Instituto Politécnico de Lisboa Instituto Superior de Engenheira de Lisboa



Análise da operacionalidade do terminal portuário de S. Roque do Pico, com base no regime geral de agitação

Ana Rita Caldeira Costa

Licenciatura em Matemática Aplicada à Tecnologia e à Empresa

Ano Letivo 2019/2020

Orientadores:

Professora Sandra Aleixo (ISEL)

Professor Nuno Lopes (ISEL)

Engenheira Liliana Pinheiro (LNEC)

Engenheira Conceição Juana Fortes (LNEC)









Resumo

O porto de S. Roque do Pico situa-se na ilha do Pico, do Grupo Central do Arquipélago dos Açores está vocacionado para a navegação comercial, mantendo uma valência de apoio à navegação de passageiros entre ilhas, outra de apoio à comunidade piscatória local e, ainda, um núcleo de recreio náutico.

No interior do Porto de S. Roque do Pico localiza-se o terminal portuário que recebe navios de carga geral e navios ferry para transporte de passageiros e veículos. Este é um porto muito importante para a ilha do Pico.

O objetivo do presente trabalho é determinar a operacionalidade dos 4 pontos de acostagem deste terminal, com base nos regimes de agitação marítima obtidos nesses pontos.

Para este efeito, recorreu-se à modelação numérica da propagação de ondas em zonas costeiras e portuárias para estabelecimento desses regimes. Com efeito, partindo de estimativas da agitação marítima ao largo, procedeu-se à sua transferência para o interior do porto, e mais concretamente, para os 4 postos de acostagem. Com esses valores e impondo valores limite para a altura da onda compatíveis com as diversas atividades do porto, determinam-se os tempos de inoperacionalidade.

Efetuou-se também uma análise estatística dos regimes de agitação nos pontos selecionados, tanto ao largo como ao longo da sua propagação.





Abstract

The port of S. Roque do Pico is located on the island of Pico, belonging to the Central Group of the Archipelago of the Azores and is dedicated to commercial navigation, maintaining a valence to support passenger navigation between islands, another to support the local fishing community and , also, a nautical recreational centre.

Inside the Port of S. Roque do Pico is located the port terminal that receives general cargo ships and ferry ships for the transportation of passengers and vehicles. This is a very important port for the Pico island.

The objective of the present work is to determine the operability of the 4 docking points of this terminal, based on the sea agitation regimes obtained at these points.

For this purpose, numerical modelling of wave propagation in coastal and port areas was used to establish these regimes. In effect, the offshore wave values, are transferred to interior of the port, and more specifically, to the 4 berths. With these values and imposing limit values for the wave height compatible with the various activities of the port, the downtime is determined.

A statistical analysis of the agitation regimes at the selected points was also carried out, both offshore and along their propagation.





Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus orientadores do ISEL, à Professora Sandra Aleixo e ao Professor Nuno Lopes, pela oportunidade que me proporcionaram ao confiar-me a realização deste projeto. Agradeço todo o acompanhamento, dedicação e apoio que me deram durante estes cinco meses de estágio.

Ao LNEC, pelo apoio, informação e dados que me disponibilizaram, essenciais para o desenvolvimento do projeto. Em particular quero agradecer à Engenheira Liliana Pinheiro e à Engenheira Juana Fortes que me deram todo o apoio necessário.

Agradeço a toda a minha família e amigos, em especial aos meus irmãos, por todo o apoio e paciência que tiveram comigo durante a realização do curso, incluindo o presente estágio. Mas principalmente, agradeço à pessoa que mais coragem me dá em todas as decisões tomadas da minha vida, à minha mãe. Agradeço por todo o seu apoio e por todos os sacrifícios que faz por mim, tanto a nível escolar como pessoal. A ela devo tudo o que sou e tenho.

Por fim, quero agradecer a todos os professores que cruzaram o meu caminho ao longo deste percurso académico.





Índice

1	Intro	rodução1						
	1.1	Âmbito e objetivos						
	1.2	Organização do relatório						
2	Zona	Zona de estudo4						
3	Met	Vietodologia						
	3.1	Introdução						
	3.2	Dados de base						
	3.3	Fase I - Caracteriz	ação dos regimes de agitação marítima ao largo13					
	3.4	Fase II - Carateriz	ção dos regimes de agitação marítima nos postos de acostagem.14					
	3.4.2	O modelo SV	/AN - descrição15					
	3.4.2	O modelo Di	EAMS - descrição16					
	3.5	Fase III – Avaliaçã	o da operacionalidade17					
4	Fase	I - Regimes de agi	ação marítima ao largo do porto de S. Roque do Pico18					
	4.1	Introdução						
	4.2	Análise estatística	, histogramas18					
	4.3	Análise estatística	dos ventos, no ponto ao largo (ponto L)33					
5	Fase	II – Caraterização	dos regimes de agitação marítima nos pontos P e P1 a P441					
	5.1	Introdução	41					
	5.2	Transferência dos	regimes de agitação marítima do ponto L para o ponto P41					
	5.2.3	Introdução	41					
	5.2.2	Domínio con	putacional e condições do modelo SWAN42					
	5.3	Caraterização do	egime de agitação marítima no ponto P44					
	5.4	Comparação dos	egimes de agitação marítima no ponto ao largo (ponto L) e no					
	ponto	·						
	5.5 dentro	Transferência dos do porto de S. Ro	regimes de agitação marítima do ponto P para quatro ponto Jue57					
	5.5.2	Introdução						
	5.5.2	Domínio con	putacional e condições do modelo DREAMS57					
	5.6 Roque	Caracterização do P1, P2, P3 e P4)	s regimes de agitação marítima nos pontos dentro do porto de S. 59					
	5.7 dentro	Comparação dos do porto de S. Ro	egimes de agitação marítima no ponto P e nos quatro pontos Jue64					
6	Fase	III - Avaliação da o	peracionalidade no porto de S. Roque do Pico66					
7	Con	Conclusões						





8	Referências bibliográficas	72
9	ANEXO	73





Índice de figuras

Figura 2.1 – Localização da zona de estudo (Google Earth)4
Figura 2.2 – Vista do porto de S. Roque (Google Earth)5
Figura 2.3 – Porto de S. Roque do Pico. Vista geral e do cais interior do quebra-mar6
Figura 2.4 – Porto de s. roque do pico. zonas do porto: a) cais principal; b) rampa ro/ro; c)
porto de pesca; d) cabeça do molhe; e) armazenamento dos contentores; f) instalações
portuárias7
Figura 2.5 – Porto de S. Roque do Pico. Zona do cais do ferry7
Figura 3.1 - Metodologia utilizada10
Figura 3.2 - Localizações relativas do ponto ao largo e o ponto do prolongamento11
Figura 3.3 - ECMWF Downloader12
Figura 3.4 - Localização dos pontos dentro do porto de S. Roque, onde vão ser estudadas as
respostas de um navio amarrado13
Figura 3.5 – Processos da caracterização das ondas, desde o ponto ao largo aos pontos dentro
do porto de S. Roque14
Figura 4.1 – Largo. Regime geral observado. <i>boxplot</i> relativos à altura de onda, período de pico
e direção das ondas no ponto L20
Figura 4.2 - Largo. Regime geral observado. Histogramas de Hs e Tp relativos ao regime geral
de agitação marítima na zona de estudo, desde 1979 a 2019
Figura 4.3 – Largo. Regime geral observado. Distribuição conjunta de Hs-Dir. Rosa das direções.
Figura 4.4 – Largo. Regime geral observado. Distribuição conjunta de Tp-Dir. Rosa de direções.
Figura 4.5 - Largo. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Tp, complementado
com histogramas marginais de cada parâmetro24
Figura 4.6 - Largo. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir, complementando
com histogramas marginais de cada parâmetro25
Figura 4.7 - Largo. Regime geral observado. Histograma conjunto de Tp-Dir, complementando
com histogramas marginais de cada parâmetro26
Figura 4.8 – Largo. Regime médio mensal. Alturas significativas médias mensais27
Figura 4.9 – Largo. Regime médio mensal. Períodos de pico médios mensais27
Figura 4.10 - Largo. Regime médio dos máximos mensais de Hs
Figura 4.11- Largo. Regime médio dos máximos mensais de Tp



ZNE<

Figura 4.12 - Largo. Valores das alturas significativas máximas mensais e respetiva média
mensal (média das alturas significativas máximas mensais)29
Figura 4.13 – Largo. Distribuição das alturas significativas máximas mensais para os dados em
estudo (ECMWF): a) com o período médio, Tp; b) com a direção, Dir
Figura 4.14 – Largo. Valores máximos anuais de altura significativa, Hs, por inverno marítimo.
Figura 4.15 – <i>Boxplot</i> relativos à intensidade e direção do vento35
Figura 4.16 – Largo. Histograma relativo à intensidade do vento
Figura 4.17 – Largo. Distribuição conjunta I – Dir. Rosa das direções de Vento
Figura 4.18 – Largo. Histograma conjunto de I-Dir, complementado com histogramas marginais
de cada parâmetro38
Figura 4.19- Largo. Intensidades médias mensais de vento39
Figura 4.20 – Largo. Regime médio mensal da intensidade do vento
Figura 4.21 – Largo. Intensidades máximas mensais e respetiva mádia mensal (média das
intensidades máximas mensais)40
Figura 4.22 – Largo. Distribuição de máximo anuais da intensidade por inverno marítimo40
Figura 5.1 – Ponto P. Representação das três malhas usadas na simulação das ondas43
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. boxplot relativos à altura de onda, período de
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. <i>boxplot</i> relativos à altura de onda, período de pico e direção das ondas no ponto p46
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. <i>boxplot</i> relativos à altura de onda, período de pico e direção das ondas no ponto p
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. <i>boxplot</i> relativos à altura de onda, período de pico e direção das ondas no ponto p
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. <i>boxplot</i> relativos à altura de onda, período de pico e direção das ondas no ponto p
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. <i>boxplot</i> relativos à altura de onda, período de pico e direção das ondas no ponto p
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. <i>boxplot</i> relativos à altura de onda, período de pico e direção das ondas no ponto p
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. <i>boxplot</i> relativos à altura de onda, período de pico e direção das ondas no ponto p
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. <i>boxplot</i> relativos à altura de onda, período de pico e direção das ondas no ponto p
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. <i>boxplot</i> relativos à altura de onda, período depico e direção das ondas no ponto p46Figura 5.3 – Ponto P. Regime geral observado. Histogramas relativos à altura significativa deonda e ao período de pico48Figura 5.4 - Ponto P. Regime geral observado. Rosa das direções49Figura 5.5 – Ponto P. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Tp, complementado.50Figura 5.6 - Ponto P. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir, complementado.51Figura 5.7 - Ponto P. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir, complementado
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. boxplot relativos à altura de onda, período depico e direção das ondas no ponto p46Figura 5.3 – Ponto P. Regime geral observado. Histogramas relativos à altura significativa deonda e ao período de pico48Figura 5.4 - Ponto P. Regime geral observado.Rosa das direções.49Figura 5.5 – Ponto P. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Tp, complementado.50Figura 5.6 - Ponto P. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir, complementado.51Figura 5.7 - Ponto P. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir, complementado.51Figura 5.7 - Ponto P. Regime geral observado. Histograma conjunto de Tp-Dir, complementado.52
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. boxplot relativos à altura de onda, período depico e direção das ondas no ponto p
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. <i>boxplot</i> relativos à altura de onda, período depico e direção das ondas no ponto p46Figura 5.3 – Ponto P. Regime geral observado. Histogramas relativos à altura significativa deonda e ao período de pico48Figura 5.4 - Ponto P. Regime geral observado. Rosa das direções49Figura 5.5 – Ponto P. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Tp, complementado.50com histogramas marginais de cada parâmetro50Figura 5.6 - Ponto P. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir, complementadocom histogramas marginais de cada parâmetro51Figura 5.7 - Ponto P. Regime geral observado. Histograma conjunto de Tp-Dir, complementadocom histogramas marginais de cada parâmetro51Figura 5.7 - Ponto P. Regime geral observado. Histograma conjunto de Tp-Dir, complementadocom histogramas marginais de cada parâmetro52Figura 5.8 - Ponto P. Regime geral observado. Histograma conjunto de Tp-Dir, complementadocom histogramas marginais de cada parâmetro52Figura 5.8 - Ponto P. Regime geral observado. Histograma conjunto de Tp-Dir, complementadocom histogramas marginais de cada parâmetro52Figura 5.8 - Ponto P. Regime médio mensal. Alturas significativas médias mensais dos valoresobtidos através da simulação realizada pelo SWAN53
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. <i>boxplot</i> relativos à altura de onda, período de pico e direção das ondas no ponto p
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. boxplot relativos à altura de onda, período depico e direção das ondas no ponto p
Figura 5.2 – Ponto P. Regime geral observado. <i>boxplot</i> relativos à altura de onda, período depico e direção das ondas no ponto p





Figura 5.11 – Ponto P. Regime médio dos máximos mensal. Períodos de pico máximos médios						
mensais						
Figura 5.12 – Ponto P. Valores das alturas significativas máximas mensais e respetiva média						
mensal (média das alturas significativas máximas mensais)55						
Figura 5.13 – Ponto P. valores máximos anuais de altura significativa, Hs						
Figura 5.14 -Interface utilizada no modelo DREAMS58						
Figura 5.15 – Pontos P1 a P4. Regime geral observado. Histogramas de Hs relativos ao regime						
geral da agitação marítima. a) ponto P1; b) ponto P2; c) ponto P3 e d) ponto P461						
Figura 5.16 – Pontos P1 a P4. Regime geral observado. Distribuição conjunta Hs – Dir. Rosa das						
direções. a) ponto P1; b) ponto P2; c) ponto P3 e d) ponto P462						
Figura 5.17 – Pontos P1 a P4. Regime médio dos máximos mensais. Média da alturas						
significativas máximas mensais dos pontos em análise. a) ponto P1; b) ponto P2; c) ponto P3 e						
d) ponto P463						
Figura 6.1 - Operacionalidade dos navios nos quatro pontos considerados dentro do porto de						
S. Roque						
Figura 6.2 – Ponto P1. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio68						
Figura 6.3 – Ponto P2. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio68						
Figura 6.4 -Ponto P3. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio68						
Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio69						
Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio69						
Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio69 Figura 9.1 - Interface usada no modelo SWAN73						
 Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio69 Figura 9.1 - Interface usada no modelo SWAN						
 Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio69 Figura 9.1 - Interface usada no modelo SWAN						
 Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio						
Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio69Figura 9.1 - Interface usada no modelo SWAN						
 Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio						
Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio.69Figura 9.1 - Interface usada no modelo SWAN.73Figura 9.2 – Ponto P1. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Tp, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.74Figura 9.3 – Ponto P1. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.74Figura 9.4 – Ponto P1. Regime geral observado. Histograma conjunto de Tp-Dir, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.74						
Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio						
Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio.69Figura 9.1 - Interface usada no modelo SWAN.73Figura 9.2 – Ponto P1. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Tp,complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.74Figura 9.3 – Ponto P1. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir,complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.74Figura 9.4 – Ponto P1. Regime geral observado. Histograma conjunto de Tp-Dir,complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.75Figura 9.5 – Ponto P2. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Tp,complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.75Figura 9.5 – Ponto P2. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Tp,complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.75Figura 9.5 – Ponto P2. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Tp,complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.76						
Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio.69Figura 9.1 - Interface usada no modelo SWAN.73Figura 9.2 – Ponto P1. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Tp, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.74Figura 9.3 – Ponto P1. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.74Figura 9.4 – Ponto P1. Regime geral observado. Histograma conjunto de Tp-Dir, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.74Figura 9.4 – Ponto P1. Regime geral observado. Histograma conjunto de Tp-Dir, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.75Figura 9.5 – Ponto P2. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Tp, complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.76Figura 9.6 – Ponto P2. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir,76						
Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio.69Figura 9.1 - Interface usada no modelo SWAN.73Figura 9.2 – Ponto P1. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Tp,complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.74Figura 9.3 – Ponto P1. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir,complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.74Figura 9.4 – Ponto P1. Regime geral observado. Histograma conjunto de Tp-Dir,complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.75Figura 9.5 – Ponto P2. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Tp,complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.75Figura 9.6 – Ponto P2. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir,complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.76Figura 9.6 – Ponto P2. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir,complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.76Figura 9.6 – Ponto P2. Regime geral observado. Histograma conjunto de Hs-Dir,complementado com histogramas marginais de cada parâmetro.76						
Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio						
Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio						
Figura 6.5 – Ponto P4. Número de dias que se verifica inoperacionalidade de um navio						





Figura	9.9	-	Ponto	РЗ.	Regime	geral	observado.	Histograma	conjunto	de	Hs-Dir,
comple	ement	ado	o com hi	stogr	amas mai	rginais (de cada parâr	netro			78
Figura	9.10	-	Ponto	Ρ3.	Regime	geral	observado.	Histograma	conjunto	de	Tp-Dir,
complementado com histogramas marginais de cada parâmetro											
Figura	9.11	-	Ponto	P4.	Regime	geral	observado.	Histograma	conjunto	de	Hs-Tp,
comple	ement	ado	o com hi	stogr	amas mai	rginais (de cada parâr	netro			80
Figura	9.12	-	Ponto	Ρ4.	Regime	geral	observado.	Histograma	conjunto	de	Hs-Dir,
comple	ement	ado	o com hi	stogr	amas mai	rginais (de cada parâr	netro			81
Figura	9.13	-	Ponto	Ρ4.	Regime	geral	observado.	Histograma	conjunto	de	Tp-Dir,
comple	ement	ado	o com hi	stogr	amas mai	rginais (de cada parâr	netro			82
Figura	9.14 -	Po	nto P1.	valore	es máximo	os anua	is de altura si	gnificativa, Hs	5		83
Figura	9.15 -	Po	nto P2.	valore	es máximo	os anua	is de altura si	gnificativa, He	5		83
Figura	9.16 -	Po	nto P3. v	valore	es máximo	os anua	is de altura si	gnificativa, He	5	•••••	83





Índice de tabelas

Tabela 3.1 . – Localização do ponto ao largo e do ponto no exterior do porto de S. Roque e nos
4 pontos dentro do porto de S. Roque, nos Açores (ponto I, p, P1, P2, P3 e P4)11
Tabela 4.1 – Largo. Regime geral observado. Estatísticas descritivas das séries totais de Hs, Tp e
Dir
Tabela 4.2 – Largo. Regime médio dos máximos mensais. Mínimos e máximos médios mensais
de Hs e Tp
Tabela 4.3 – Largo. Estatísticas das séries totais da intensidade e direção do vento, desde o dia
1 de janeiro de 1979 a 28 de junho de 201934
Tabela 5.1 - Alguns inputs necessários para a utilização do modelo SWAN42
Tabela 5.2 – Características das três malhas computacionais44
Tabela 5.3- Ponto P. Regime geral observado. Estatísticas das séries totais de Hs, Tm e Dir45
Tabela 5.4 – Ponto P. Regime médio dos máximos mensal. máximos e mínimos da média dos
máximos mensais de Hs e Tp54
Tabela 5.5 – Pontos P1 a P4. Regime geral observado. Estatísticas das séries totais de Hs, Tm e
Dir, com base nos dados transferidos pelo modelo DREAMS, dos quatro pontos dentro do
porto de S. Roque
Tabela 5.6 – Pontos P1 a P4. Máximos e mínimos da média da altura significativa máxima
mensal64





Lista de Siglas

- Hs Altura significativa de onda (m)
- Tp Período de pico de onda (s)
- Dir Direção de onda (°)
- I Intensidade do vento (m/s)
- Θ Direção do vento (°)
- Tz Períodos médios (s)
- Om Direção média (°)
- λ Comprimento de onda (m)
- m Declive da reta
- b Ordenada na origem









1 Introdução

1.1 Âmbito e objetivos

O presente relatório tem como objetivo apresentar o trabalho realizado durante o estágio curricular no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), no âmbito da Licenciatura em Matemática Aplicada à Tecnologia e à Empresa.

O LNEC, é um instituto público de ciência e tecnologia que realiza investigação em todas as áreas de Engenharia Civil. Fundado em 1946 com uma vocação internacional, desenvolvendo a sua atividade em todos os continentes. Com investimento continuo na inovação, na melhoria e na difusão do conhecimento permite uma constante evolução da Ciência e da Tecnologia.

O porto de S. Roque do Pico situa-se na parte norte da ilha do Pico, localizada no grupo Central do Arquipélago dos Açores. No interior do porto localiza-se o terminal portuário que recebe navios de carga geral e navios ferry para transporte de passageiros e veículos e um pequeno porto de pesca. Trata-se assim de um porto crucial à economia da ilha, sendo por isso vital, garantir a operacionalidade do porto o maior tempo possível. E, nesse sentido, a determinação do número de dias em que o porto não se encontra a funcionar e a sua relação com a agitação marítima verificada é essencial para uma correta e fundamentada gestão portuária.

O objetivo do presente trabalho foi a avaliação da operacionalidade do terminal portuário de S. Roque do Pico, com base no regime de agitação marítima definido em 4 postos de acostagem ao longo desse terminal.

Para esse efeito, este trabalho foi dividido em três fases.

A primeira fase consiste na caracterização do regime de agitação marítima ao largo do porto de S. Roque do Pico, com base na serie temporal de 40 anos de parâmetros de agitação marítima (altura de onda significativa, Hs, Período de pico, Tp e a Direção de onda média, Dir) fornecida pelo Centro Europeu de Previsão Meteorológica a Médio Prazo (ECMWF).





A segunda fase tem como objetivo fazer a caracterização do regime de agitação marítima nos 4 postos de acostagem ao longo do quebra-mar principal do porto de S. Roque do Pico. Para essa caraterização, efetuou-se a transferência do regime de agitação marítima ao largo para a zona exterior do porto utilizando o modelo numérico SWAN (*Booij et al., 1999*) e, desta zona, para o interior do porto com o modelo numérico numérico DREAMS (*Fortes, 2002*).

Por último, na terceira fase efetua-se a avaliação da operacionalidade do porto de S. Roque do Pico, isto é, determina-se o número de dias do ano em que o porto não funciona em virtude da altura de onda significativa num dos postos de acostagem ser superior a um dado limite pré-estabelecido.

1.2 Organização do relatório

O presente relatório descreve o estudo realizado para a avaliação da operacionalidade do porto de S. Roque do Pico, e está dividido em 7 capítulos.

No presente capítulo é feito um pequeno enquadramento do estudo em causa, descrevem-se os objetivos e resume-se a metodologia utilizada.

O segundo capítulo descreve o local em estudo, neste caso, o Porto de S. Roque na ilha do Pico nos Açores.

O capítulo três descreve a metodologia utilizada neste trabalho, incluindo os modelos numéricos utilizados e é composto por cinco subcapítulos. No primeiro realiza-se uma breve introdução e uma descrição geral das três fases da metodologia utilizada. No segundo subcapítulo são apresentados os dados de base do estudo em causa. No terceiro subcapítulo, é apresentada a metodologia utilizada para a caracterização dos regimes de agitação marítima ao largo. No quarto subcapítulo é apresentada a metodologia utilizada para a caracterização dos regimes de agitação marítima ao largo. No quarto subcapítulo é apresentada a metodologia utilizada para a caracterização dos regimes de agitação marítima ao largo. No quarto subcapítulo é apresentada a metodologia utilizada para a caracterização dos regimes de agitação marítima no exterior do porto e nos 4 postos de acostagem e dos modelos utilizados para ser realizada a transferência das estimativas de agitação marítima, SWAN e DREAMS. E, por fim, no último subcapítulo, apresenta-se a metodologia de avaliação dos tempos de operacionalidade.





O capítulo quatro é referente à primeira fase do trabalho e apresenta os regimes de agitação marítima ao largo do porto de S. Roque do Pico. Este capítulo é dividido em três subcapítulos. No primeiro é feita uma pequena introdução aos regimes de agitação marítima ao largo que são calculados neste trabalho. No segundo apresentase a análise dos parâmetros de agitação marítima ao largo do porto e os respetivos regimes de agitação marítima calculados. O terceiro subcapítulo apresenta uma análise dos parâmetros de vento ao largo e respetivos histogramas.

O capítulo 5 é referente à segunda fase do trabalho, ou seja, a caracterização dos regimes de agitação marítima nos 4 postos de acostagem do quebra-mar principal do porto de S. Roque do Pico. Este é dividido em 6 subcapítulos: no primeiro descreve-se a aplicação do modelo SWAN para a transferência dos regimes de agitação marítima do largo para o ponto no exterior do porto (ponto P); no segundo subcapítulo é feita a caracterização do regime de agitação marítima no ponto P; no terceiro subcapítulo compara-se os regimes de agitação marítima ao largo com os regimes obtidos no ponto exterior ao porto (ponto P); no subcapítulo quatro é descrita a aplicação do modelo DREAMS para a transferência dos regimes de agitação marítima do ponto P para os quatro postos de acostagem no porto (ponto P1 a P4); No quinto subcapítulo, realiza-se a caraterização dos regimes de agitação marítima nos quatro pontos dentro do porto de S. Roque do Pico e , finalmente no sexto subcapítulo a comparação dos regimes de agitação marítima obtidos fora e dentro do porto.

O capítulo seis refere-se à terceira fase do trabalho, ou seja, consiste na avaliação da operacionalidade da estrutura portuária.

Por fim, no último capítulo, apresenta-se as principais conclusões deste trabalho.





2 Zona de estudo

A vila de S. Roque do pico está localizada na parte norte da ilha do Pico, localizada no grupo central do Arquipélago dos Açores, Figura 2.1.

S. Roque do Pico é uma vila com cerca de 3500 habitantes e possui um porto desde 1977. O porto de S. Roque do Pico, Figura 2.2, está vocacionado para a navegação comercial, mantendo uma valência de apoio à navegação de passageiros entre ilhas, outra de apoio à comunidade piscatória local e, ainda, um núcleo de recreio náutico.

É assim, através deste porto comercial que se dá a entrada e saída de todas as mercadorias da ilha do Pico. Além disso, o porto permite também a atracação de navios ferry que transportam regularmente pessoas e veículos entre as ilhas dos Açores. Pelo, exposto, trata-se de um porto de grande importância para a economia da ilha do Pico.



FIGURA 2.1 – LOCALIZAÇÃO DA ZONA DE ESTUDO (GOOGLE EARTH).







FIGURA 2.2 – VISTA DO PORTO DE S. ROQUE (GOOGLE EARTH).

A zona portuária é protegida por um quebra-mar com um comprimento aproximado de 400 m, composto por dois troços retos de 200 m cada, Figura 2.3. Em 2005, houve, obras de reparação deste quebra-mar, especialmente na sua cabeça. Recentemente, foi construída uma rampa Ro/Ro para atracação de ferries que fazem transporte de passageiros e viaturas entre as ilhas.

O porto é constituído por uma zona de estacionamento de navios de carga e de navios do tipo ferry (Gilberto Mariano e Mestre Simão), uma rampa Ro-Ro e uma zona de abrigo dos barcos de pesca. Na Figura 2.4 apresentam-se as várias zonas do porto. Na Figura 2.5 apresenta-se a zona do cais (zona de atracação dos navios ferry).









FIGURA 2.3 – PORTO DE S. ROQUE DO PICO. VISTA GERAL E DO CAIS INTERIOR DO QUEBRA-MAR







FIGURA 2.4 – PORTO DE S. ROQUE DO PICO. ZONAS DO PORTO: A) CAIS PRINCIPAL; B) RAMPA RO/RO; C) PORTO DE PESCA; D) CABEÇA DO MOLHE; E) ARMAZENAMENTO DOS CONTENTORES; F) INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS.



FIGURA 2.5 - PORTO DE S. ROQUE DO PICO. ZONA DO CAIS DO FERRY.





3 Metodologia

3.1 Introdução

O objetivo do presente trabalho é a avaliação da operacionalidade do terminal portuário de S. Roque do Pico, na ilha do Pico no arquipélago dos Açores, com base no regime de agitação marítima definido em 4 postos de acostagem ao longo desse terminal.

Neste sentido, a metodologia de trabalho seguida iniciou-se pela obtenção das estimativas de agitação marítima ao largo do porto, fornecidas pelo Centro Europeu de Previsão Meteorológica a Médio Prazo (ECMWF), num período aproximadamente de 40 anos (1979-2019). Estas estimativas referem-se às seguintes características de onda: altura significativa de onda, período de pico da onda e direção média da onda, designadas, respetivamente, por Hs, Tp e Dir. Com base na análise estatística da série temporal das estimativas referidas anteriormente, procede-se à caracterização dos regimes de agitação marítima ao largo, isto é, o regime geral observado e o regime médio.

Seguidamente, efetuou-se a transferência dessas estimativas da agitação marítima desde o largo até ao interior do porto, e mais concretamente, até aos 4 postos de acostagem, recorrendo aos modelos numéricos de propagação da agitação marítima em zonas costeiras e portuárias, SWAN (*Booji et al., 1999*) e DREAMS (*Fortes, 2002*).

Em primeiro lugar, utilizou-se o modelo de SWAN, que é um modelo numérico para geração, propagação e dissipação das ondas do mar, baseado na equação para a conservação da ação de onda (*Pinheiro, 2007*). Com este modelo, transferiu-se o regime da agitação do largo para a zona adjacente ao porto de S. Roque do Pico, isto é, para um ponto no exterior do porto (designado por ponto P), uma vez que o modelo não é adequado para obter as características da agitação no interior de zonas confinadas como é o caso do porto de S. Roque do Pico. Nesse ponto, foi também definido o regime de agitação marítima no exterior do porto S. Roque do Pico (regime geral observado e regime médio).





Em segundo lugar, é utilizando o modelo DREAMS, o regime de agitação no exterior do porto (ponto P) foi transferido para o seu interior, e mais concretamente, para os 4 postos de acostagem ao longo do terminal, designados por pontos P1 a P4. O modelo DREAMS é baseado na equação de declive suave e que tem em conta os efeitos da refração, difração e reflexão de ondas, e portanto é adequada a sua aplicação em zonas confinadas (*Fortes, 2002*).

Com os resultados obtidos pelo modelo DREAMS, determinaram-se os regimes de agitação marítima em cada um dos postos de acostagem (regime geral observado e regime médio).

Finalmente, impuseram-se os valores limite para a altura da onda compatíveis com a operacionalidade do porto para as diferentes atividades do mesmo e determinam-se os tempos de inoperacionalidade (número de dias em que não foi possível efetuar determinada atividade) de cada posto de acostagem.

Em resumo, a metodologia consistiu (Figura 3.1):

- Fase I Caracterização do regime de agitação marítima ao largo do porto de S.
 Roque do Pico, com base na serie temporal de 40 anos de estimativas da agitação marítima fornecidas pelo ECMWF;
- Fase II Caracterização do regime de agitação marítima nos 4 postos de acostagem do porto de S. Roque do Pico. Esta fase subdivide-se em:
 - Transferência das características das ondas ao largo (ponto L) para um ponto no exterior do porto de S. Roque do Pico (ponto P), com o modelo SWAN, e caraterização do regime de agitação marítima nesse ponto;
 - Transferências das características das ondas no exterior do porto, para os quatro postos de acostagem (pontos P1 a P4) dentro da área portuária com o modelo DREAMS e caraterização dos regimes de agitação marítima nesses quatro pontos dentro do porto;
- Fase III Avaliação da operacionalidade do porto de S. Roque do Pico
 - Definição dos valores limite para a altura da onda compatíveis com a operacionalidade do porto para as diferentes atividades do mesmo;







- Para cada posto de acostagem e com base nos regimes de agitação definidos, determinação dos tempos de inoperacionalidade (número de dias em que não foi possível efetuar determinada atividade).
- Análise e comparação dos resultados obtidos.

Fase I: caracterização da agitação marítima ao largo (ponto L) Fase II: Caracterização da agitação marítima em 4 pontos de acostagem (P1, P2, P3, P4) Fase III: Avaliação daoperacionalidadedoporto de S. Roque doPico

FIGURA 3.1 - METODOLOGIA UTILIZADA

3.2 Dados de base

Os dados de base para o presente trabalho consistiram nas estimativas provenientes do Centro Europeu de Previsão Meteorológica a Médio Prazo (ECMWF), para um período desde 1979 a 2019, aproximadamente, 40 anos consecutivos de 6 em 6 horas.

Estas estimativas referem-se às seguintes características de onda: altura significativa de onda, período de pico da onda e direção média da onda, designadas, respetivamente, por Hs, Tp e Dir. O total dos trios (Hs, Tp e Dir) considerados foi de 59156 no período de 40 anos referido.

A Figura 3.2 mostra a localização do ponto ao largo (ponto L) considerado e na Tabela 3.1 apresentam-se as coordenadas deste.



ZINE





FIGURA 3.2 - LOCALIZAÇÕES RELATIVAS DO PONTO AO LARGO E O PONTO DO PROLONGAMENTO.

TABELA 3.1. – LOCALIZAÇÃO DO PONTO AO LARGO E DO PONTO NO EXTERIOR DO PORTO DE S. ROQUE E NOS 4 PONTOS DENTRO DO PORTO DE S. ROQUE, NOS AÇORES (PONTO L, P, P1, P2, P3 E P4).

Ponto	Coordenada	s geográficas	WGS 84			
	longitude	latitude	X (m)	Y(m)		
L	38.7500	-29.7500	261016.92	4292625.74		
Р	-28.3181	38.5376	385125.00	4266290.00		
P1	-28.3209	38.5313	384863.66	4265588.22		
P2	-28.3206	38.5311	384896.81	4265567.01		
P3	-28.3202	38.5309	384926.54	4265549.64		
P4	-28.3197	38.5307	384974.19	4265525.89		

A obtenção destas estimativas no ponto L é efetuada através do software ECMWF Downloader, Poseiro (2019), Figura 3.3.



FIGURA 3.3 - ECMWF DOWNLOADER

Para a utilização do ECMWF Downloader é necessário introduzir os dados seguintes:

- Informações do período temporal em que se pretende obter dados, neste caso, desde o ano 1979 até ao ano de 2019;
- Longitude e latitude do ponto em estudo (ponto L);
- Identificação dos parâmetros que se pretende obter (Hs, Tm, Tp, Dir, etc...)
- Nome do ficheiro onde serão guardados os dados.

Em particular, para o caso do porto de S. Roque do Pico, é necessário colocar na interface as coordenadas do ponto em estudo, ponto L. Assim, as barras de inserção superior e inferior contêm o valor da longitude (38.75º), enquanto as barras da direita e esquerda vão conter o valor da latitude (-29.75º). Com base nos dados fornecidos ao programa, obtém-se a informação dos três parâmetros em causa, Hs, Tp e Dir (*Poseiro, 2019*).

Após a obtenção destas estimativas, efetua-se a sua transferência com o modelo SWAN para um ponto no exterior do Porto, designado por ponto P, ver Figura 3.2 e Tabela 3.1 e depois com o modelo DREAMS para os 4 postos de acostagem.

A Figura 3.4 e a Tabela 3.1 apresentam os quatro pontos considerados dentro do porto de S. Roque, onde é estudado a inoperacionalidade de um navio.





FIGURA 3.4 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DENTRO DO PORTO DE S. ROQUE, ONDE VÃO SER ESTUDADAS AS RESPOSTAS DE UM NAVIO AMARRADO.

3.3 Fase I - Caracterização dos regimes de agitação marítima ao largo

Um regime de agitação marítima pode ser estabelecido através de uma análise estatística de um conjunto de variáveis relevantes, nomeadamente a altura significativa da onda (Hs), o período de pico da onda (Tp) e a direção característica (Dir).

Assim, após a obtenção das estimativas fornecidas no ponto ao largo pelo ECMWF, procedeu-se à caraterização do regime de agitação marítima ao largo. Essa caraterização consistiu na determinação do:

- Regime geral observado, considerando todos os valores de agitação marítima que decorrem no período de 40 anos. Este regime compreende estatísticas descritivas das séries temporais das três variáveis consideradas (Hs, Tp e Dir), os histogramas de Hs e Tp, os histogramas conjuntos de Hs – Tp, Hs – Dir, Tp – Dir e rosas de ventos da direção média, Dir, por setores de 45°;
- Regime médio mensal da altura significativa de onda (Hs), este é determinado através da média dos valores máximos mensais ao longo do ano. Foram efetuados, também, gráficos de dispersão relativos às alturas significativas máximas mensais com o período e com a direção;





 Valores máximos anuais da altura significativa nos invernos marítimos, que correspondem ao período compreendido entre o dia 1 de outubro de um ano civil a 31 de março do ano civil seguinte.

3.4 Fase II - Caraterização dos regimes de agitação marítima nos postos de acostagem

A realização da transferência dos regimes de agitação marítima para o interior do porto é efetuada, como descrito no subcapítulo 3.1, através de dois modelos distintos SWAN e DREAMS.

Depois de serem caracterizados os regimes de agitação marítima ao largo (subcapítulo 3.3), é utilizado o modelo SWAN para realizar a simulação da propagação das ondas desde o largo até ao ponto P e, posteriormente, com o modelo DREAMS para efetuar a simulação da propagação das ondas para dentro do porto de S. Roque, isto é , para os pontos P1 a P4 (postos de acostagem). A localização dos pontos L, P e P1 a P4 pode ser consultada na Tabela 3.1.

Na Figura 3.5, apresenta-se o esquema com os modelos numéricos utilizados durante a realização do projeto.



FIGURA 3.5 – PROCESSOS DA CARACTERIZAÇÃO DAS ONDAS, DESDE O PONTO AO LARGO AOS PONTOS DENTRO DO PORTO DE S. ROQUE

Quer para o ponto P como para os pontos P1 a P4, são também definidos os regimes de agitação marítima descritos no subcapítulo 3.3, nomeadamente regime geral observado, regime médio mensal e valores máximo anuais da altura significativa nos invernos marítimos.





3.4.1 O modelo SWAN - descrição

A transferência dos regimes de agitação marítima desde o largo (ponto L), até à zona mais próxima do porto de S. Roque (ponto P) foi efetuada, como referido anteriormente, através do modelo SWAN.

O modelo SWAN – *Simulating Waves Nearshore,* é um modelo de terceira geração e trata-se de um modelo público em desenvolvimento pela *Delft University of Tecnology,* da Holanda. O SWAN é um modelo numérico para geração, propagação e dissipação da agitação marítima, baseado na equação de conservação da ação de onda (*Booji et al., 1999*). Este modelo de ondas, foi desenvolvido para fazer uma quantificação aproximada das condições das ondas em áreas costeiras de pequena escala com certas condições locais de vento e correntes marítimas. O SWAN usa as características das ondas do mar, para simular a propagação destas para uma área menor, isto é, este modelo propaga a agitação marítima desde o largo até próximo da costa (*Booji et al., 1999*).

Os dados necessários para a execução do SWAN são a malha batimétrica da zona a modelar, as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio de cálculo e/ou, alternativamente, o campo de ventos para o forçamento da geração de ondas e os fenómenos físicos a ter em conta (*Lourenço, 2016*).

O modelo SWAN apresenta como resultados, em qualquer ponto do domínio, a altura significativa da onda (Hs), os períodos médios (Tz) e de pico (Tp), a direção média (θ m) e de pico (θ), o comprimento de onda (λ), e a dispersão direcional.

Como qualquer modelo, este possui limitações na correta representação de um estado de agitação, que são devidas, quer à formulação teórica em que o modelo se baseia, quer ao esquema numérico utilizado. Relativamente à formulação teórica, a principal limitação está relacionada com a calibração dos parâmetros envolvidos na descrição dos diferentes fenómenos físicos. Como não inclui a reflexão de ondas, não deve ser utilizado em zonas abrigadas, como zonas portuárias (*Lourenço, 2016*).







3.4.2 O modelo DREAMS - descrição

O modelo DREAMS, tem como base a equação elíptica suave, que descreve os efeitos combinados dos fenómenos de refração (modificação da velocidade e direção da onda) e difração (redistribuição da energia ao longo das cristas) de ondas, aquando a sua propagação em fundos de inclinação suave (portos, marinas, baias e zonas costeiras), recorrendo-se ao Método de Elementos Finitos (MEF) para resolver a equação de declive suave (*Fortes, 2002*).

As condições de fronteira implementadas no DREAMS são: condição de radiação que permite a saída das ondas geradas no domínio; condição de geração e radiação combinadas que simula a entrada e saída de ondas numa fronteira do domínio (por exemplo, nas fronteiras abertas); condição de reflexão (total ou parcial) que simula fronteiras como praias, falésias, molhes ou obras acostáveis. Os dados a fornecer no modelo DREAMS são as caraterísticas da agitação marítima incidente (período e direção da onda), o nível de maré, os coeficientes de reflexão em cada troço da fronteira do domínio de cálculo, a batimetria e as caraterísticas da malha de elementos finitos com que foi discretizado o domínio em estudo (*Fortes, 2002*).

Os resultados obtidos através do modelo DREAMS são os índices de agitação H/Ho, (relação entre a altura de onda no ponto do domínio de cálculo, H, e a altura de onda à entrada do domínio de cálculo, Ho), direções de propagação da onda, o campo de velocidades horizontais na superfície livre e as linhas representativas das cristas das ondas (linhas de igual fase) (*Fortes, 2002*).

Tal como a maioria dos modelos numéricos, este apresenta limitações salientando-se (i) o fato do modelo não ter em conta os efeitos da dissipação de energia por rebentação e atrito de fundo, os efeitos das correntes na propagação das ondas ou os galgamentos sobre estruturas portuárias; (ii) O modelo é linear pelo que não tem em conta efeitos não-lineares, como por exemplo, a interação de ondas e correntes, a interação de ondas devido à topografia do fundo, a transferência de energia entre componentes de onda e a geração de componentes de baixa frequência induzidas por grupos de ondas curtas; (iii) O modelo efetua a propagação de ondas regulares e unidirecionais, não tendo por isso em conta, os efeitos da dispersão em frequência e





em direção, presentes na agitação real; (iv) A aplicação do modelo está condicionada a fundos de declive suave, ou seja, até 1/3; (v) Na propagação de ondas marítimas de curto período, a aplicação do modelo está limitada a zonas relativamente pequenas, devido ao elevado esforço computacional exigido pelo modelo (*Fernandes, 1990*).

3.5 Fase III – Avaliação da operacionalidade

No interior do porto de S. Roque do Pico localiza-se o terminal portuário que recebe navios de carga geral e navios ferry para transporte de passageiros e veículos e um pequeno porto de pesca.

Para qualquer destas atividades, é necessário um tempo mínimo para realizar a carga e descarga no porto, quer sejam de passageiros como de mercadoria. Ora todas estas operações portuárias estão condicionadas pela agitação marítima e, mais concretamente, pela altura significativa da onda. Os limites admissíveis para a altura significativa de onda dependerão da operação portuária considerada sendo a mais restrita a relacionada com a entrada e saída de passageiros.

Assim, como descrito no subcapítulo 3.1 a terceira fase do trabalho, consiste na avaliação da operacionalidade do porto de S. Roque do Pico, isto é, depois de serem caracterizados os regimes de agitação marítima nos 4 pontos de acostagem ao longo do terminar portuário é determinada a operacionalidade do terminar.

Para esta fase são impostos valores limites para a altura significativa de onda compatíveis com a operacionalidade do porto para diferentes atividades do mesmo. Para esses limites, e com base nos regimes de agitação marítima definidos, foi determinado o tempo de operacionalidade, i.e., o número de dias em que não foi possível efetuar as atividades do porto para cada ponto de acostagem, porque a altura significativa de onda excedia a altura significativa de onda limite. Ou seja, para os quatro pontos em estudo é determinada a operacionalidade do navio de acordo com o limite imposto para os valores de altura significativa de onda.



4 Fase I - Regimes de agitação marítima ao largo do porto de S. Roque do Pico

4.1 Introdução

Neste capítulo, descrevem-se os regimes obtidos no ponto ao largo do porto de S. Roque do Pico. De acordo com a metodologia apresentada no subcapítulo 3.1, com base nos dados estimados pelo modelo do ECMWF para o período de 1979 a 2019, subcapítulo 3.2:

- Regime geral observado:
 - Estatísticas descritivas das séries de Hs, Tp e Dir;
 - Boxplot relativos a Hs, Tp e Dir;
 - Histogramas de Hs e Tp;
 - Rosas da direção média, Dir, por setores de 45°;
 - Histogramas conjuntos de Hs-Tp, Hs-Dir, Tp-Dir, e marginais de Hs e Tp;
- Regime médio mensal de Hs e Tp;
- Regime médio dos máximos mensais de Hs e valores das alturas máximas mensais;
- Distribuição conjunta das alturas máximas mensais com o período de pico e com a direção;
- Valores máximos de Hs anuais que correspondem aos invernos marítimos.

A geração de ondas deve-se à transferência de energia do vento para a água, i.e., as características do vento influenciam no modo como as ondas são geradas e se propagam (*Lourenço, 2016*). Neste capítulo, é feita uma análise estatística dos ventos no ponto ao largo, ponto L.

4.2 Análise estatística, histogramas

Na Tabela 4.1 são apresentadas algumas estatísticas descritivas relativas às variáveis Hs, Tp e Dir, tais como, média, mediana, desvio-padrão, mínimo e máximo, 1º e 3º quartis, correspondente ao regime geral observado.





características	HS (m)	Tp (s)	Dir (°)
amostrais			
Número de Registos	59157	59157	59157
Mínimo	0.63	3.9	0
Máximo	10.82	19.8	359
Média	2.49	10.9	250
Mediana	2.23	11.2	286
Moda	1.63	12.3	313
1º Quartil	1.61	9.2	236
3º Quartil	3.10	12.3	317
Variância	1.42	4.8	10296
Desvio Padrão	1.19	2.2	102
Curtose	2.54	-0.3	0.47
IQR	1.49	3.1	81

TABELA 4.1 – LARGO. REGIME GERAL OBSERVADO. ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS SÉRIES TOTAIS
DE HS, TP E DIR.

Considerando a amostra observada para a variável altura significativa de onda, esta varia entre os 0.63 e 10.82 m. Pode-se caracterizar a agitação marítima com uma altura significativa média de aproximadamente 2.49 m, com uma variabilidade cerca de 1.19 m em torno desse valor. Relativamente aos dados referentes ao período de pico, este está compreendido entre os 3.9 e 19.8 s, pode afirmar-se que se obteve um período de pico médio de 10.9 s, com uma variação de 2.2 s em torno desse valor. Por fim, relativamente à variável direção, esta varia entre os 0° e os 359°, observando-se uma direção média de 250°, com uma variabilidade de 102° em torno desse valor.

De seguida, são apresentados os gráficos *boxplot* relativos às três variáveis em estudo, Figura 4.1.







a)



b)



c)

FIGURA 4.1 – LARGO. REGIME GERAL OBSERVADO. *BOXPLOT* RELATIVOS À ALTURA DE ONDA, PERÍODO DE PICO E DIREÇÃO DAS ONDAS NO PONTO L.





O 1° quartil, a mediana e o 3° quartil dividem a distribuição em quatro partes iguais que acumulam até si 25%, 50% e 75% dos dados, respetivamente. A área entre o 1° e 3° quartil, observada nos gráficos apresentados na Figura 4.1, compreende 50% das observações centrais. Analisando os gráficos desta figura, observando as amplitudes interquartis (correspondentes aos comprimentos das caixas) que são medidas de dispersão, e as medianas (traços verticais no interior das caixas), que são medidas de localização, pode concluir-se que: em termos da altura significativa de onda, 50% das observações centrais são verificadas entre 1.61 e 3.10 m, variando no máximo de 1.49 metros. Observa-se que tem mediana igual a 2.23 m, o que significa que para metade das 59156 observações a altura obtida foi inferior a 2.23 m, enquanto que para as restantes observações essa altura foi superior a esse valor; em termos do período de pico, 50% das observações centrais verificam-se no intervalo de 9.2 e 12.3 s, tendo mediana igual a 11.2 s, isto é, para metade das observações totais o período de pico obtido foi inferior a 11.2 s, e para as restantes observações o período de pico foi superior a esse valor; e, por fim, relativamente à direção, conclui-se que 50% das observações centrais são verificadas entre 236° e 317°, apresentando mediana igual a 286°, isto é, metade das observações totais a direção obtida foi inferior a 286° e para as restantes a direção foi superior. O elevado número de outliers observados para as variáveis Hs e Dir aumentam significativamente a variabilidade destas duas variáveis.

Relativamente à assimetria, observa-se que a altura significativa tem uma assimetria positiva, isto é, verifica-se que a mediana está mais próxima do 1º quartil do que do 3º. Consequentemente, existe uma maior concentração nos menores valores da amostra. Pelo contrário, o período de pico e a direção têm uma assimetria negativa, pois verifica-se que a mediana está mais próxima do 3º quartil do que do 1º, isto é, existe uma maior concentração nos de amostra.

De seguida, Figura 4.2, apresentam-se histogramas de Hs e Tp relativos ao regime geral observado da agitação marítima na zona em consideração, desde 1979 a 2019.









Da análise dos histogramas apresentados na Figura 4.2, conclui-se o seguinte:

- As classes de Hs mais frequentes são 1.0-2.0 m e 2.0-3.0 m com 22832 e 18683 ocorrências, respetivamente (correspondendo, aproximadamente, a 39% e 32% das ocorrências) e 3.0-4.0 m com 9471 ocorrências (aproximadamente 16%).
 Confirma-se o que se havia observado na *Boxplot* da Figura 4.1, existe uma maior concentração dos menores valores da amostra.
- As alturas significativas correspondente à classe 0-1.0 m têm apenas 1660 ocorrências, que corresponde a uma frequência relativa de apenas 3%. Só 2330 ocorrências representam alturas significativas maiores ou iguais a 5.00 m, ou seja, aproximadamente 4%.
- As classes de Tp com maiores frequências são 8-9 s, 9-10 s, 10-11 s, 11-12 s, 12-13 s e 13-14 s, que contêm 5437, 7747, 9013, 10351, 10661 e 6980 das ocorrências, respetivamente. Têm, assim, uma frequência relativa de, aproximadamente, 9%, 13%, 15%, 17%, 18% e 12%.

Apresenta-se também, para o ponto em estudo, a rosa das direções (Figura 4.3 e Figura 4.4) para todas as observações existentes no ponto em consideração. A primeira apresenta a distribuição conjunta Hs - Dir, enquanto a segunda é referente à distribuição conjunta Tp - Dir.




Regime geral ao largo de S. Roque (dados ECMWF)



FIGURA 4.3 – LARGO. REGIME GERAL OBSERVADO. DISTRIBUIÇÃO CONJUNTA DE HS-DIR. ROSA DAS DIREÇÕES.



FIGURA 4.4 – LARGO. REGIME GERAL OBSERVADO. DISTRIBUIÇÃO CONJUNTA DE TP-DIR. ROSA DE DIREÇÕES.

Com o objetivo de complementar a interpretação dos registos da direção, associa-se as coordenadas cardeais provenientes da leitura da rosa das direções a uma medição





obtida em graus. Neste sistema de medição o norte geográfico (Norte) corresponde a 0°/360°, enquanto que as direções correspondentes aos restantes pontos cardeais são obtidas percorrendo a circunferência no sentido horário.

Conhecendo os pontos cardeais marcados, procede-se à interpretação da Figura 4.3 e da Figura 4.4, que permite visualizar as direções de origem das ondas.

Conclui-se que as direções predominantes se encontram no quadrante noroeste, mais concretamente entre os 270° e 360°.

Em seguida, pretende-se fazer a caracterização conjunta das variáveis Hs, Tp e Dir com o propósito de tentar identificar relações e/ou dependências entre as variáveis.

Cada célula representa o número de ocorrências verificadas para essa combinação de classes. As células identificadas com zeros representam intervalos em que não foram medidas ocorrências simultâneas nas duas classes. Desta forma, apresenta-se na Figura 4.5, o histograma conjunto que combina a altura significativa (Hs) com o período de pico (Tp), partindo dos histogramas marginais associados. Na Figura 4.6 e Figura 4.7, apresentam-se os histogramas conjuntos que combinam a altura significativa (Hs) com a direção (Dir) e o período de pico (Tp) com a direção (Dir), respetivamente.



FIGURA 4.5 - LARGO. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE HS-TP, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.





O histograma conjunto Hs-Tp (Figura 4.5) confirma o já observado anteriormente, isto é, o número de ocorrências é bastante mais elevado para alturas de onda reduzidas (inferiores a 5.0 metros), maioritariamente associadas a períodos de pico entre os 7 e 14 s. Com efeito, a combinação de classes mais frequente é a 10ª classe de períodos de pico, 9-10 s, associado a alturas significativas compreendidas na 2ª classe, 1.0-2.0 em. A esta combinação correspondem 5042 registos, ou seja, aproximadamente 9% dos registos identificados no período de estudo.

Com base no histograma representado, Hs-Tp, também se pode observar que cerca de 74% das ocorrências estão representadas pelas classes 1.00 – 4.00 m de alturas significativas e pelas classes 8 – 14 s de períodos de pico (com 43856 medições).



FIGURA 4.6 - LARGO. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE HS-DIR, COMPLEMENTANDO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.

Pela análise da Figura 4.6, verifica-se que o número de ocorrências é bastante maior quando as alturas significativas das ondas são inferiores a 5.0 m e, maioritariamente associadas a direções de onda entre as classes 270 – 360°. A combinação de classes com maior número de ocorrências, corresponde a uma altura significativa de 1.0-2.0 m e a uma direção de 315-337.5°, tendo assim, 3774 medições que correspondem a, aproximadamente, 6%.







No histograma conjunto em análise, também se pode observar que 42% das ocorrências enquadram-se entre as gamas de 270° e 360° de direção e entre as classes 1.0 e 3.0 m de alturas significativas (com 24925 medições).



FIGURA 4.7 - LARGO. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE TP-DIR, COMPLEMENTANDO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.

Observando a Figura 4.7, histograma conjunto Tp – Dir, verifica-se que o número de eventos é mais elevado quando o período de pico está entre 9 e 14 s, maioritariamente associado a direções entre os 270° e 360°, correspondendo a 29185 ocorrências. Observamos, que a combinação de classes mais frequente, corresponde a um período de pico entre 12 -13 s e a uma direção de 292,5-315°, tendo assim, 2289 medições que corresponde a, aproximadamente 4% das medições.





Na Figura 4.8 e na Figura 4.9 apresenta-se o regime médio mensal de Hs e Tp. Representa-se os valores de Hs médio mensal e Tp médio mensal, ou seja, a média de cada mês das alturas significativas e do período de pico existentes na base de dados correspondente aos 40 anos.



FIGURA 4.8 – LARGO. REGIME MÉDIO MENSAL. ALTURAS SIGNIFICATIVAS MÉDIAS MENSAIS.



FIGURA 4.9 – LARGO. REGIME MÉDIO MENSAL. PERÍODOS DE PICO MÉDIOS MENSAIS.

Nas figuras representadas anteriormente verifica-se que os máximos de cada mês são superiores nos meses de inverno marítimo.

Na Figura 4.10 e na Figura 4.11 estão representados os regimes médios dos máximos mensais da altura significativa (Hs) e do período de pico (Tp) ao largo com base nos dados estimados pelo ECMWF.







FIGURA 4.10 - LARGO. REGIME MÉDIO DOS MÁXIMOS MENSAIS DE HS.



FIGURA 4.11- LARGO. REGIME MÉDIO DOS MÁXIMOS MENSAIS DE TP.

Os regimes máximos médios mensais de cada um dos parâmetros (Hs e Tp) são calculados através da média dos máximos da variável de cada mês de cada ano. Em primeiro lugar calcula-se o máximo do parâmetro de cada mês e, de seguida, determina-se a média dos máximos de cada mês. Na Tabela 4.2 representados o máximo e o mínimo de cada variável.

TABELA 4.2 – LARGO. REGIME MÉDIO DOS MÁXIMOS MENSAIS. MÍNIMOS E MÁXIMOS MÉDIOS MENSAIS DE HS E TP.

Parâmetros	Hs (m)	Tp (s)
Máximo	6.70	14.1
Mínimo	2.41	10.1

Como seria de esperar, verifica-se no gráfico das alturas significativas (Figura 4.10) que as médias dos máximos de Hs correspondentes aos meses de inverno marítimo são superiores. Consequentemente, a média das alturas significativas máximas mensais é





superior no mês de fevereiro com o valor de 6.70 m e inferior no mês de julho, correspondendo um valor de 2.41 m.

Analisando o gráfico da Figura 4.11, as médias máximas mensais do período de pico são mais elevadas inicialmente, começando a diminuir a partir do mês de fevereiro e voltam a aumentar a partir de julho, mas com enfase a partir o mês de outubro. Verifica-se que a média dos máximos mensais é maior no mês de fevereiro com um valor de 14.1 s e menor no mês de julho com um valor de, aproximadamente, 10.1 s.

A Figura 4.12 apresenta a distribuição da média dos máximos mensais de Hs (média das alturas significativas máximas mensais), assim como os valores das alturas significativas máximas mensais.



FIGURA 4.12 - LARGO. VALORES DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS MÁXIMAS MENSAIS E RESPETIVA MÉDIA MENSAL (MÉDIA DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS MÁXIMAS MENSAIS).

Relativamente às médias dos máximos mensais de Hs (médias das alturas significativas máximas mensais), presente na Figura 4.12, estas variam entre 2.41 m e 6.70 m. Naturalmente, verifica-se que os valores mais baixos representam os meses de verão marítimo (abril a setembro) e os maiores valores representam o inverno marítimo (outubro a março).

Apresentam-se também, na Figura 4.13 os gráficos de dispersão relativas às alturas significativas máximas mensais, com o período de pico, Tp, e com a direção média, Dir.







FIGURA 4.13 – LARGO. DISTRIBUIÇÃO DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS MÁXIMAS MENSAIS PARA OS DADOS EM ESTUDO (ECMWF): A) COM O PERÍODO MÉDIO, TP; B) COM A DIREÇÃO, DIR.

Na Figura 4.13, gráfico a), é observada a distribuição das alturas significativas máximas mensais com o período de pico, Tp. Como é de esperar, percebe-se que à medida que as alturas significativas máximas mensais aumentam o período de pico também aumenta. Consequentemente, parece que as duas variáveis (Tp e Hs) se correlacionam positivamente.

A reta de regressão linear amostral estimada (Montgomery, 2010) é dada por:

$$\hat{y} = mx + b \tag{1}$$

onde,

 b – Ordenada na origem: representa a interseção da reta com o eixo das ordenadas, ou seja, o valor médio da variável resposta (y) quando a variável explicativa (x) toma o valor zero.

m – Declive da reta: representa o valor médio da variação da variável resposta (y)
 quando a variável explicativa (x) varia unitariamente.

Como resultado, confirma-se, pela Figura 4.13, que a reta de regressão linear entre as alturas significativas máximas mensais e o período de pico é dada por:

$$\hat{y} = 0,6001x + 9.094 \tag{2}$$

Por consequência, obtém-se:





- b = 9.094 , isto é, para uma altura de, aproximadamente, 9.09 m correspondente a um período de pico nulo. Não faz sentido a interpretação deste valor pois não existem períodos de pico nulos.
- m = 0,6001 isto é, quando o período de pico aumenta um segundo a altura significativa máxima mensal varia cerca de 0.6 m.

Na Figura 4.13a o coeficiente de determinação significa que cerca de 54% da variabilidade nos valores das alturas significativas máximas mensais das ondas é explicada à custa da variabilidade nos valores do período médio, usando a equação de regressão, isto é, 54% da variabilidade nas observações das alturas significativas máximas mensais são explicadas como função linear dos períodos de pico.

- Se R² = 1, a variabilidade de Y é totalmente explicada à custa da variabilidade na variável X e, nesse caso, todas as observações estão sobre a reta de regressão (o ajustamento diz-se perfeito);
- Se R² = 0 então o modelo de regressão não tem qualquer utilidade pois não existe correlação entre as duas variáveis;
- Quando mais próximo de 1 maior será a variabilidade da variável resposta (Y) que é explica pelo ajustamento da reta de regressão, ou seja, melhor é a qualidade do ajustamento.

Contrariamente à Figura 4.13a, na Figura 4.13b, verifica-se que não existe correlação linear entre as alturas significativas máximas mensais e a direção (Dir).

Pela análise do Figura 4.13b, observa-se na distribuição das alturas significativas máximas mensais (Hs) com a direção (Dir), que existe uma direção predominante, esta corresponde a 250° a 360°, confirmando com as rosas das direções representadas anteriormente.

Finalmente, na Figura 4.14, mostra-se a evolução anual dos valores máximos anuais de altura significativa, Hs, por inverno marítimo (1 outubro a 31 março).



FIGURA 4.14 – LARGO. VALORES MÁXIMOS ANUAIS DE ALTURA SIGNIFICATIVA, HS, POR INVERNO MARÍTIMO.

Na Figura 4.14, são considerados os valores máximos anuais de altura significativa, Hs, por inverno marítimo. Certifica-se que estes variam entre 6.22 m (correspondendo ao inverno marítimo de 2017-2018) e 10.2 m (correspondendo ao inverno marítimo de 1995-1996). Estes estão associados a períodos de pico, Tp, entre 12.3 s e 18 s e a direções médias, Dir, entre 251° e 346°.

Resumidamente, conclui-se, em termos de regime geral observado (ver Tabela 4.1, e da Figura 4.2 a Figura 4.7) que:

- Alturas significativas de ondas, Hs, entre 0.63 m e 10.82 m, sendo a média de 2.49 m. A maioria dos valores (isto é, classes de Hs com ocorrências superiores a 5%) encontram-se entre as gamas 0.0 m a 5.0 m, sendo a gama mais frequente entre 1.0 e 2.0 m;
- Períodos de pico, Tp, de 3.9 s a 19.8 s, com média igual a 10.9 s. A maioria dos valores encontra-se entre 8 s e 14 s, sendo as gamas com maior frequência entre 12 e 13 s;
- Direções médias de onda, Dir, entre 0° e 359°, sendo o valor médio de 250°. A maioria dos valores de direções (isto é, classes de Dir com ocorrências superiores a 5%) são verificadas nas gamas entre 247.5° e 360°, sendo que as mais frequentes são entre 292.5° e 315°.

Em termos de regime médio:

 Os valores das alturas significativas médias mensais variam entre 2.41 m e 6.70 m (ver Figura 4.10), verificando-se os menores valores nos meses de verão marítimo (abril a setembro) e os maiores nos meses de inverno (outubro a março), como seria de esperar;





- Os valores dos períodos de pico médios mensais variam entre 10.1 s e 14.1 s (ver Figura 4.11), verificando-se, novamente, menores valores nos meses de verão marítimo e maiores nos meses de inverno marítimo;
- Os valores médios mensais das direções médias, Dir, variam entre 252° e 287°.

Relativamente aos valores máximos anuais (ver Figura 4.14):

 Os valores dos máximos anuais de Hs variam entre 6.22 m e 10.2 m, associados a períodos de pico, Tp, entre 12.3 s e 18.0 s e a direções médias, Dir, entre 251° e 346°.

4.3 Análise estatística dos ventos, no ponto ao largo (ponto L)

Neste subcapítulo, é feita uma análise estatística do vento no ponto ao largo, ou seja, no mesmo ponto onde foram estudados os regimes de agitação marítima. As estimativas da direção do vento no ponto em estudo são retiradas do ECMWF Downloader para os 40 anos em estudo. Assim, o ECMWF Downloader produz informações dos vetores indicativos da velocidade do vento (componentes x e y) a cada 6 horas por dia, durante os 40 anos consecutivos.

Em primeiro lugar, calculou-se a intensidade e a direção do vento no período em estudo, tendo em conta os vetores v_x e v_y o cálculo da intensidade (i) do vento é determinado através da seguinte fórmula:

$$i = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \tag{3}$$

Enquanto a direção (Θ) do vento é calculada através da fórmula:

$$\Theta = \arctan\left(\frac{v_y}{v_x}\right) \quad , \quad v_x > 0 \tag{4}$$

Depois de serem calculadas as intensidades e direções do vento em cada dia, de 6 em 6 horas, dos 40 anos em análise, é feita uma análise estatística de ambas as variáveis.

A Tabela 4.3, apresenta algumas estatísticas descritivas das variáveis intensidade e direção do vento.



Características	Intensidade	Direção (°)
amostrais	(m/s)	
Número de Registos	59196	59156
Mínimo	0	0
Máximo	29.32	359
Média	7.09	165
Mediana	6.69	79
Moda	2.07	0
1º Quartil	4.54	39
3º Quartil	9.24	311
Variância	12.04	18955
Desvio Padrão	3.47	138
Curtose	0.17	-1.82
IQR	4.70	272

TABELA 4.3 – LARGO. ESTATÍSTICAS DAS SÉRIES TOTAIS DA INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO, DESDE O DIA 1 DE JANEIRO DE 1979 A 28 DE JUNHO DE 2019.

Considerando a amostra observada para a variável intensidade do vento, esta varia entre 0 e 29.32 m/s e pode ser caracterizada por uma intensidade média de, aproximadamente, 7.09 m/s, com uma variabilidade cerca de 3.47 m/s em torno desse valor. Relativamente aos dados referentes à direção do vento, pode afirmar-se que se obteve uma direção média de 165°, com uma variação de 138° em torno desse valor.

Após analisarmos algumas características amostrais da intensidade e direção do vento, são apresentados os gráficos *boxplot* relativos aos dois parâmetros em consideração.







b)

a)

FIGURA 4.15 – BOXPLOT RELATIVOS À INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO.

Os *boxplot* representados na Figura 4.15 permite tirar algumas conclusões relativas à localização, dispersão e assimetria das amostras em estudo.

Em relação ao *boxplot* da intensidade do vento (Figura 4.15a), quanto à assimetria observa-se que a mediana está mais próxima do 1º quartil do que do 3º. Isto significa que existe uma assimetria positiva, i.e., existe uma maior concentração nos menores valores da amostra. Em termos de localização, verifica-se que o total das observações rondam os 6.69 m/s, uma vez que esse valor corresponde à mediana. Ou seja, para metade das 59156 observações a intensidade do vento obtida foi inferior a 6.69 m/s,





enquanto que para as restantes observações a intensidade foi superior a esse valor. Relativamente à dispersão, pode concluir-se que 50% das observações centrais são verificadas entre 4.54 e 9.24 m/s, variando no máximo de 4.70 m/s.

Analogamente, o *boxplot* da direção do vento (Figura 4.15b), observa-se que a mediana se encontra mais próxima do 1º quartil do que do 3º. Isto significa que existe uma assimetria positiva, logo existe uma maior concentração nos menores valores da amostra. Em termos de localização, observa-se que o total das observações rondam os 79°, uma vez que é esse o valor da mediana. Isto significa que para metade das 59156 observações a altura significativa obtida foi inferior a 79°, enquanto que para as restantes observações essa altura foi superior. Em relação à dispersão, pode concluir-se que 50% das observações centrais são verificadas entre 39° e 311°, variando no máximo de 272°.

De seguida, na Figura 4.16 apresenta-se o histograma relativo à intensidade do vento e a rosa das direções.



FIGURA 4.16 – LARGO. HISTOGRAMA RELATIVO À INTENSIDADE DO VENTO.

Através da Figura 4.16 é possível perceber que:

as classes mais frequentes são 3.0-4.0, 4.0-5.0 m/s, 5.0-6.0 m/s, 6.0-7.0 m/s, 7.0-8.0 s e 8.0-9.0 s com 5062, 6196, 7001, 6905, 6196 e 5370 ocorrências, respetivamente (correspondendo a 9%, 10%, 12%, 12%, 10% e 9% das ocorrências). Como referido na *boxplot* da Figura 4.16a, percebe-se, no





histograma representado, que existe uma maior concentração nos valores mais baixos da amostra.

 para uma intensidade maior que 14 m/s, ocorrerem apenas 4% das medições, ou seja, são registadas 2263 ocorrências. Não sendo registadas medições nas classes de 26.0-27-0 m/s, 27.0-28.0 m/s e 28.0-29.0 m/s.





FIGURA 4.17 – LARGO. DISTRIBUIÇÃO CONJUNTA I – DIR. ROSA DAS DIREÇÕES DE VENTO.

Com a análise da rosa das direções, conclui-se que existem direções predominantes, ou seja, tem-se direções maioritariamente entre os 0° e 90° e 270° e 360°, isto é, direções essencialmente de Noroeste e Nordeste.

De seguida, efetua-se uma análise conjunta das variáveis intensidade e direção do vento, com o propósito de identificar uma relação entre elas. Desta forma, a Figura 4.18 apresenta o histograma conjunto I – Dir, complementando com histogramas marginais de cada parâmetro.





I (m/s)



FIGURA 4.18 – LARGO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE I-DIR, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.

Ao analisar a Figura 4.18, confirma-se o analisado anteriormente, ou seja, o número de ocorrências é bastante mais frequente para intensidades do vento mais baixas (inferiores a 15 m/s), maioritariamente associadas a direções entre 0° e 90° e 270° e 360°. Como resultado, a combinação de classes mais frequente é a 6ª classe de intensidade, 5 – 6 m/s, associada a uma direção do vento compreendida na 2ª classe





da direção, 22.5° - 45°. Correspondendo a esta combinação 1062 registos, ou seja, aproximadamente 2% dos registos identificados no período de estudo.

Na Figura 4.19 são apresentadas as médias da intensidade do vento em cada mês, enquanto na Figura 4.20 representa a média dos máximos mensais de cada mês do mesmo parâmetro.







FIGURA 4.20 – LARGO. REGIME MÉDIO MENSAL DA INTENSIDADE DO VENTO.

Em ambos os gráficos, é espectável que a intensidade do vento seja maior para os meses de inverno marítimo. Assim, compreende-se que em termos médios, a intensidade média mensal e a média das intensidades máximas mensais mais baixas correspondem no mês de julho com uma intensidade de 4.85 m/s e 10.17 m/s, respetivamente, e mais altas no mês de dezembro, com uma intensidade média mensal de 8.77 m/s e uma intensidade máxima média mensal de 17.57 m/s.





A Figura 4.21 consta na distribuição da média dos máximos mensais da intensidade do vento (média das intensidades máximas mensais), assim como os valores das intensidades do vento máximas mensais.



FIGURA 4.21 – LARGO. INTENSIDADES MÁXIMAS MENSAIS E RESPETIVA MÁDIA MENSAL (MÉDIA DAS INTENSIDADES MÁXIMAS MENSAIS).

Relativamente às médias dos máximos mensais da intensidade do vento, presente na Figura 4.21, estas variam entre 10.17 m/s e 17.57 m/s. Naturalmente, verifica-se que os valores mais baixos representam os meses de verão marítimo (abril a setembro) e os maiores valores representam o inverno marítimo (outubro a março).

Na Figura 4.22 está representado a distribuição de máximos anuais da intensidade do vento.



FIGURA 4.22 – LARGO. DISTRIBUIÇÃO DE MÁXIMO ANUAIS DA INTENSIDADE POR INVERNO MARÍTIMO.

Na Figura 4.22, são registados os valores máximos anuais da intensidade do vento por inverno marítimo. Verificam-se que estes variam entre 16.32 m/s (correspondendo ao inverno marítimo de 1988-1989) e 29.32 m/s (correspondendo ao inverno marítimo de 2016-2017).





5 Fase II – Caraterização dos regimes de agitação marítima nos pontos P e P1 a P4

5.1 Introdução

Um dos objetivos deste trabalho é a caracterização dos regimes de agitação marítima na zona do porto de S. Roque, nos Açores. Assim, caracterizaram-se os regimes de agitação marítima no ponto ao largo (ponto L), na zona do futuro prolongamento do quebra-mar exterior (ponto P) e, por fim, dentro do porto (pontos P1, P2, P3 e P4).

Para fazer a caracterização da agitação marítima, utilizou-se os dados do ECMWF e uma metodologia de simulação da agitação marítima com os modelos SWAN e DREAMS.

Para fazer a transferência da agitação marítima do ponto L para o ponto P foi utilizado o modelo SWAN e, posteriormente, caracterizou-se a agitação marítima no ponto P.

De seguida, foi realizada a simulação da agitação marítima para os pontos P1, P2, P3 e P4 através do modelo DREAMS. Por fim, é caraterizada a agitação marítima nos quatro pontos dentro do porto de S. Roque.

Nos próximos subcapítulos descrevem-se os procedimentos efetuados e os resultados obtidos.

5.2 Transferência dos regimes de agitação marítima do ponto L para o ponto P

5.2.1 Introdução

Uma vez conhecidas as estimativas da agitação marítima ao largo (ponto L), caracterizadas pela sua altura significativa, Hs, período de pico, Tp, e direção, Dir, o modelo SWAN é utilizado para efetuar a transferência desses estados de agitação para um ponto mais próximo do porto de S. Roque.



5.2.2 Domínio computacional e condições do modelo SWAN

Para facilitar o uso do modelo SWAN é utilizada uma interface gráfica com o utilizador desenvolvida em MS Access o Access[©], *Pinheiro (2009)*, onde são introduzidos todos os dados e arquivos necessários para a simulação das ondas.

Para a realização da simulação através do modelo SWAN é necessário fornecer ao programa alguns dados, para que este consiga correr os dados em estudo. Assim, os inputs necessários do SWAN são os seguintes:

- Estado de Agitação (Hs, Tp e Dir);
- Batimetria (valores de profundidade numa malha cartesiana, i.e., X, Y, Z);
- Ventos (valores de velocidade média do vento numa malha cartesiana, i.e., X, Y, Vx, Vy);
- Coordenadas dos pontos para escrita dos resultados;
- Parâmetros do modelo.

Na Tabela 5.1, é feita uma descrição geral dos dados necessários para a utilização deste modelo.

Nome	Descrição
Computational	As malhas computacionais são as malhas para as quais os cálculos
Grid	serão feitos. No modelo, é possível ter até 3 malhas (Main Grid,
	Nested Grid, Nested Grid_1). As dimensões para cada uma delas
	são usadas como inputs do SWAN.
Bathymetry	Caminho do arquivo da batimetria.
Grid	
Stationary	Introdução das condições de onda (Hs, Tp e Dir), ou seja, é inserido
Wave	a agitação marítima das ondas na malha maior (Main Grid).
Conditions	
Stationary	Introdução das condições do vento. Para isso pode optar-se por
Wind	duas opções: vento constante (velocidade do vento constante a
Conditions	partir de uma direção constante) ou vento variável (i.e, velocidade
	do vento variável a partir de diferentes direções). Neste caso, é
	inserido o vento para a escala de tempo estudada, com velocidades
	e direções diferentes.
Results	Caminho do arquivo da pasta de outputs do SWAN.

TABELA 5.1 - ALGUNS IN	PUTS NECESSÁRIOS PARA A	UTILIZAÇÃO DO MODELO	SWAN.
TADELA GIL ALCONTO IN	I O IO ITECEOORITOO I AITA A	O HELERGRO DO MODELO	0





O domínio computacional do modelo foi discretizado mediante três malhas retangulares. Pode-se observar, na Figura 5.1, as malhas utilizadas na simulação. Esta tem uma resolução cada vez maior.



FIGURA 5.1 – PONTO P. REPRESENTAÇÃO DAS TRÊS MALHAS USADAS NA SIMULAÇÃO DAS ONDAS As dimensões das malhas batimétricas são inseridas no SWAN, essas dimensões foram inseridas como:

- Ponto de partida da malha maior (X e Y iniciais);
- Número de pontos no eixo X (Nº DX) e número de pontos no eixo Y (Nº DY) para os quais são conhecidas as características batimétricas;
- Distância entre esses pontos, DX e DY.

Os valores de Nº DX e Nº DY correspondem ao número de pontos onde é conhecida a batimetria, na direção X e Y. Assim, podemos calcular esses valores através das seguintes fórmulas:

$$\frac{Grid \ lenght \ in \ x \ direction}{DX} = N^{\underline{o}} \ DX \tag{5}$$

$$\frac{Grid \ height \ in \ y \ direction}{DY} = N^{\underline{o}} \ DY \tag{6}$$

43





onde DX e DY correspondem ao espaçamento entre cada ponto.

A Tabela 5.2 são mostrados todos os valores e dimensões necessárias para calcular as os dados relativos às três malhas utilizadas no input do SWAN. Em anexo é apresentada a interface onde são inseridos todos estes valores (Anexo A).

	Main Grid	Nested Grid	Nested Grid_1
X inicial	271000	336000	362900
Y inicial	4213200	4245000	4260000
Grid length in x	265000	107000	30000
direction (m)			
Grid length in y	149000	55000	18000
direction (m)			
ΔΧ	1200	600	100
ΔΥ	1200	600	100

TABELA 5.2 – CARACTERÍSTICAS DAS TRÊS MALHAS COMPUTACIONAIS.

Resumidamente, conclui-se que a malha menos fina (primeira malha – Main Grid) tem dimensões 265000 m x 149000 m, com um espaçamento em x, y de 1200 m. A malha média (segunda malha – Nested Grid) tem dimensões 107000 m x 55000 m, com um espaçamento em x, y de 600m. Enquanto a última malha, por sua vez a malha mais fina (Nested Grid_1) tem uma dimensão de 30000 m x 18000 m, com um espaçamento em x, y de 100 m.

5.3 Caraterização do regime de agitação marítima no ponto P

A transferência dos valores de agitação marítima desde o largo (ponto L) até ao ponto P, ou seja, junto ao porto de S. Roque, foi feita de acordo com a metodologia apresentada no capítulo anterior.

Assim, neste capítulo, é realizada a caracterização do regime de agitação marítima no ponto P, baseado nos valores transferidos pelo SWAN, no período em análise. Na Tabela 5.3 são estudadas estatísticas descritivas de Hs, Tp e Dir, tais como, média, mediana, desvio-padrão, mínimo e máximo, 1º e 3º quartis, correspondente ao regime geral das ondas no ponto P.





Características	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
amostrais			
Nº de registos	59156	59156	59156
Mínimo	0.0086	2.21	0
Máximo	15.61	20.42	359
Média	1.46	9.45	271
Mediana	1.26	10.07	314
Moda	0.47	12.33	312
1º quartil	0.72	7.44	307
3º quartil	1.98	12.33	328
Variância	0.94	12.08	10689
Desvio padrão	0.97	3.48	104
Curtose	2.67	-0.73	3
IQR	1.26	4.89	21

TABELA 5.3- PONTO P. REGIME GERAL OBSERVADO. ESTATÍSTICAS DAS SÉRIES TOTAIS DE HS, TM E

DIR.

Para o ponto em consideração pode-se concluir que este está sujeito a uma agitação marítima caracterizada por uma altura significativa média de 1.46 m, com uma variabilidade cerca de 0.97 m em torno desse valor; um período de pico médio de 9.45 s, tendo uma variação cerca de 3.48 s em torno desse valor; e um valor médio da direção de 271°, com uma variabilidade cerca de 104° em torno desse valor.

Em seguida, são apresentados os gráficos *boxplot* relativos às três variáveis em estudo, onde se pode observar o mínimo, máximo, 1º e 3º quartis e a mediana.







a)



b)



c)

FIGURA 5.2 – PONTO P. REGIME GERAL OBSERVADO. *BOXPLOT* RELATIVOS À ALTURA DE ONDA, PERÍODO DE PICO E DIREÇÃO DAS ONDAS NO PONTO P.





Os *boxplot* apresentados (Figura 5.2), como já referido anteriormente, permitem tirar conclusões relativamente da localização, dispersão e assimetria das amostras.

Relativamente ao *boxplot* da altura significativa de onda (Figura 5.2a), no que respeita à assimetria observa-se que a mediana se situa mais próxima do 1º quartil do que do 3º quartil, o que leva a concluir que esta variável tem uma assimetria positiva. Consequentemente, existe uma maior concentração nos valores mais baixos da amostra. Em termos de localização, verifica-se que o total das observações rondam os 1.26 m, uma vez que é esse o valor da mediana. Isto significa que para metade das 59156 observações a altura significativa obtida foi inferior a 1.26 m, enquanto que para as restantes observações essa altura foi superior. Em relação à dispersão, pode concluir-se que 50% das observações centrais são verificadas entre 0.72 e 1.98 m, variando no máximo de 1.26 m.

Relativamente ao *boxplot* do período de pico (Figura 5.2b), observa-se que a mediana se encontra muito próxima do centro da caixa, o que indica que os dados são simétricos e o conjunto das observações anda á volta dos 10.07 s, uma vez que é esse o valor da mediana. Isso significa que para metade das observações totais observadas o período de pico foi inferior a 10.07 s, enquanto que para as restantes observações o período de pico foi superior a esse valor. Em termos de dispersão 50% das observações centrais são verificadas entre os 7.44 e 12.33 s, variando no máximo de 4.89 s.

Em termos de direção da onda (Figura 5.2c), o *boxplot* apresenta mediana mais próxima do 1º quartil, logo os dados apresentam uma assimetria positiva, i.e., existe uma maior concentração nos valores mais baixos da amostra. Em termos de localização, verifica-se que o total das observações rondam os 314°, uma vez que é esse o valor da mediana. Isto significa que para metade das 59156 observações a direção de onda obtida foi inferior a 314°, enquanto que para as restantes observações essa direção foi superior. Em relação à dispersão, 50% das observações centrais situam-se entre os 307° e 328° variando no máximo de 21°.

De seguida, na Figura 5.3 são apresentados os histogramas relativos às variáveis Hs e Tp associados ao regime geral da agitação marítima no ponto P.







FIGURA 5.3 – PONTO P. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMAS RELATIVOS À ALTURA SIGNIFICATIVA DE ONDA E AO PERÍODO DE PICO.

Através dos registos observados nos histogramas da Figura 5.3, conclui-se que as classes de Hs com um maior número de ocorrências são as classes de 0.5-1.0 m e 1.0-1.5 m, onde apresentam 14423 e 12556 ocorrências, respetivamente. Tal como observado no *boxplot* da Figura 5.2a, existem vários outliers (valores discrepantes), um deles pode-se verificar com maior exatidão no histograma das alturas significativas, isto é, na classe 15.5 -16.0 m existe uma medição que é considerada um outlier.

No histograma correspondente ao período de pico é visível que as classes com maior número de registos são as classes 10 - 11 s, 11 - 12 s, e 12 – 13 s, correspondendo 7006, 7970 e 8549 registos, respetivamente.

De seguida, é apresentado, para o ponto P, a rosa das direções (Figura 5.4).





Regime geral no ponto P (dados SWAN)



FIGURA 5.4 - PONTO P. REGIME GERAL OBSERVADO. ROSA DAS DIREÇÕES

Da rosa das direções conclui-se que há uma direção predominante, isto é, tem-se direções maioritariamente entre os 250° e 360°, ou seja, direções essencialmente de Noroeste. Verifica-se, também, que existe uma maior percentagem para valores mais baixos de altura de onda.

Tal como foram analisados para o ponto L os histogramas conjuntos com o objetivo de compreender de que modo as três variáveis estão relacionadas, é agora avaliado esse relacionamento para os resultados obtidos pelo modelo SWAN.

Desta forma, apresenta-se na Figura 5.5, o histograma conjunto que combina a altura significativa (Hs) com o período de pico (Tp), partindo dos histogramas marginais associados. Na Figura 5.6 e Figura 5.7, apresentam-se os histogramas conjuntos que combinam a altura significativa (Hs) com a direção (Dir) e o período de pico (Tp) com a direção (Dir), respetivamente.







FIGURA 5.5 – PONTO P. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE HS-TP, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.

Através da observação do histograma da Figura 5.5, percebe-se que as alturas de onda mais frequentes, foram maioritariamente abaixo dos 4.0 m. A combinação de classes que apresenta um maior número de ocorrências é a 2ª classe de Hs, 0.5 – 1.0 m correspondendo à 5ª classe de Tp, 4.0 – 5.0 segundos. Na combinação destas duas classes foram registadas 3697 observações, ou seja, aproximadamente, 6% das observações.







FIGURA 5.6 - PONTO P. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE HS-DIR, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.

É analisado, através do histograma conjunto Hs-Dir que existe uma direção predominante entre os 292.5° e os 360°, correspondendo a alturas de onda maioritariamente inferiores a 4.0 m. De facto, é possível perceber que a combinação de classes onde se observa um maior número de registos é a classe de 292.5 - 315° de direção de onda com a 2ª classe de alturas de onda, 0.5 – 1.0 m, correspondendo, 5551 observações (ou seja, 9% das observações totais). Com efeito, e complementando o analisado na rosa das direções, verifica-se que, aproximadamente, 78% dos registos são entre os 292.5° e 360°.

51





No histograma conjunto Tp - Dir, observa-se que os valores das direções predominantes estão compreendidos entre os 292° e 360°, variando o período de pico essencialmente entre os 3 s e os 17 s. A combinação de classes com um maior número de registos verifica-se entre os 315° e os 337.5° e um período de pico entre os 12 s e os 13 s, correspondendo 3778 registos (aproximadamente, 6% das observações totais).

No inverno marítimo, é de esperar, que a agitação marítima seja caracterizada por altura de onda maior que no verão marítimo. Pode-se analisar esse facto nos gráficos das Figura 5.8 e Figura 5.9.







FIGURA 5.8 – PONTO P. REGIME MÉDIO MENSAL. ALTURAS SIGNIFICATIVAS MÉDIAS MENSAIS DOS VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO REALIZADA PELO SWAN.





Na Figura 5.8 e na Figura 5.9 observa-se o seguinte:

- É em julho que se observa o mínimo valor das alturas significativas médias mensais, correspondendo a 0.91 m e no mês de novembro observa-se o máximo valor de Hs médio mensal, correspondendo a 1.86 m. Como já foi mencionado anteriormente, é de esperar que as alturas significativas sejam mais elevadas nos meses de inverno marítimo;
- Em relação ao período de pico médio mensal verifica-se que o menor período de pico médio mensal corresponde a 7.97 s no mês de julho e o maior observase no mês de janeiro com um período de pico de, aproximadamente, 10.60 s.

Para caracterizar o regime médio da agitação marítima no ponto P, também foi feita uma análise da média dos máximos mensais. Ou seja, após calcular o máximo de cada mês faz-se a média dos máximos mensais. Na Figura 5.10 e na Figura 5.11 são





representados esses valores para a altura significativa de onda e para o período de

pico.









Na Tabela 5.4, é representado o valor mais elevado e mais baixo da média dos máximos mensais das duas variáveis em causa.

TABELA 5.4 – PONTO P. REGIME MÉDIO DOS MÁXIMOS MENSAL. MÁXIMOS E MÍNIMOS DA MÉDIA DOS MÁXIMOS MENSAIS DE HS E TP.

	Hs (m)	Tp (s)
Máximo	4.76	12.33
Mínimo	2.02	9.13

O mínimo e máximo da média das alturas significativas máximas mensais encontramse no mês de julho e janeiro, respetivamente. Com uma média da altura significativa máxima mensal de 2.02 m para o mês de julho e de 4.76 m para o mês de janeiro.





Em relação ao período de pico, nota-se que a média dos períodos de pico máximos mensais é maior no mês de janeiro, registando 12.33 s e menor no mês de junho com 9.13 s.

Na Figura 5.12, para o ponto P, apresenta-se a distribuição da média dos máximos mensais (média das alturas significativas máximas mensais), assim como os valores das alturas significativas máximas mensais.



FIGURA 5.12 – PONTO P. VALORES DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS MÁXIMAS MENSAIS E RESPETIVA MÉDIA MENSAL (MÉDIA DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS MÁXIMAS MENSAIS).

Relativamente às médias dos máximos mensais da altura significativa presente na Figura 5.12, estas variam entre 2.02 m e 4.76 m. Naturalmente, verifica-se que os valores mais baixos representam os meses de verão marítimo (abril a setembro) e os maiores valores representam o inverno marítimo (outubro a março).

Finalmente, para o ponto P, está representado na Figura 5.13, a evolução anual dos valores máximos anuais de altura significativa, Hs, por inverno marítimo.



FIGURA 5.13 – PONTO P. VALORES MÁXIMOS ANUAIS DE ALTURA SIGNIFICATIVA, HS.

Em termos de valores máximos anuais de altura significativa por inverno marítimo, verifica-se que estes variam entre 4.71 m e 15.61 m (nota-se que este valor pode ser



um outlier, pois é um valor bastante discrepante), a que estão associados períodos de pico, Tp, entre 11.14 s e 18.46 s e direções entre 319° e 347°.

5.4 Comparação dos regimes de agitação marítima no ponto ao largo (ponto L) e no ponto P

Neste subcapítulo é feita uma comparação dos regimes de agitação do ponto ao largo (ponto L) com o ponto mais próximo do porto de S. Roque (ponto P).

Assim, comparando os regimes ao largo e no ponto P, verifica-se:

- Regime geral observado (ver Tabela 4.1 e Tabela 5.3):
 - Pode observar-se na tabela 5.3 que o máximo de Hs é de 15.61 m, mas este valor apresenta ser um outliers. O que podemos concluir que, em geral, a altura significativa de onda é inferior no ponto P quando comparada ao largo (ver Figura 4.2 e Figura 5.3). Assim, os valores das alturas significativas no ponto P sofrem uma pequena redução quando comparados com o largo devido aos fenómenos da refração e difração das ondas, resultado da variação da batimetria dos fundos.
 - O intervalo de valores de período de pico alargou ligeiramente desde o ponto ao largo até ao ponto mais próximo ao porto de S. Roque. Assim verifica-se que o período de pico máximo no ponto L é de 19.8 s enquanto que no ponto P é de 20.42 s.
 - A direção, Dir, no ponto ao largo varia maioritariamente entre os 247.5°
 e os 359°, enquanto que no ponto ao P varia essencialmente entre 292.5° e 359°.
- Regime médio mensal:
 - Em relação à média das alturas significativas máximas mensais, também se verifica uma redução desde o ponto L até ao ponto P. Ou seja, no ponto ao largo a média dos máximos mensais de Hs varia entre 2.41 m e 6.70 m (ver Figura 4.10), enquanto no ponto P varia entre 2.02 e 4.76 m (ver Figura 5.10).
 - Relativamente à média dos períodos de pico máximos mensais é visível uma diminuição desde o ponto L, variando entre 10.1 s e 14.1 s (ver





Figura 4.11) para o ponto P, variando entre 9.13 s e 12.33 s (ver Figura 5.11).

- > Valores máximos (ver Figura 4.14 e Figura 5.13):
 - Em termos de valores máximos anuais de Hs, verifica-se igualmente uma ligeira redução desde o largo até ao ponto P. Variando no ponto L entre 6.22 m e 10.2 m (ver Figura 4.14), enquanto que no ponto P varia entre 4.71 m e 15.61 m (ver Figura 5.13). Apesar de no ponto P se verificar uma altura máxima de 15.61 m, correspondente ao inverno marítimo de 2016-2017, nos restantes anos verifica-se uma ligeira redução destes valores.

5.5 Transferência dos regimes de agitação marítima do ponto P para quatro ponto dentro do porto de S. Roque

5.5.1 Introdução

Depois de obtidas as estimativas da agitação marítima no ponto exterior ao porto de S. Roque (ponto P), caracterizadas pela sua altura significativa, Hs, período de pico, Tp, e direção, Dir, o modelo DREAMS é utilizado para simular as características das ondas para pontos no interior do porto.

5.5.2 Domínio computacional e condições do modelo DREAMS

Para facilitar o uso do DREAMS é usado o Microsoft Access, *Pinheiro (2012)*. Este necessita de vários inputs para poder, posteriormente, obter o output adequado.

Para a realização da simulação da agitação marítima através do modelo DREAMS é necessário fornecer ao programa alguns dados, para que este consiga correr os dados em estudo. Na Figura 5.14 é apresentada a interface do DREAMS onde são introduzidos os inputs necessários.





Operações disponíveis

Dados	Simulação/Resultados
Criar malha	Correr Simulação
Edição de dados	Ver no TECPLOT
Ambiente	Fechar

FIGURA 5.14 -INTERFACE UTILIZADA NO MODELO DREAMS.

Na opção "Edição de dados", são inseridos todos os dados necessários para a geração da malha bem como os dados relativos às condições iniciais e de fronteira.

Na opção "Correr simulação" é colocado como input:

- Período da onda;
- Direção da onda;
- Nível da maré.

Nesta opção também se retiram os resultados do DREAMS. É necessário colocar com inputs:

- O caminho da diretoria onde são guardados os resultados;
- O ficheiro com os pontos a extrair;
- Ficheiro do SWAN com Hs, Tp e Dir;
- Ficheiro do SWAN com Nível de maré, período e direção.

Assim, com os inputs descritos anteriormente, o modelo DREAMS dá como output do modelo a altura significativa, período de pico e direção das ondas nos pontos onde se deseja estudar a agitação marítima.




5.6 Caracterização dos regimes de agitação marítima nos pontos dentro do porto de S. Roque (P1, P2, P3 e P4)

A simulação da agitação marítima para os pontos dentro do porto de S. Roque, foi realizada através do modelo DREAMS, descrito no capítulo anterior. Consequentemente, é determinada a agitação marítima para os quatro pontos em estudo, dentro do porto de S. Roque. Para tal, a Tabela 5.5 apresenta algumas estatísticas descritivas das variáveis Hs, Tp e Dir de cada um dos pontos em estudo (a Figura 3.4, mostra a localização dos quatro pontos dentro do porto).

TABELA 5.5 – PONTOS P1 A P4. REGIME GERAL OBSERVADO. ESTATÍSTICAS DAS SÉRIES TOTAIS DE HS, TM E DIR, COM BASE NOS DADOS TRANSFERIDOS PELO MODELO DREAMS, DOS QUATRO PONTOS DENTRO DO PORTO DE S. ROQUE.

Características												
amostrais	Hs_P1	Tp_P1	Dir_P1	Hs_P2	Tp_P2	Dir_P2	Hs_P3	Tp_P3	Dir_P3	Hs_P4	Tp_P4	Dir_P4
Nº de registos	53509	53509	53509	48376	48376	48376	48376	48376	48376	53511	53511	53511
Mínimo	0.0001	4.06	110	0.0001	4.06	120	0.0001	4.06	111	0.0001	4.06	105
Máximo	0.722	18.46	168	0.728	18.46	154	1.015	18.46	200	1.628	18.46	164
Média	0.044	10.10	136	0.055	10.09	135	0.077	10.09	141	0.126	10.10	134
Mediana	0.025	10.07	135	0.033	10.07	135	0.047	10.07	142	0.076	10.07	134
Moda	0.003	12.33	131	0.004	12.33	138	0.004	12.33	138	0.005	12.33	133
1º quartil	0.008	7.44	128	0.012	8.23	132	0.017	8.23	140	0.028	8.23	132
3º quartil	0.058	12.33	142	0.078	12.33	137	0.109	12.33	144	0.180	12.33	137
Variância	0.003	8.94	60	0.004	8.95	13	0.007	8.95	28	0.020	8.94	18
Desvio padrão	0.056	2.99	8	0.063	2.99	4	0.086	2.99	5	0.140	2.99	4
Curtose	14.203	-0.47	-0.86	9.146	-0.47	0.34	7.702	-0.47	8.09	7.752	-0.47	2.36
IQR	0.050	4.10	13	0.066	4.10	5	0.089	4.10	4	0.151	4.10	5

Nos pontos considerados, é de esperar que quanto mais dentro do porto o ponto se encontra mais pequena vai ser a altura significativa de onda. Analisando a Tabela 5.5, verifica-se que:

- Em relação ao ponto 1, a agitação marítima é caracterizada com uma altura significativa média de, aproximadamente, 0.044 m, com uma variabilidade cerca de 0.056 m; um período de pico médio de 10.10 s, com uma variabilidade cerca de 2.99 s; e uma direção de onda média de 136°, variando cerca de 8°. Pela tabela 5.4, observa-se, também, que 50% dos valores centrais da altura significativa de onda analisados variam no máximo em 0.050 m, enquanto que em termos de período de pico e direção, 50% dos valores centrais analisados variam no máximo em 4.10 s e 13°, respetivamente.
- Relativamente ao ponto 2, a agitação marítima caracteriza-se por altura significativa média de 0.055 m, com uma variabilidade cerca de 0.063 m; um





período de pico médio de 10.09 s, com uma variação aproximada de 2.99 s; e uma direção média de 135° variando cerca de 4° em torno desse valor.

Ainda no ponto 2, conclui-se que 50% dos valores centrais da altura significativa de onda analisados variam no máximo em 0.066 m, enquanto que em termos de período de pico e direção, 50% dos valores centrais variam no máximo em 4.10 s e 5°, respetivamente.

 Ao analisar o ponto 3 confirma-se uma altura significativa de onda média de 0.077 m, variando cerca de 0.086 m em torno desse valor; um período de pico médio de 10.09 s, com uma variabilidade de 2.99 s; e uma direção média de 141°, com uma variabilidade cerca de 5° em torno desse valor.

Em relação à variável altura significativa de onda, 50% dos valores centrais variam no máximo em 0.089 m, enquanto que em termos de período de pico e direção, 50% dos valores centrais variam no máximo em 4.10 s e 4°, respetivamente.

 Analogamente, no ponto 4, a agitação marítima caracteriza-se por altura significativa média de 0.126 m, variando cerca de 0.140 m em torno desse valor; um período de pico médio de 10.10 s com uma variação de, aproximadamente, 2.99 s em torno desse valor; e uma direção média de 134°, tendo uma variação cerca de 4°.

Relativamente à altura significativa 50% dos valores centrais analisados variam no máximo em 0.151 m, em termos de período de pico e direção, 50% dos valores da amostra variam no máximo 4.10 s e 5°, respetivamente.

De seguida, na Figura 5.15, são apresentados os histogramas de Hs relativos ao regime geral da agitação marítima nos quatro pontos em análise.







FIGURA 5.15 – PONTOS P1 A P4. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMAS DE HS RELATIVOS AO REGIME GERAL DA AGITAÇÃO MARÍTIMA. A) PONTO P1; B) PONTO P2; C) PONTO P3 E D) PONTO P4.

Analisando os gráficos, conclui-se que quanto mais no interior do porto o ponto se encontra, mais pequena vai ser a altura significativa da onda, consequentemente a altura máxima no ponto P1 é de 0.722 m enquanto que no ponto P4 é de 1.628 m. Apesar de todos os histogramas apresentarem um maior número de ocorrências entre os 0 e 0.1 m, verifica-se que no ponto P1 existem mais ocorrências nessa gama de valores do que nos restantes. Consequentemente, para os pontos P1, P2, P3 e P4, quando a altura significativa de onda está entre 0 e 0.1 m são registadas 47311, 39794, 35045 e 30881 ocorrências, respetivamente.

Apresenta-se também, para os pontos P1, P2, P3 e P4, as rosas das direções (Figura 5.16), com as respetivas alturas de ondas. É espectável que as direções em todos pontos sejam muito idênticas.







FIGURA 5.16 – PONTOS P1 A P4. REGIME GERAL OBSERVADO. DISTRIBUIÇÃO CONJUNTA HS – DIR. ROSA DAS DIREÇÕES. A) PONTO P1; B) PONTO P2; C) PONTO P3 E D) PONTO P4.

Como previsto, nota-se que as direções são todas muito idênticas, e há, de facto, uma direção predominante, isto é, todas as direções da onda são essencialmente de sudeste. Também é notável, que as percentagens maiores se verificam nas alturas de ondas mais baixas.

De modo a perceber de que forma as três variáveis estão relacionadas, são elaborados os histogramas conjuntos relativos a Hs – Tp, Hs – Dir e Tp – Dir, dos quatro pontos analisados (ver Anexos B, C, D e E). Nestes, é possível observar o já referido nos histogramas e nas rosas das direções analisadas, i.e., verifica-se uma altura significativa de onda cada vez menor quanto mais dentro do porto o ponto se encontra, um período de pico e uma direção de onda muito idênticos para os quatro pontos em estudo.

Para caracterizar o regime médio da agitação marítima nos pontos dentro do porto de S. Roque do Pico é feita uma análise das médias mensais das alturas significativas de onda (Figura 5.17).















É notável que a altura significativa de onda é maior quanto mais fora do porto o ponto considerado se encontra. Isto significa, que o mesmo acontece quando são analisadas as alturas médias mensais dos pontos. Assim, a Tabela 5.6 apresenta o mínimo e o máximo das alturas significativas médias mensais dos quatro pontos.





TABELA 5.6 – PONTOS P1 A P4.	MÁXIMOS E MÍNIMOS	DA MÉDIA DA	ALTURA SIGNIFICATIVA
	MÁXIMA MENSAL.		

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
Mínimo	0.091	0.119	0.161	0.272
Máximo	0.340	0.361	0.494	0.783

Assim, através da Figura 5.17, observa-se que a média das alturas máximas mensais mais elevadas ocorrem sempre nos meses de inverno marítimo, enquanto que as mais baixas nos meses de verão. Assim, pode concluir-se através dos gráficos que:

- No ponto 1, a altura significativa máxima média mensal é mais baixa no mês de julho, correspondendo 0.091 m e mais elevada no mês de dezembro, correspondendo a 0.340 m;
- Relativamente ao ponto 2, a média da altura significativa máxima mensal é menor no mês de julho, com um valor de 0.119 m e mais elevada no mês de dezembro, correspondendo a 0.361 m;
- No ponto 3, corresponde uma média das alturas significativas máximas mensais de 0.161 m no mês de agosto e de 0.494 m no mês de janeiro;
- Por fim, em relação ao ponto 4, verifica-se que a média de Hs máxima mensal é mais baixa no mês de julho com 0.272 m e maior no mês de dezembro, com 0.783 m.

5.7 Comparação dos regimes de agitação marítima no ponto P e nos quatro pontos dentro do porto de S. Roque

Da análise dos regimes gerais observados no ponto P e nos pontos dentro do porto, verifica-se que (ver Tabela 5.3 e Tabela 5.5):

 Devido a fenómenos de refração e difração das ondas, os valores de Hs nos pontos dentro do porto sofrem uma redução comparados com o ponto P. Com efeito, os valores de Hs no ponto P atingem os 15.61 m, enquanto que nos pontos P1 a P4 atingem os valores máximos 0.722 m, 0.728 m, 1.015 m e 1.628 m, respetivamente.



- Em termos de períodos de onda, estes também sofrem uma ligeira redução quando transferidos do ponto P para dentro do porto. Assim, o período de pico máximo atingido no ponto P é de 20.42 s, enquanto que nos quatro pontos o período de pico máximo é, em todos eles, cerca de 18.46 s.
- Em relação à direção da onda no ponto P e nos quatro pontos dentro do porto de S. Roque, é de salientar que houve uma rotação da direção das ondas, isto é, no ponto P verifica-se que a direção predominante das ondas é de noroeste, enquanto que nos pontos P1, P2, P3 e P4 observa-se que a direção predominante das ondas é de sudeste.

Da análise dos regimes médios observados no ponto P e nos pontos dentro do porto, verifica-se que:

Em termos de valores médios máximos mensais de Hs há, também, uma ligeira redução desde o ponto P (variam entre 2.02 m e 4.76 m) até aos pontos P1, P2, P3 e P4 (variando no máximo até 0.340 m, 0.361 m, 0.494 m e 0.783 m), ver Figura 5.10 e Figura 5.17.

Da análise dos valores máximos anuais no ponto P e nos pontos P1 a P4, verifica-se que:

Em termos de valores máximos anuais de Hs, verifica-se igualmente uma ligeira redução desde o ponto P até aos pontos P1, P2, P3 e P4. Variando no ponto P entre 4.71 m e 15.61 m (ver Figura 5.13), enquanto que nos pontos P1 a P4 variam entre 0.256 m e 0.722 m, 0.288 m e 0.728 m, 0.408 m e 1.015 m e 0.64 m e 1.628 m, respetivamente (ver Anexo F).





6 Fase III - Avaliação da operacionalidade no porto de S. Roque do Pico

O transporte marítimo requer um tempo mínimo para realizar a carga e descarga nos portos e terminais marítimos. As operações portuárias estão condicionadas pela agitação marítima. Assim, a agitação marítima de uma zona portuária pode levar a movimentos inadequados de navios amarrados, o que pode causar interrupções em determinadas operações ou mesmo estragos nos navios.

Haverá assim, estabelecer limites para os valores de altura significativa de onda consoante a atividade portuária que se prevê realizar e avaliar o número de dias de inoperacionalidade do porto.

Na abordagem deste trabalho, assumiu-se o limiar de 0.4 m de altura significativa das ondas compatível com as operações de carga e descarga, i.e., se se verificam alturas significativas superiores a 0.4 m os navios são impedidos de operar.

Assim, na Figura 6.1, pode analisar-se a operacionalidade dos navios nos 4 postos de acostagem na área portuária de S. Roque do Pico.



FIGURA 6.1 - OPERACIONALIDADE DOS NAVIOS NOS QUATRO PONTOS CONSIDERADOS DENTRO DO PORTO DE S. ROQUE.





Em termos de operacionalidade de navios nos pontos considerados verifica-se que:

- No ponto P1, quando as ondas apresentam uma altura significativa entre os 0 e
 0.1 m existem 47310 observações, ou seja, 89.52% dos registos. Até a uma altura de onda de 0.4 m, existem 99.80% de registos, o que significa que há 53402 ocorrências. Assim, existem apenas 107 registos em que se verifica inoperacionalidade do navio.
- Relativamente ao ponto P2, existe uma percentagem de ocorrências maior entre 0 e 0.1 m, onde se verificam 48254 registos, ou seja, 82.26% das observações totais. Verificar-se que até uma altura significativa de onda de 0.4 m, existem 48254 registos, i.e., a operacionalidade dos navios é de 99.75%.
- Analogamente, no ponto P3 continua-se a ter uma percentagem bastante elevada de observações quando a altura da onda está entre 0 e 0.1 m, consequentemente, existem 35043 registos, o que equivale a 72.44% do total das observações. Ao analisar as alturas significativas até aos 0.4 m, verificam-se 47921 registos, o que significa que a operacionalidade dos navios se verifica em 99.06% das vezes.
- Por fim, em relação ao ponto P4, é de esperar que a operacionalidade do navio tenha uma percentagem mais pequena, pois é o ponto que se encontra mais fora do porto. Assim, temos que 57.71% dos registos são verificados com uma altura de onda entre os 0 e 0.1 m. E, 94.90% das observações são registadas até aos 0.4 m, o que quer dizer que se verifica operacionalidade do navio 94.90% das vezes.

Para poder compreender melhor o número de dias em que não foi possível efetuar determinada atividade, foram realizados gráficos que representam o número de dias de inoperacionalidade em cada ano, para os 4 postos de acostagem (Figura 6.2 a Figura 6.5).











FIGURA 6.3 – PONTO P2. NÚMERO DE DIAS QUE SE VERIFICA INOPERACIONALIDADE DE UM NAVIO.



FIGURA 6.4 - PONTO P3. NÚMERO DE DIAS QUE SE VERIFICA INOPERACIONALIDADE DE UM NAVIO.







FIGURA 6.5 – PONTO P4. NÚMERO DE DIAS QUE SE VERIFICA INOPERACIONALIDADE DE UM NAVIO. Verifica-se que a inoperacionalidade dos navios no ponto de acostagem é mais elevada no ponto que se encontra na zona mais exterior da estrutura portuária (ponto 4=.

Assim, verifica-se na Figura 6.2 que o número de dias máximo de inoperacionalidade é de 3 dias, sendo que nos 40 anos existem 40 dias de inoperacionalidade. Enquanto que no ponto P4 (ver Figura 6.5) é verificada a inoperacionalidade no máximo de 28 dias, tendo 697 dias inoperacionais no total. Relativamente ao ponto P1 e P2 conclui-se que, nos 40 anos consecutivos, existem 47 e 127 dias que se verifica inoperacionalidade de navios, respetivamente.





7 Conclusões

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação da operacionalidade de navios no terminal portuário do porto de S. Roque do Pico na ilha do Pico, no grupo central do Arquipélago dos Açores.

Para esse efeito, a metodologia seguida dividiu-se em três fases: a caraterização dos regimes de agitação marítima ao largo do porto; a caraterização dos regimes de agitação nos 4 postos de acostagem do terminal portuário; e, por fim, a avaliação da operacionalidade de navios em cada um dos postos de acostagem.

A caraterização dos regimes de agitação marítima ao largo baseou-se em estimativas fornecidas pelo ECMWF ao longo de um período de, aproximadamente 40 anos, consecutivos dos parâmetros de altura significativa, período de pico e direção média.

A caracterização da agitação marítima nos 4 postos de acostagem (pontos P1 a P4) foi efetuada com recurso aos modelos numéricos SWAN e DREAMS que transferiram as estimativas ao largo dos parâmetros (Hs, Tp e Dir) para um ponto no exterior do porto primeiramente (modelo SWAN) e, seguidamente, para os pontos de P1 a P4, ou seja, dentro do porto de S. Roque do Pico (modelo DREAMS). Nesses pontos foram definidos os regimes de agitação marítima (regime geral observado, regime médio mensal e valores máximos de Hs).

Depois da caracterização nos 4 postos de acostagem foi possível determinar a operacionalidade de navios nesses mesmo postos, admitindo como limite o valor de 0.4 m para Hs. Concluiu-se que no ponto P1 o número de dias de inoperacionalidade de navios é muito inferior aos outros 3 pontos, sendo que o ponto P4 é aquele que apresenta o maior número de dias, pois é o ponto na zona menos abrigada do quebramar.









8 Referências bibliográficas

- Booij, N., Ris, R. C., Holthuijsen, L. H. (1999) A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, Journal Geophysical Research, 104, C4, pp. 7649-7666.
- [2] Fernandes, J. L. M. (1990) Código em Fortran do programa DREAMS. Relatório interno DEM. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- [3] Fortes, C. J. E. M. (2002). Non-linear sea wave transformations in port areas (Finite Element Method Analysis). IST, Lisbon, Portugal: PhD Dissertation in Mechanical Engineering.
- [4] Lourenço, I. F. (2016) "Avaliação das consequências de galgamento sobre estruturas portuárias. Caso de estudo da Praia da Vitória, Açores. Tese de Mestrado. ISEL, dezembro.
- [5] Montgomery, D., C., Runger, G. C. (2010) "Applied Statistics and Probability for Engineers", 6th Edition.
- [6] PINHEIRO, L., SANTOS, J.A., FORTES, C.J.E.M., CAPITÃO, R. (2007) SOPRO Pacote integrado de modelos para avaliação dos efeitos das ondas em portos. Revista da Tecnologia da Água, Edição I, março.
- [7] Pinheiro, L. Fortes, C., Capitão, R. (2009). SWAN Access database Database for the construction of SWAN input files. LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.
- [8] Poseiro, P. (2017). Prediction and warning system for flooding in coastal and port areas. Procedures for the execution of the system HIDRALERTA: Development of applications in Python. LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [9] Poseiro, P. (2019) Forecast and Early Warning System for Wave Overtopping and Flooding in Coastal and Port Areas: Development of a Model and Risk Assessment. Tese de doutoramento. Instituto Superior Técnico. Universidade de Lisboa. Março





9 ANEXO

Anexo A – Interface do modelo SWAN, onde são inseridos todos os valores relativos

às três malhas utilizadas e aos valores da batimetria.

Ficheiro Base Criar Dados Externo	nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda 🖓 Diga-me c	o que pretende fazer
Cortar	🔍 🛃 Ascendente 🛛 🍹 🔚 Novo \Sigma	
E Copiar	Titue 🔏 Descendente 🔚 🗸 🔛 🖼 Guardar 🗳	
Vista Colar 🌾 Pincel de Formatação	Atualizar Artualizar	Ajustar lamanno Mudar de ao Formulário Janela - A - 🥙 - 🖉 = 🚍 🗐 -
Vistas Área de Transferência 🕞	Ordenar e Filtrar Registos	Localizar Janela Formatação de Texto
Todos os 🛞 «		
	Nested grid 🔽 yes 🗖 no	
BATIMETRIA	Nested grid_1 🔽 ves 🗖 no	
FRONTEIRAS	3 - H /45	Main Grid Nested Grid Nested Grid_1
LINHA	×inicial	271000 336000 362900
Paste Errors	Y inicial	4010000 4046000 4060000
PRECISAO		4210200 420000
PROJECTO	Grid rotation	0 0
RESULTDREAMS	Grid lenght in x direction (m)	265000 107000 30000
RESULTSWAN	Grid height in y direction(m)	149000 55000 18000
SENT_ROT	DX	1200 600 100
sup_livre	DY	1200 600 100
SWAN casos		
Tipo Espectro	DX for data transference	600 100
Type delta time	DY for data transference	600 100
Consultas		
RESULTSWAN Qu		Main Grid
Formulários 🛠		
ABRE_PROJ2		Nested Grid
COES .		
BATIMETRIA		
Cópia de PROJEC		(Xinicial, Yinicial)
		>
		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
		,
	Ассее	ANA RITA CALDEIRA COSTA - CI X
Boolectro V C	Acces	ss ANA RITA CALDEIRA COSTA — 🔿 X
Replector Ficheiro Base Criar Dados Externo	Accer 105 Ferramentas da Base de Dados Ajuda 🖉 Diga-me o	ANA RITA CALDEIRA COSTA — O X
Ficheiro Base Criar Dados Externo	Accer nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $ ho$ Diga-me o Transcritto Ascendente Transcritto Ascendente Transcritto Ascendente Transcritto Ascendente A	ANA RITA CALDEIRA COSTA – C X
Ficheiro Base Criar Dados Externo Vista Colar & Copar Vista Colar & Pondel de Formatación	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $ ho$ Diga-me o Verta Ascendente Verta Saluda Verta Saluda Verta Saludar Verta Salud	ANA RITA CALDEIRA COSTA – OX so que pretende fazer Localizar Ajustar Tamanho Mudar de
Ficheiro Base Criar Dados Externo Vista Copiar Vista Copiar	Accer nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $ ho$ Diga-me o	ss ANA RITA CALDERA COSTA - O × o que pretende fazer Localizar Localizar Austar Tamanho Mudar de ao Formulário Janela + A + 2 - A - 1 ≡ ≡ 1 [4] +
Ficheiro Base Criar Dados Externo Vista Copiar Vista Area de Transferência re	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $ ho$ Diga-me o Piltro 21 Ascendente $ ho$ Filtro 24 Ascendente $ ho$ ho Descendente $ hoho$ Remover Ordenação $ hoUrdenar e Filtrar Registos$	ass ANA RITA CALDERA COSTA O a que pretende fazer Localizar Localizar Localizar Janela A - 愛 - 台 - I E E E I - A
Recierto Recierto Ficheiro Base Criar Dados Externo Copiar Vista Vista Vista Vista Colar Pincel de Formatação Area de Transferência Todos os ©	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $ ho$ Diga-me o Pittro كي Ascendente المحافة Fittro كي Remover Ordenação المحافة Ordenar e Filtrar Registos	ANA RITA CALDERA COSTA – OX o que pretende fazer Localizar Localizar Janela
Recision of the second	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $ ho$ Diga-me o Pitro \$1 Ascendente \$4 Ascendente \$4 Descendente \$4 Remover Ordenação \$ \$ Ordenar e Filtrar \$ Crdenar e Filtrar	ANA RITA CALDEIRA COSTA – O × a que pretende fazer Localizar Localizar Janela Localizar Janela
Ficheiro Base Criar Dados Externo Vista Cotar Copiar Colar Picola de Formatação Vista Area de Transferência r. Todos os V	Accer nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $\rorem e o Terramentas da Base de Dados Ajuda \rorem e o Al Ascendente \rorem e oFiltro \rorem e ordenação \rorem e oAccerAualizarGuardar \rorem e oAccerNovo \SigmaAtualizarTudo + X Eliminar + \rorem e oRegistosXinical$	ANA RITA CALDEIRA COSTA – a que pretende fazer Localizar Localizar Janela 271000 271000 271000 271000
Ficheiro Base Criar Dados Externo Vista Colar & Copiar Colar & Copiar Copia	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $?$ Diga-me o Terramentas da Base de Dados Ajuda $?$ Diga-me o Atualizar Filtro $$?$ Remover Ordenação $$$ Ordenar e Filtrar Vinical Xinical	ess ANA RITA CALDERA COSTA — …
Recipierto Recipierto Ficheiro Base Criar Dados Externo Vista Copiar Colar Pincel de Formatação Vista Area de Transferência ra Todos os © « BatTMETRIA ILINHA UNHA Paste Frons Paste Frons	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $ ho$ Diga-me o ightarrow 21 Ascendente $ ightarrow 21 Oescendente ightarrow 22 Ordenare e Filtrar Ordenação ightarrow 22 Ordenare e Filtrar Ordenare e Filtrar Registos ightarrow 22 Ordenare e Filtrar Vincial ightarrow 1000 Vincial$	xss ANA RITA CALDERA COSTA Image: Cost of the state o
Recierto Recier	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $ ho$ Diga-me o Tudo $ ightarrow 21 Ascendente Tudo ightarrow 21 Mualizar Pittro 20 Remover Ordenação Tudo ightarrow 21 miniar - ightarrow 20 Registos Crdenar e Filtrar Kajularrow 20 Registos$	ass ANA RITA CALDERA COSTA Image: Cost of the state o
	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda \roldsymbol{O} Diga-me o Ajuda \roldsymbol{O} Diga-	ANA RITA CALDERA COSTA – ANA RITA CALDERA COSTA – > o que pretende fazer Localizar Localizar Janela 271000 4213200 4213200 1060 1060 1060 Compatibility Comp
	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $\ref{Diga-me o}$ Al Ascendente Al Descendente Al Descendente Al Ualizar Cordenar e Filtrar Vinicial Grid rotation n ⁴ DX n ¹ DY	ANA RITA CALDERA COSTA O > que pretende fazer Image: Constant and the second
	Accer nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $\ref{Diga-me o}$ Al Ascendente \ref{accer} Filtro \ref{accer} Remover Ordenação \ref{accer} Ordenar e Filtrar Registos X Inical Y Inical Grad rotation nº. DX nº. DX (m)	ANA RITA CALDERA COSTA Image: Control of the second s
	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $ ho$ Diga-me o $ ightarrow 21 Ascendente ightarrow 20 \ ight$	ANA RITA CALDERA COSTA O o que pretende fazer Image: Constant of the second s
Backerro Ficheiro Base Criar Dados Externo Copiar Copiar Colar Pincel de Formatação Vista Batmetraa FRONTEIRAS Pase Erros PROJECTO RESULTDRAMS RESULTSWAN Sentra formation	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $\roremotive Digarme o Ajuda \roremotive Digarme oAjuda \roremotive Digarme o Ajuda \roremotive Digarme oAjuda \ro$	ass ANA RITA CALDERA COSTA O o que pretende fazer Image: Constant of the state of the stat
Base Criar Dados Externo Ficheiro Base Criar Dados Externo Vista Copiar Copiar Vista Copiar Copiar Vista Pincel de Formatação Paste Errors Pincel de Formatação Precisão Pincel de Formatação Paste Errors RESULTSWAN SENT, ROT Sinp,livre	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda \bigcirc Diga-me o La Asendente \bigcirc \square \blacksquare Remover Ordenação \bigcirc \square Registos \square reliail Grid rotation n° DX n° DY \square (m) Depth below which is not considered	255 ANA RITA CALDERA COSTA O 0 que pretende fazer Image: Constant of the second s
Backson Recision Base Criar Dados Externo Status Vista Colar Colar Colar Colar Procedue Frontieras Procedue	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda Filtro Filtro Crdenar e Filtrar Vinicial Grid rotation n ^a . DX N ^a . DY DX (m) DY (m) Depth below which is not considered	Product
	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda Filtro Filtro Crdenare Ordenação Crdenar e Filtrar Vincial Grid rotation nº. DX nº. DX Novo Eliminar - Registos Xincial Grid rotation nº. DX nº. DY DX (m) DY (m) Depth. below which is not considered	ANA RITA CALDERA COSTA Image: Constraint of the second s
	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $\ref{Diga-me o}$ i Descendente i Descendente i Descendente i Descendente i Novo ii Mualizar Tudo i Kelminar i i Registos X Inical i Nical i	ANA RITA CALDERA COSTA O o que pretende fazer Image: Constraint of the second
	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda O Diga-me o Ajuda O Diga	Image: Second
	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda O Diga-me o Filto 2 Asendente Ordenação O Atualizar Premover Ordenação O Ordenar e Filtrar Vinicial Grid rotation nº DX nº DY Depth below which is not considered Read battymetry from this file: Premover Ordenação O Nove O Atualizar Registos Vinicial Grid rotation nº DX nº DY Depth below which is not considered Read battymetry from this file:	25 ANA RITA CALDERA COSTA — 〇 × o que pretende fazer Image: Construction of the state of t
Image: Sector and Sector	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda Filto Ascendente Remover Ordanação Ordenar e Filtrar Vinicial Grid rotation nº. DX nº. DY DX (m) Depth below which is not considered Read battymety from this file. Read battymety from this file.	255 ANA RITA CALDERA COSTA - - × o que pretende fazer Image: Construction of the structure of the struct
	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda Filto J Descendente Permover Ordenação Ordenar e Filtrar Crdenar e Filtrar	xs ANA RIA CALDERA COSTA C o que pretende fazer Localizar Localizar Janela Docalizar Janela Primatação de Texto 1000
	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda O Diga-me o Ajuda O Diga	RIA RITA CALDERA COSTA Image: Cost of the second
	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda P Diga-me c Ajuda P Diga-me c Ajuda P Remover Ordenação Alualizar Guardar P Alualizar Guardar P Alualizar Guardar P Alualizar Guardar P Alualizar Guardar P Alualizar Registos Alualizar Dimensional Alualizar Contente Filtrar Alualizar Contente Filtrar Alualizar Contente Filtrar Alualizar Contente Filtrar Alualizar Contente Filtrar Alualizar	rss ANA RITA CALDERA COSTA O o que pretende fazer Localizar Localizar Janela Docalizar Janela Primatação de Texto 10000 <td< td=""></td<>
Base Criar Dados Externo Ficheiro Base Criar Dados Externo Vista Copiar Copiar Copiar Vista Copiar Copiar Copiar Vista Copiar Pincel de Formatação r.c Vista Copiar Pincel de Formatação r.c TOCOS OS C C Pincel de Formatação Vista Copiar Pincel de Formatação r.c TOCOS OS C C Pincel de Formatação r.c TOCOS OS C C Pincel de Formatação r.c TOCOS OS C C C Pincel de Formatação r.c Batimetrina Pincel de Formatação C Pincel de Formatação r.c PROLECIO RESULTSWAN SENT, ROT Pincel de Formulários R Pincel de Formulários R Gabeles, time Compute Pincel de Formulários R Pincel de Formulários R ABE, RE0202 ARE, RO12 ABE, RO12 Pincel de Formulários R Pincel de Formulários R	Accer nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda P Diga-me o Filto 21 Ascendente P Remover Ordenação P Rem	ANA RITA CALDERA COSTA - C X ANA RITA CALDERA COSTA - C X o que pretende fazer Localizar Ajustar Tamanho Mudar de ao Formulário Janela A X - X - E = A - X - E = A - X - E = A - X - E = A - X - E = A - X - X - E = A - X - X - X - X - X - X - X - X - X -
Image: Sector Ficheiro Base Ciar Dados Externo Image: Sector Copiar Colar Copiar Colar Copiar Colar Pincel de Formatação Vista Area de Transferência TOdos os C Bathattina Image: Sector Paste Errors PROVEIRAS INNA PROVEICO RESULTSWAN SENUTSWAN SENUTSWAN QUA Formularios Formularios ARE, PROJ2 ARRE, PROJ2 Accols INNA Inna	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda $ ho$ Diga-me o Parameter and the second entry Fitro $ ho$ Ascendente ho Remover Ordenação $ hoOrdenar e Filtrarho$ Navo $ ho$ $ hoho$ Guardar ho $ ho$ $ ho$ $ hoho$ inicial ho inicial	Image: system strain all battmentral mathel _ battmentral mathel _ battment all
	Acce nos Ferramentas da Base de Dados Ajuda O Diga-me o J Ascendente Descendente Perrover Ordenação Ordenar e Filtrar Crdenar e Filtrar Vincial Sind rotation nº. Dx nº. Dx Dx (m) Dy (m) Depth below which is not considered Read bathymetry from this file: Clusers35196/DesktopUSEL RitalSRoquel02_SWA Read bathymetry for the Nested_1 from this file: Clusers35196/DesktopUSEL RitalSRoquel02_SWA	xs ANA RIA CALDERA COSTA Image: Cost of the second

FIGURA 9.1 - INTERFACE USADA NO MODELO SWAN.





Anexo B – Histograma conjunto de Hs – Tp, Hs-Dir e Tp - Dir complementado com





FIGURA 9.2 – PONTO P1. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE HS-TP, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.



FIGURA 9.3 – PONTO P1. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE HS-DIR, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.



					3			12										
Dir(°)	0	0	0	0	112.5				0	0	0	0	0	0	0	0	1	
D	22.5	45	67.5	qn	112 5	125	157.5	180	202 5	225	247.5	270	292 5	315	337.5	360		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	o	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	3	4915	556	12	0	0	0	0	0	0	0	0		5486
6	0	0	0	0	0	765	299	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1064	
7	0	0	0	0	0	1383	645	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2177	
8	0	0	0	0	0	1922	244	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2177	4004
)	0	0	0	0	0	5/10	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0		5/48
10	0	0	0	0	0	6908	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		6911
11	0	0	0	0	0	1962	5909	0	0	0	0	0	0	0	0	0		7871
12	0	0	0	0	0	0	8426	0	0	0	0	0	0	0	0	0		842
14	0	0	0	0	0	0	5778	0	0	0	0	0	0	0	0	0		5778
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	2440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2440	
17	0	0	0	0	0	0	510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	510	
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		•	Ŭ		Ŭ	Ū	55	Ŭ	Ŭ	Ŭ	Ů	Ū	U	0	•	0		

FIGURA 9.4 – PONTO P1. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE TP-DIR, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.





Anexo C – Histograma conjunto de Hs – Tp, Hs-Dir e Tp - Dir complementado com histogramas marginais de cada parâmetro, relativos ao ponto P2.







FIGURA 9.6 – PONTO P2. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE HS-DIR, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.





																			•	
	0	0	0	0	10	3751		158	5	0	0	0	0	0	0	0				
0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5	360				
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
5	0	0	0	0	10	3231	1597	158	5	0	0	0	0	0	0	0			5001	
6	0	0	0	0	0	370	587	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	7		
7	0	0	0	0	0	144	1684	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1828		
8	0	0	0	0	0	2	1967	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1969		
9	0	0	0	0	0	2	3922	0	0	0	0	0	0	0	0	0			3924	
10	0	0	0	0	0	0	5167	0	0	0	0	0	0	0	0	0			5167	
11	0	0	0	0	0	0	6301	0	0	0	0	0	0	0	0	0				6301
12	0	0	0	0	0	0	7092	0	0	0	0	0	0	0	0	0				7092
13	0	0	0	0	0	0	7608	0	0	0	0	0	0	0	0	0				760
14	0	0	0	0	0	0	5214	0	0	0	0	0	0	0	0	0			5214	Ļ
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
16	0	0	0	0	0	0	2211	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2211		
17	0	0	0	0	0	0	475	0	0	0	0	0	0	0	0	0	475			
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
19	0	0	0	0	0	2	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48			

FIGURA 9.7 - PONTO P2. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE TP-DIR, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.





Anexo D – Histograma conjunto de Hs – Tp, Hs-Dir e Tp - Dir complementado com histogramas marginais de cada parâmetro, relativos ao ponto P3.





	0	0	0	0	10	375		158	5	_ 0	0	()	0	0	0	0 ,
)	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5	360	
).1	0	0	0	0	9	3049	31327	155	5	0	0	0	0	0	0	0	
.2	0	0	0	0	1	544	8508	3	0	0	0	0	0	0	0	0	9056
.3	0	0	0	0	0	133	2737	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2870
.4	0	0	0	0	0	24	845	0	0	0	0	0	0	0	0	0	869
).5	0	0	0	0	0	0	290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	290
0.6	0	0	0	0	0	1	103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104
).7	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
).8	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
.9	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

FIGURA 9.9 - PONTO P3. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE HS-DIR, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.







FIGURA 9.10 - PONTO P3. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE TP-DIR, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.





Anexo E – Histograma conjunto de Hs – Tp, Hs-Dir e Tp - Dir complementado com
histogramas marginais de cada parâmetro, relativos ao ponto P4.

					5486				4354	5750				5778						
						1064	2028	2177								2440	510			
	0	0	0	0											0		510	0	55	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
0.1	0	0	0	0	4394	690	1416	1492	2866	3789	4361	4677	4254	2057	0	441	34	0	3	
0.2	0	0	0	0	659	160	332	464	968	1076	1131	1509	2245	1765	0	532	72	0	4	10917
0.3	0	0	0	0	304	86	108	121	333	507	826	1050	1071	921	0	507	90	0	8	5932
0.4	0	0	0	0	91	52	67	51	117	236	342	379	501	486	0	395	93	0	16	2826
).5	0	0	0	0	35	47	45	18	36	84	163	154	217	273	0	233	79	0	6	1390
0.6	0	0	0	0	3	20	23	9	14	28	47	57	92	152	0	117	52	0	5	619
0.7	0	0	0	0	0	8	19	5	5	19	24	21	22	62	0	95	36	0	5	321
0.8	0	0	0	0	0	1	8	6	9	6	5	4	12	35	0	54	18	0	4	162
0.9	0	0	0	0	0	0	3	2	2	3	4	8	6	16	0	26	20	0	1	91
1	0	0	0	0	0	0	5	3	2	2	2	6	0	8	0	18	4	0	-	51
1.1	0	0	0	0	0	0	2	3	1	0	4	3	4	0	0	8	5	0	2	32
1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	1	2	0	6	2	0	0	15
1.3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	1	1	0	4	2	0	0	11
1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	6
L.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	

FIGURA 9.11 - PONTO P4. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE HS-TP, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.







FIGURA 9.12 - PONTO P4. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE HS-DIR, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.





FIGURA 9.13 - PONTO P4. REGIME GERAL OBSERVADO. HISTOGRAMA CONJUNTO DE TP-DIR, COMPLEMENTADO COM HISTOGRAMAS MARGINAIS DE CADA PARÂMETRO.





Anexo F – Histogramas relativos às alturas máximas anuais, nos pontos P1, P2, P3 e









FIGURA 9.15 - PONTO P2. VALORES MÁXIMOS ANUAIS DE ALTURA SIGNIFICATIVA, HS.



FIGURA 9.16 - PONTO P3. VALORES MÁXIMOS ANUAIS DE ALTURA SIGNIFICATIVA, HS.



FIGURA 9.17 - PONTO P4. VALORES MÁXIMOS ANUAIS DE ALTURA SIGNIFICATIVA, HS.