



ESCOLA NAVAL

ta sante e biẽ faire



Afonso Chanoca Ferreira

Análise de risco de navegação portuária com base em SIG

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais,
na especialidade de Marinha



Alfeite
2018



ESCOLA NAVAL

ta sante e biefaire



Afonso Chanoca Ferreira

Análise de risco de navegação portuária com base em SIG

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha

Orientação de: Prof. Anacleto Cortez e Correia

Coorientação de: CFR Santos Teles

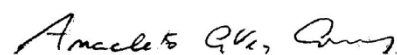
CTEN Antunes Nunes

DR^a. Alexandra Morgado

O Aluno Mestrando



O Orientador



Alfeite

2018



Epígrafe

“Se esperas pelas condições ideais, elas nunca ocorrerão”

Nelson Mandela



Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, não apenas neste ano, mas ao longo de todo o meu percurso académico me apoiaram e estiveram presentes em todos os momentos como pilares e apoios. À minha namorada Carlota, pelo apoio incondicional, paciência, carinho e compreensão que sem dúvida foram chaves para o meu sucesso.



Agradecimentos

Quero agradecer aos que de diversas formas contribuíram para o desenvolvimento deste estudo. Sem a colaboração e apoio de todos o desenvolvimento do trabalho não seria possível.

Começo por agradecer ao meu orientador, Sr. Professor Doutor Anacleto Cortez e Correia pelo apoio total e disponibilidade, desempenhando um papel fundamental para a realização desta dissertação, bem como por me ter direcionado para os objetivos do estudo.

Aos meus co-orientadores, Sr. CFR Santos Teles, Sr. CTEN Antunes Nunes e Dra. Alexandra Morgado, por toda a passagem de conhecimento, colaboração e pela forma prestável como me ajudaram ao longo do desenvolvimento da dissertação.

Ao Sr. Professor Miguel Moreira agradeço a disponibilidade e ajuda prestada.

Aos camaradas e amigos pela compreensão e motivação dada ao longo do desenvolvimento do trabalho. Com um apresso especial aos que estiveram mais presentes ao longo destes últimos 5 anos.

Aos meus Pais pela paciência e apoio em todos os altos e baixos deste percurso, por estarem sempre presentes e disponíveis em todos os momentos. À minha namorada por estar ao meu lado em todos os momentos e por ter desempenhado um papel fundamental para este trabalho.

Um muito obrigado a todos.



Resumo

A localização estratégica de Portugal no Atlântico, faz dos portos nacionais uma porta de entrada de navios de carga, embarcações de recreio e de pesca. O aumento do tráfego nos portos nacionais, tem alertado diversas entidades (e.g. administração portuária, centros de segurança e salvamento marítimo, responsáveis da navegação a bordo), para o risco de acidentes marítimos em geral, e acidentes nos portos em particular. Por outro lado, dados internacionais recentes indicam um acréscimo de navios envolvidos em acidentes.

Inúmeros são os fatores de risco, estáticos e dinâmicos, que contribuem para o aumento do risco de navegação e condicionam a navegação em águas restritas, devendo por isso, ser monitorizados: fatores de natureza ambiental (e.g. corrente, vento, profundidade, largura do canal, etc.) e de natureza estrutural do navio (e.g. calado, boca, superestrutura, manobrabilidade, etc.).

A presente dissertação visa contribuir para o apoio à navegação em águas restritas e melhoria dos mecanismos de prevenção de encalhes nas zonas portuárias. Para o efeito, foi necessário proceder à análise dos fatores de risco nas vias navegáveis e medir a sua influência, planeada e em tempo real, na navegação. Desta forma, com a obtenção de mapas de risco das vias navegáveis em que um navio se encontra, pretendeu-se ajudar a clarificar o panorama e mitigar a ocorrência de potenciais acidentes.

A solução proposta passou pela conceptualização de um sistema de apoio à decisão, baseado em análise espacial, que fornece apoio à decisão do navegador, na fase de planeamento e durante a condução da navegação em águas restritas. O sistema permite apresentar informação que alerta o operador para o risco de acidente associado às zonas do canal navegáveis. A instanciação de uma prova de conceito, foi efetuada com dados relativos ao Porto de Lisboa, que permitiram definir a interação dos fatores de risco, com os parâmetros de um navio específico, gerando alertas para o navegador e apoiando a tomada de decisões durante o trajeto no canal navegável, mitigando assim, o risco de acidentes.

Palavras-chave: Sistemas de Informação Geográfica; Sistemas de Apoio à Decisão; Segurança Marítima; Navegação; Encalhe.



Abstract

The strategic location of Portugal in the Atlantic makes the national harbour a door of entry for cargo ships, recreational craft and fishing. Increased traffic in national ports has alerted a number of agencies (e.g. port administration, maritime safety and rescue centers, responsible for navigation on board), the risk of maritime accidents in general, and accidents at ports in particular. On the other hand, recent international data indicate an increasing number of ships involved in accidents.

There are a number of static and dynamic risk factors that contribute to increased navigation risk and condition navigation in restricted waters: environmental factors (e.g. current, wind, depth, channel width, etc.) and of a structural nature (e.g. draught, beam, superstructure, manoeuvrability, etc.).

The present dissertation aims to contribute to the support of navigation in restricted waters and improvement of the mechanisms of prevention of grounding in the harbour zones. For this purpose, it was necessary to analyse the risk factors in waterways and to measure their influence, planned and real time, in navigation. In this way, by obtaining risk maps of the waterways on which a ship is located, it was intended to help clarify the overview and mitigate the occurrence of potential accidents.

The proposed solution was the conceptualization of a system, based on spatial analysis, that provides support for navigator decision, in the planning phase and during navigation in restricted waters. The system provides information that alerts the operator to the risk of an accident associated with the areas of the navigable channel. The introduction of a proof of concept, was done with data related to the Harbour of Lisbon, which allowed to define the interaction of the risk factors, with the parameters of a specific ship, generating alerts for the navigator and supporting the decision making during the route in the navigable channel, thus mitigating the risk of accidents.

Keywords: Geographic Information Systems; Decision Support Systems; Maritime Security;; Navigation; Grounding.



Índice

Epígrafe	v
Dedicatória	vii
Agradecimentos	ix
Resumo	xi
Abstract	xiii
Índice de Figuras	xvii
Índice de Tabelas	xix
Lista de Siglas e Acrónimos	xxi
Introdução	25
Enquadramento	25
Pertinência do tema	28
Objetivo e questões de investigação	30
Metodologia de investigação	31
Estrutura	34
Capítulo 1 - Estado da Arte	37
1.1. Prestação de Socorro	37
1.2. Análise de aplicações existentes	37
1.2.1. Time Zero da MaxSea	38
1.2.2. SINAIS e MAIS	39
1.2.3. I4cast	40
1.2.4. DUKC	41
1.3. Avaliação do risco	41
1.4. Vento, corrente e profundidade	46
Capítulo 2 – Referencial teórico	51
2.1. Interpolação	51
2.2. Cálculos numéricos	54
Capítulo 3 – Modelação dos Riscos	61
3.1. Fatores de risco	61
3.2. Navegação noturna/diurna	63
3.3. Condições de vento	63
3.4. Corrente	67
3.5. Batimetria	69
3.6. Largura do canal	71
Capítulo 4 – Tratamento dos Dados	77

4.1.	Batimetria	77
4.2.	Seleção da Trajetória.....	82
4.3.	Largura do Canal.....	84
4.4.	Layout inicial.....	86
4.5.	Interface com o utilizador	87
Capítulo 5 – Análise dos Resultados		91
5.1	Validação dos Resultados	91
5.2	Caracterização do Inquérito	91
5.3	Interpretação das respostas	92
5.3.1	Dados Demográficos	92
5.3.2	Relevância da informação para o utilizador.....	93
5.3.3	Usabilidade do sistema de navegação	94
5.3.4	Avaliação global do Sistema	95
5.4	Análise das questões derivadas	96
5.5	Análise pormenorizada de cada questão	99
5.5.1	Secção 3.....	99
5.5.2	Secção 4.....	101
5.5.3	Secção 5.....	104
Conclusão		109
Trabalho desenvolvido.....		109
Trabalho Futuro.....		112
Bibliografia		113
Anexo B - Inquérito		125



Índice de Figuras

Figura 1 - Mapa das rotas comerciais marítimas mais frequentadas	26
Figura 2 - Total de embarcações de recreio ativas; Tipo 4 e 5; NUT II (2004 e 2014)	27
Figura 3 - Distribuição mensal de acidentes marítimos - 2013 e 2014 (jan./abr.)	28
Figura 4 - Distribuição de navios envolvidos em acidentes por categorias no período de 2011 a 2015	30
Figura 5 - Metodologia de investigação	33
Figura 6 - Diagrama da Estrutura da Dissertação	34
Figura 7 - Quadro representativo da análise às aplicações existentes	38
Figura 8 - Time Zero <i>Layout</i>	39
Figura 9 - Sistema de Apoio à Navegação baseado em <i>Automatic Identification System</i>	40
Figura 10 - Calado dinâmico obtido pelo i4cast	40
Figura 11 - Composição do sistema DUKC	41
Figura 12 - Fatores para determinação da batimetria	48
Figura 13 - Demonstração dos pontos da vizinhança	51
Figura 14 - Interpolação com ponderação 2	53
Figura 15 - Interpolação com ponderação 5	53
Figura 16 - Interpolação com ponderação 6 e suavizador 2	54
Figura 17 - Interpolação com ponderação 6 e suavizador 0	54
Figura 18 - Área de incidência do vento no navio	64
Figura 18 - Decomposição da força pelas componentes transversal e longitudinal do navio	65
Figura 20 - Exemplo dos vetores referentes à aplicação do vento no navio	66
Figura 21 - Processo de análise da força aplicada pelo vento no navio	67
Figura 22 - Exemplo dos vetores referentes à aplicação da corrente no navio	68
Figura 23 - Processo de análise da força aplicada pela corrente no navio	69
Figura 24 - Representação dos vetores vento e corrente no navio (dimensão dos vetores exemplificativa)	69
Figura 25 - Processo de cálculo da distância ao fundo	71
Figura 26 - Processo de cálculo da largura do canal	73
Figura 27 - Importação dos dados de batimetria para QGIS	77
Figura 28 - Visualização dos dados das sondagens fornecidos pelo IH	78
Figura 29 - Interpolação de dados	78
Figura 30 - Interpolação da entrada do Porto de Lisboa	79
Figura 31 - Classificação da batimetria	80
Figura 32 - Batimetria por classificação de cores	81
Figura 33 - Ferramenta <i>Contour</i>	81

Figura 34 - Mapa classificado pela batimetria.....	82
Figura 35 - Mapa com os WP's definidos	82
Figura 36 - Criação da trajetória	83
Figura 37 - Definição da trajetória	83
Figura 38 - Ferramenta Azimuth and distance calculator.....	84
Figura 39 - Ferramenta <i>Convert Lines to Points</i>	85
Figura 40 - Mapa com a conversão das linhas em pontos.....	85
Figura 41 - Ferramenta <i>Distance to nearest hub</i>	86
Figura 42 - Mapa com a determinação da largura do canal.....	86
Figura 43 - Mapa apresentado ao utilizador para iniciar a navegação.....	87
Figura 44 - Interface com o utilizador	88
Figura 45 - Respostas à questão - Certificado de formação mais elevado em navegação?.....	92
Figura 46 - Respostas à questão - Número de planeamentos de navegação com entrada em portos elaborados?.....	93
Figura 47 - Respostas à questão - Tipo de navio que manobrou?.....	93
Figura 48 - Respostas à questão - Grau de experiência em navegação?.....	93
Figura 49 - Respostas à questão - Importância dos dados sobre os fatores externos serem adaptados às características do navio? (Exemplo: as águas navegáveis serem calculadas com base no calado, superestrutura, etc., do navio.).....	94
Figura 50 - Respostas à questão - Utilidade de dispor de uma ferramenta que informe o navegador sobre a influência de fatores externos na situação de risco do navio?.....	94
Figura 51 - Respostas à questão - Qual o trajeto de pontos considerado mais seguro, tendo em conta a batimetria do local?.....	95
Figura 52 - Respostas à questão - Qual o canal com o trajeto de navegação mais seguro, tendo em conta a largura do canal?.....	95
Figura 53 - Respostas à questão - Classifique a utilidade de um sistema como o mencionado, para o auxílio à tomada de decisão na navegação?.....	96
Figura 54 - Respostas à questão - Classifique um sistema que apresentasse a informação mencionada, para efeitos de planeamento da navegação portuária?.....	96
Figura 55 - Representação da Eq. 13	120



Índice de Tabelas

Tabela 1 - Movimento geral de mercadoria nos portos do continente (Unid.: toneladas de mercadoria registrada no porto).....	26
Tabela 2 - Fatores de risco relacionados com navegação marítima	43
Tabela 3 - Estimativa da Matriz de Risco.....	45
Tabela 4 - Fatores de risco relacionados com a navegação marítima	62
Tabela 5 - Fatores de risco considerados na navegação marítima.....	63
Tabela 6 - Escala de Distância ao Fundo	71
Tabela 7 – Determinação dos Limites da Batimetria.	80
Tabela 8 - Atributos da camada WP's.....	83
Tabela 9 – Dados relativos à trajetória	84
Tabela 10 - Resultado dor inquérito referente às questões derivadas.....	98
Tabela 12 - Avaliação da batimetria	119
Tabela 13 – Manobrabilidade do navio	121
Tabela 14 - Margem adicional.....	122
Tabela 15 - Valores de WBR, WBG	122
Tabela 16 - Distância de segurança entre a passagem de dois navios.....	122



Lista de Siglas e Acrónimos

AIS	<i>Automatic Identification System</i>
AtoN	<i>Aid to Navigation</i>
DGAM	Direção Geral de Autoridade Marítima
DSR	<i>Design Science Research</i>
DUKC	<i>Dynamic Under Keel Clearance</i>
ECDIS	<i>Electronic Chart Display and Information System</i>
EMEPC	Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental
EMSA	<i>European Maritime Safety Agency</i>
EN	Escola Naval
FA	Forças Armadas
IALA	<i>International Association of Lighthouse Authorities</i>
IDW	<i>Inverse Distance Weight</i>
IH	Instituto Hidrográfico
MP	Marinha Portuguesa
OpenCPN	<i>Open Chart Plotter Navigator</i>
OQP	Oficial de Quarto à Ponte
QGIS	<i>Quantum Geographic Information System</i>
SAM	Sistema de Autoridade Marítima
SAR	<i>Search and Rescue</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfico
STCW	<i>Seafarers Training, Certification and Watchkeeping</i>
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i>
WP	<i>Way Point</i>
ZEE	Zona Económica Exclusiva
OHSAH	

ISO



Introdução

- ❖ Enquadramento
- ❖ Pertinência do Tema
- ❖ Objetivos e Questões de Investigação
 - ❖ Metodologia
 - ❖ Estrutura



Introdução

Enquadramento

Portugal continental, os arquipélagos da Madeira e Açores, são banhados em toda a zona costeira, pelo oceano Atlântico. A área do espaço marítimo do país - incluindo águas interiores, mar territorial e Zona Económica Exclusiva (ZEE)¹ – é de cerca de 1,9 milhões de quilómetros quadrados, superando largamente a área territorial de cerca de 92 mil quilómetros quadrados. Com a entrega em 2009, à Comissão de Limites da Plataforma Continental, da proposta de extensão da plataforma continental (EMEPC, 2009), Portugal pretende alargar a jurisdição sobre solo e subsolo marinhos para além das 200 milhas da costa², tornando o seu território marítimo 40 vezes superior ao terrestre. Por convenção internacional (Cortesão; Firmino, 2014) está atribuída ao país uma área de jurisdição marítima de Busca e Salvamento (área *Search And Rescue* - SAR) de mais de 5,7 milhões de quilómetros quadrados.

Atualmente, o transporte por via marítima desempenha um papel predominante nas trocas comerciais entre países. É através do mar que é feito o transporte de todo o tipo de matérias, de combustíveis a alimentos. A particular posição geográfica de Portugal, faz com que cerca de 53% do comércio externo da União Europeia passe pelas águas sob jurisdição portuguesa. A Figura 1 permite observar a densidade de tráfego no oceano Atlântico, com particular relevância para as áreas próximas da costa portuguesa. Verifica-se que devido à localização geográfica do país, muitas das rotas marítimas, de e para a Europa, passam junto à costa portuguesa e incluem mesmo os portos portugueses.

¹ Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, artigo 55º - A zona económica exclusiva é uma zona situada além do mar territorial e a este adjacente, sujeita ao regime jurídico específico estabelecido na presente parte, segundo o qual os direitos e a jurisdição do Estado costeiro e os direitos e liberdades dos demais Estados são regidos pelas disposições pertinentes da presente Convenção.

² De acordo com as disposições da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, Portugal goza de direitos soberanos e de jurisdição sobre uma zona económica exclusiva de 200 milhas marítimas contadas desde a linha de base a partir da qual se mede a largura do mar territorial.

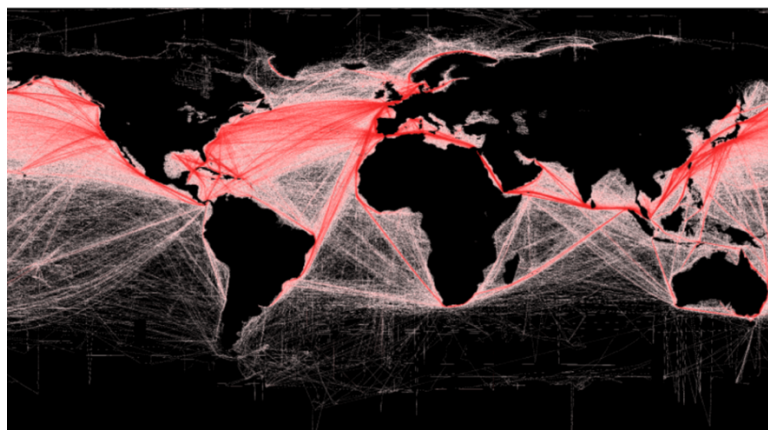


Figura 1 - Mapa das rotas comerciais marítimas mais frequentadas [Fonte:(Grolltech, 2012)].

Nos portos nacionais tem se notado um crescimento no volume de tráfego. Apesar de no porto de Lisboa e Viana do Castelo se verificar uma diminuição do fluxo de tráfego, nos restantes portos do continente têm um crescimento considerável, chegando mesmo a haver um aumento do número de navios de transporte de mercadorias. Este facto acarreta uma enorme responsabilidade quer para as entidades responsáveis pela segurança da navegação, quer para os responsáveis pela navegação dos navios. A Tabela 1 evidencia valores do movimento geral de mercadoria nos portos do continente de 2010 a 2014.

Tabela 1 - Movimento geral de mercadoria nos portos do continente (Unid.: toneladas de mercadoria registada no porto)

[Fonte: (Autoridade da Mobilidade e dos Transportes, 2015)]

Fluxo de Tráfego	2010	2011	2012	2013	2014	Estrutura (%) 2014	Varição 2013>2014	Varição 2010>2014
Viana do Castelo	487.202	490.481	502.912	496.359	457.135	0,6%	-7,9%	-6,2%
Leixões	13.564.807	15.288.909	15.282.278	15.872.374	15.586.941	20,3%	-1,8%	14,9%
Aveiro	3.730.711	3.312.736	3.298.172	3.937.936	4.482.463	5,8%	13,8%	20,2%
Figueira da Foz	1.499.651	1.655.317	1.753.291	2.098.772	2.115.654	2,8%	0,8%	41,1%
Lisboa	11.763.261	11.204.612	10.056.897	10.865.402	10.765.282	14,0%	-0,9%	-8,5%
Setúbal	6.891.814	6.720	5.948.033	6.965.540	7.807.711	10,2%	12,1%	13,3%
Sines	24.728.462	24.870.416	27.422.988	34.599.548	35.053.738	45,7%	1,3%	41,8%
Faro	52.499	62.427	269.219	357.371	356.641	0,5%	-0,2%	579,3%
Portimão	52.088	40.493	2.684	-	-	0,0%	-	-100,0%
Total	62.770.495	63.645.588	64.536.474	75.193.302	76.625.565	100,0%	1,9%	22,1%

A náutica de recreio constitui também uma das razões do elevado tráfego, com um aumento do número embarcações de recreio, de entre as quais embarcações nacionais, estrangeiras, residentes e passageiras. Sendo a costa continental portuguesa muito diversa, proporciona por isso, condições favoráveis para a prática de atividades náuticas, como a vela, o *surf* e o mergulho. Essas atividades carecem de embarcações de apoio o que por sua vez intensifica o tráfego (Neves & Ribeiro, 2015).

Conforme se pode confirmar nos gráficos da Figura 2, no período compreendido

entre 2010 e 2014, é patente o aumento do registo do número de embarcações de recreio, nomeadamente das embarcações do tipo 4 e 5. As embarcações do tipo 4 são as utilizadas na navegação costeira restrita até distâncias não superiores a 20 milhas de um porto de abrigo e 6 milhas da costa. Por outro lado, as embarcações do tipo 5, são destinadas à navegação em águas abrigadas. Ambas são embarcações concebidas para zonas de fraca agitação marítima, navegam junto à costa ou em águas interiores (MOP, 2001). Ora, com o aumento das atividades da náutica de recreio e do número de embarcações de recreio, aumenta o risco de possíveis acidentes nas entradas portuárias nacionais.

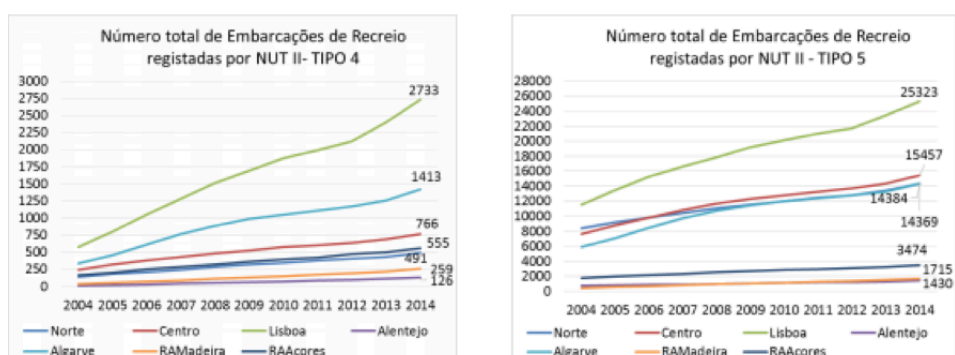


Figura 2 - Total de embarcações de recreio ativas; Tipo 4 e 5; NUT II (2004 e 2014)
[Fonte: Direção-Geral da Autoridade Marítima (DGAM)]

Os navios de guerra necessitam também, de uma atenção especial devido às suas particularidades, nomeadamente pelo facto de transportarem armamento e/ou devido às suas grandes dimensões, como é o caso dos navios de apoio logístico ou nucleares. O («Decreto-Lei 2/2017», 6 de Janeiro), veio consubstanciar tais especificidades aprovando condições de entrada de navios e aeronaves militares estrangeiros em território nacional, em tempo de paz. No entanto, a entrada, nos portos portugueses de navios de guerra estrangeiros, traduz-se naturalmente em tráfego marítimo e, por conseguinte, risco de sinistro.

As embarcações de pesca representam um número significativo de acidentes marítimos. Como é possível ver pelos dados da distribuição mensal de acidentes marítimos referentes ao ano de 2013 até abril de 2014 (Figura 3) as embarcações do tipo de pesca têm o maior número de acidentes registados até abril do ano de 2014.

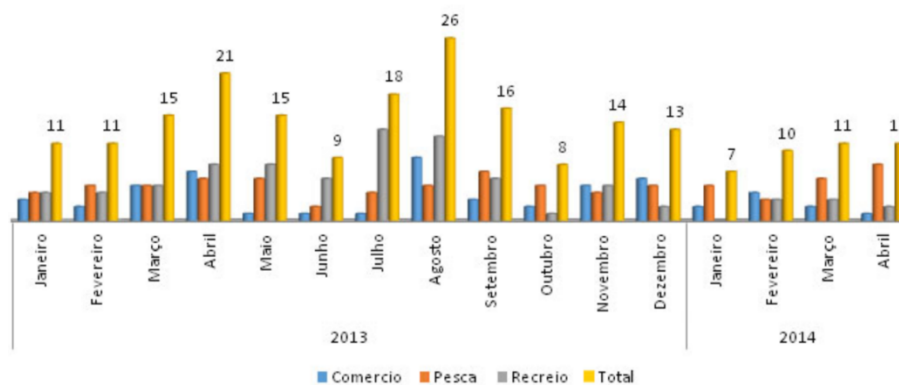


Figura 3 - Distribuição mensal de acidentes marítimos - 2013 e 2014 (jan./abr.)
[Fonte: GAMA, 2014]

Os dados anteriormente referidos demonstram que os acidentes marítimos ocorrem com embarcações de características diferentes, com propósitos de navegação distintos. Torna-se, pois, importante encontrar os fatores comuns e formas de minimizar a ocorrência de acidentes marítimos.

Pertinência do tema

A concentração de importantes rotas do tráfego marítimo mundial nas águas portuguesas, referida na seção anterior, justifica a grande densidade nos esquemas de separação de tráfego ao longo da costa continental, levantando por isso o problema de garantir o transporte marítimo e a segurança da navegação.

Os inúmeros navios que demandam as águas restritas dos portos portugueses, tornam também elevados os riscos de colisão e encalhe nos canais de navegação. A ocorrência de um evento desta natureza, numa zona portuária pode ter impactos económicos e ambientais altamente negativos. Um acidente com um navio pode mesmo provocar o encerramento de um porto, impedindo assim a entrada e saída de navios - de transporte, embarcações de pesca e de recreio, com prejuízo para a economia local.

Os processos para a remoção de uma embarcação acidentada e a limpeza de destroços podem ter custos elevados, pela natureza das ações que se tornam necessárias levar a cabo face à dimensão dos estragos que podem causar. No caso de o acidente ocorrer, por exemplo, com um navio de transporte de combustíveis, um encalhe pode provocar o derramamento do combustível, com destruição da flora e fauna das zonas afetadas. A limpeza dos efeitos ambientais pode ser uma operação demorada e os danos causados serem mesmo irreparáveis.

Assim, a prevenção dos acidentes em zonas portuárias, faz-se com medidas de



segurança que minimizem os riscos de ocorrência dos mesmos e permitam diminuir os danos e efeitos do acidente. A redução do número e efeitos dos acidentes passa em grande medida por uma gestão portuária adequada, com difusão da informação coligida no estudo do porto, designadamente de dados relativos ao canal de navegação, pelos navegadores, contribuindo assim, para a adequada tomada de decisão durante a prática no mesmo. A responsabilidade, em Portugal, pela segurança e controlo da navegação está atribuída ao Sistema de Autoridade Marítima (SAM), a quem compete a coordenação dos meios existentes para o efeito.

O desenvolvimento tecnológico possibilitou o aparecimento de equipamentos de auxílio à navegação. Atualmente, é possível obter, em tempo real, informação que permite a navegação segura, designadamente conhecer a posição do navio ou a existência de navios em rota de colisão. A existência de sistemas que clarificam o panorama de navegação e fornecem informação do contexto, contribuem para a mitigação do risco de acidentes ou encalhe e, por conseguinte, para uma navegação mais segura e a salvaguarda da vida humana. Exemplo de tecnologia de auxílio à navegação nas entradas e saídas dos portos são os seguintes sistemas:

- a) Time Zero³, que permite a visualização das cartas de navegação em 3D bem como a integração de dados AIS⁴, meteorológicos e oceanográficos.
- b) Sinais⁵, usado pela TRANSTEJO e SOFLUSA, com a particularidade de informar o navegador se a embarcação sair da zona segura de navegação ou ultrapassar a velocidade permitida no canal de navegação.

Dados recentes da *European Maritime Safety Agency* (EMSA) indicam ter-se atingido, no ano de 2015, um aumento de navios envolvidos em acidentes, comparativamente com 2011 (

Figura 4).

É de notar que o aumento tem sido gradual, com apenas algumas variações, entre 2011 e 2015. Tal como se pode constatar pela

Figura 4, o aumento verifica-se em diversos tipos de navio: transporte de

³ Desenvolvido pela empresa *MaxSea* (vide <https://mytimezero.com/>)

⁴ Os sistemas de identificação automática (AIS) são projetados para serem capazes de fornecer automaticamente informações sobre o navio a outros navios e às autoridades costeiras.

⁵ Desenvolvido no âmbito de uma tese de mestrado (vide <https://run.unl.pt/handle/10362/6019>).

mercadorias, transporte de pessoas e pesca. Este facto destaca a pertinência do reforço da segurança marítima, da prevenção de colisões e encalhes nos canais de navegação portuários.

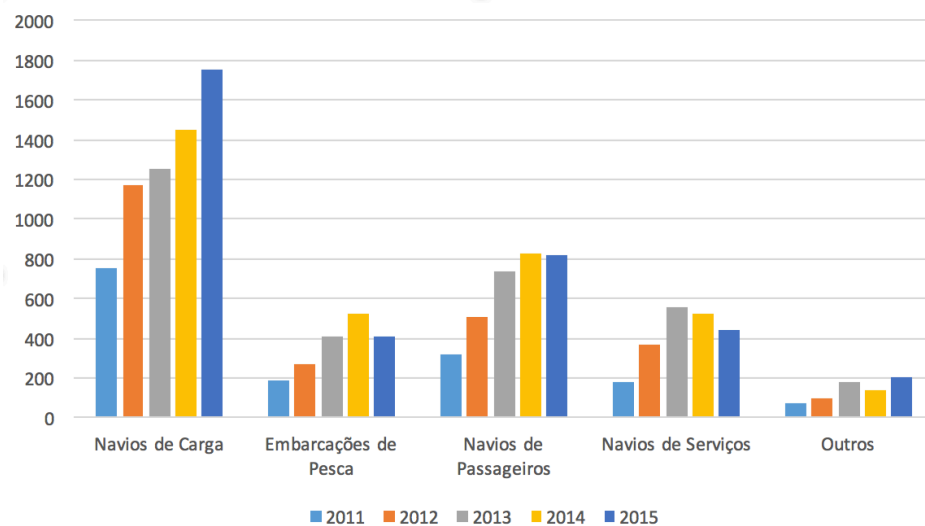


Figura 4 - Distribuição de navios envolvidos em acidentes por categorias no período de 2011 a 2015

[Fonte: (European Maritime Safety Agency, 2016)]

Objetivo e questões de investigação

A presente dissertação tem como objetivo *contribuir para o reforço da segurança marítima, através da melhoria da informação de auxílio à navegação em águas restritas e dos mecanismos de prevenção de encalhes nas zonas portuárias.*

A eficaz implementação de medidas de melhoria da segurança marítima requer a análise dos riscos nas vias navegáveis. Assim, a obtenção de mapas de risco pode ajudar a clarificar o panorama e constituir uma valiosa informação de auxílio à navegação, suscetíveis de mitigar a ocorrência de potenciais acidentes.

Esta dissertação insere-se assim, na temática da segurança marítima e tomada de decisão, e pretende conceber e implementar um método que permita apresentar informação que alerte o operador, quando em navegação em águas restritas, para o risco de acidente associado às zonas do canal percorrido.

Assim, a **questão principal** de investigação que se pretende responder é a seguinte:

- É possível conceber e implementar um método eficaz para auxiliar o navegador na tomada de decisão e deste modo, mitigar o risco de acidente associado às zonas portuárias de maior perigo?



Uma das principais dificuldades *à priori*, para a conceção do método é a definição dos fatores e respetiva ponderação a considerar na determinação de fatores de risco para a navegação em águas restritas. Daí que seja necessário, durante a conceção do método, responder às seguintes **questões derivadas**:

- Contribuirá o mapa de risco relativo ao canal de navegação para a melhor seleção da trajetória a navegar?
- Quais os fatores de natureza ambiental (e.g. corrente, vento, profundidade, largura do canal, etc.) e de natureza estrutural do navio (e.g. calado, boca, superestrutura, manobrabilidade, etc.) que contribuem para o aumento do risco de navegação em águas restritas?
- Qual a ponderação dos fatores acima referidos, na determinação, do mapa de risco específico para um navio que percorra o canal de navegação?
- Qual o contributo dos mapas de riscos obtidos, como representação dos perigos efetivos para um navio particular que navegue no canal portuário?

Ainda como resultado desta dissertação, pretende-se obter uma prova de conceito e método para a determinação do mapa de risco de navegação em águas restritas. Para o efeito, o método concebido será implementado num Sistema de Informação Geográfico (SIG), por forma a que, o sistema obtido possa ser operado, em tempo real, por um navegador durante a travessia de um canal portuário. Com este sistema de apoio à decisão, pretende-se que um utilizador, face aos riscos assinalados, possa adequar o planeamento de navegação, alterando o rumo e velocidade do navio de forma a minimizar os riscos e assegurar uma navegação mais segura.

Metodologia de investigação

O desenvolvimento desta dissertação tem por base dois referenciais metodológicos: um científico (*Design Science Research* - DSR) e outro de desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão suportado em SIG (SCRUM). O referencial científico justifica-se porque, sendo este um trabalho científico, deve ser baseado num conjunto estruturado de atividades, geralmente designado por metodologia de investigação científica. O desenvolvimento do sistema de apoio à decisão, por seu turno, será obtido através da utilização de uma metodologia de engenharia de *software*, com atividades interativas,

devido à necessidade de validar os sucessivos protótipos do artefacto.

Assim, as metodologias destinam-se a: (1) enquadrar a dissertação de mestrado como trabalho científico; (2) incorporar os objetivos da dissertação explicitados na seção anterior, na criação do projeto; e (3) abordar passo a passo a investigação com base nos dois referenciais metodológicos referidos, explicitando o processo de conceção, implementação e validação do projeto.

A DSR é uma metodologia de investigação que visa o desenvolvimento de um artefacto, destinado a resolver um problema específico. A ênfase da DSR está no conhecimento que se obtém com o desenvolvimento do artefacto (Lacerda, Dresch, Proença, & Antunes Junior, 2013; Zaidan, Bax, & Parreiras, 2016).

Como referido na presente dissertação, o artefacto pretendido é um sistema de apoio à decisão, a ser operado em tempo real, durante a travessia de um canal portuário, que forneça informação sobre os riscos associados ao trajeto que o navio irá percorrer no canal de navegação em águas restritas.

Segundo Fuller (1965), o método DSR é uma forma sistemática de projetar ou conceber coisas, por forma a resolver problemas através da realização dum ciclo de planejar-conceber-avaliar. Wieringa (2009), por sua vez, orienta a sua proposta de resolução de um problema, seguida nesta dissertação, através de uma estrutura lógica - o ciclo regulador.

O ciclo regulador padronizado por Wieringa (2009), é composto por 5 etapas distintas, aplicadas, com adaptações, à presente dissertação. Como referido, por se pretender o desenvolvimento de um produto de *software*, as etapas que envolvem o desenvolvimento do artefacto serão suportadas pela metodologia SCRUM (Sverrisdottir, Ingason, & Jonasson, 2014, p. 264), conforme se pode observar na Figura 5.

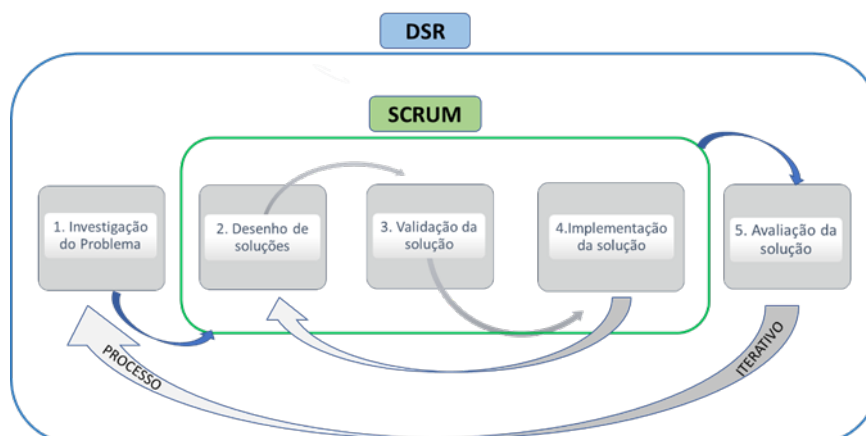


Figura 5 - Metodologia de investigação
[(Fonte: baseado em Wieringa, 2009)]

As etapas da metodologia de investigação seguidas durante a elaboração da dissertação foram as seguintes:

1. Investigação do problema: formulação da questão de investigação e descrição do problema. O resultado desta primeira etapa consta da *Introdução* e dos capítulos de *Estado da Arte* e *Referencial Teórico*.
2. Desenho, Validação e Implementação da Solução: conceção e desenho da solução. Os resultados destas etapas constam dos capítulos de *Modelação de Risco*, *Recolha e Tratamento de Dados* e *Análise de Resultados*.

A realização destas etapas, seguiu os preceitos da metodologia SCRUM, segundo (Schwaber & Sutherland, 2013), designadamente com:

- a) Os esboços da solução planeados e realizados em ciclos, designados por *sprints*⁶;
- b) Em cada *sprint*, foi realizado o trabalho estabelecido, designadamente: levantamento de requisitos; investigação de ferramentas; definição, validação e implementação do artefacto.
- c) As *sprints* tiveram: (1) reuniões de planeamento, análise de progresso e dos obstáculos detetados; (2) reunião de revisão, *Sprint Review Meeting*, onde se observou o resultado atingido relativamente aos requisitos parciais de implementação do artefacto.

⁶ Definido como “uma iteração, um ciclo repetitivo de trabalhos que produz um incremento de produto”.

3. Avaliação da implementação: consistiu em verificar se o artefacto produzido cumpre os requisitos propostos e dá resposta às questões de investigação. Esta etapa está documentada no capítulo da *Análise de Resultados* e nas *Conclusões*.

Estrutura

A dissertação é constituída por sete capítulos (ver Figura 6) abordando os tópicos que a seguir se descrevem:

- **Introdução.** Enquadramento, justificação da relevância do problema, definição do objetivo da dissertação e questões de investigação subjacentes, e da metodologia de investigação.
- **Capítulo 1 – Estado da Arte.** Levantamento, análise e síntese de artigos publicados sobre o tema, soluções existentes (potencialidades e pontos fracos), e por fim, justificação da ferramenta a ser usada no desenvolvimento da solução.
- **Capítulo 2 – Referencial Teórico.** Estudo formal dos fatores ambientais e estruturais determinantes para a avaliação do risco.
- **Capítulo 3 – Modelação dos Riscos.** Definição do modelo de risco, com integração dos fatores ambientais e estruturais anteriormente levantados.
- **Capítulo 4 – Tratamento de Dados.** Levantamento das fontes de dados e explicação dos diversos passos efetuados para a extração e transformação de dados. Conceção da solução.
- **Capítulo 5 – Análise de Resultados.** Avaliação do artefacto através da análise estatística dos resultados obtidos a um questionário a uma amostra de utilizadores. Avaliação do grau de resposta da solução às questões de investigação.
- **Conclusões.** Elaboração das conclusões com base nos resultados obtidos e recomendações para trabalho futuro.

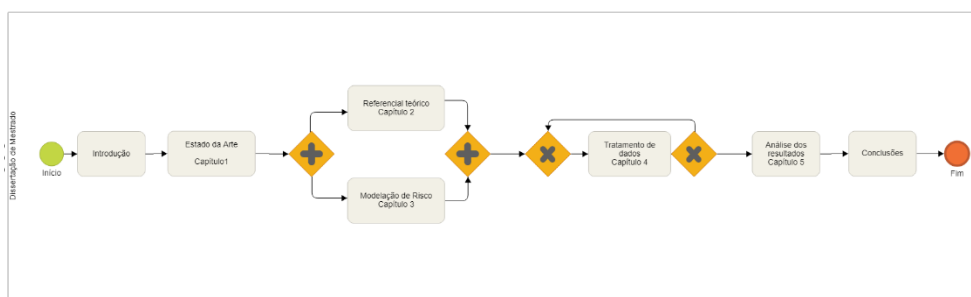


Figura 6 - Diagrama da Estrutura da Dissertação



Estado da Arte

Capítulo 1

- ❖ Prestação de Socorro
- ❖ Análise de aplicações existentes
 - ❖ Avaliação de risco
- ❖ Vento, corrente e profundidade



Capítulo 1 - Estado da Arte

Para compreender a relação profunda que a Marinha tem com o salvamento marítimo e a pertinência do tema da presente dissertação no contexto da organização, é necessário conhecer a organização do salvamento marítimo e como a Marinha nele se insere.

1.1. Prestação de Socorro

Tendo em conta a ocorrência de acidentes no mar, o Estado português sentiu a necessidade de legislar de forma a criar uma estrutura organizativa capaz de providenciar um conjunto de soluções tendo em vista à salvaguarda da segurança marítima.

Desta forma, foi da máxima importância a criação, em 2 de março de 2002 (MDN, 2002), do Sistema de Autoridade Marítima (SAM) que integra a Polícia Marítima, militares da Marinha e outras entidades com funções na zona de soberania e jurisdição nacional.

O SAM coordena os meios por forma a otimizar a utilização dos recursos e proporcionar uma resposta eficiente na proteção e preservação dos recursos naturais assim como, na segurança de pessoas e navios.

No âmbito da Marinha, as suas capacidades são exercidas pela Autoridade Marítima Nacional, através da Direção Geral de Autoridade Marítima (DGAM). É da responsabilidade da DGAM os assinalamentos marítimos, efetuados através da Direção de Faróis, bem como o salvamento a náufragos pelo Instituto de Socorro a Náufragos com auxílio da Marinha.

Considerando as zonas relevantes para o estudo desta dissertação, zonas portuárias, cabe ao capitão do Porto coordenar os meios aquando de um acidente marítimo (MDN, 2005) (DR, 2002).

1.2. Análise de aplicações existentes

O levantamento de aplicações e teve por método a definição de parâmetros adaptados aos objetivos predefinidos com o intuito de através das abordagens utilizadas pudessem ser adaptados para encontrar a solução que mais se enquadrava (Figura 7).

	Para o navegador	Alertas de Perigos	GIS	Planeamentos	Dados Metoc	simplicidade	Mapas	Incorpora outros sistemas
ECDIS	✓	✓	✓	✓			✓	✓
RADAR	✓	✓						✓
AIS	✓	✓						
OPEN CPN	✓	✓		✓			✓	✓
SINAIS	✓	✓				✓	✓	
MAIS			✓				✓	
Timezero	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
J-Marine GIS	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
I4cast	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
INAVX	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
GPSNAVX	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
MacENC	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FishSmart	✓		✓	✓		✓	✓	✓
DUCK	✓	✓		✓	✓			

Figura 7 - Quadro representativo da análise às aplicações existentes

A procura de meios cujo objetivo fosse o de alertar o utilizador de perigos existentes na trajetória do navio. O resultado da pesquisa revelou diversos equipamentos de auxílio à navegação (e.g. *Open Chart Plotter Navigator* - OpenCPN). Foram encontradas aplicações com inúmeras funcionalidades, no entanto, o foco da análise incidiu sobre as que forneciam alertas ao utilizador para as zonas de maior risco de acidente, tem por base parâmetros previamente inseridos. Descrevem-se a seguir, algumas das aplicações analisadas, com o enfoque referido.

1.2.1. Time Zero da MaxSea

O *software* desenvolvido pela empresa MaxSea apresenta funcionalidades presentes no *Electronic Chart Display and Information System* (ECDIS). A aplicação permite uma visualização das cartas em 3D, mesmo quando se altera uma célula na carta. A par disto, também permite a incorporação de dados do *Automatic Identification System* (AIS), bem como de dados meteorológicos e oceanográficos. Fornece diversas informações para auxiliar a navegação (Timezero, 2018). Contudo, é da responsabilidade do navegador garantir assim, uma navegação segura (Figura 8).

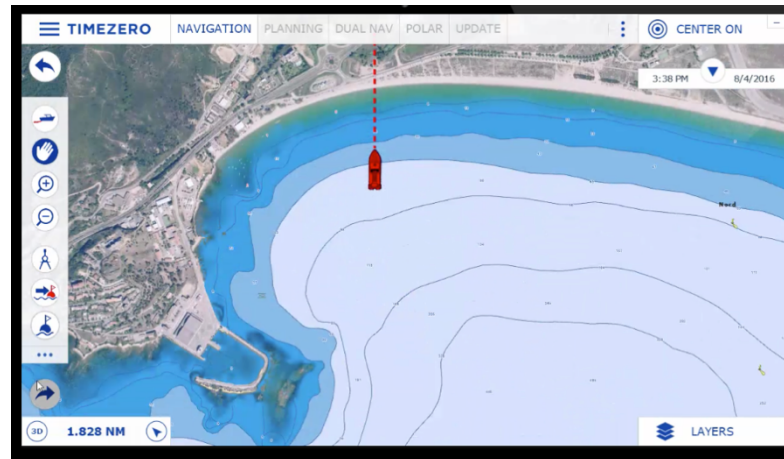


Figura 8 - Time Zero Layout
[Fonte:(Timezero, 2018)]

1.2.2. SINAIS e MAIS

O SINAIS e o MAIS são duas aplicações criadas para colmatar necessidades da TRANSTEJO e SOFLUSA no transporte de passageiros. O MAIS é uma ferramenta utilizada para a gestão da frota, enquanto o SINAIS é um equipamento utilizado a bordo. O SINAIS (Figura 9) é “um sistema de apoio à navegação de bordo que serve para a monitorização e registo de dados de viagem” (Elias, 2010). Apesar da aplicação se basear em dados do AIS, fornece mais informação ao navegador, e de uma forma mais perceptível, para apoio à decisão. No SINAIS é fornecida a posição do navio e dos navios circundantes. Os dados dinâmicos do navio são obtidos dos sensores de navegação.

Uma das funcionalidades que ajuda a clarificar o panorama, é a emissão de avisos que alertam quando o navio se encontra a navegar numa zona fora da permitida, ou se foi ultrapassada a velocidade limite (Elias, 2010).

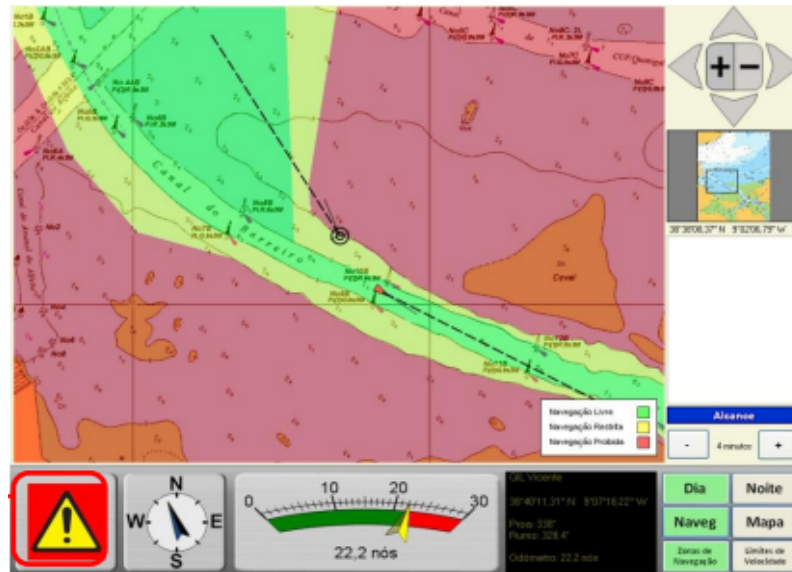


Figura 9 - Sistema de Apoio à Navegação baseado em *Automatic Identification System*
[Fonte: (Elias, 2010)]

1.2.3. I4cast

O i4cast “é um sistema inteligente de suporte à tomada de decisão, capaz de avaliar e prever as influências das condições de tempo e mar na operação do navio” (i4sea, 2018). A ferramenta fornece, em tempo real, as condições de tempo e mar incorporando o cálculo do calado dinâmico do navio. O sistema, criado pela empresa i4sea, permite otimizar as operações de largada e atracação dos navios no porto ((I4sea, 2018). A Figura 10 ilustra o modelo do cálculo dinâmico de um navio específico.



Figura 10 - Calado dinâmico obtido pelo i4cast
[Fonte:(i4cast ® - Sistema de apoio a para manobras e operações portuárias», 2018)]

1.2.4. DUKC

O sistema *Dynamic Under Keel Clearance* (DUKC), desenvolvido pela empresa *OMC International*, permite calcular, com base em características específicas de um navio, o período em que é mais seguro navegar no porto, tendo em conta o calado. Com base nessa informação obtém-se uma melhor gestão dos tempos no porto, tendo em conta as restrições de natureza operacional e de segurança (Kelareva, 2011; «OMC - DUKC®», 2018). O sistema é composto pelos 5 módulos seguintes (Figura 11):

- Módulo da Plataforma
- Módulo de avaliação e planeamento
- Módulo para a execução e monitorização da navegação
- Módulo de auditoria e armazenamento de dados
- Módulo de administrador do sistema

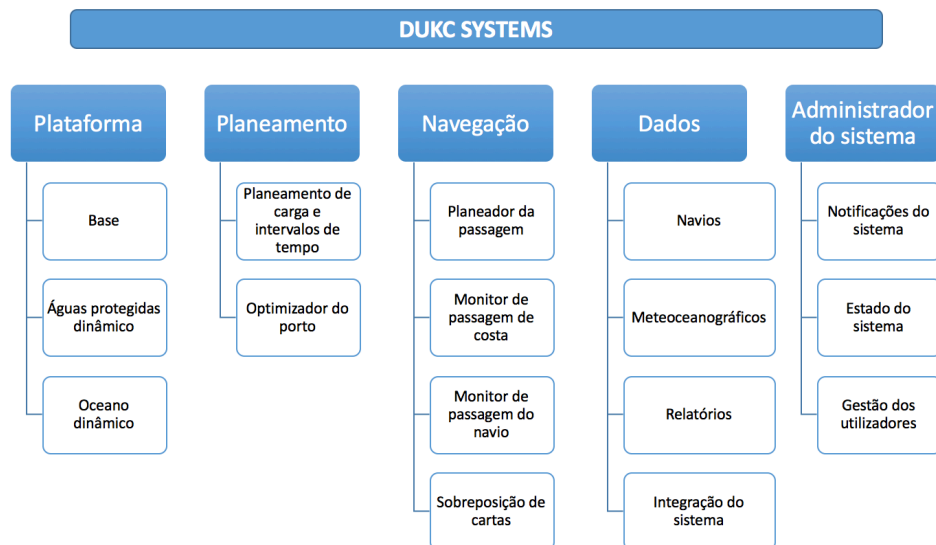


Figura 11 - Composição do sistema DUKC
[Fonte: «OMC - DUKC®», 2018]

1.3. Avaliação do risco

A determinação do risco deve ser específica de um contexto (por exemplo risco ambiental, risco de epidemia e risco de acidente). O estudo do risco é um tópico que tem contribuído para a prevenção da ocorrência de acidentes.

Antes de mais, torna-se necessário definir *perigo*, para que não se confunda com

risco, embora esteja com ele relacionado. Segundo (British Standards Institution, 2007) o *perigo* é a “fonte, situação ou ato com potencial para provocar danos à saúde.”. Um exemplo de um perigo no contexto desta investigação, é a distância ao fundo do canal ou a proximidade das margens do canal.

O risco, por seu lado, está associado à exposição ao perigo, podendo ser nulo se não existir qualquer probabilidade do perigo influenciar o indivíduo (ou embarcação) (British Standards Institution, 2007). Quando avaliamos um perigo e lhe associamos uma consequência (impacto), estamos a fazer uma análise do risco. Segundo a norma ISO31000:2018, o efeito do risco, pode ser positivo ou negativo, podendo, assim, criar oportunidades ou ameaças. O risco é normalmente expresso em termos da fonte que possa estar na sua origem, eventos potenciais, as suas consequências e a sua probabilidade (International Organization for Standardization, 2018).

Em termos formais, assume-se o risco obtido pela expressão (UNE,2014):

$$\text{Risco} = \text{Probabilidade} \times \text{Consequência} \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo:

- *probabilidade*, a frequência de ocorrência do evento, geralmente receado, com um impacto relevante.
- *consequência* (efeitos, danos, prejuízos, etc.) está relacionada com a intensidade dos efeitos.

O foco da gestão de risco está a mitigação do impacto do acidente e da proximidade aos mesmo, com base na análise do risco, prevenindo assim, as suas consequências.

A *International Association of Lighthouse Authorities* (IALA) é a organização mundial responsável pela uniformização das ajudas à navegação - a nível técnico, bem como, dos procedimentos e normas de gestão (AMN, 2018), sistematiza o processo da gestão do risco nas seguintes cinco fases:

- 1-Identificação do perigo;
- 2-Avaliação dos riscos;
- 3-Especificação das opções de controlo do risco;
- 4-Tomada da decisão;



5-Execução da ação.

No contexto da presente dissertação, apenas as duas primeiras etapas, *Identificação do perigo* e *Avaliação dos riscos*, são consideradas, pois é nestas fases, que os mapas de risco são usados do navegador.

A fase da *identificação do perigo* prende-se com a definição e enumeração dos perigos referentes ao canal de navegação. É efetuada através da utilização de técnicas padrão de identificação de riscos de ocorrência de incidentes. Inicialmente é importante definir os limites do problema. Deve ser, por isso, efetuada uma análise das possíveis causas e impacto de cada categoria de acidentes. As técnicas-padrão a ser usadas, devem estar relacionadas com o problema analisado.

A IALA apresenta uma tabela com fatores que contribuem para uma exposição global ao risco. Estes são considerados de relevantes para identificar os perigos associados à navegação marítima, pelo que serão utilizados mais adiante neste trabalho.

Tabela 2 - Fatores de risco relacionados com navegação marítima
[Fonte: (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, 2013)]

Considerações com o tráfego	Volume de tráfego	Condições de navegação	Configurações do canal	Consequências a curto prazo	Consequências a longo prazo
Qualidade dos navios	Grande calado	Operações diurna/noturna	Profundidade/calado/ água sob a quilha	Danos a pessoas	Impactos ao nível da saúde e segurança
Competências da tripulação	Pequeno calado	Estado do mar	Largura do canal	Derrames de combustível	Interrupções do estilo de vida
Tipo de tráfego	Embarcações de pesca comercial	Condições de vento	Obstruções à visibilidade	Libertação de materiais perigosos	Impacto na vida marinha
Densidade de tráfego	Embarcações de recreio	Correntes	Complexidade do canal	Danos materiais	Espécies em perigo
Natureza de carga	Embarcações de alta velocidade	Restrições à visibilidade	Tipo de fundo	Obstrução do canal	Danos na linha de costa
Taxa de participação em sistemas de roteamento, como VTS.	Embarcações de passageiros	Condições de gelo	Estabilidade (assoreamento)		Danos em recifes
		Visibilidade do fundo	Configuração do AtoN		Impacto económico
		Detritos	Qualidade dos dados hidrográficos		

A fase da *avaliação do risco* pode dividir-se em duas atividades: a estimativa do risco e a avaliação do risco. Na *estimativa do risco* são estimadas a frequência e as consequências das mesmas, associadas a cada um dos cenários.

A *estimativa da frequência* consiste na determinação da frequência com que uma determinada situação pode ocorrer. Estas estimativas são muitas vezes baseadas em dados históricos. Quando não existem dados históricos ou são muito escassos, podem usar-se métodos como a análise da árvore de falhas ou árvore de eventos, entre outros métodos matemáticos. A estimativa pode basear-se também na experiência e julgamento de especialistas.

A *estimativa das consequências* baseia-se na previsão do impacto de vários cenários e como podem afetar a atividade em questão. As consequências são muitas vezes medidas em termos financeiros, podendo também ser medidas em número de lesões, número de mortes, impacto na qualidade de vida, número de animais selvagens afetados, entre outras consequências.

Existem diversos tipos de método para cálculo das estimativas. A *estimativa monetária* é uma técnica baseada nas perdas esperadas ou prováveis, associadas ao acontecimento indesejado ou perigo. No caso de a probabilidade ser definida como a frequência de ocorrências havidas num ano, então será obtida pela média esperada de perdas monetárias por ano. A *estimativa de contagem* está associada a perdas humanas, sendo muitas vezes, o método fácil de usar. A *estimativa da matriz de risco*, é um método em que é efetuada atribuição de pontuação à frequência e às consequências associadas aos perigos identificados, obtendo-se, deste modo, a matriz de risco (Tabela 3). Usualmente, é utilizada quando a análise quantitativa não é aplicável (International Organization for Standardization, 2018). Cada célula da matriz corresponde a uma estimativa do índice de risco. Também um método de estimativa, é a *simulação* que tem um custo relativamente baixo e que pode ser baseado em métodos físicos e digitais.



Tabela 3 - Estimativa da Matriz de Risco
 [Fonte: (International Organization for Standardization, 2018)]

Impacto	Severo			
	Moderado			
	Menor			
		Baixo	Médio	Alto
		Probabilidade		

	Nível aceitável de risco
	Nível aceitável de risco com consequências
	Nível inaceitável de risco

O IWRAP e o PAWSA são duas ferramentas que auxiliam a gestão de Riscos nos portos e em águas restritas. Estas ferramentas são baseadas num modelo quantitativo e qualitativo, respetivamente. Permitem a uma entidade medir e quantificar os riscos de colisões e aterragem em zonas portuárias. Esta é uma abordagem diferente do problema, estando, neste caso, o foco no navegador e na influência do meio na navegação (IMO, 2010)(Jiang, Zhang, & Guo, 2011)(Kim, Park, & Jeong, 2011).

Existem outros métodos de avaliar os riscos quantitativos da navegação marítima. Macduff propõem um *modelo de colisão-encalhe* dado por:

$$P = P_a \times PC$$

Sendo:

- P a probabilidade de um navio colidir durante a navegação numa determinada área;
- P_a a probabilidade geométrica de um navio, que se encontra num cenário de acidente, ter uma colisão, se não tomar qualquer medida preventiva;
- PC a probabilidade de causalidade, que corresponde à probabilidade condicionada de ocorrer um acidente num cenário de acidente.

A seleção do método dependerá dos objetivos pretendidos, mas também do tipo, quantidade e qualidade da informação disponível (Li, Meng, & Qu, 2012).

1.4. Vento, corrente e profundidade

Vento

Para uma condução segura o navegador necessita de ter especial atenção a diversos fatores entre os quais o vento. Se as diferenças de pressão ocorrerem a poucos quilómetros entre si, a velocidade do vento é elevada, tal como a energia envolvida.

O vento aplica sobre as obras mortas⁷ e superestruturas do navio uma pressão que pode influenciar o trajeto. O seu efeito faz-se sentir, tanto mais quanto maiores forem as superfícies expostas, por ser proporcional ao quadrado da velocidade relativa.

Os efeitos causados pelo vento são os seguintes:

- *Adornamento* - causado pela componente do vento transversal que é responsável por um momento inclinante;
- *Redução no seguimento* - A componente do vento cuja direção é igual à do seguimento do navio, mas com sentido oposto. Contraria pois, a força propulsora do navio;
- *Dificuldades no governo* - No caso da força aplicada sobre as obras mortas e superestruturas se situarem a vante do ponto de giração, o navio tenderá a arribar⁸; no caso de se situar a ré, o navio tende a orçar⁹. Estes efeitos têm especial importância quando da navegação em proximidade de terra ou baixios;
- *Surriada* - Consiste na projeção e pulverização de água do mar, rebentação e embate com o casco devido ao vento o que cria uma massa de água. A surriada pode causar danos estruturais bem como causar dificuldade de visibilidade (MDNM, 2000).

Corrente

⁷ Parte do casco que fica acima do plano de flutuação em plena carga e que está sempre emersa. («arte-naval-vol1-e-2»)

⁸ Desviar o rumo para sotavento. («arte-naval-vol1-e-2»)

⁹ Procurar no navio a linha do vento, ou navegar com a proa o mais próximo possível da linha do vento. («arte-naval-vol1-e-2»)



A corrente tem associado movimentos de massas de água que podem atingir velocidades significativas (6 a 8 nós ou mesmo mais) especialmente em estuários e canais. A corrente, quando tem uma velocidade elevada, pode causar variações no seguimento do navio, acelerando ou abrandando. Pode também causar problemas no governo devido às diferenças de movimento relativo entre navio e água (MDNM, 2000).

Profundidade

A profundidade é um dos fatores cruciais para conseguirmos uma navegação segura. É, portanto, necessária uma constante atualização da informação sobre a *batimetria*. A navegação em águas restritas acarreta diversas vezes mudanças de profundidade drásticas, sendo da máxima importância o estudo deste parâmetro no modelo a estudar.

Segundo PIANC¹⁰, a batimetria dos canais é determinada por diversas componentes tais como: o *nível da água*, o *fundo do canal* e as *características do navio*. Outros fatores que influenciam a distância da quilha ao fundo é a *ondulação* - que pode provocar movimentos verticais no navio -, bem como a *variação da densidade da água*.

Os fatores anteriormente referidos podem ser agrupados em 3 grandes grupos, conforme Figura 12: (1) fatores relacionados com as *variações da água*; (2) fatores relacionados com a *variação do navio*; e (3) fatores relacionados com a *variação do fundo*.

¹⁰ PIANC-*The World Association for Waterborne Transport Infrastructure* é uma associação internacional, apolítica e sem fins lucrativos, subvencionada pelos governos de cerca de 40 países, que agrega os delegados desses governos, membros individuais e membros coletivos. A expressão *waterborne transport infrastructure* traduz o objetivo último da PIANC: promover as condições de exploração e segurança da navegação interior e marítima, encorajando o progresso em matéria de conceção, construção, gestão, manutenção e exploração das vias navegáveis, dos portos e das suas estruturas de proteção, tendo sempre presente os problemas ambientais. As instalações destinadas à pesca e às atividades de recreio náutico fazem igualmente parte do campo de ação da PIANC.

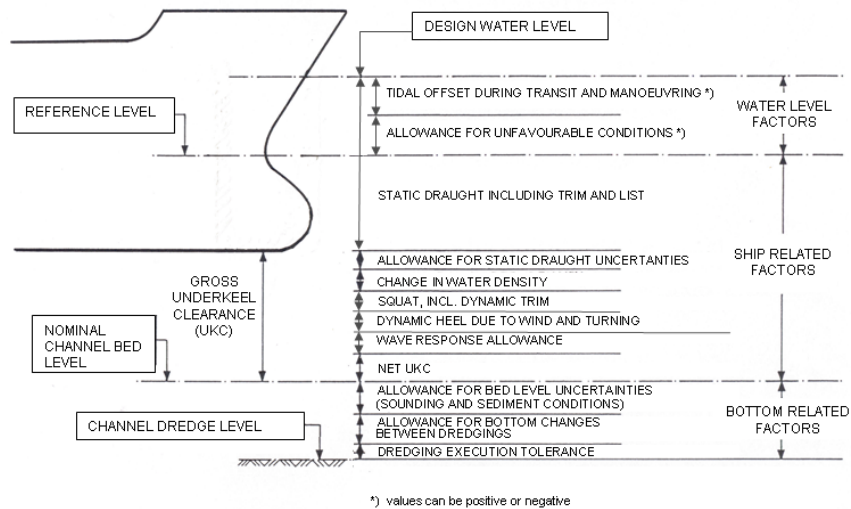


Figura 12 - Fatores para determinação da batimetria
[Fonte: (Infrastructure, 2014)]

Tendo em conta os erros associados às medições dos fatores referidos, o navegador deve fornecer um valor de segurança, denominado na gíria de “Pé de Piloto”, parâmetro a considerar no modelo a derivar (Infrastructure, 2014).

Resumindo, a profundidade é uma junção de vários fatores, relacionados com o meio e com o navio, sendo determinada com o objetivo de definir zonas navegáveis e não navegáveis dos canais.



Referencial

Teórico

Capítulo 2

- ❖ Interpolação
- ❖ Cálculos numéricos

Capítulo 2 – Referencial teórico

2.1. Interpolação

A navegação acarreta muitos riscos, um dos mais preocupantes e que causa muitos acidentes é o encalhe. O fundo oceânico é irregular e apresenta muitas zonas com elevações e depressões que fazem variar abruptamente a batimetria. Nas zonas portuárias a batimetria é mais reduzida e devido a vários fatores naturais e humanos o fundo pode sofrer alterações que influenciam a navegação. As “sondagens” efetuadas determinam a sonda reduzida de um conjunto de pontos específicos. Para a determinação do valor de todos os pontos torna-se necessário estimar as zonas desconhecidas com base nos valores conhecidos.

O cálculo destes pontos é efetuado através de processos de *interpolação*. As interpolações permitem, através de cálculos algébricos, obter um valor aproximado da batimetria, com base nas medições efetuadas na vizinhança do local que se pretende conhecer (Figura 13). A interpolação fornece assim, aproximações nos locais em que não exista uma leitura direta (Giacom, Carvalho, Santos, Medeiros, & Ferraz, 2014).

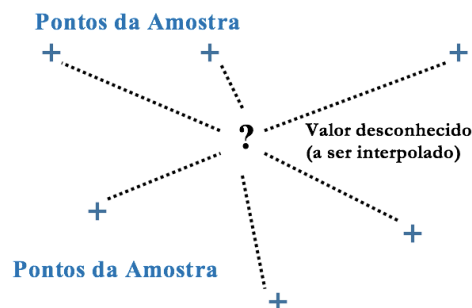


Figura 13 - Demonstração dos pontos da vizinhança.
[Fonte: («Análise Espacial (Interpolação)», 2018)]

São vários métodos de interpolação, nomeadamente os seguintes:

- Inverso da Potência da Distância (IDW);
- Rede de Triângulos Irregulares (TIN);
- *Trend*;
- *Kriging*;
- *Spline*.

Para a seleção do método de interpolação a utilizar no modelo a construir, foram considerados os seguintes critérios:

- Instrução pré-definida – a interpolação está definida como função pré-programada no *software* utilizado;
- Simplicidade – o cálculo ser fácil de implementar, dada a simplicidade do método;
- Malha regular - a interpolação tem em conta que os dados das sondagens são uma malha regular;
- Não suavizar os pontos gerados - os valores gerados não se restringem ao máximo e mínimo dos dados originais, bem como não suavizam o relevo produzido pela interpolação.

Assim, tendo em conta os critérios anteriormente referidos, o método de interpolação selecionado que cumpre todos os parâmetros definidos foi o *Inverso da Potência da Distância* (IDW).

Nas interpolações, um dos fatores a ter em conta são os erros da aproximação, o que na navegação aumenta o risco de encalhe. Daí, pois, a necessidade de ser dada uma compensação ou fazer um ajuste no valor obtido.

Os dados do Porto de Lisboa, fornecidos pelo Instituto Hidrográfico (IH), consistem numa malha de pontos com espaçamento de 10 metros o que faz com que existam pelo menos 4 pontos conhecidos próximos para a determinação da batimetria desconhecida. Este método pressupõe que cada ponto conhecido terá influência consoante a distância, assumindo que, “pontos mais próximos serão mais parecidos que os mais distantes”, no qual um coeficiente de ponderação controla o peso atribuído a cada ponto. Este método, como já foi referido, pondera a influência de cada ponto através de uma potência de ponderação (p), quanto maior a potência menor será a sua influência.

$$Z_i = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^p}} \quad \text{Eq. 2}$$

no qual,

$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \delta^2} \quad \text{Eq. 3}$$

h_{ij} - Distância efetiva de separação entre o ponto da grelha e o ponto a interpolar;

z_i - Valor interpolado com base no ponto j ;

Z_i - Pontos utilizados na vizinhança;

d_{ij}^2 - Distância entre o ponto da grelha j e o ponto vizinho a gerar i ;

p - Potência de ponderação;

δ - Parâmetro de suavização.

Um dos parâmetros na determinação da interpolação é a *suavização* que é utilizada no cálculo, para que nenhum ponto tenha uma influência maior na interpolação. Deste modo, a nenhum valor será atribuída a ponderação 1, significando assim, que o valor estaria em cima de um dos pontos da grelha.

Para exemplificar a influência da utilização de diferentes valores da potência de ponderação, comparou-se a batimetria da entrada Norte do porto de Lisboa. A variação da potência de ponderação, terá influência no efeito de um ponto da grelha a interpolar, isto é, quanto maior for a potência menor efeito terá um ponto distante sobre o cálculo. Como consequência disto, os valores obtidos terão uma melhor discriminação, tal como se pode constatar nas Figura 14 e 15 em baixo.

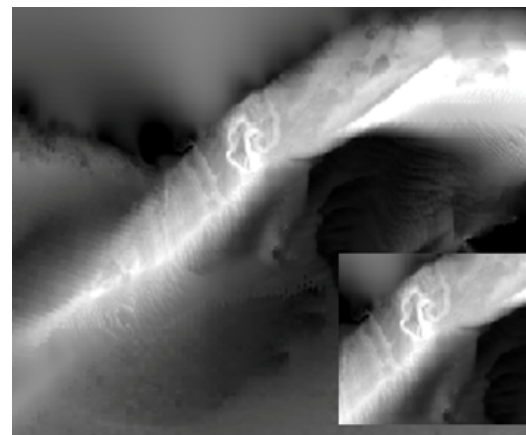
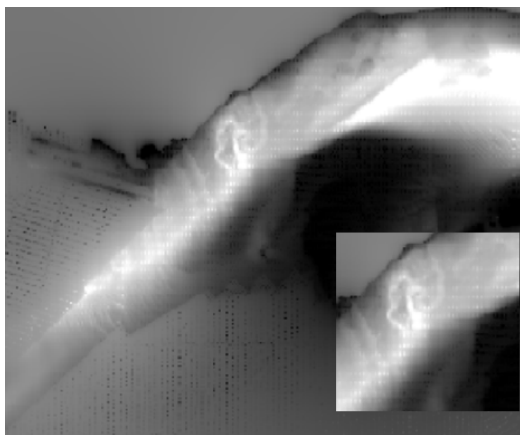


Figura 14 - Interpolação com ponderação 2 Figura 15 - Interpolação com ponderação 5

Mantendo então a potência e variando o parâmetro suavizador obteremos, como o seria de esperar, resultados com variações menos abruptas.

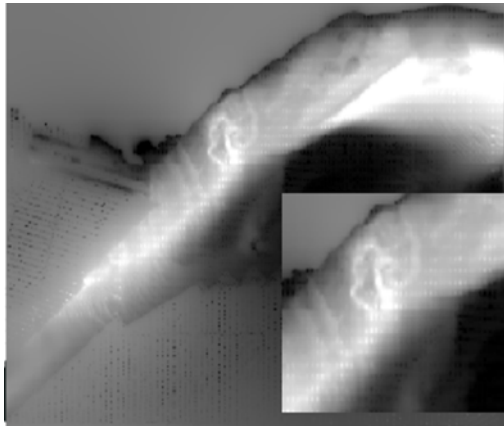


Figura 16 - Interpolação com ponderação 6 e suavizador 2

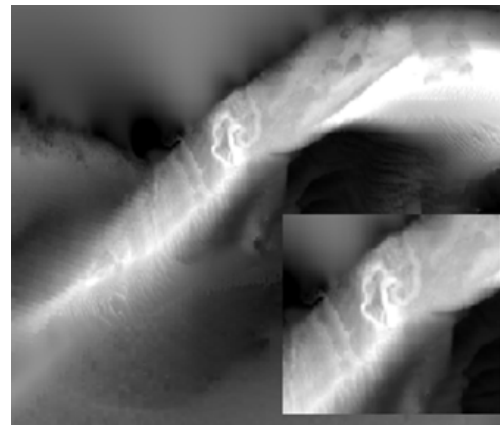


Figura 17 - Interpolação com ponderação 6 e suavizador 0

Refira-se que, nenhum dos métodos é exato e todos têm vantagens e desvantagens de utilização. No caso do IDW, os valores máximos e mínimos apresentados no terreno serão os pontos da amostragem, pois este método não permite calcular valores, fora do intervalo da batimetria fornecida. Outra das desvantagens é o modelo poder apresentar elevações e depressões abruptas (SILVA, LOPES, & CENTENO, 2007) («ch34.pdf», sem data).

2.2. Cálculos numéricos

Área da seção do navio afetada pelo vento.

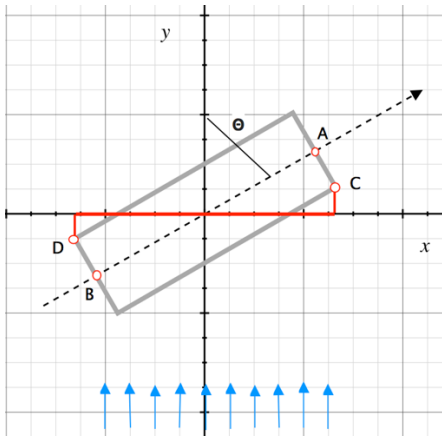
Durante a navegação, o navio sofre ações do vento em que os setores afetados variam 360° . Tendo as estruturas do navio, dimensões variadas, com um comprimento muito diferente da boca, os diferentes ângulos com que o vento aplica a sua força no navio, fazem com que a área afetada varie.

Simplificando, considere-se o navio um retângulo, onde:



L - Comprimento fora a fora

B - Boca



$$A \left(\frac{L}{2} \sin \theta ; \frac{L}{2} \cos \theta \right)$$

$$\vec{OA} = A - O = \left(\frac{L}{2} \sin \theta ; \frac{L}{2} \cos \theta \right)$$

$$\vec{u} \perp \vec{OA}$$

$$\vec{u} = \left(-\frac{L}{2} \cos \theta ; \frac{L}{2} \sin \theta \right)$$

$$\|\vec{u}\| = \sqrt{\left(-\frac{L}{2} \cos \theta\right)^2 + \left(\frac{L}{2} \sin \theta\right)^2}$$

$$\|\vec{u}\| = \sqrt{\frac{L^2}{4} (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta)}$$

$$\|\vec{u}\| = \frac{L}{2}$$

$$\vec{AC} = \pm \frac{\frac{B}{2}}{\|\vec{u}\|} \vec{u}$$

$$\vec{AC} = \pm \frac{B}{L} \vec{u}$$

$$\vec{r}_{AC} = \pm \frac{B}{L} \left(-\frac{L}{2} \cos \Theta; \frac{L}{2} \sin \Theta \right)$$

$$\vec{r}_{AC} = \pm \left(-\frac{B}{2} \cos \Theta; \frac{B}{2} \sin \Theta \right)$$

$$C = A + \vec{r}_{AC}$$

$$C = \left(\frac{L}{2} \sin \Theta; \frac{L}{2} \cos \Theta \right) \pm \left(-\frac{B}{2} \cos \Theta; \frac{B}{2} \sin \Theta \right) \quad \text{Eq. 4}$$

A força aplicada por um fluido é dada por:

$$F = pA \quad \text{Eq. 5}$$

No caso do vento, supomos que é aplicada uma pressão que admitimos atuar perpendicularmente às superfícies do navio. Pretendemos, assim, determinar a força provocada pelo vento na estrutura do navio. Com base de uma equação da Mecânica dos Fluidos, é possível determinar a força que um corpo (neste caso o navio) está sujeito, quando imerso num fluido com velocidade v , através da seguinte expressão:

$$F = \frac{1}{2} c \rho v^2 A \quad \text{Eq. 6}$$

- c coeficiente de forma, ou aerodinâmico, é um coeficiente adimensional determinado experimentalmente;
- ρ massa específica do fluido Kg/m^3 . No caso do ar $\rho = 1,25 \text{ Kg}/\text{m}^3$;
- v velocidade do fluido m/s ;
- A projeção da área no plano perpendicular ao qual o fluido exerce pressão m^2 ;
- $F [F] = \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \text{m}^2 = \text{Kg} \times \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N}$;
- O termo $\left(\frac{1}{2} \right) \rho v^2$ é chamado de pressão dinâmica.

Desta forma, assume-se que a força gerada pelo vento é dada por:



$$\text{Força} = (\text{coeficiente de forma ou aerodinâmico}) \times (\text{pressão dinâmica}) \times (\text{área projetada}) \quad \text{Eq. 7}$$

(Jacinto, 2014; Owens & Palo, 1982; Quintela, Fundação Calouste Gulbenkian, & Serviço de Educação e Bolsas (Lisboa, 2011).



Modelação dos Riscos

Capítulo 3

❖ Fatores de risco

❖ Navegação

noturna/diurna

❖ Condições de vento

❖ Corrente

❖ Batimetria

❖ Largura do canal



Capítulo 3 – Modelação dos Riscos

Neste capítulo, irão ser analisados os perigos que podem contribuir para o aumento do risco de acidentes. Tem por base os estudos e a experiência das entidades especializadas na navegação. Esta análise, segue os estudos e boas práticas de especialistas em navegação, irá dar origem a uma tabela dos fatores de perigo para a navegação, a ser usada pelo encarregado da navegação, no acesso a águas restritas.

Serão também apresentados os métodos de determinação das variáveis dinâmicas do navio e os métodos de avaliação dos riscos na navegação. O cálculo das variáveis dinâmicas nomeadamente, a corrente e o vento, serão efetuados com base na superfície do navio, sua velocidade e rumo, bem como, na direção e intensidade do vento e da corrente.

Por último, serão apresentados os métodos de determinação das variáveis estáticas, ou seja, dos atributos do canal de navegação.

3.1. Fatores de risco

A determinação dos fatores que podem constituir perigos para a navegação e consequentemente provocar o aumento do risco de acidente, requer a avaliação de aspetos de natureza científica, bem como, a recolha do conhecimento tácito dos navegadores. Tornou-se, assim, necessário identificar possíveis perigos e avaliar a influência destes no navio e, por conseguinte, determinar o potencial de risco dos mesmos. Com base nesta relação foi estabelecida a tabela de fatores anteriormente apresentada (Tabela 2). A tabela é fornecida pela IALA, havendo, no entanto, necessidade de a adaptar, com vista à sua utilização pelo o navegador e a definição da trajetória do navio.

A Tabela 2 divide-se em 6 grandes grupos: considerações com o tráfego, o volume de tráfego, as condições de navegação, a configuração do canal de navegação, as consequências a curto prazo e as consequências a longo prazo. Em cada grupo existem fatores de risco que podem provocar acidentes ou encalhes.

As considerações com o tráfego prendem-se com a qualidade dos navios, competências

da tripulação, tipo de tráfego, densidade de tráfego e natureza da carga do tráfego. Para o estudo em questão, o tráfego será um fator que apesar de relevante, não será abordado devido à natureza do seu estudo que a análise do mesmo implicaria. De igual modo, o grupo do volume de tráfego, também não será abordado no presente estudo.

As consequências a curto e longo prazo, constituem dois grupos, que se referem às consequências e efeitos após uma colisão ou encalhe. Existem outros estudos, em que a análise de risco se baseia nos impactos económicos e ambientais, daí que, estes aspetos não serão aqui tidos em conta. O presente estudo foca-se na influência das condições de navegação e da configuração do canal como perigos a serem tidos em conta pelo navegador (Tabela 4).

Tabela 4 - Fatores de risco relacionados com a navegação marítima
[Fonte: (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, 2013)]

Considerações com o tráfego	Volume de tráfego	Condições de navegação	Configurações do canal	Consequências a curto prazo	Consequências a longo prazo
Qualidade dos navios	Grande calado	Operações diurna/noturna	Profundidade/calado/ água sob a quilha	Danos a pessoas	Impactos ao nível da saúde e segurança
Competências da tripulação	Pequeno calado	Estado do mar	Largura do canal	Derrames de combustível	Interrupções do estilo de vida
Tipo de tráfego	Embarcações de pesca comercial	Condições de vento	Obstruções à visibilidade	Libertação de materiais perigosos	Impacto na vida marinha
Densidade de tráfego	Embarcações de recreio	Correntes	Complexidade do canal	Danos materiais	Espécies em perigo
Natureza de carga	Embarcações de alta velocidade	Restrições à visibilidade	Tipo de fundo	Obstrução do canal	Danos na linha de costa
Taxa de participação em sistemas de roteamento, como VTS.	Embarcações de passageiros	Condições de gelo	Estabilidade (assoreamento)		Danos em recifes
		Visibilidade do fundo	Configuração do AtoN		Impacto económico
		Detritos	Qualidade dos dados hidrográficos		

No que respeita às condições de navegação, estas prendem-se com variáveis dinâmicas que serão consideradas através de modelos de previsão meteorológica. Neste grupo, não serão tidos em conta o gelo e os destroços, bem como, restrições à visibilidade. No caso particular dos portos nacionais, o gelo não é um perigo relevante, visto que, estando o país situado em latitudes médias não ocorre formação de gelo relevante.



Em relação às configurações do canal de navegação, estes são fatores que apesar de se alterarem com frequência, são características do canal e assumidos como estáticos. Fornecido o modelo do canal, a partir daí são efetuados os cálculos de relação dos possíveis riscos. Não serão analisados também, os fatores relacionados com o tipo de fundo e estabilidade do mesmo, pois, são informações que para serem trabalhadas, requereriam informação prévia à entrada do porto.

Em resumo, a análise dos perigos será baseada segundo Tabela 5.

Tabela 5 - Fatores de risco considerados na navegação marítima
[Fonte: (International Organization for Standardization, 2018)]

Condições de navegação	Configurações do canal
Operações diurna/noturna	Profundidade/ calado/ água sob a quilha
Condições de vento	Largura do canal
Correntes	

3.2. Navegação noturna/diurna

A navegação noturna carece de uma atenção redobrada. Esta necessita da implementação de diversas medidas, tais como: acender luzes de navegação e implementar a ocultação de luzes.

Para ser tido em conta este facto, o navegador deverá ser avisado do nascimento e ocaso do sol do dia, e conseqüentemente, do período noturno/diurno.

3.3. Condições de vento

Como referido anteriormente, o vento tem capacidade de influenciar a trajetória do navio. Como tal, torna-se necessário determinar a força que o vento exerce no navio. Para o efeito, tem que ser conhecida a área que sofrerá ação do vento. Assumindo que o navio é um retângulo, teremos uma variação da força do vento, consoante a direção de incidência do mesmo no navio.

Para a determinação da área de incidência do vento é necessário conhecer os seguintes dados:

- Ângulo entre a direção do navio e a direção do vento;
- Comprimento fora a fora do navio L;
- Boca do navio B;
- Dimensão das superestruturas;
- Proporção da área das superestruturas na área do navio;
- Bordo Livre¹¹.

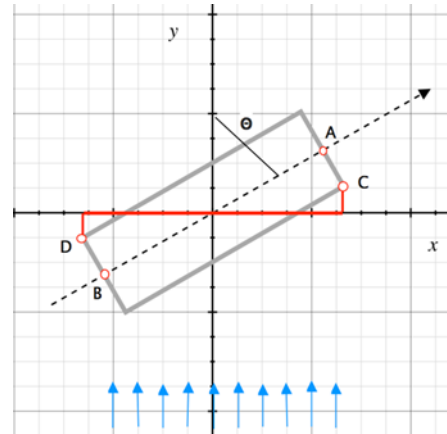


Figura 18 - Área de incidência do vento no navio

Da equação presente anterior Eq. 4:

$$C = \left(\frac{L}{2} \sin \Theta ; \frac{L}{2} \cos \Theta \right) \pm \left(-\frac{B}{2} \cos \Theta ; \frac{B}{2} \sin \Theta \right)$$

- Determinamos que o comprimento da área de aplicação do vento no navio como sendo:

$$c_v = 2 \times \left(\frac{L}{2} \sin \Theta + \frac{B}{2} \cos \Theta \right) \quad \text{Eq. 8}$$

- A área do bordo livre do navio é dada por:

$$A_b = c_v \times \text{Altura do bordo livre} \quad \text{Eq. 9}$$

- Para determinar a área total é necessário ter em consideração a área das estruturas acima da linha do convés. Para determinar essa área é tomada a razão entre as áreas das estruturas acima da linha de água e a área do bordo livre:

$$R = \frac{(\Sigma A_{st} + \Sigma A_{sl})}{A_{bt} + A_{bl}} \quad \text{Eq. 10}$$

- ΣA_{st} - Somatório das áreas do perfil transversal das estruturas acima do Bordo

¹¹ Distância vertical da superfície da água ao pavimento principal (geralmente o convés), medida em qualquer ponto do comprimento do navio no costado

Livre;

- ΣA_{sl} - Somatório das áreas do perfil longitudinal das estruturas acima do Bordo

Livre;

- A_{bt} - Área do Bordo Livre do perfil transversal;

- A_{bl} - Área do Bordo Livre do perfil longitudinal.

- A determinação da área total de aplicação do vento é dada por:

$$A_t = A_b + RA_b \quad \text{Eq. 11}$$

Deste modo, é obtida uma aproximação à área do navio que sofre efeito do vento. No entanto, é de ter em conta os pressupostos assumidos, nomeadamente, ter-se considerado o navio um retângulo e se ter aproximado as áreas das estruturas acima do convés, através de uma relação com a área do bordo livre.

Assim, a determinação da força aplicada pelo vento é calculada através da Eq. 6 referida anteriormente:

$$F = \frac{1}{2} c \rho v^2 A$$

A força calculada, pode ser decomposta, de forma a determinar: (1) a componente da força aplicada na direção do seguimento do navio; e (2) a componente perpendicular ao seguimento. A componente com a direção do seguimento irá provocar um aumento ou diminuição do seguimento, enquanto que a componente perpendicular ao seguimento irá provocar uma mudança no rumo do navio.

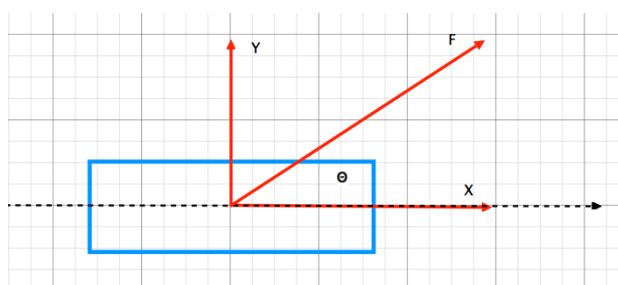


Figura 19 - Decomposição da força pelas componentes transversal e longitudinal do navio

$$Y = F \sin \theta$$

$$X = F \cos \theta$$

A aplicação da força provocada pelo vento varia com o ângulo de incidência no navio, o que torna difícil, sem meios auxiliares, determinar o efeito que mais se irá sentir na navegação. A decomposição da força provocada pelo vento clarifica os possíveis efeitos no navio.

Com base no referido, a opção adotada para informar o utilizador acerca dos possíveis riscos são os vetores de força decompostos nas componentes da direção do seguimento e perpendicular.

O método adotado para demonstrar a intensidade do vento, será a dimensão de vetores. Foram criados 5 tamanhos que variam consoante a intensidade do vento. Para parametrizar o vetor, o navegador define um valor máximo que considera seguro navegar, para isso utilizará a escala de *Beaufort* (ver Anexo A) na qual seleciona a força máxima admitida para navegar e, por conseguinte, a velocidade máxima admitida. Definindo a velocidade máxima e sendo a mínima 0, é estabelecida a escala de força do vento dividida em 5 velocidades de referência. Os vetores representativos do vento têm cor verde como se pode observar na Figura 20. O processo descrito de análise da força aplicada pelo vento no navio, pode ser observado, no diagrama da Figura 21.

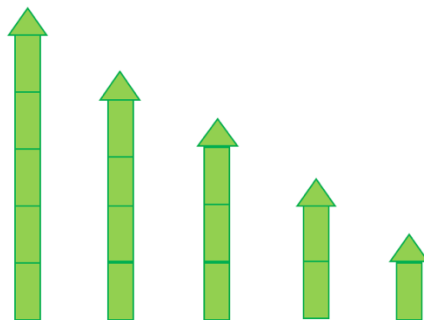


Figura 20 - Exemplo dos vetores referentes à aplicação do vento no navio.

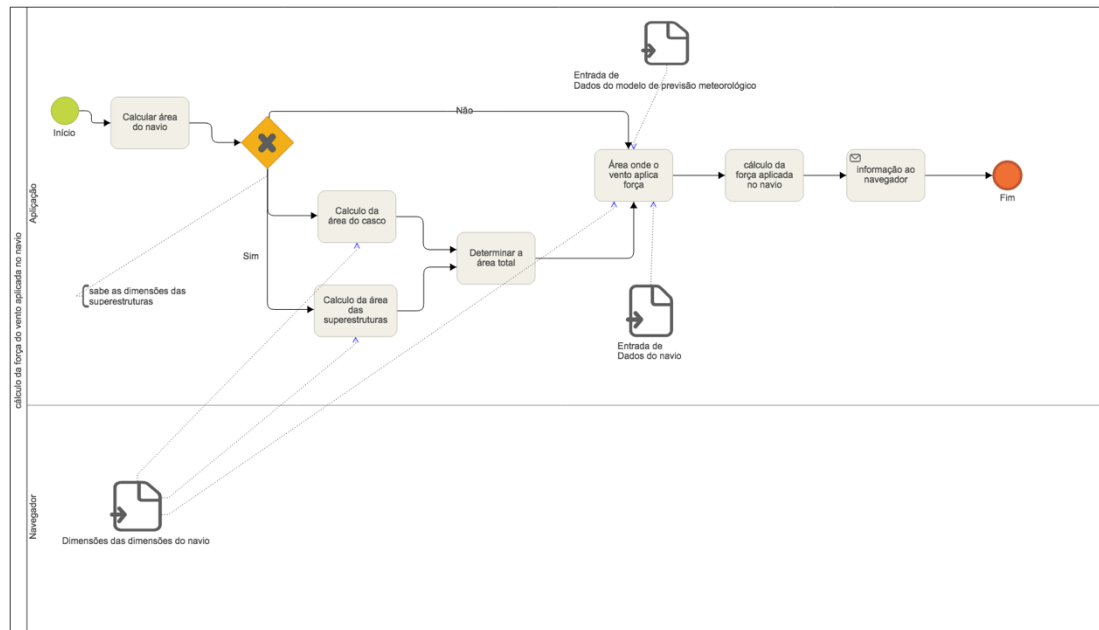


Figura 21 - Processo de análise da força aplicada pelo vento no navio

3.4. Corrente

À semelhança do vento, a corrente tem capacidade de influenciar a trajetória, bem como, a velocidade do navio. Deste modo, é relevante a determinação da força que a corrente pode aplicar no navio, de forma a conhecer o modo como pode ser decomposta, e a avaliar os seus efeitos.

A corrente pode afetar o navio em qualquer direção, e aplicar pressão em qualquer zona do navio que se encontre abaixo da linha de água. Assim, tal como no vento, é necessário determinar a área de aplicação da pressão. A fundamentação para a determinação da área é semelhante à do vento, assim sendo, através do esquema 4 determinamos que a área será dada pela Eq. 8:

$$c_v = 2 \times \left(\frac{L}{2} \sin \theta + \frac{B}{2} \cos \theta \right)$$

Uma das diferenças é L , que representa a distância entre Perpendiculares (PP)¹².

$$A_b = c_v \times \text{Calado}^{13} \quad (3.5)$$

É assumido que a estrutura do navio se assemelha a um retângulo.

A força exercida pela corrente é dada pela Eq. 6:

$$F = \frac{1}{2} c \rho v^2 A$$

em que ρ corresponde à densidade da água.

O modo de apresentação da força ao utilizador é semelhante à do vento. É efetuada a decomposição da força da corrente, em componentes transversal e longitudinal ao navio e apresentadas como vetores de cor azul, com tamanho função da intensidade da mesma corrente (Figura 22). O valor máximo admitido para uma navegação segura é definido pelo utilizador. Com base nesse valor é então definida a escala do vetor referente à corrente. O processo descrito de análise da força aplicada pela corrente no navio, pode ser observado, no diagrama da Figura 23.

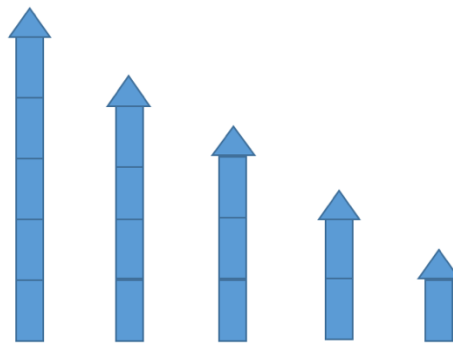


Figura 22 - Exemplo dos vetores referentes à aplicação da corrente no navio.

¹² Perpendiculares (PP) - As perpendiculares são duas retas normais à linha-d'água projetada, contidas no plano diametral e traçadas em dois pontos especiais, na proa e na popa, no desenho de linhas do navio; são as Perpendiculares a vante (PP-AV) e a ré (PP-AR).

¹³ Calado – É a distância vertical entre a superfície da água e a parte mais baixa do navio naquele ponto.

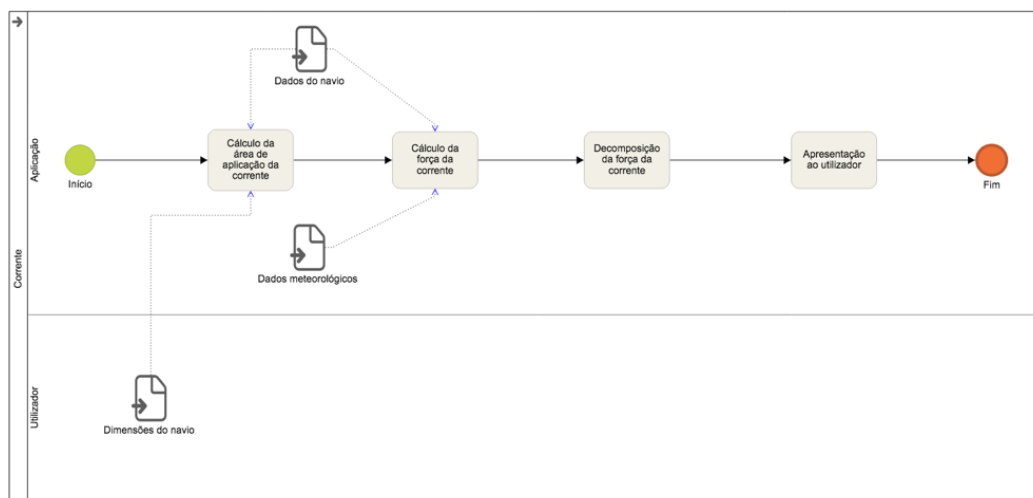


Figura 23 - Processo de análise da força aplicada pela corrente no navio

Os vetores decompostos ao vento e a corrente estão representados na Figura 24.

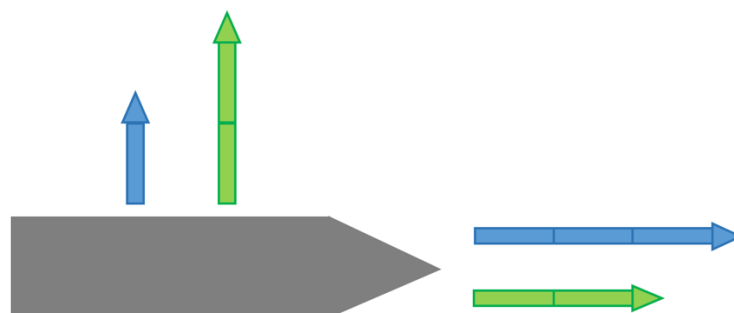


Figura 24 - Representação dos vetores vento e corrente no navio (dimensão dos vetores exemplificativa)

3.5. Batimetria

Na navegação em águas restritas uma das principais preocupações é a batimetria. Particularmente, em zonas próximas de costa podem ocorrer diminuições abruptas da batimetria ou variações inesperadas devido à morfologia do fundo. Deste modo, torna-se relevante determinar as zonas em que o navio pode navegar com segurança.

Existem vários fatores a ter em atenção para determinar as zonas nas quais é seguro navegar, sem que o navio entre em contacto com o fundo: o *calado do navio*, que varia com a sua carga; a *maré*, que pode originar grandes variações; o *caimento*, devido ao movimento do

navio; e a *construção*; entre outros.

Estes fatores podem variar muito rapidamente e, na determinação dos quais, podem ocorrer erros, tais como, erros associados a medição da batimetria. Razão pela qual se acrescenta uma margem de segurança ao calado do navio conhecido na gíria como Pé de Piloto. Os fatores foram referidos anteriormente na Figura 12, e são:

- Sonda Reduzida;
- Maré;
- Calado;
- Caimento;
- Pé de Piloto;
- Margem de Resguardo.

Assim, a equação para determinar a distância da sonda reduzida à quilha, é dada por:

$$B = (\text{Batimetria} + \text{maré}) - (\text{calado} + \text{margem de resguardo} + \text{caimento} + \text{Pé de Piloto}) \quad \text{Eq. 12}$$

A distância da sonda reduzida à quilha usa como base as sondagens (fornecidas em Portugal pelo IH); já a maré é determinada com base na hora da navegação e na maré no local; o calado, o caimento e o Pé de Piloto são valores estabelecidos pelo utilizador no início do planeamento.

O modo de apresentação de B ao utilizador será efetuado sob um esquema de cores com base no “Pé de Piloto”. As zonas em que distância ao fundo é inferior a 0 são apresentadas a cor *vermelha*. As zonas em que a batimetria (B) é igual ou inferior ao “Pé de Piloto” mais B são apresentadas a *laranja*; zonas em que a distância ao fundo é igual ou inferior a duas vezes o “Pé de Piloto” mais B são apresentadas a cor *amarela*. Por fim, a *verde* as zonas em que a batimetria corresponde às distâncias com valores superiores a 2 vezes o “Pé de Piloto” e a *azul* as distâncias com valores superiores a 3 vezes o “Pé de Piloto”, as zonas consideradas mais seguras para a navegação (Tabela 6). O processo descrito de cálculo da distância ao fundo, pode ser observado, no diagrama da Figura 25.



Tabela 6 - Escala de Distância ao Fundo

Parâmetros de Medida	Escala de Cores
$B < 0$	Vermelho
$B \leq \text{Pé de Piloto}$	Laranja
$B < 2\text{Pé de Piloto}$	Amarelo
$B < 3\text{xPé de Piloto}$	Verde
$B > 3\text{xPé de Piloto}$	Azul

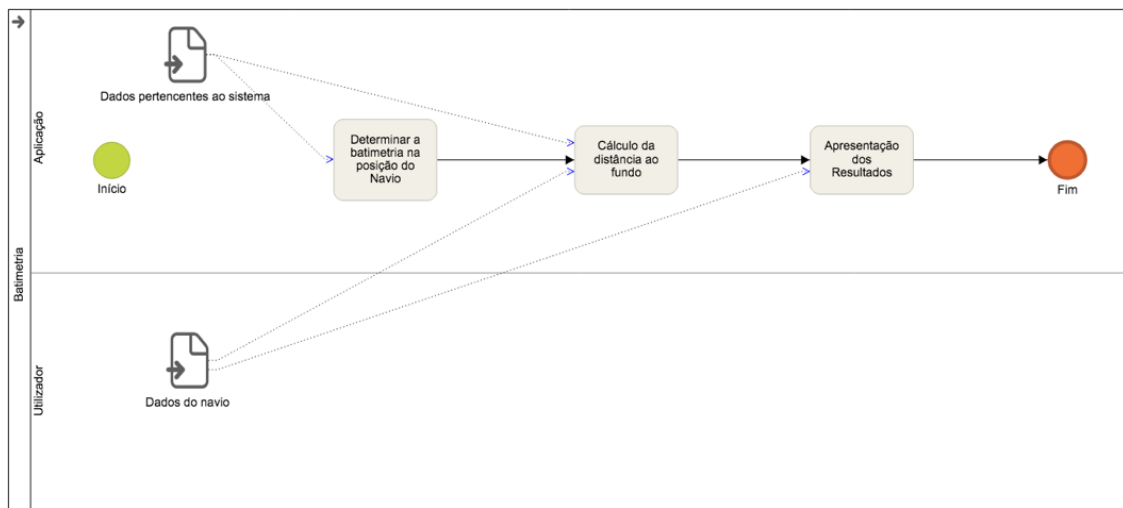


Figura 25 - Processo de cálculo da distância ao fundo

3.6. Largura do canal

Durante a navegação em águas restritas até ao cais, muitas vezes o trajeto a efetuar carece de especial atenção devido à largura do canal a percorrer. Devido às características dos canais, nomeadamente à sua largura, os navios podem ficar limitados na sua manobrabilidade, o que, em caso de incidente, pode fazer com que não seja possível evitar o perigo. Para a navegação na largura do canal, este deve corresponder à largura de águas nas quais a batimetria permite a sua navegação. Assim, a determinação da largura do canal tem como base B , medida admissível em relação ao fundo na qual o navio navega com segurança, como foi referido na

seção anterior considerando as zonas a amarelo e verde.

Para determinar a largura considerada segura para a navegação, é utilizado como base a equação seguinte (Infrastructure, 2014):

$$W = 2W_{BM} + 2 \sum W_i + W_{BR} + W_{BG} + \sum W_p \quad \text{Eq. 13}$$

A equação é traduzida pela Figura 55

Sendo (Tabelas em anexo):

- W_{BM} - a largura da distância de manobra básica de construção Valores da (Tabela 13);
- W_i - Margem adicional considerando o possível efeito de vento, corrente, entre outros (Tabela 13);
- W_{BR}, W_{BG} – Distância de folga quer a Estibordo como a Bombordo(Tabela 14);
- W_p - Distância de segurança entre a passagem de dois navios (Tabela 15).

O método descrito baseia-se nas características dos navios. No entanto, de forma a simplificar o processo de cálculo, a opção adotada, foi a de assumir que o espaço necessário para a passagem de um navio (*Shipandling space*) corresponde a *duas vezes a boca do navio*, isto devido aos movimentos e oscilações do navio. Assim sendo, quando dois navios se cruzam, o espaço necessário corresponde à boca dos dois navios e ao espaço necessário para a passagem de cada um. Assumindo que os dois navios necessitam do mesmo espaço, é então adicionada uma margem de segurança, distância que corresponde a uma medida estipulada pelo utilizador como distância mínima a que algo se possa aproximar do navio, como por exemplo uma boia ou baliza. De notar que, as características de cada navio fazem com que a sua resposta no mar varie muito, o que faz com que a determinação de fatores numéricos necessite de um estudo específico. Desta forma, considerando o espaço necessário a cada navio igual, e a margem de segurança, temos a expressão:

$$W = 2(\text{Boca do navio}) \times 2 (\text{navios}) + 3(\text{Margem de segurança}) \quad \text{Eq. 14}$$

O método para o alerta do utilizador é baseado numa comparação.

- Se a largura do canal navegável para o navio, consoante a batimetria, for superior ao calculado, a linha que une os WP's (trajetória planeada), terá cor verde;
- Se a largura do canal navegável for inferior à largura calculada, então a linha da

trajetória terá cor amarela.

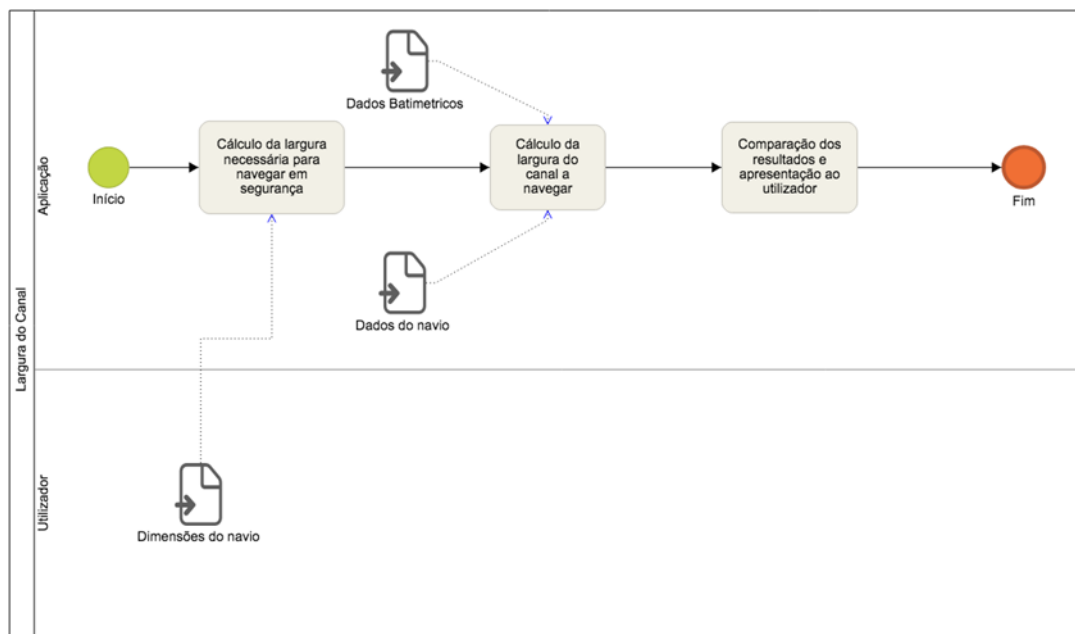


Figura 26 - Processo de cálculo da largura do canal

O processo descrito de cálculo da distância ao fundo, pode ser observado, no diagrama da Figura 26.



Tratamento dos Dados

Capítulo 4

- ❖ Batimetria
- ❖ Seleção da trajetória
- ❖ Largura do canal
- ❖ Interface com o utilizador



Capítulo 4 – Tratamento dos Dados

Este capítulo aborda-se o tratamento de dados e a conceção do artefacto para apoio da navegação em águas restritas. Os dados georeferenciados objeto de tratamento, foram obtidos no IH. Como *software* SIG foi utilizado o QGIS e a sua caixa de ferramentas. A área de estudo, para a prova de conceito, foi a entrada do porto de Lisboa.

4.1. Batimetria

O navegador, ao delinear a trajetória que o navio irá percorrer, necessita de diversos dados, um dos quais é a batimetria, por forma a saber se tem águas suficientes para navegar. Para tal, são usados dados pontuais das sondas reduzidas da área em estudo. Esses dados foram fornecidos pelo IH, em ficheiro de texto (Figura 27). Desta forma, é criada uma camada, a partir de texto delimitado, gerando as componentes X, Y e Z.

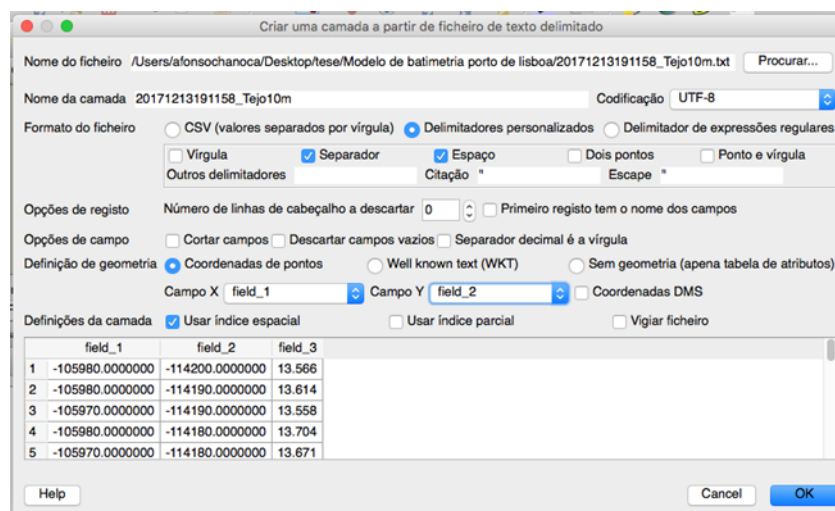


Figura 27 - Importação dos dados de batimetria para QGIS

Como referido anteriormente, os dados fornecidos são de pontos discretos, pelo que é necessário aproximar valores para as zonas navegáveis. Para isso, os dados são interpolados por forma a criar uma nova camada (Figura 29). É também necessário determinar os restantes pontos.

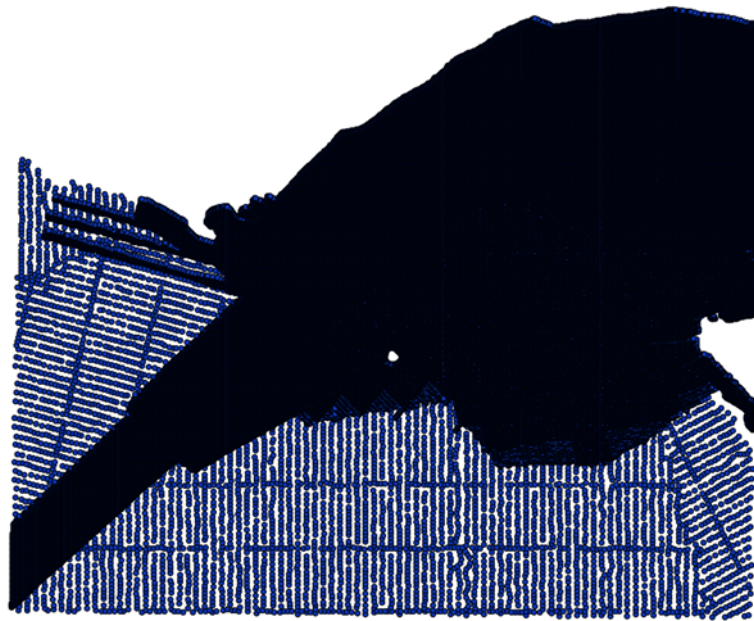


Figura 28 – Visualização dos dados das sondagens fornecidos pelo IH.

No capítulo dois, foi selecionado a interpolação baseada no método do *Inverso da Potência da Distância*. Para obter essa interpolação foi utilizada a ferramenta interpolação de camadas *Raster* na qual foi selecionada $p=6$ (Figura 29). Desse modo, foi criada a camada interpolada da Figura 30.

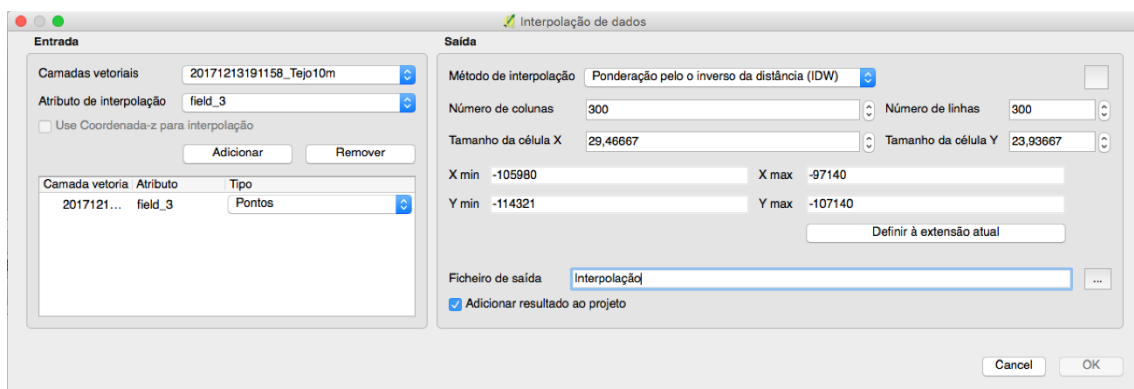


Figura 29 - Interpolação de dados

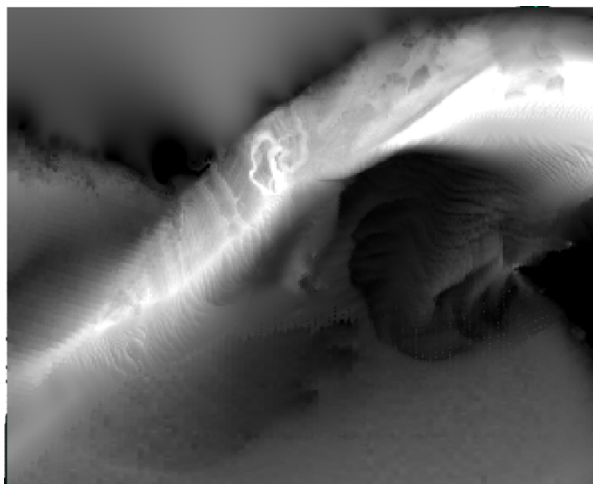


Figura 30 - Interpolação da entrada do Porto de Lisboa

Em seguida foi necessário determinar a batimetria para o navio. Para o caso de estudo, pressupôs-se as seguintes características:

- Calado - 6,7
- Maré – 1,7
- Caimento – 0
- Margem de Resguardo - 0

A interface com o navegador, relativa às zonas de maior e menor batimetria é representada através do esquema de cores referido anteriormente. Assim, é essencial calcular os limites das restrições de cores. Como base de cálculo é utilizada a equação:

$$B = (\text{Batimetria} + \text{maré}) - (\text{calado} + \text{margem de resguardo} + \text{caimento} + \text{Pé de Piloto}).$$

O valor utilizado como base para as diferentes cores é o “Pé de Piloto”. Como é possível ver pela Tabela 7.

$$B = (\text{Batimetria} + 1,7) - (6,7 + 0 + 0 + 1,5)$$

Tabela 7 – Determinação dos Limites da Batimetria.

Parâmetros de Medida	Escala de Cores
$B < 0$ $0 < (Batimetria + 1,7) - (6,7 + 0 + 0 + 1,5)$	Vermelho Batimetria <6,5m
$B \leq 1,5$ $1,5 \leq (Batimetria + 1,7) - (6,7 + 0 + 0 + 1,5)$	Laranja 6,5m > Batimetria ≤ 8m
$B \leq 2 \times 1,5$ $3 \leq (Batimetria + 1,7) - (6,7 + 0 + 0 + 1,5)$	Amarelo 8m > Batimetria ≤ 9,5m
$B \leq 3 \times 1,5$ $4,5 \leq (Batimetria + 1,7) - (6,7 + 0 + 0 + 1,5)$	Verde 9,5m > Batimetria ≤ 11m
$B > 3 \times 1,5$ $4,5 > (Batimetria + 1,7) - (6,7 + 0 + 0 + 1,5)$	Azul Batimetria > 11m

O mapa apresentado ao utilizador tem 5 cores, assumindo que a zona a azul é a mais segura. Para apresentar o mapa dessa forma é necessário classificar a camada da batimetria e para isso são utilizadas as propriedades da camada de forma a definir as cores em intervalos da batimetria (Figura 31).

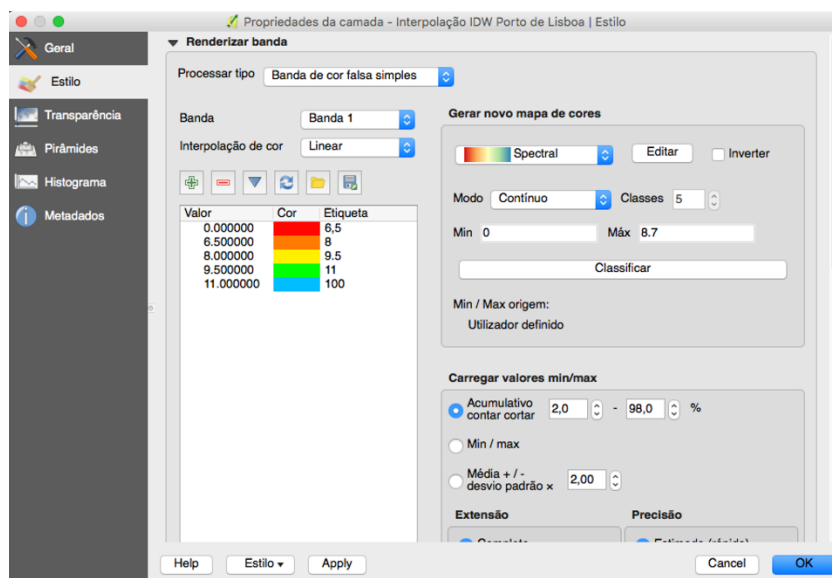


Figura 31 - Classificação da batimetria

O resultado obtido é então um mapa em que os limites entre batimetrias não está visualmente bem definido como se pode observar na Figura 32.

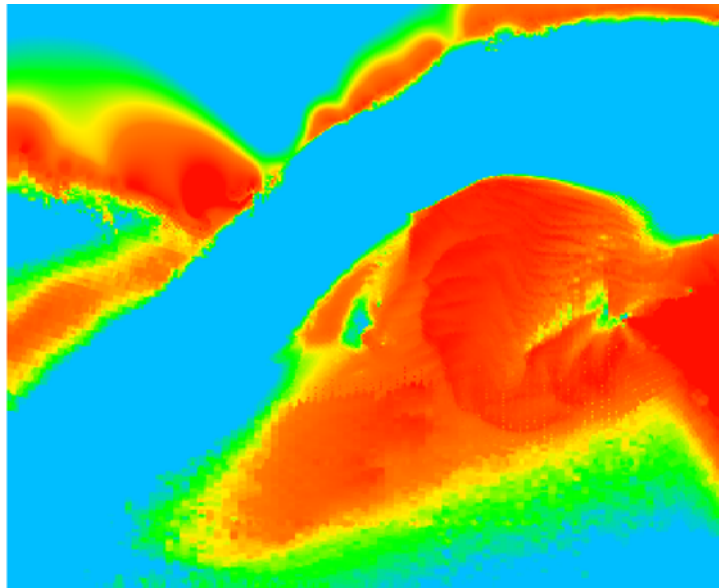


Figura 32 - Batimetria por classificação de cores

Para que os limites entre cores sejam mais perceptíveis, é necessário definir as linhas que unam os pontos de igual batimetria nos limites de cores. A criação das linhas é feita através da ferramenta *contour* na qual são definidos o número de linhas necessárias, neste caso 4 (Figura 33).

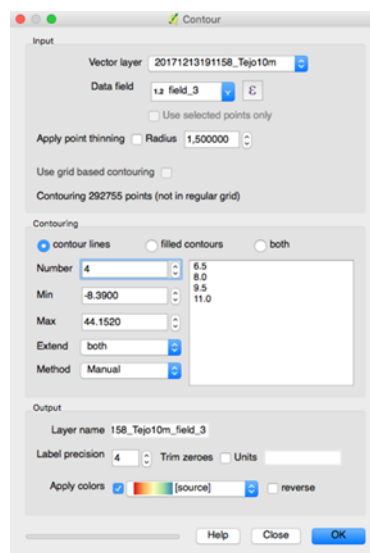


Figura 33 - Ferramenta *Contour*

Como resultado, obtém-se um mapa no qual estão definidos de forma mais clara as zonas de risco referentes à batimetria (Figura 34).

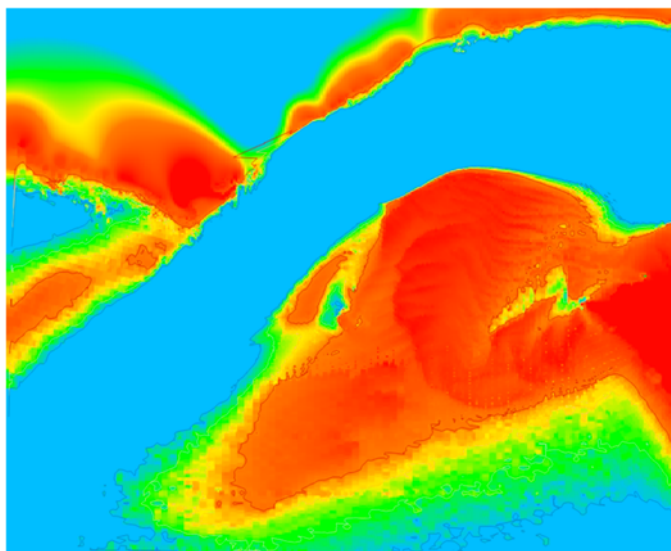


Figura 34 - Mapa classificado pela batimetria

4.2. Seleção da Trajetória

Com a batimetria já classificada, o navegador define a trajetória que considera mais segura com base na informação disponível. Assim, através de cliques com o rato, vai definir os pontos nos quais pretende navegar, desenhando assim a trajetória, que será a união de pontos. Para a seleção de pontos onde passar, é criada uma nova camada onde são adicionados os WP's pelo navegador. Desta forma, o mapa terá agora a configuração da Figura 35.

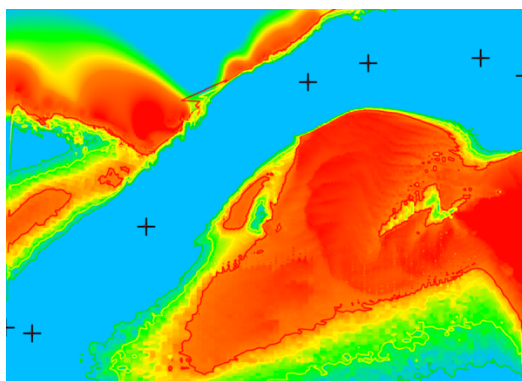


Figura 35 - Mapa com os WP's definidos

A informação referente aos pontos seleccionados está inserida dentro da camada. As coordenadas dos WP's são visualizáveis na tabela de atributos referentes à camada, no entanto, para obter as coordenadas é necessário utilizar ferramentas específicas. Para o efeito tem que se seleccionar a camada e de seguida ir às opções: *Vector* \Rightarrow *Ferramentas de Geometria* \Rightarrow *Exportar/Adicionar Colunas de Geometria* e seleccionar a camada pretendida, obtendo desta forma os valores representados na Tabela 8.

Tabela 8 - Atributos da camada WP's

	WP's	XCOORD	YCOORD
0	WP1	-105985.974...	-112948.092...
1	WP2	-105538.468...	-113045.375...
2	WP3	-103602.520...	-111235.896...
3	WP4	-100849.388...	-108784.344...
4	WP5	-99827.908222	-108463.307...
5	WP6	-97921.145335	-108375.752...
6	WP7	-97172.059915	-108677.332...

A trajetória é criada através da ferramenta *Points2One*. Esta ferramenta une os pontos selecionados por ordem de criação e assim insere uma nova camada (Figura 36).

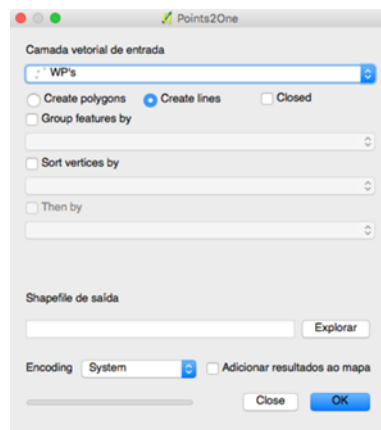


Figura 36 - Criação da trajetória

A camada criada tem então a seguinte interface (Figura 37):

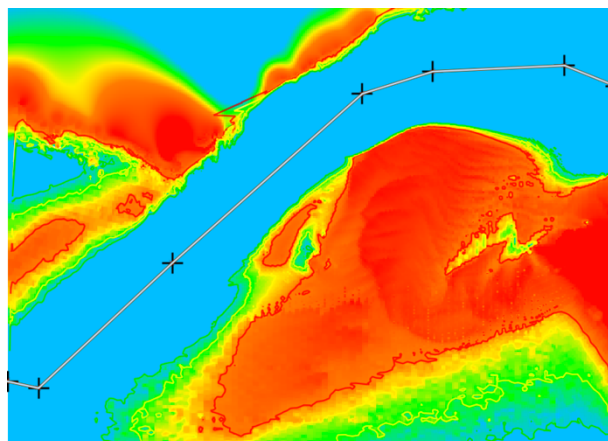


Figura 37 - Definição da trajetória

Após ter sido definida a trajetória, é necessário para a navegação determinar azimutes e distâncias para estimar o tempo de cada pernada¹⁴ e o rumo que deve seguir. Para obter estes dados é utilizada a ferramenta *Azimuth and distance calculator* (Figura 38).

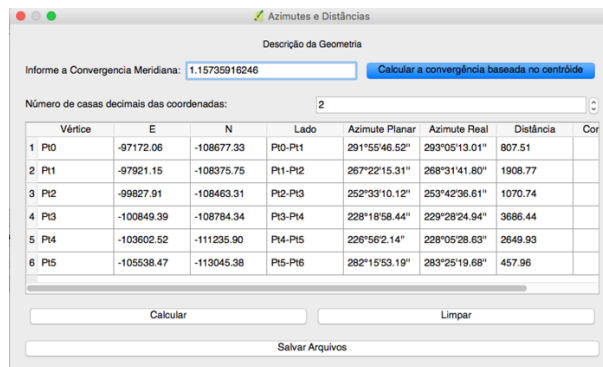


Figura 38 - Ferramenta Azimuth and distance calculator

Esta ferramenta guarda em formato de tabela os dados referentes à trajetória (Tabela 9).

Tabela 9 – Dados relativos à trajetória

MEMORIAL DESCRITIVO SINTÉTICO						
VÉRTICE	COORDENADAS		LADO	AZIMUTES		DISTÂNCIA (m)
	E	N		PLANO	REAL	
Pt0	-97172.06	-108677.33	Pt0-Pt1	291°55'46.52"	293°05'13.01"	807.51
Pt1	-97921.15	-108375.75	Pt1-Pt2	267°22'15.31"	268°31'41.80"	1908.77
Pt2	-99827.91	-108463.31	Pt2-Pt3	252°33'10.12"	253°42'36.61"	1070.74
Pt3	-100849.39	-108784.34	Pt3-Pt4	228°18'58.44"	229°28'24.94"	3686.44
Pt4	-103602.52	-111235.90	Pt4-Pt5	226°56'2.14"	228°05'28.63"	2649.93
Pt5	-105538.47	-113045.38	Pt5-Pt6	282°15'53.19"	283°25'19.68"	457.96

4.3. Largura do Canal

A determinação da largura do canal tem como base a trajetória do navio e a isobatimétrica definida. O comprimento mínimo entre a perpendicular à trajetória e a interseção com a isobatimétrica, estabelecida como a dos 11 metros, irá definir a largura do canal na pernada em questão. Para a determinação da zona mais estreita do canal é decomposta a linha da trajetória e isobatimétrica em vários pontos e, em seguida são criadas as linhas que unem os pontos da trajetória aos pontos mais próximos da isobatimétrica.

Para criar a trajetória e as isobatimétricas em pontos é utilizada a ferramenta *SAGA* ⇒ *Convert Lines to Points* (Figura 39).

¹⁴ Trajetória entre dois WP's

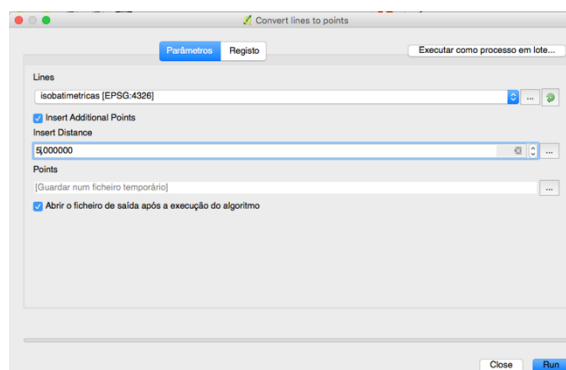


Figura 39 - Ferramenta *Convert Lines to Points*

O resultado obtido são camadas compostas por conjuntos de pontos espaçados 5 metros (Figura 40).

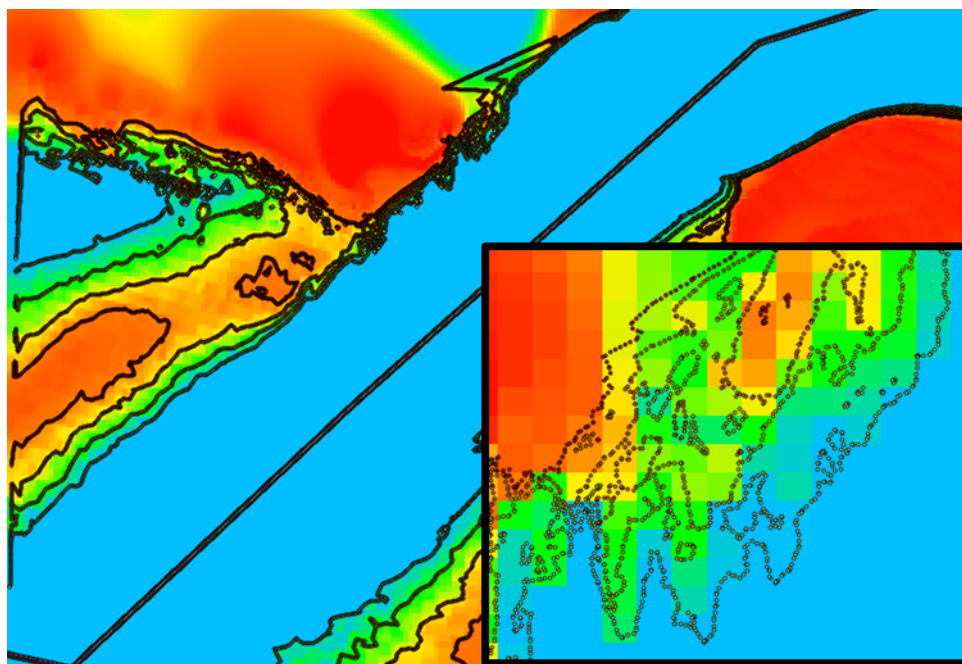


Figura 40 - Mapa com a conversão das linhas em pontos

A determinação da distância entre a trajetória e o ponto da isobatimétrica mais próximo é efetuado através da ferramenta *Distance to nearest hub* (Figura 40).

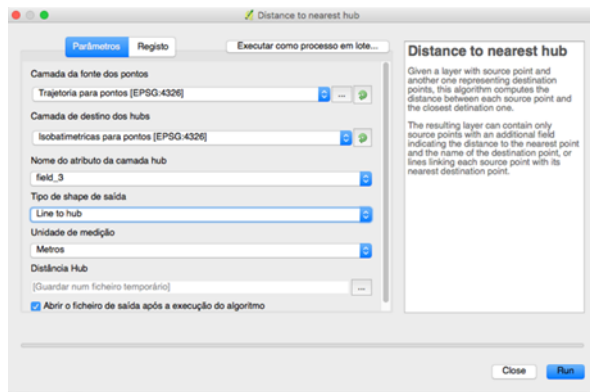


Figura 41 - Ferramenta *Distance to nearest hub*

Esta ferramenta cria linhas a unir os pontos mais próximos. É possível então, ver a tabela das distâncias para determinar as zonas com maior risco no canal, usando a tabela de atributos da camada criada (Figura 42).

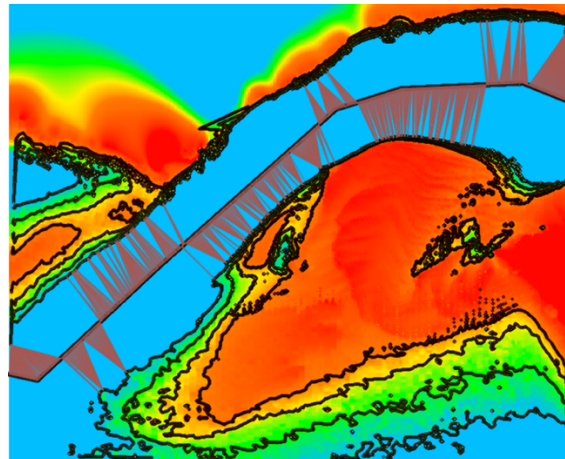


Figura 42 - Mapa com a determinação da largura do canal

4.4. *Layout* inicial

Como resultado final, antes de se iniciar a navegação, o utilizador terá o seu planeamento traçado com um interface de cores e linhas para dar informação das zonas de menor batimetria e largura do canal (Figura 43).

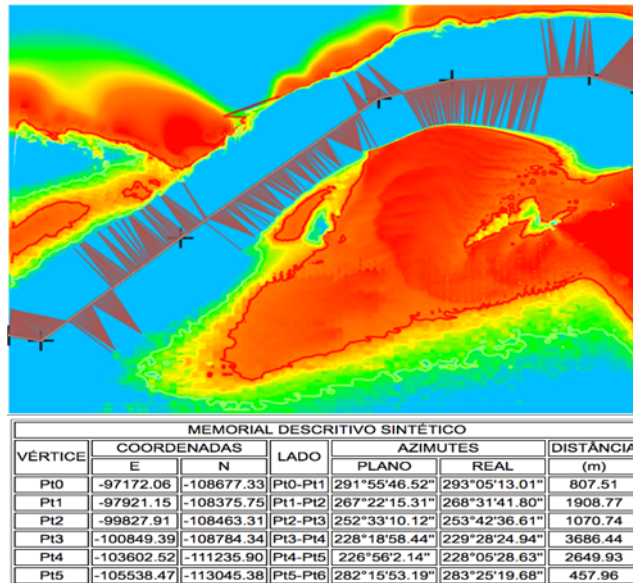


Figura 43 - Mapa apresentado ao utilizador para iniciar a navegação

4.5. Interface com o utilizador

O desenho da interface com o utilizador é fase muito importante pois será a forma do utilizador, contribuir para a construção da ferramenta que irá utilizar, devendo esta ser simples de usar, intuitiva e de fácil aprendizagem.

Suportado pelo *SCRUM*, a metodologia de desenvolvimento adotada, irá ser realizado um *sprint* com vista ao desenvolvimento do artefacto especificado nas seções anteriores (bem como, as opiniões obtidas dos utilizadores no inquérito analisado no capítulo 5).

Assim, a interface gráfica deverá apresentar:

- Botão para inserir os dados do navio;
- Botão com a lista dos portos em que o programa possa ser utilizado;
- Botão para seleccionar quais os fatores que pretende ser informado;
- Botão para iniciar a navegação;
- Mapa
- Quadro informativo

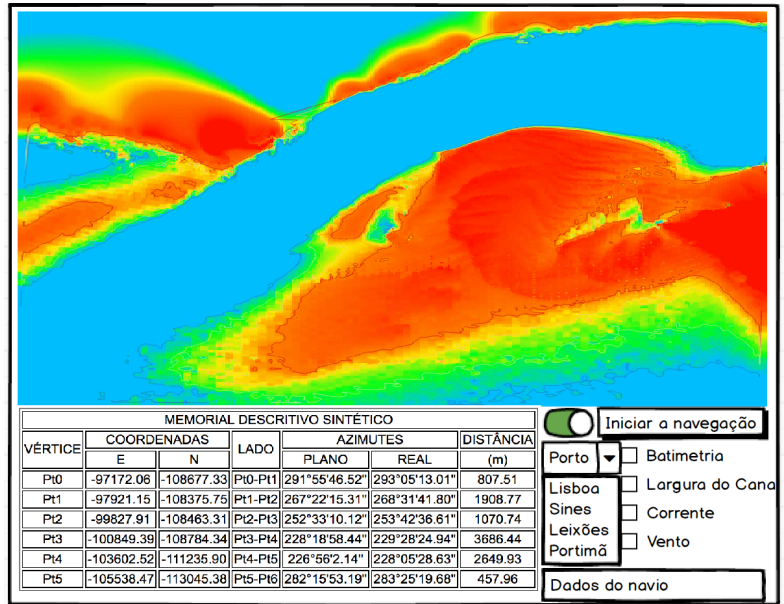


Figura 44 - Interface com o utilizador



Análise de Resultados

Capítulo 5

- ❖ Validação dos Resultados
- ❖ Caracterização do Inquérito
- ❖ Interpretação das respostas
- ❖ Análise das questões derivadas
- ❖ Análise pormenorizada de cada questão



Capítulo 5 – Análise dos Resultados

5.1 Validação dos Resultados

A investigação e desenvolvimento desta dissertação foi suportada pela metodologia DSR, com uma etapa final do ciclo, de avaliação dos resultados. Esta etapa consiste em verificar se o artefacto produzido cumpre os requisitos propostos e dá resposta às questões de investigação formuladas. Desta forma, os resultados obtidos deverão permitir responder às questões derivadas formuladas na secção de *Introdução*:

Para fazer a verificação dos resultados, poderia ser sido efetuada uma validação do artefacto, no terreno através de peritos em navegação e gestão portuária. No entanto, por ser mais operacional, optou-se por um inquérito, recolhendo respostas de uma amostra composta por indivíduos com diversos tipos de experiência em navegação. Foram recolhidas um total 40 respostas. Devido á população da amostragem algumas das respostas podem apresentar divergências o que se reflete pela experiencia e formação em navegação.

5.2 Caracterização do Inquérito

O inquérito (ver anexo B) foi construído *on-line* e submetido a uma população não aleatória composta por indivíduos com diversos tipos de experiência em navegação, idades e profissões.

O questionário era constituído por 5 secções:

- Introdução
- Dados demográficos do utilizador
- Relevância da informação para o utilizador
- Usabilidade do sistema de navegação
- Avaliação global

A secção inicial do inquérito pretendeu ser uma introdução, informando o inquirido do contexto e objetivos do questionário. A segunda secção, *Dados demográficos do utilizador*,

teve como objetivo caracterizar o inquérito e determinar o nível de experiência em navegação dos inquiridos, solicitando respostas sobre o tipo de navios que o inquirido navegou e a sua formação.

A secção denominada *Relevância da informação para o utilizador*, prendeu, com a informação que o inquirido considerava de maior relevância no contexto da navegação em águas restritas, responder a questões derivadas (2ª e 3ª). A secção seguinte, *Usabilidade do sistema de navegação*, pretendeu responder à primeira questão derivada e perceber qual a informação que o utilizador considerava mais relevante. Por fim, a quinta secção pretendeu fazer uma avaliação global e desta forma responder à quarta questão derivada.

5.3 Interpretação das respostas

5.3.1 Dados Demográficos

O presente questionário foi efetuado a uma amostra de indivíduos com formação marinheira, tendo como objetivo aferir se o artefacto para navegação em águas restrito, reunia um conjunto de qualidades técnicas.

Para caracterizar a amostra, relativamente à formação e experiência em navegação foram colocadas diversas questões. 75% dos inquiridos reponderam ter formação em marinharia, realçando-se a existência de 30% com Carta de Patrão de Alto mar ou equivalente (Figura 45).

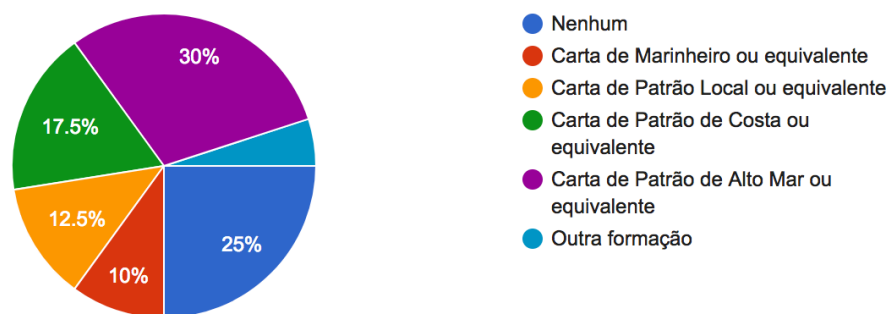


Figura 45 - Respostas à questão - Certificado de formação mais elevado em navegação?

Por forma a caracterizar os inquiridos foram também, colocadas questões relativas à experiência. Havendo 25% dos inquiridos da Figura 45 nunca terem tido formação em navegação, 17,5% afirmaram nunca terem efetuado um planeamento de entrada de um porto (Figura 46) ou nunca terem tomado conta de um navio (Figura 47).

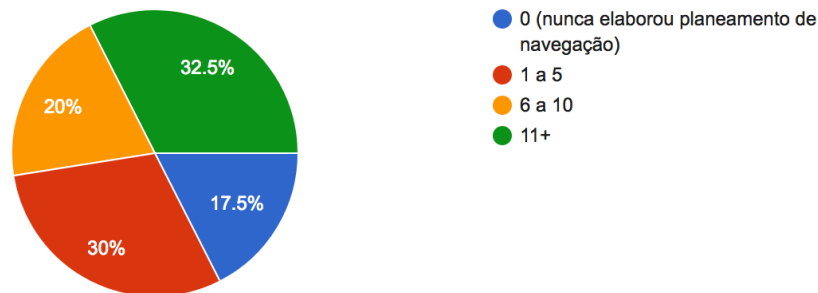


Figura 46 - Respostas à questão - Número de planeamentos de navegação com entrada em portos elaborados?

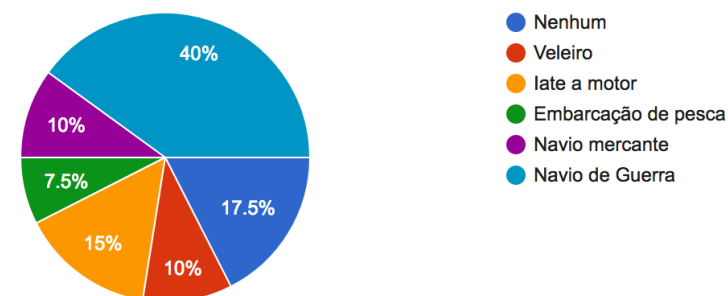


Figura 47 - Respostas à questão - Tipo de navio que manobrou?

Os inquiridos apresentam diversos níveis de conhecimento e experiência de navegação (Figura 48). Desta forma é possível que tenham sensibilidade para avaliar o artefacto.

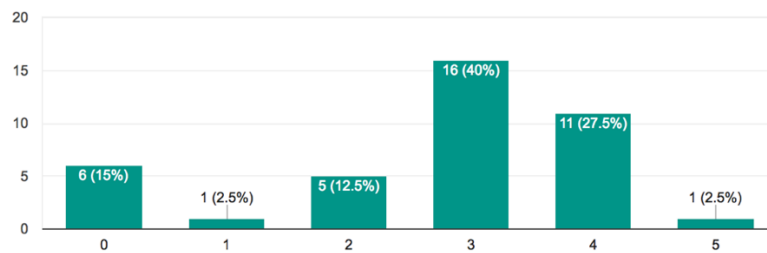


Figura 48 - Respostas à questão - Grau de experiência em navegação?

5.3.2 Relevância da informação para o utilizador

Nesta secção do inquérito os resultados obtidos tiveram como objetivo determinar a pertinência do estudo bem como da abordagem seguida. Para perceber a receptividade por parte dos inquiridos foram colocadas questões no âmbito da utilidade da ferramenta desenvolvida e se a informação fornecida seria útil, adaptada a cada navio. Dos inquiridos 65% avaliaram com 5 (*extremamente útil*) (Figura 49).

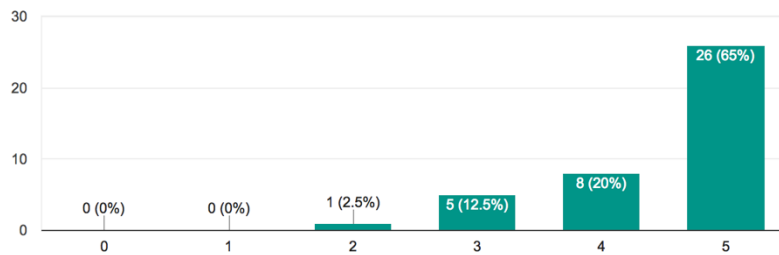


Figura 49 - Respostas à questão - Importância dos dados sobre os fatores externos serem adaptados às características do navio? (Exemplo: as águas navegáveis serem calculadas com base no calado, superestrutura, etc., do navio.)

No que refere à utilidade do artefacto, 70% avaliou com 5 a utilidade da mesma (Figura 50).

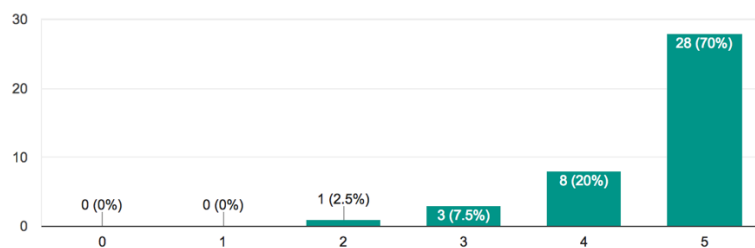


Figura 50 - Respostas à questão - Utilidade de dispor de uma ferramenta que informe o navegador sobre a influência de fatores externos na situação de risco do navio?

Desta forma, através da amostra conclui-se que, para os inquiridos do estudo é muito pertinente ferramentas de apoio à navegação.

5.3.3 Usabilidade do sistema de navegação

Nesta secção do questionário o objetivo foi compreender de que forma eram interpretados os mapas e se a abordagem seguida tinha sido perceptível. Foram colocadas imagens com diversas soluções de trajetórias possíveis bem como de áreas selecionadas com maior e menor perigo. Pela amostra foi possível concluir que, apesar de parte dos inquiridos não ter experiência em navegação, a partir dos mapas apresentados souberam distinguir as zonas de maior perigo definidas pela gradação de cores. Foram apresentadas diversas trajetórias definidas num mapa com zonas de maior e menor perigo representadas pelas cores vermelho (mais próximo do perigo) e azul (mais distante do perigo). Os inquiridos selecionaram de forma unanime a resposta (Figura 51).

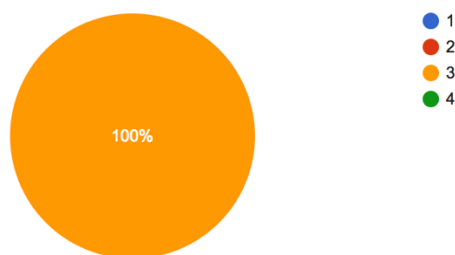


Figura 51 - Respostas à questão - Qual o trajeto de pontos considerado mais seguro, tendo em conta a batimetria do local?

Relativamente à interpretação do mapa, tendo em conta o perigo definido como sendo a largura do canal, as respostas obtidas permitiram concluir que 75% dos inquiridos respondeu corretamente (Figura 52).

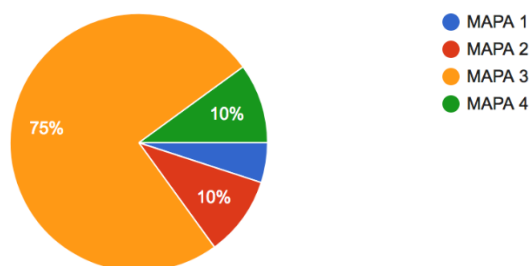


Figura 52 - Respostas à questão - Qual o canal com o trajeto de navegação mais seguro, tendo em conta a largura do canal?

5.3.4 Avaliação global do Sistema

Na quinta secção o objetivo pretendido era avaliar o artefacto e determinar se seria útil para a navegação. Estas questões usaram respostas múltiplas numa escala de Likert de 0 a 5. Da amostra foram obtidas 87,5% respostas entre os valores 4 e 5, quanto à utilidade do sistema apresentado (Figura 53).

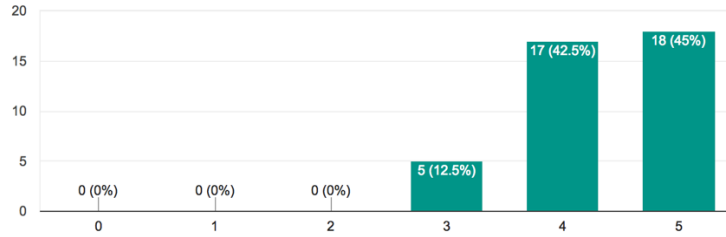


Figura 53 - Respostas à questão - Classifique a utilidade de um sistema como o mencionado, para o auxílio à tomada de decisão na navegação?

No âmbito do planeamento da navegação o sistema foi avaliado com 85% das respostas entre 4 e 5 (Figura 54).

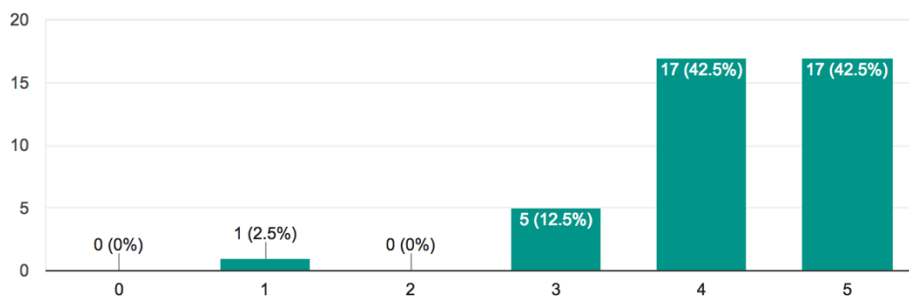


Figura 54 - Respostas à questão - Classifique um sistema que apresentasse a informação mencionada, para efeitos de planeamento da navegação portuária?

Assim, analisando as respostas obtidas, a opinião dos inquiridos vai no sentido de que o sistema fornece informação útil e necessária, de uma forma clara e simples, para qualquer tipo de utilizador.

Através do inquérito é possível também aperfeiçoar determinados aspetos, tais como a forma como os vetores são dispostos, a forma de apresentação da interface, a ligação entre os mapas gerados e o mapa principal, entre outras recomendações.

5.4 Análise das questões derivadas

Um dos objetivos do inquérito era o de validar as questões derivadas colocadas inicialmente, através das respostas dos inquiridos. Apresentam-se em seguida as questões derivadas, agrupadas com as questões colocadas no inquérito, diretamente relacionadas. Para a validação foram realizados testes de hipóteses, cujos resultados estão presentes na Tabela 10.

QD1 - Contribuirá o mapa de risco relativo ao canal de navegação para a melhor seleção da trajetória a navegar?



- Relevância de dispor de dados sobre o rumo e distância em cada troço da trajetória?
- Classifique um sistema que apresentasse a informação mencionada, para efeitos de planeamento da navegação portuária?

QD2 - Quais os fatores de natureza ambiental (e.g. corrente, vento, profundidade, largura do canal, etc.) e de natureza estrutural do navio (e.g. calado, boca, superestrutura, manobrabilidade, etc.) que contribuem para o aumento do risco de navegação em águas restritas?

- Qual o fator externo que mais influencia a navegação?
- Importância dos dados sobre os fatores externos serem adaptados às características do navio? (Exemplo: as águas navegáveis serem calculadas com base no calado, superestrutura, etc., do navio.)

QD3 - Qual a ponderação dos fatores acima referidos, na determinação, do mapa de riscos específicos para um navio que percorra o canal de navegação?

- Utilidade de dispor de uma ferramenta que informe o navegador sobre a influência de fatores externos na situação de risco do navio
- Classifique a relevância da disponibilidade de sistemas de informação para gerir a interação dos fatores exteriores na navegação?

QD4 - Qual o contributo dos mapas de riscos obtidos, como representação dos perigos efetivos para um navio particular que navegue no canal portuário?

- Classifique a utilidade de um sistema como o mencionado, para o auxílio à tomada de decisão na navegação?
- Classifique a qualidade da interface gráfica de um sistema que fornecesse a informação mencionada, para controlo do risco de navegação em águas restritas?

Como variável aleatória X da distribuição amostral, foi considerada a resposta a questões, com valores situados no intervalo de 0 (fraco) a 6 (muito bom). Pretendeu testar, se se podia generalizar à população, a opinião média das respostas obtidas na amostra de

inquiridos, relativamente a cada uma das questões. Para todas os testes de hipóteses, considerou-se:

- $H_0: X \leq 3$
- $H_1: X > 3$

A Tabela 10 possui os dados relevantes, designadamente, o quantitativo de respostas dos inquiridos, a respetiva percentagem, e os valores que nos permitem dar resposta à rejeição ou não de H_0 (*valor t e t crítico*). Estes valores foram obtidos através do Teste t^{15} , com média e variância da população desconhecida. Os testes possuem uma região crítica, que permite rejeitar a hipótese nula para todas as questões do inquérito e, conseqüentemente para as questões derivadas.

Conclui-se assim que, segundo as amostras, as respostas obtidas, não permitem rejeitar a resposta afirmativa a todas as questões derivadas colocadas.

Tabela 10 - Resultado dor inquérito referente às questões derivadas

Grau de avaliação	Questões Derivadas							
	Q.D-1		Q.D-2	Q.D-3		Q.D-4		
	Secção-2;Questão-5	Secção-5;Questão-3	Secção-2;Questão-3	Secção-2;Questão-6	Secção-5;Questão-4	Secção-5;Questão-1	Secção-5;Questão-2	
0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	1	0	0	0	0	0	
2	1	0	1	1	1	0	0	
3	5	5	5	3	4	4	5	
4	7	17	8	8	18	17	19	
5	27	17	26	28	18	18	16	
Total	40	40	40	40	40	40	40	
Média	4,5	4,225	4,475	4,575	4,35	4,325	4,275	
Variância	0,666666667	0,742948718	0,666025641	0,558333333	0,438461538	0,481410256	0,460897436	
Observações	40	40	40	40	40	40	40	
Hipótese de média	3	3	3	3	3	3	3	
gl	39	39	39	39	39	39	39	
Stat t	11,61895004	8,988488468	11,43079777	13,33103214	12,89430719	12,07781031	11,87785541	
P(T<=t) uni-caudal	1,54789E-14	2,39606E-11	2,54101E-14	2,08569E-16	6,04776E-16	4,70931E-15	7,88371E-15	
t crítico uni-caudal	1,684875122	1,684875122	1,684875122	1,684875122	1,684875122	1,684875122	1,684875122	
P(T<=t) bi-caudal	3,09578E-14	4,79211E-11	5,08202E-14	4,17138E-16	1,20955E-15	9,41862E-15	1,57674E-14	
t crítico bi-caudal	2,02269092	2,02269092	2,02269092	2,02269092	2,02269092	2,02269092	2,02269092	

Com os resultados obtidos nas amostras tencionou-se validar o estudo desenvolvido como uma ferramenta capaz, útil e intuitiva de auxiliar o navegador.

¹⁵ Atendendo à dimensão da amostra (em que n assume valores acima de 30), o teste t aproxima-se ao teste z , adotando uma distribuição normal.

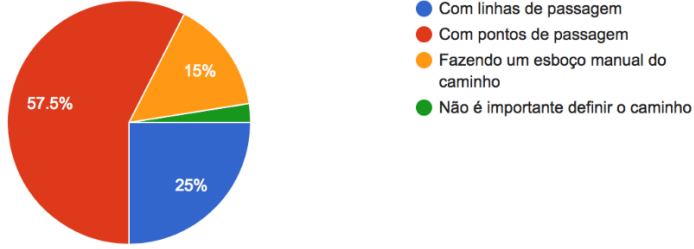
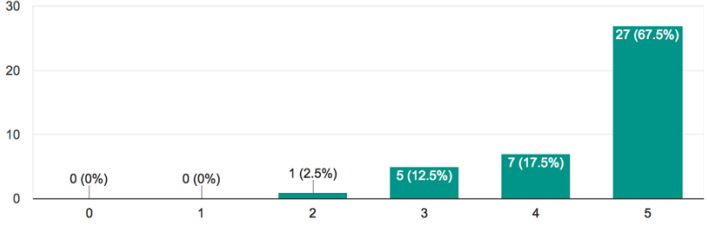
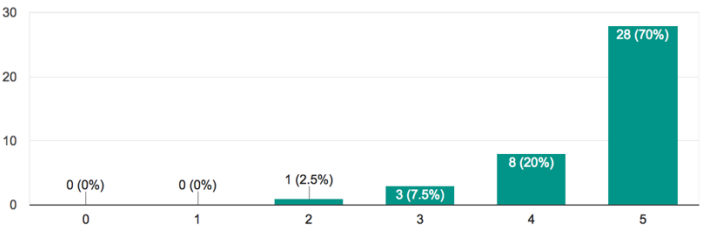


5.5 Análise pormenorizada de cada questão

5.5.1 Secção 3

Relevância da informação para o utilizador

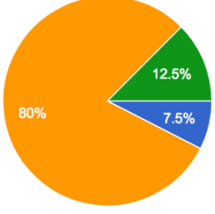
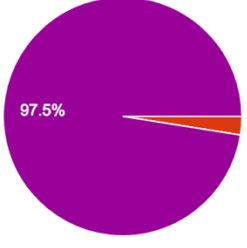
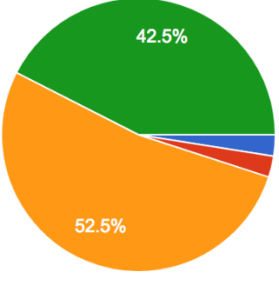
<p> <ul style="list-style-type: none"> Navegação oceânica Navegação em águas restritas Navegação costeira Todas </p>	<p>Questão 1-Qual o tipo de navegação com maior risco?</p> <p><u>Análise</u>- O tipo de navegação com maior risco está de acordo com a zona de estudo.</p>
<p> <ul style="list-style-type: none"> Vento Corrente Batimetria Largura do Canal Tráfego Visibilidade Todos têm a mesma influência Depende da situação particular </p>	<p>Questão 2 - Qual o fator externo que mais influencia a navegação?</p> <p><u>Análise</u>—As respostas vão de encontro ao caso de estudo. Cada situação é particular daí ser necessário abordar todos os fatores para avaliar em determinada situação a que coloca num perigo maior.</p>
<p> <ul style="list-style-type: none"> 0 (0%) 1 (0%) 2 (2.5%) 3 (12.5%) 4 (20%) 5 (65%) </p>	<p>Questão 3-Importância de os dados sobre os fatores externos serem adaptados às características do navio? (Exemplo: as águas navegáveis serem calculadas com base no calado, superstrutura, etc., do navio.)</p> <p><u>Análise</u>—85% dos indivíduos cotaram entre 4 e 5 a importância de os fatores externos serem adaptados ao navio em questão, o que remete para a abordagem do problema.</p>

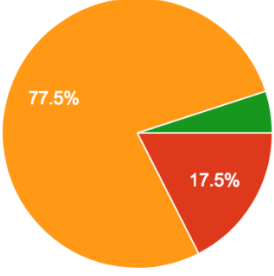
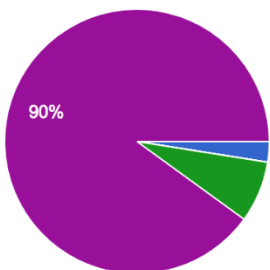
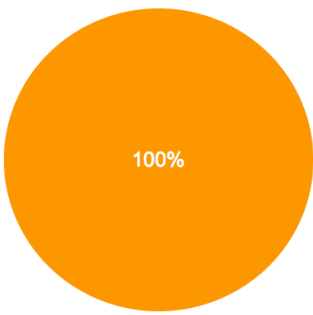
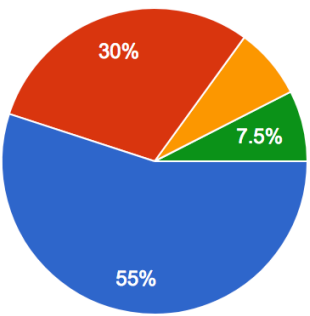
 <p> ● Com linhas de passagem ● Com pontos de passagem ● Fazendo um esboço manual do caminho ● Não é importante definir o caminho </p>	<p>Questão 4-Como definir na carta, o caminho a seguir pelo navio?</p> <p><u>Análise</u>—A questão da definição de linhas ou pontos é ambígua uma vez que os pontos iram gerar linhas.</p>
	<p>Questão 5-Relevância de dispor de dados sobre o rumo e distância em cada trecho da trajetória</p> <p><u>Análise</u>—85% das respostas denotaram a importância dos dados referidos para a navegação.</p>
	<p>Questão 6-Utilidade de dispor de uma ferramenta que informe o navegador sobre a influência de fatores externos na situação de risco do navio</p> <p><u>Análise</u>—70% das respostas consideram como avaliação máxima a utilidade de uma ferramenta com as características do presente estudo</p>



5.5.2 Secção 4

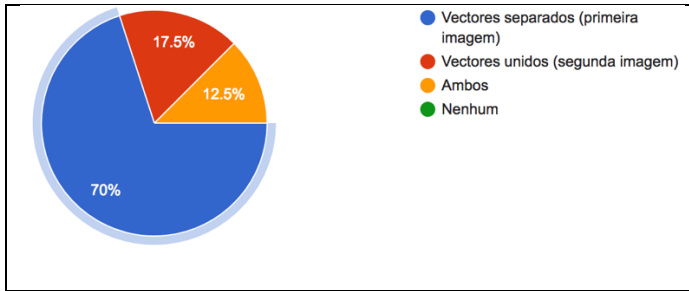
Usabilidade do sistema de navegação

 <ul style="list-style-type: none"> ● Método numérico (os algarismos de 1 (menor) a 5 (maior) classificam o risco) ● Método alfabético (as letras A a (menor) a E (maior) classificam o risco) ● Método de cores (a gradação de cores de clara (menos) a escura (m...) ● Método de vetores (a dimensão de menor a maior classifica proporcion... 	<p>Questão 1-Qual o método que considera mais adequado para informar o utilizador de possíveis riscos para a navegação?</p> <p><u>Análise</u>—O método preferencial dos inquiridos foi o de cores com 80% das respostas.</p>
 <ul style="list-style-type: none"> ● Verde ● Laranja ● Azul ● Amarelo ● Vermelho 	<p>Questão 2-Com o método de cores qual considera a que representa o maior risco?</p> <p><u>Análise</u>—Apenas uma das respostas foi diferente das restantes, possivelmente por distração sendo a cor conotada como mais perigosa, a vermelha.</p>
 <ul style="list-style-type: none"> ● Vermelho ● Amarelo ● Azul ● Verde ● Laranja 	<p>Questão 3-Com o método de cores qual considera a que representa o menor risco?</p> <p><u>Análise</u>—Nesta questão as respostas foram divididas entre o verde e o azul o que remete para a necessidade da clarificação do método de cores.</p>

 <ul style="list-style-type: none"> ● 1 ● 2 ● 3 ● Todas 	<p>Questão 4-Qual considera ser a imagem que dá uma melhor percepção das zonas seguras para navegar?</p> <p><u>Análise</u>-No encadeamento das questões, as respostas foram de encontro ao mapa com a gradação de cores, tendo o mapa produzido 77,5% das respostas.</p>
 <ul style="list-style-type: none"> ● Vermelha ● Laranja ● Amarela ● Verde ● Azul 	<p>Questão 5-Qual considera ser a cor que representa a zona mais segura para navegar, na seguinte entrada de um porto?</p> <p><u>Análise</u>-Nesta questão as dúvidas relativamente ao método de cores foram menores, apenas 10% não respondeu a cor azul.</p>
 <ul style="list-style-type: none"> ● 1 ● 2 ● 3 ● 4 	<p>Questão 6-Qual o trajeto de pontos considerado mais seguro, tendo em conta a batimetria do local?</p> <p><u>Análise</u>-Através da unanimidade da resposta é conclusivo que o mapa apresentador é perceptível e auxilia o navegador a definir a trajetória com menor proximidade ao perigo.</p>
 <ul style="list-style-type: none"> ● 1 ● 2 ● Ambas ● Nenhuma 	<p>Questão 7-Com base na imagem, qual a zona que considera de maior risco?</p> <p><u>Análise</u>-Esta questão insere-se na abordagem da passagem de informação para o utilizador, o que neste caso não foi conseguida.</p>



<p> ● MAPA 1 ● MAPA 2 ● MAPA 3 ● MAPA 4 </p>	<p>Questão 8-Qual o canal com o trajeto de navegação mais seguro, tendo em conta a largura do canal?</p> <p><u>Análise</u>-75% selecionou o mapa correto no entanto, é necessário colmatar a falha dos 25%.</p>																					
<p> ● 1 e 5 ● 4 e 7 ● 4 e 6 ● 3 e 5 </p>	<p>Questão 9-Quais as colunas que definem o trajeto a seguir e o respetivo rumo?</p> <p><u>Análise</u>-Nesta questão foram apresentadas diversas colunas com informação o que pelas respostas, revelam ser pouco clara a transmissão.</p>																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>Frequência</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>6</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>34</td> <td>85%</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	Frequência	Porcentagem	0	0	0%	1	0	0%	2	0	0%	3	0	0%	4	6	15%	5	34	85%	<p>Questão 10-Considera relevante o cálculo da força aplicada pelo vento e corrente no navio?</p> <p><u>Análise</u>-Segundo a amostra releva-se de extrema importância o cálculo da força do vento e corrente no navio.</p>
Resposta	Frequência	Porcentagem																				
0	0	0%																				
1	0	0%																				
2	0	0%																				
3	0	0%																				
4	6	15%																				
5	34	85%																				
<p> ● Muito perceptível ● Deveria ser em formato de valores ● Deveria ser apenas informação num quadro a parte ● Deveria ser noutra formato </p>	<p>Questão 11-Considera perceptível a utilização de vetores para representar o efeito do vento e da corrente sobre o navio?</p> <p><u>Análise</u>-O método apresentado foi o de vetores, com 80% a considerar muito perceptível este método.</p>																					

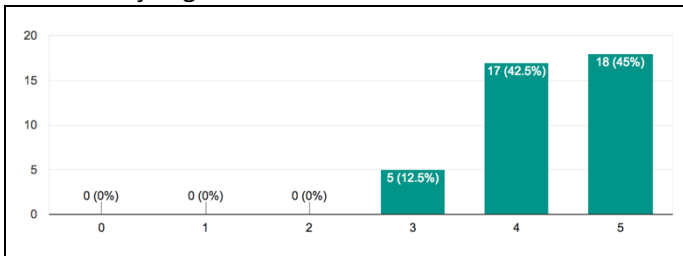


Questão 12-Qual dos formatos considera ser o mais perceptível para interpretação da influência do vento e da corrente sobre o navio?

Análise—A imagem apresentada vai de encontro a 70% das respostas dos inquiridos.

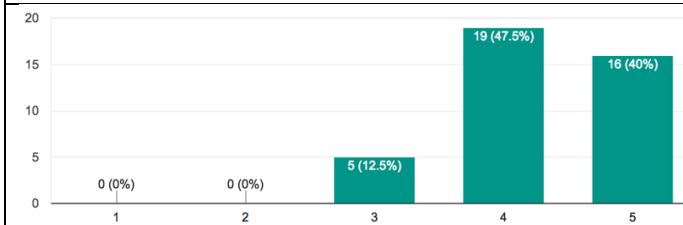
5.5.3 Secção 5

Avaliação global do Sistema



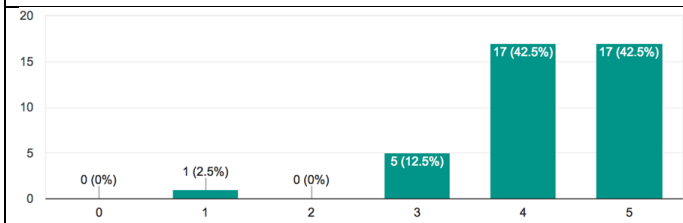
Questão 1-Classifique a utilidade de um sistema como o mencionado, para o auxílio à tomada de decisão na navegação?

Análise—Pelos inquiridos, o sistema foi considerado muito útil com 87,5% das respostas 4 e 5.



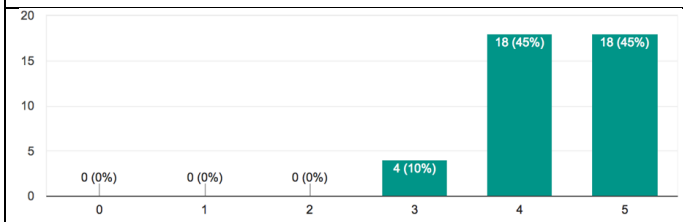
Questão 2-Classifique a qualidade da interface gráfica de um sistema que fornecesse a informação mencionada, para controlo do risco de navegação em águas restritas?

Análise — O interface foi classificado com 87,5% das respostas entre 4 e 5 concluindo que é perceptível.



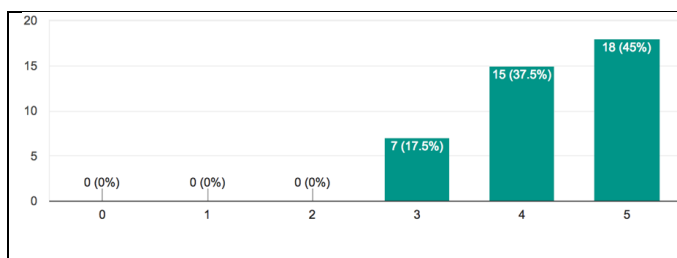
Questão 3-Classifique um sistema que apresentasse a informação mencionada, para efeitos de planeamento da navegação portuária?

Análise—Para os inquiridos o sistema é relevante, tendo 85% das respostas o valor de 4 e 5 equitativamente.



Questão 4-Classifique a relevância da disponibilidade de sistemas de informação para gerir a interação dos fatores exteriores na navegação?

Análise—O sistema para a população classificou-se como relevante com 90% das respostas entre o 4 e 5.



Questão 5-Classifique a relevância da utilização de um sistema de informação noutras áreas de navegação?

Análise—Esta questão obteve respostas entre 3 e 5 sendo que o valor 5 teve um total de 45% das respostas.



Conclusão

❖ Trabalho desenvolvido

❖ Trabalho Futuro



Conclusão

Neste capítulo é feita uma retrospectiva do trabalho desenvolvido com base nas questões levantadas inicialmente e que funcionaram como linha condutora do mesmo.

Trabalho desenvolvido

O trabalho desenvolvido teve como objetivo criar uma ferramenta que produza mapas de risco para o auxílio à navegação, adaptados a cada navio e às margens de segurança solicitadas pelo navegador.

Ao longo das pesquisas e desenvolvimento do modelo, as linhas de trabalho definidas inicialmente foram sendo gradualmente modificadas, algumas vezes redefinidas e outras solidificadas com base em ferramentas existentes e na necessidade dos possíveis utilizadores. Assim sendo, as questões secundárias permitiram abordar pormenores e aprofundar determinados campos. Com o tratamento dos dados, as questões secundárias foram respondidas.

Questão Principal

- **“É possível conceber e implementar um método capaz de auxiliar o navegador na tomada de decisão e deste modo, mitigar o risco de acidente associado às zonas portuárias de maior perigo?”**

O cerne deste projeto prende-se com o auxílio à navegação que é efetivado com a produção de mapas de risco para o canal a navegar.

Os mapas de risco têm dois momentos. O momento em que é produzido o mapa onde irá ser definida a trajetória do navio com base na gradação de cores, que define as zonas em que existe maior batimetria adaptada às características do navio (Figura 34). O segundo momento é após a seleção dos WP's com base no mapa anterior. A partir deste momento é desenhada a trajetória e, como auxílio, é apresentada uma tabela com os azimutes e distância entre cada ponto definido e as zonas costeiras mais próximas em cada momento do trajeto

(Figura 43).

É desta forma, que o risco de encalhe é mitigado através de toda a informação fornecida ao utilizador relativa às zonas em que influências externas (batimetria, largura do canal, corrente e vento) podem colocar a embarcação mais próxima de ocorrer um acidente.

Questões Secundárias

- **“Contribuirá o mapa de risco relativo ao canal de navegação para a melhor seleção da trajetória a navegar?”**

Pelo estudo desenvolvido o utilizador quando define a trajetória usa como locais a evitar as zonas com menor batimetria e em que o canal é mais estreito, o que dificulta a manobra em caso de perigo. Assim, como modelo inicial é apresentado um mapa com a classificação da batimetria. Após a seleção dos pontos de passagem é produzida a trajetória e as zonas em que o canal é mais estreito, informando o bordo e a zona onde existem menos águas navegáveis. Com base nestas informações e caso seja necessário o utilizador redefine a trajetória para um percurso que considere mais confortável para navegar (Figura 42).

Através das amostras do inquérito apresentado no capítulo anterior, os inquiridos revelaram útil o artefacto, na medida em que através do mapa produzido especificamente para o navio conseguiam seleccionar a zona menos perigosa segundo os fatores analisados e assim, a trajetória mais distante do perigo.

- **“Quais os fatores de natureza ambiental (e.g. corrente, vento, profundidade, largura do canal, etc.) e de natureza estrutural do navio (e.g. calado, boca, superestrutura, manobrabilidade, etc.) que contribuem para o aumento risco de navegação em águas restritas?”**

Após a análise e ao contrário do pressuposto inicialmente, não existem fatores que de uma forma global contribuam mais para colocar a embarcação numa situação de perigo. Os fatores são adaptados às características do canal e do navio e todos combinados definem, para uma determinada posição, quais os fatores que iram colocar a embarcação em perigo. Como exemplo, numa zona em que o canal é mais estreito e em que não existe influência significativa da corrente e do vento, a cor vermelha definida como de maior influência estará presente nas linhas que unem a trajetória à margem mais próxima.

Deste modo, é com base na influência e interpelação dos fatores de natureza ambiental e estrutural do navio que são calculados e apresentados os mapas de risco.



Para solidificar esta questão, foram, no inquérito cuja análise é apresentada no capítulo anterior, colocadas questões que visavam compreender quais os fatores que colocariam mais próximo do perigo o navio, à qual foi respondido pela maioria dos inquiridos que dependia da situação o que torna o estudo uma mais valia para a navegação.

- **“Qual a ponderação dos fatores acima referidos, na determinação em tempo real, do mapa de riscos específicos para um navio que percorra o canal de navegação?”**

Antes de começar a navegação é necessário produzir um mapa que informe o utilizador de fatores estáticos (características do canal tais como: a batimetria e a largura do canal) no entanto, ao longo da trajetória a embarcação pode sair fora da linha definida como trajetória e desta forma é recalculada a distância ao ponto mais próximo, por forma a informar em tempo real sobre o possível perigo.

No caso do vento e da corrente, a influência destes fatores só é calculada durante a navegação e atualizados em tempo real para a posição do navio e respetivas características de navegação (proa, calado entre outras), é então durante a navegação que é apresentado o mapa em tempo real com a influência de todos os parâmetros definidos.

A importância / influência de cada fator é estabelecida com base em escalas previamente definidas ao longo da investigação pelo que, os fatores não são comparáveis em termos matemáticos, mas sim, ao nível da perceção do utilizador para a proximidade do perigo o que possibilita a um acidente.

- **Qual o contributo dos mapas de riscos obtidos, como representação dos perigos efetivos para um navio particular que navegue no canal portuário?**

É de salientar que os mapas produzidos servem como método de informação e clarificação do panorama ao utilizador, não definem se ocorrerá um acidente, apenas informam quais os fatores que em determinada posição poderão contribuir para um possível acidente.

Os mapas produzidos contribuem para uma navegação mais segura na medida em que, inicialmente, alertam para a proximidade dos perigos associados às características do canal otimizando a escolha da trajetória mais segura.

Durante a navegação informa o utilizador acerca dos fatores dinâmicos na posição real por forma a dar ao navegador uma perceção de possíveis tendências e movimentos da embarcação bem como, de possíveis acidentes que advêm destas influências.

Com base, no inquérito cujas repostas se encontram no capítulo anterior, os inqueridos consideraram útil e relevante uma ferramenta, que informe o navegador sobre a influência de fatores externos na situação de risco do navio e que, gira a interação dos fatores exteriores na navegação, classificando com 4 e 5 na escala de 0 a 5.

Trabalho Futuro

O estudo desenvolvido teve como foco mitigar o risco de acidentes através de mapas que informassem o utilizador de possíveis perigos e da interação de fatores externos, como o vento e corrente, com a embarcação. Para isto, foi efetuada uma pesquisa que culminou em mapas de risco alertando o utilizador através de cores e vetores. Os dados analisados dividem-se em características do canal (batimetria e largura) e fatores dinâmicos (vento e corrente) durante a navegação.

Após o trabalho realizado, ficam ainda alguns aspetos a desenvolver posteriormente:

- Incluir informação referente ao tráfego criando uma interação entre o programa e o AIS e, desta forma, caracterizar a densidade de tráfego bem como os possíveis rumos de colisão;
- Incluir novos fatores que possam causar uma situação de risco no programa, nomeadamente configuração do canal, obstáculos no canal entre outros fatores;
- Compilar e tratar a informação de acidentes no porto e desta forma, criar um mapa de risco informando zonas de maior número de acidentes e a principal causa, aumentando a informação do panorama para o utilizador;
- Desenvolver um sistema de alerta em tempo real para informar quando são ultrapassados os limites definidos como seguros.



Bibliografia

- AMN. (2018, Março 14). No Title. Obtido de <http://www.amn.pt/DF/Paginas/IALA.aspx>
- _____. (2018) *Análise Espacial (Interpolação)*, de https://docs.qgis.org/2.8/pt_BR/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html#figure-idw-interpolation
- BLANCO, L. (1943)Arte Naval Militar. Editorial Naval,
- AMT (2015). *Tráfego marítimo de mercadorias portos do continente 2014*.
- _____.(2007)British Standards Institution.. *OHSAS 18001*.
- MITAS, L. MITASOVA, H (2014). *Spatial interpolation* https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/ch34.pdf
- CORTESÃO, J. (2018). *Portugal, uma nação marítima, 2*.
- Decreto-Lei 2/2017. (6 de Janeiro). Obtido 23 de Setembro de 2018, de <https://dre.pt>
- DR. (Março 2). DL n.o 44/2002 - Diário da República n.o 52/2002, Série I-A de 2002-03-02. Obtido 15 de Março de 2018, de <https://dre.pt>
- ELIAS, J. R. M. D. (2010). *Sistema de apoio à navegação baseado em automatic identification system (masterThesis)*. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Obtido de <https://run.unl.pt/handle/10362/6019>
- EMEPC. (2009). *EMEPC*. Obtido de <https://www.emepc.pt/pt/quem-somos-emepc/missao>
- _____.(2016)European Maritime Safety Agency.. *ANNUAL OVERVIEW OF MARINE CASUALTIES AND INCIDENTS 2016*.
- FIRMINO, T. (2014, Abril 2). *Oceanos. Mapa onde se mostra que 97% de Portugal é mar chega hoje às escolas*. Obtido 26 de Março de 2018, de <https://www.publico.pt/2014/04/02/ciencia/noticia/mapa-que-mostra-que-97-de-portugal-e-mar-chega-as-escolas-1630635>
- GIACOM, G., Carvalho, M. B. de, Santos, A. de P. dos, Medeiros, N. das G., & Ferraz, A. S. (2014). *Comparative Analysis of Interpolation Methods for Surface Models*. Revista Brasileira de Cartografia, 66(6), 1315–1329.
- GROLLTECH. (2012). English: Shipping density (commercial). *A Global Map of Human Impacts to Marine Ecosystems, showing relative density (in color) against a black background. Scale: 1 km*. Obtido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Shipping_routes_red_black.png

I4SEA, (2018). *I4CAST* ® Sistema de apoio a para manobras e operações portuárias. Obtido 24 de Agosto de 2018, de <https://www.i4sea.com/apresentacaoi4cast/>

IMO 2010. *DEGREE OF RISK EVALUATION* .

INFRASTRUCTURE, T. W. A. for W. T. (2014). Report n° 121 - HARBOUR APPROACH CHANNELS DESIGN GUIDELINES (No. 9782872232109).

_____.(2013)International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities.. 1018 RISK MANAGEMENT.

_____.2018)International Organization for Standardization. (. *Risk management -- Guidelines* (pp. 16–16).

JACINTO, L. (2014). Acção do vento: quantificação de acordo com o EC, 41.

JIANG, F., ZHANG, H., & GUO, W. (2011). Navigation Environment Safety Research on Channel Expansion Project Using PAWSA (pp. 2813–2821). American Society of Civil Engineers. [https://doi.org/10.1061/41177\(415\)354](https://doi.org/10.1061/41177(415)354)

KELAREVA, E. (2011). *The DUKC Optimiser Ship Scheduling System*, , the 21st International Conference on Automated Planning and Scheduling took place in Freiburg, Germany, June 11-16, 2011.

KIM, K.-I., PARK, G.-K., & JEONG, J.-S. (2011). *Analysis of marine accident probability in Mokpo waterways. Journal of Navigation and Port Research*, 35(9), 729–733. <https://doi.org/10.5394/KINPR.2011.35.9.729>

LACERDA, DANIEL PACHECO, DRESCH, ALINE, PROENÇA, ADRIANO, & ANTUNES JÚNIOR, JOSÉ ANTONIO VALLE. (2013). *Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. Gestão & Produção*, 20(4), 741-761. Epub November 26, 2013.<https://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>

LI, S., MENG, Q., & QU, X. (2012). *An Overview of Maritime Waterway Quantitative Risk Assessment Models. Risk Analysis*, 32(3), 496–512. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2011.01697.x>

MDN. DL n.o 43/2002 Ministério da Defesa Nacional. Obtido de <http://data.dre.pt/eli/dec-lei/43/2002/03/02/p/dre/pt/html>

MDN. DL n.o 64/2005, Ministério da Defesa Nacional (2005).

MDNM. (2000). MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL MARINHA ESTADO-MAIOR DA ARMADA, 244.

MOP. DL no124/2001 Ministério das Obras Públicas, Transportes e Habitação (2001). Obtido de http://www.idesporto.pt/ficheiros/file/DL_124_2004.pdf

NEVES, S., & RIBEIRO, S. (2015). *Centro de Competências da Náutica de Recreio*. Obtido de <http://portugalnautico.aeportugal.pt/documents/CentrodeCompetenciasdaNauticadeRecreio.pdf>



- OMC (2018). *DUKC®*. Obtido 26 de Agosto de 2018, de <http://omcinternational.com/dukc-systems/>
- OWENS, R., & PALO, P. (1982). *Wind-Induced Steady Loads on Ships: Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center*. <https://doi.org/10.21236/ADA119984>
- QUINTELA, A. DE C., (2011) Fundação Calouste Gulbenkian, & Serviço de Educação e Bolsas (Lisboa, P. . Hidráulica (Vols. 1–13). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. Serviço de Educação e Bolsas.
- SCHWABER, K., & SUTHERLAND, J. (2013). *Guia do SCRUM*. Harvard Business Review, Boston (Vol. IV).
- SILVA, C. D. R., LOPES, M. C. Q., & CENTENO, J. A. S. (2007). *Estudo do método de interpolação do inverso da distância a uma potência. II Simpósio Brasileiro de Geomática -V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas*, 57–62.
- SVERRISDOTTIR, H. S., INGASON, H. T., & JONASSON, H. I. (2014). *The Role of the Product Owner in Scrum-comparison between Theory and Practices. Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 257–267. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.030>
- _____. (2018). Timezero. Obtido de <https://mytimezero.com/>
- ZAIDAN, Fernando Hadad; BAX, M. P. ; PARREIRAS, F. S. . 2016 *Design science research: aplicação em um projeto de pesquisa e desenvolvimento. In: 13th international conference on information systems & technology management*, , São Paulo – SP. 13th international conference on information systems & technology management – CONTECSI – 2016, 2016. v. 13. p. 3757-3774
- WIERINGA, R.J. (2009) Design Science as Nested Problem Solving. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology (DESRIST)*. pp. 1-12. ACM



Anexo A



- Escala de Beauford
Fonte: (OVGA, 2018)

Força	Descrição	Velocidade média em Nós	Velocidade média em km/h	Velocidade média em m/s	Estado do Mar
0	Calmaria	< 1	< 1	< 0,2	Mar espelhado
1	Bafagem	1 a 3	2 a 6	0,3 a 1,5	Algumas rugosidades
2	Aragem (leve brisa)	4 a 6	7 a 12	1,6 a 3,3	Pequenas ondulações
3	Fraco	7 a 10	13 a 18	3,4 a 5,4	Ondulações e alguns carneiros
4	Moderado	11 a 16	19 a 29	5,5 a 7,9	Pequenas vagas, carneiros frequentes
5	Fresco	17 a 21	30 a 38	8,0 a 10,7	Vagas moderadas, carneiros, borrifos
6	Muito fresco	22 a 27	39 a 49	10,8 a 13,8	Grandes vagas, cristas espumosas brancas, borrifos
7	Forte	28 a 33	50 a 61	13,9 a 17,1	Vagalhões pequenos com espuma em faixas
8	Muito forte	34 a 40	62 a 74	17,2 a 20,7	Vagalhões moderados com espuma em faixas definidas
9	Duro	41 a 47	75 a 88	20,8 a 24,4	Vagalhões grandes a enorme e excepcionais, visibilidade reduzida a seriamente afetada.
10	Muito duro	48 a 55	89 a 102	24,5 a 28,4	
11	Tempestuoso	56 a 63	103 a 117	28,5 a 32,6	
12	Furacão	>=64	>=118	>=32,7	

Tabela 11 - Avaliação da batimetria

Batimetria (m)	Escala
B<Batimetria	Red
B<Batimetria+Pé de Piloto	Orange
B<Batimetria+2xPé de Piloto	Yellow
B<Batimetria+3xPé de Piloto	Green
B>Batimetria+3xPé de Piloto	Blue

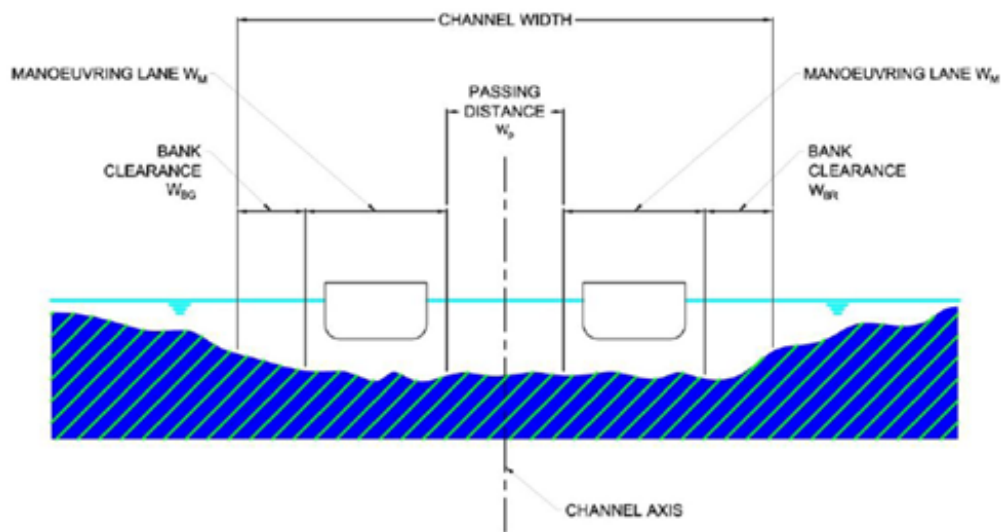


Figura 55 - Representação da Eq. 13
 [Fonte: (Infrastructure, 2014)]



Tabela 12 – Manobrabilidade do navio

[Fonte:(Infrastructure, 2014)].

Width W_i	Vessel Speed	Outer Channel (open water)		Inner Channel (protected water)		
(a) Vessel speed V_s (kts, with respect to the water) $V_s \geq 12$ kts $8 \text{ kts} \leq V_s < 12$ kts $5 \text{ kts} \leq V_s < 8$ kts	fast			0.1 B		
	mod			0.0		
	slow			0.0		
(b) Prevailing cross wind V_{sw} (kts) - mild $V_{sw} < 15$ kts ($<$ Beaufort 4) - moderate $15 \text{ kts} \leq V_{sw} < 33$ kts (Beaufort 4 - Beaufort 7) - strong $33 \text{ kts} \leq V_{sw} < 48$ kts (Beaufort 7 - Beaufort 9)	fast			0.1 B		
	mod			0.2 B		
	slow			0.3 B		
	fast			0.3 B		
	mod			0.4 B		
	slow			0.6 B		
	fast			0.5 B		
	mod			0.7 B		
	slow			1.1 B		
(c) Prevailing cross-current V_{cc} (kts) - negligible $V_{cc} < 0.2$ kts - low $0.2 \text{ kts} \leq V_{cc} < 0.5$ kts - moderate $0.5 \text{ kts} \leq V_{cc} < 1.5$ kts - strong $1.5 \text{ kts} \leq V_{cc} < 2.0$ kts	all	0.0		0.0		
	fast	0.2 B		0.1 B		
	mod	0.25 B		0.2 B		
	slow	0.3 B		0.3 B		
	fast	0.5 B		0.4 B		
	mod	0.7 B		0.6 B		
	slow	1.0 B		0.8 B		
	fast	1.0 B		-		
	mod	1.2 B		-		
	slow	1.6 B		-		
	(d) Prevailing longitudinal current V_{lc} (kts) - low $V_{lc} < 1.5$ kts - moderate $1.5 \text{ kts} \leq V_{lc} < 3$ kts - strong $V_{lc} \geq 3$ kts	all	0.0			
		fast	0.0		0.0	
mod		0.1 B		0.1 B		
slow		0.2 B		0.2 B		
fast		0.1 B		0.1 B		
mod		0.2 B		0.2 B		
(e) Beam and stern quartering wave height H_s (m) - $H_s \leq 1$ m - $1 \text{ m} < H_s < 3$ m - $H_s \geq 3$ m	all	0.0		0.0		
	all	-0.5 B		-		
	all	-1.0 B		-		
(f) Aids to Navigation (AtoN) - excellent - good - moderate				0.0		
				0.2 B		
				0.4 B		
(g) Bottom surface - if depth $h \geq 1.5 T$ - if depth $h < 1.5 T$ then - smooth and soft - rough and hard				0.0		
				0.1 B		
				0.2 B		
(h) Depth of waterway h		$h \geq 1.5 T$	0.0 B	$h \geq 1.5 T$	0.0 B	
		$1.5 T > h \geq 1.25 T$	0.1 B	$1.5 T > h \geq 1.15 T$	0.2 B	
		$h < 1.25 T$	0.2 B	$h < 1.15 T$	0.4 B	
(i) High cargo hazards		See explanation in box(i) overleaf				

Tabela 13 - Margem adicional
[Fonte:(Infrastructure, 2014)].

Ship Manoeuvrability	Good	Moderate	Poor
Basic Manoeuvring Lane, W_{BM}	1.3 B	1.5 B	1.8 B

Tabela 14 - Valores de WBR, WBG
[Fonte:(Infrastructure, 2014)].

Width for bank clearance (W_{BR} and/or W_{BG})	Vessel Speed	Outer channel (open water)	Inner channel (protected water)
Gentle underwater channel slope (1:10 or less steep)	fast moderate slow	0.2 B 0.1 B 0.0 B	0.2 B 0.1 B 0.0 B
Sloping channel edges and shoals	fast moderate slow	0.7 B 0.5 B 0.3 B	0.7 B 0.5 B 0.3 B
Steep and hard embankments, structures	fast moderate slow	1.3 B 1.0 B 0.5 B	1.3 B 1.0 B 0.5 B
Note: 1. W_{BR} and W_{BG} are widths on 'red' and 'green' sides of channel			

Tabela 15 - Distância de segurança entre a passagem de dois navios
[Fonte:(Infrastructure, 2014)].

Width for passing distance W_p	Outer Channel (open water)	Inner Channel (protected water)
Vessel speed V_s (knots)		
- fast: $V_s \geq 12$	2.0 B	1.8 B
- moderate: $8 \leq V_s < 12$	1.6 B	1.4 B
- slow: $5 \leq V_s < 8$	1.2 B	1.0 B



Anexo B

Inquérito



Anexo B - Inquérito

Análise de risco de navegação portuária com base em SIG

Muito obrigado pela colaboração no preenchimento do questionário.

Todos os dados recolhidos são de carácter anónimo. Os dados serão apenas utilizados para fins académicos

O presente questionário insere-se no âmbito da Dissertação de Mestrado do Aspirante Chanoca Ferreira, do Curso CMG Henrique Quirino da Fonseca (ano letivo 2017/2018).

O presente inquérito terá uma duração de 10 min

Agradeço a sua colaboração

* Required

Objetivo do Inquérito

O presente questionário tem como objetivo:

- Avaliar a pertinência do projeto.
- Analisar as necessidades do utilizador.
- Avaliar se o método de apresentação do do interface é o mais perceptível para o utilizador do produto.
- Avaliar globalmente o projeto

Através dos dados recolhidos pretende-se aferir acerca da qualidade e perceção disponibilizada pelo projeto, no enriquecimento de informação para o auxílio à tomada de decisão durante a navegação.

Instruções de Preenchimento

Cada secção inicia-se com uma breve descrição e informação acerca do conjunto de questões da secção respetiva.

A primeira secção corresponde a perguntas que visam caracterizar a população de forma a determinar a sua experiência ao nível da navegação.

A secção seguinte insere-se na informação fornecida ao utilizador mais precisamente qual a necessidade para o utilizador e qual a informação mais influente para a navegação.

Na terceira secção é abordado a perceção do sistema e a clareza com que a informação é transmitida. São apresentadas diversas imagens do interface gráfico.

A última secção são realizadas questões que pretendem determinar a avaliação global do produto.

NOTA: As imagens referentes ao produto final são classificadas para valores específicos de calado, maré, Pé de piloto, margem de segurança entre outros valores podendo os mesmo ser adaptados para outras condições e outro navio.

Dados demográficos do utilizador

Nesta secção serão realizadas questões que visam caracterizar a população de forma a determinar a sua experiência ao nível da navegação.

1. **Género ***

Mark only one oval.

Masculino

Feminino

2. Idade *

Mark only one oval.

- <22
- 22-30
- 30-38
- 38-48
- >48

3. A qual dos campos corresponde? *

Mark only one oval.

- Militar
- Militarizado
- Civil da Marinha
- Civil

4. Qual a formação elevada que possui em navegação? *

Mark only one oval.

- Nenhuma
- Carta de Marinheiro ou equivalente
- Carta de Patrão Local ou equivalente
- Carta de Patrão de Costa ou equivalente
- Carta de Patrão de Alto Mar ou equivalente
- Outras formações

5. Alguma vez planeou uma navegação com entrada em portos? *

Mark only one oval.

- < 7
- 4 e 7
- 1 e 3
- Nunca

6. Tem conhecimento acerca de equipamentos de auxílio à navegação? *

Mark only one oval.

- SIM (ECDIS, AIS e RADAR)
- NÃO
- Outros



7. Qual o tipo de navio que mais vezes tomou conta da manobra? *

Mark only one oval.

- Veleiro
- late a motor
- Navio de Guerra
- Embarcações de pesca
- Navios mercantes

8. Como considera a sua experiência em navegação? *

Mark only one oval.

- Muito experiente
- Experiente
- Pouco experiente
- Sem experiência

Necessidades do utilizador e abordagem do projeto

As seguintes questões tem como objetivo depreender se a informação necessária pelo utilizador comparativamente com a fornecida pelo projeto.

9. Considera útil uma ferramenta que informe o navegador acerca da influência de fatores externos que possam colocar o navio em perigo? *

Mark only one oval.

- Muito útil
- Útil
- Pouco útil
- Sem utilidade

10. Qual o tipo de navegação que considera mais perigosa? *

Mark only one oval.

- Navegação oceânica
- Navegação em águas restritas
- Navegação costeira
- Sem conhecimento

11. Quais considera os fatores externos que mais influenciam a navegação? *

Mark only one oval.

- Vento
- Corrente
- Batimetria
- Largura do Canal
- Tráfego
- Visibilidade
- Depende da situação
- Têm todos a mesma influência

12. **Considera útil a informação dos fatores externos adaptados ao navio? Exemplo águas navegáveis calculadas com base nas características do navio. ***

Mark only one oval.

- Muito útil
- Útil
- Pouco útil
- Sem utilidade

13. **Como considera o método mais prático de definir o caminho a seguir? ***

Mark only one oval.

- Definir as linhas onde passar
- Definir pontos onde passar
- Desenhar o percurso manualmente
- Não considera necessário definir o caminho a seguir

14. **Após a definição da trajetória a seguir considera útil a informação do rumo e distância em cada parte da trajetória ***

Mark only one oval.

- Muito útil
- Útil
- Pouco útil
- Sem utilidade

Percepção do Sistema

Esta seção tem como objetivo determinar a clareza da apresentação da informação por parte de utilizador. É composto por diversas

Todas as imagens utilizadas referentes ao sistema são adaptadas para um navio específico bem os factores considerados já tem a influência de meios externos como é o caso da maré.

15. **Qual o método que considera mais perceptível para informar o utilizador de possíveis perigos? ***

Mark only one oval.

- Método Numérico(os números de forma decrescente do 1 ao 5 definem o impacto no navio)
- Método alfabético(as letras de forma decrescente do a ao e definem o impacto no navio)
- Método de cores(a gradação de cores define o impacto no navio)
- Método de vetores(a dimensão dos vetores define o impacto no navio)

16. **Através do método de cores qual considera a avaliação com maior perigo? ***

Mark only one oval.

- Verde
- Laranja
- Azul
- Amarelo
- Vermelho

17. Através do método de cores qual considera a avaliação com menor perigo? *

Mark only one oval.

- Vermelho
- Amarelo
- Azul
- Verde
- Laranja

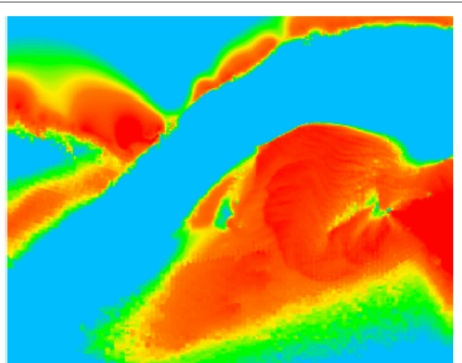
18. Qual considera a imagem com maior percepção da zona segura para navegar? *

Mark only one oval.



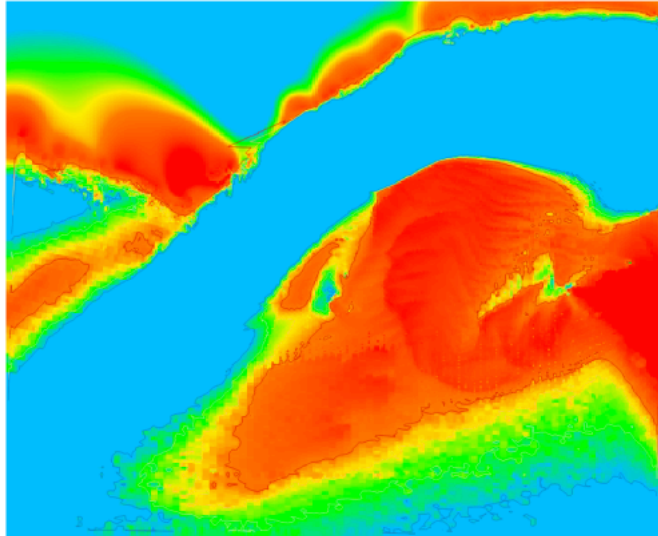
1

2



3

19. Qual a zona mais segura para navegar?(Porto de Lisboa) *

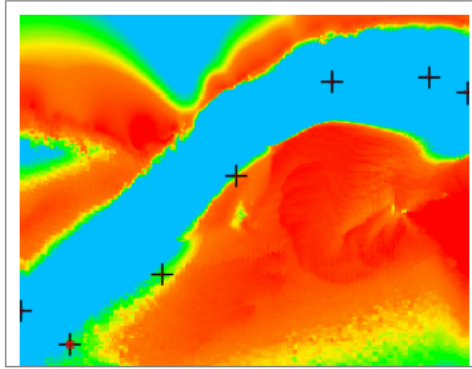


Mark only one oval.

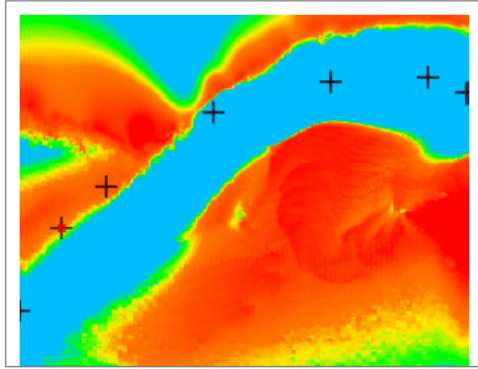
- Vermelha
- Laranja
- Amarela
- Verde
- Azul



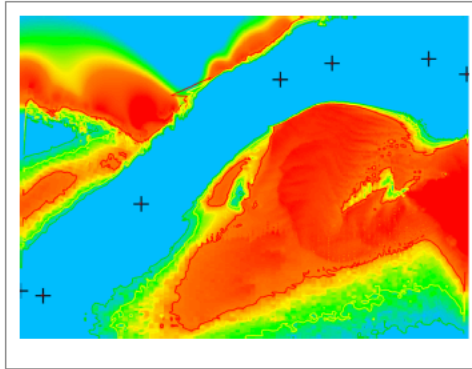
20. Qual a seleção de pontos mais "seguros" tendo em consideração a batimetria do local? *
Mark only one oval.



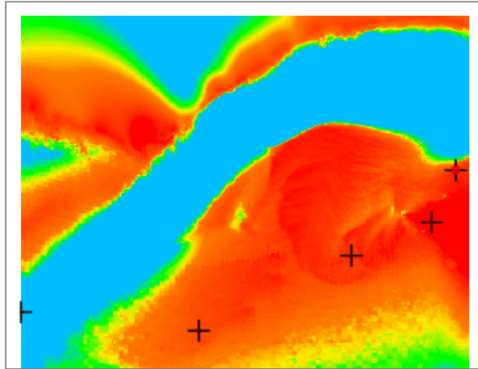
1



2

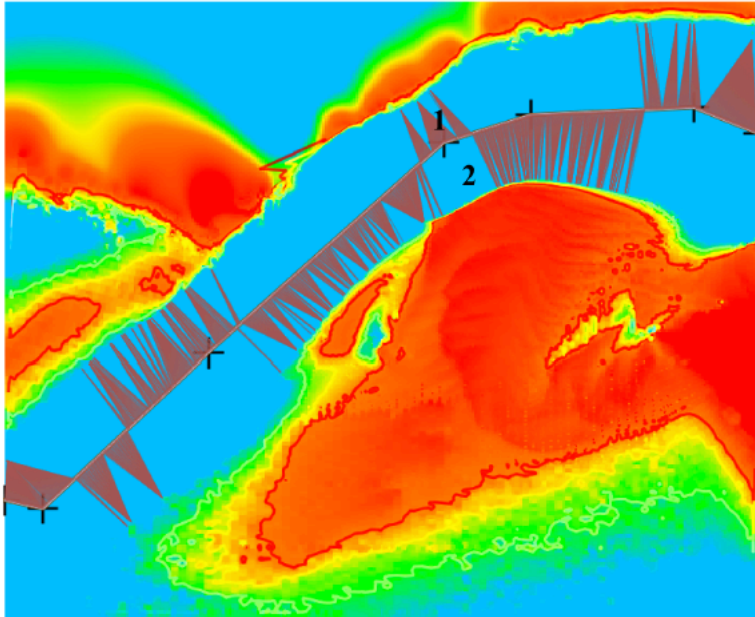


3



4

21. Com base na imagem, quais as zonas que considera mais perigosas? *



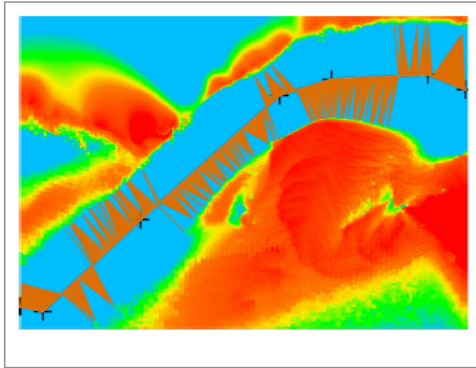
Mark only one oval.

- 1
- 2

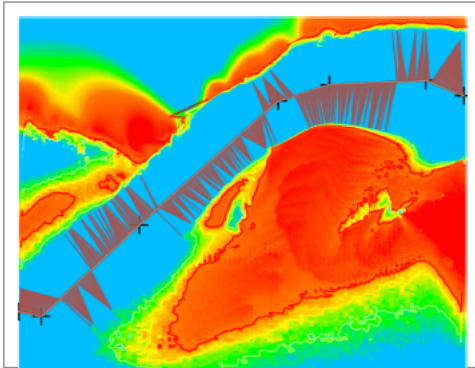


22. Qual considera ser o canal com o caminho mais seguro para navegar tendo em conta a largura do canal? *

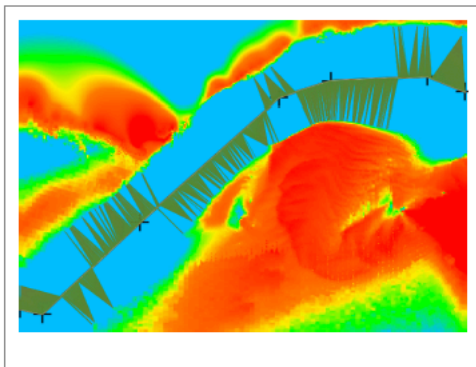
Mark only one oval.



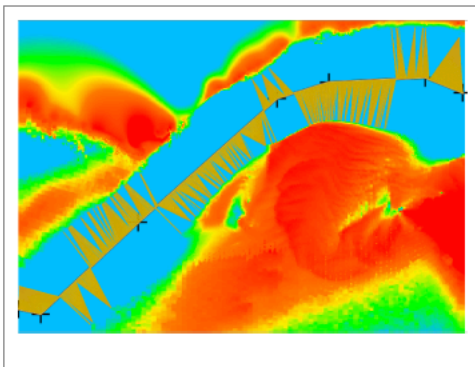
MAPA 1



MAPA 2



MAPA 3



MAPA 4

23. Quais as colunas que definem qual o caminho a seguir e o respectivo rumo? *

MEMORIAL DESCRITIVO SINTÉTICO						
VÉRTICE	COORDENADAS		LADO	AZIMUTES		DISTÂNCIA (m)
	E	N		PLANO	REAL	
Pt0	-97172.06	-108677.33	Pt0-Pt1	291°55'46.52"	293°05'13.01"	807.51
Pt1	-97921.15	-108375.75	Pt1-Pt2	267°22'15.31"	268°31'41.80"	1908.77
Pt2	-99827.91	-108463.31	Pt2-Pt3	252°33'10.12"	253°42'36.61"	1070.74
Pt3	-100849.39	-108784.34	Pt3-Pt4	228°18'58.44"	229°28'24.94"	3686.44
Pt4	-103602.52	-111235.90	Pt4-Pt5	226°56'2.14"	228°05'28.63"	2649.93
Pt5	-105538.47	-113045.38	Pt5-Pt6	282°15'53.19"	283°25'19.68"	457.96

Mark only one oval.

1 e 5

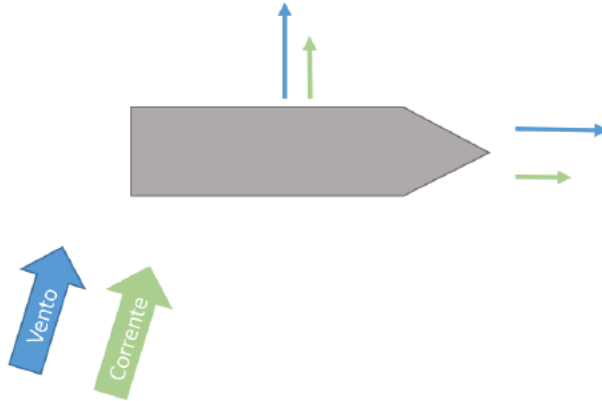
4 e 7

4 e 6

3 e 5

As imagens que se seguem representam o navio. Os vetores a azul e verde representam as forças aplicadas pelo vento e corrente respectivamente. As forças aplicadas são determinadas com base na área da sua aplicação no navio e decompostas no eixo longitudinal e transversal do navio. Assumindo a direção do vento e corrente representados pelos vetores indicados com os nomes específicos.

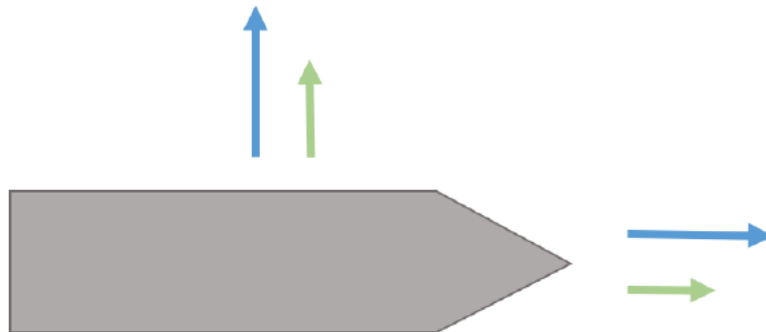
24. Como considera a utilidade do cálculo da força aplicada pelo vento e corrente no navio? *



Mark only one oval.

- Muito útil
- Útil
- Pouco útil
- Sem utilidade

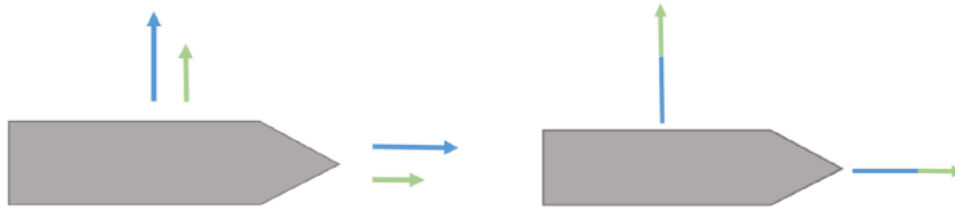
25. Considera perceptível a utilização de vetores para representar ? *



Mark only one oval.

- Muito perceptível
- Deveria ser em formato de valores
- Deveria ser apenas informação num quadro a parte
- Deveria ser nouro formato

26. Como considera ser mais perceptível a interpretação influência do navio? *



Mark only one oval.

- Vectors separados(primeira imagem)
- Vectors unidos (segunda imagem)

Avaliação global do Sistema

Considerando as seções anteriores relativas à abordagem do projeto e às imagens apresentadas na seção da percepção do sistema, avalie globalmente o sistema produzido.

27. Como classifica a utilidade do sistema para o auxílio à tomada de decisão na navegação portuária? *

Mark only one oval.

- Excelente
- Bom
- Razoável
- Mau

28. Como classifica a interface gráfica na percepção da informação fornecida pelo sistema? *

Mark only one oval.

- Excelente
- Boa
- Razoável
- Imperceptível

29. Como considera a solução para o planeamento da navegação portuária? *

Mark only one oval.

- Muito útil
- Útil
- Pouco útil
- Sem utilidade
- Sem conhecimento

30. Como classifica a necessidade de sistemas informativos referentes à interação dos fatores exteriores na navegação? *

Mark only one oval.

- Imprescindível
- Necessário
- Pouco relevante
- Sem relevância

31. **Considera relevante a utilização deste sistema noutras áreas de navegação? ***

Mark only one oval.

- Muito Relevante
- Relevante
- Pouco Relevante
- Sem Relevância

32. **Como classifica o potencialidade do sistema produzido como futura ferramenta para a navegação? ***

Mark only one oval.

- Excelente
- Bom
- Razoável
- Improvável

33. **O interface gráfico fornece a informação de forma adequada para a tomada de decisão durante a navegação? ***

Mark only one oval.

- Sim
- Necessita de algumas melhorias
- Necessita de melhorias significativas
- Não

Agradecimentos

Muito obrigado pela a sua contribuição.