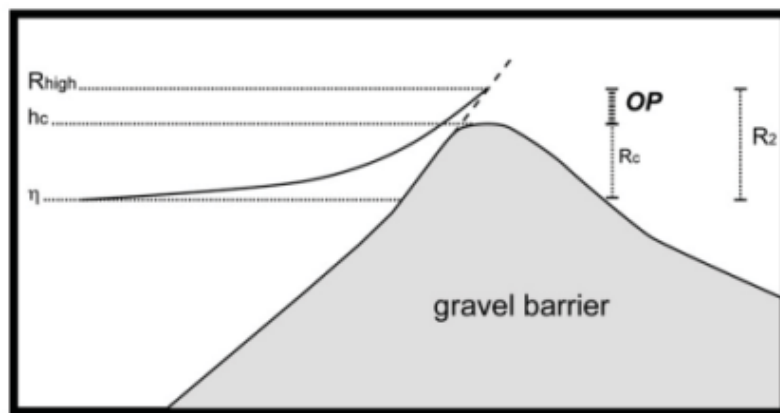


Figura 8: Ilustração que esquematiza a posição das variáveis de *runup* (R) e altura máxima da crista ($H_{c_{max}}$) (exemplo de uma ilha barreira). Adaptado de: Matias *et al.* (2012).

Do ponto de vista da gestão costeira, a ocorrência de galgamento em áreas socioeconómicas representa um risco de perigo à integridade destas zonas (dado o potencial alcance e extensão da inundação e transporte de sedimentos – Garcia *et al.* (2010)). Este tipo de eventos muitas vezes acarretam:

- perdas de vidas humanas;
- perdas e/ou danos em zonas costeiras, particularmente a nível de infraestruturas, implicando custos financeiros;
- perda de proteção ao continente proporcionada pelas ilhas-barreira devido à modificação da topografia da zona costeira por recessão da área de costa, devido ao recuo das ilhas-barreira e aumento da suscetibilidade à alteração dos ambientes pós-praia (intrusão da água salgada e areia), interferindo com os canais de navegação e devido à abertura de novas barras de maré em zonas

lagunares protegidas por ilhas-barreira (Kraus *et al.*, 2002; Donnelly, 2006; Matias, 2006; Vila-Concejo *et al.*, 2006; Garcia *et al.*, 2010).

Tais ocorrências levam a que o galgamento possa ser encarado como um processo quase contínuo de modelação das ilhas barreira (Matias *et al.*, 2009). Desta forma, existe a crescente necessidade de classificar e avaliar as áreas costeiras consoante a sua vulnerabilidade à ocorrência de galgamento durante tempestades e/ou em condições oceanográficas de subida do nível médio do mar (NMM). Uma das principais falhas encontrada em estudos de fenómenos de galgamento diz respeito ao número limitado de estudos *in situ*. Dada a sua natureza imprevisível, estes estudos exigem o planeamento e execução do trabalho de campo (complexo e difícil) de forma adequada, pelo perigo e exigência que este fenómeno representa. O conjunto de dados sobre o galgamento é muitas vezes obtido através de medições indiretas e, em determinados casos, algum tempo após o evento ou ainda obtidos sem haver registo dos mecanismos de atuação a ele associado. Dada esta dificuldade, várias são as metodologias utilizadas que recorrem à utilização de modelos numéricos de simulação das condições de agitação para determinação dos locais ideais para a realização de medições *in situ* durante a ocorrência de tempestades, contribuindo para o estudo das características geradoras do fenómeno.

O estudo de processos de galgamento tem vindo a assumir maior relevo, no território nacional português, nomeadamente pela necessidade de gestão e segurança nas zonas costeiras portuárias (Brito, 2007; Neves, 2009), e pela vulnerabilidade à erosão costeira (Matias, 2006; Rodrigues, 2009; Garcia *et al.*, 2010; Pereira, 2010; Almeida *et al.*, 2012).

Em Portugal Continental, as principais regiões mais vulneráveis à ocorrência de galgamento são: o litoral norte, a região costeira desde Espinho até à Figueira da Foz (Ferreira *et al.*, 1993; Vidinha *et al.*, 1995; Pinto, 2008; Pereira, 2010); as lagoas costeiras do litoral Sudoeste (Pilkey *et al.*, 1989; Andrade *et al.*, 1998) e, no litoral sul, o sistema de ilhas-barreira da Ria Formosa (Matias, 2006; Rodrigues, 2009; Garcia *et al.*, 2010; Matias *et al.*, 2009; Matias *et al.*, 2010; Almeida *et al.*, 2012)

O sistema de ilhas-barreira da Ria Formosa tem vindo a ser alvo de estudos para criação de metodologias de avaliação da vulnerabilidade ao galgamento por parte de vários investigadores: Pilkey *et al.* (1989); Andrade, (1990 a, b); Andrade *et al.* (1998); Matias (2006); Matias *et al.* (2007, 2008); Garcia *et al.* (2002); Carrasco *et al.* (2007), entre outros.

Para a obtenção de informação processada que integre o estudo das condições oceanográficas associado à morfologia das zonas costeiras, permitindo a avaliação da sua evolução e vulnerabilidade ao longo do tempo (Bartlett, 2005), são cada vez mais os métodos científicos que utilizam tecnologias SIG no âmbito de estudos oceanográficos.

Destaca-se com particular relevância para a metodologia aplicada no desenvolvimento da caixa de ferramentas *GeoGal* os trabalhos de Neves (2009) (*GUIOMAR*), Rodrigues (2009), Garcia *et al.* (2010), Almeida (2011) (*GEOSTORM*), Almeida *et al.* (2012) e Horta (2012) (*MAPBeach*).

O sistema *Geographical User Interface for cOastal and MARine modeling* (*GUIOMAR*) desenvolvido em 2008 no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC⁷) é um sistema integrado para a modelação da agitação marítima aplicado à costa portuguesa que inclui as funcionalidades de um SIG Desktop (Neves, 2009). O sistema tem três componentes principais sendo eles: *i*) um *software* comercial de SIG, o *ArcGIS*; *ii*) uma interface responsável pela comunicação entre o utilizador e o sistema; e *iii*) um conjunto de 6 módulos correspondentes a diferentes modelos de propagação de ondas – os modelos SWAN e DREAMS – com diferentes domínios de aplicação. Para testar e ilustrar o funcionamento do sistema GUIOMAR foi realizado um estudo incidente a zona marítima do Porto de Sines. Os resultados obtidos podem ser utilizados na caracterização de hipotéticos regimes extremos de agitação no interior do porto, juntamente como os valores extremos da altura significativa ao largo e no interior do porto (Neves, 2009).

Rodrigues (2009) efetuou um estudo que identificou áreas vulneráveis ao longo da Península do Ancão, Portugal, através do desenvolvimento de um mapa de vulnerabilidade. Para tal, foram realizados levantamentos topográficos da base (D_{LOW}) e crista (D_{HIGH}) dunar que foram representados sobre um ortofotomapa em SIG. Estabeleceu três tempestades com 5, 10 e 25 anos de período de retorno e foram estimadas características das ondas e níveis do mar (maré e sobrelevação meteorológica) associados. Estes dados possibilitaram o cálculo da elevação máxima do espraio (R_{HIGH}) através de uma parametrização direcionada às praias intermédias-refletivas. A representação de R_{HIGH} sobre D_{LOW} e D_{HIGH} mediante a aplicação de SIG resultou no mapa de vulnerabilidade. Os resultados obtidos (Figura 9) demonstraram que a base dunar da península é completamente vulnerável ao regime de colisão, isto é, as dunas estão em risco de erosão e recuo para qualquer dos períodos de retorno testados. O processo de

⁷ Fonte: http://www.lnec.pt/organizacao/dha/npe/estudos_id/guiomar consultado a 09/12/2013
http://www.lnec.pt/organizacao/dha/npe/estudos_id/guiomar

galgamento foi previsto principalmente na região mais próxima da barra de maré e na zona central onde a ocupação humana é intensa.



Figura 9: Representação do regime de vulnerabilidade ao galgamento ao longo da área de estudo (Península do Ancão, Faro) para os 5, 10 e 25 para os períodos de retorno de tempestades. Fonte: Rodrigues (2009).

Garcia *et al.* (2010) propõe uma metodologia que pode ser utilizada ao longo de todo o sistema de ilhas-barreira propensas ao galgamento, sendo obtida por fotointerpretação em SIG (análise geo-espacial, interpretação de critérios e identificação de características morfológicas) que permitiu o cálculo de três índices de vulnerabilidade: *overwashed shoreline ratio*, *maximum overwash intrusion recurrence* e *complete barrier overwash*. Os resultados obtidos pela aplicação desta metodologia são de grande utilidade na gestão costeira porque fornecem informações acerca da definição temporal e da distribuição geográfica da vulnerabilidade à ocorrência de galgamento (Figura 10).

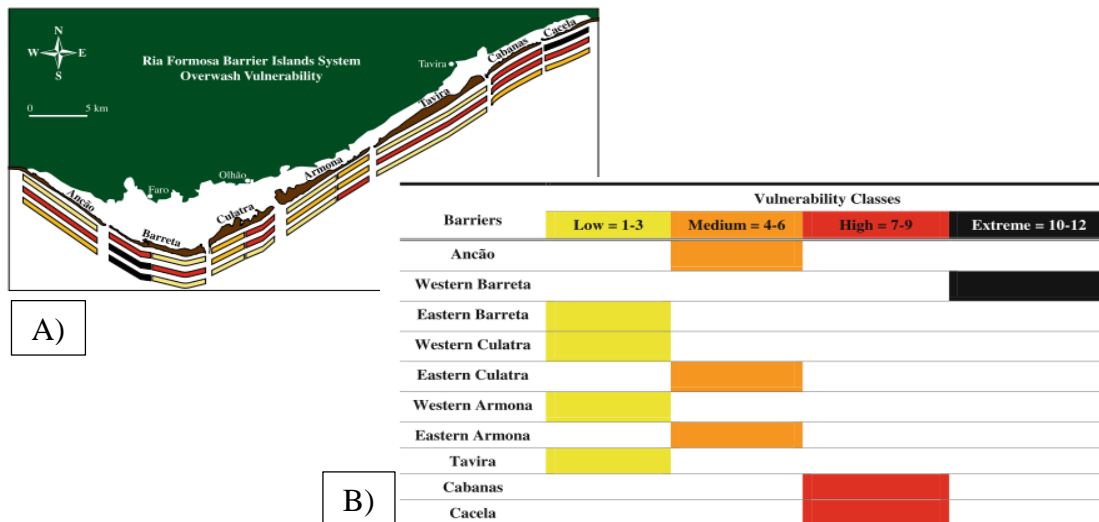


Figura 10: A) Representação dos resultados obtidos após o cálculo dos três índices num espaço temporal de 25 anos. B) Classificação final da vulnerabilidade ao galgamento após a integração dos 3 índices baseada na soma das classificações individuais obtidas pelos índices. Adaptado de: Garcia *et al.*(2010).

Geoprocessing tool to model beach erosion due to Storms (GEOSTORM) é uma ferramenta de geoprocessamento desenvolvida para a modelação da erosão de praias provocada por tempestades apresentada na dissertação de mestrado de Almeida (2011) e publicada em Almeida *et al.* (2011 e 2012). O sistema é composto por dois módulos de processamento. O Módulo 1 que permite ao utilizador definir um conjunto de parâmetros necessários para a criação de perfis (e.g. distância lateral e sua orientação). No Módulo 2 acede-se a um conjunto de ferramentas que permite uma utilização do modelo de Kriebel e Dean (1993). A ferramenta *GEOSTORM* foi aplicada na simulação de um cenário de tempestade com um período de retorno cíclico de 25 anos na Praia de Faro (Península do Ancão - sistema de ilhas barreira da Ria Formosa). Os resultados obtidos demonstraram que a tempestade iria afetar as construções sobre a zona frontal da praia e um recuo médio de 8 m e um volume médio de erosão de 37 m³/m. Almeida *et al.* (2012) aplicaram a escala proposta por Sallenger (2000). A estratégia metodológica para os calcular limites realistas para impactes de tempestades ao longo da praia de Faro (costa arenosa no litoral sul) teve como base um conjunto de dados históricos – condições hidrodinâmicas – utilizando o cálculo do valor máximo de *runup* da onda em relação a morfologia da zona em estudo.

A caixa de ferramentas *GIS tools for Morphological Analysis at Pocket Beaches (MAPBeach)* foi desenvolvida por Horta (2012) com o intuito de facilitar a análise de

variáveis que refletem a alteração dos sistemas morfo-sedimentares em praias encastradas. *MAPBeach* é composta por quatro módulos: *Profile Beach*, *Single Beach*, *Multi Beach* e *Modeljob*, que podem ser utilizados de forma independente (Horta, 2012). *MAPBeach* foi aplicada na monitorização das praias da Galé e Olhos de Água, a Sul de Portugal. Os resultados demonstraram uma complexidade morfológica da face de praia em consequência de diferentes orientações e energias forçadoras da agitação marítima (Horta, 2012).

Apesar das ferramentas apresentadas fornecerem múltiplos dados, as mesmas não abordam, no entanto, o fenómeno do galgamento. Assim dada a ocorrência e atuação do fenómeno do galgamento sobre uma determinada área costeira, surge a necessidade da criação de uma nova ferramenta de geoprocessamento, a *GeoGal*, que irá ser apresentada no capítulo seguinte.

3. *GeoGal*

GeoGal, *Geoprocessamento do Potencial de Vulnerabilidade ao Galgamento*, foi desenvolvida com o objetivo de criar uma ferramenta de trabalho onde são fornecidos os meios que permitam integrar e explorar informação, estabelecendo relações e examinar padrões, tendo como base, dados geográficos. Permite ao utilizador obter informação da previsão da vulnerabilidade ao galgamento considerando as condições de agitação marítima, o nível da água, a influência da morfologia do fundo sobre a propagação da agitação marítima, o pendor da face de praia e a altura da crista da ilha barreira. Esta ferramenta inclui a identificação da fórmula de *runup* que melhor descreva e indique as áreas propensas à ocorrência de galgamento (cálculo do OP).

A caixa de ferramentas foi desenvolvida em ambiente SIG *desktop ArcMap* – *ArcGIS v.10* produto da *ESRI* com recurso ao *ModelBuilder*. Os seus resultados são visualizados em ambiente *ArcMap* nos formatos de malhas (*raster*), *shapefiles* em diferentes tipos de geometrias e tabelas.

Pretende-se que *GeoGal* seja um sistema integrado que inclua e tire o máximo de partido das funcionalidades dos SIG, que seja facilmente aplicado a qualquer área costeira para na compreensão do processo de vulnerabilidade ao galgamento e que incorpore a heterogeneidade da morfologia submersa adjacente.

O objetivo de integração desta informação num SIG é a possibilidade dos utilizadores obterem respostas rápidas e precisas para a sua avaliação. A ferramenta consiste num encadeamento sequencial através da compilação de extensões a partir do uso de múltiplos processos de geoprocessamento (*ArcToolBox*) e ainda na incorporação da linguagem de programação *Python* – sintaxe simples baseada em várias bibliotecas de código aberto para a manipulação de dados geoespaciais – para o tratamento e manipulação de informação gerada, levando à automatização dos processos a executar, *ModelBuilder* (Anexos 4 e 5). Optou-se por desenvolver *GeoGal* com recurso ao *ArcGIS* pela versatilidade das aplicações disponíveis e pelo elevado número de utilizadores em diferentes áreas científicas. Pretende-se, com esta escolha, contribuir para uma maior aplicação futura e reutilização da ferramenta. O utilizador de *GeoGal* não necessita de experiência em programação para a execução da ferramenta. O Assistente de Parametrização minimiza e facilita a orientação das variáveis necessárias ao utilizador.

3.1. Estrutura GeoGal

O desenvolvimento da presente ferramenta surge da necessidade de determinar o nível de *runup* para sua comparação com a crista da barreira e assim determinar a vulnerabilidade ao galgamento. Pretende-se que o *runup* seja previsto da forma mais real possível, incluindo o efeito da morfologia submersa adjacente à praia. Como não está estabelecida a melhor equação de *runup*, aplicável a todos os casos, optou-se por aplicar 11 fórmulas de *runup* já estudadas por Matias *et al.* (2012). A ferramenta construída foi dividida em dois módulos de processamento: 1) **Módulo 1 – Runup_GIS** e 2) **Módulo 2 – OP_GIS** (Figura 11).

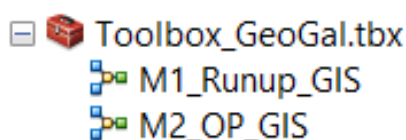


Figura 11: Estrutura da *Toolbox GeoGal* dentro do ambiente *ArcToolbox, ArcGIS v10*.

Através da execução do **Módulo 1** obtém-se o cálculo das onze fórmulas de *runup* da área em estudo sob a forma de uma *shapefile* de geometria de pontos. Os resultados do **Módulo 1** são os dados de entrada no **Módulo 2** onde é possível obter o Potencial de Galgamento para cada perfil em estudo. Este conceito permite identificar numericamente as áreas sujeitas a um maior ou menor grau de erosão e galgamento. O que permite a análise da vulnerabilidade do local em estudo à ocorrência de galgamento costeiro (Figura 12).

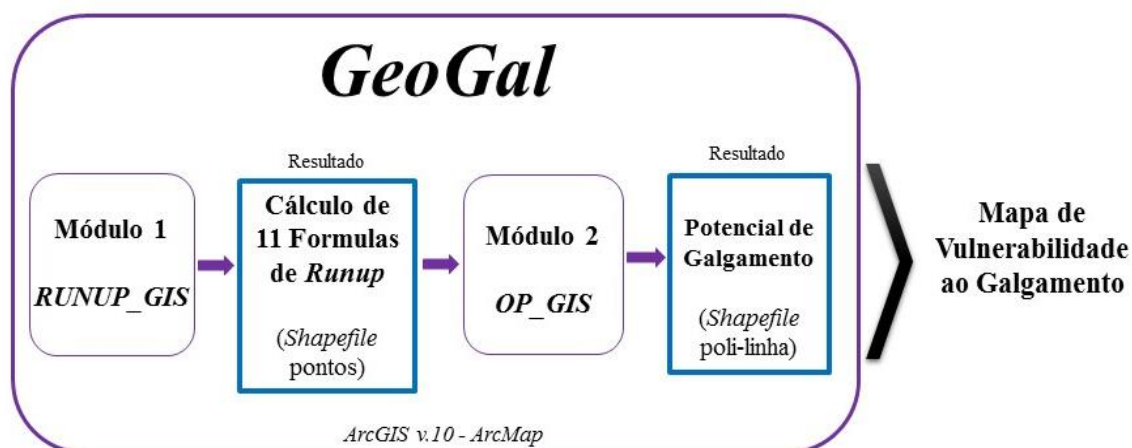


Figura 12: Organograma da Ferramenta. Enumeração dos dados de entrada e saída dos respectivos Módulos de *GeoGal*.

Ambos os módulos estão ligados por uma sequência lógica, o **Módulo 2** depende dos resultados do **Módulo 1** para ser executado. A partir do Assistente de Parametrização, em cada um dos módulos, o utilizador adiciona e/ou altera variáveis específicas da ferramenta. Ao longo da execução do **Módulo 1** e **2** vários ficheiros são gerados dentro dos principais formatos: *shapefile* com geometria de pontos, linhas e polígonos; tabelas no formato *.dbf e malhas regulares no formato *raster*.

De forma a manter a informação (intermédia e final) gerada pela ferramenta organizada, esta cria diretamente na unidade C do computador duas pastas: a pasta ***Runup_Work*** e a pasta ***Runup_GIS***.

A criação da pasta ***Runup_Work*** tem a finalidade de guardar toda a informação de relevância gerada pelos processos intermédios de processamento executados dentro de cada Módulo. A principal finalidade da criação desta pasta é permitir ao utilizador ter acesso a informação em diferentes estádios de processamento, analisá-la e, se necessário, ajustar variáveis. Guardar estes dados é de extrema importância, pois são eles que permitem confirmar e reajustar as variáveis-parâmetro de cada Módulo que são fornecidas pelo utilizador no Assistente de Parametrização, consoante os objetivos e a área de estudo em que se aplica a ferramenta ***GeoGal***.

Na pasta ***Runup_GIS*** é guardada a informação do resultado final de cada módulo e é essencial para o auxílio da representação visual dos resultados obtidos. Nos dois subcapítulos seguintes, procede-se à apresentação e à descrição detalhada da estrutura dos principais sectores de processamento realizados e a informação final de cada um dos módulos que constituem a ferramenta ***GeoGal***.

3.1.1. Módulo 1 – *Runup_GIS*

O **Módulo 1** – denominado por ***Runup_GIS*** – tem como objetivo obter o resultado do cálculo de 11 Fórmulas de ***Runup***, de acordo com a compilação de fórmulas descritas em (Matias *et al.*, 2012). O encadeamento do processamento necessário à estruturação e desenvolvimento do **Módulo 1** é dividido em três sectores (Figura 13) nos quais, se pretendem atingir os seguintes objetivos:

- 1) Etapa 1 – Gera uma *shapefile* com geometria de pontos que contenha a representação dos perfis pretendidos a analisar pelo utilizador. Cada ponto

tem como principais atributos a identificação do número do perfil, a cota altimétrica e a sua distância ao ponto de origem do perfil;

- 2) Etapa 2 – Responsável pela criação de uma *shapefile* com geometria de pontos (um por perfil) considerando que, o que representa a altura máxima da crista da barreira ($H_{c_{max}}$) é o ponto selecionado para representar o perfil em estudo. Este sector é responsável pela obtenção dos atributos – como o pendor e a altura máxima significativa da onda ($H_{s_{max}}$, oriunda do modelo numérico de propagação de ondas, SWAN) – que representam variáveis essenciais no cálculo das 11 fórmulas de *runup* realizado na Etapa 3;
- 3) Etapa 3 – A partir das variáveis obtidas nas etapas anteriores, efetua-se o cálculo de 11 fórmulas de *runup*, posicionados geograficamente sobre o valor $H_{c_{max}}$ de cada perfil., obtendo-se uma *shapefile* com geometria de pontos, como resultado final.

Atendendo aos objetivos que se visam alcançar através da execução desta ferramenta – **Módulo 1 e 2** – esta possui requisitos fundamentais e obrigatórios nos dados de entrada criados pelo utilizador (Figura 13). Desta forma, a partir de informação topobatimétrica da secção do litoral costeiro em estudo, o utilizador tem de fornecer cinco tipos de dados de entrada:

1. Modelo Digital de Elevação (MDE), o qual corresponde a uma superfície topo-batimétrica que resulta da interpolação de dados topográficos e batimétricos. A mesma malha⁸ em formato *grid* é usada no modelo numérico de propagação de ondas SWAN;
2. *Shapefile* de geometria de pontos obtidos através da execução do modelo numérico de propagação de ondas – SWAN – para a área em estudo. Com os atributos: a Altura Significativa da Onda (H_s) em metros, a Direção Média da Onda (DIR) em graus, o Período de Pico da Onda (T_p) em segundos, e Q_b , fração

⁸ Malha, no presente trabalho, corresponde a uma superfície regular contínua com informação associada a cada célula (valores altimétricos).

representante da quantidade de energia que esta a ser dissipada no ponto de rebentação da crista de onda, induzida pela profundidade;

3. 2 *shapefiles* de geometria de pontos, que devem corresponder aos pontos de origem (x1y1) e fim (x2y2) de cada segmento de reta, ou seja, aos perfil que se pretendem estudar;

4. Área de trabalho (*shapefile* de geometria de polígonos). Direcionar a ferramenta nos dados essenciais a processar, rentabilizando o tempo de processamento.

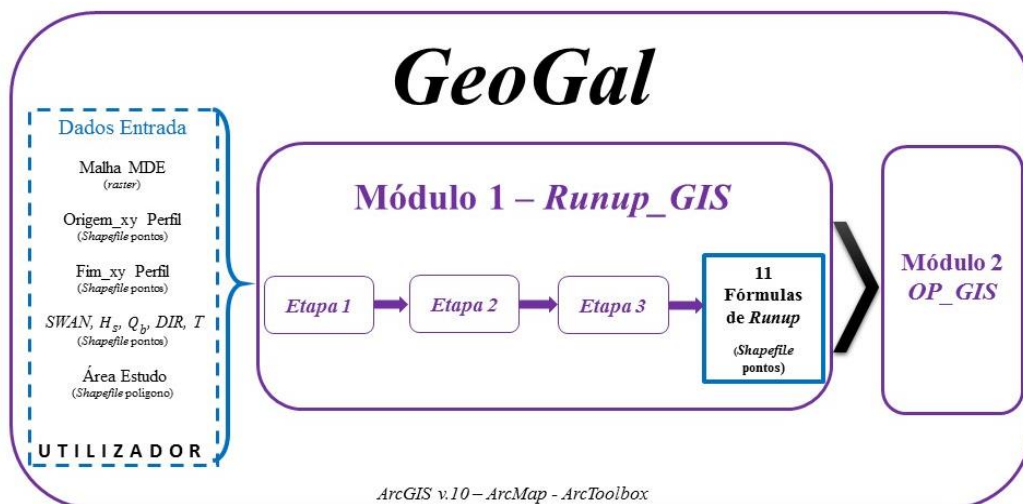


Figura 13: Estrutura **GeoGal**. Esquema elucidativo dos dados de entrada fornecidos pelo utilizador necessários para a execução dos **Etapas 1 a 3** e o resultado final de entrada no **Módulo 2**.

O Assistente de Parametrização (Figura 14) é o resultado final do modelo criado em *ModelBuilder* do **Módulo 1 - Runup_GIS** (Anexo 4 e 5). Este permite ao utilizador fazer uso do modelo criado sem existir a necessidade de implementar alterações ou trabalhar diretamente sobre os processos encadeados. Permite ainda ao utilizador reajustar variáveis e dados que sejam necessários de executar dentro da área de estudo pretendida. Este, serve de guia possibilitando associar a cada campo a descrição de como os dados devem estar estruturados permitindo o correto funcionamento da ferramenta.

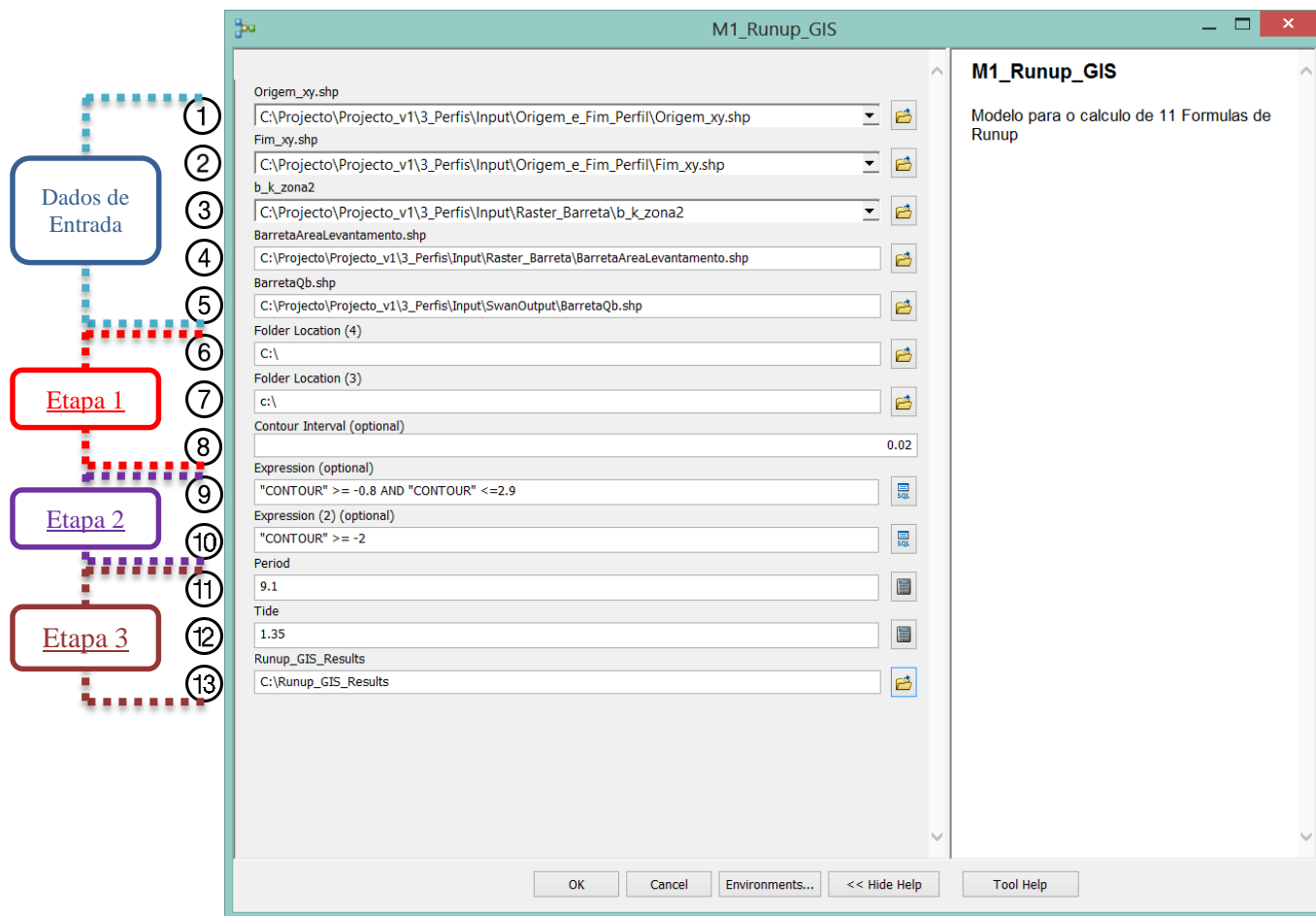


Figura 14: Assistente de Parametrização do **Módulo 1 – Runup_GIS**. Identificação dos campos que correspondem aos dados de entrada e cada um dos sectores de processamento do Módulo (variáveis fornecidas pelo utilizador dependem das "condições" de cada área de estudo).

Explicação de cada um dos campo do Assistente de Parametrização (Figura 14):

- Dados de Entrada:
 1. *Shapefile* de pontos (x_i, y_i) – Pontos de início da construção das linhas a partir das quais se extrai os perfis;
 2. *Shapefile* de pontos (x_f, y_f) – Pontos do fim da construção das linhas de perfil, ou seja, segmento de reta criado pela união de dois pontos (x_i, y_i) e (x_f, y_f) ;
 3. MDE da área em estudo;
 4. Área de confinamento dos dados SWAN que a ferramenta deverá processar a partir da Etapa 2. Tem o objetivo de diminuir o volume de dados;
 5. *Shapefile* de pontos resultante da execução do modelo SWAN, cada ponto deverá ter como atributos mínimos, a H_s , DIR, T_p e Q_b ;

- Etapa 1:
 6. Localização da Pasta **Runup_GIS**;
 7. Localização da Pasta **Runup_WORK**;
 8. Indicação do intervalo a utilizar na criação de curvas de nível (em metros);
- Etapa 2:
 9. Condição segundo um intervalo de pontos, pelo valor altimétrico, para o cálculo médio do Pendor;
 10. Restrição altimétrica a partir da qual se obtém o valor do máximo de H_s que vai representar a altura significativa na rebentação ($H_{sb_{max}}$);
- Etapa 3:
 11. Indicação do valor de Período (T) (em segundos) característico utilizado para o dia teste. Parâmetro fundamental para o cálculo das 11 equações aplicadas;
 12. Indicação do valor de maré característico utilizado para o dia teste. Parâmetro fundamental para o cálculo das 11 equações aplicadas;
 13. Localização do resultado final do processamento do **Módulo 1**. *Shapefile* de pontos com os resultados do cálculo das 11 fórmulas de *runup*.

No **Módulo 1** obtém-se, como resultado do cálculo de 11 fórmulas de *Runup*, uma *shapefile* de geometria de pontos. Estes posicionam-se sobre a $H_{c_{max}}$ em cada Perfil (Figura 15) e correspondem à informação de entrada do **Módulo 2** (Figura 13).

Os dados de saída do **Módulo 1** – *shapefile* de geometria de pontos com o cálculo das 11 fórmulas de *runup* – correspondem aos dados de entrada no **Módulo 2**.

Módulo 1 – *Runup_GIS* Resultado final

Produto esperado:

- o resultado do cálculo das 11 Fórmulas *Runup*

Formato:

- *shapefile*

Geometria:

- pontos

Atributos:

- **Perfil** – identificação do número do perfil
- **Max_Contour** – $H_{c_{max}}$ no Perfil, em metros.
- **Point_X** – posição em x da $H_{c_{max}}$ no Perfil
- **Point_Y** – posição em y da $H_{c_{max}}$ no Perfil
- **Distance** – distância da posição de $H_{c_{max}}$ ao ponto de origem no Perfil, em metros.
- **Max_Hs** – valor $H_{sb_{max}}$, obtido através das superfícies geradas com os dados de entrada oriundos do SWAN
- **Pendor** – valor obtido a partir do MDE
- **11 Equações:**
 - *Guza e Thornton (1982), Holman (1986), Komar (1998), Stockdon et al., (2006); Hunt (1959), Mase (1989), van der Meer and Stam (1992), Hughes (2004), Ruggiero et al., (2001) e Nielsen e Hanslow (1991).*

Figura 15: Descrição dos atributos que compõem o resultado final do **Módulo 1 – *Runup_GIS***.

desejado para cada perfil assim como o espaçamento entre perfis. Especial atenção à criação dos ficheiros de entrada *origem_xy* e *fim_xy* (ambos *shapefile* geometria de pontos) nos quais é necessário considerar o conceito $n + 1$, isto é, n é o número de perfis que se pretende estudar mas ao qual é necessário acrescentar mais 1 perfil dentro da área de estudo. Tal é necessário dada a metodologia usada no **Módulo 2** para se obter os segmentos de reta representativos dos valores de OP para a área de estudo;

3. A criação das curvas de nível do terreno (*shapefile* geometria de *poli-linhas*, guardada na pasta **Runup_GIS**) depende do espaçamento de representação que o utilizador insere no assistente de parametrização (Figura 14, Etapa 1). Este espaçamento está relacionado com a capacidade e/ou a necessidade de uma boa representação altimétrica do perfil a extrair, o qual, irá influenciar diretamente o cálculo das equações de *runup*, principalmente pelo valor de pendor a calcular na Etapa 2 para cada perfil. É necessário ter presente que a variação altimétrica topográfica e batimétrica na relação elevação versus espaço são diferentes. A topografia de uma praia apresenta maior variação altimétrica num curto espaço geográfico, enquanto que a batimétrica demonstra variações mais suaves ao longo do espaço. Assim, para uma boa representação em perfil da variação topográfica da praia, para o cálculo do pendor, é fundamental usar um espaçamento na ordem dos centímetros para minimizar erros e evitar perda na representação altimétrica da zona em foco;

4. A criação e representação de perfis segundo pontos torna-se possível a partir da interseção das Linhas Guias de Perfil com as Curvas de Nível geradas a partir dos MDE. O resultado obtido é um conjunto de perfis compostos por pontos com valores altimétricos segundo a orientação das Linhas Guias de Perfil (*shapefile* de geometria de pontos descrita na Figura 17, guardada na pasta **Runup_GIS**). A representação de perfis é comumente realizada segundo a altitude (de um dado ponto) versus distância (acumulativa a um dado ponto de origem). O ponto de origem é previamente definido pelo utilizador. Neste caso é o mesmo ponto do ficheiro de entrada *origem_xy* utilizado pela ferramenta para a criação das Linhas Guias de Perfil. Assim, este ponto serve de base para o início do cálculo da distância acumulativa de cada ponto que compõe o perfil. Isto permite a comparação entre perfis e a sua análise quanto às variações morfológicas que os constituem.

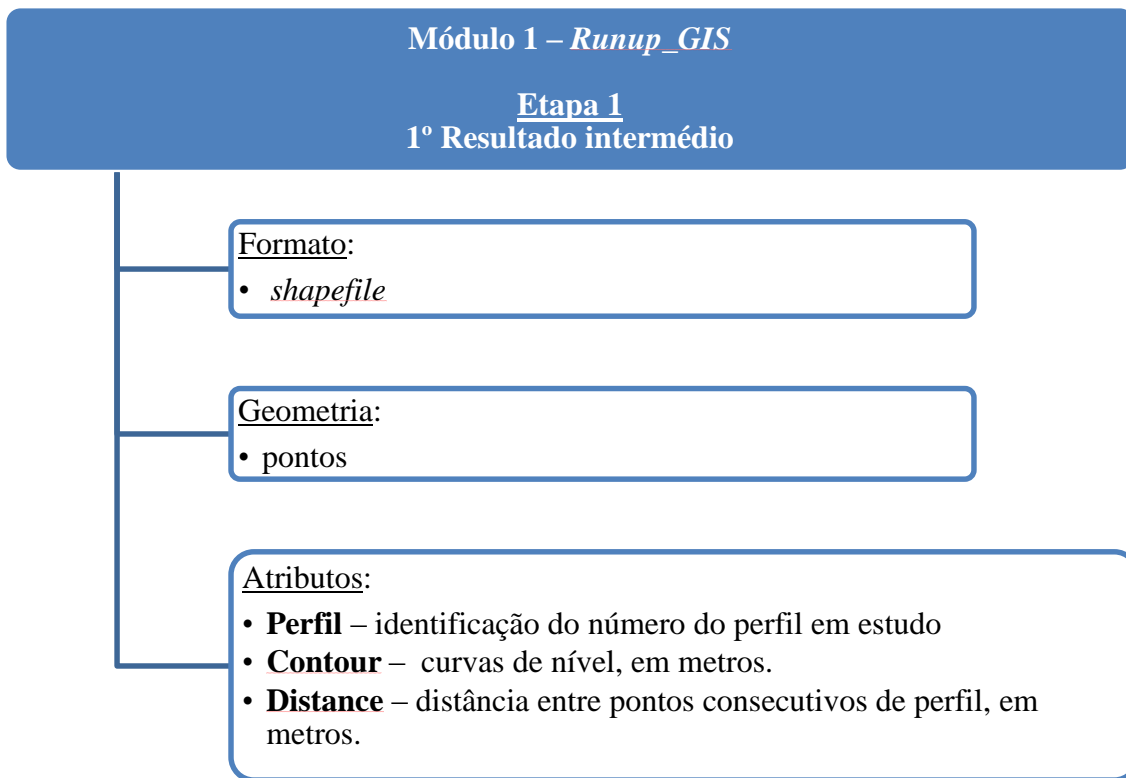


Figura 17: Descrição dos atributos que compõem os dois resultados intermédios guardados na pasta **Runup_GIS** do Etapa 1, **Módulo 1 – Runup_GIS**.

3.1.1.2. Etapa 2

Na Figura 18 é esquematizada a ordem de trabalho aplicada na Etapa 2. A figura ilustra esquematicamente os dados, parâmetros e processamentos necessários para se obter o resultado que permite dar continuidade à ferramenta para a Etapa 3.

A Etapa 2 tem como principal objeto a criação de uma *shapefile* de geometria de pontos (um por perfil, o que representa a $H_{c_{max}}$ com os atributos, pendora e $H_{sb_{max}}$, oriunda do modelo numérico de propagação de ondas – SWAN). Estes são os parâmetros finais necessários para a execução da Etapa 3, ou seja, o cálculo dos valores de *runup* por 11 fórmulas diferentes para os 24 perfis.

GeoGal
Módulo 1 – Runup_GIS

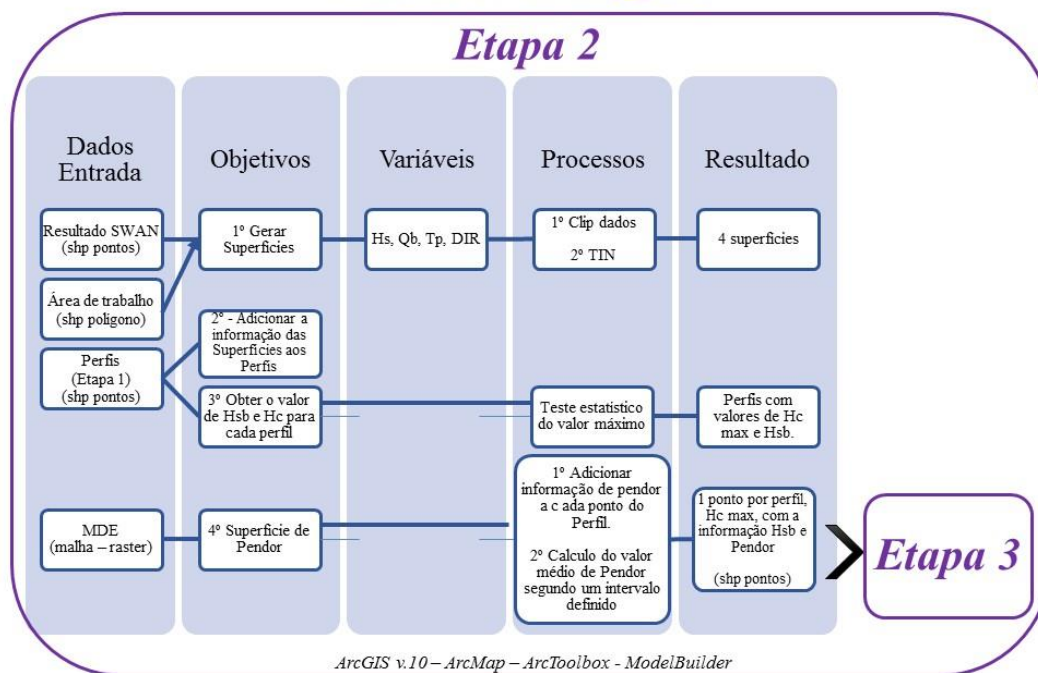


Figura 18: Esquemática dos processos executados no Etapa 2.

O primeiro objetivo de processamento da Etapa 2 é a geração de superfícies para as quatro variáveis H_s , Q_b , T_p e DIR obtidas pela execução do modelo SWAN. Os dados que dão origem às superfícies apresentam uma distribuição regular no espaço (resultado de se aplicar o modelo SWAN segundo malhas regulares), atendendo a esta característica, a ferramenta aplica o método de triangulação para a criação das superfícies. É um método de rápida execução e fiável quando aplicado a dados com distribuição regular e gera superfícies menos densas. Contudo, recorrendo ao polígono representante da área de estudo (ou trabalho) só se inclui nos seguintes processos da ferramenta a informação que está presente dentro da área aplicada. Isto permite que o volume de dados seja menor entre processos e o tempo de execução melhor.

A superfície de pendor é diretamente obtida do MDE, malha dada como informação de entrada em *GeoGal*.

Tendo todas as superfícies criadas a ferramenta adiciona a cada ponto de perfil a informação de H_s , Q_b , T_p , DIR e Pendor.

Para a execução da Etapa 3, é requerido um valor por perfil de $H_{sb_{max}}$ e Pendor como parâmetros essenciais às equações de *runup* (Figura 19). Para tal, são definidos os seguintes critérios para a obtenção destes dois parâmetros:

- $H_{sb_{max}}$, é selecionado o valor máximo de H_s a partir de uma dada profundidade definida pelo Utilizador;
- **Pendor**, é calculado o seu valor médio para cada perfil segundo um intervalo definido pelo utilizador que represente tipicamente a face de praia em estudo.

Quando obtidos todos os parâmetros necessários para a aplicação das equações de *runup*, cada um destes parâmetros, segundo as restrições definidas pelo utilizador, a ferramenta salva o resultado numa *shapefile* de pontos (Figura 19).

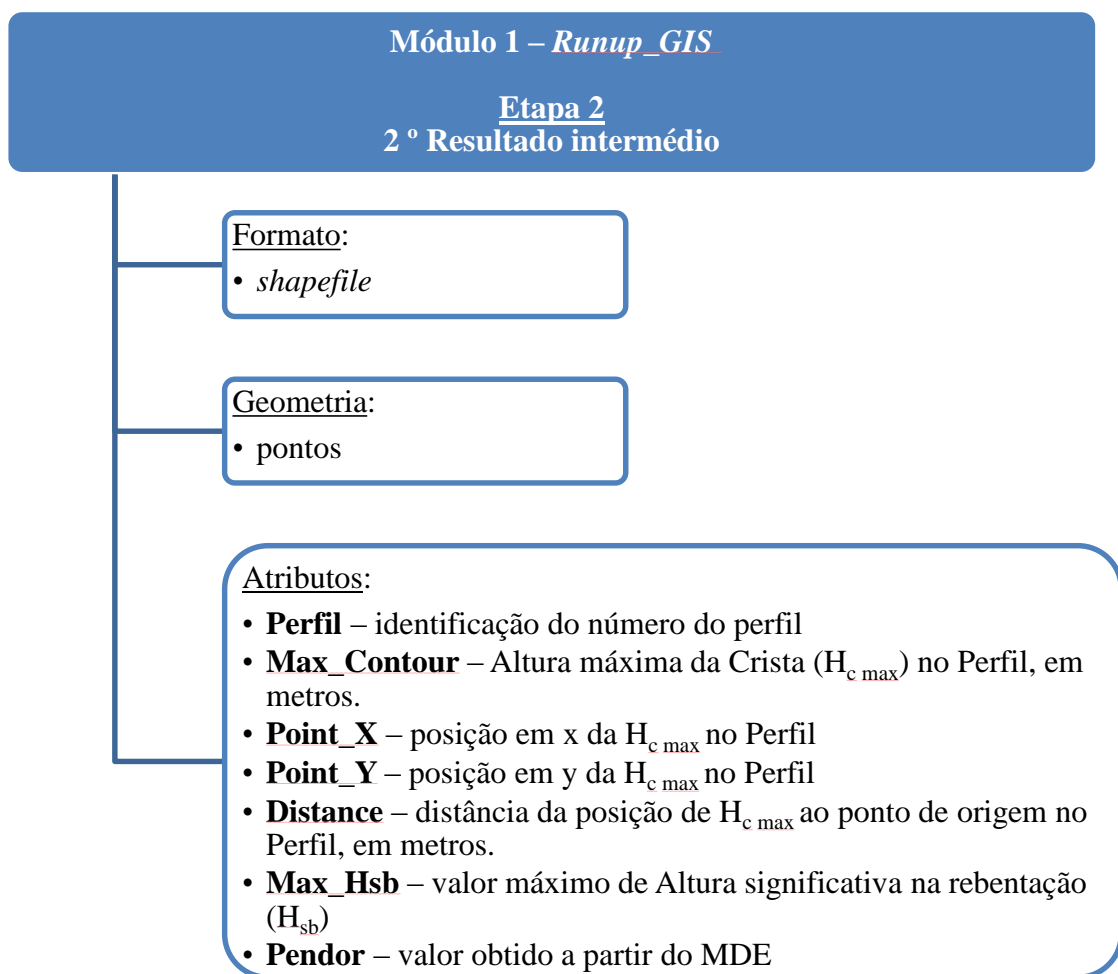


Figura 19: Descrição dos atributos que compõem os dois resultados intermédios guardados na pasta **Runup_GIS** do **Etapa 2, Módulo 1 – *Runup_GIS***.

3.1.1.3. Etapa 3

O cálculo da altura da onda de *runup* requer a utilização de diferentes variáveis, tais como, a inclinação da praia (pendor – S), H_s , T e o nível de maré (h) (Figura 20). Estes parâmetros são necessários para o cálculo de fórmulas de previsão de *runup* os quais se encontram associados à classificação dos limites dos diferentes regimes de impacte de tempestades sobre a zona costeira definidos por Sallenger (2000). Das equações existentes para a obtenção do valor de *runup*, no **Módulo 1 – Runup_GIS**, são aplicadas 11 equações previamente selecionadas tendo por base os resultados apresentados na investigação das condições de galgamento sobre barreiras de cascalho por Matias *et al.* (2012).

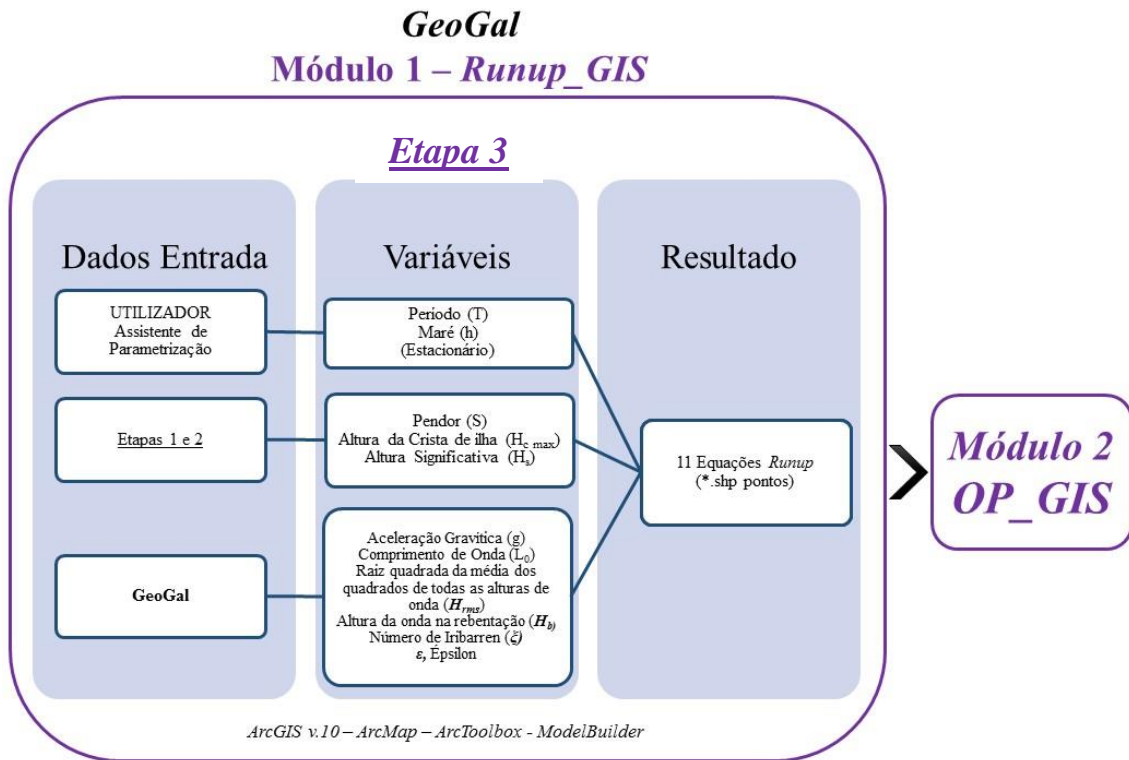


Figura 20: Representação esquemática da Etapa 3.

De seguida, são inumeradas as equações de *runup* ($R_{2\%}$) abrangidas pelo **Módulo 1 – Runup_GIS**, às quais foi adicionado o valor da altura de maré. Para a apresentação das 11 fórmulas selecionadas tornou-se necessário apresentar a definição das variáveis (Anexo 1) requeridas pelas equações:

1. Equação de Hunt (1959), adaptada por Battjes (1974). Inclusão de H_s e ξ para a obtenção do valor máximo de elevação do nível de água (R_{max}),

$$R_{max} = (H_s \cdot \xi) + h \quad (m)$$

Equação (5)

Onde:

- H_s ou H_{sig} , é a altura significativa em metros. Cálculo da média da terça parte das ondas com maior altura registadas durante um determinado tempo considerado.
- h , maré, altura do nível da água do mar (em metros), num dado momento, em relação ao plano nível de referência que, no caso português, é o Zero Hidrográfico.
- ξ , número de Iribarren. Parâmetro adimensional associado ao parâmetro de similaridade de *surf*, utilizado para quantificar processos (dissipativos e refletivos de *runup* e galgamento) a que as ondas estão sujeitas. Parâmetro para especificar condições de rebentação da onda sobre uma superfície combinando o pendor da superfície de praia com a declividade da onda.

$$\xi = \frac{S}{\sqrt{\frac{H_s}{L_0}}}$$

Equação (6)

2. Equação de Guza e Thornton (1982) permite conhecer o valor significativo da altura vertical de runup (R_s) relacionado com H_s ,

$$R_s = (0,035 + (0,71 \cdot H_s)) + h \quad (m)$$

Equação (7)

3. Equação de Holman (1986). Inclusão de H_s e ξ para a obtenção da altura de *runup* excedida em 2% ($R_{2\%}$),

$$R_{2\%} = \left(H_s \cdot ((0,83 \cdot \xi) + 0,2) \right) + h \quad (m)$$

Equação (8)

4. Equações de Mase⁹ (1989). Inclusão de H_s e ξ para a obtenção da altura de *runup* excedida em 2% ($R_{2\%}$) pela Equação (9) e o valor máximo de *runup* (R_{max}), através da Equação (10):

$$R_{2\%} = \left(H_s \cdot (1,86 \cdot \xi^{0,71}) \right) + h \quad (m)$$

Equação (9)

$$R_{max} = \left(H_s \cdot (2,32 \cdot \xi^{0,77}) \right) + h \quad (m)$$

Equação (10)

5. Equações de Nielsen and Hanslow (1991). Inclusão de H_{rms} , L_0 e S para a obtenção da altura de *runup* excedida em 2% ($R_{2\%}$). São consideradas duas expressões diferentes atendendo aos valores de pendor (S) da estrutura em estudo (praias) para $S \geq 0,10$ usa a Equação (11) e $S < 0,10$ a Equação (12):

$$R_{2\%} = (0,6 \cdot \sqrt{H_{rms} \cdot L_0} \cdot S) + h \quad (m) \quad se \ S \geq 0,10$$

Equação (11)

$$R_{2\%} = (0,05 \cdot \sqrt{H_{rms} \cdot L_0}) + h \quad (m) \quad se \ S < 0,10$$

Equação (12)

⁹ Em Mase (1989) são consideradas duas equações na contagem (alínea 4).

Onde:

- S , valor de pendore, em graus, da superfície de praia (adimensional).
- H_{rms} , raiz quadrada da média dos quadrados de todas as alturas de onda, em águas profundas:

$$H_{rms} = \frac{H_s}{\sqrt{2}}$$

Equação (13)

- L_0 , comprimento da onda em águas profundas (em metros). Distância entre duas cristas ou duas cavas sucessivas:

$$L_0 = \frac{g * T^2}{2\pi} \quad (m)$$

Equação (14)

- T , período de tempo (medido em segundos) que decorre entre a passagem de duas cristas (ou duas cavas) sucessivas por um dado ponto fixo.
- g , aceleração da gravidade, em metros, por segundo, ao quadrado:

$$g = 9,81 \quad (m/s^2).$$

Equação (15)

6. Equações de *van der Meer and Stam* (1992). Inclusão de H_s e ξ para a obtenção da altura de *runup* excedida em 2% ($R_{2\%}$). Sobre a condição de $\xi < 1,5$ é aplicada a Equação (16) e $\xi > 1,5$ a Equação (17):

$$R_{2\%} = (0,96 * \xi * H_s) + h \quad (m) \quad se \quad \xi < 1,5$$

Equação (16)

$$R_{2\%} = (1,17 * \xi^{0,46} * H_s) + h \quad (m) \quad se \quad \xi > 1,5$$

Equação (17)

7. Equação de Komar (1998) sugere a inclusão de T mas também g, S e H_s para a obtenção da altura de *runup* excedida em 2% (R_{2%}), Equação (18).

$$R_{2\%} = (0,36 \cdot \sqrt{g} \cdot S \cdot \sqrt{H_s} \cdot T) + h \quad (m)$$

Equação (18)

8. Equações de Ruggiero et al. (2001). Inclusão de H_s e ξ para a obtenção da altura de *runup* excedida em 2% (R_{2%}). Quando ε > 2,5 é aplicada a Equação (19) e ε < 2,5 a Equação (20) :

$$R_{2\%} = (0,5 \cdot H_s + 0,22) + h \quad (m) \quad se \quad \varepsilon > 2,5$$

Equação (19)

$$R_{2\%} = (0,27 \cdot \sqrt{S \cdot H_s \cdot L_0}) + h \quad (m) \quad se \quad \varepsilon < 2,5$$

Equação (20)

Onde:

$$\varepsilon = \frac{\left(\frac{H_s}{2}\right) * \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2}{g * S^2}$$

Equação (21)

9. Equações de Hughes (2004). Para a obtenção da altura de *runup* excedida em 2% ($R_{2\%}$). *Hughes (2004)* define o *runup* usando o *wave momentum flux* (M_F). Representa o fluxo máximo de ondas irregulares relacionado com a profundidade:

$$R_{2\%} = \left((1,75 \cdot (1 - e^{-(1,3 \cdot \cot \alpha)}) \cdot \sqrt{M_F}) \cdot h \right)$$

Equação (22)

$$\text{para } \frac{H_s}{L_0} \leq 0,0225 \quad e \quad \frac{1}{4} \leq \tan \alpha \leq 1$$

$$R_{2\%} = (4,4 \cdot S^{0,7} \cdot \sqrt{M_F} \cdot h)$$

Equação (23)

$$\text{para } \frac{H_s}{L_0} \geq 0,0225 \quad e \quad \frac{1}{5} \leq \tan \alpha \leq \frac{2}{3}$$

Para qualquer valor de $\frac{H_0}{L_0}$ e $\frac{1}{30} \leq \tan \alpha \leq \frac{1}{5}$ temos que:

$$M_F = A_0 \cdot \left(\frac{h}{(g \cdot T^2)} \right)^{-A_1}$$

Equação (24)

onde, $A_0 = 0,6392 \cdot \left(\frac{H_s}{h} \right)^{2,0256}$; $A_1 = 0,1804 \cdot \left(\frac{H_s}{h} \right)^{-0,391}$ e $\alpha = \text{atan}(S)$.

10. Equação de Stockdon (2006). Inclusão de H_s , L_0 e S para a obtenção da altura de *runup* excedida em 2% ($R_{2\%}$).

$$R_{2\%} = \left(1,1 \left((0,35 \cdot S \cdot \sqrt{H_s \cdot L_0}) + \frac{\sqrt{(H_s \cdot L_0 \cdot (0,563 \cdot (S^2) + 0,004))}}{2} \right) \right) + h \quad (m)$$

Equação (25)

11. H_b , altura da onda na rebentação (em metros). O valor de 0,78 é um critério de rebentação definido por *McCowan (1984)*:

$$H_b = 0,78 * h \quad (m)$$

Equação (26)

As equações 7, 8, 11, 12, 16, 17, 18, 22 e 23, anteriormente apresentadas, foram desenvolvidas para serem aplicadas em praias de areia de energia dissipativa (em maré baixa) e refletiva (em maré alta). As equações 5, 9, 10, 19, 20 e 25 foram desenvolvidas para estruturas de engenharia costeira impermeáveis.

3.1.2. Módulo 2 – *OP_GIS*

O objetivo que se pretende atingir com o **Módulo 2** é calcular o valor de OP a partir da equação de *runup* que melhor prevê a atuação do espraio da onda sobre a área em estudo. Para tal, o **Módulo 2** tem como único dado de entrada o resultado final do **Módulo 1**. A partir do Assistente de Parametrização (Figura 21) o utilizador seleciona a equação de *runup* com a qual pretende obter o valor de OP.

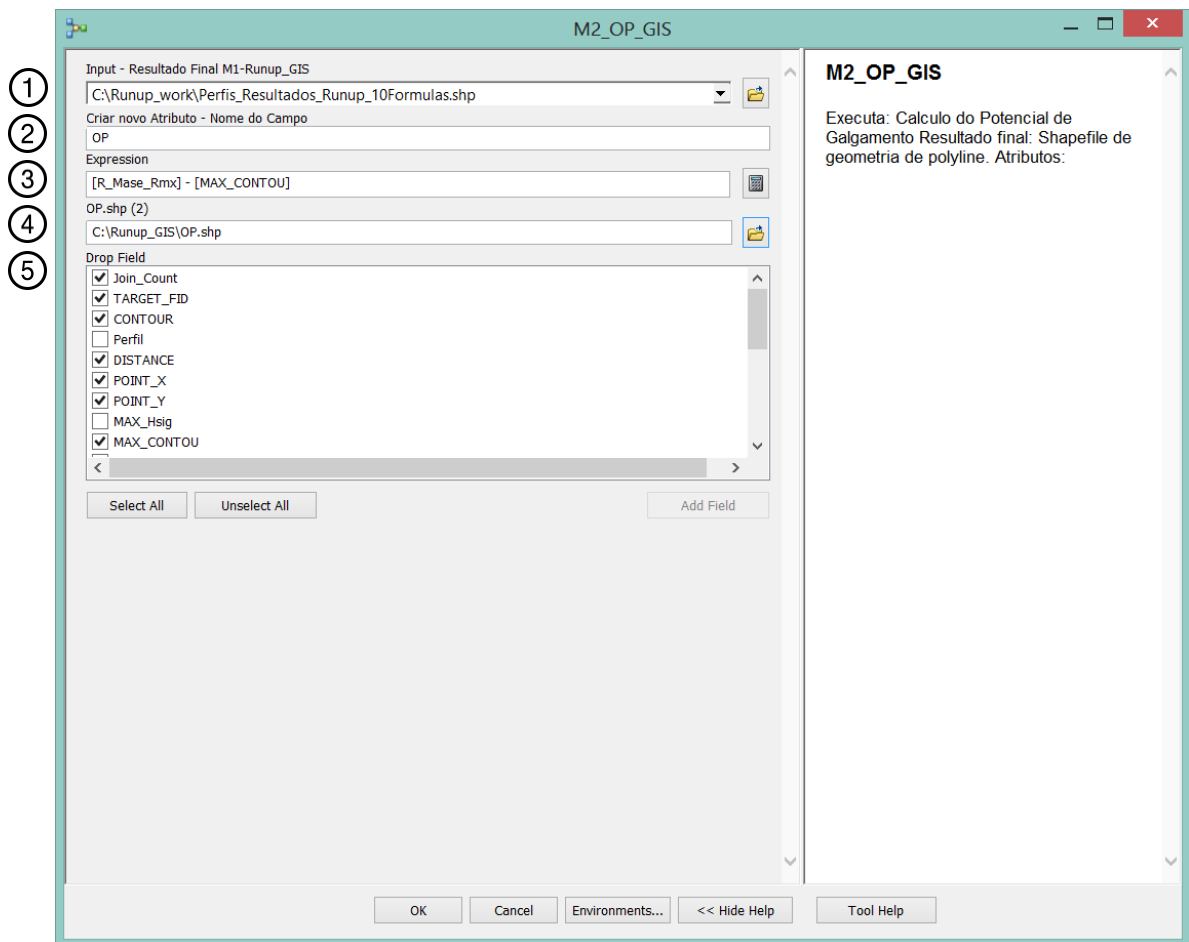


Figura 21: Assistente de parametrização do **Módulo 2 - *OP_GIS***

Explicação de cada um dos campos do Assistente de Parametrização:

1. Dados de entrada. Resultado final do **Módulo1 – Runup_GIS**, *Shapefile* de pontos com os resultados obtidos para cada uma das equações de *runup* aplicada por perfil $H_{c_{max}}$;
2. Internamente para se realizar o cálculo do parâmetro OP é necessário criar um novo campo na tabela, ou seja, um novo atributo nomeado pelo utilizador;
3. Expressão onde o utilizador seleciona a fórmula empírica para o cálculo do *runup* que pretende utilizar para obter o valor OP;
4. Localização do resultado final;
5. Permite ao utilizador selecionar os atributos que deseja eliminar da *shapefile* do resultado final da execução do **Módulo 2**.

A Figura 22 representa a sequência de processos encadeados no *ModelBuilder* para a obtenção do valor final de OP.

O resultado é transformado numa *shapefile* de geometria de tipo linhas que permite a classificação da área de estudo por setores. Estes setores são classificados segundo classes de vulnerabilidade definidas pelo utilizador, as quais permitem a obtenção do mapa de vulnerabilidade ao galgamento na área em estudo.

No capítulo seguinte procede-se à demonstração da aplicação de *GeoGal* num caso de estudo, Ilha Barreta do sistema de ilhas-barreira da Ria Formosa, litoral Sul de Portugal. Para tal, é apresentado o pré-processamento que leva à obtenção de dados de entrada na ferramenta com os respetivos métodos utilizados para a sua criação. Uma vez criados os dados de entrada procede-se à execução da caixa de ferramentas *GeoGal*.

Módulo 2 – *OP_GIS*

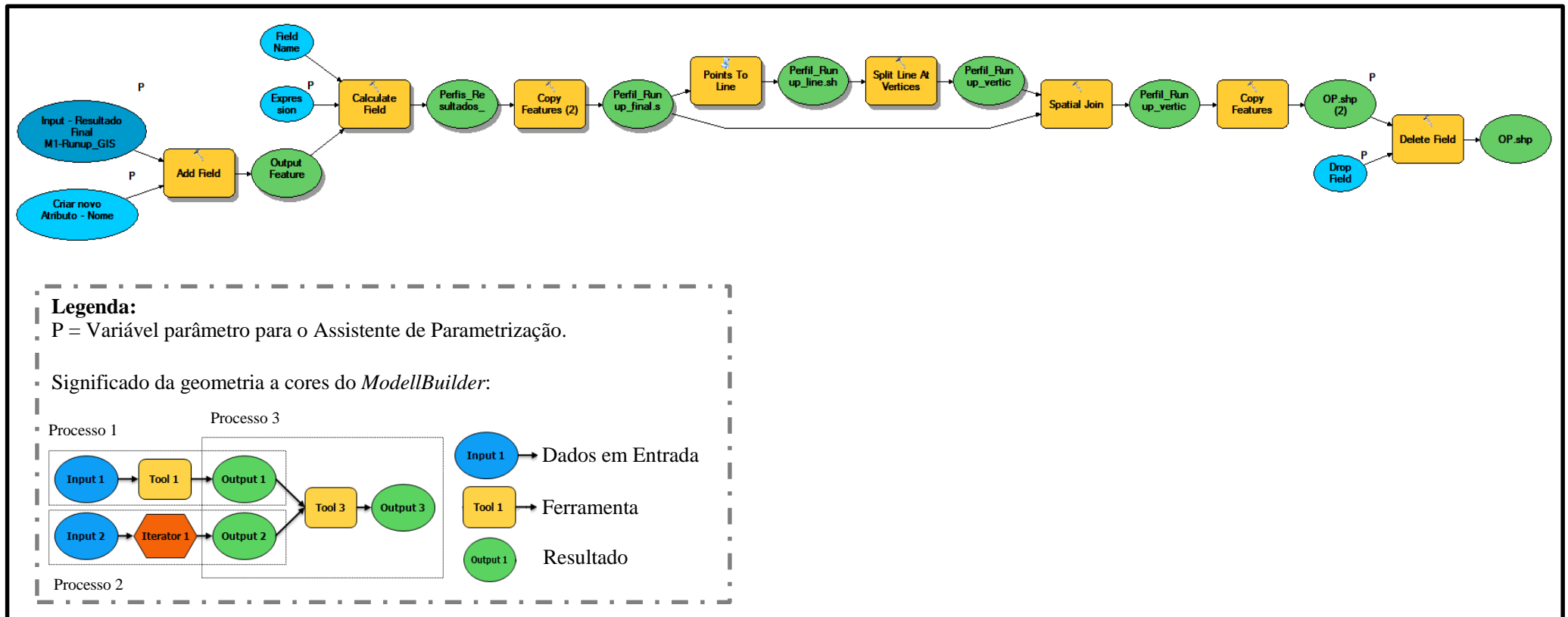


Figura 22: **Módulo 2 – *OP_GIS***. Estrutura do processamento criado dentro do *ModelBuilder*.

4. *GeoGal* – Aplicação num caso de estudo

Afim de demonstrar a aplicabilidade e a fiabilidade dos resultados obtidos esta ferramenta é desenvolvida e testada para uma zona da Ilha Barreta a partir da informação geográfica e dos critérios metodológicos do Projeto de Investigação *RUSH*.

Foi selecionado como dia teste, o dia 29 de Setembro de 2012 pelas 15 horas. Este dia, apresentou condições oceanográficas propícias à ocorrência de galgamento na área de estudo, no entanto, como o galgamento não ocorreu em toda a área, o mesmo permitiu uma análise mais real da metodologia empregue face à capacidade de previsão de ferramenta.

O processo de trabalho realizado pode ser dividido em oito passos, desde a criação de informação até ao resultado final da aplicação da ferramenta *GeoGal* (Mapa de Vulnerabilidade ao Galgamento). Na *Figura 23* é apresentado um esquema sequencial dos oito passos. A execução dos passos 1 e 2 é apresentada e descrita no subcapítulo **4.1 Pre-Processamento**. Dos passos 3 a 8, procede-se à aplicação da Ferramenta *GeoGal* e à respetiva validação do resultado da vulnerabilidade ao galgamento obtido em ambiente *ArcMap*. A apresentação destes passos é abordada no subcapítulo **4.2. GeoGal, Módulo1 – Runup_GIS** e **4.3. GeoGal, Módulo 2 - OP_GIS**.

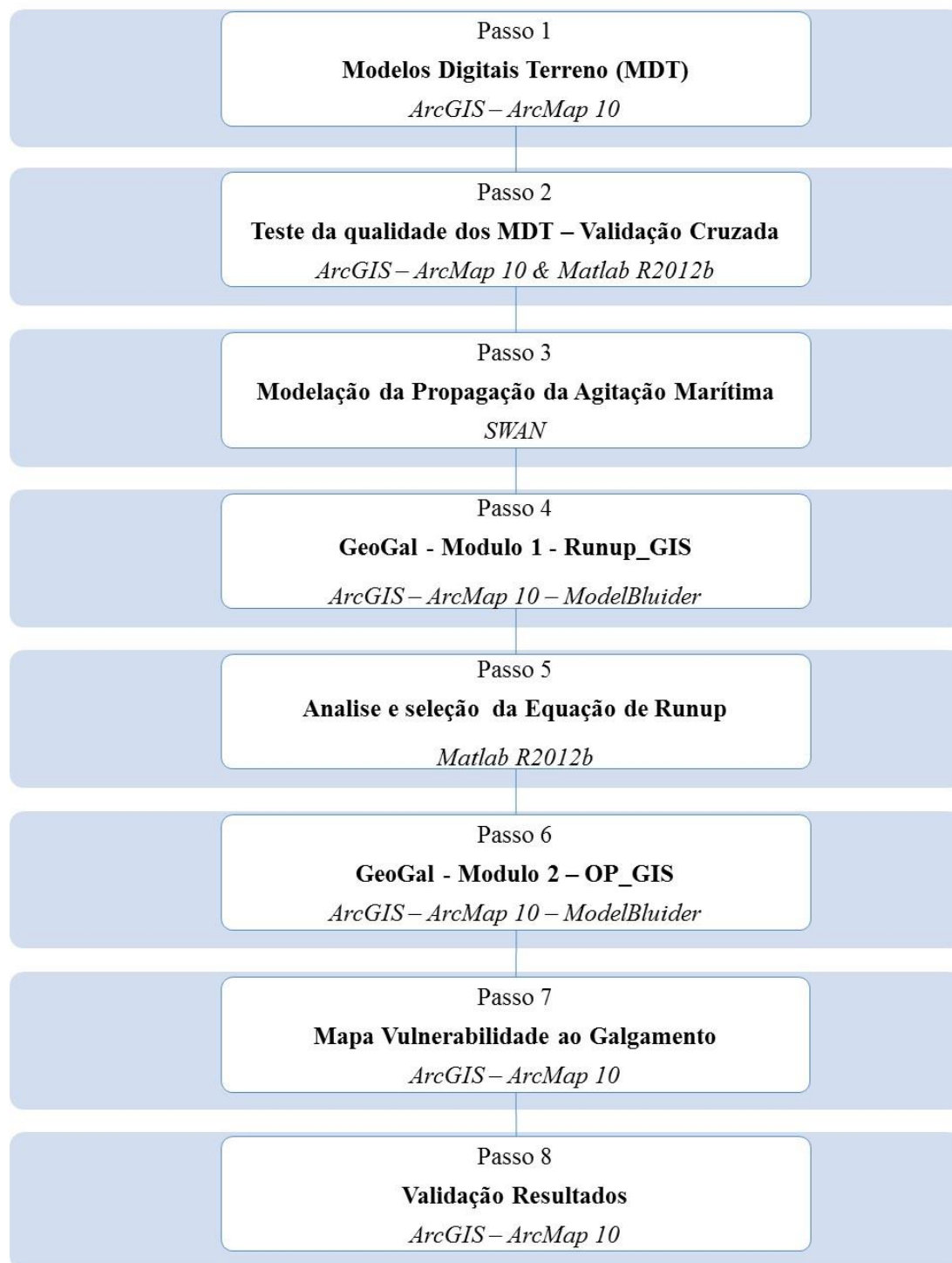


Figura 23: Esquema síntese dos passos de trabalho com os respectivos dados de entrada e saída.

4.1. Pré-processamento

Para o teste e exemplificação da aplicação da caixa de ferramentas, são utilizados dados topográficos e batimétricos da Ilha Barreta, Ria Formosa (Sul de Portugal), obtidos no âmbito do projeto de investigação RUSH. A partir desta informação, procede-se à criação dos 4 tipos de dados de entrada essenciais para o presente estudo:

1. MDE – são necessárias três malhas encaixadas, cuja resolução aumenta da Malha 1 para a Malha 3:
 - a. Malha 1 – resolução 44.70 por 44.70 metros;
 - b. Malha 2 – resolução 18 por 18 metros;
 - c. Malha 3 – resolução 2 por 2 metros, em foco na área de estudo.
2. Parâmetros de onda (H_s , Q_b , T_p , DIR) – modelo numérico de propagação de ondas SWAN;
3. Pontos (x,y) de Origem e Fim de Perfil (para a criação de linhas de perfil);
4. Área de estudo (área zoom que permite focalizar na informação essencial a processar, com o objetivo de diminuir volume de dados na ferramenta e tempo de processamento).

O fluxo de criação e ordem para a obtenção dos dados de entrada a serem processados por *GeoGal* são ilustrados pela Figura 24.

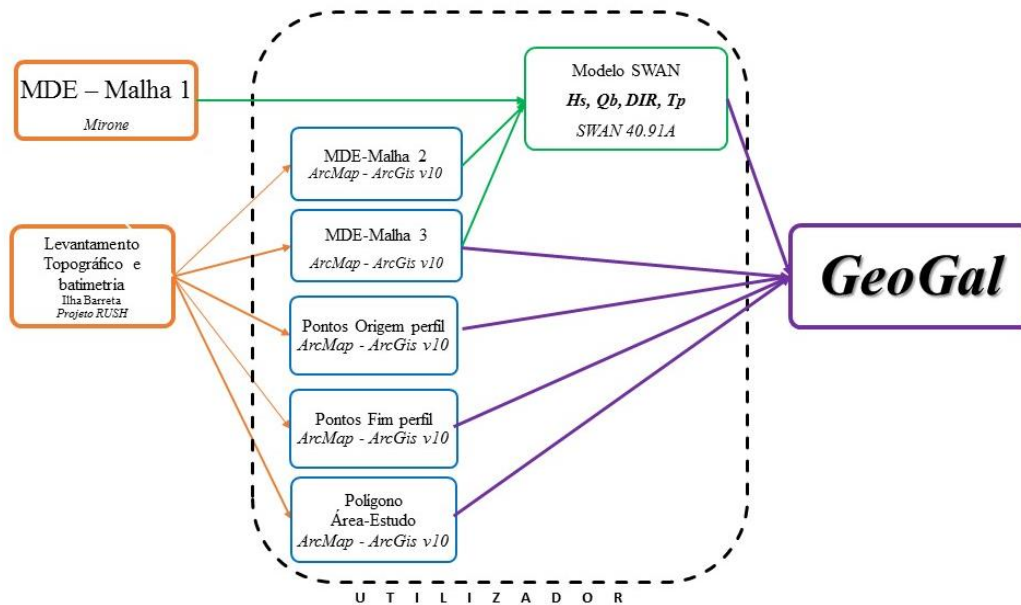


Figura 24: Esquematização do fluxo da criação dos dados necessários até a sua aplicação na caixa de ferramentas *GeoGal*. A laranja – fonte dos dados – Projeto RUSH e Mirone. A azul – criação de informação geográfica de diferentes tipos pelo utilizador. Modelos digitais de elevação (três malhas a diferentes resoluções representativas da área de estudo). Duas *Shapefiles* com geometria de pontos e outra de polígono. A verde – execução do modelo numérico de propagação de ondas SWAN. A roxo – dados de entrada para a aplicar.

4.1.1. Área Estudo

A área de estudo localiza-se na parte W da Ilha Barreta que faz parte do sistema de ilhas-barreira da Ria Formosa (Figura 25). A Ria Formosa é a unidade fisiográfica da região do Algarve (sul de Portugal) predominante no litoral E da região.

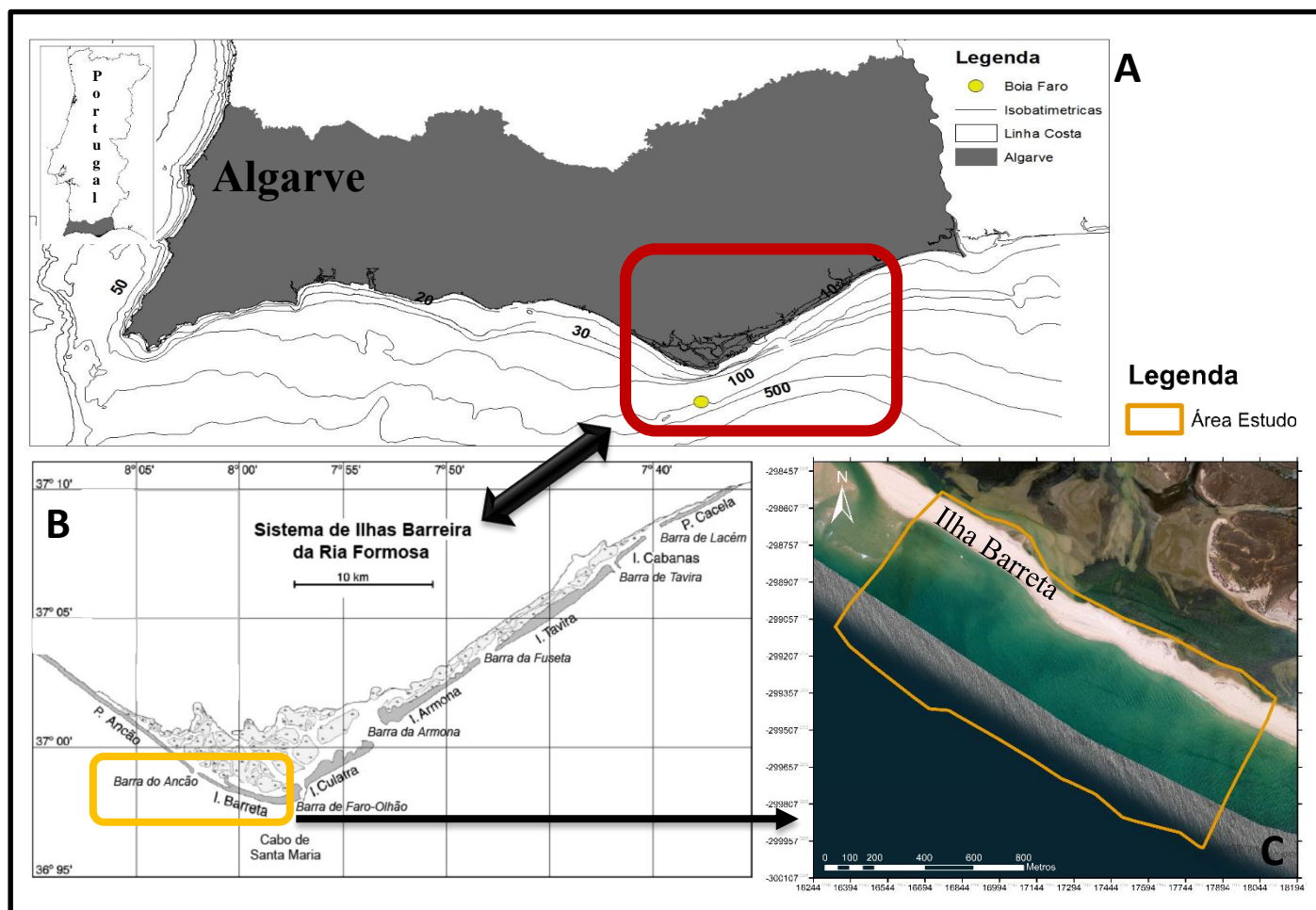


Figura 25: Enquadramento da Área de Estudo. A) Localização da Ria Formosa, na região do Algarve, Portugal. B) Sistema de ilhas barreira da Ria Formosa. C) Área de estudo, secção da Ilha Barreta.

O sistema de ilhas-barreira da Ria Formosa é, na atualidade, constituído por duas penínsulas, cinco ilhas barreira e seis barras de maré que totalizam uma extensão de 55/60 quilómetros, por uma área de 18,400 hectares (Matias, 2006).

O sistema de ilhas-barreira apresenta uma forma triangular que permite a sua divisão em dois flancos. O flanco W, com uma orientação de linha de costa NW-SE e um segundo flanco E, com uma orientação de linha de costa NE-SW. O flanco Oeste é constituído pela Península do Ancão (limite W do sistema) e parte da Ilha da Barreta. O

flanco E é constituído pela Península de Cacela (limite E do sistema) e pelas Ilhas da Barreta, Culatra, Armona, Tavira e Cabanas. As ilhas são separadas por barras de maré, de W para E, respetivamente: Ancão, Faro-Olhão, Armona, Fuzeta, Tavira e Cacela (Matias, 2006).

A área interior do sistema de ilhas-barreira é caracterizada, essencialmente, como um sistema lagunar constituído por uma densa rede hidrográfica (canais de maré e canais de navegação) sobre a influência das correntes de maré.

A dinâmica do sistema de ilhas-barreira é muito complexa; há que ter em conta três vetores principais que interagem entre si: a dinâmica sedimentar costeira, a dinâmica das barras de maré e a intervenção humana. A conjugação destes fatores promove grandes alterações no sistema (Bernardo *et al.*, 2003).

Acrescem a estas questões de ordem natural a ação antrópica responsável por um aumento da pressão humana nestes territórios (aumento do número de residências e de infraestruturas urbanas, estruturas de engenharia costeira, entre outros).

Na Ria Formosa existem cerca de 7.500 habitantes, sendo que este número triplica durante o Verão. Em 2001 a população residente nas ilhas barreira – segundo números oficiais – era de 1082 habitantes (Censo, 2011) concentrados, essencialmente, nas povoações da Culatra, Praia de Faro, Hangares, Farol, Armona e Fuzeta. As principais atividades desenvolvidas pela população residente na Ria Formosa relacionam-se com a pesca, mariscagem (apanha de marisco), moluscicultura, produção de sal, piscicultura e restauração/hotelaria.

A interação entre as atividades económicas e antrópicas – com a necessidade crescente da conservação da natureza – leva a que a aplicação de medidas de segurança recaia, sobretudo, em ações que minimizem e previnam os impactos negativos.

4.1.1.1. Caraterização Oceanográfica

O sistema de ilhas-barreira da Ria Formosa encontra-se sujeito ao regime de marés mesotidal com uma amplitude média de maré de 2 m que, em marés vivas, pode atingir 3.5 m (Matias, 2006). O sistema está sobre a influência de um clima de agitação marítima dominado – em 71% de ocorrência – por ondas de W-SW. As ondas oriundas de SE são de curtos períodos – com uma frequência de ocorrência de 23% –, geradas por

ventos regionais localmente designados por “Levante” com uma altura significativa (H_s) média anual da onda ao largo de 1 m e com um T_p médio de 8,2 segundos (Costa *et al.*, 2001). A forma triangular do sistema de ilhas-barreira apresenta duas áreas com diferente exposição à ação das ondas. O lado W está diretamente exposto a ondas mais energéticas e dominantes de W-SW, mas protegido da ação das ondas de E e SE. O lado E do sistema está exposto a ondas de Levante e protegido da ondulação dominante W-SW, que atinge parte do sistema já muito refratada.

Na costa sul de Portugal são considerados eventos de tempestade quando H_s apresenta valores na ordem dos 3 m (Pessanha *et al.*, 1981), o que corresponde a 1% das ocorrências registadas entre 1986 a 1933 (Costa, 1994). É de salientar que as ondas de tempestade de SW têm uma H_s média maior do que as de tempestade de SE (Costa, 1994). A SE temos um valor típico de 5 m correspondendo a um período de retorno de tempestades estimado a 50 anos, enquanto que, do lado SW, com um valor de 5.7 m é estimado um período de retorno a 5 anos (Pires, 1998).

4.1.1.2. Ilha da Barreta

A Ilha Barreta faz parte dos dois flancos do sistema de ilhas-barreira na qual se encontra o Cabo de Santa Maria onde se dá a inflexão da orientação do sistema.

Entre 1947 e 2001, o comprimento da Ilha Barreta oscilou entre os 5.000 e os 9.200 metros de acordo com a posição da Barra do Ancão (Matias, 2006). A Barra do Ancão foi artificialmente realocada em Junho de 1997 e segundo Vila-Concejo *et al.* (2003) atingiu o seu equilíbrio dinâmico natural como uma barra de maré em Maio / Julho de 1999. Desde então, tem migrado naturalmente para E em direção à Ilha Barreta. Desta forma, a parte W da Ilha da Barreta e a evolução da Barra do Ancão estão fortemente relacionadas. Assim, a ilha é sujeita aos processos dinâmicos resultantes da presença da Barra do Ancão a qual funciona como “armadilha sedimentar” o que dá origem à erosão e recuo da linha de costa, baixa elevação sem presença de vegetação e, frequentemente, sujeita a galgamento (Matias *et al.*, 2009).

O extremo E da Ilha da Barreta foi estabilizado, artificialmente, pelo molhe Oeste da Barra de Faro-Olhão que induziu – após 12 anos de construção – o avanço da linha de costa em cerca de 220 m (Bettencourt, 1985). Nesta zona, a ilha é composta por

um extenso e propagante corpo dunar com várias cristas e já densamente ocupado por vegetação.

Na área de estudo, os principais ambientes sedimentares geomorfológicos correspondem a: uma face de praia refletiva (do lado do mar); uma berma de praia (apenas existente durante épocas de fornecimento sedimentar); a existência de planícies e um extenso terraço até ao canal no limite terrestre. É modelado pelos processos de espraiamento da onda e galgamento frequentes durante o inverno e na ocorrência de tempestades. Em épocas de boas condições meteorológicas, esta superfície é modelada pelo vento com o desenvolvimento de dunas embrionárias e, em alguns casos, colonizadas por vegetação rasteira.

4.1.2. Informação Geográfica da Área Estudo

Os levantamentos topográficos e batimétricos foram realizados com o objetivo da aquisição de dados de campo que permitam avaliar a variação longilitoral (ao longo do litoral) da morfologia submersa, da morfologia de praia, e da morfologia do corpo dunar, resultante ou não, da ocorrência de galgamento.

Foram realizados dois tipos de levantamentos topo-batimétricos:

1) levantamento da zona envolvente à área de estudo denominado por Levantamento de Referência (em condições de pré-galgamento);

2) levantamento focalizado na área de estudo denominado por Levantamento Barreta.

O Levantamento de Referência foi formado por cerca de 45 perfis transversais em alinhamento com a ilha barreira com um espaçamento de 200 m até uma profundidade aproximada de 25 m, ilustrado na *Figura 26 – A*. O levantamento topográfico – que abrange também a Barra do Ancão – foi realizado numa extensão longilitoral de cinco quilómetros durante o período de maré viva em baixa mar com a finalidade de abranger a maior extensão de praia possível. O Levantamento da Barreta, visível na *Figura 26 – B*, foi realizado executando 24 perfis transversais à ilha cobrindo toda a extensão da barreira desde a zona lagunar até à praia, durante a maré baixa. A distância entre perfis é de aproximadamente 67 m para uma extensão total de 1600 m (isto é, 24 perfis). Durante o

levantamento topográfico foi ainda medido o alinhamento de *runup* máximo (na ausência de galgamento) e, quando há ocorrência do fenómeno, o limite máximo atingido pelo galgamento ao longo da ilha. Estes alinhamentos foram reconhecíveis no campo por diferenças na granulometria da areia, tom da areia (diferenças no teor de humidade), alinhamentos de detritos ou conchas e, só raramente, por estruturas sedimentares superficiais. Estas, entre outras informações – recolhidas em campo sobre a variabilidade da morfologia da ilha barreira – são importantes para a construção de mapas geomorfológicos. O mesmo perfil longitudinal serviu para a validação dos resultados obtidos para o Potencial de Galgamento pela ferramenta **GeoGal**. Este perfil permite a identificação dos sectores da zona de estudo – onde ocorre ou não galgamento – e o mesmo vai permitir avaliar a qualidade e a fiabilidade da metodologia aplicada e dos resultados obtidos.

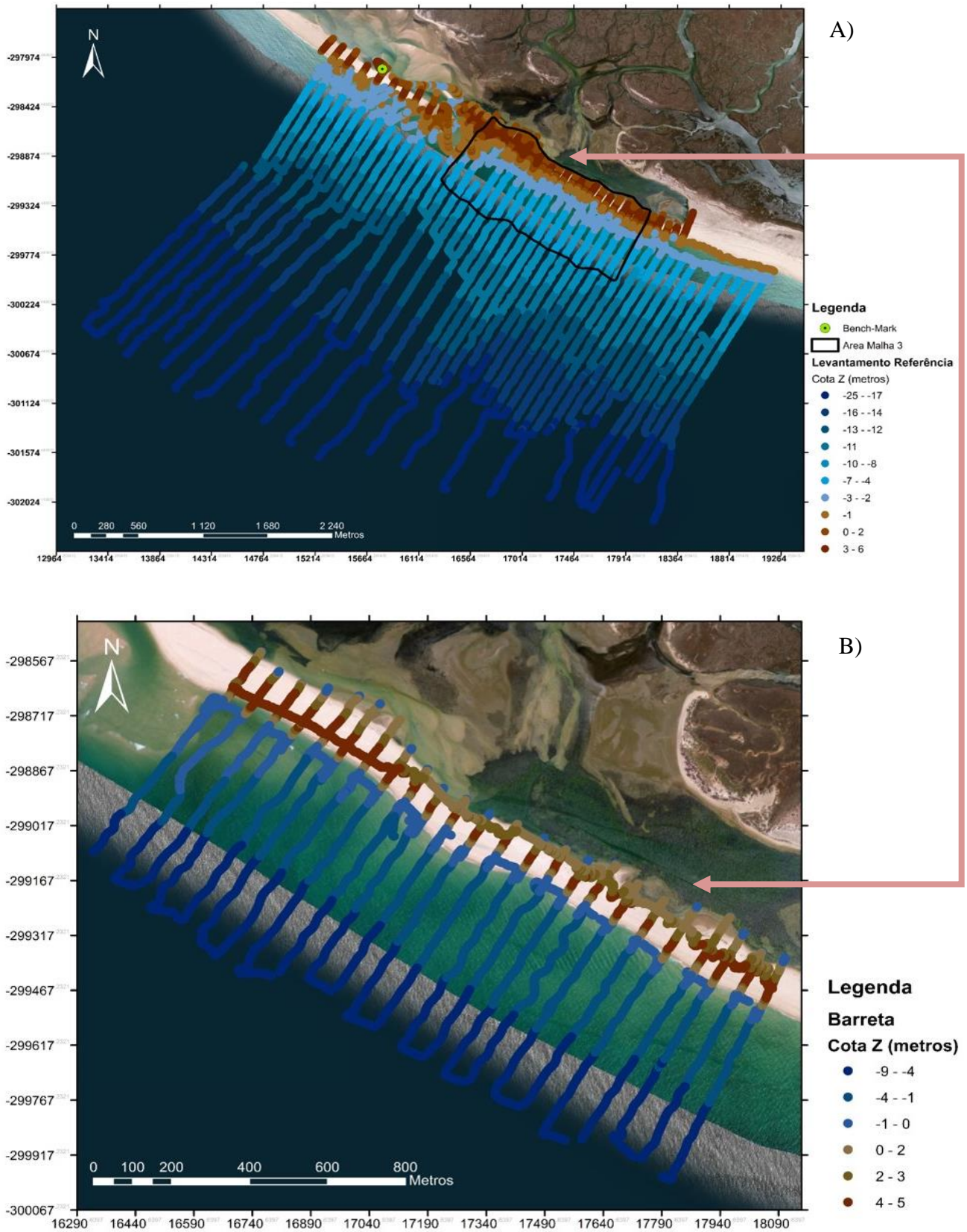


Figura 26: Representação da distribuição espacial dos pontos xyz amostrados para a área de estudo. A) Levantamento de Referência. B) Levantamento Barreta.

Os perfis batimétricos seguem a orientação dos perfis topográficos até uma profundidade de cerca de menos 10 a menos 12 m do nível médio do mar (NMM). A forma de aquisição dos dados pode ser considerada como uma amostragem semi-regular (Figura 26) uma vez que, se processa segundo perfis previamente definidos e sobre a variação de um fenómeno de interesse espacialmente variável.

O equipamento utilizado para o levantamento consistiu num GPS diferencial (unidade móvel *Trimble R6*) a funcionar em modo cinemático (*RTK-DGPS*), acoplado a uma eco-sonda de feixe único (*Echotrac CV 100 - Odom Hydrographic System, Inc.*) com um transdutor a 200 kHz, sincronizados por um *software* de navegação *Hypack (Hypack® 2011 - Coastal Oceanographics, Inc.)*. Na Figura 27 é possível visualizar a interligação dos vários equipamentos utilizados em campo.

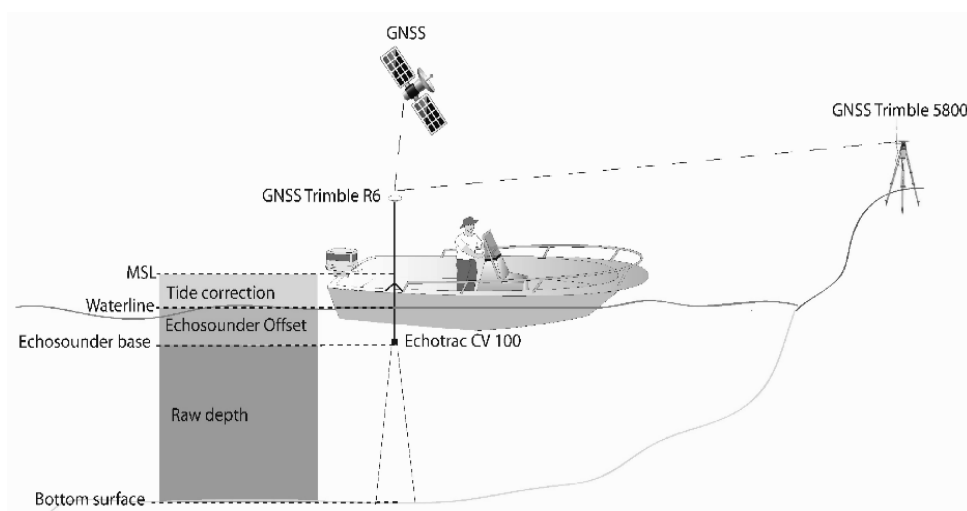


Figura 27: Ilustração esquemática do equipamento utilizado para o levantamento batimétrico pelo Projeto RUSH. Equipamento utilizado no levantamento batimétrico. Adaptado de: Horta *et al.* (2014)

O Hypack possui uma interface gráfica que recebe e integra, em tempo real, os dados de profundidade da eco-sonda, os dados de elevação *RTK-DGPS* e as correções em tempo real da posição e altura em relação à unidade GPS fixa, esquema ilustrativo na Figura 28.

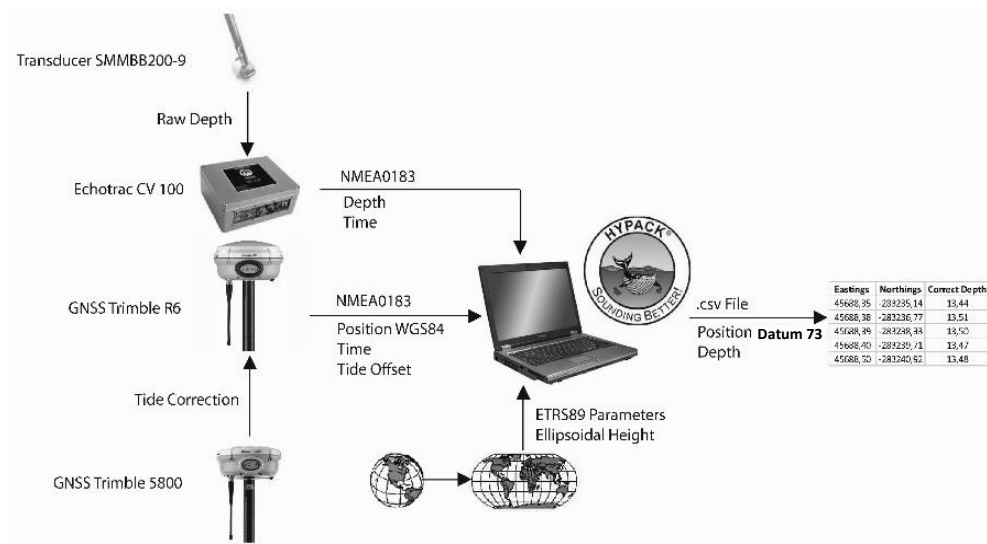


Figura 28: Ilustração esquemática do equipamento e *software* utilizado para o levantamento batimétrico pelo Projeto RUSH. Integração da informação pelos Equipamentos e o resultado final. Adaptado de Horta *et al.* (2014)

Este método requer o posicionamento de um ponto base – *benchmark* – usado como controle de posição (unidade base fixa, *Trimble 5800*) em terra (Figura 27). A correção diferencial em tempo real da posição e a altura relativamente ao elipsóide de referência é realizada a partir de uma ligação rádio entre a unidade base e a móvel.

Os dados topográficos e batimétricos são registados a 1Hz, segundo o sistema de coordenadas cartesianas xyz no sistema de referência geodésico local *Datum 73 Hayford Gauss IPCC* (Tabela 2).

Tabela 2: Descrição síntese da Informação Geográfica de entrada em pré-processamento.

Nome	Aquisição	Data Aquisição	Tipo de dados	Sistema de Referência
Levantamento Referência	<i>RTK-DGPS (1Hz)</i>	Topografia 4 Junho 2012	xyz	<i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i>
		Batimetria 5 Junho 2012		
Barreta	<i>Eco-sonda Odom (1Hz) Hypack</i>	Topografia 2 Outubro 2012		
		Batimetria 3 Outubro 2012		

A execução do modelo numérico de propagação de ondas – SWAN é segundo 3 malhas:

- Malha 1, obtida com recurso à informação disponibilizada pelo *software open source Mirone*;
- Malha 2, criada com base em dados topográficos e batimétricos levantados durante os dias 4 e 5 de Julho de 2012 (Figura 26 – A) – nos trabalhos de campo do Projeto de Investigação *RUSH* – Levantamento de Referência;
- Malha 3, criada com base em dados topográficos, levantados no dia 2 de Outubro de 2012, e batimétricos, no dia 3 de Outubro de 2012 (Figura 26 – B) – nos trabalhos do Projeto de Investigação *RUSH* – Barreta.

É dado maior peso de importância à qualidade do modelo de interpolação de MDE a usar pelo modelo de propagação de ondas SWAN e pela ferramenta.

4.1.3. Modelos Digitais de Elevação (MDE)

O pré-processamento inicia-se com a seleção do método de interpolação que melhor gera MDE necessários a utilizar pela ferramenta e na execução do modelo numérico SWAN. A Figura 29 resume as etapas de trabalho descritas neste subcapítulo. Estas iniciam-se com o tratamento dos dados topográficos e batimétricos de forma a estarem aptos para a aplicação dos métodos de interpolação para a geração de superfícies e posterior seleção por análise estatística – validação cruzada.

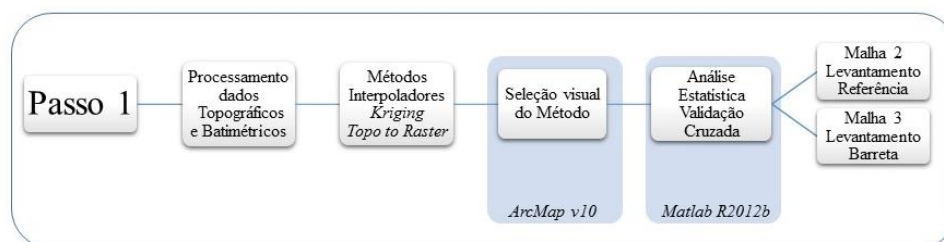


Figura 29: Esquema ilustrativo dos processos de trabalho realizados na Etapa 1 e 2, para a obtenção das malhas desejadas a partir dos dados disponibilizados pelo Projeto RUSH.

Os modelos digitais de elevação obtidos são a principal base de informação para:

1. A execução do modelo numérico SWAN. O modelo SWAN é executado segundo malhas regulares (Figura 30) encaixadas cuja resolução aumenta, progressivamente, em direção à malha final (que se focaliza da representação da área de estudo) da qual se extrai o resultado final da propagação de ondas gerada. Atendendo a esta característica, o modelo é executado – num modo estacionário – sobre três malhas regulares de MDE, a Malha 1 (obtida com recurso ao *software Mirone*), a Malha 2 e a Malha 3 (ambas processadas por métodos de interpolação disponíveis em *ArcMap – ArcGIS v.10*);
2. A execução da caixa de ferramentas *GeoGal*. A Malha 3 - de entrada no modelo SWAN - é obrigatoriamente a mesma malha que dá entrada na ferramenta para a extração de informação (curvas de nível e pendor na área de estudo). Desta forma, pretende-se manter consistência na informação a utilizar e a criar.

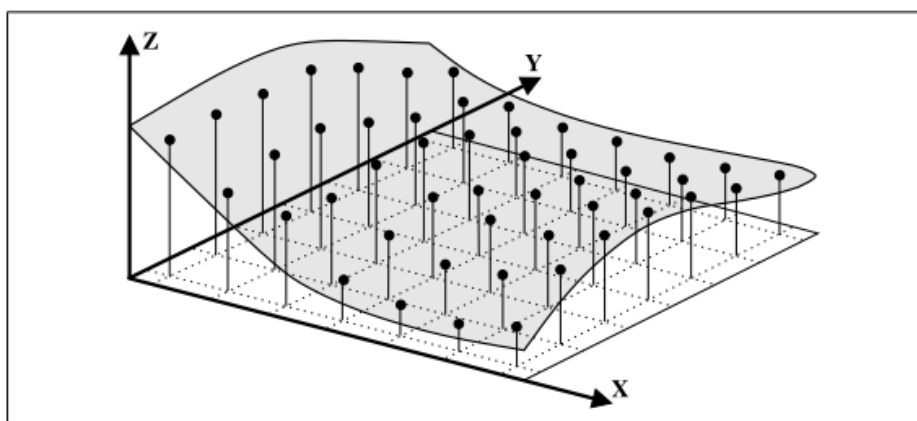


Figura 30: Exemplo ilustrativo de uma superfície gerada usando um modelo de malha regular.

Pretende-se representar as superfícies em análise, com o maior grau de rigor possível, para que possam ser usadas de forma segura pelo modelo numérico SWAN e que, a partir delas, se possa extrair informação de natureza espacial, como a posição das alturas máximas da crista (por perfil), medidas de distância, pendor, curvas de nível e orientação.

MDE são modelos tridimensionais produzidos a partir de dados digitais de elevação. A criação digital de uma superfície, representa a reconstrução da uma superfície real pelo uso de modelos de aproximação ou interpolação de dados pontuais, com

coordenadas x, y e z, obtidas em campo. O método mais apropriado a aplicar depende de variáveis como: quantidade, resolução e escala dos dados disponíveis (amostrados sobre o terreno), da natureza da superfície a ser modelada (relevo mais plano ou irregular), e da complexidade das técnicas que serão utilizadas na análise e manipulação do MDE.

A qualidade do MDE está diretamente ligada à distribuição espacial dos pontos amostrados. O facto de a distribuição espacial dos pontos utilizados não estar relacionada com as características do terreno modelado, pode gerar incongruências, como um grande número de dados redundantes em áreas mais planas, não conseguir representar de uma forma precisa áreas com relevos mais complexos, e\ou representar características do terreno que sejam menores que o espaçamento da malha.

Pretende-se gerar superfícies contínuas (malhas) para a produção de modelos batimétricos do fundo marinho juntamente com dados de topografia. Há que definir um método de interpolação de superfícies, que atribua, a partir dos pontos conhecidos, valores a pontos desconhecidos. No presente projeto para a criação dos MDE recorreu-se a interpoladores estocásticos que fazem uso da teoria da probabilidade e incorporam critérios estatísticos na determinação do peso atribuído aos pontos amostrais para o cálculo das interpolações.

A representação do MDE como dados *raster* ou *vetoriais* nos SIG permite a execução de análises topográficas/geomorfológicas enquadradas ao que se deseja estudar, uma vez que o utilizador pode manipular as variáveis de geração dos MDE. Desta forma, é necessário analisar qual o método de interpolação para a geração de superfícies de elevação disponíveis no *software ArcGIS - ArcMap v.10* que melhor se ajusta aos critérios de levantamento de dados topo-batimétricos.

Atendendo às pesquisas e aos testes realizados com os métodos geradores de superfícies disponíveis pelo *ArcGIS Desktop v.10*, aferiu-se que, o método de interpolação *Ordinary Kriging* e o método de interpolação espacial *Topo to Raster*, são os que melhor se adequam á tipologia de dados para a geração de MDE e se obterem as Malhas 2 e 3, Tabela 3.

Tabela 3: Síntese geral da informação dos dados que se utilizaram para a criação das Malhas e a respetiva caracterização das Malhas 1, 2 e 3.

Nome	Renomeação	Dados	Conversão Formato	Geometria	Atributos	Processamento	Formato	Perímetro (P) e Resolução (R) (metros)	Sistema de Referência
Algarve	<u>Malha 1</u>	netCDF	*.tif ASCII	-	Cota Z	-	-	P = 25524 + 16718 m R = 44,7 x 44,7 m	Datum 73 Hayford Gauss IPCC
Levantamento Referência	<u>Malha 2</u>	xyz	<i>Shapefile</i> (* <i>.shp</i>)	Pontos	ID, Coordenada X, Coordenada Y, Cota Z.	Métodos de interpolação geoestatísticos para malhas regulares. Ordinary Kriging vs Topo to Raster	*.tif ASCII	P = 5994 + 4410 m R = 18 x 18 m	
Levantamento Barreta	<u>Malha 3</u>							P = 1485 + 1205 m R = 2 x 2 m	

4.1.3.1.Preparação dos dados para a criação de MDE

Antes de se iniciar o processo da aplicação dos métodos de interpolação foi necessário preparar os dados para a criação da Malha 3 regular. Isto porque para uma boa propagação entre malhas no modelo numérico de propagação de ondas SWAN, é necessário que as zonas de fronteira sejam o mais coincidentes possível em relação aos seus valores de elevação, isto é, uma transição altimétrica “suave” entre malhas. Para tal, para que as fronteiras da Malha 3 tenham dados reais (evitando-se dados extrapolados pelos modelos de interpolação), esta é gerada com o Levantamento da Barreta (Figura 26 – B) e completada com dados provenientes do Levantamento de Referência (Figura 26 – A). Com recurso ao *ModelBuilder, ArcGISTM*, é construído o processo para obter a Malha 3, como ilustrado na Figura 31. Para tal, são compilados os seguintes processos:

1. ***Aggregate Points*** – gera a área envolvente do levantamento da Barreta, corresponde à união dos pontos xyz mais exteriores do levantamento, nomeada por Área de Estudo (Figura 32, área a preto);

2. ***Erase Point***
 - i. criando-se um polígono com as dimensões da Malha 3, extraem-se os pontos xyz do Levantamento de Referência nele incidentes;
 - ii. os pontos xyz do Levantamento de Referência que estejam dentro da Área de Estudo (criada no passo 1) são removidos/eliminados;

3. ***Merge*** – esta permite compilar *shapefiles* com o mesmo tipo de informação geográfica, ou seja, com a mesma geometria e com os mesmos atributos. Obtém-se uma única *shapefile* de geometria de pontos, com a informação do Levantamento da Barreta completo exteriormente (menos a norte – lado Lagunar) com os dados do Levantamento de Referência (Figura 32), denominada Barreta_Completa.

Compilação Malha 3

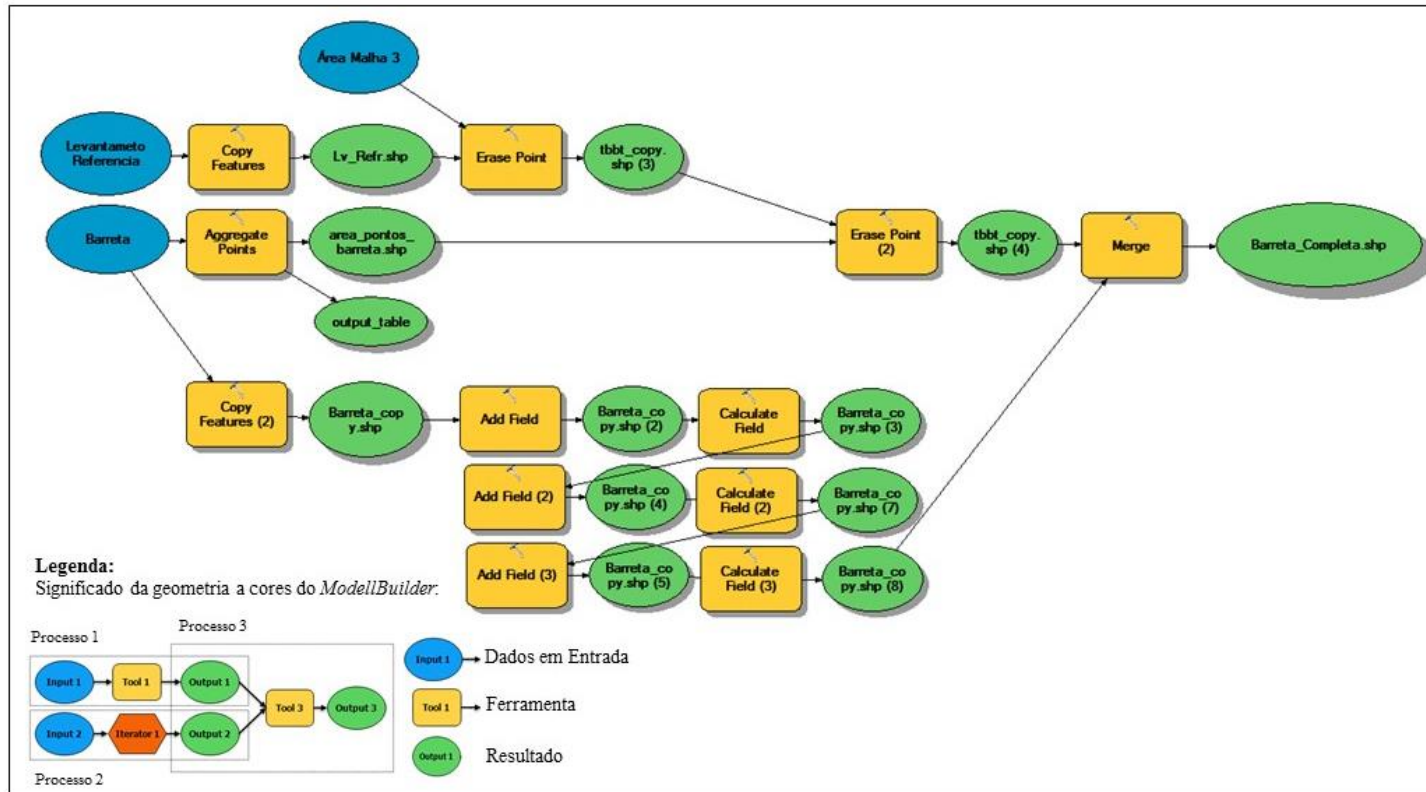


Figura 31: Processo desenvolvido em *ModelBuilder* para a compilação dos dados topográficos e batimétricos entre Levantamento de Referência e Barreta. Obtendo-se uma nova *shapefile* de pontos denominada Barreta_Completa.

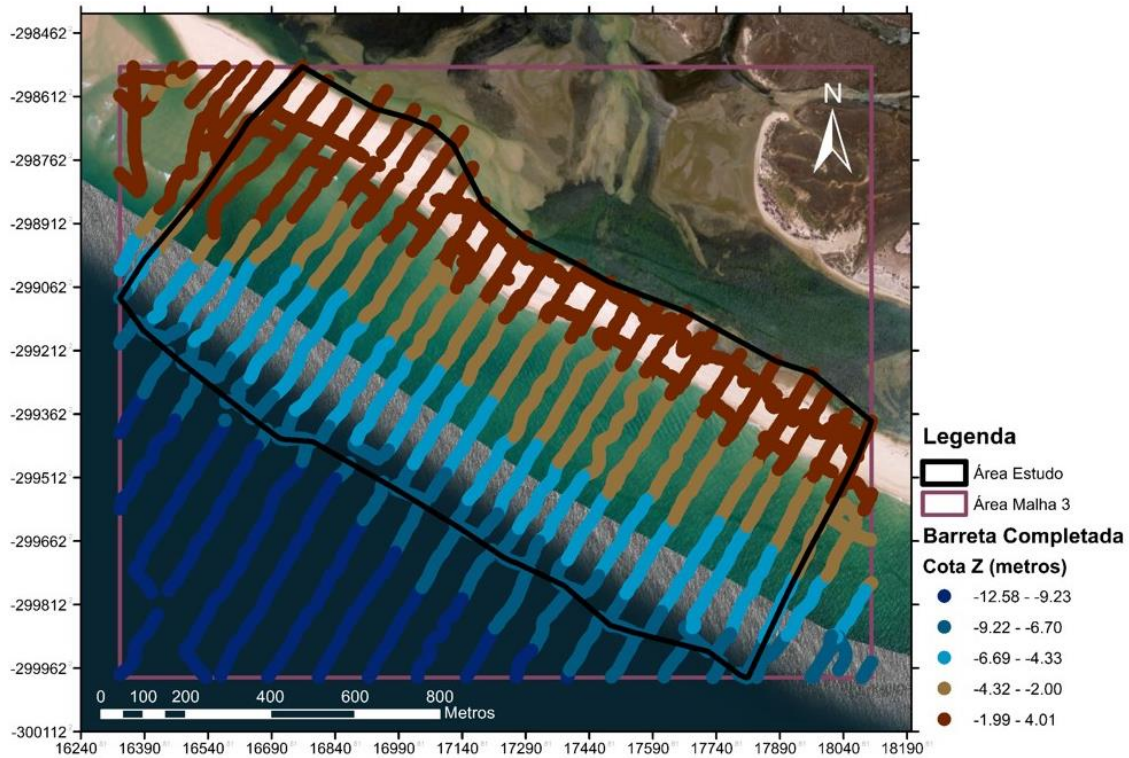


Figura 32: Exemplificação do resultado final da criação da *Shapefile* Barreta_Completa. A preto, a Área de Estudo, corresponde aos limites exteriores do levantamento da Barreta realizados. A roxo, representa a área de Malha 3 a criar.

4.1.3.2. Métodos de interpolação – *Ordinary Kriging* versus *Topo to Raster*

Dos métodos geostatísticos disponíveis, foram selecionados os métodos de interpolação *Ordinary Kriging* e *Topo to Raster* (Figura 33) como sendo os mais relevantes a serem testados. Seguidamente efetua-se uma breve descrição dos métodos de interpolação, quanto aos seus conceitos e a sua respetiva aplicação.

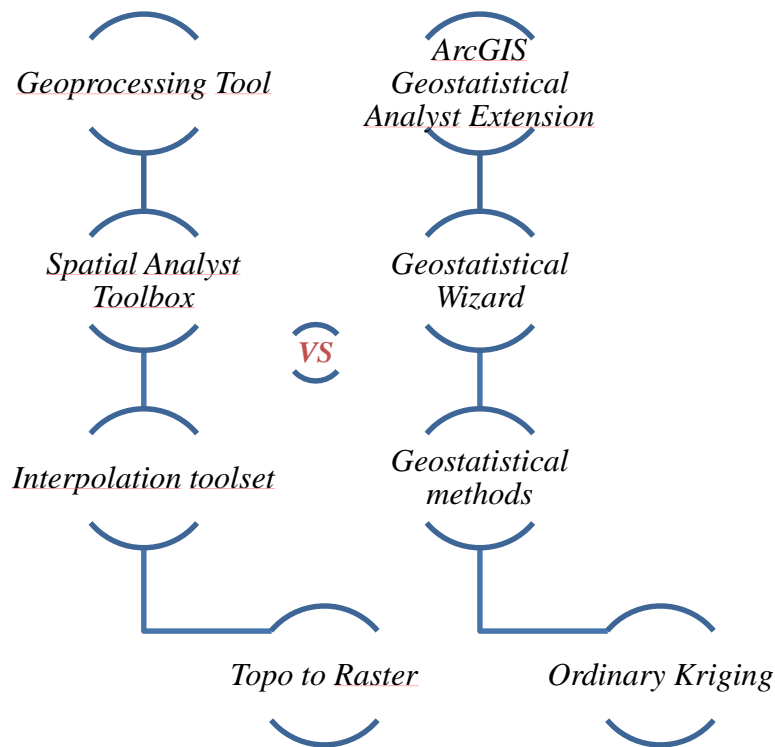


Figura 33: Esquema da localização dentro do *software ArcMap v.10* dos dois métodos de interpolação, *Ordinary Kriging* e *Topo to Raster*.

4.1.3.2.1. Ordinary Kriging

O nome de *Kriging* designa um conjunto de algoritmos de regressão linear, com base no critério do inverso mínimo do quadrado da distância.

A extensão *Geostatistical Analyst toolbar* permite aceder ao *Geostatistical Wizard*, que disponibiliza um conjunto dinâmico de metodologias permitindo a construção e a avaliação do desempenho do método de interpolação escolhido. Permite, durante a construção do método de interpolação, a integração e o ajuste de parâmetros para uma melhor otimização do desenvolvimento do modelo de interpolação. O *Geostatistical Wizard* fornece várias técnicas de interpolação, divididas segundo dois tipos principais, as de carácter determinístico e geo-estatístico. Um dos métodos geo-estatísticos, *Kriging*, foi o escolhido para produzir as superfícies, segundo um pressuposto *Ordinary*, Tabela 4.

Tabela 4: Tabela síntese com os conceitos selecionados no método de interpolação *Ordinary Kriging*.

Nome	Dados de origem	Interpolação <i>Ordinary Kriging</i> Condições Importantes	Tamanho Célula/pixel	Resultado final
<u>Malha 2</u>	Levantamento Referência	<i>Semivariogram</i> <i>Type Stable</i> <i>Anisotropy</i>	18 x 18 metros	Figura 35
<u>Malha 3</u>	Barreta		2 x 2 metros	Figura 36

Exemplificação, para o Levantamento de Referência, da aplicação do método de interpolação *Ordinary Kriging*, ilustrada com imagens da interface do programa, que permite a seleção do método que se pretende utilizar, tal como os respetivos dados a interpolar e seleção de variáveis, (Figura 34).

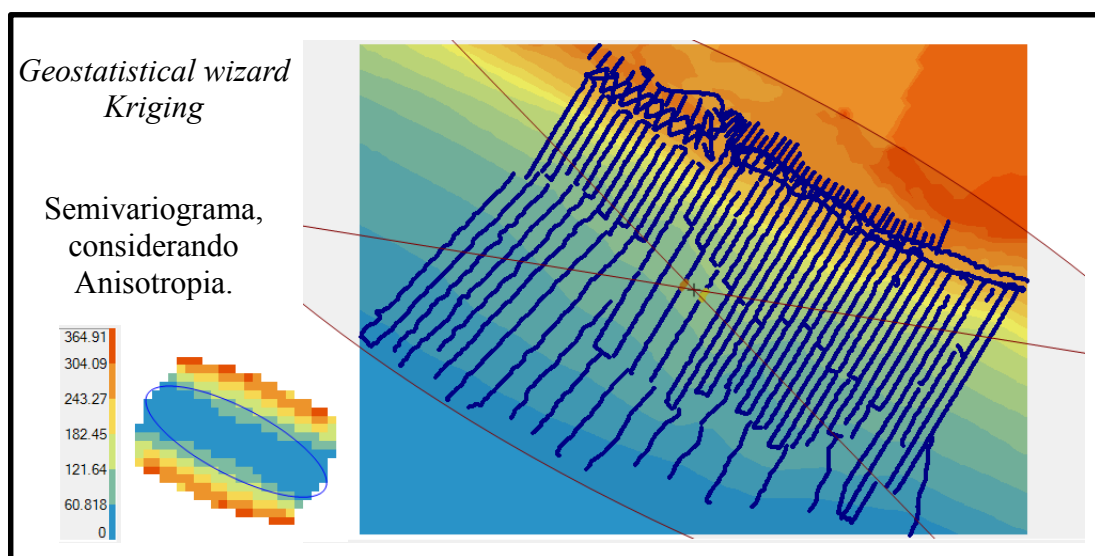


Figura 34: Ilustração que demonstra o ajuste dos critérios estatísticos à tipologia dos dados topográficos e batimétricos para a criação de Modelos Digitais do Terreno para o Levantamento de Referência na ferramenta *Geostatistical Wizard*, segundo o método interpolador *Ordinary Kriging*. (isto é, semivariograma e a anisotropia).

O resultado final da aplicação de *Ordinary Kriging* sobre o levantamento de Referência tem como resultado final a Malha 2, ilustrada na Figura 35, e sobre o levantamento da Barreta, a Malha 3, ilustrada na Figura 36.

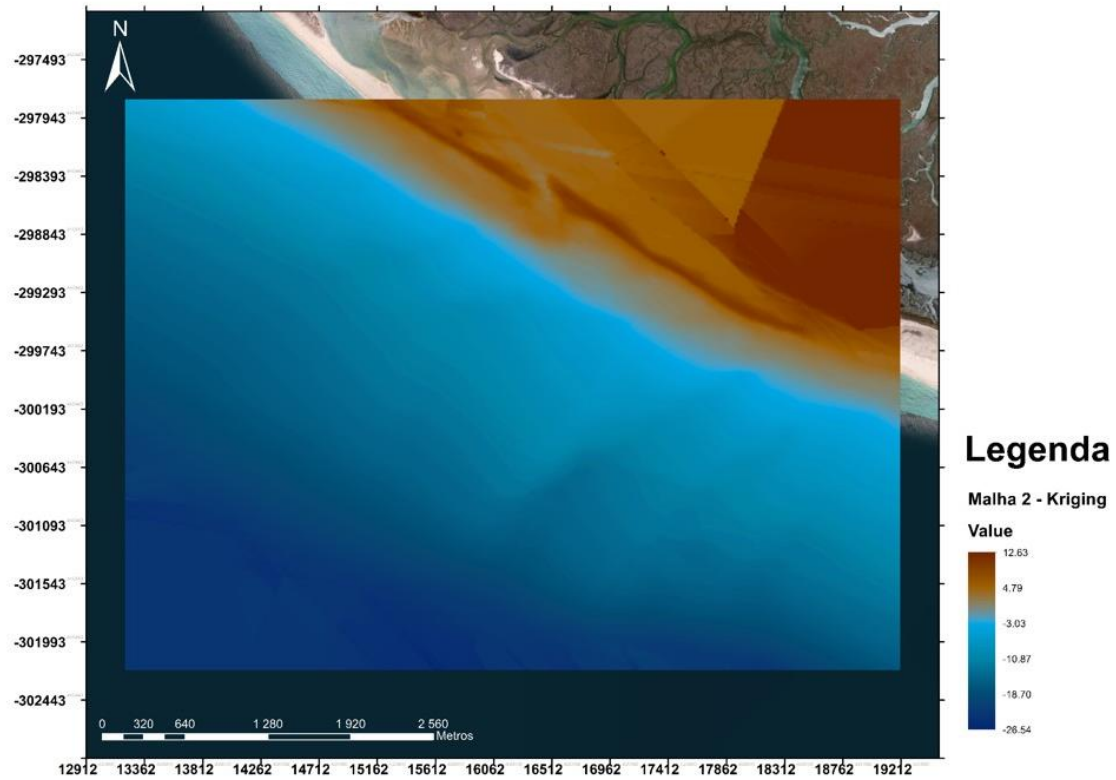


Figura 35: Malha 2, dados de origem Levantamento de Referência. Aplicação do Método de interpolação *Ordinary Kriging*.

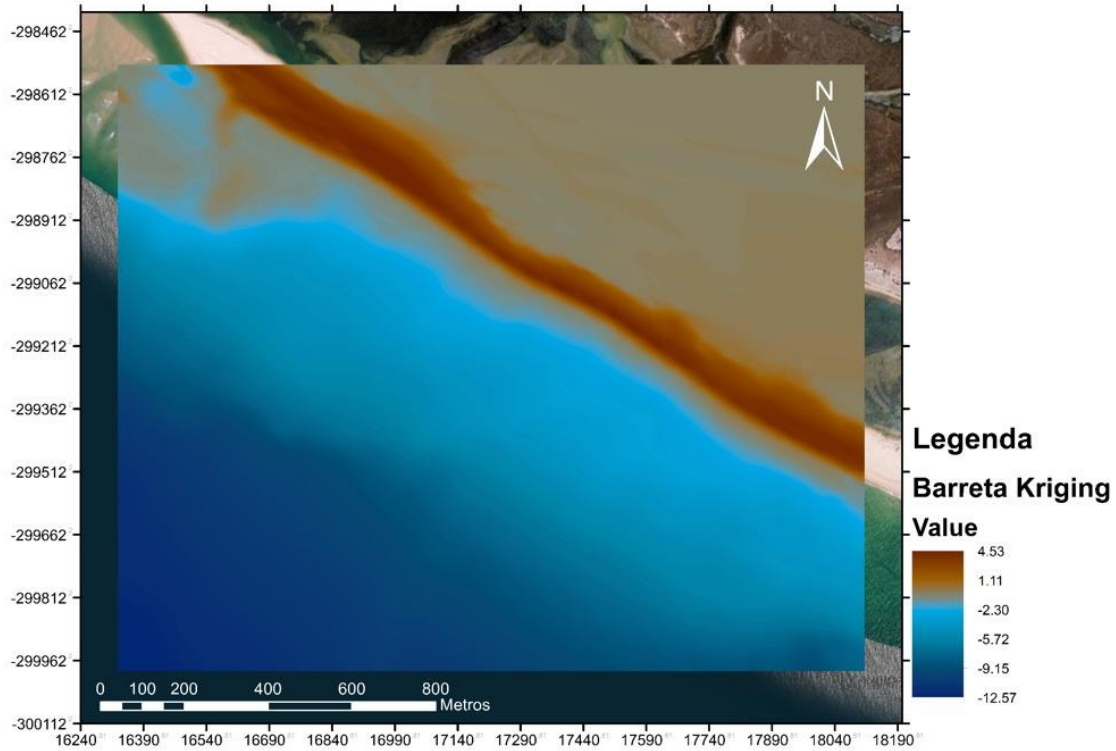


Figura 36: Malha 3, dados de origem Levantamento de Referência. Aplicação do Método de interpolação *Ordinary Kriging*.

4.1.3.2.2. Topo to Raster

A ferramenta *Topo to Raster* é um método de interpolação especificamente projetado para a criação de MDE hidrológicos. Baseia-se no programa *ANUDEM*, desenvolvido por Michael Hutchinson (Hutchinson, 1991). Este processo de interpolação foi concebido para tirar vantagem de quase todos os tipos de dados de entrada habitualmente disponíveis e das características conhecidas das superfícies de elevação. Este método utiliza a técnica de interpolação de diferencial finito, sendo otimizado para ter a eficiência computacional dos métodos de interpolação locais, como a interpolação ponderada pelo inverso das distâncias (IDW), sem perder a continuidade da superfície pelos métodos de interpolação globais, como *Kriging* e *Spline*.

Na Tabela 5 sintetizam-se os parâmetros selecionados para a aplicação do método *Topo to Raster*.

Tabela 5: Tabela síntese com os conceitos selecionados no método de interpolação *Topo to Raster*.

Nome	Dados de origem	Interpolação <i>Topo to Raster</i> Condições Importantes	Tamanho Célula/pixel	Resultado Final
<u>Malha 2</u>	<i>Levantamento de Referência</i>	<i>Drainage enforcement - NO_ENFORCE</i> <i>Primary type of input data - SPOT</i>	18 x 18 metros	Figura 37
<u>Malha 3</u>	Barreta		5 x 5 metros	Figura 38

A aplicação do método de interpolação *Topo to Raster* sobre o levantamento de Referência tem como resultado final a Malha 2, ilustrada na Figura 37, e sobre o levantamento da Barreta, a Malha 3, ilustrada na Figura 38.

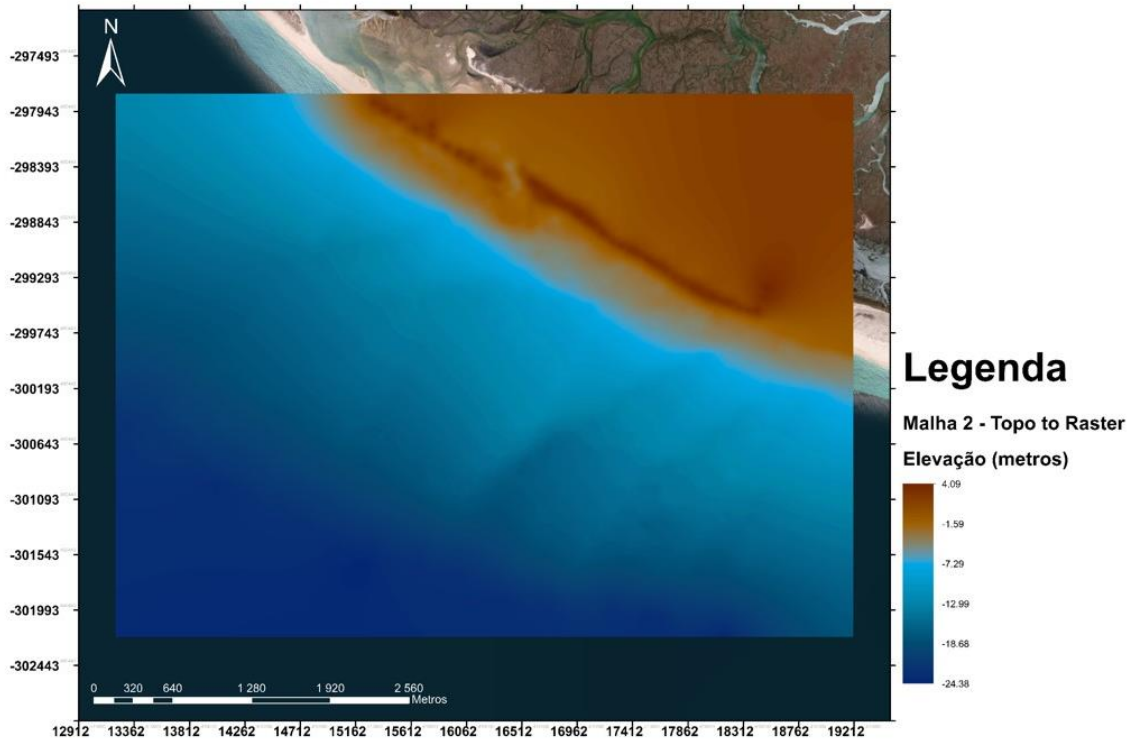


Figura 37: Malha 2 - dados de origem Levantamento de Referência. Aplicação do Método de interpolação *Topo to Raster*.

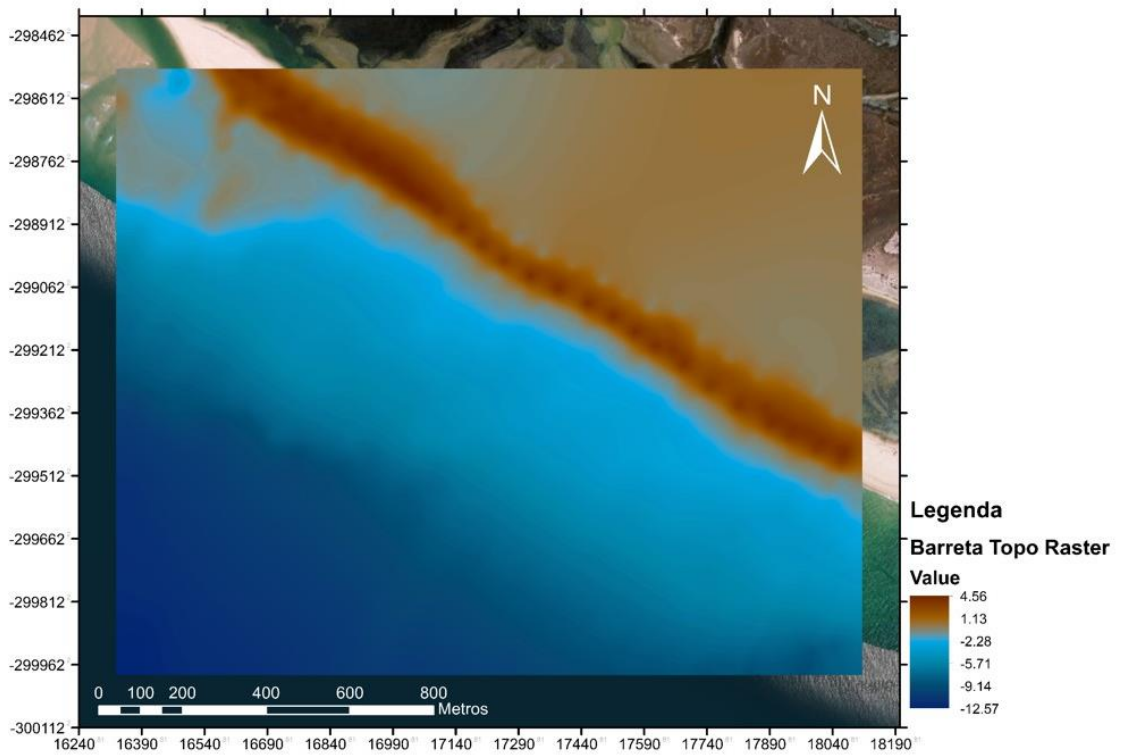


Figura 38: Malha 3 - dados de origem Levantamento Barreta. Aplicação do Método de interpolação *Topo to Raster*.

4.1.3.3. Seleção por teste estatístico – Validação cruzada

O método de interpolação *Topo to Raster*, não disponibiliza informação de análise estatística da superfície gerada. Para efetuar uma comparação passível de auxiliar a seleção do método de interpolação a usar, aplica-se uma metodologia comparativa baseada na validação cruzada. Para isso, os dados foram analisados usando estatísticas descritivas para verificar principalmente a discrepância e a normalidade de distribuição dos dados, por meio da média, desvio padrão, mínimo, máximo e coeficiente de variação.

Os dados obtidos por medição direta em campo são considerados como valores controlo de veracidade e qualidade. Segundo linhas perpendiculares aos perfis, mas paralela segunda a orientação da área de estudo, selecionam-se os pontos controlo que vão ser comparados com a informação dos ficheiros matriciais gerados pelos métodos de interpolação.

Nos testes de validação cruzada, procura-se analisar um conjunto de estatísticas que permitem comparar formalmente diferentes métodos:

- Erro Médio (EM) – deve estar perto de zero e indica se a estimação é ou não imparcial. No entanto este erro depende da escala dos dados;
- Raiz da Média Quadrada (RMQ) – raiz quadrada da média das distâncias quadradas da estimação à reta da regressão linear da validação cruzada. Este valor dá uma indicação da proximidade a que estão os valores estimados dos medidos. Quanto menor for, melhor é o método empregue;
- Média dos Erros Padrão (MEP) – Deve estar igualmente o mais perto possível de zero. Dá indicação de como está a ser tratada a variabilidade na estimação. Se a MEP estiver acima do RMQ está a ser sobestimada ($MEP > RMQ$) a variabilidade das estimações, caso contrário ($MEP < RMQ$) a variabilidade está a ser subestimada;
- Erro Médio Aferido (EMA) – é a média dos erros de estimação aferidos. Deve estar perto de zero, dá igualmente indicação da imparcialidade da estimação, mas agora não dependente da escala dos dados (erro aferido é o resultado da divisão do erro de estimação pelo seu erro de estimação padrão);

- Raiz da Média Quadrada Aferida (RMQ) – é outra forma de perceber a forma como está a ser tratada a variabilidade. Divide-se cada erro de estimação pelo seu erro padrão estimado. O resultado destas divisões deve ser, em média, semelhante, e a Raiz da Média Quadrada Aferida deve estar perto de um. Se este valor estiver acima de um, está a ser subestimada a variabilidade, caso contrário ($RMQ < 1$), está a ser sobrestimada.

Para verificar a fiabilidade das malhas criadas, aplica-se um teste estatístico de validação cruzada (uma vez que já é gerada no Passo 1 informação estatística sobre o método *Ordinary Kriging*, mas não para o método *Topo to Raster*), utilizando a aplicação *Curve Fitting (cftool)* disponibilizada pelo *software Matlab R2012b*. Esta aplicação permite uma análise exploratória de dados (ou superfícies) pré ou pós processados, com análises de regressões lineares, a aplicação de técnicas de interpolação ou alisamento de dados, entre outras funcionalidades. Após o processamento realizado pelo utilizador, a ferramenta permite a exportação dos gráficos obtidos com as respetivas análises estatísticas realizadas. Para realizar esta análise, comparam-se as diferenças no valor de Cota Z, dos dados de origem, num determinado ponto de controlo selecionado, com os de Cota Z produzidos pelos métodos de interpolação, para a mesma posição do ponto controlo. Com a aplicação *Curve Fitting*, faz-se a comparação entre os valores de Z segundo uma regressão linear, para se obter a equação da reta $y(x)=ax + b$, o respetivo valor de r^2 , o valor de RMQ e a representação dos valores residuais. Para a obter uma tabela com a posição (x, y) e o valor de cota Z dos pontos de controlo, com o respetivo valor de Cota Z da malha, procedeu-se da seguinte forma no *software ArcMap 10*:

1. É criada uma *shapefile* de geometria *polyline*, denominada de Perfil Extrativo. Perpendicularmente aos dados de origem, são traçadas linhas. O espaçamento entre estas linhas aumenta de terra para o mar, uma vez, que as formas de superfície se suavizam de terra para o mar, com o aumento da profundidade. Levantamento de Referência e Levantamento Barreta. Dá-se especial atenção à zona topográfica, do lado do mar, uma vez, que é a zona com maior variação geomorfológica e na qual se espera que os métodos geradores de superfícies apresentem piores resultados de interpolação de elevação. A qualidade da superfície nesta zona é importante pela influência que representa nos resultados obtidos no presente projeto. É a partir da

superfície gerada que se vão calcular parâmetros morfológicos relevantes para os cálculos de *runup* e determinação do impacto de tempestades. Com recurso ao *ModelBuilder*, é construído o processo para obter a tabela final com os valores de Z dos pontos de controlo *versus* os valores de Z extraídos da malha. A partir da intersecção entre a *shapefile* Perfil Extractivo e a *shapefile* Levantamento Referência, obtém-se uma nova *shapefile* de geometria de pontos. Com a ferramenta *Extract Values to Points*, adiciona-se à tabela de atributos o valor altimétrico da célula da malha coincidente com a posição do Ponto de Controlo. O resultado final é exportado no formato *.txt, para poder ser aberto pelo programa *Matlab* e analisado com recurso ao *Curve Fitting*. Este procedimento é feito para os dois MDE criados, o Levantamento de Referência e o Levantamento da Barreta, cujo resultado é apresentado na para o método de interpolação *Topo to Raster*. O procedimento foi realizado de igual forma para as duas malhas resultantes do método de interpolação *Ordinary Kirging*.

2. Na Figura 39 estão compilados os resultados da validação cruzada aplicada. Constata-se que os valores de r^2 em ambos os métodos de interpolação são semelhantes, sem uma variação numérica suficiente que permita fazer uma decisão. Porém, a comparação do valor obtido para o desvio médio da raiz quadrada dos erros (RMS), conduz à decisão de se optar pelas malhas geradas por *Ordinary Kriging* como método de interpolação.

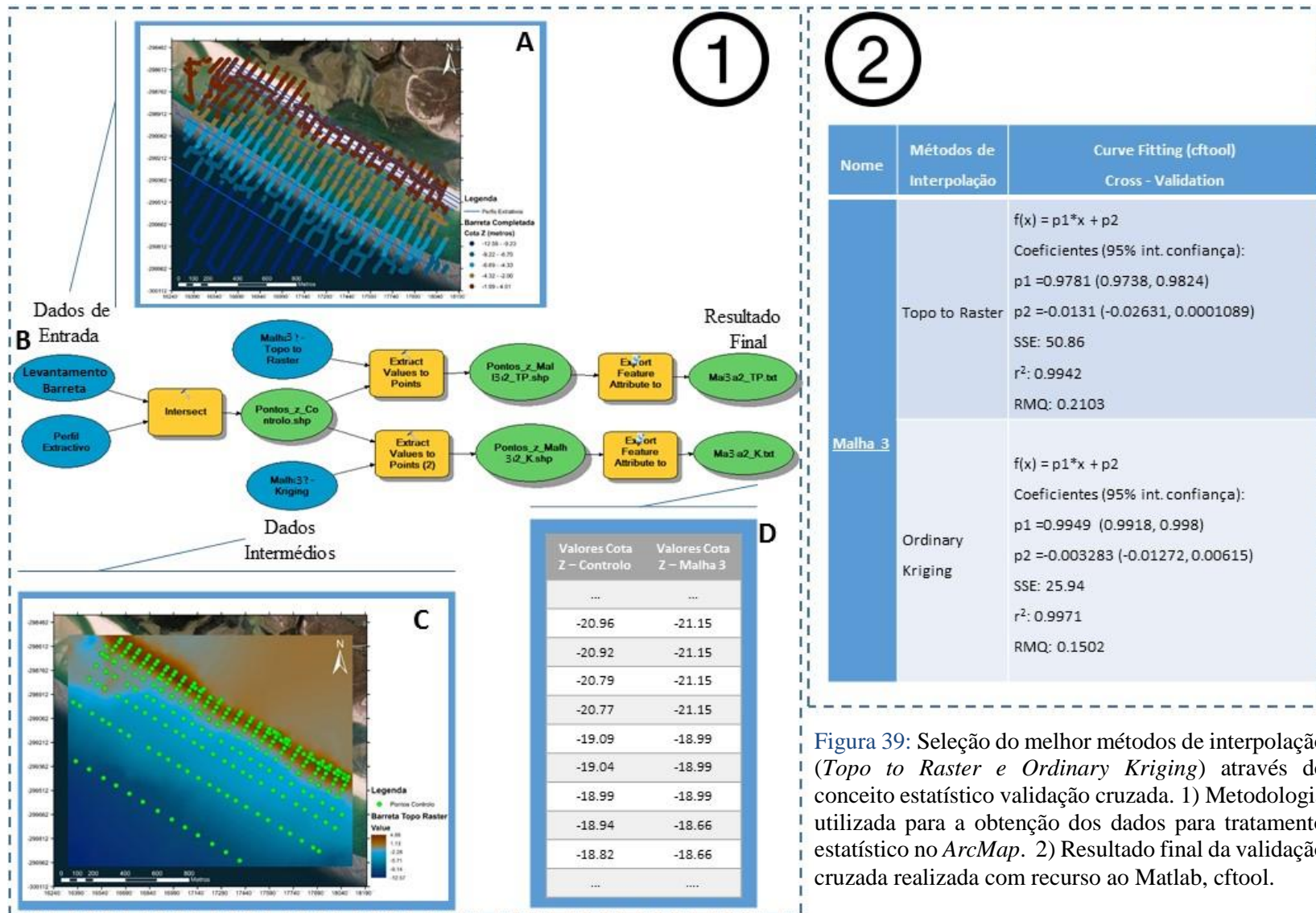


Figura 39: Seleção do melhor métodos de interpolação (*Topo to Raster e Ordinary Kriging*) através do conceito estatístico validação cruzada. 1) Metodologia utilizada para a obtenção dos dados para tratamento estatístico no *ArcMap*. 2) Resultado final da validação cruzada realizada com recurso ao *Matlab, cftool*.

4.1.4. SWAN

A geração da agitação marinha, para a área de estudo, segundo um dia teste, tem por base o modelo numérico de propagação de ondas SWAN (*Simulating WAVes Nearshore* (Booij *et al.*, 1999). Trata-se de um modelo de domínio público (*freeware*), em constante desenvolvimento pela *Delft University of Technology* da Holanda. É um dos modelos mais utilizados na geração e previsão da agitação marítima. É um modelo numérico de terceira geração, que permite o cálculo da evolução do espectro direcional da onda desde a zona ao largo até à zona costeira, obtendo-se os parâmetros caracterizadores da ondulação dos locais em estudo.

O modelo SWAN tem como principal objetivo resolver a equação de balanço espectral de variância, sem possuir à partida, nenhuma restrição em relação á forma do espectro. Neste tipo de modelos (*Phase Averaged*), a evolução da onda é baseada na formulação Euleriana da equação espectral discreta e da equação do balanço da energia espectral da ação da onda (Anexos 2). O modelo propaga, no domínio geográfico, o espectro direcional e, conseqüentemente, calcula a evolução das ondas geradas em zonas costeiras, a partir do conhecimento das condições de fronteira: vento, batimetria ou correntes, como fontes geradoras de propagação Este modelo propaga a agitação marítima desde o largo até próximo da costa considerando os processos físicos de refração, difração e empolamento devido a variações do fundo e presença de correntes, crescimento de onda por ação do vento, rebentação por influência do fundo e por “excesso” de declividade (*whitecapping*), dissipação de energia devido ao atrito de fundo, bloqueio e reflexão por correntes opostas e transmissão através de obstáculos. A propagação da agitação nos modos estacionário ou não-estacionário, nos espaços geográfico e espectral, é realizada utilizando esquemas numéricos implícitos. A zona em estudo pode ser descrita com coordenadas cartesianas ou esféricas, utilizando uma malha regular. Booij *et al.* (1999) e Ris *et al.* (1999), são os suportes metodológicos para a aplicação do modelo SWAN.

Para iniciar os cálculos é necessário fornecer ao modelo um ficheiro com dados de batimetria e um ficheiro de entrada que defina todos os parâmetros de configuração do modelo. Estes parâmetros estão relacionados com as condições de fronteira, a definição do domínio geográfico e espectral – usada a forma espectral JONSWAP para representar o campo de ondas e como se faz uma propagação estacionária, não se introduz o domínio

temporal – os fenómenos físicos a considerar nos cálculos a efetuar e o tipo de saída de dados.

4.1.4.1. Domínio geográfico

O SWAN possibilita a definição da localização geográfica da zona em estudo, tal como a sua dimensão, resolução e a escolha do sistema de coordenadas cartesianas. No sistema cartesiano, a origem geográfica (0,0) de todos os domínios é definida pelo utilizador, sendo as respetivas localizações determinadas relativamente a um “sistema local de coordenadas”. Para um domínio de grandes dimensões o modelo SWAN permite a execução de várias “corridas” encaixadas, isto é, a definição de domínios acoplados com diferentes dimensões e resoluções, de modo a obter uma descrição mais realista dos parâmetros de agitação marítima. Assim, o SWAN foi executado no modo estacionário, usando um esquema composto por três malhas encaixadas regulares (Figura 40), Malha 1, Malha 2 e Malha 3. Na Tabela 6 é possível aferir as características das malhas, os limites geográficos das áreas analisadas, bem como a resolução espacial das malhas computacionais. A Malha 1 (Algarve, oriunda do *Mirone*) é a malha principal que cobre todo o domínio de cálculo. Esta tem como objetivo fornecer as condições geomorfológicas iniciais e as condições de fronteira para executar o modelo de propagação de ondas SWAN.

Tabela 6: Tabela síntese das características gerais das malhas a aplicar no modelo SWAN.

Malhas	Área (km ²)	Resolução (pixel em metros)	Fonte
<u>Malha 1</u> Malha principal	426	44.70 x 44.70	<i>Mirone</i>
<u>Malha 2</u> Malha intermédia encaixada	26	18 x 18	<i>Ordinary Kriging</i> <i>ArcMap-ArcGIS v.10</i>
<u>Malha 3</u> Malha final encaixada	1,7	2 x 2	

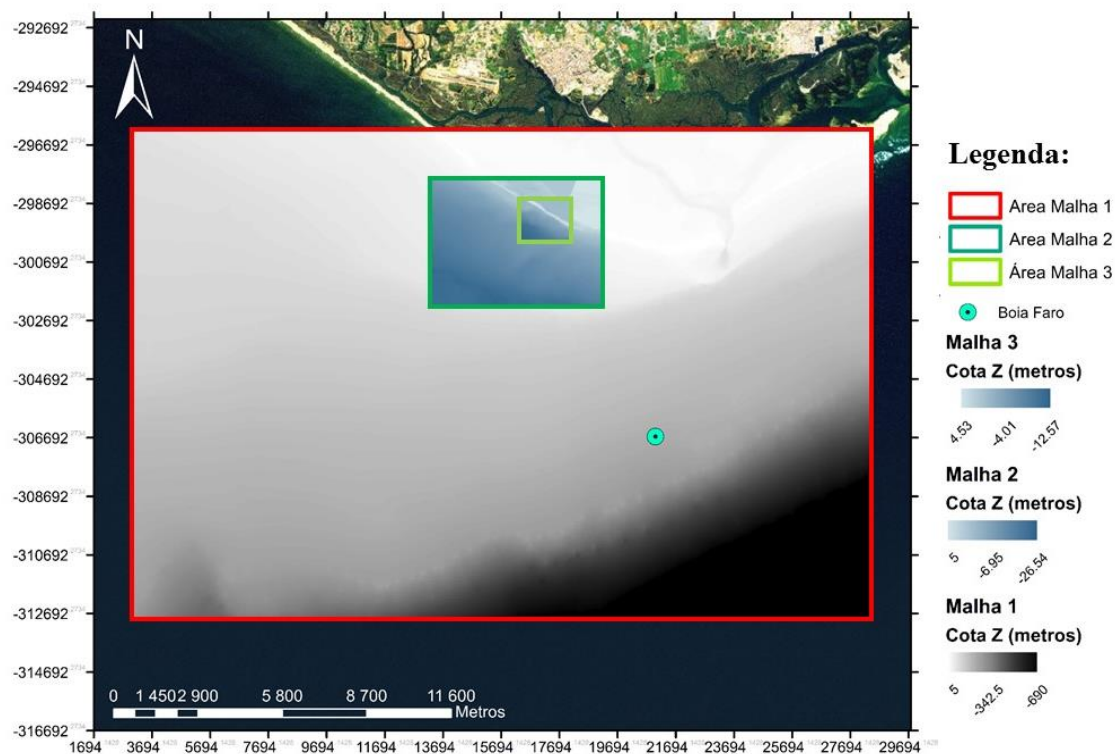


Figura 40: As três malhas computacionais utilizadas para efetuar os cálculos com o modelo SWAN.

4.1.4.2. Condições de Fronteira

É introduzida a agitação marítima como condição de fronteira na forma paramétrica. O modelo inicia-se na Malha 1, onde são dados como parâmetros de entrada para as condições de fronteira, condições de onda medidas na boia de Faro (Tabela 7) que, segundo a forma espectral *JONSWAP*, se gera o campo de ondas.

As características de onda ao largo e o NMM, são obtidos por dados adquiridos ao Instituto Hidrográfico Português (IH). O IH faz a monitorização de uma rede de bóias ondógrafo distribuída ao longo da costa continental Portuguesa e ilhas. Ao largo do Cabo de Santa Maria (latitude 36°54'17''N, longitude 7°53'54''W), a uma profundidade aproximada de 93 m, está fundeada a bóia ondógrafo direcional de Faro, que permite a obtenção de dados em sistema contínuo. A posição da bóia é abrangida pela Malha 1 (Figura 40). A informação disponibilizada pelo IH é o resultado do processamento em tempo real dos registos de 10 minutos: H_s , H_{max} , T_{med} , T_p , T_{max} , DIR, entre outros. Estes

valores são obtidas através da aplicação de modelos numéricos de terceira geração, nomeadamente o *WW3 (WAVEWATCH III)* e o *SWAN*.

Para a aplicação do *SWAN*, os parâmetros de onda de entrada para as condições de fronteira da primeira malha (Malha 1, Figura 40), são apresentados na Tabela 7. Foi selecionado como dia teste, o dia 29 de Setembro de 2012, pelas 15 horas.

Tabela 7: Parametros Oceanográficos, do dia teste 29/09/2012 pelas 15:00h. Fonte: Instituto Hidrográfico Português (IH).

Parâmetros	Valores IH
NMM (m)	1,35 m Sem sobre-elevação do NMM
Altura Significativa (m)	0.89 m
Período (s)	9.1 s
Direção (graus)	248°

O valor da altura da maré é comparado com os valores de altura de maré em Huelva, disponibilizados pelo *Puertos del Estado* (Autoridade Espanhola Portuária, 6°49'56"W; 37°8'0"N, a 60 km para Esta da área de estudo, fonte: www.puertos.es). Esta comparação tem o objetivo confirmar a existência ou não de sobre-elevação do nível do mar para o período em análise.

A partir da primeira geração, para a Malha 1, os ficheiros obtidos com a informação espectral, são utilizados como condições de fronteira para a segunda geração, com a Malha 2. O mesmo Procedimento entre a Malha 2 e 3. A utilização destas três diferentes malhas, tem como objetivo, a geração da propagação da onda de forma a evoluir gradualmente de uma resolução menor, até uma previsão de alta resolução junto à costa.

4.1.4.3. Fenómenos Físicos

Os processos implementados para geração de propagação ou dissipação de energia das ondas representados pelo *SWAN* foram os seguintes: propagação no espaço geográfico, dissipação de energia devido à rebentação da onda induzida pelo fundo, dissipação de energia por atrito com o fundo (expressão do espectro em frequência

JONSWAP modelo de Hasselmann *et al.* (1973), difração e interações não lineares entre ondas (Booij *et al.*, 1999; Holthuijsen, 2007). Os cálculos foram efetuados em regime estacionário.

4.1.4.4. Requisitos aos Resultados

São requeridos como principais resultados finais da geração de propagação, H_s em metros, DIR em graus, T_p da onda em segundos, e Q_b .

Em síntese, a aplicação do modelo tem como dados de entrada, as características da onda ao largo, adquiridos no IH, medidos pela Boia Ondógrafo de Faro e três malhas regulares representativas da zona em estudo. Obtém-se como resultado a H_s , DIR, T_p e Q_b . No Anexo 3 estão os códigos utilizados para a computação das três malhas no modelo SWAN (Anexo 3.1 – Malha 1; Anexo 3.2 – Malha 2 e Anexo 3.3 – Malha 3). Os valores de H_s e Q_b são essenciais à ferramenta *Runup_GIS*, como variáveis para o cálculo de 11 fórmulas de *runup*. As restantes características de onda obtidas são utilizadas para análise/visualização do comportamento de propagação gerado pelo modelo. Na Figura 41, está representada graficamente o resultado obtido para a Malha 3, da DIR e H_s .

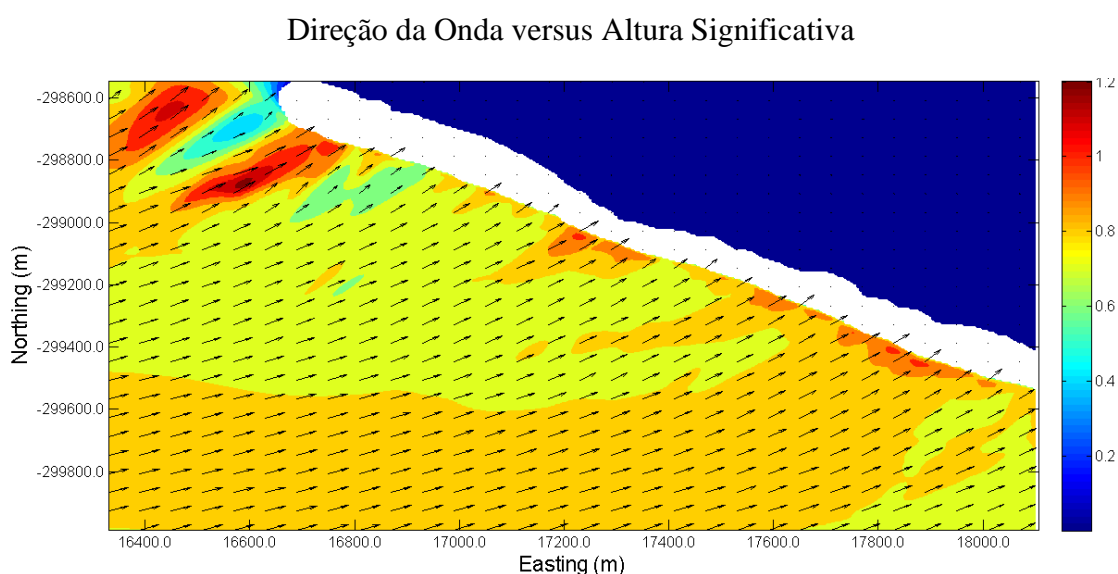


Figura 41: Resultados do modelo SWAN para a Malha 3. Campo de variação de H_s com respetiva escala e vetores que mostram a direção da ondulação para o dia teste, 29 de Setembro de 2012, 15h.

Os resultados são guardados em formato *.dat e *.mat para serem possíveis de abrir em *Matlab R2012b* e *ArcGIS v.10*. Na ferramenta são incorporados os resultados obtidos no modelo SWAN. A partir dela, o utilizador tem a possibilidade de visualizar resultados já formatados para cada variável de saída solicitada na execução do modelo. Com todos os dados de entrada necessários já gerados, procede-se à execução de *GeoGal*. Em seguida, serão ilustrados os dados processados oriundos da execução da ferramenta.

4.2. GeoGal, Módulo1 – *Runup_GIS*

Com toda a informação de entrada apresentada é iniciado o processo de execução do *Módulo 1 – Runup_GIS*. Nos subcapítulos seguintes apresentam-se, sequencialmente, na forma de tabelas e mapas ilustrativos as etapas de processamento executadas pelo **Módulo 1**. O processo é importante para a compreensão de todo o trabalho de geoprocessamento construído pelo encadeamento das ferramentas disponibilizadas pelo *ArcToolbox*. Através dele, testa-se e define-se a parametrização de variáveis, tais como o espaçamento da criação das curvas de nível e a seleção dos valores de $H_{c_{max}}$ e $H_{s_{max}}$ para o cálculo de *runup*.

A ferramenta gera diversos tipos de informação, passíveis ou não de serem aplicados no estudo em causa (isto é, extração de perfis, segmentação da área de estudo segundo variáveis de interesse, criação de superfícies com os resultados do modelo numéricos de propagação das ondas SWAN, entre outros).

4.2.1. Etapa 1

A partir das *shapefiles* com os pontos de Origem e Fim dos perfis a criar, obtém-se os segmentos de reta, que representam os 25 perfis de base segundo os quais se extraia toda a informação a ser analisada e processada (Figura 42).

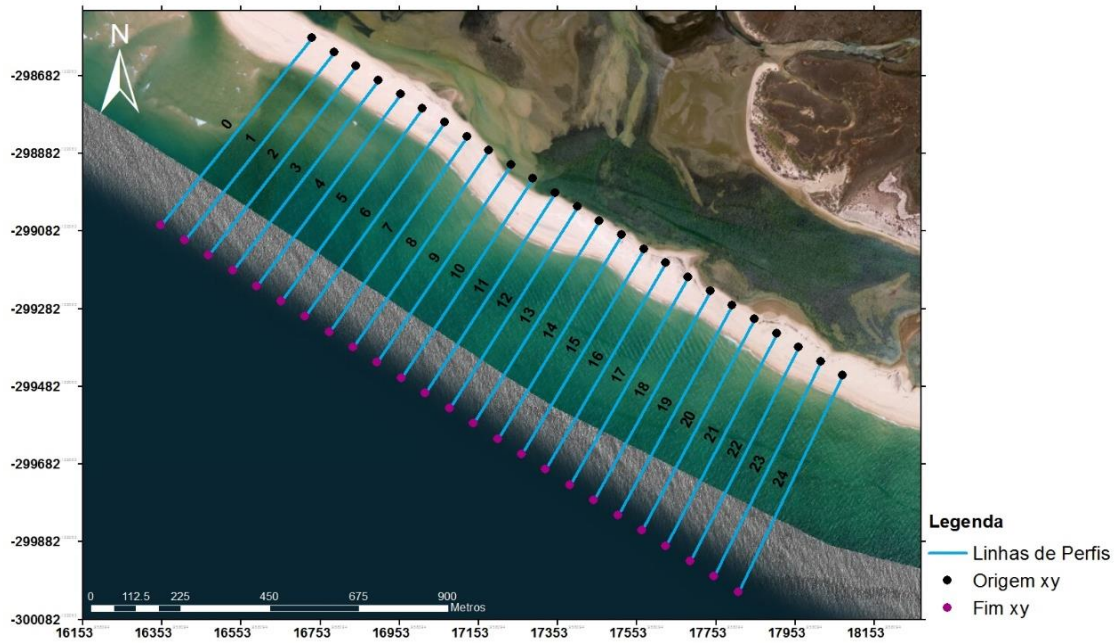


Figura 42: Mapa ilustrativo dos 25 perfis criados a partir dos pontos de Origem e Fim que constituem os dados de entrada no **Módulo 1 – Runup_GIS**.

A partir da Malha 3, com um espaçamento de 0.20 m, obtêm-se as curvas de nível representativas do terreno(Figura 43).

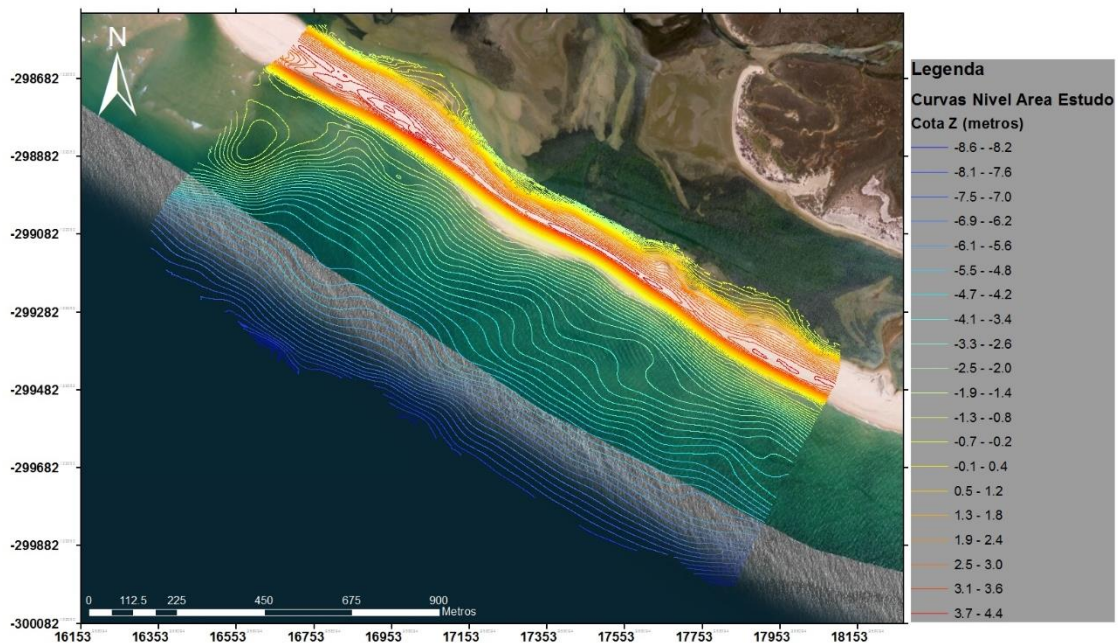


Figura 43: Mapa topográfico, com representação das curvas de nível, sobreposto a fotografia aérea da área de estudo.

A interseção dos Perfis (Figura 42) com as curvas de nível da área de estudo (Figura 43) cria uma *shapefile* de geometria de pontos. Cada ponto vai ter como atributo a cota Z (em metros), a qual corresponde à interseção da curva de nível com o perfil, (Figura 44).

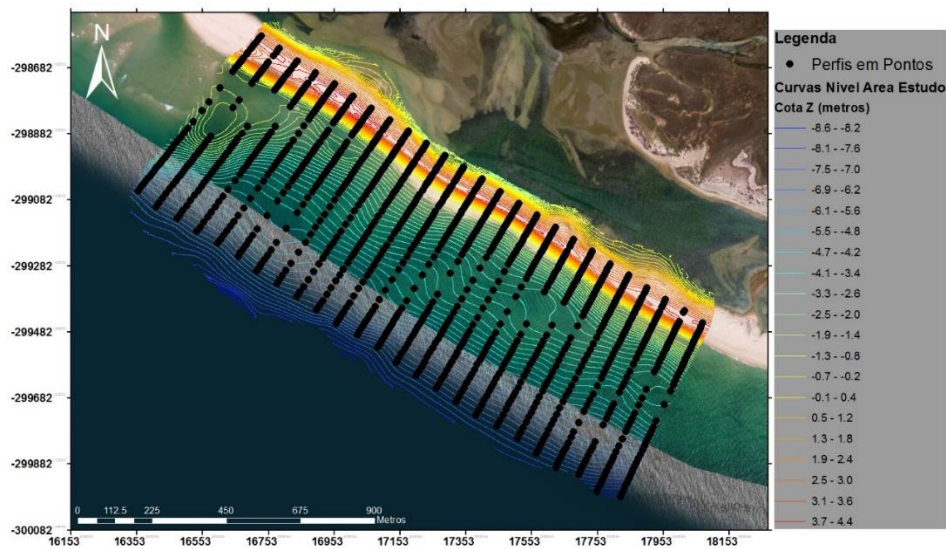


Figura 44: Perfis resultantes da interseção das curvas de nível com os segmentos de reta representativos dos perfis.

A *shapefile* – de geometria de pontos – tem como atributos alfanuméricos: a identificação do perfil; o valor altimétrico e o valor de distância cumulativa em relação ao ponto de origem.

Na Figura 45 estão representados 4 dos 25 perfis criados (Perfil 1, 8, 16 e 24, localização na Figura 42). Estes 4 perfis exemplificam o resultado final do primeiro sector de processamento do **Módulo 1**. Através da sua análise, é possível avaliar se o espaçamento introduzido para a criação das curvas de nível representa de forma objetiva a geomorfologia da área em estudo.

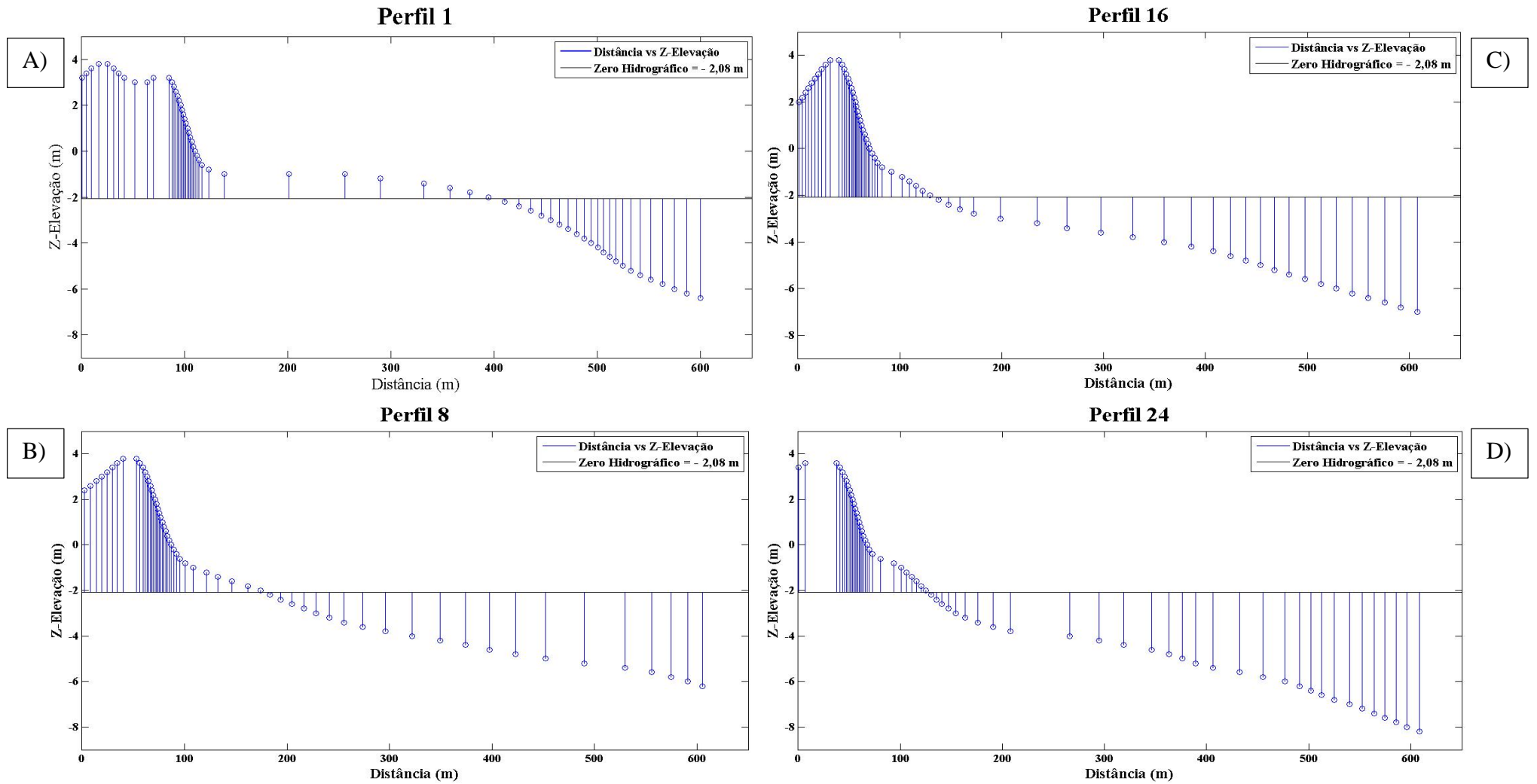


Figura 45: Perfis transversais de: A) Perfil 1; B) Perfil 8; C) Perfil 16; e D) Perfil 24.

4.2.2. Etapa 2

Na Etapa 2 é efetuada a correspondência entre a localização dos perfis e os resultados provenientes do modelo numérico de propagação de ondas SWAN. Para que isso seja possível são criadas superfícies – método de triangulação irregular (*TIN*) convertido para *grid* – para cada uma das variáveis da *shapefile* *SWAN_Barreta*: H_s (Figura 46), Q_b (Figura 47), T (Figura 48) e DIR (Figura 41).

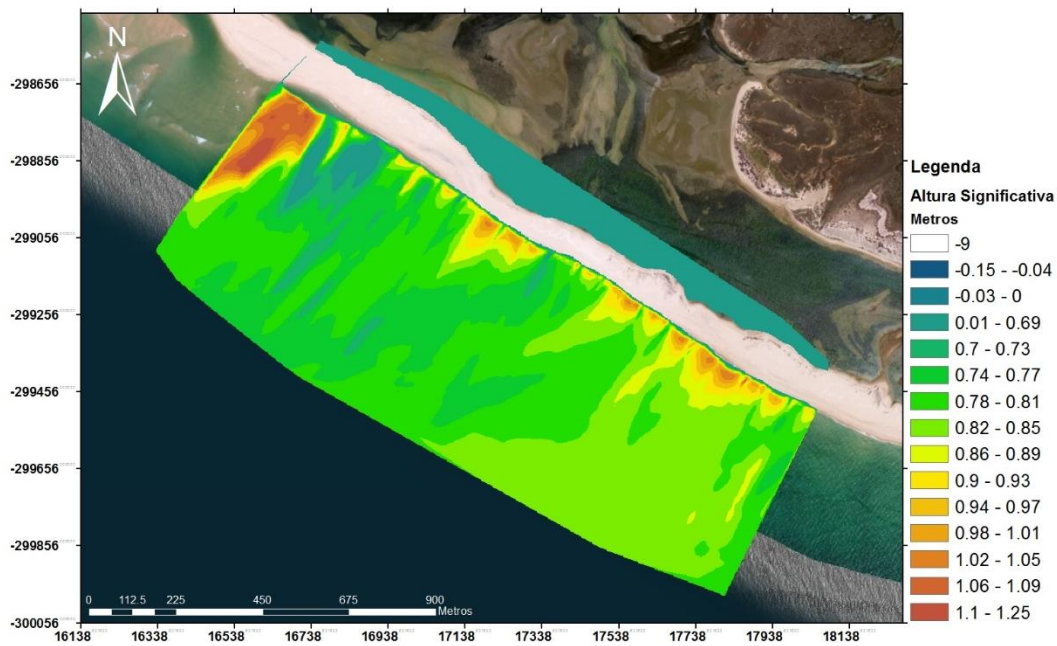


Figura 46: Superfície representativa dos valores de altura significativa da onda, H_s , para a área de estudo. Resultado da aplicação do modelo SWAN em modo estacionário. O valor de -9 corresponde a valores de Terra, excluídos da representação da superfície.

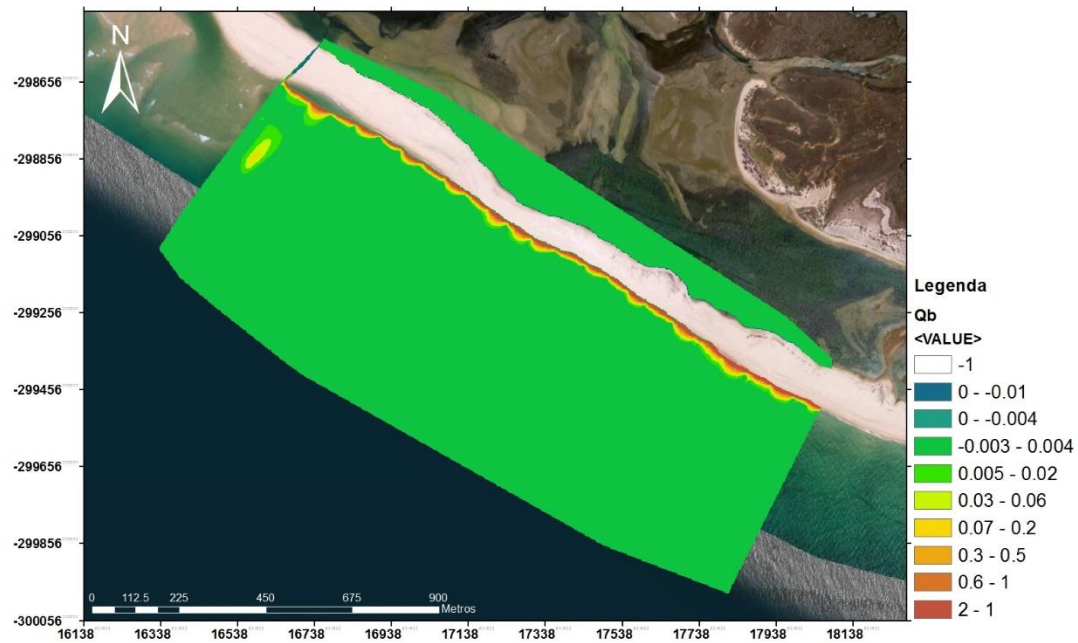


Figura 47: Superfície representativa dos valores Q_b (quantidade de energia da onda que é dissipada, indicativo dos locais de rebentação) para a área de estudo resultando da aplicação do modelo SWAN, em modo estacionário. O valor de -1 corresponde a valores de Terra, excluídos da representação da superfície.

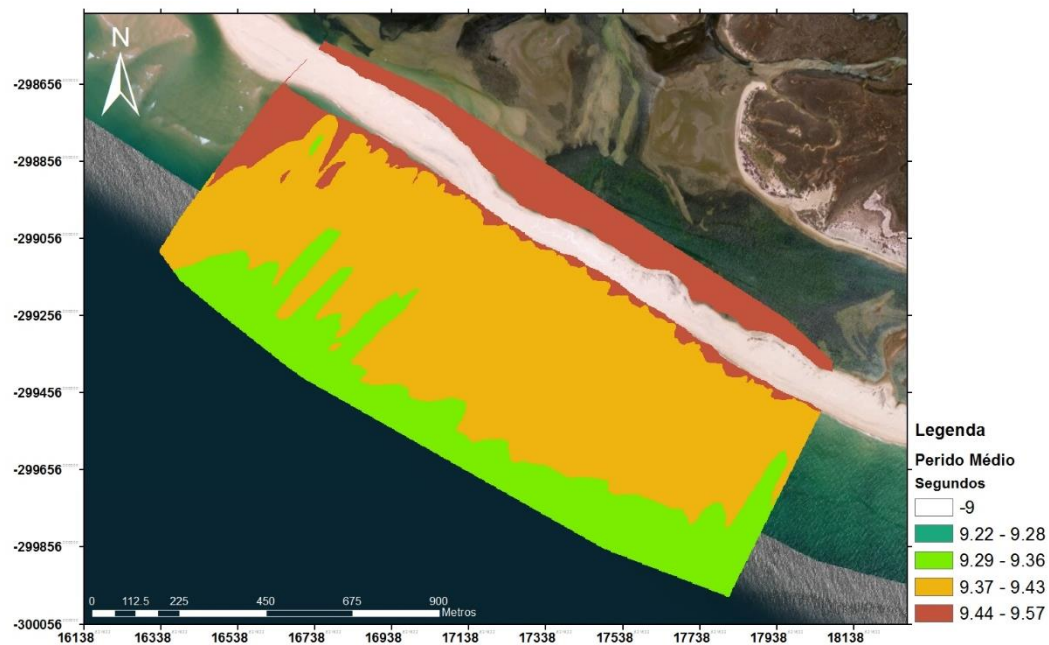


Figura 48: Superfície representativa dos valores de T para a área de estudo. Resultado da aplicação do modelo SWAN em modo estacionário. O valor de -9 corresponde a valores de Terra, excluídos da representação da superfície.

Com as superfícies criadas, procedeu-se à adição da informação de H_s , Q_b , T_s , e DIR a cada ponto dos perfis. H_s é uma das variáveis necessárias para o cálculo de *runup* por algumas das fórmulas apresentadas no capítulo 3. **GeoGal**. Na Figura 50 estão representados alguns dos resultados obtidos para os Perfis 1, 8, 16 e 24.

Na Figura 50 é possível visualizar o comportamento da H_s na propagação da onda, tal como identificar, sobre o perfil, a zona de rebentação (aumento de Q_b e diminuição de H_s). Estes gráficos ilustrativos do comportamento da onda sobre os perfis, na área de estudo só se tornaram possíveis com a conjugação dos MDE e do modelo SWAN.

A esta nova *shapefile* de pontos, com perfis a partir dos -2 m de profundidade (zona de rebentação de onda para esta gama de períodos e alturas de onda) são adicionados os valores de pendor, a cada ponto do perfil, os quais são extraídos da superfície de declive obtida através do MDE, visualizado na Figura 49.

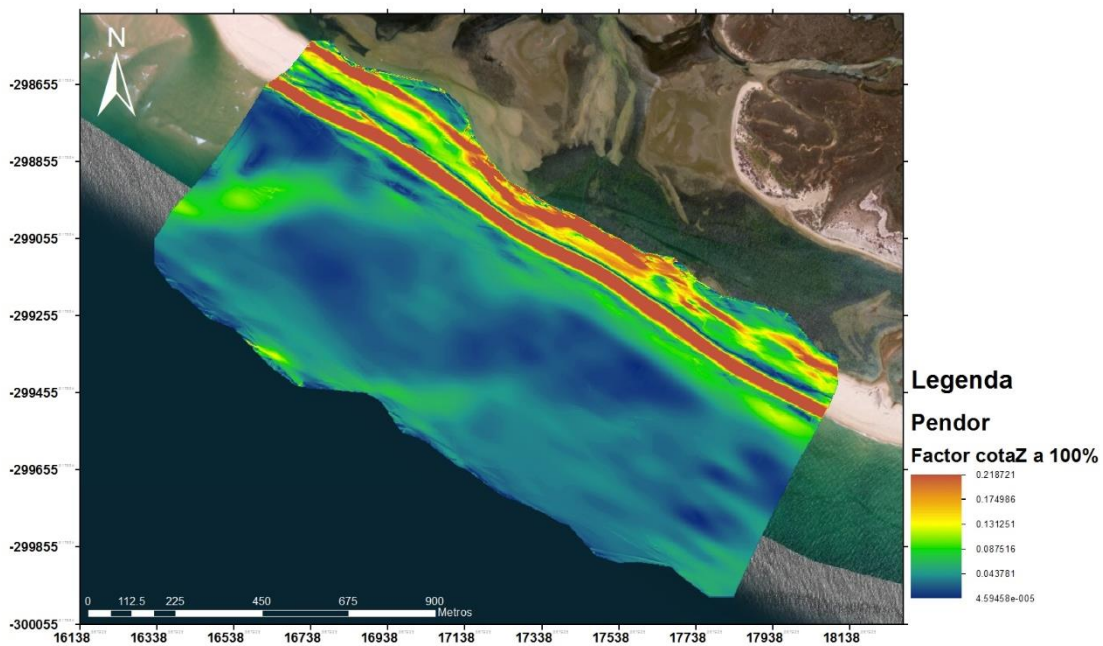


Figura 49: Superfície ilustrativa do Pendor na área de estudo.

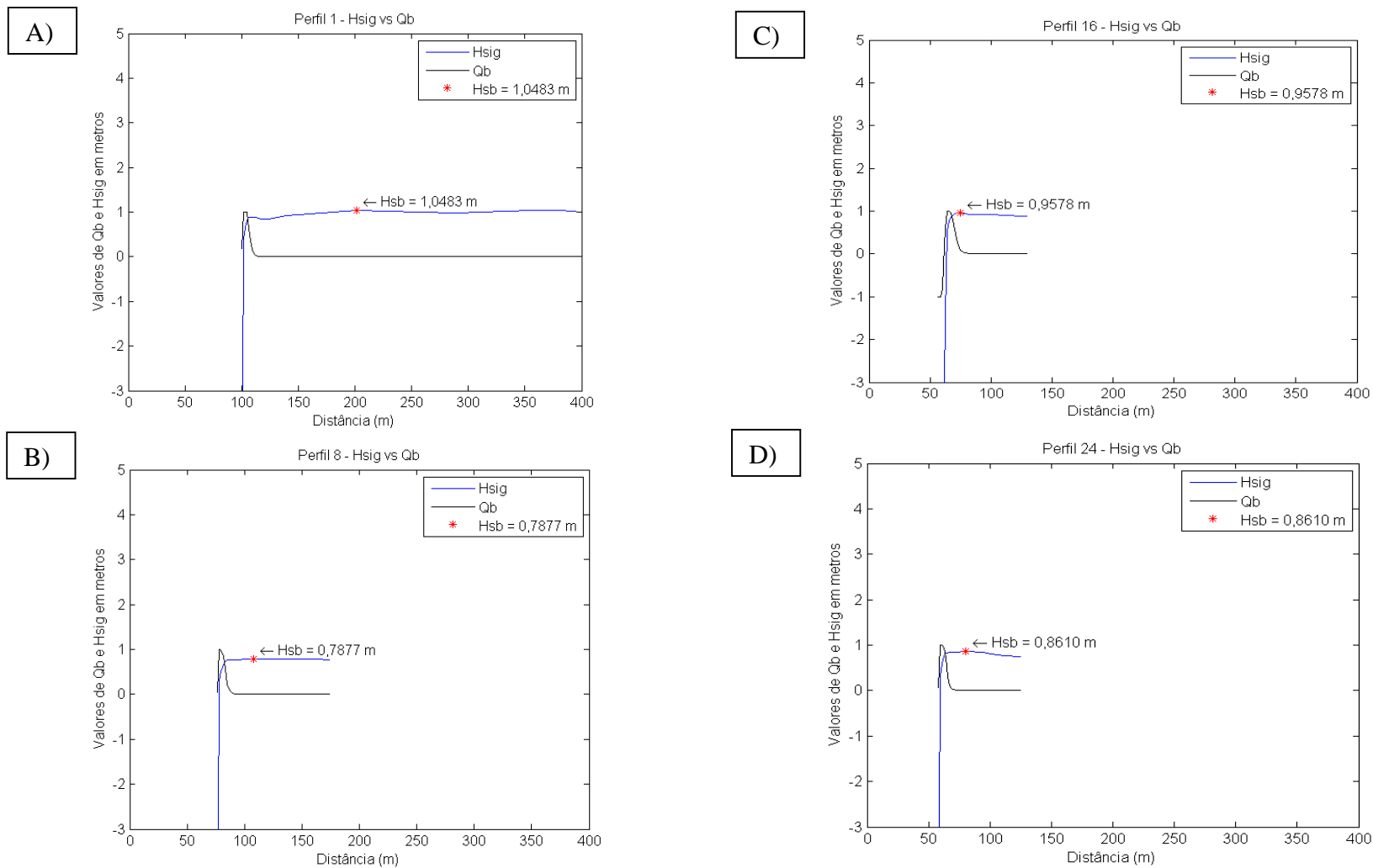


Figura 50: Conjunto de gráficos que representam os valores de H_s e Q_b em função da Distância, com a indicação do valor de $H_{s,max}$ obtidos pelo **Módulo 1-Runup_GIS**. Metodologia a partir da qual se extrai o valor da altura da onda na rebentação, H_{sb} . A) Perfil 1. B) Perfil 8. C) Perfil 16. D) Perfil 24.

Todas as variáveis obtidas por perfil para o cálculo de *runup* através das 11 fórmulas mencionadas são guardadas como atributos da posição correspondente à crista da ilha $H_{c_{max}}$, encontrada para cada perfil (Figura 51), uma vez que o valor de *runup* corresponde a um valor único, não variável ao longo do perfil. Desta forma, o cálculo de um valor único de pendor para cada perfil é o resultado de uma média de todos os valores sobre uma determinada área que é definida pelo utilizador no Assistente de Parametrização. No presente caso de estudo, pela análise numérica e gráfica dos valores de cota Z dos perfis é definido o intervalo entre os 2,9 aos -0,8 m.

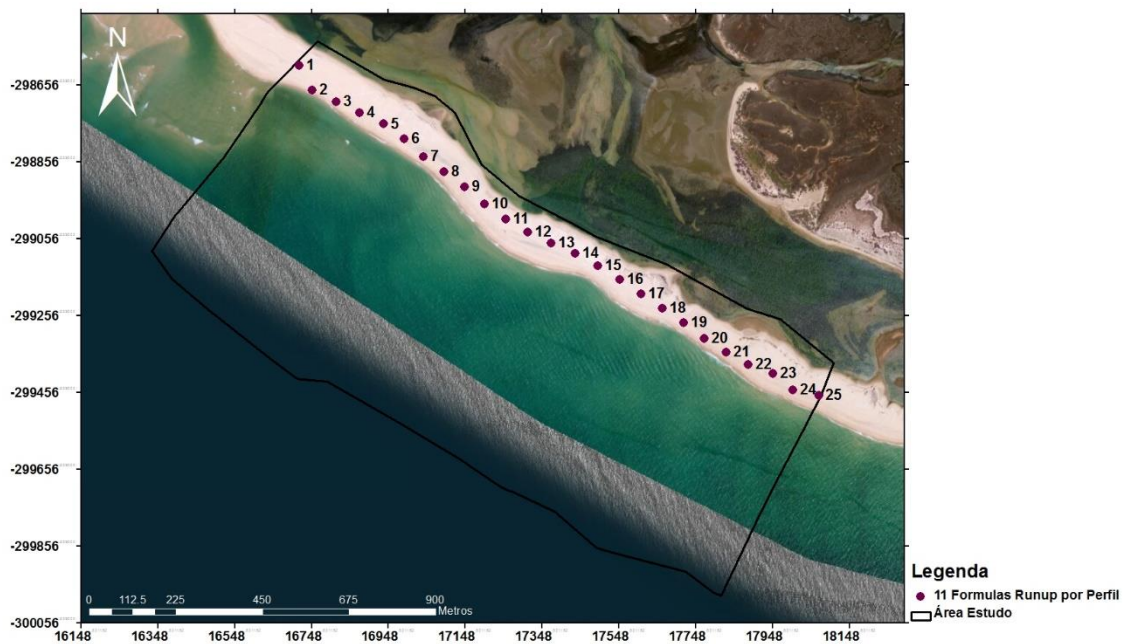


Figura 51: Representação da posição do valor de $H_{c_{max}}$ para cada perfil.

4.2.3. Etapa 3

O resultado de *runup* obtidos através das várias fórmulas para cada perfil da área de estudo é apresentado na Tabela 8, correspondendo aos valores finais obtidos no **Módulo 1**. Com recurso ao *software Matlab v.R2012b* procedeu-se à análise comparativa (visual e numérica) entre os valores das 11 fórmulas com a $H_{c_{max}}$ para cada perfil, cujo resultado é demonstrado na Figura 52.

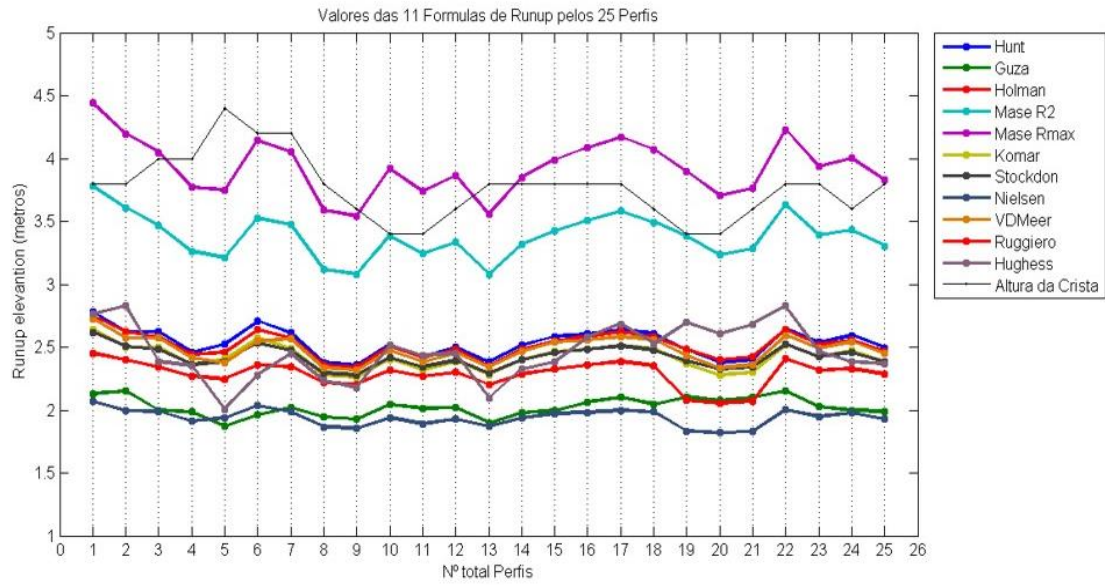


Figura 52: Valores de *runup* para cada um dos perfis transversais, obtidos com as fórmulas de vários autores, e representação da elevação da crista de barreira (H_{cmax}).

Tabela 8: Resultado Final do Módulo 1 - *Runup_GIS*.

<i>Perfil</i>	MAX_Hsig	MAX_CONTOU	Pendor	11 Formulas Runup (metros)										
				<i>Hunt</i>	<i>Guza</i>	<i>Holman</i>	<i>Mase_R2</i>	<i>Mase_Rmx</i>	<i>Komar</i>	<i>Stockdon</i>	<i>Nielsen</i>	<i>VDMeer</i>	<i>Ruggiero</i>	<i>Hughess</i>
1	1.05	3.8	0.12	2.78	2.13	2.75	3.78	4.44	2.64	2.62	2.07	2.72	2.45	2.76
2	1.08	3.8	0.11	2.62	2.15	2.62	3.61	4.19	2.50	2.51	1.99	2.57	2.40	2.83
3	0.86	4.0	0.12	2.62	2.00	2.58	3.46	4.05	2.50	2.48	1.99	2.57	2.34	2.39
4	0.85	4.0	0.11	2.46	1.99	2.44	3.26	3.77	2.35	2.36	1.91	2.42	2.27	2.35
5	0.68	4.4	0.13	2.52	1.87	2.46	3.21	3.75	2.41	2.39	1.94	2.37	2.25	2.01
6	0.81	4.2	0.13	2.71	1.96	2.64	3.53	4.15	2.58	2.54	2.03	2.55	2.36	2.28
7	0.89	4.2	0.12	2.61	2.02	2.58	3.47	4.06	2.49	2.48	1.99	2.56	2.34	2.45
8	0.79	3.8	0.10	2.38	1.94	2.36	3.12	3.59	2.28	2.30	1.87	2.34	2.22	2.23
9	0.76	3.6	0.10	2.36	1.93	2.34	3.08	3.54	2.26	2.28	1.86	2.32	2.20	2.18
10	0.93	3.4	0.11	2.52	2.04	2.51	3.38	3.92	2.40	2.41	1.94	2.47	2.32	2.52
11	0.89	3.4	0.10	2.43	2.01	2.42	3.24	3.74	2.32	2.34	1.89	2.38	2.27	2.44
12	0.89	3.6	0.11	2.50	2.02	2.48	3.34	3.86	2.39	2.40	1.93	2.45	2.30	2.45
13	0.72	3.8	0.11	2.38	1.90	2.35	3.08	3.56	2.28	2.29	1.87	2.34	2.20	2.10
14	0.83	3.8	0.11	2.51	1.98	2.48	3.32	3.85	2.40	2.40	1.94	2.47	2.29	2.33
15	0.86	3.8	0.12	2.59	2.00	2.55	3.42	3.99	2.47	2.45	1.97	2.54	2.33	2.39
16	0.96	3.8	0.11	2.61	2.07	2.58	3.51	4.09	2.48	2.48	1.98	2.56	2.36	2.58
17	1.01	3.8	0.11	2.64	2.10	2.62	3.58	4.17	2.51	2.51	2.00	2.59	2.38	2.68
18	0.93	3.6	0.11	2.61	2.05	2.58	3.49	4.07	2.49	2.48	1.98	2.56	2.35	2.53
19	1.01	3.4	0.10	2.48	2.11	2.49	3.38	3.90	2.37	2.40	1.83	2.43	2.08	2.70
20	0.97	3.4	0.09	2.38	2.07	2.40	3.23	3.71	2.28	2.32	1.82	2.34	2.06	2.61
21	1.01	3.6	0.09	2.40	2.10	2.43	3.28	3.77	2.30	2.34	1.83	2.36	2.07	2.68
22	1.08	3.8	0.11	2.64	2.15	2.64	3.63	4.23	2.52	2.52	2.00	2.59	2.41	2.83
23	0.90	3.8	0.11	2.54	2.03	2.52	3.39	3.94	2.42	2.43	1.95	2.49	2.32	2.47
24	0.86	3.6	0.12	2.59	2.00	2.56	3.43	4.00	2.47	2.46	1.98	2.54	2.33	2.38
25	0.85	3.8	0.11	2.49	1.99	2.47	3.30	3.83	2.38	2.39	1.93	2.45	2.29	2.37

O valor de *runup* obtido pelas fórmulas de Hunt, Guza, Holman, Nielsen & Hanslow, Van Der Meer & Stam, Komar, Ruggiero, Hughes e Stockdon apresentam um intervalo na distribuição dos valores da elevação de *runup* mais semelhante entre si – entre 1.80 m pela fórmula de Nielsen & Hanslow, a 2.85 m por Hughes – mas desfasados, aproximadamente, com mais de 1 m com os valores da H_{cmax} . A partir da Figura 52 conclui-se que as fórmulas de Mase (1989) são as que melhor representam as condições de *runup* na área de estudo. Verificam-se que as fórmulas de Mase para $R_{2\%}$ (Matias *et al.*, 2012) e R_{max} (Mase, 1989) são as únicas que apresentam valores mais próximos das H_{cmax} da área de estudo.

Numa análise dos valores obtidos usando a fórmula desenvolvida por Mase (1989), Figura 53 e Tabela 9, verifica-se que o valor de 2% de excedência de *runup* ($R_{2\%}$) em nenhum dos perfis gera valores que ultrapassem os de H_{cmax} . No entanto, o valor de *runup* máximo (R_{max}) obtido pela equação de Mase (1989) é o que melhor prevê a ocorrência do fenómeno de galgamento, na área de estudo. Desta forma, o cálculo do OP a executar no **Módulo 2 - OP_GIS** é obtido pela diferença de valores entre Mase R_{max} e H_{cmax} .

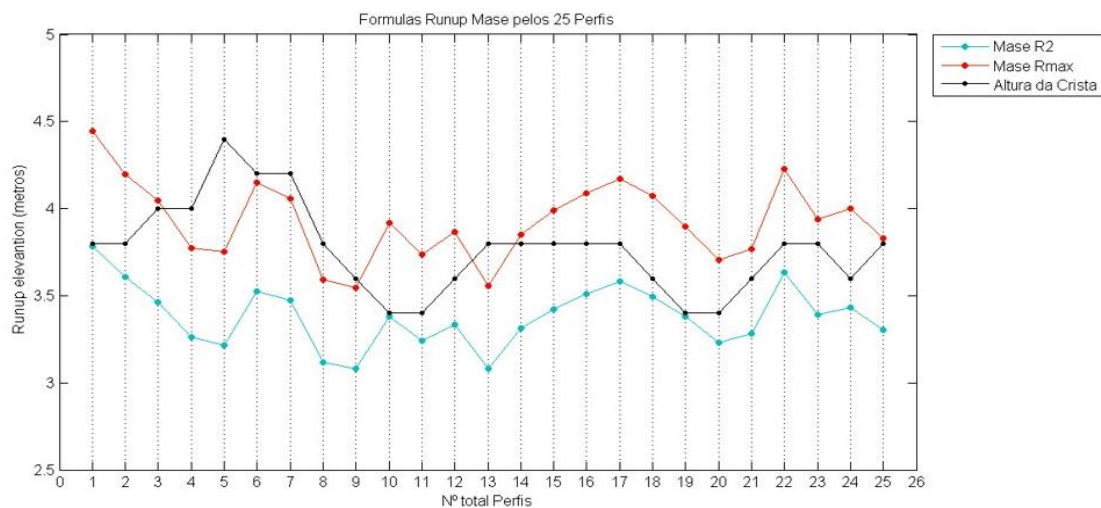


Figura 53: Representação das duas estimativas resultantes da fórmula de Mase (1989), comparando os valores de elevação do *runup* com H_{cmax} .

Tabela 9: Valores de *runup* obtidos pela Ferramenta **Módulo 1 - Runup_GIS**, para as 2 fórmulas de Mase (1989) aplicadas, com os respectivos valores de altura máxima significativa de onda (H_{smax}), altura máxima da crista da ilha H_{cmax} e Pendor, por perfil, usados nas fórmulas.

Perfil	H_{smax} (m)	H_{cmax} (m)	Pendor (%)	Mase R_{2%}	Mase R_{max}
1	1.05	3.8	0.12	3.78	4.44
2	1.08	3.8	0.11	3.61	4.19
3	0.86	4.0	0.12	3.46	4.05
4	0.85	4.0	0.11	3.26	3.77
5	0.68	4.4	0.13	3.21	3.75
6	0.81	4.2	0.13	3.53	4.15
7	0.89	4.2	0.12	3.47	4.06
8	0.79	3.8	0.10	3.12	3.59
9	0.76	3.6	0.10	3.08	3.54
10	0.93	3.4	0.11	3.38	3.92
11	0.89	3.4	0.10	3.24	3.74
12	0.89	3.6	0.11	3.34	3.86
13	0.72	3.8	0.11	3.08	3.56
14	0.83	3.8	0.11	3.32	3.85
15	0.86	3.8	0.12	3.42	3.99
16	0.96	3.8	0.11	3.51	4.09
17	1.01	3.8	0.11	3.58	4.17
18	0.93	3.6	0.11	3.49	4.07
19	1.01	3.4	0.10	3.38	3.90
20	0.97	3.4	0.09	3.23	3.71
21	1.01	3.6	0.09	3.28	3.77
22	1.08	3.8	0.11	3.63	4.23
23	0.90	3.8	0.11	3.39	3.94
24	0.86	3.6	0.12	3.43	4.00
25	0.85	3.8	0.11	3.30	3.83

4.3. GeoGal, Módulo 2 - OP_GIS

A informação de entrada ao **Módulo 2 – OP_GIS** é a *shapefile* de geometria de pontos com as estimativas de *runup* obtidas pelas diferentes fórmulas, para os 25 perfis obtidos no **Módulo 1 – Runup_GIS** (Tabela 8). A partir do Assistente de Parameterização, o utilizador escolhe a fórmula de *runup* que vai utilizar para o cálculo do valor de OP. No presente caso de estudo, tal como anterior mencionado, *Mase R_{max}* é a fórmula que melhor descreve as condições de *runup* possíveis à ocorrência do fenómeno sobre a área focada.

O cálculo do valor de OP é obtido pela diferença entre o valor de *runup* (*Mase R_{max}*) e o valor da *H_{c,max}*, por perfil. O resultado é obtido numa *shapefile* de geometria poli-linha para os 24 segmentos em análise (isto é, 25 pontos/perfis definem 24 segmentos). O resultado final da execução do **Módulo 2** é apresentado na Tabela 10.

Atendendo à variação dos valores de potencial de galgamento (Figura 54) obtidos pelo **Módulo 2 – OP_GIS**, estes foram classificados segundo quatro classes de intervalos de valores (Tabela 11): inferior a 0.00 m; de 0.00 a 0.20 m; de 0.20 a 0.40 m e, finalmente, superior a 0.40 m.

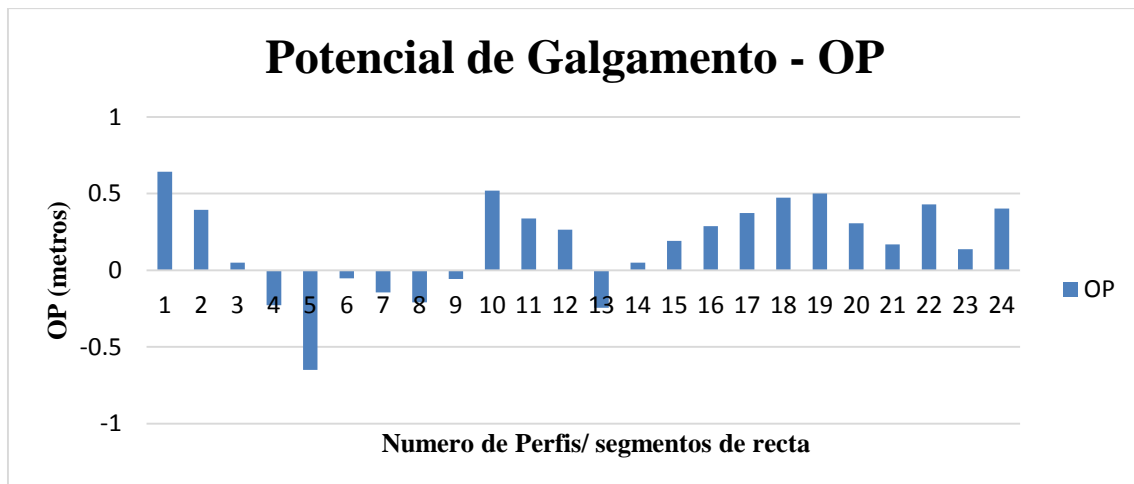


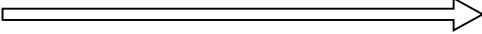
Figura 54: Demonstra a variação dos valores de OP, em metros, obtidos para os 24 setores.

Tabela 10: Tabela de atributos por Perfis de altura da crista ($H_{c_{max}}$), o potencial de galgamento (OP), as respectivas coordenadas xy da posição do valor de $H_{c_{max}}$ e o comprimento em metros da poli-linha. As respectivas coordenadas xy da posição do valor de $H_{c_{max}}$ e o comprimento em metros da poli-linha.

<i>Perfil</i>	$H_{c_{max}}$	<i>Mase R_{max}</i>	OP
1	3.8	4.44	0.64
2	3.8	4.19	0.39
3	4	4.05	0.05
4	4	3.77	-0.23
5	4.4	3.75	-0.65
6	4.2	4.15	-0.05
7	4.2	4.06	-0.14
8	3.8	3.59	-0.21
9	3.6	3.54	-0.06
10	3.4	3.92	0.52
11	3.4	3.74	0.34
12	3.6	3.86	0.26
13	3.8	3.56	-0.24
14	3.8	3.85	0.05
15	3.8	3.99	0.19
16	3.8	4.09	0.29
17	3.8	4.17	0.37
18	3.6	4.07	0.47
19	3.4	3.90	0.50
20	3.4	3.71	0.31
21	3.6	3.77	0.17
22	3.8	4.23	0.43
23	3.8	3.94	0.14
24	3.6	4.00	0.40

A atribuição de cores às quatro classes criadas (Tabela 11) permite ilustrar a vulnerabilidade à ocorrência de galgamento dos sectores da área de estudo.

Tabela 11: Tabela síntese das classes de vulnerabilidade aplicadas e suas respectivas cores.

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
< 0 m Azul	0.00 a 0.20 m Verde	0.20 a 0.40 m Laranja	> 0.4 m Vermelho
Sem ocorrência de galgamento	Aumento do potencial de ocorrência 		

Desta forma, os resultados do **Módulo 2 – OP_GIS** permitem a criação de um mapa de Vulnerabilidade ao Galgamento para a área de estudo ilustrado na **Figura 55**.

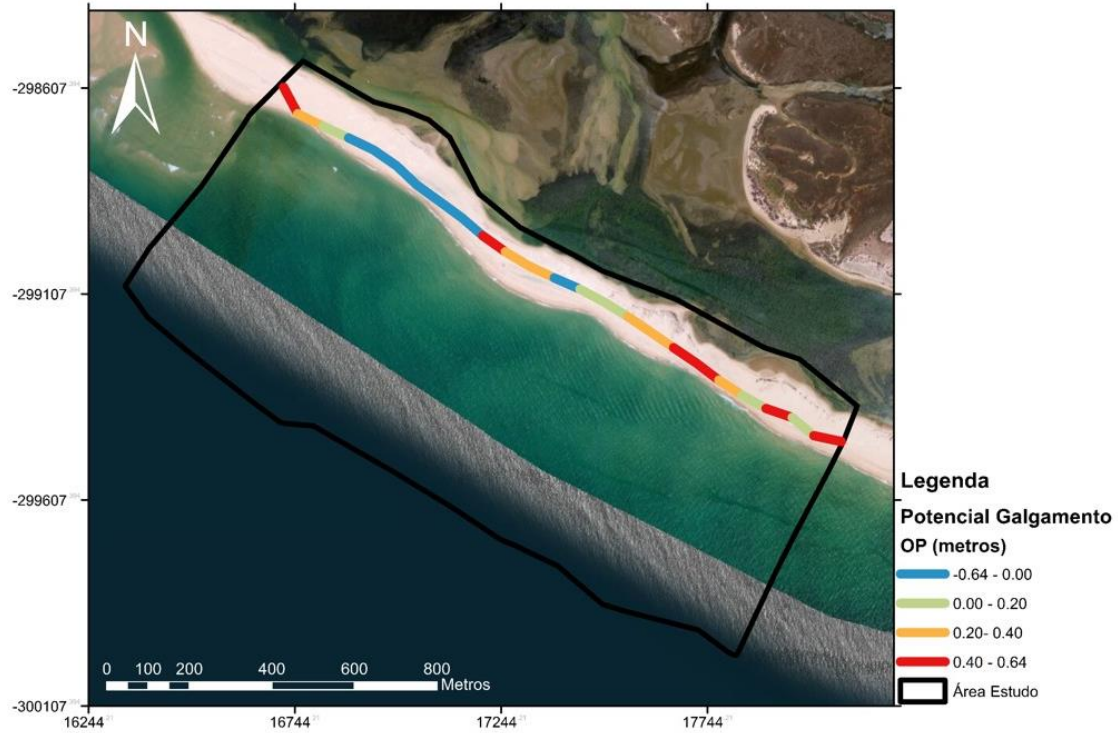


Figura 55: Mapa de Vulnerabilidade à ocorrência de Galgamento para área em estudo da Ilha Barreta.

5. Discussão

O modelo SWAN foi executado com dados de entrada obtidos pela bóia ondógrafo de Faro, para o dia 29 de Setembro de 2012, 15:00h. Para este dia foi confirmado que não existia sobre-elevação do nível do mar, nem a ocorrência de tempestades. O objetivo inicial foi atingido, isto é, foi possível identificar situações potenciais de galgamento diversas ao longo da zona em estudo. A justificação para a escolha do período em análise baseia-se no facto de que, segundo observações e medições realizadas nos trabalhos de campo, nesse dia se observou um perfil de galgamento heterogéneo sobre a ilha barreira, como pode ser visto na [Figura 56](#). Esta situação revelou-se um bom teste para a ferramenta, permitindo avaliar a fiabilidade do cálculo do potencial de galgamento e da ferramenta criada neste projeto.



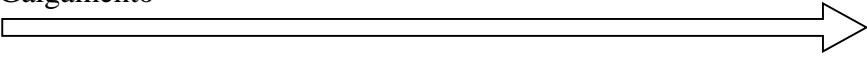
Figura 56: Perfil de Vulnerabilidade ao galgamento correlacionado com o perfil de galgamento medido em campo.

O OP – resultado final da aplicação da caixa de ferramentas *GeoGal*, apresentada anteriormente – é validado quando relacionado com o perfil longitudinal de intrusão máxima de galgamento levantado pelo Projeto RUSH (linha a roxo na [Figura 56](#)), à data do levantamento topográfico, utilizado para a criação dos MDE. A comparação visual

entre o resultado de vulnerabilidade com a ocorrência de galgamento em campo permite demarcar quais os setores obtidos que correspondem ou não ao fenômeno ocorrido e medido em campo (Figura 56). A vulnerabilidade da área em estudo é representada pela linha composta por vários segmentos de reta que são classificados segundo quatro classes de valores de OP (Tabela 12). Esta linha representa também a linha da crista do perfil morfológico da ilha, ou seja, os valores altimétricos mais elevados.

Constata-se que a vulnerabilidade à suscetibilidade de ocorrência de galgamento na área em estudo aumenta progressivamente de W para E (Figura 56 e Tabela 12).

Tabela 12: Tabela que resume o número de setores que incidem nas classes de vulnerabilidade aplicadas e suas respectivas cores.

Classes	Classe 1 < 0 m	Classe 2 0.00 a 0.20 m	Classe 3 0.20 a 0.40 m	Classe 4 > 0.4 m
Setores	7 setores	5 setores	6 setores	6 setores
Distribuição Geográfica	Incidente na zona W em estudo.	Incidente na zona E em estudo. À exceção dos setores 1, 2 e 3.		
Constatação Final	Aumento progressivo de W para E do potencial de ocorrência de Galgamento 			

A comparação entre a medição de campo das ocorrências de galgamento e os resultados obtidos através da ferramenta mostra que em 6 locais não há conformidade (Tabela 13). Desta forma, conclui-se que os resultados obtidos pela ferramenta estão em 75% dos setores em concordância com o perfil de validação. Os restantes 25% correspondem aos 6 setores que não estão de acordo com o perfil de validação (Tabela 13). Os setores 1, 2 e 3 correspondem a zonas de galgamento, enquanto nos dados de campo correspondem a zonas sem ocorrência de galgamento. A existência de barras arenosas submersas (incluindo parte do delta de vazante da Barra do Ancão) induz um aumento da altura de onda na rebentação. No entanto, a rebentação da onda e, conseqüentemente, a dissipação de grande parte da sua energia, ocorre em posições relativamente afastadas da costa. Esta maior distância relativamente à crista da barreira proporciona um certo grau de proteção. Embora os setores 8, 9 e 13 correspondam a zonas

sem galgamento, no perfil de validação são zonas onde é visível a ocorrência de galgamento. Embora seja possível que esta discrepância observada seja explicada por pormenores da geomorfologia, não existem dados suficientes para suportar uma hipótese explicativa sólida.

Tabela 13: Sectores que não estão em concordância com o perfil de validação. Para os sectores 1, 2, 3, 8, 9 e 13 apresentam-se os valores de altura máxima da crista de duna ($H_{c_{max}}$), o resultado da equação Mase R_{max} e os respetivos valores de potencial de galgamento.

Sectores	$H_{c_{max}}$ (m)	Mase R_{max} (m)	OP (m)
1	3.8	4.44	0.64
2	3.8	4.19	0.39
3	4	4.05	0.04
8	3.8	3.59	-0.06
9	3.6	3.54	-0.06
13	3.8	3.56	-0.24

O objetivo principal do presente projeto consistiu em aferir como a morfologia submersa influencia a propagação da onda até à zona de rebentação. Por questões logísticas (agitação marítima, maré, meteorologia, disponibilidade de embarcação) e financeiras, mas também para permitir o acompanhamento da evolução da área, o levantamento topográfico e batimétrico é realizado segundo perfis previamente definidos. Logo, o arranjo espacial dos dados colhidos não segue uma distribuição espacial regular nos eixos x e y. Assim, os dados apresentam uma distribuição semi-regular (ou seja, segundo uma orientação, em perfil, perpendicular à costa). Uma distribuição regular e uniforme no espaço a modelar é uma condição, em regra, necessária para um bom resultado na interpolação (superfície de boa qualidade e com baixos erros). Os dois principais condicionamentos à qualidade da superfície de interpolação gerada são:

- i.* A distribuição não regular no espaço dos pontos levantados;
- ii.* Combinação de dois tipos de levantamentos com morfologias diferentes (batimetria e topografia), com diferentes variações altimétricas no espaço e sujeitas a diferentes agentes modeladores:

- Topográfica, sujeita a erro de operador na sua progressão ao longo do perfil, em zonas onde as variações altimétricas são mais acentuadas;
- Batimétrica, sujeita a erros devidos às condições da agitação marítima, em zonas de variações altimétricas mais suaves e graduais.

A seleção do método de interpolação a utilizar para a criação das superfícies é a fase de trabalho mais importante e demorada. Isto implica que sejam testados os vários métodos de interpolação disponibilizados pelo *software ArcMap (ArcGIS v10)*. A análise visual dos métodos de interpolação mostrou que apenas os modelos de *Topo to Raster* e *Ordinary Kriging* se mostraram capazes de gerar as superfícies com a qualidade de representação altimétrica que se pretende.

É necessário, por parte do futuro utilizador da presente metodologia, um bom conhecimento do local em estudo. Isto para que seja dotado de sensibilidade crítica para ajustar os parâmetros dos modelos de interpolação até conseguir uma malha com uma boa representação da área de estudo (particularmente em casos em que se apresentem morfologias submersas atípicas, por exemplo). Deve-se evitar suavizar demais ou criar relevos não existentes nas malhas a utilizar. Os restantes métodos aplicados não geraram malhas com a qualidade necessária para servirem de base à aplicação do modelo SWAN e da caixa de ferramentas **GeoGal**. A qualidade de todo o processo está directamente dependente de uma boa malha. Caso contrário, a fiabilidade de parâmetros extraídos das malhas e os necessários para o cálculo das fórmulas de *runup* e consequente OP não serão credíveis. Dadas as condições anteriormente apresentadas, justifica-se o facto da ferramenta **GeoGal** não proceder à geração das malhas de forma automática: a criação das malhas permanece uma tarefa primária a executar pelo utilizador.

O resultado do método interpolador *Topo to Raster* foi uma batimetria suavizada e uma topografia onde são visíveis dificuldades por parte do método na representação dos valores de cota altimétrica mais alta. Este método não é capaz de gerar de forma contínua e homogénea a crista da ilha, sendo gerados “artefactos” circulares em torno dos valores de H_c . No método *Ordinary Kriging* não existem, na superfície gerada, mudanças bruscas de cotas altimétricas. A evolução dos valores interpolados é suave e progressiva na representação topográfica e batimétrica, sendo visível que tem a capacidade de gerar os relevos morfológicos submersos mais atípicos que são visíveis no campo. A representação topográfica melhora significativamente em relação ao método *Topo to Raster*. Isto deve-se aos critérios de interpolação que o método disponibiliza, permitindo

ao utilizador ir ajustado parâmetros até obter uma boa representação topográfica e batimétrica em conjunto. São de realçar os parâmetros de semivariograma e anisotropia, que permitem ajustar um ângulo de orientação e incidência sobre os dados onde o método vai atribuir maior ou menor peso na ponderação dos valores vizinhos para o cálculo de novos pontos.

A estimativa da qualidade dos dois métodos interpoladores utilizados efetuou-se por validação cruzada. A validação cruzada permite a comparação direta entre os valores altimétricos controlo (isto é, dados de levantamento do Projeto RUSH) com os que são gerados para a criação das superfícies. A partir de uma análise estatística de validação cruzada, o método interpolação *Ordinary Kriging* foi o método que se selecionou, atendendo aos valores residuais mais baixos (e.g., Malha 3 com $RMQ = 0,1502$ e $r^2 = 0,9971$) em relação ao modelo *Topo To Raster* (e.g., Malha 3 com $RMQ = 0,2103$ e $r^2 = 0,9942$). Tal significa que as diferenças entre os valores reais e os valores estimados eram inferiores para o método de *Kriging*, comparando com o método *Topo To Raster*. Visto não se observar uma diferença considerável entre os valores de r^2 , a seleção do método é baseada nos valores RMQ obtidos. A partir das representações gráficas da distribuição dos valores residuais ([Figura 57](#)), é possível observar que é sobre a zona topográfica que os métodos de interpolação têm maior dificuldade na geração das superfícies. Estas demonstram que há maior diferença entre os valores altimétricos reais e os estimados. A pior representação dos dados localiza-se nas zonas de maior inclinação, ou seja, sobre a face de praia oceânica, onde os valores de cota variam mais acentuadamente.

Na [Figura 57](#) está assinalada a vermelho a zona de maior variação residual. Este corresponde ao desfasamento entre as cotas altimétricas levantados no campo e as que são geradas pelos métodos de interpolação. É notório que existe uma menor capacidade de representação numa variação altimétrica acentuada (e.g. zona dos 0 aos 5 m, que corresponde à área topográfica da ilha em estudo).

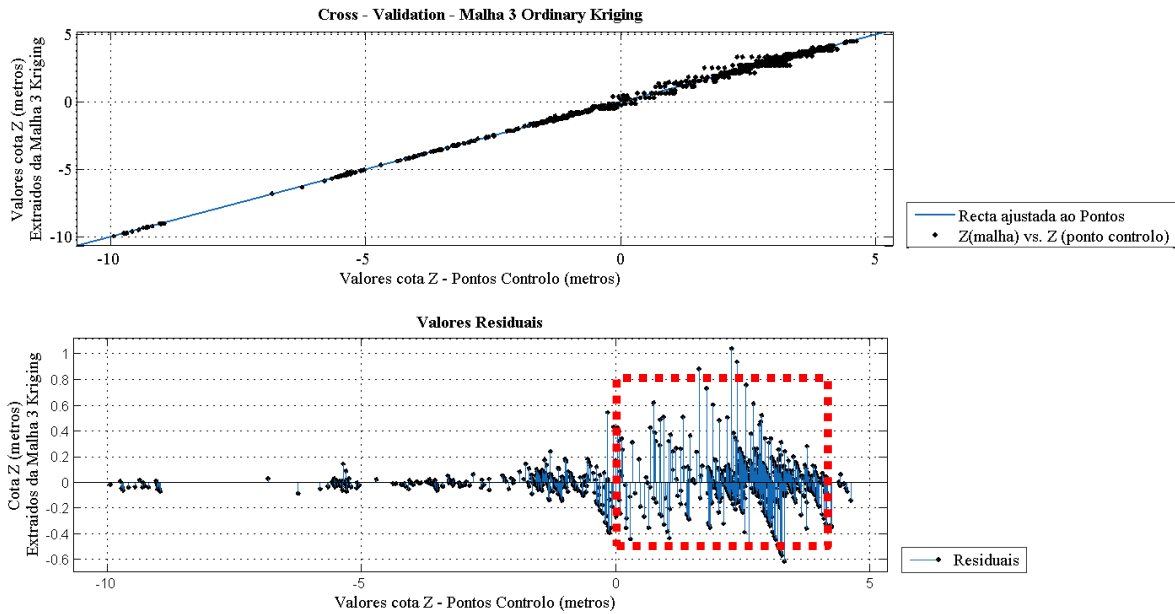


Figura 57: Representação dos valores obtidos pela aplicação do método estatístico Validação Cruzada para a Malha 3 gerada com o método interpolativo *Ordinary Kriging*.

A partir da execução do modelo numérico de propagação de ondas SWAN obtém-se a propagação de onda desde águas profundas até junto à costa, segundo três malhas encaixadas. É de realçar que a resolução da Malha 3, a partir da qual se extrai a informação final de T_p , $H_{s_{max}}$, DIR e Q_b , deve ser escolhida criteriosamente.

É desaconselhado a utilização de resoluções com uma malha inferior a 5x5 m, a fim de minimizar possíveis erros de propagação, porque o modelo não é desenvolvido para executar propagação em malhas tão refinadas e gera um volume considerável de informação. A fim de testar quais seriam as diferenças nos resultados finais na execução da caixa de ferramentas, fez-se o teste de executar a propagação de onda segundo uma malha de 5x5 m e o resultado final manteve-se coerente com o obtido para uma resolução de 2x2 m.

Apesar de, pelas razões apresentadas, optou-se por manter a resolução de 2x2 m, na apresentação do presente projeto. Isto porque: *i*) a resolução de levantamento dos dados topográficos e batimétricos permitiam a criação de malhas de elevada resolução; *ii*) para cálculos intermédios da ferramenta **GeoGal**, é mais vantajoso para permitir estimar os parâmetros junto à costa com maior resolução (e.g., valor de $H_{sb_{max}}$, cálculo do pendor). O resultado final da execução do modelo SWAN é constituído por um grande

número de pontos, mas o *software* demonstrou tempos aceitáveis de processamento em todos os testes realizados.

No presente projeto é demonstrada a forma como os SIG permitem a integração e interligação de informação geográfica de diferentes tipos e origem, como por exemplo, os dados do modelo SWAN. Como é uma área em expansão e de forte desenvolvimento, a aplicabilidade e o uso de ferramentas desenvolvidas em ambiente SIG, como a *GeoGal*, torna-se mais propícia a sua utilização no futuro por outros investigadores pois permite a integração, a visualização e o tratamento de dados.

Um das principais dificuldades na utilização do *ModelBuilder* para a criação de *GeoGal* foi a existência de muitas ferramentas de ambiente *desktop* que não estão disponíveis para aplicação com a mesma funcionalidade dentro do *ModelBuilder*. Para contornar este problema, uma vez que se pretendeu desenvolver uma metodologia que crie um processo contínuo, foi necessário criar caminhos mais longos, que geram processamentos mais demorados e complexos. Algumas funcionalidades disponibilizadas pelo *ModelBuilder*, como por exemplo a implementação de ciclos *for* e *while*, seriam muito úteis para a ferramenta. Estas funcionalidades demonstraram, no entanto, limitações quanto ao número de repetições e processos que o ciclo pode executar, pelo que estes foram evitados. O *ModelBuilder* demonstrou-se uma boa ferramenta para a mecanização e armazenamento de processamentos, porém ainda necessita de desenvolvimento. A opção pela manutenção do desenvolvimento da caixa de ferramentas no *ModelBuilder*, apesar de todas as dificuldades encontradas, baseou-se na diversidade de processos que podem ser implementados com a aplicação de scripts em código *Python*, tal como na facilidade com que a ferramenta pode evoluir para novos objetivos e novas áreas de estudo.

A execução de *GeoGal*, principalmente do **Módulo 1 – *Runup_GIS***, é mais demorada, porque o módulo tem várias fontes de dados de entrada e é o responsável pela manipulação dos dados, ao longo das suas inúmeras cadeias de processamento, para a obtenção dos parâmetros necessários ao cálculo das 11 fórmulas de *runup*.

6. Conclusão

O objetivo principal do trabalho descrito neste relatório foi a criação de uma ferramenta de geoprocessamento em ambiente SIG para o estudo do Potencial de Galgamento (OP), tendo como informação de base a influência das formas de fundo sobre a propagação e incidência na agitação marítima sobre ilhas barreira para o cálculo de 11 equações empíricas de previsão do *runup*.

Recorrendo ao *ArcMap*, *ArcGIS v.10*, implementou-se uma ferramenta de trabalho, denominada ***GeoGal*** (***Geo***processamento para ***Vulnerabilidade ao Galgamento***), facilmente aplicável em qualquer tipo de área de estudo e quaisquer morfologias de zona costeira, aproveitando as capacidades de análise espacial e visualização gráfica que o sistema oferece.

A caixa ferramentas é constituída por dois módulos: o **Módulo 1 – *RUNUP_GIS***, que produz e compila toda a informação essencial para o cálculo das equações de *runup*, e o **Módulo 2 – *OP_GIS***, que calcula o valor de potencial de galgamento, permitindo a criação de mapas de vulnerabilidade, baseando-se na seleção por parte do utilizador da fórmula de cálculo de *runup*.

Esta caixa de ferramentas foi aplicada e validada num setor da Ilha da Barreta (Ria Formosa), da qual resultou um mapa de vulnerabilidade segundo uma escala de classificação baseada em quatro intervalos (≤ 0 m, $0 - 0.2$ m, $0.2 - 0.4$ m, ≥ 0.4 m), indicando os principais sectores de maior ou menor probabilidade ao galgamento.

A classificação resulta da comparação do valor de *runup* obtido através das condições de ondas calculadas pelo modelo SWAN (altura significativa na rebentação) com a morfologia (batimetria e topografia) da ilha barreira em análise, pendores de praia e altura da crista de praia.

A utilização do ***GeoGal*** permitiu a identificação de situações de potencial de vulnerabilidade de uma forma mais concreta e aprofundada pelo conhecimento da ocorrência e da amplitude que esse fenómeno possui, permitindo fundamentar atempadamente tomadas de decisão e medidas preventivas.

Os utilizadores – com conhecimentos em SIG e oceanografia – facilmente fazem uso desta ferramenta tirando partido da informação por ela gerada, dado que se rege segundo conceitos simples e fundamentais para a obtenção de parâmetros essenciais para o estudo da zona costeira.

6.1. Perspetivas Futuras

Atendendo à descrição correspondente ao **Módulo 1 – *Runup_GIS*** descrito no capítulo 3. **GeoGal**, é de salientar a quantidade de procedimentos aplicados, sendo que a necessidade de repetição da sua execução para todos os perfis em análise torna-o denso e complexo. Desta forma, há a possibilidade de otimizar a caixa de ferramentas facilitando a análise de informação intermédia por parte do utilizador (necessária para o estabelecimento de critérios a definir no assistente de parametrização), minimizando o tempo de processo e aumentando a sua versatilidade. Desta forma, o modulo supramencionado deveria, na minha opinião, ser sectorizado em três novos Módulos, mantendo os mesmos dados de entrada (Figura 58).

Estes três novos módulos corresponderiam à segmentação do **Módulo 1 – *Runup_GIS*** com base nos seus três principais sectores de processamento de informação (3.1.1. **Módulo 1 – *Runup_GIS***), nos quais:

- Etapa 1 transforma-se no Módulo A - responsável pela criação dos perfis a processar;
- Etapa 2 transforma-se no Módulo B - responsável pela compilação de informação oriunda do modelo numérico SWAN com os perfis e a obtenção dos valores de $H_{s_{max}}$, $H_{c_{max}}$ e Pendor por perfil;
- Etapa 3 transforma-se no Módulo C - responsável pela realização do cálculo das 11 equações de *runup*.

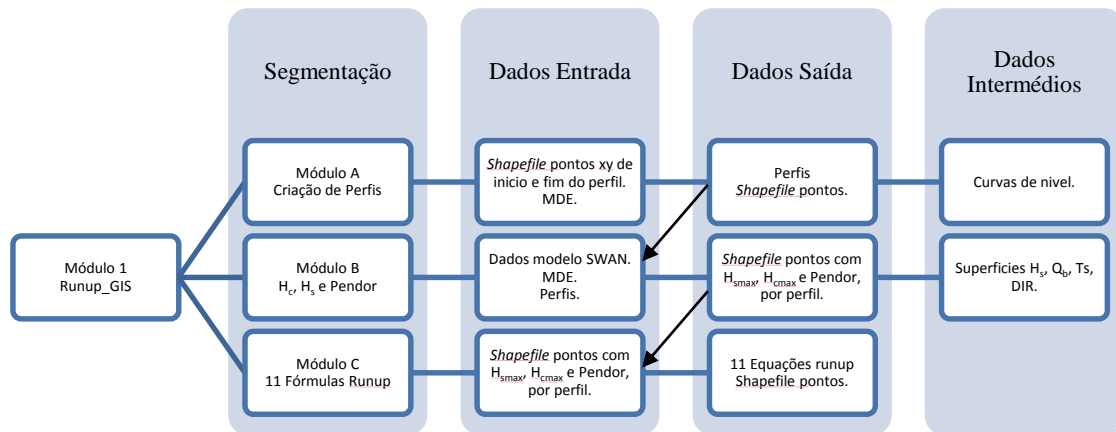


Figura 58: Sugestão de otimização do **Módulo 1** em três novos módulos. Enumeração dos dados de entrada, de saída e intermédios.

Esta nova organização permitiria alargar os cenários de aplicação da caixa de ferramentas *GeoGal*. Também, contribuiria para um aumento da interatividade do utilizador com a ferramenta, permitindo que os módulos possam funcionar de forma independente ou acoplada, de acordo com o caso em estudo. Os módulos passariam a poder ser utilizados de forma mais independente quanto à parametrização de variáveis, permitindo ainda uma melhor avaliação, visualização e análise dos resultados intermédios por parte do utilizador.

As extensas repetições dentro de cada etapa do **Módulo 1** poderiam ser solucionadas com o desenvolvimento e a implementação da ferramenta em código de programação *Python*. A otimização apresentada converge para uma visão mais ampla, dinâmica e versátil da caixa de ferramentas e uma estrutura mais intuitiva.

Bibliografia

Almeida, L. P. M., 2011. Geoprocessing tool to model impact over sandy beaches. *Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Geomática, Ramo Ciências da Informação Geográfica, Universidade do Algarve*. 50

Almeida, L.P., Ferreira, Ó., Pacheco, A., 2011. Thresholds for morphological changes on an exposed sandy beach as a function of wave height. *Earth Surface Processes and Landforms* 36: 523-532.

Almeida, L.P., Vousdoukas, M.V., Ferreira, Ó., Rodrigues, B. A., Matias, A., 2012. Thresholds for storm impacts on an exposed sandy coastal area in southern Portugal. *Geomorphology* 143-144: 3–12.

Andrade, C., 1990. Estudo da susceptibilidade ao galgamento da Ria Formosa. *Geolis*, vol IV, Fasc. 1 e 2: 69–76.

Andrade, C., 1990. O ambiente de barreira da Ria Formosa, Algarve-Portugal. *Tese de Doutoramento*. Universidade de Lisboa: 627.

Andrade, C., Barata, A., Teles, M., 1998. An analysis of the vulnerability to overwash of the Ria Formosa Barrier System (Portugal) using a simple multi-attribute rating technique (SMART) approach. *Proceedings of the 5th international conference litoral*: 511–519.

Andrews, B. D., Gares, P. A., Colby, J. D., 2002. Techniques for GIS modeling of coastal dunes. *Geomorphology* 48(1-3): 289–308.

Artimo, K., 1994. The Bridge Between Cartographic And Geographic Information Systems. *Visualization in Modern Cartography*, editado por Alan M. MacEachren e D. R. F. Taylor. New York: Elsevier Science. 45-59.

Bartlett, D., 2005. GIS for coastal zone management. New York.

Bernardo, P., Dias, J. M. A., 2003. História da ocupação das Ilhas Barreira da Ria Formosa. In: Vilas, F.; Rubio, B.; Diez, J. B.; Frances, G.; Bernabeu, M. A.; Fernandez, E.; Rey, D.; Rosón, G., eds. Special Volume on the 4th Symposium on the Atlantic Iberian Continental Margin, *Thalassas*, 19 (2b): 189-190.

Bettencourt, P., 1985. Geomorphologie et processus d'évolution récente de la côte sotavento (Algarve – Sud Portugal). *Thèse DEA, 92p., Université de Bordeaux I*. França.

Brito, S., 2007. Estudo de Galgamento em Estruturas Marítimas. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Lisboa, Novembro.

Booij, N., Ris, R. C., Holthuijsen, L. H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research* 104(C4): 7649-7666.

Câmara, G., Casa Nova, M., Hemerl, Y. A., Magalhães, G., Medeiros, C., 1996. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. Rio de Janeiro, Brasil.

Carrasco, A., Ferreira, Ó., Matias, A., Dias J., 2007. Backbarrier evolution and complete overwash occurrence. *CD-ROM of the Coastal Sediments '07*, ASCE: 13.

Costa, C., 1994. Final Report of Sub-Project A. Wind Wave Climatology of the Portuguese Coast. *Report PO-WAVES 6/94- A. Instituto Hidrográfico/LNEC*, Portugal.

Costa, M., Silva, R., Vitorino, J., 2001. Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. *Proceedings of 2as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, International Navigation Association PIANC*, Sines, Portugal.

Donnelly, C., Kraus, N., Larson, M., 2006. State of knowledge on measurement and modelling of coastal overwash. *Journal of Coastal Research* 22 (4): 965– 991.

Ferreira, Ó., Dias, J. A., 1993. Dune erosion and shoreline retreat between Aveiro and Cape Mondego (Portugal). Prediction of future evolution. *Proceedings of the International Coastal Congress*, Kiel: 187-200.

Guerra, A.T., 1987. Dicionário geológico-geomorfológico. Fundação Instituto Brasileiro de Geologia e Estatística, IBGE: 446.

Garcia, T., Ferreira, Ó., Matias, A., Dias, J., 2002. Recent evolution of Culatra Island (Algarve, Portugal). *Proceedings of the 6th International Conference Littoral 2002*, Eurocoast-Portugal Association (2):289–294.

Garcia, T., Ferreira, Ó., Matias, A., Dias, J. A., 2010. Overwash vulnerability assessment based on long-term washover evolution. *Natural Hazards* 54(2): 225–244.

Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E., Enke, K., Enwing, J. A., Gienapp, H., Hasselmann, E. E., Kruseman, P., Meerburg, A., Mueller, P., Olbers, D. J., Richter, K., Sell, W., Walden, H., 1973. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North SeaWave Project (JONSWAP). *Dtsch.Hydrogr. Z. Suppl.* 12 (A8): 1–95.

Holthuijsen, L.H., 2007. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*, Cambridge University Press Komen.

Horta, J. P. G. G., 2012. Aplicação de Tecnologias de Informação Geográfica na quantificação de variáveis morfológicas em praias Encastradas. *Projecto para a obtenção do Grau de Mestre em Geomática no Ramo de Ciências da Informação Geográfica*, Universidade do Algarve. 204

Horta, J., Pacheco, A., Moura, D., Ferreira, Ó., 2014. Ocean Dynamics Can recreational Echosounder-Chartplotter systems be used to perform accurate nearshore bathymetric surveys?; *Ocean Dynamics* 64(11):1555-1567

Hutchinson, M. F., Dowling, T. L., 1991. A new digital elevation model of Australia. *CRES Paper*, Australian National University, Canberra.

Censos 2011. Instituto Nacional de Estatística de Portugal.

Julião, R. P., 2001. Tecnologias de Informação Geográfica e Ciência Regional – Contributos Metodológicos para a Definição de Modelos de Apoio à Decisão em Desenvolvimento Regional. *Dissertação de Doutoramento no ramo de Geografia e Planeamento Regional, Especialidade de Novas Tecnologias em Geografia, Faculdade de Ciências Sociais Humanas, Universidade Nova de Lisboa*, Lisboa.

Kriebel, D. L., Dean, R. G., 1993. Convolution method for time-dependent beach-profile response. *J. Waterw. Port C-ASCE* 119: 204–226.

Kenneth, E. F., Lynch, M., 1995. Geographic Information Systems as an Integrating Technology: Context, Concepts, and Definitions. *The Geographer's Craft Project, Department of Geography, The University of Colorado at Boulder*.

Kraus, N. C., Militello, A., Todoroff, G., 2002. Barrier breaching processes and barrier spit breach, Stone Lagoon, California. *Shore & Beach*, 70 (4): 21-28.

Leatherman, S. P., 1979. Migration of Assateague Island, Maryland, by inlet and overwash processes. *Geology*, 7 (2): 104-107.

Leatherman, S.P., 1979. Barrier dune systems: a reassessment. *Sedimentary Geology* 24, 1–16.

Leatherman, S. P., 1988. Barrier Island handbook. *Maryland Coastal Publications Series, Laboratory for Coastal Research, University of Maryland, Baltimore*: 92.

Mase, H., 1989. Random wave runup height on gentle slope. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 115: 649-661.

Machado, J. R., 1993. A Emergência dos Sistemas de Informação Geográfica na Análise e Organização do Espaço. *Dissertação de doutoramento, FCT-UNL*, Lisboa.

Matias, A., 2006. Overwash sedimentary dynamics in the Ria Formosa barrier islands. *Tese de Doutoramento, Universidade do Algarve*: 275

Matias, A., Vila-Concejo, A., Ferreira, Ó., Morris, B., Dias, J., 2007. Sediment transport patterns during overwash. *CD-ROM of the Coastal Sediments '07, ASCE*: 13.

Matos, J., 2008. Fundamentos de Informação Geográfica, 5ª edição atualizada e aumentada. *Lidel*, Lisboa.

Matias, A., Ferreira, Ó., Vila-Concejo, A., Garcia, T., Dias, J., 2008. Classification of washover dynamics in barrier islands. *Geomorphology* 97:655–674.

Matias, A., Vila-Concejo, A., Ferreira, Ó., Morris, B., Dias, J. A., 2009. Sediment Dynamics of Barriers with Frequent Overwash. *Journal of Coastal Research* 253: 768–780.

Matias, A., Ferreira, Ó., Vila-Concejo, A., Morris, B., Dias, J.A., 2010. Short-term morphodynamics of non-storm overwash. *Marine Geology*, 274: 69-84.

Matias, A., Williams, J. J., Masselink, G., Ferreira, Ó., 2012. Overwash threshold for gravel barriers. *Coastal Engineering* 63: 48–61.

Neves, D. R. C. B., Zózimo, A. C., Pinheiro, L. V., Fortes, C. J., 2009. GUIOMAR: desenvolvimentos recentes e aplicação ao caso de Sines. *Proc 6ªs, PIANC, Funchal, 7 e 8 de Outubro*.

Neves, D. R. C. B., 2009. Utilização de um sistema de informação geográfica na modelação numérica de propagação de ondas em zonas portuárias. *Tese de mestrado em Ciências Geofísicas, Especialização em Oceanografia. Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Lisboa*. 92

Orford, J., Jennings, S., Pethick, J., 2003. Extremestormeffectong Proc. Coast. Sedim. '03. *ASCE*, Florida, U.S.A.

Pereira, C. A. S., 2010. Risco de erosão para diferentes cenários de Evolução do litoral de Aveiro. *Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Universidade de Aveiro*.

Pilkey, O., Neal, W., Monteiro, J., Dias, J., 1989. Algarve barrier islands: a noncoastal-plain system in Portugal. *J Coast Res* 5(2):239–261.

Painho, M., Sena, R., Mota, F., Silva, H., Roseiro, H., Matos, P., Rodrigues, D., Rodrigues, N., Alves, H., 2002. Desenvolvimento de Aplicações WebGIS utilizando a especificação Web Mapping Server do OpenGIS. *Proceedings do ESIG 2002 – VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica*, Oeiras, Portugal:10.

Painho, M., 2006. A informação Geográfica, a Geografia e a Internet: Um Novo Olhar sobre a Sociedade e a Internet. *Fórum Geográfico, Revista Científica e Técnica do IGP, O Papel da Informação Geográfica na Sociedade, Ano I, nº 1*:26-38.

Pessanha, L. E., Pires, H. O., 1981. Elementos sobre o clima de agitação marítima na costa sul do Algarve. *Report of Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica*: 66.

Pinto, P., 2008. Sistemas de apoio à gestão das zonas costeiras – Aplicação de um modelo para simulação do crescimento urbano no trecho Ovar-Mira. *Dissertação, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa*, Lisboa.

Pires, H. O., 1998. Preliminary Report on the wave climate at Faro. (*unpublished*) *Project India. Instituto de Meteorologia – Instituto Superior Técnico*, Lisboa: 37.

Tabajara, L. L., Gruber, N. L. S., Dillenburg, S. R., Aquino, R., 2005. Vulnerabilidade e Classificação das Dunas da Praia de Capão da Canoa , Litoral Norte do Rio Grande do Sul. *Gravel* nº3:71–84.

Vidinha, J., Andrade, C., 1995. Análise da susceptibilidade ao galgamento no litoral entre Espinho e o Cabo Mondego (Portugal). *Geociências*, 9: 35-46.

Vila-Concejo, A., Ferreira, Ó., Matias, A., Dias, J. M. A., 2003. The first two years of an inlet: sedimentary dynamics. *Cont. Shelf Res.* 23: 1425–1445.

Vila-Concejo, A., Matias, A., Ferreira, Ó., Dias, J. A., 2006. Inlet sediment bypassing to a downdrift washover plain. *Journal of Coastal Research SI* 39: 401–405.

Wright, D., 2011. GIS for the Oceans, (January).

Sallenger, R. A. H., 2000. Storm Impact Scale for Barrier Islands. *Journal of Geophysical Research* 16(3): 890-895.

Shepard, F., 1973. Submarine geology, 3rd edn. *Harper and Row Publishers*, New York: 517.

Shirey, G., 2001. Metadata: What's the Big Deal? Protecting Your Investment in Data With Metadata. *ESRI Online Course*.

Stockdon, H. F., Holman, R. A., Howd, P. A., Sallenger, A. H., 2006. Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering* 53(7): 573–588.

Stockdon, H. F., Sallenger, A. H., Holman, R. A., Howd, P. A., 2007. A simple model for the spatially-variable coastal response to hurricanes. *Marine Geology* 238(1-4): 1–20.

Ris, R. C., Holthuijsen, L. H., Booij, N., 1999. A third-generation wave model for coastal regions: 2. Verification. *Journal of Geophysical Research* 104(C4): 7667.

Rodrigues, B. A., 2009. The Ancão Peninsula Vulnerability to Overwash Events. *Dissertação para obter o grau de Mestre em Gestão da Água e da Costa (Curso Europeu)*, Erasmus Mundus European Joint Master in Water and Coastal Management UNIVERSIDADE DO ALGARVE, FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA, Faro. 66

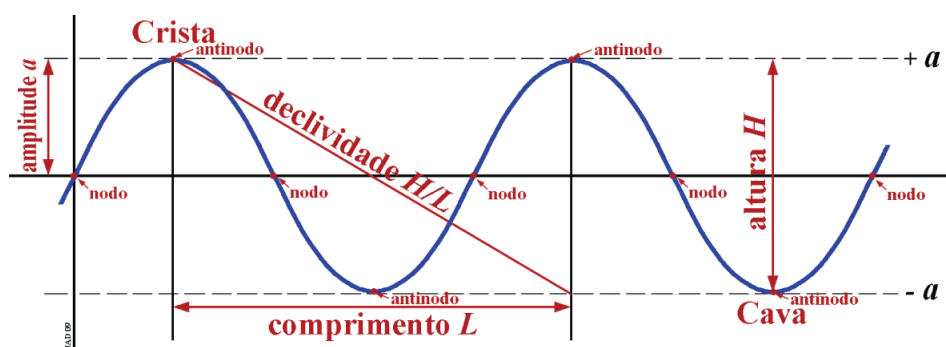
ROSA, R. 2004. Cartografia Básica. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia. Laboratório de Geoprocessamento.

Vidinha, J., Andrade, C., 1995. Análise da susceptibilidade ao galgamento no litoral entre Espinho e o Cabo Mondego (Portugal). *Geociências*, 9, 35-46.

Anexos

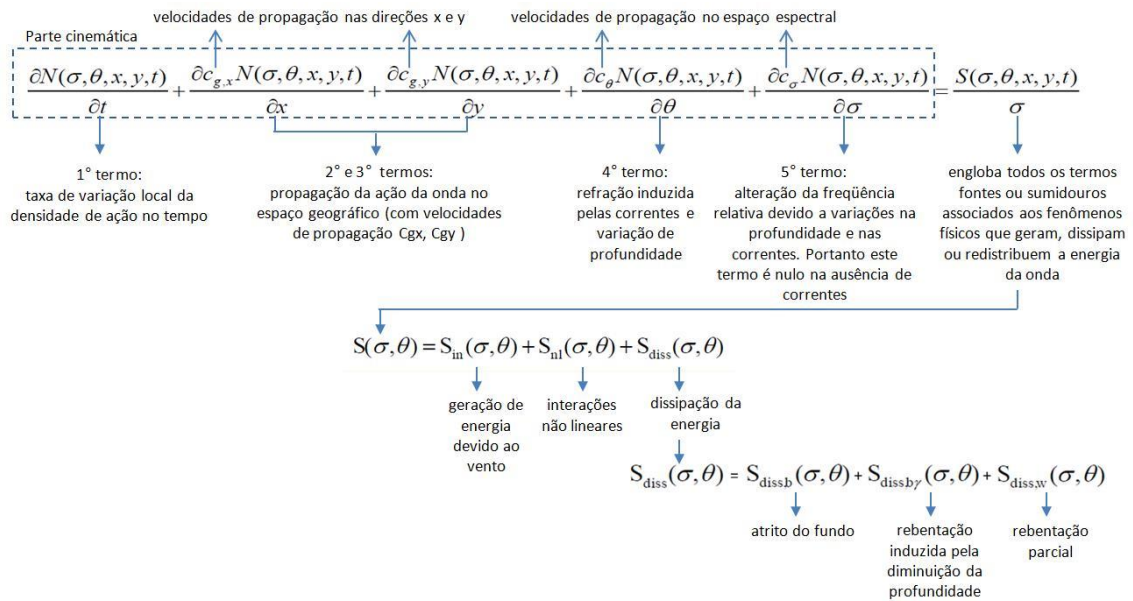
Anexo 1 - Variáveis que caracterizam o comportamento oscilatório de uma onda.

Esquema que ilustra dois períodos de oscilação de onda estando representadas as diferentes variáveis que caracterizam o comportamento oscilatório. Fonte: <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/onda.html#>.



Anexo 2 – Modelo numérico SWAN

Fluxograma demonstra-se a equação do balanço espectral utilizada pelo modelo numérico SWAN. Equação do balanço da energia espectral formulada em Coordenadas Eulerianas. Acompanhado por breves explicações.



Anexo 3 – Scripts SWAN

Scripts aplicados para a execução do modelo numérico de propagação de ondas SWAN segundo as três malhas encaixadas.

Anexo 3.1 – Malha 1

```
$-----  
$Start-up Comando  
$-----  
PROJECT 'BatAlg44m' '1'  
  
$****MODEL INPUTS  
SET level=1.35 NAUTical  
  
$****NONSTAT DEFINITION  
MODE STATIONary TWODimensional  
COORDIANTEs CARTesian  
  
$-----  
$Commands for model description  
$-----  
$***** GRIDS BATHYMETRY*****  
$CGRID & BOTGRID 44.7x44.7 m resolution  
CGRID 8065.2548141218 -308691.90535155 0 15914 13322 355 297 CIRCLE 36 0.040 1.000 14  
  
$Input Fields GRID  
INPGRID BOTTOM REGULAR 8065.2548141218 -308691.90535155 0 15914 13322 44.70135 44.70135  
READINP BOTTOM 1. 'malha1_19n.bot' 1 6 FREE  
  
$-----  
$Boundary and initial conditions  
$-----  
$*****BOUNDARY CONDITIONS*****  
$29 de Setembro de 2012 Hs Tp Dir (-4°corecção, Norte Magnético) POWER  
  
BOUND SHAPespec JONswap PEAK DSPR POWER  
BOUNDspec SIDE West CONSTANT PAR 0.89 9.1 248 3  
BOUNDspec SIDE South CONSTANT PAR 0.89 9.1 248 3  
BOUNDspec SIDE EAST CONSTANT PAR 0.89 9.1 248 3  
  
$*****PHYSICS*****  
GEN3 JANSSEN  
OFF QUAD  
OFF WINDGrowth  
BREAKING CONstant 1.0 0.78
```

FRICION JONSWAP VARIABLE
TRIAD
DIFFRAC

\$*****NUMERICAL REQUESTS*****
NUMERIC ACCUR 0.01 .02 .02 95.00 STAT 20 0.01

\$-----
\$Output conditions
\$-----
\$*****OUTPUT REQUESTS - nesting*****
\$ NESTING GRIDS 18x18m resolution
\$ Resolução da próxima NESTING GRIDS, do Levantamento de Referência

NGRID 'nestage' 14504.53936 -302210.27064 0 3860 4413 251 286
NESTOUT 'nestage' 'BatGrand_LevRef.nst'

\$*****OUTPUT REQUESTS*****
\$ OUTPUT VARIABLES DEFINED:
\$ HSIGN - Significant wave height [m]
\$ HSWELL- Swell wave height [m]
\$ DIR - Mean wave direction [°]
\$ PDIR - Peak wave direction [°]
\$ RTP - Peak period of the variance density spectrum (relative frequency spectrum) [s]
\$ TPS - Peak wave period [s]
\$ TM01 - Mean absolute wave period [s]
\$ TM02 - Mean absolute wave period [s]
\$ QB - Fraction Breaking waves [%]
\$ DEPTH - water depth (not the bottom level) [m]

\$ OUTPUT OF FULL DATA GRIDS FOR MATLAB PROCESSING
BLOCK 'BOTTGRID' NOHEADER 'SWANwaves_BG.mat' LAYOUT 3 XP YP
HSIGN QB DIR TPS RTP OUTPUT 20130119.014800 30 MIN
BLOCK 'BOTTGRID' NOHEADER 'SWANwaves_BG_v2.mat' LAYOUT 3 HSWELL
PDIR TM01 TM02 DEPTH OUTPUT 20130119.014800 30 MIN

\$*****COMPUTATIONAL TIME WINDOW*****
COMPUTE STAT
STOP

Anexo 3.2 - Malha 2

```
$-----  
$Start-up Comando  
$-----  
PROJECT 'LevantReferenc' '1'  
  
$****MODEL INPUTS  
SET level=1.35 NAUTical  
  
$****NONSTAT DEFINITION  
MODE STATIONary TWODimensional  
COORDIANTEs CARTesian  
  
$-----  
$Commands for model description  
$-----  
$***** GRIDS BATHYMETRY*****  
$CGRID & BOTGRID 18x18 m resolution  
CGRID REGULAR 14504.53936 -302210.27064 0 3860 4413 251 286 CIRCLE 36 0.040 1.000 14  
  
$Input Fields GRID  
INPGRID BOTTOM REGULAR 14504.53936 -302210.27064 0 250 285 15.42 15.42  
READINP BOTTOM 1. 'lr_16m_3_asc.bot' 1 6 FREE  
  
$-----  
$Boundary and initial conditions  
$-----  
$*****BOUNDARY CONDITIONS*****  
$29 de Setembro de 2012 Hs Tp Dir (-4°corecção, Norte Magnético) POWER  
BOUNDnest1 NEST 'BatGrand_LevRef.nst' CLOSED  
  
$*****PHYSICS*****  
GEN3 JANSSEN  
OFF QUAD  
OFF WINDGrowth  
BREAKING CONstant 1.0 0.78  
FRICTION JONSWAP VARIABLE  
TRIAD
```

DIFFRACTION

```
$*****NUMERICAL REQUESTS*****  
NUMERIC ACCUR 0.01 .02 .02 95.00 STAT 20 0.01
```

```
$-----  
$Output conditions  
$-----
```

```
$*****OUTPUT REQUESTS - nesting*****  
$ NESTING GRIDS 2x5m resolution  
$ Resolução da próxima NESTING GRIDS, Barreta
```

```
NGRID 'nestage1' 16331.91 -299985.41 0 1750 1440 874 719
```

```
NESTOUT 'nestage1' 'nestBarreta.nst'
```

```
$*****OUTPUT REQUESTS*****  
$ OUTPUT TABLE WITH DETAILED INFORMATION FOR EVERY POINT IN THE GRID  
FRAME 'bord' 14504.53936 -302210.27064 0 5200 4500 251 286  
TABLE 'bord' HEADER 'Waves_Barreta.dat' XP YP HSIGN DIR PDIR TPS TM01
```

```
$ OUTPUT OF FULL DATA GRIDS FOR MATLAB PROCESSING  
BLOCK 'BOTTGRID' NOHEADER 'SWANwaves_LevReferencia.mat' LAYOUT 3  
HSign DIR PDIR TM01 TPS
```

```
$*****COMPUTATIONAL TIME WINDOW*****  
COMPUTE STAT  
STOP
```

Anexo 3.3 – Malha 3

```
$-----  
$Start-up Comando  
$-----  
PROJECT 'Barreta' '1'  
$****MODEL INPUTS  
SET level=1.35 NAUTical  
  
$****NONSTAT DEFINITION  
MODE STATIONary TWODimensional  
COORDIANTEs CARTesian  
  
$-----  
$Commands for model description  
$-----  
$***** GRIDS BATHYMETRY*****  
CGRID REGULAR 16329.91 -299987.41 0 1773 1466 296 240 CIRCLE 36 0.040 1.000 14  
  
$Input Fields GRID  
INPGRID BOTTOM REGULAR 16329.91 -299987.41 0 296 240 6 6  
READINP BOTTOM 1. 'barreta.16m.asc.bot' 1 6 FREE  
  
$-----  
$Boundary and initial conditions  
$-----  
$*****BOUNDARY CONDITIONS*****  
BOUNDnest1 NEST 'nestBarreta.nst' CLOSED  
  
$*****PHYSICS*****  
GEN3 JANSSEN  
OFF QUAD  
OFF WINDGrowth  
BREAKING CONstant 1.0 0.78  
FRICTION JONSWAP VARIABLE  
TRIAD  
  
$**** NUMERICAL REQUESTS ****  
NUMERIC ACCUR 0.01 .02 .02 95.00 STAT 30 0.01
```

```
$-----  
$Output conditions  
$-----  
$*****OUTPUT REQUESTS - nesting*****  
$ OUTPUT TABLE WITH DETAILED INFORMATION FOR EVERY POINT IN THE GRID  
FRAME 'bord' 16329.91 -299987.41 0 1773 1466 296 240  
TABLE 'bord' HEADER 'Waves_Barreta.dat' XP YP HSIGN DIR PDIR TPS TM01  
  
$ OUTPUT OF FULL DATA GRIDS FOR MATLAB PROCESSING  
BLOCK 'BOTTGRID' NOHEADER 'SWANwaves_Barreta.mat' LAYOUT 3 XP YP  
HSign DIR TPS QB PDir TPsmoo TM01  
BLOCK 'BOTTGRID' NOHEADER 'SWANwaves_Barreta.nc' LAYOUT 3 HSign DIR TPS QB  
  
$*****COMPUTATIONAL TIME WINDOW*****  
COMPUTE STAT  
STOP
```

Anexo 4 – CD-ROM

Os **Modelos 1 e 2** foram exportados para script em linguagem de programação python (**GeoGal_M1_Runup_GIS.py**, **GeoGal_M2_OP_GIS_Py.py**). Por limite de espaço, estes anexo apenas se encontra disponível na versão em CD-ROM.

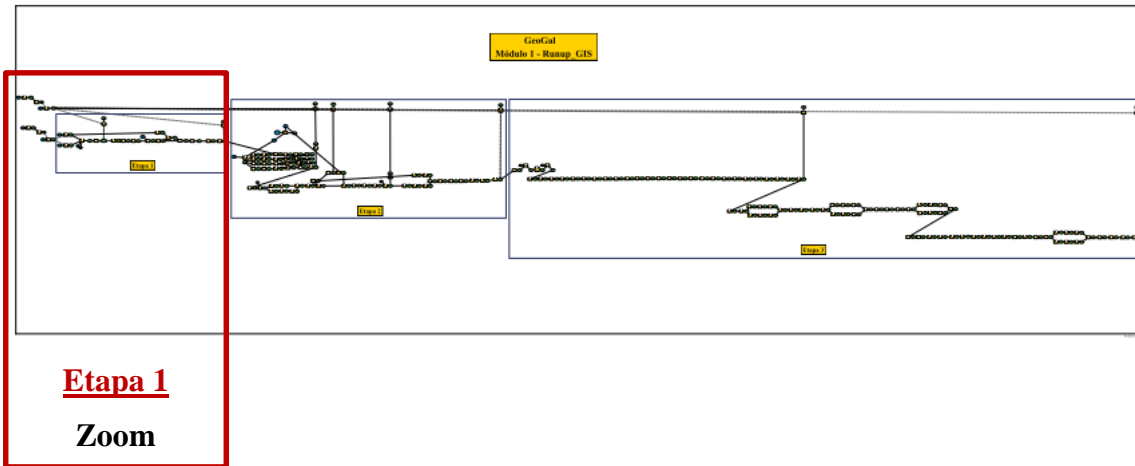
O **Modulo 1 – Runup_GIS** desenvolvido no *ModelBuillder* é possível de ser visualizado no documento **M1_Runup_GIS_ModelBuillder.pdf** e **M1_Runup_GIS_Exemplo1Perfil.pdf** (**Anexo 5**) disponível no CD-ROM.

Anexo 5 – GeoGal, Módulo 1 – *Runup_GIS*

Dada a extensão do **Módulo 1** não foi possível realizar uma impressão viável a ser anexada ao relatório de projeto com o modelo completo. Segue anexado um desdobrável, a título demonstrativo, de todo o processamento, porém para um único perfil (documento anexo ao CD-ROM **M1_Runup_GIS_Exemplo1Perfil.pdf**), como é possível consultar nos [Anexos 5.1, 5.2 e 5.3](#).

Anexo 5.1 – Etapa 1

Zoom à Etapa 1 de processamento do **Módulo 1 – Runup_GIS** desenvolvida em *ModelBuilder*.



Anexo 5.2 – Etapa 2

Zoom à Etapa 2 de processamento do **Módulo 1 – *Runup_GIS*** desenvolvida em *ModelBuilder*.

