



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

AVALIAÇÃO DO RISCO DE GALGAMENTO NO PORTO DE LEIXÕES

João, COSTA¹; Conceição J.E.M., FORTES²; José Carlos, FERREIRA³, Liliana V., PINHEIRO⁴, Maria Teresa, REIS⁵, Pedro, POSEIRO⁶

¹ Eng. Ambiente, Universidade Nova de Lisboa - FCT NOVA, Campus da Caparica, 2828-516 Caparica, jcs.costa@campus.fct.unl.pt

² Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, jfortes@lnec.pt

³ Geógrafo, Universidade Nova de Lisboa – FCT NOVA & MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, jcrf@fct.unl.pt

⁴ Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, lpinheiro@lnec.pt

⁵ Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, treis@lnec.pt

⁶ Eng. Geógrafo, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, pposeiro@lnec.pt

Resumo

Esta comunicação apresenta uma avaliação do risco de galgamento das estruturas de defesa marítima do Porto de Leixões, nomeadamente o quebra-mar norte e o quebra-mar sul.

Recorrendo a previsões de agitação marítima em águas profundas fornecidas pelo modelo WAM, é feita a sua propagação com os modelos numéricos SWAN e DREAMS de modo a obter-se a caracterização da agitação marítima incidente nestas estruturas. Este trabalho assenta na utilização de dados de agitação marítima que cobrem um período de 38 anos (1979–2016). Com os valores característicos da agitação marítima em frente a cada uma das estruturas marítimas, calcula-se o caudal médio galgado utilizando a ferramenta NN_OVERTOPPING2, baseada em redes neuronais artificiais.

Posteriormente, avalia-se o risco associado ao galgamento através da definição de limiares para os caudais médios galgados. O grau de risco é obtido do produto do grau de probabilidade de excedência dos limites pré-estabelecidos pelo grau das consequências dessa excedência. Finalmente, são ilustrados num mapa de risco do Porto de Leixões os diferentes graus de risco obtidos num conjunto de 15 pontos de análise localizados ao longo das duas estruturas de defesa marítima do porto. Com base no mapa de risco elaborado, é possível identificar os locais de maior risco em termos de segurança e operacionalidade.

Palavras-chave: Porto de Leixões, Galgamentos, Avaliação do risco, Mapa de risco.

Tema: Risco.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

1. INTRODUÇÃO

A avaliação do risco associado a fenómenos de galgamento de estruturas marítimas em zonas portuárias tem sido amplamente estudada ao longo dos últimos anos, em consequência do paradigma atual de franco crescimento e desenvolvimento dos portos, a nível global, impulsionados pelo aumento contínuo das trocas comerciais e numa lógica de economia de escala. Para aumentar a sua capacidade de resposta, os portos comerciais têm apostado na ampliação dos seus equipamentos e infraestruturas, em operações de dragagem para acolher embarcações de maior calado e em maior tráfego de navios. As estruturas marítimas de proteção destas zonas ficam assim mais expostas às ações adversas da agitação marítima (Alises *et al.*, 2014). Deste modo, a determinação das consequências dos fenómenos de galgamento é um assunto de extrema importância para a avaliação, quer do risco de dano/rotura das próprias estruturas, quer dos riscos associados à inundação das zonas por elas protegidas.

Este é um assunto crucial em Portugal, devido à vulnerabilidade do nosso litoral, continental e insular, aos efeitos negativos das alterações climáticas, nomeadamente à subida do nível médio do mar e aos eventos extremos como tempestades, que provocam intensa erosão, galgamentos oceânicos e inundações costeiras (Ferreira, 2016). O galgamento de estruturas portuárias e a consequente inundação das zonas protegidas pelas mesmas podem acarretar consequências nefastas para a gestão dos portos comerciais, afetando a economia, local e regional, resultando em prejuízos devido à inoperacionalidade do porto, a danos em navios atracados nos terminais, a danos em equipamentos e edifícios localizados nas zonas inundadas, e ainda a ferimentos em pessoas ou perda de vidas humanas (Lourenço, 2016).

Neste sentido, torna-se fundamental ser capaz de prever situações de risco em zonas portuárias e costeiras, realizar mapas de risco para apoio à decisão das entidades responsáveis e emitir atempadamente alertas, minimizando o risco de perda de vidas e os prejuízos económicos e ambientais (Neves *et al.*, 2013).

O Porto de Leixões, no norte de Portugal, é um exemplo de um porto português onde os fenómenos de forte agitação marítima local e de galgamento das estruturas principais são muito frequentes e, têm por vezes, impacto na operacionalidade do porto. Note-se que o posto “A” do Terminal de Petroleiros, localizado na extremidade sul do quebra-mar norte, é um dos postos de atracagem mais vulneráveis do Porto de Leixões, devido à ocorrência de condições de agitação marítima severas e galgamentos que obrigam a inoperacionalidade. Esta situação tem vindo a preocupar a Autoridade Portuária, que tem procurado, nos últimos anos e através de diferentes formas, encontrar soluções que proporcionem uma melhoria das condições atuais. Nos postos “B” e “C” também ocorrem situações de inoperacionalidade, embora com menor intensidade e frequência.

É assim importante efetuar uma avaliação do risco associado ao galgamento de vários trechos das estruturas marítimas do Porto de Leixões, nomeadamente dos quebra-mares norte e sul.

A presente comunicação descreve os procedimentos necessários para efetuar a avaliação do risco de galgamento dos quebra-mares norte e sul, que abrigam o Terminal de Petroleiros e o Terminal de Cruzeiros, respetivamente. A metodologia simples utilizada, baseada em Poseiro *et al.* (2013), envolve três fases: a) caracterização da agitação incidente nas estruturas do porto; b) cálculo do galgamento; c) avaliação do risco de galgamento e elaboração de um



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

mapa de risco. O risco de galgamento baseia-se na avaliação da probabilidade de ocorrência de galgamentos acima de um certo limiar predefinido, assim como a avaliação das consequências dessas ocorrências.

2. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO RISCO

A metodologia de avaliação do risco desenvolvida pelo LNEC, designada por metodologia simples, foi utilizada por vários autores (Reis *et al.*, 2011, Neves *et al.*, 2013, Poseiro *et al.*, 2014a, Poseiro *et al.*, 2014b), com o objetivo de se avaliar o risco associado à ocorrência de galgamentos em estruturas de defesa portuária.

Esta metodologia, descrita detalhadamente em Lourenço (2016), consiste em:

1. Definir o regime de agitação marítima incidente nas estruturas portuárias. Essas características de agitação marítima podem ser obtidas com base em longas séries temporais fornecidas ao largo da zona em estudo por modelos numéricos de previsão da agitação marítima à escala regional, como é o caso do modelo WAM, Hasselmann *et al.* (1988). Com base nestas estimativas da agitação marítima são aplicados outros modelos numéricos para a propagação da agitação marítima desde o largo até junto à costa ou até ao interior de uma zona abrigada ou portuária, como por exemplo os modelos numéricos SWAN (Booij *et al.*, 1999) e/ou DREAMS (Fortes, 1993);
2. Calcular a resposta das estruturas (ou dos seus diferentes troços) em termos de caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura, com a utilização da ferramenta baseada em resultados da aplicação de redes neuronais artificiais NN_OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005), desenvolvida no âmbito do Projeto Europeu CLASH, e/ou de fórmulas empíricas;
3. Calcular o grau de risco associado à ocorrência de galgamentos acima de um determinado caudal médio galgado pré-definido para cada estrutura, em função do tipo de estrutura galgada e das atividades e bens por ela protegidos. Em suma, o Grau de Risco = Grau de Probabilidade \times Grau de Consequências.

Por sua vez, o cálculo do grau de risco resume-se a cinco passos fundamentais:

1. Divisão do local de estudo em subzonas, atendendo ao perfil transversal da estrutura e ao tipo de utilização da zona protegida pela estrutura e consequente variabilidade do caudal médio galgado admissível;
2. Estabelecimento dos caudais críticos de galgamento associados a cada secção de estrutura analisada tendo em conta a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada, o perfil da estrutura galgada e a necessidade de garantir a segurança de pessoas e infraestruturas nessa zona. Estes limiares são estabelecidos com base nas recomendações de Pullen *et al.* (2007) e em informação fornecida pelas autoridades locais;
3. Cálculo da probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis, com base na resposta das estruturas à agitação incidente e nos limites admissíveis para cada tipo de estrutura. A classificação dessa probabilidade é efetuada tendo em conta os graus definidos na Tabela 1, Poseiro *et al.* (2013);

Tabela 1. Graus de probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis

Descrição	Probabilidade de ocorrência	Grau
Improvável	0 - 1%	1
Raro	1 - 10%	2
Ocasional	10 - 25%	3
Provável	25- 50%	4

4. Determinação do grau das consequências da ocorrência de galgamentos que excedam os limites pré-estabelecidos. Na Tabela 2 apresenta-se um guia de orientação referente às consequências de ocorrência de determinado evento, que apresente valores de caudal médio galgado superiores a limites previamente estabelecidos;

Tabela 2. Grau de consequências associadas à ocorrência de um evento perigoso em portos

Descrição	Consequências (Guia de orientação)							Grau
	Pessoas	Ambiente	Gestão portuária	Património				
				Edifícios	Equipamentos	Estrutura marítima	Veículos	
Insignifica	Possibilidade de ferimentos muito ligeiros	Impacto ambiental desprezável	Alterações ligeiras nas atividades portuárias	Danos exteriores quase inexistentes	Danos quase inexistentes	Dano na zona ativa da estrutura não necessitando reparação	Danos quase inexistentes	1
Reduzidas	Uma única lesão ligeira	Pequenos derrames (por exemplo de combustível)	Algumas alterações nas atividades portuárias; má publicidade para o porto a nível local	Danos interiores e exteriores insignificantes	Danos ligeiros que não implicam a paragem do equipamento; resolução de problemas quase imediata	Ocorrência de movimentos e quedas de blocos sem exposição de filtros; reparação imediata desnecessária	Danos insignificantes que não afetam a sua utilização	2
Sérias	Múltiplas lesões ligeiras ou uma única lesão grave	Algumas áreas com acesso proibido devido a poluição causada por derrames	Operações de carga e descarga condicionadas; possibilidade de paragem parcial do porto; má publicidade generalizada	Danos interiores moderados	Danos que implicam inatividade temporária do equipamento para reparação	Ocorrência de movimentos e quedas de blocos com exposição de filtros; superestrutura afetada mas sem movimentos significativos	Danos sérios com consequências na sua utilização, mas que não levam à sua paragem temporária	5
Muito sérias	Muitas lesões graves ou uma perda de vida	Episódios de poluição dentro e fora do porto com possibilidade de consequências irreparáveis para o ambiente	Impossibilidade de realização de operações de carga e descarga durante vários dias; má publicidade a nível nacional	Grandes danos no interior; estrutura do edifício afetada	Danos graves; inatividade prolongada do equipamento	Filtros afetados; movimentos substanciais da superestrutura	Danos exteriores sérios com consequências na sua utilização que levam a uma paragem prolongada	10
Catastróficas	Muitas perdas de vida	Derrames generalizados contaminação muito grave; consequências irreparáveis para o ambiente; necessidade de ajuda internacional	Restrições muito sérias às operações de carga e descarga durante muito tempo; perda de trocas comerciais durante muito tempo; má publicidade internacional	Danos interiores muito graves; estrutura do edifício seriamente afetada; colapso iminente	Perda do equipamento (reparação impossível)	Colapso da estrutura	Danos sérios inviabilizando a sua utilização em definitivo	25

5. Cálculo do grau de risco através do produto dos graus atribuídos à probabilidade e às consequências de ocorrência de galgamentos que excedam os limites pré-estabelecidos. Avaliação da aceitabilidade do grau de risco obtido, Tabela 3.

Tabela 3. Graus de risco e da aceitabilidade do risco

GRAU DE RISCO		Consequências					Grau	Descrição	Controlo de Risco (Guia de Orientação)
		1	2	5	10	25			
Probabilidade de Ocorrência	1	1	2	5	10	25	1-3	Insignificante	Risco desprezável; não é preciso levar a cabo medidas de controlo de risco.
	2	2	4	10	20	50	4-10	Reduzido	Risco que pode ser considerado aceitável/tolerável caso se selecione um conjunto de medidas para o seu controlo, possíveis danos materiais de pequena dimensão.
	3	3	6	15	30	75	15-30	Indesejável	Risco que deve ser evitado se for razoável em termos práticos; requer uma investigação detalhada e análise de custo-benefício; é essencial a monitorização.
	4	4	8	20	40	100	40-125	Inaceitável	Risco intolerável; tem que se proceder ao controlo do risco (e.g. eliminar a origem dos riscos, alterar a probabilidade de ocorrência e/ou as consequências, transferir o risco, etc.).
	5	5	10	25	50	125			

A aplicação desta metodologia já foi efetuada a vários portos portugueses, como é o exemplo do Porto da Praia da Vitória (Poseiro *et al.*, 2013, 2014a, 2014b, Lourenço, 2016), Porto de Ponta Delgada (Pereira *et al.*, 2014, Rodrigues, 2014), Porto da Madalena do Pico (Sengo, 2017) e, mais recentemente, Porto de Leixões (Costa, 2017).

3. CASO DE ESTUDO - O PORTO DE LEIXÕES

3.1 Introdução

A zona de estudo, designada por Porto de Leixões, fica situada a cerca de 2.5 milhas a norte da foz do Rio Douro e nas proximidades da cidade do Porto, sendo enquadrada pelas povoações de Leça da Palmeira, a norte, e Matosinhos, a sul, Figura 1.

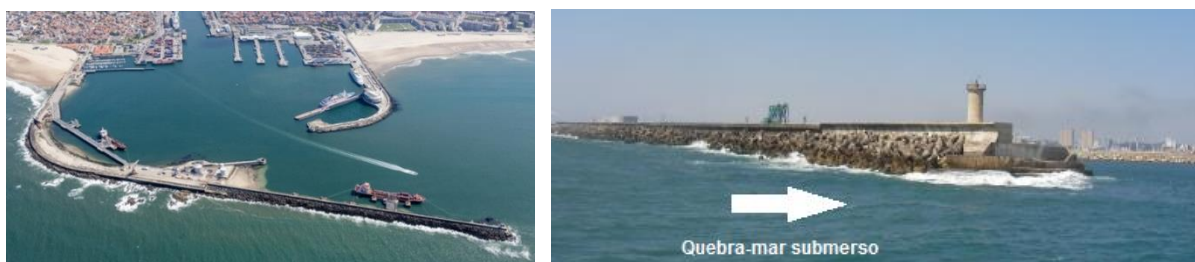


Figura 1. Porto de Leixões. Quebra-mares norte e sul e quebra-mar submerso

O Porto de Leixões é a maior infraestrutura portuária da região norte de Portugal e uma das mais importantes do país. Com 5 km de cais, 55 ha de terra-plenos e 120 ha de área molhada, este porto dispõe de boas acessibilidades marítimas, rodoviárias e ferroviárias, bem como de modernos equipamentos e avançados sistemas informáticos de gestão de navios. Beneficiando de uma localização estratégica, de um *hinterland* rico em indústria e comércio, o porto tem uma posição privilegiada no contexto do sistema portuário europeu. Opera 365 dias por ano, tendo o principal canal de acesso ao porto fundos de cerca de -15 m (ZHL), usufruindo de uma barra permanentemente aberta ao tráfego portuário, sem restrições de acesso por efeito das marés. Este porto representa 25% do comércio internacional português e movimenta cerca de 18 milhões de toneladas de mercadorias por ano. Pelo porto passam cerca de três mil navios por

ano e todo o tipo de cargas, das quais se destacam: têxteis, granitos, vinhos, madeira, automóveis, cereais, contentores, sucata, ferro e aço, álcool, aguardente, açúcares, óleos, melaços, produtos petrolíferos e ainda passageiros de navios de cruzeiro, APDL (2018).

Nas secções seguintes aplica-se a este porto a metodologia de avaliação do risco de galgamentos, começando por se efetuar a caracterização da agitação marítima junto às estruturas portuárias, com base no modelo de previsão da agitação marítima à escala regional, WAM, e em resultados de modelos de propagação de ondas, SWAN e DREAMS. Depois, efetua-se o cálculo dos galgamentos em cada estrutura considerada com a ferramenta NN_OVERTOPPING2, analisando-se os resultados obtidos. Segue-se, a avaliação do risco associado a galgamentos que excedem limiares pré-estabelecidos de caudal médio galgado para cada secção das estruturas.

3.2. Caracterização das principais estruturas marítimas e instalações portuárias

O Porto de Leixões é abrigado por dois quebra-mares (norte e sul) que protegem diferentes infraestruturas, tais como as instalações referentes ao Terminal de Petroleiros (quebra-mar norte), e aos Terminais de Cruzeiros e Multiusos (quebra-mar sul), Figura 1 e Figura 2.

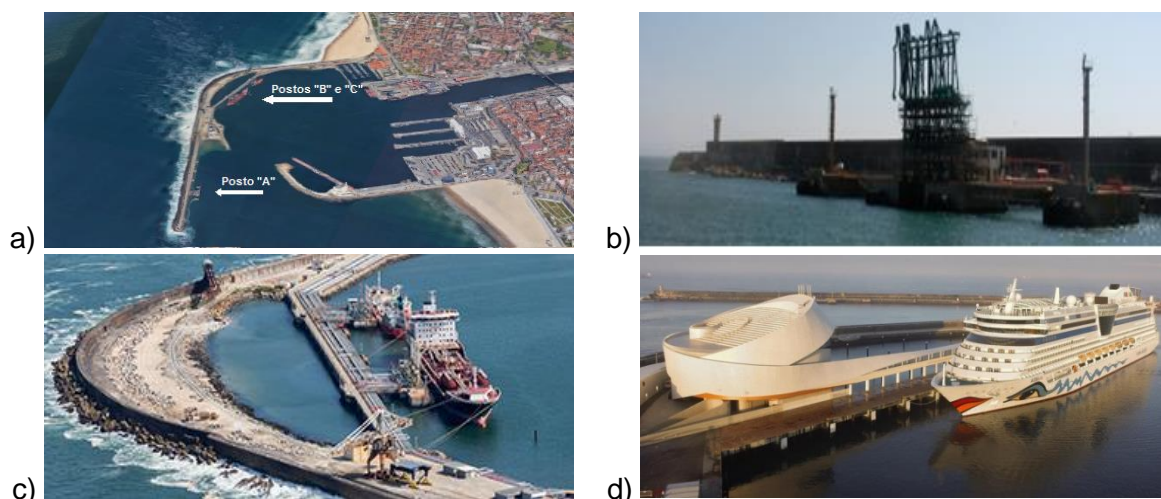


Figura 2. a) Terminais do Porto de Leixões; b) Terminal de Petroleiros: postos “A”, “B” e “C”; c) Terminal A; d) Terminal de Cruzeiros

Dos terminais existentes no Porto de Leixões, destaca-se o Terminal de Petroleiros, atualmente concessionado à Galp Energia. Este terminal é uma instalação destinada essencialmente a operações de carga e descarga de petróleo bruto e seus derivados, posteriormente direcionados para a refinaria de Matosinhos através de condutas com cerca de 2 km de comprimento. Este terminal, localizado ao longo de todo o quebra-mar norte e com cerca de 1.6 km de comprimento, é composto por três postos de acostagem: os postos “A”, “B” e “C”.

O posto “A”, com localização à entrada do Porto de Leixões, perto da cabeça do quebra-mar norte (Figura 2a e b), encontra-se protegido da ação direta da agitação marítima por um quebra-mar que foi inicialmente projetado e construído como uma estrutura submersa (1940), tendo sido posteriormente transformado num quebra-mar de taludes (1969). Neste posto, o quebra-mar norte apresenta um manto resistente constituído por tetrápodes com 40 tf e duas subcamadas constituídas por blocos de 20 e 40 tf. Este posto apresenta fundos de -

15 m (ZHL), garantindo a segurança de navegação para navios petroleiros com peso bruto máximo de 100 000 t. As mercadorias movimentadas neste terminal são referentes a ramas de petróleo e produtos refinados diversos.

Os postos “B” e “C”, Figura 2a e c, estão localizados numa área interior do Porto de Leixões, distanciando 145 m da estrutura de defesa (denominada por proteção exterior do quebra-mar norte), que é constituída por uma parede vertical e um manto de blocos artificiais de 45 tf. Nesta zona, a agitação marítima não é tão intensa como no posto “A”. Ainda comparativamente com o posto “A”, os postos “B” e “C” apresentam fundos mais reduzidos, com cotas de -10 m (ZHL) e -6 m (ZHL), respetivamente. Podem receber navios com peso bruto máximo de 27 000 t e 5 000 t, respetivamente, estando a movimentação de mercadorias destinada a produtos refinados diversos, gases de petróleo liquefeitos e produtos aromáticos.

O Terminal de Cruzeiros localiza-se no quebra-mar sul do Porto de Leixões, intersectando uma zona onde existe o enrocamento de grandes dimensões, que constitui o próprio quebra-mar, com profundidades variáveis até 15 m, Figura 2d.

3.3 Caracterização da agitação marítima

Utilizaram-se os resultados das previsões da agitação marítima ao largo da zona considerada para o período de 1979 a 2016 (38 anos), disponibilizados pela ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast*) que, por sua vez, utiliza o modelo WAM (*Wave Modeling*). Foram utilizados os resultados obtidos por esta ferramenta, referente aos dados de altura significativa de onda (HS), direção de onda (DIR) e período de pico de onda (Tp), para o ponto W localizado ao largo de Leixões, com coordenadas 41°10'00" N, 8°59'00" W. Aqueles resultados foram transferidos para o interior da baía e do porto com recurso a dois modelos de propagação e deformação da agitação marítima: o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999) e o modelo DREAMS (Fortes, 1993). Para aplicação dos modelos SWAN e DREAMS, consideraram-se os valores do nível de maré astronómica obtidos com o *software* XTide (Flatter, 1998). A sobrelevação meteorológica admitida foi considerada constante e igual a 0.4 m, por ausência de dados de marégrafo.

Foram assim calculados os parâmetros característicos da agitação marítima, HS, Tm (período médio) e DIR, em 15 pontos (pontos D1 a D15), Figura 3.

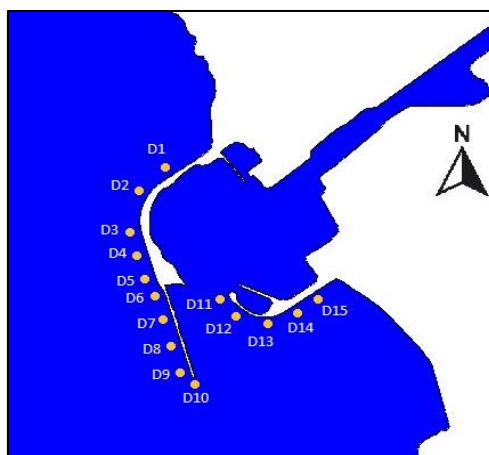


Figura 3. Localização dos pontos D1 a D15

3.4 Cálculo dos galgamentos

Recorreu-se ao uso da ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2, Coeveld *et al.* (2005), para calcular o caudal médio galgado, q , sobre as estruturas marítimas do Porto de Leixões. Os resultados desta ferramenta baseiam-se nos dados de agitação marítima resultantes do modelo DREAMS, bem como nos dados da geometria e das características das estruturas marítimas em cada um dos pontos D1 a D15, para o período de janeiro de 1979 a agosto de 2016, Costa (2017). A Tabela 4 apresenta uma análise estatística dos valores de q nesses pontos.

Tabela 4. Análise estatística do parâmetro q , obtido através da ferramenta NN_OVERTOPPING2, nos 15 pontos em análise

	q (l.s ⁻¹ /m)														
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
Média	0.28	0.79	0.05	0.03	0.02	0.01	0.02	0.06	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.06	0.05
Desvio-padrão	3.44	8.83	0.53	0.32	0.34	0.17	0.43	0.83	0.86	0.38	0.01	0.01	0.02	0.87	0.53
Máximo	250.00	442.30	57.53	30.05	45.59	24.19	40.47	68.94	93.53	37.25	0.36	0.49	0.74	131.50	57.53

3.5 Avaliação do risco de galgamento

Para a avaliação do risco de galgamento nos quebra-mares norte e sul deve-se: a) estabelecer os caudais críticos admissíveis consoante a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada pelas estruturas e do impacto do galgamento na segurança de pessoas e infraestruturas; b) avaliar o grau de probabilidade de ocorrência desses caudais; c) avaliar o grau de consequências; d) avaliar o grau de risco. Descrevem-se as atividades desenvolvidas em cada um dos troços correspondentes aos pontos considerados, nomeadamente:

- Ponto D1, localizado no trecho do quebra-mar norte mais próximo da praia de Leça da Palmeira, corresponde a uma estrutura do tipo defesa frontal podendo apresentar danos nas vias de circulação localizadas atrás desta estrutura (limite: 200 l.s⁻¹/m). Neste local, é permitida apenas a presença de pessoal treinado, com funções a desenvolver no Terminal de Petroleiros (limite: 1-10 l.s⁻¹/m). A circulação de veículos é realizada na via de circulação, que se localiza a 10 m da estrutura (limite: 10-50 l.s⁻¹/m), destacando-se a presença de equipamentos e edifícios localizados a 30 m e 20 m da estrutura, respetivamente (limites: 0.4 l.s⁻¹/m para equipamentos e 1 l.s⁻¹/m para edifícios);
- Pontos D2 e D3, localizados em frente aos postos “B” e “C” do Terminal de Petroleiros, a passagem de peões só é permitida a funcionários ou pessoal autorizado, que seja treinado, com equipamento e calçado adequado e com perceção da possibilidade de se molhar (limite: 1-10 l.s⁻¹/m). Estrutura do tipo defesa frontal, que pode ter danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas atrás da estrutura (limite: 200 l.s⁻¹/m). A circulação de veículos de transporte ocorre na via de circulação existente para o efeito, que dista 50 m e 30 m do coroamento da estrutura nos pontos D2 e D3, respetivamente (limite: 10-50 l.s⁻¹/m). Realça-se a existência de equipamentos no local, tais como redes de tubagem, gruas e equipamentos de amarração, que podem ser danificados, distando 145 m e 100 m dos pontos D2 e D3, respetivamente. Uma vez que este trecho funciona como proteção aos postos “B” e “C”, existe a possibilidade de ocorrência de danos em navios de grandes dimensões aí atracados (limite: 10 l.s⁻¹/m), ainda que os respetivos postos de acostagem estejam a uma distância considerável da estrutura (145 m e 100 m dos pontos D2 e D3);
- Pontos D4 e D5, localizados na zona central do quebra-mar norte, e cuja estrutura pode ter

danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas atrás da mesma, a uma distância de 30 m. Tal como nos trechos anteriores, só se permite entrada a pessoal autorizado, treinado e devidamente equipado (limite: $1\text{-}10\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$). É neste local que se encontra a maioria dos equipamentos e edifícios presentes no Terminal de Petroleiros, uma vez que se aproveitou a área existente entre o antigo quebra-mar norte de Leixões e a nova estrutura. Assim, poderá haver danos em edifícios, como o edifício administrativo ou a central de bombagem de incêndios, ou em equipamentos, nomeadamente a rede de tubagens ou os tanques de armazenamento de combustível, localizados a 60 m do coroamento da estrutura (limites: $0.4\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$ para equipamentos e $1\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$ para edifícios);

- Pontos D6 e D7, localizados na secção que se prolonga até à cabeça do quebra-mar norte, sendo do tipo defesa frontal (limite: $200\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$). A via de circulação existente neste trecho do quebra-mar está localizada imediatamente atrás da estrutura de defesa, admitindo-se um limite para veículos de $0.05\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$, uma vez que, apesar da velocidade dos veículos ser reduzida, poderá haver situações de galgamento projetado com grande velocidade ou com jatos de água a cair na via. Também este trecho é exclusivo à presença de funcionários treinados e equipados devidamente (limite: $1\text{-}10\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$), não havendo possibilidade de ocorrência de danos nos navios atracados;
- Pontos D8 a D10 são análogos aos pontos anteriores, uma vez que estão localizados ao longo da mesma secção do quebra-mar. A única diferença em termos de valores admissíveis a registar nestes pontos, é relativa às consequências danosas em navios atracados no posto “A”. Devido à localização deste posto, que se encontra entre os pontos de estudo D8 e D9, o galgamento observado na estrutura poderá causar danos em equipamentos (limite: $0.4\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$) e em grandes navios aí atracados (limite: $10\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$). O ponto D10, localiza-se na cabeça do quebra-mar norte, onde foi construído um farol (limite: $1\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$), sendo permitida a passagem a funcionários ou pessoal autorizado e treinado (limite: $1\text{-}10\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$);
- Pontos D11 a D13, localizados no quebra-mar sul, perto da cabeça do quebra-mar. Este local é utilizado para o acesso ao Porto de Recreio, admitindo-se valores de galgamento de $0.03\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$ para pessoas, entendendo-se que as pessoas presentes no local estão desprevenidas e sem observação da agitação incidente, com vestuário inadequado para se molharem, propiciando tropeções ou quedas. As embarcações atracadas no Porto de Recreio poderão ser danificadas durante os fenómenos de galgamento, admitindo-se um limite de $10\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$, para embarcações localizadas a 10 m da estrutura;
- Pontos D14 e D15, localizados na secção do Terminal de Cruzeiros mais perto do enraizamento (limite: $200\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$ para a estrutura). Este trecho é caracterizado pela presença de passageiros dos navios de cruzeiro, assim como pessoas que se queiram dirigir ao edifício central do terminal, encontrando-se desprevenidas e sem observação da agitação incidente (limite: $0.03\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$). A circulação de veículos é realizada a velocidade moderada, para movimentação de passageiros. No entanto, a possível existência de galgamento projetado com grande velocidade ou com jatos de água a cair na via, origina valores de galgamento admissíveis mais reduzidos (limite: $0.05\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$ para veículos). Neste local estão presentes equipamentos e edifícios para a receção de passageiros (limites: $0.4\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$ para equipamentos e $1\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$ para edifícios). No Terminal de Cruzeiros está também localizado o cais flúvio-marítimo para acostagem de embarcações que proporcionam itinerários turísticos no rio Douro, localizado a 60 m do coroamento da estrutura (limite: $10\text{ l.s}^{-1}/\text{m}$).

A Tabela 5 apresenta o resumo dos valores limite de caudal médio galgado admissível atribuídos a cada ponto em estudo, assim como a distância dos diferentes sectores relativamente ao coroamento da estrutura marítima.

Tabela 5. Valores críticos de caudal médio galgado e distância de avaliação do galgamento.

Valores críticos de caudal médio galgado (l.s ⁻¹ /m)						
Pontos	Estrutura	Pessoas	Veículos	Edifícios	Equipamentos	Embarcações
D1	200	1	0.05 (10 m)	1 (30 m)	0.4 (20 m)	-
D2	200	1	10 (50 m)	-	0.4 (145 m)	10 (145 m)
D3	200	1	10 (30 m)	-	0.4 (100 m)	10 (100 m)
D4	200	1	10 (30 m)	1	0.4 (60m)	-
D5	200	1	10 (30 m)	1	0.4 (60m)	-
D6	200	1	0.05	-	0.4 (20 m)	-
D7	200	1	0.05	-	0.4	-
D8	200	1	0.05	-	0.4	10
D9	200	1	0.05	-	0.4	10
D10	200	1	0.05	-	0.4	-
D11	200	0.03	0.05	-	0.4	10
D12	200	0.03	0.05	-	0.4	10
D13	200	0.03	0.05	1	0.4	10
D14	200	0.03	0.05	1	0.4	10 (15 m)
D15	200	0.03	0.05	1	0.4	10 (60 m)

Uma vez definidos os caudais limite em cada ponto, para cada tipo de atividade, é atribuído um grau de probabilidade de ocorrência em função do quociente entre o número de vezes que os limites são ultrapassados e o número total de registos de galgamento. Na Figura 4 representa-se, de D1 a D15, a percentagem de ocorrências de valores de galgamento superiores aos caudais limites admissíveis para a estrutura, para as pessoas, para os veículos, para os edifícios, para os equipamentos e para os navios. O grau de probabilidade de ocorrência, um valor entre 1 e 5, é atribuído com base nos valores da Figura 4 e da Tabela 1.

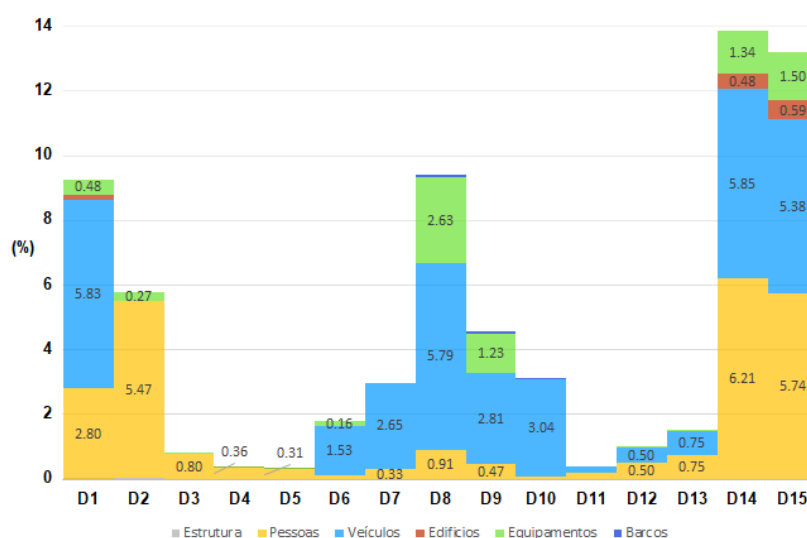


Figura 4. Probabilidade de ocorrência de galgamento superior aos valores admissíveis, nos 15 pontos em estudo, discriminados por tipo de atividade

Para a atribuição do grau de consequências, recorreu-se ao guia de orientação proposto na Tabela 2 e ao tipo de atividades desenvolvidas em cada ponto de estudo, de modo a determinar qual o tipo de consequências que o fenómeno de galgamento provoca nos locais abrangidos pelos mesmos. Os graus de consequências foram atribuídos para os mesmos sectores utilizados na atribuição do grau de probabilidade, adicionando ainda os setores “Ambiente” e “Gestão portuária”, culminando na Tabela 6.

Tabela 6. Grau de consequências considerado em cada ponto

Ponto	Grau de consequências						
	Pessoas	Ambiente	Gestão portuária	Património			
				Edifícios	Equipamentos	Estruturas	Veículos
D1	10	2	2	5	10	10	5
D2	10	2	10	-	10	10	5
D3	10	2	10	-	10	10	5
D4	10	2	10	-	10	10	5
D5	10	2	10	-	10	10	5
D6	10	2	10	-	10	10	5
D7	10	2	25	-	10	25	5
D8	10	2	25	-	10	25	5
D9	10	2	25	-	10	25	5
D10	5	1	2	-	2	2	5
D11	10	2	2	-	10	5	10
D12	10	2	2	-	10	5	10
D13	10	2	2	1	10	5	10
D14	10	2	2	5	10	5	10
D15	10	2	2	5	10	5	10

A atribuição do grau de consequências para os 15 pontos em análise seguiu os seguintes critérios:

- Os pontos D7, D8 e D9 são os que apresentam maior grau de consequências (grau 25). Este grau é relativo aos sectores “Gestão Portuária” e “Estruturas”, e deve-se ao facto destes pontos estarem localizados nas proximidades do posto “A”, cuja inoperacionalidade é causadora de restrições muito sérias às operações de carga e descarga, havendo perda de trocas comerciais durante muito tempo e má publicidade internacional para o Porto de Leixões. Em termos da estrutura, e estando estes pontos localizados na extremidade do quebra-mar norte, admite-se grau 25, uma vez que este quebra-mar é a primeira defesa contra a agitação marítima, tendo os danos na estrutura consequências e prejuízos catastróficos para o porto. Nos restantes pontos, atribuíram-se valores inferiores;
- A todos os pontos em estudo, excetuando o ponto D10, foi atribuído grau de consequências 10 para o setor “Pessoas”, visto que ambos os quebra-mares apresentam um aglomerado significativo de pessoas, sejam funcionários do Terminal de Petroleiros ou passageiros no Terminal de Cruzeiros e Porto de Recreio;
- Para o setor “Ambiente” foi atribuído o grau de consequências de 2, admitindo que o galgamento excessivo não terá impacto significativo em termos ambientais nos diferentes pontos;
- Para o setor “Edifícios” apenas se classificaram os pontos D1 e D13 a D15 pela existência de edifícios, embora a uma distância relativamente afastada dos mesmos;

- Para o setor “Veículos”, foi atribuído o grau de consequências de 5 para os pontos localizados no quebra-mar norte e grau 10 para os pontos localizados no quebra-mar sul. Esta diferença advém da tipologia de veículos existentes nas atividades desenvolvidas nestes terminais, estando os veículos utilizados no Terminal de Petroleiros direcionados para operações de carga e descarga, cujos danos provocados pelo galgamento não levam à sua paragem temporária. No Terminal de Cruzeiros e no Porto de Recreio, os veículos são utilizados para o transporte de passageiros estando mais sujeitos às consequências de galgamento, que poderão levar a uma paragem prolongada.

O grau de risco de galgamento é calculado pela multiplicação entre o grau de probabilidade e o grau de consequências de ocorrência de galgamentos nos locais estudados, sendo a denominação do grau de risco atribuída de acordo com as indicações da Tabela 3. Utilizou-se esta metodologia de cálculo para os 15 pontos em estudo, culminando na Tabela 7.

Tabela 7. Grau de risco de galgamento nos pontos D1 a D15

Ponto	Grau de Risco de galgamento			Descrição
	Grau de probabilidade	Grau de consequência	Grau de risco	
D1	2	10	20	Risco indesejável
D2	2	10	20	Risco indesejável
D3	1	10	10	Risco reduzido
D4	1	10	10	Risco reduzido
D5	1	10	10	Risco reduzido
D6	2	10	20	Risco indesejável
D7	2	25	50	Risco inaceitável
D8	2	25	50	Risco inaceitável
D9	2	25	50	Risco inaceitável
D10	2	5	10	Risco reduzido
D11	1	10	10	Risco reduzido
D12	1	10	10	Risco reduzido
D13	1	10	10	Risco reduzido
D14	2	10	20	Risco indesejável
D15	2	10	20	Risco indesejável

De acordo com os resultados obtidos, os pontos D7, D8 e D9 são os que apresentam grau de risco mais elevado (grau 50), correspondendo a um risco inaceitável. Para estes pontos será imperativo proceder-se a medidas de controlo do risco, através da eliminação dos fatores de risco, diminuição das consequências do galgamento ou da probabilidade de ocorrência de galgamentos inadmissíveis.

Relativamente aos pontos D1, D2, D6, D14 e D15, apresentam grau de risco indesejável (grau 20), havendo necessidade de adoção de medidas razoáveis em termos práticos para diminuir o risco, bem como uma investigação detalhada e plano de monitorização.

Para os restantes pontos, determinou-se um grau de risco reduzido (grau 10), resultando na aceitabilidade do risco nestes pontos, desde que se admita um conjunto de medidas para o seu controlo. Os locais que apresentam menor risco de galgamento são referentes aos pontos D3, D4 e D5, onde se verifica um afastamento considerável entre o local de operações desenvolvidas no terminal e a estrutura marítima suscetível a eventos de galgamento. Já os pontos D11, D12 e D13, pertencentes à estrutura marítima do Porto de Recreio, também

apresentam grau de risco reduzido, uma vez que a agitação marítima neste local é diminuída pela presença do quebra-mar norte, não ocorrendo episódios de galgamento significativos.

A Figura 5 representa o mapa de risco para o Porto de Leixões, com indicação do grau de risco definido em cada ponto de estudo e respetiva localização. Neste mapa, os pontos onde se avaliou o risco de galgamento das estruturas estão representados por bandeiras com cores representativas do respetivo grau de risco determinado para cada local.



Figura 5. Representação gráfica do grau de risco de galgamento nos 15 pontos de estudo

4. CONCLUSÕES

Nesta comunicação foi utilizada uma metodologia simples desenvolvida pelo LNEC (Reis *et al.*, 2011; Neves *et al.*, 2013) cujo objetivo é avaliar o risco de galgamento em estruturas marítimas através da determinação das características de agitação marítima frontal às estruturas, ao cálculo do galgamento das mesmas e consequente avaliação do risco associado à ocorrência de galgamentos superiores aos valores admissíveis.

O mapa de risco resultante desta avaliação, permite identificar os locais mais sensíveis do Porto de Leixões, identificando-se o trecho do quebra-mar norte afeto ao posto “A”, como o local que apresenta grau de risco mais elevado, sendo perentório proceder-se a medidas de controlo do risco, através da eliminação dos fatores de risco, diminuição das consequências do galgamento ou da probabilidade de ocorrência de galgamentos inadmissíveis.

Este trabalho é uma primeira análise do risco de galgamento sobre a totalidade das estruturas de proteção frontal do Porto de Leixões que, apesar de não muito complexa, mostra-se eficaz na identificação dos locais de maior vulnerabilidade em termos de galgamentos, contendo informação pertinente para a tomada de decisão e gestão em zonas portuárias.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A. a disponibilização de dados base essenciais para a concretização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alises, A., Molina, R., Gómez, R., Pery, P., & Castillo, C. (2014). Overtopping hazards to port activities: Application of a new methodology to risk management (Port Risk Management Tool). *Reliability Engineering & System Safety*, 123, 8-20.
- APDL (2018). <http://www.portugal-logistics.com.pt/apdl-administracao-dos-portos-do-douro-leixoes-e-viana-do-castelo-s-a/> Consultado em 01/02/2018.
- Booij, N., Ris, R. C., & Holthuijsen, L. H. (1999). A third generation wave model for coastal regions, Part 1: Model description and validation, *Journal Geophysical Research*, 104, C4, 7649-7666.
- Coeveld, E. M., Van Gent, M. R. A., & Pozueta, B. (2005). *Neural network manual: NN_OVERTOPPING 2*. CLASH: WP8, WL/Delft Hydraulica, Delft.
- Costa, J. C. S. (2017). Avaliação do Risco de Galgamento sobre as estruturas portuárias do porto de Leixões. Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente, FCT- UNL, Lisboa.
- Ferreira, J. C. R. (2016). *Ordenamento Ambiental de Frentes Urbanas Litorais em Áreas Baixas de Elevado Risco e Vulnerabilidade ao Galgamento Costeiro. As Infraestruturas Verdes como Estratégia de Resiliência para as Comunidades Costeiras*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- Flatter, D. (1998). *XTide Manual: Harmonic tide clock and tide predictor*, E.U.A.
- Fortes, C. J. (1993). *Modelação matemática da refração e difração combinadas de ondas marítimas (análise pelo método dos elementos finitos)*. Dissertação de Mestrado em Eng. Mecânica: Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa.
- Hasselmann, S., Hasselmann, K., Janssen, P. A., Bauer, E., Komen, G. J., Bertotti, L., & Greenwood, J. A. (1988). The WAM model - A third generation ocean wave prediction model. *Journal of Physical Oceanography*, 18, 1775–1810.
- Lourenço, I. F. (2016). *Avaliação do risco de galgamento sobre estruturas portuárias. Caso de estudo da Praia da Vitória, Açores*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, ISEL, Lisboa.
- Neves, P., Poseiro, P., Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., Capitão, R., Antunes do Carmo, J. S., Raposeiro, P., & Ferreira, J. C. (2013). Aplicação da metodologia de avaliação do risco de inundação/galgamento na praia de São João da Caparica. Em *Atas das 8as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, AIPCN/PIANC, Lisboa.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

- Pereira, D. M. F., Lopes, L. G., Reis, M. T., Fortes, C. J. E. M., & Poseiro, P. (2014). Avaliação do risco de galgamento de estruturas portuárias: aplicação ao porto de Ponta Delgada. Em *Atas das 3as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, IH, Lisboa, Portugal, 24.
- Poseiro, P., Santos, J. A., Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., & Craveiro, J. (2013). Aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) à análise das consequências de ocorrência de galgamentos. O caso da baía da Praia da Vitória. Em *Atas das 8as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, AIPCN/ PIANC, Lisboa.
- Poseiro, P., Fortes, C. J. E. M., & Reis, M. T. (2014a). *Avaliação do risco de galgamentos e inundação: integração de um método expedito de inundação no sistema HIDRALERTA*. Em *Atas do III Congresso Internacional; I Simpósio Ibero-Americano; VIII Encontro Nacional de Riscos*; 5-7 de novembro, Departamento de Geografia da Universidade do Minho. Guimarães, 2014 - Multidimensão e territórios de risco. Coimbra: [s.n.], pp. 431-436. ISBN 978-989-96253-3-4 (PDF). DOI:http://dx.doi.org/10.14195/978-989-96253-3-4_73.
- Poseiro, P., Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., & Santos, J. A. (2014b). *Aplicações do sistema de previsão e alerta do risco de galgamentos em zonas costeiras e portuárias: Costa da Caparica e Praia da Vitória*. Em *atas do VI SEMENGO – Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica*, Rio Grande, RS-Brasil, 12-14 Novembro 2014. 11-20 pp. ISBN 978-85-7566-358-5.
- Pullen, T., Allsop, N. W. H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schuttrumpf, H. E., & Van Der Meer, J. W. (2007). *EurOtop: Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual*. Environment Agency, UK, Expertise Netwerk Waterkeren, NL, and Kuratorium fur Forschung im Kusteningenieurwesen, DE.
- Reis, M. T., Fortes, C. J. E. M., Neves, D. R. C. B., Rodrigues, S., Santos, J. A., Vieira, A. S., Simões, A., & Azevedo, E. B. (2011). Previsão dos galgamentos na baía da Praia da Vitória para avaliação de risco e alerta. Em *Atas do VI Congresso sobre Planeamento e Gestão de Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, Ilha da Boa Vista, Cabo Verde.
- Rodrigues, J. R. (2014). *Avaliação do risco e aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) na avaliação das consequências de galgamento em zonas costeiras e portuárias-Aplicação ao porto de Ponta Delgada, Açores*. Dissertação de Mestrado em Eng. Civil: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto.
- Sengo, J. (2017). *Avaliação do risco de galgamento para o porto da Madalena do Pico, Pico, Açores*. Tese de Mestrado, Engenharia Civil, ISEL, Lisboa.