

**INSTITUTO UNIVERSITÁRIO MILITAR
DEPARTAMENTO DE ESTUDOS PÓS-GRADUADOS
CURSO PROMOÇÃO A OFICIAL SUPERIOR
2015/2016**



TII

MODELO DE BALIZAGEM PARA CONDIÇÕES EXTREMAS

O TEXTO CORRESPONDE A TRABALHO FEITO DURANTE A FREQUÊNCIA DO CURSO NO IUM SENDO DA RESPONSABILIDADE DO SEU AUTOR, NÃO CONSTITUINDO ASSIM DOCTRINA OFICIAL DAS FORÇAS ARMADAS PORTUGUESAS OU DA GUARDA NACIONAL REPUBLICANA.

**Rui Miguel Figueiredo dos Santos
1TEN EN-AEL**



**INSTITUTO UNIVERSITÁRIO MILITAR
DEPARTAMENTO DE ESTUDOS PÓS-GRADUADOS**

**MODELO DE BALIZAGEM PARA CONDIÇÕES
EXTREMAS**

Primeiro-tenente EN-AEL Rui Miguel Figueiredo dos Santos

Trabalho de Investigação Individual do CPOS-M 2015/16

Pedrouços 2016



**INSTITUTO UNIVERSITÁRIO MILITAR
DEPARTAMENTO DE ESTUDOS PÓS-GRADUADOS**

**MODELO DE BALIZAGEM PARA CONDIÇÕES
EXTREMAS**

Primeiro-tenente EN-AEL Rui Miguel Figueiredo dos Santos

Trabalho de Investigação Individual do CPOS-M 2015/16

Orientador: Capitão-de-fragata

Nuno Manuel Gomes Sousa Rodrigues

Pedrouços 2016



Declaração de compromisso anti-plágio

Eu, Rui Miguel Figueiredo dos Santos, declaro por minha honra que o documento intitulado por modelo de balizagem para condições extremas corresponde ao resultado da investigação por mim desenvolvida enquanto auditor do Curso de Promoção a Oficial Superior no ano letivo de 2015/16 no Instituto Universitário Militar e que é um trabalho original, em que todos os contributos estão corretamente identificados em citações e nas respetivas referências bibliográficas.

Tenho consciência que a utilização de elementos alheios não identificados constitui grave falta ética, moral, legal e disciplinar.

Pedrouços, 30 de julho de 2016

Rui Miguel Figueiredo dos Santos



Agradecimentos

Começo por agradecer com especial ênfase à minha família, em particular à minha mulher, pela imensa compreensão, paciência e apoio demonstrados, assim como pela privação da minha disponibilidade.

Ao meu orientador Capitão-de-fragata Sousa Rodrigues, pela disponibilidade permanentemente demonstrada, motivação e conhecimentos transmitidos e finalmente, pelo seu inestimável contributo na estruturação, orientação e redação deste trabalho de investigação individual do Curso de Promoção a Oficial Superior.

Ao Capitão-tenente Dias Marques, inicialmente identificado como um possível entrevistado, mas que acabou por ser um segundo tutor, colaborando na identificação da revisão de literatura e com sábios conselhos no âmbito específico do sistema de balizagem, fruto da sua experiência na matéria.

A todos os entrevistados, nomeadamente ao Capitão-de-fragata Plácido da Conceição, ao engenheiro Nelson Silva, ao engenheiro Pedro Vieira, ao engenheiro Duarte Filipe, pela generosidade em me receberem, despendendo do seu tempo para comigo partilhar informações preciosas e fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aos camaradas do CPOS 2015/2016 pelo excelente espírito de camaradagem, entreajuda e imprescindível boa disposição e, por último, mas não menos importante, a todas as pessoas no geral que me apoiaram e tornaram a sua concretização possível.



Índice

Introdução	1
1. Estratégia adotada no processo de investigação	4
1.1. Revisão da literatura	4
1.2. Conceitos estruturantes	6
1.2.1. Principais tipos de marcas visuais usadas em rios	7
1.2.1.1. Boias	7
1.2.1.2. Balizas	7
1.2.1.3. Enfiamentos e alinhamentos	8
1.3. Metodologia seguida	9
2. Navegação em condições extremas	10
2.1. Principais condicionantes do assinalamento marítimo	10
2.2. Rigor das AtoNs	10
2.3. Principais preocupações	11
2.3.1. Perigos	11
2.3.2. Riscos	12
2.4. Tipos de embarcações	12
2.5. Influência das correntes	13
2.6. Natureza do fundo	15
2.6.1. Rochosa	17
2.6.2. Arenosa	17
2.7. Síntese conclusiva	18
3. Balizagem em rios de grande variação de coluna de água	19
3.1. Sistema de fixação de boias	20
3.2. Estudos de Caso	20
3.2.1. Caso prático alemão	20
3.2.2. Caso prático holandês	21
3.2.3. Caso prático canadiano	22
3.2.4. Caso prático japonês	23
3.3. Síntese conclusiva	24



4. Possível modelo para arquitetura.....	26
4.1. Caracterização do rio Douro.....	26
4.1.1. Correntes e natureza do fundo.....	27
4.1.2. Caudais Médios.....	27
4.1.3. Constrangimentos atuais.....	28
4.2. Possível assinalamento marítimo.....	29
4.2.1. Via navegável.....	29
4.2.2. Outros sistemas.....	31
4.3. Síntese conclusiva.....	31
Conclusões.....	33
Bibliografia.....	36

Índice de Anexos

Anexo A — Fatores de risco associados à navegação.....	Anx A - 1
Anexo B — Indicadores de desempenho do rigor das AtoNs e sua definição... ..	Anx B - 1
Anexo C — Principais preocupações.....	Anx C - 1
Anexo D — Caso prático com AtoNs virtuais: austríaco (via <i>Donau</i>).....	Anx D - 1
Anexo E — Respostas obtidas.....	Anx E - 1

Índice de Apêndices

Apêndice A — Modelo proposto.....	Apd A - 1
Apêndice B — Caudal médio mensal lançados das eclusas do rio Douro.....	Apd B - 1
Apêndice C — Efeito da precipitação no caudal e na corrente do rio.....	Apd C - 1
Apêndice D — Tentativas de entrevistas a membros estrangeiros da IALA.....	Apd D - 1
Apêndice E — Corpo do texto remetido aos vários destinatários estrangeiros..	Apd E - 1
Apêndice F — Entrevistas realizadas a nível nacional.....	Apd F - 1

Índice de Figuras

Figura 1 – Serviços de informação das vias navegáveis.....	6
Figura 2 – Perfil de um rio canalizado.....	7
Figura 3 – Exemplo de uma baliza articulada.....	8



Figura 4 – Enfiamento e alinhamento.....	8
Figura 5 – Velocidade da corrente em rios.....	13
Figura 6 – Aumento da velocidade da corrente em rios	14
Figura 7 – Tipos de leito dos rios	15
Figura 8 – Classificação dos rios quanto ao curso.....	16
Figura 9 – Efeito das cheias nas margens dos rios	16
Figura 10 – Erosão da morfologia dos rios	17
Figura 11 – Boia típica usada em rios	21
Figura 12 – Sistema de fixação das boias em rios.....	22
Figura 13 – Sistema de fixação canadiano	23
Figura 14 – Sistema de balizagem japonês.....	24
Figura 15 – Eclusas e respetivas cotas	26
Figura 16 – Rio Douro, principais afluentes e eclusas	27
Figura 17 – Caudal do rio Douro oriundo da cheia de 27 de dezembro de 2002.....	28
Figura 18 – Caudal do rio Douro num dia de fevereiro em 2014.....	28
Figura 19 – Modelo proposto	30
Figura 20 – Matriz ALARP.....	Anx C - 1
Figura 21 – Caudal médio da eclusa do Pocinho.....	Apd B - 1
Figura 22 – Caudal médio da eclusa da Valeira	Apd B - 1
Figura 23 – Caudal médio da eclusa da Régua.....	Apd B - 2
Figura 24 – Caudal médio da eclusa do Carrapatelo	Apd B - 2
Figura 25 – Caudal médio da eclusa da Crestuma-Lever.....	Apd B - 3
Figura 26 – Efeito da precipitação no caudal de água e sobre a corrente.....	Apd C - 1

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Fatores que condicionam o assinalamento marítimo em rios.....	10
Tabela 2 – Rigor das AtoNs	11
Tabela 3 – Classificação de embarcações.....	12
Tabela 4 – Fatores de risco associados à navegação	Anx A - 1
Tabela 5 – Lista de estrangeiros contactados	Apd D - 1
Tabela 6 – Lista dos entrevistados nacionais.....	Apd F - 1



Resumo

A economia de uma região desenvolve-se maioritariamente nas imediações dos rios, sendo imprescindível garantir a segurança das pessoas e da navegação, principalmente quando o rio em questão apresenta condições extremas. Assim, o objeto de estudo centra-se no objetivo de conceptualizar um modelo de balizagem e assinalamento marítimo para aplicação em rios de grande amplitude/caudal de água e correntes fortes.

Inicialmente elabora-se uma revisão de literatura, abordando os conceitos estruturantes do sistema de balizagem marítima. Seguidamente desenvolve-se a parte textual baseada numa abordagem qualitativa, seguindo um raciocínio indutivo assente na pesquisa de estudo de caso.

Como principal resultado constata-se que, de todas as Ajudas à Navegação, as que se encontram fisicamente no leito do rio são aquelas que apresentam um maior desafio aquando da edificação do assinalamento marítimo, pois poderão, em determinadas circunstâncias, deixar de ser uma Ajuda passando a constituir um perigo para a navegação.

Finalmente conclui-se que, possivelmente, a melhor solução consiste em desenvolver um novo modelo de balizagem, composto por um sistema que conjugue o potencial da baliza e da boia, permitindo beneficiar de inúmeras vantagens, entre as quais se destacam o aumento da segurança da navegação e consequentemente da salvaguarda da vida humana nas vias navegáveis.

Palavras-chave

Balizagem de rios, assinalamento sob condições extremas, segurança da navegação, modelo de balizagem, RIS.



Abstract

The economic development of a region flourishes mostly in the vicinity of rivers. It is essential to ensure the safety of people and shipping, particularly when that river has extreme conditions. Therefore, this research develops the object of study with the general objective of conceptualizing a model of buoyage and maritime signaling to be used in rivers of high water amplitude/flow and strong currents.

The work begins with the preparation of literature review, covering the concepts and definitions of the Maritime Buoyage System (MBS) framework. Next, the textual part is developed based on a qualitative approach, following an inductive reasoning and case study research design.

The main result of the research is the recognition that, from all the existing Aids to Navigation (AtoN), those that are physically located in the riverbed represent the greatest challenge when building the maritime signaling, because, in certain circumstances, instead of being an aid, they may become an hazard to navigation.

Finally, it is concluded that, possibly, the best solution is to develop a new buoyage model, consisting in merging the benefits between a beacon and a buoy, emphasizing a large number of advantages, among which are noteworthy the increase of safety of navigation and, consequently, the safety of life along the river courses.

Keywords

Waterway signs and marking, maritime buoyage system under extreme conditions, navigation safety, Aids-to-Navigation, buoyage model, RIS.



Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

AIS	<i>Automatic Identification System</i>
ALARP	<i>As Low As is Reasonably Practicable</i>
APDL	Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A
AtoN	<i>Aid to Navigation</i>
CO ₂	Dióxido de carbono
COMPRIS	<i>Consortium Operational Management Platform River Information Services</i>
DoRIS	<i>Danube River Information Services</i>
ECDIS	<i>Electronic Chart Display and Information System</i>
EDP	Eletricidade de Portugal
IALA	<i>International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities</i>
IH	Instituto Hidrográfico
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
INDRIS	<i>Inland Navigation Demonstrator for River Information Services</i>
IUM	Instituto Universitário Militar
MBS	<i>Maritime Buoyage System</i>
OE	Objetivo Especifico
OG	Objetivo Geral
QC	Questão Central
QD	Questão Derivada
SBM	Sistema de Balizagem Marítima
PIANC	<i>World Association for Waterborne Transporte Infrastructure</i>
RIS	<i>River Information Services</i>
MTBF	Tempo Médio Entre Falhas
MTTR	Tempo médio de reparação
VHF	<i>Very High Frequency</i>
UNECE	<i>United Nation Economic Commission for Europe</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>



Introdução

Historicamente, os rios sempre foram um dos mais importantes recursos para a sobrevivência da humanidade. A água dos rios permite assegurar a sobrevivência das pessoas e animais e contribuir, de uma forma muito significativa, para o desenvolvimento económico das regiões nas suas proximidades, através da agricultura, da pesca, do transporte, do turismo e da produção de energia.

A importância dos rios como vias de transporte é determinante, considerando que as embarcações que neles se deslocam consomem pouco combustível em relação à quantidade de mercadorias transportadas, sendo simultaneamente um meio de transporte seguro, económico e menos poluente do que as alternativas existentes, nomeadamente, rodoviárias e ferroviárias (Gil, 2010).

Existem ainda rios com bastante potencial económico e interesse que poderiam ser explorados de uma forma mais eficaz e eficiente, contudo face às grandes variações de coluna de água, associadas às elevadas variações do caudal e à natureza e tipologia dos respetivos fundos, sofrem regularmente os efeitos de cheias e consequentes alterações do seu canal navegável, implicando enormes dificuldades na otimização de um sistema de balizagem seguro, viável, sustentável e economicamente vantajoso.

É neste contexto que se desenvolve o objeto da investigação do estudo, cujo objetivo se enquadra no desenvolvimento, estudo e concetualização de um modelo de balizagem para condições extremas, delimitando-o a rios sujeitos a significativas variações do caudal de água e elevadas amplitudes, bem como a correntes de forte intensidade e condicionadas pela natureza e tipologia dos fundos, efetuando uma análise do rigor que as Ajudas à Navegação (*Aids to Navigation - AtoNs*) terão de ter e como é que as mesmas poderão afetar a navegação.

Assim, o objetivo geral (OG) do estudo de investigação consiste em conceptualizar um modelo para a edificação de um sistema de balizagem e assinalamento marítimo para aplicação em rios sujeitos a condições extremas. Do OG decorrem os seguintes objetivos específicos (OE):

- OE1: Caracterizar a balizagem mais adequada para implementação em áreas sujeitas a condições extremas, considerando o tipo de navegação na área e o rigor exigido às AtoNs.
- OE2: Determinar a influência das correntes elevadas e da natureza do fundo na aplicabilidade do sistema de balizagem.



OE3: Caracterizar a balizagem mais adequada para implementação em rios com grandes variações de caudal de água.

OE4: Apresentar um modelo para a edificação de um sistema de balizagem e assinalamento marítimo num rio português sujeito a condições extremas.

De acordo com o tema da investigação e tendo presente o objetivo geral definido anteriormente, formula-se a seguinte questão central (QC): “Qual a melhor solução técnica para a implementação de um sistema de balizagem e assinalamento num rio sujeito a condições extremas?”

Para responder à QC, foram deduzidas quatro questões derivadas (QD):

QD1 De que forma é que as condições extremas poderão afetar a navegação, tendo em consideração o tipo de navegação na área e as características das AtoNs?

QD2: Quais as condicionantes de um modelo de balizagem em rios com correntes fortes, considerando a natureza do fundo?

QD3: Qual será o modelo de balizagem mais adequado para rios com grandes variações de coluna de água?

QD4: Qual a arquitetura adequada para a edificação do sistema de balizagem num rio sujeito a condições extremas?

No presente trabalho foi procurado seguir o processo de investigação baseado na filosofia ontológica construtivista, assente numa estratégia de investigação qualitativa sobre um raciocínio de análise dos dados de uma forma indutiva. O tipo de pesquisa é do tipo estudo de caso, baseado em pesquisa documental, leitura, observação das referências bibliográficas e realização de entrevistas semiestruturadas a peritos na matéria, conforme apêndices D e F.

O estudo apresenta uma estrutura organizada, cuja parte textual se encontra dividida em quatro capítulos. No primeiro capítulo é apresentado o processo de investigação adotado efetuando o enquadramento do Sistema de Balizagem Marítima (SBM), a vigorar internacionalmente, abordando os respetivos conceitos e definições mais relevantes. O segundo capítulo caracteriza a balizagem mais adequada para implementação em áreas sujeitas a condições extremas, considerando o tipo de navegação na área e o rigor que as AtoNs devem ter. O terceiro capítulo incidirá nos sistemas de fixação de boias e nos constrangimentos a que estão sujeitos devido à grande variação de coluna de água e na apresentação de estudos de caso, considerados como referências internacionais.



Finalmente, no quarto e último capítulo, será feita a apresentação de uma possível arquitetura a edificar baseada no modelo de balizagem para condições extremas.



1. Estratégia adotada no processo de investigação

No presente capítulo pretende-se identificar a informação decorrente do processo de revisão da literatura efetuado, focando aspetos do modelo de análise seguido, nomeadamente o estado de arte do SBM e a explicitação dos conceitos estruturantes, assim como a metodologia seguida, com a indicação da estratégia e do desenho de investigação das várias fases do percurso metodológico (IESM, 2015b).

1.1. Revisão da literatura

O SBM data do início do século XIX, contudo, o esforço de desenvolvimento de um sistema global de balizagem remonta ao século XX, registando-se naquela época vários sistemas diferentes, provocando confusão e elevados riscos para a navegação, principalmente no período noturno, colocando em perigo a segurança dos navegantes. (Instituto Hidrográfico, 1977, pp. 3-5) (IALA, 2010b, pp. 3-4).

A *Internacional Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities* (IALA) instituiu, em 1965, uma Comissão Técnica Internacional com o objetivo de examinar o problema e sensibilizar os seus membros para a importância de criar um sistema universal regulado e aceite. Apenas se começou a implementar o SBM em 1977, com o sistema no Canal da Mancha (Instituto Hidrográfico, 1977, pp. 3-5) (IALA, 2010b, pp. 3-4). Desde então, a IALA assume uma posição reguladora, credível e internacionalmente aceite, emitindo um conjunto de recomendações, entre as quais o uso de marcas visuais de auxílio à navegação.

Devido às suas particularidades, a navegação nos rios implica uma necessidade de garantir um maior rigor nas AtoNs utilizadas, obrigando à edificação de balizagem eficiente, que sinalize correta e permanentemente a via navegável e afaste a navegação dos perigos ali existentes (IALA, 2014). Embora se deva considerar os princípios do SBM que a IALA promove quando se trata de conceber as AtoNs em vias de navegação em águas interiores, poderão existir normas e regulamentos próprios, legislados pelas autoridades nacionais (United Nations, 2010).

Deste modo, em meados de 1998 a União Europeia criou o conceito de *River Information Services* (RIS), com base no desenvolvimento de dois grandes projetos europeus¹ destinados a promover o desenvolvimento económico assente em transportes

¹ INDRIS: *Inland Navigation Demonstrator for River Information* e o COMPRIS: *Consortium Operational Management Platform River Information Services*.



mais ecológicos, com o objetivo de minimizar os riscos para a segurança e para o meio ambiente, assim como maximizar a eficiência da navegação (PIANC, 2011a, p.3).

O RIS foi reconhecido por organizações internacionais, tais como a *United Nations Economic Commission for Europe* (UNECE), comissões de grandes rios europeus, nomeadamente a do rio Reno² e a do rio Danúbio³ e, por fim, a *World Association for Waterborne Transport Infrastructure* (PIANC) (PIANC, 2011a, p.3).

Em 2002, a PIANC desenvolveu as linhas gerais do RIS, tendo a Comissão Europeia, através da sua diretiva 2005/44/CE reconhecido o documento PIANC *Guidelines*⁴ decretando o *River Information Services on inland waterway in the Community* como sendo o regulamento base (PIANC, 2011b, pp.3-4). Esta diretiva indica que a segurança da navegação para os utilizadores é tão ou mais importante como as autoridades terem o conhecimento efetivo de quem utiliza a via navegável, pelo que deverão ser implementados serviços de acordo com os padrões europeus e deverá igualmente ser garantido um conjunto de serviços básicos, nomeadamente: informação sobre as vias/canais navegáveis, navegação por intermédio de cartas eletrónicas (ECDIS⁵); avisos à navegação; relatos eletrónicos; sistema *Automatic Identification System* (AIS) para gestão do tráfego; sistema de comunicações em *Very High Frequency* (VHF), entre outros (PIANC, 2011a, p.6).

² Em inglês *Rhine*: Rio com nascente na Suíça, atravessa França e Alemanha e desagua na Holanda.

³ Em inglês *Danube*: Nasce na floresta negra da Alemanha e desagua no mar negro na Roménia. A sua bacia hidrográfica banha mais 8 países.

⁴ O termo *Guideline*, no contexto em estudo significa orientações e/ou diretrizes.

⁵ *Electronic Chart Display and Information System*.

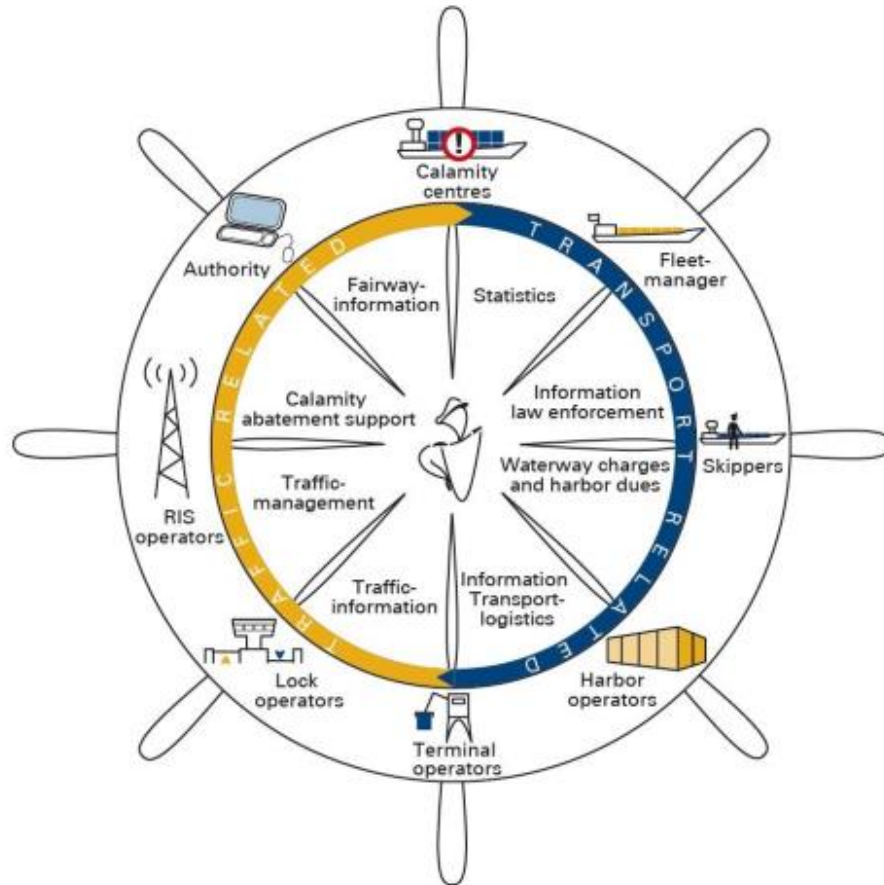


Figura 1 – Serviços de informação das vias navegáveis

Fonte: (PIANC, 2011a)

1.2. Conceitos estruturantes

Para uma melhor compreensão da aplicação do SBM e das peculiaridades da navegação em águas interiores, torna-se necessário aprofundar alguns conhecimentos sobre as vias navegáveis, nomeadamente se os rios são de corrente livre ou canalizados. Os rios de corrente livre são os que apresentam condições para a prática de navegação, mas onde não existem alterações do seu canal por parte do ser humano, ou seja não se verifica a existência de barragens com eclusas. Já os rios canalizados caracterizam-se pela existência de barragens com eclusas ao longo do seu curso de água. Neste caso é possível ter um controlo mais efetivo de algumas condicionantes, nomeadamente o caudal mínimo e a declividade do rio (Miguens, 2010, pp.1491-94).



Figura 2 – Perfil de um rio canalizado

Fonte: (Miguens, 2010, p.1494)

1.2.1. Principais tipos de marcas visuais usadas em rios

1.2.1.1. Boias

De acordo com a IALA, as boias estão classificadas como sendo uma AtoN flutuante, cujo corpo poderá apresentar várias formas e dimensões, com cores bem definidas, estando fundeadas por amarras e ferros ou poitas, em locais previamente determinados. Podem ser luminosas ou cegas, destinando-se a orientar a navegação no arco noturno e/ou diurno. Podem possuir dispositivos sonoros, refletores radar e/ou outros acessórios (IALA, 2010a, p.7).

1.2.1.2. Balizas

As balizas são essencialmente caracterizadas como sendo Ajudas visuais cegas ou luminosas, constituídas por postes de ferro ou de madeira (pouco usual nos dias de hoje), de altura adequada às condições locais, fixas diretamente ao solo do rio. À semelhança das boias, os postes têm uma pintura distinta, em função da indicação que devem transmitir ao navegante (IALA, 2014).

Recentemente surgiu uma nova conceção de baliza, sendo constituída por uma mistura de boia e baliza, ou seja, o corpo possui uma haste fixa (idêntica à de uma baliza), articulada e fundeada por intermédio de uma poita (à semelhança da fixação das boias). A designação deste tipo de marca é conhecida por baliza articulada (Miguens, 2010, p.364).

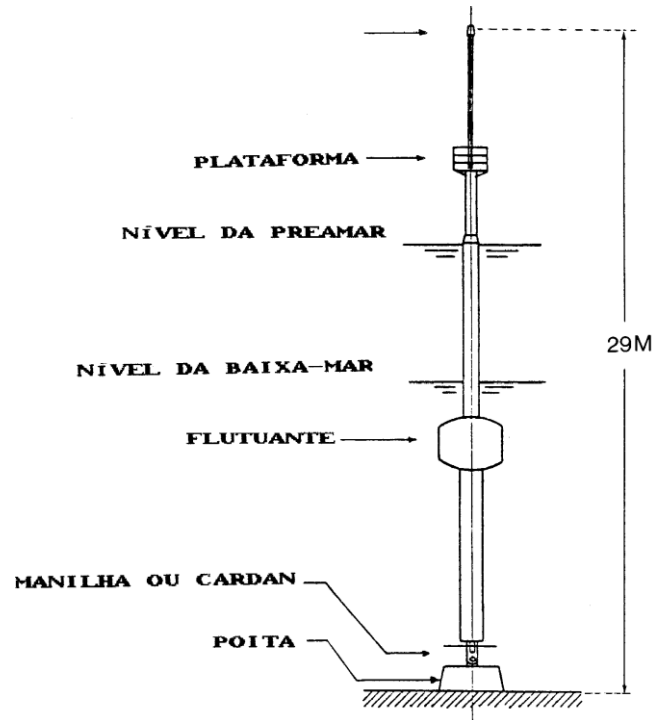


Figura 3 – Exemplo de uma baliza articulada

Fonte: (Miguens, 2010, p.364)

1.2.1.3. Enfiamentos e alinhamentos

São igualmente marcas fixas, mas localizadas em terra, sendo constituídas sempre por dois, ou mais pontos conspícuos, ou seja, pontos de referência na costa facilmente identificáveis, sendo que se encontram à frente uns dos outros, todos na mesma direção (United Nations, 2010, p.12).

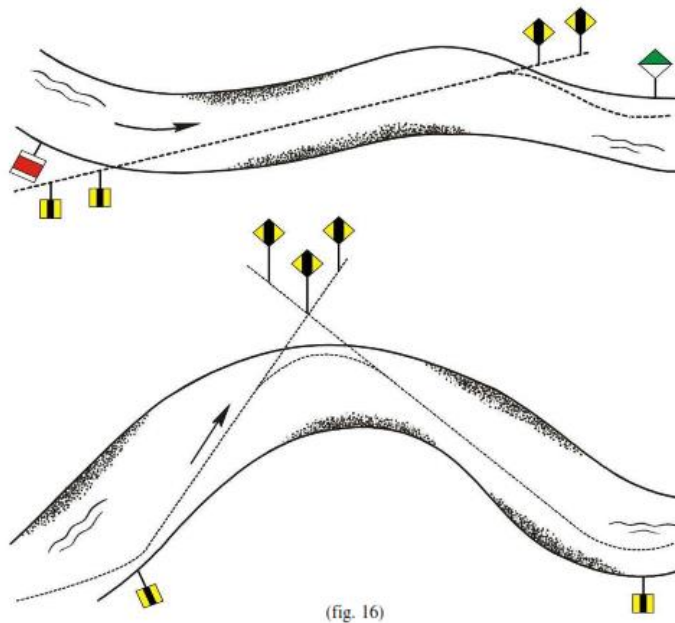


Figura 4 – Enfiamento e alinhamento

Fonte: (United Nations, 2010, p.12)



1.3. Metodologia seguida

Conforme referido anteriormente, a estratégia de investigação usada seguiu um processo assente na metodologia estabelecida no caderno “Orientações metodológicas para a elaboração de trabalhos de investigação” (IESM, 2016), baseada na filosofia ontológica construtivista, assente numa estratégia de investigação qualitativa sobre um raciocínio de análise dos dados de uma forma indutiva.

O tipo de pesquisa a desenvolver será do tipo estudo de caso (Yin, 2001), cujo percurso metodológico teve início com a fase exploratória, onde foi realizada numa primeira fase, uma análise de documentação para efetuar a caracterização genérica do tema a investigar, definir e delimitar o objeto de estudo, assim como a formulação da questão central e suas derivadas, permitindo definir os conceitos estruturantes e a definição do modelo de análise.

Para a fase seguinte, analítica, procedeu-se à recolha, análise e apresentação de dados, complementando a investigação documental, leitura e observação das referências bibliográficas com entrevistas semiestruturadas a peritos na matéria de acordo com os apêndices D e F.

Finalmente, na fase conclusiva, foi efetuada a avaliação e discussão dos resultados, para dar resposta à questão central, promovendo a ideia geral da investigação, terminando com recomendações e sugestões para trabalhos futuros.



2. Navegação em condições extremas

Para a caracterização de um modelo de balizagem adequado para ser implementado em áreas sujeitas a condições extremas, ter-se-á inevitavelmente de ter em consideração as condicionantes associadas à implantação das Ajudas à Navegação, o tipo de embarcações que navegam na área e o rigor que deve estar associado às AtoNs utilizadas, identificando as principais condicionantes do assinalamento marítimo em rios com fortes correntes, considerando a natureza do seu fundo.

2.1. Principais condicionantes do assinalamento marítimo

De acordo com a PIANC e com a IALA, citado por Manuel Domingues (2014, p.138), os principais condicionantes do assinalamento marítimo em rios estão associados essencialmente aos quatro fatores apresentados na tabela seguinte (Tabela 1):

Tabela 1 – Fatores que condicionam o assinalamento marítimo em rios

Fator	Condicionante
Variações do caudal	Praticabilidade de algumas zonas de navegação e a definição da altitude das balizas.
Velocidade das correntes de escoamento do rio	Varia de acordo com fenómenos naturais e artificiais, condicionando igualmente a escolha entre marcas flutuantes e marcas fixas.
Morfologia dos fundos	Escolha entre marcas fixas e flutuantes.
Relação da largura do canal com a largura do rio	Relação entre o raio de giração das marcas flutuantes e a largura do canal, promovendo o uso de marcas fixas.

Fonte: (Adaptado de IALA, cit. por Domingues, 2014, p.138)

2.2. Rigor das AtoNs

É essencial garantir um adequado rigor das AtoNs sendo vital assegurar que estas apresentem uma elevada disponibilidade e fiabilidade. Neste âmbito, considera-se que a disponibilidade corresponde ao elemento chave dos indicadores de desempenho, funcionando como uma ferramenta de gestão que serve para analisar e monitorizar o desempenho das AtoNs e/ou sistemas específicos cuja informação poderá, entre outros fins, ser usada para demonstrar a eficiência e eficácia do serviço prestado (IALA, 2004, p.4).

Pese o facto de que a obtenção de padrões elevados de disponibilidade e fiabilidade implique elevados custos, é imprescindível garantir um nível de confiança e segurança na



navegação de modo a evitar danos/acidentes catastróficos. Assim, no que respeita à utilização de AtoNs, a IALA define um conjunto de indicadores de desempenho como sendo indispensáveis que podem ser consultados no anexo B (IALA, 2004, p.6):

A recomendação O-130 da IALA (2011c) define a categorização da disponibilidade de AtoNs de deteção a curta distância⁶, de acordo com a Tabela 2, indicando igualmente que a disponibilidade mínima de qualquer AtoN não deve nunca ser inferior a 95% e a fórmula para o seu cálculo corresponde a (IALA, 2011c, pp.6-7):

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo total} - \text{Tempo de Indisponível}}{\text{Tempo total}} \text{ [expresso em \%]}$$

Tabela 2 – Rigor das AtoNs

Descrição	Categoria	Disponibilidade
Ajudas ou sistema de ajudas consideradas pela autoridade competente como sendo vital para a navegação.	I	≥ 99,8%
Ajudas ou sistema de ajudas consideradas pela autoridade competente como sendo importante para a navegação.	II	≥ 99,0%
Ajudas ou sistema de ajudas consideradas pela autoridade competente como sendo necessárias para a navegação.	III	≥ 97,0%

Fonte: (Adaptado de IALA, 2011c, p.7)

2.3. Principais preocupações

2.3.1. Perigos

Para evitar e minimizar acidentes, os perigos devem ser especificamente identificados e assinalados nos documentos náuticos, devendo ser analisados individualmente e adequadamente priorizados. Em termos gerais, a IALA, através da *Guideline 1018*⁷ (2013a, p.8), identifica cinco tipos de perigos a considerar: naturais, económicos, técnicos, fatores humanos e riscos operacionais (consultar anexo C).

Os elevados caudais provocados pelos perigos naturais, aliados às fortes correntes, originam a que as boias, por serem corpos flutuantes, possam implicar alguns perigos e riscos associados à navegação (IALA, 2013b). Por um lado temos o rigor que a AtoN deverá apresentar e por outro temos a tensão exercida no corpo provocada pelas correntes fortes. Neste sentido, a *Guideline 1066*⁸ da IALA (2010a), para além de indicar o limite do

⁶ Todas as AtoNs destinadas a serem utilizadas dentro do alcance visual, sonoro ou radar marítimo.

⁷ *Risk Management, Edition 3.*

⁸ *The Design of Floating Aid to Navigation Moorings.*



raio de giração das boias, que deverá variar entre um e três metros de raio, define claramente os cuidados e os cálculos a ter em consideração para o dimensionamento das mesmas.

2.3.2. Riscos

De acordo com a *Guideline* 1018 (2013a, pp.7-8), para uma cuidadosa análise da via navegável, deverão ser definidos os critérios para identificação dos riscos que lhe estejam associados pelo que, independentemente das razões que conduzam à elaboração do processo de risco, são identificados um conjunto de fatores de risco associados à navegação, que poderão ser consultados no anexo A. No anexo C é apresentada a matriz ALARP⁹ que os responsáveis pela via de navegação de qualquer rio devem ter permanentemente presente (IALA, 2013a, p.14).

2.4. Tipos de embarcações

Os tipos de embarcações a navegar em rios poderão ser dos mais variados, assim como as suas dimensões. Neste sentido a PIANC procurou regular e estabelecer um padrão, comumente aceite por todos os Estados membros para a caracterização dos tipos de embarcações (PIANC, 2010, pp.47-50). A nível nacional os responsáveis pela segurança da navegação promulgam o respetivo regulamento de navegação para cada via navegável, tendo em consideração o padrão estabelecido e recomendado pela comunidade internacional, como é o caso do rio Douro, cujo regulamento, no artigo 5.º do Decreto-Lei n.º 344-A/98, de 6 de novembro, define os diversos tipos de navegação.

Devido ao vasto leque de tipos de embarcações, para o presente estudo serão agrupados e classificados de acordo com a sua tonelagem, considerando os níveis apresentados na tabela seguinte (Tabela 3):

Tabela 3 – Classificação de embarcações

Nível	Tipo embarcação	Deslocamento
N1	Ligeira	< 5 t
N2	Pequeno porte	≥ 5 t e < 20 t
N3	Grande porte	≥ 20 t

Fonte: (Adaptado de Conselho de Ministros, 1998)

⁹ *As Low As is Reasonably Practicable.*



2.5. Influência das correntes

De acordo com Rita Cabral Guimarães¹⁰ (2012), a corrente de escoamento nos rios corresponde ao deslocamento de água ao longo do canal, desde a sua origem até à foz (local onde se poderá registar o efeito contrário de correntes, provocado pela amplitude de maré) ou seja, a corrente de escoamento define-se como a quantidade de água que atravessa um secção de um curso de água, num determinado intervalo de tempo, podendo ser expressa em volume (m³, hm³, km³) ou em altura de água (mm).

Contudo, em vez de se utilizar o termo de corrente de escoamento, é mais comum recorrer-se ao termo caudal médio (Q) que exprime a relação entre o volume de água (ΔV) numa determinada secção e o tempo de passagem (Δt):

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

A determinação da velocidade da corrente de escoamento num rio é complexa, uma vez que o movimento da água não é homogéneo numa determinada secção e muito menos o será ao longo do canal. Tipicamente, a corrente aumenta ao longo do curso de água, principalmente quando o rio apresenta vários afluentes, registando-se um incremento da corrente imediatamente após a convergência dos rios, assim como velocidades diferentes em determinadas secções do rio, variando de acordo com a morfologia e demografia do rio, como é ilustrado na Figura 5 (Hebert, 2008).

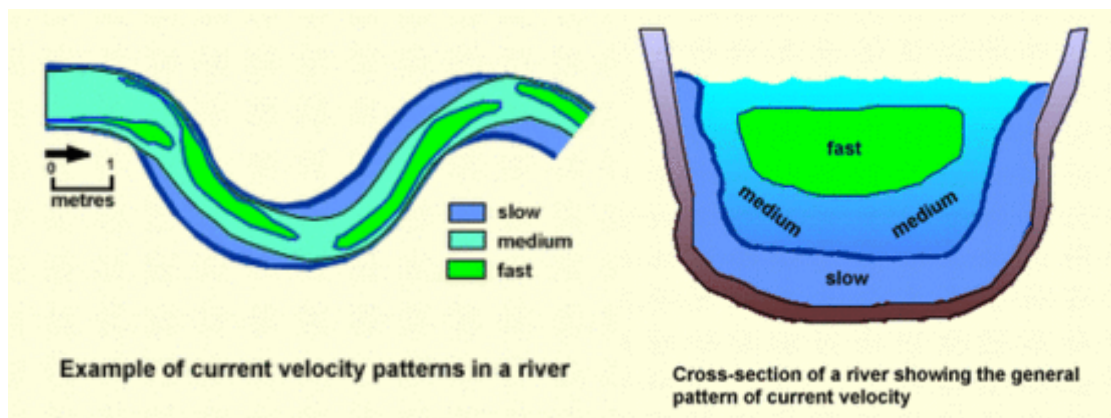


Figura 5 – Velocidade da corrente em rios

Fonte: (Hebert, 2008)

Fruto do resultado dos diferentes graus de fricção provocados pelos vários tipos de fundo, são induzidas diferentes velocidades, geralmente superiores à superfície, diminuindo com o aproximar do fundo do canal (Figura 5). O efeito do vento poderá afetar igualmente as correntes à superfície, isto é, quando o vento apresenta uma direção

¹⁰ Professora na Universidade de Évora, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas.



contrária ao sentido da corrente, a velocidade junto da superfície pode diminuir. Na proximidade das margens, a velocidade da corrente apresenta valores inferiores em relação ao centro do canal, variando de acordo com a rugosidade e a inclinação das margens (Cunha, 2010, pp.17-18).

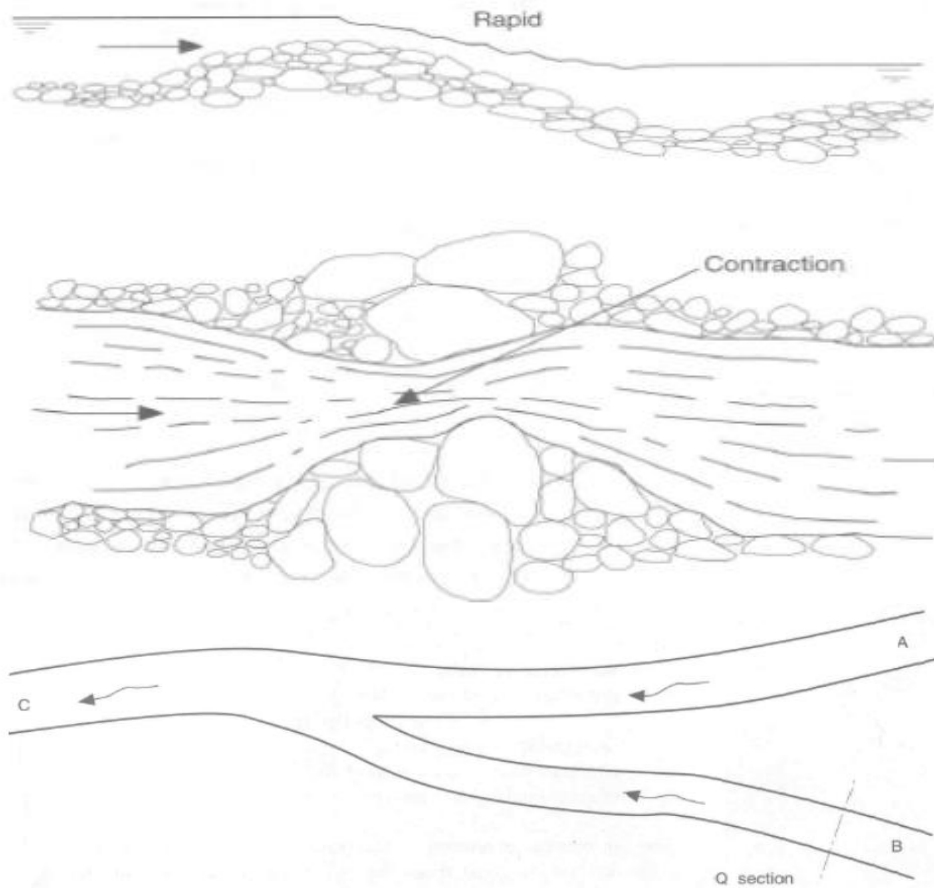


Figura 6 – Aumento da velocidade da corrente em rios

Fonte: (Cunha, 2010, p.61)

Adicionalmente, nos rios que apresentam barragens/eclusas, as correntes de escoamento variam igualmente em função do caudal provocado pelas suas descargas, sendo que estas, como se pode observar os vários gráficos representados no apêndice B, poderão ser efetuadas com maior regularidade no inverno devido à precipitação (Silva, 2016). No apêndice C é ilustrado o efeito que a precipitação possui no caudal e na corrente de um rio, sendo notório que as amplitudes de caudal podem variar de acordo com os níveis de precipitação, ocorrendo esta variação com maior intensidade nos períodos de inverno.

De acordo com a classificação das embarcações e com base no estudo do perfil das velocidades de corrente nos rios, cuja velocidade da água é superior no centro do canal relativamente às margens, estas serão influenciadas de forma diferente conforme



naveguem no sentido ascendente ou descendente do rio. Ou seja, no sentido descendente as embarcações apresentam velocidades absolutas superiores (em relação ao fundo), maior energia cinética e conseqüentemente piores qualidades no governo e manobra, pelo que a partir de um determinado valor da corrente de escoamento a segurança da navegação poderá estar em risco (Miguens, 2010, pp.1520-29).

2.6. Natureza do fundo

Como foi verificado, a corrente varia de acordo com vários elementos tendo, conforme a sua morfologia, um comportamento distinto ao longo do rio, tornando-se deste modo a maior responsável pela erosão do canal do rio, apresentando ritmos diferentes de desgaste conforme a natureza do fundo.

Antes de abordar os diferentes tipos de fundo, é importante caracterizar os rios quanto ao seu tipo de leito, pois verifica-se que o fundo do rio irá sofrer ligeiras alterações de acordo com o regime de cheias, que por sua vez terá um forte impacto no fluxo do curso de água, do caudal do rio e das correntes.

Assim, registam-se três tipos de leito quanto ao caudal que o rio apresenta (Gomes et al., 2016):

- Leito de Estiagem, onde corre o rio nos períodos mais secos do ano;
- Leito normal, onde corre o rio normalmente;
- Leito de cheia, onde corre o rio nos períodos mais chuvosos do ano.



Figura 7 – Tipos de leito dos rios

Fonte: (Prof2000, n.d.)

Para além do tipo de leito, a erosão provocada pela corrente de escoamento do rio difere de acordo com o local do percurso. No curso superior, o traçado do rio apresenta maiores declives com a formação de vales mais pronunciados (em forma de “V”), as velocidades da água são tipicamente superiores, sendo que a fase de erosão é tipificada pelo desgaste dos materiais. No curso intermédio, o rio começa a apresentar declives menos pronunciados, os vales formam um “V” mais aberto, as velocidades da água reduzem ligeiramente e a fase de erosão é conhecida pelo transporte. Já no curso inferior, o traçado do rio é praticamente plano, os vales são largos e pouco fundos, as velocidades de



escoamento são normalmente reduzidas, apresentando um efeito contrário provocado pelo efeito da maré, sendo a fase de erosão designada por acumulação (Gomes et al., 2016).

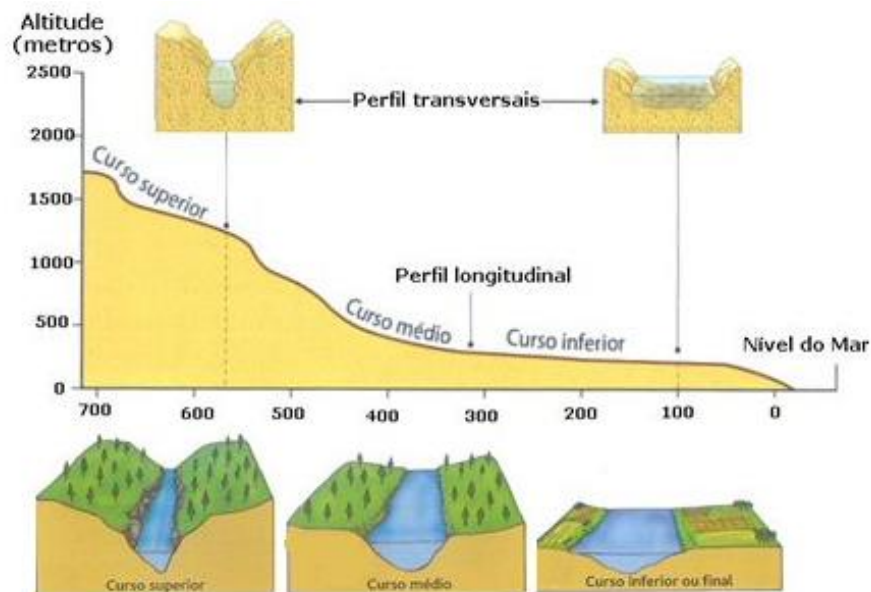


Figura 8 – Classificação dos rios quanto ao curso

Fonte: (Prof2000, n.d.)

Naturalmente, quando se trata de um rio canalizado, as várias fases de erosão registam-se entre as eclusas.

O efeito das cheias contribui igualmente para a alteração morfológica do rio. Como se pode observar na figura abaixo (Figura 9), após uma cheia regista-se um acumular de compostos sedimentares nas margens junto da zona do leito normal, provocando desta forma uma alteração do fundo do rio (Hanson, n.d.).

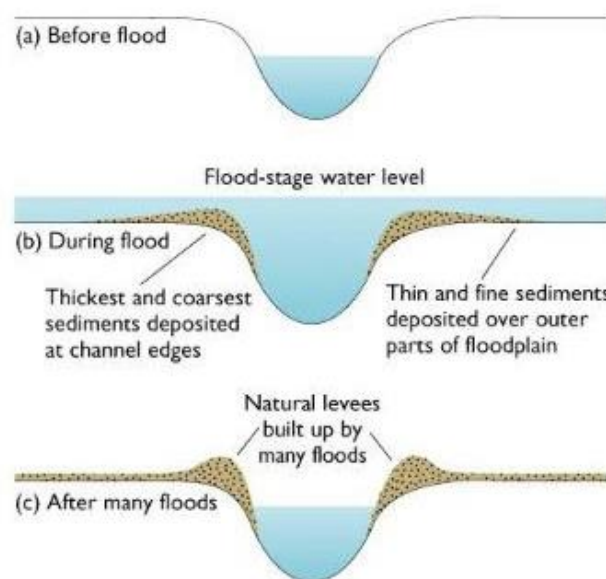


Figura 9 – Efeito das cheias nas margens dos rios

Fonte: (Kontakt, n.d.)



De acordo com o tipo de material existente no fundo do rio e conforme a sua sinuosidade, a erosão irá contribuir para a alteração da forma topográfica do seu leito, formando soleiras e depressões (Fernandez, n.d.).

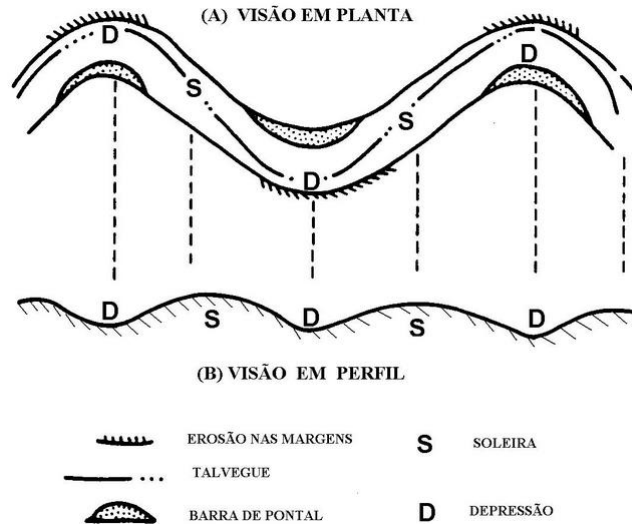


Figura 10 – Erosão da morfologia dos rios

Fonte: (Fernandez, n.d.)

A soleira constitui uma zona ligeiramente mais elevada, com fluxo convergente, cujo material do fundo é formado por sedimentos grossos. Por seu lado, a depressão compreende um rebaixamento no leito, com fluxo divergente, cujo material do leito é formado por sedimentos mais finos. Estas condições conferem às soleiras maior velocidade de fluxo do que nas depressões. Em regra, as depressões estão localizadas nas proximidades das curvas e as soleiras nos pontos de inflexão (Figura 10) (Fernandez, n.d.).

Contudo, a erosão provoca a modificação do leito original do rio e depende essencialmente da natureza do seu leito (fundo), podendo esta ser rochosa ou arenosa.

2.6.1. Rochosa

Quando a natureza do leito do rio é do tipo rochosa, a modificação do leito original provocada pela erosão não é significativa no tempo, contudo geralmente as regiões dos rios de natureza rochosa apresentam um elevado declive, apresentando um relevo irregular dando origem a variações significativas na velocidade da água (Fernandez, n.d.).

2.6.2. Arenosa

Num rio de leito arenoso, a modificação do leito original provocada pela erosão e pelas correntes poderá ser muito significativa, uma vez que para além de se verificar uma movimentação mais acelerada dos sedimentos finos é igualmente mais propenso à criação de obstáculos e consequentemente implicará um maior risco para a navegação. A formação



de soleiras e depressões ocorre com maior facilidade, provocando uma irregularidade no fluxo da corrente de escoamento, obrigando a recorrer a métodos de regularização do leito do rio com maior frequência, tais como dragagens, entre outros (Fernandez, n.d.).

2.7. Síntese conclusiva

No presente capítulo foram descritos os principais fatores que afetam as marcas, assim como os principais condicionantes do assinalamento marítimo identificados pela IALA. Foram definidos os vários tipos de embarcações, classificando-as de acordo com a sua tonelagem e foi realçada a importância do rigor associado às AtoNs, enumerando um conjunto de indicadores de desempenho indispensáveis para medir o seu rigor e disponibilidade, bem como as principais preocupações a considerar, para evitar e minimizar acidentes, alertando para a importância de ser efetuada uma adequada análise de risco.

Foi igualmente elaborado um estudo sobre a velocidade das correntes que se fazem sentir ao longo do curso de água, e como são influenciadas pela natureza dos fundos, verificando-se que todos os rios apresentam, de um modo geral, secções transversais mais estranguladas que outras, com zonas mais profundas e com diferentes tipos de fundo, podendo estes três aspetos ter influência nas correntes de escoamento, assim como, a sua combinação aumentar a velocidade das correntes. O valor da corrente será inferior em troços onde se verifiquem larguras superiores das secções transversais e maiores profundidades.

Verificou-se também que as amplitudes de caudal podem variar de acordo com a precipitação, registando-se uma maior incidência no período do inverno. Este facto condiciona de sobremaneira a utilização de marcas fisicamente instaladas na via navegável do rio, por poder alterar o respetivo raio de giração no caso das boias (implicando não ser garantido o rigor posicional a que estão obrigadas) e ficarem submersas no caso das balizas. Por outro lado, os elevados caudais possuem uma forte influência na velocidade das correntes de escoamento do rio, que por sua vez induzem alterações no leito do rio de acordo com a sua morfologia e o tipo de fundo, condicionando o sistema de fixação de marcas na via navegável o que conjugado com a relação da largura do canal com a largura do rio elevam as preocupações e cuidados a ter na edificação do assinalamento. Estes factos afetam e influenciam o comportamento das embarcações, conforme se deslocem no sentido ascendente ou descendente do rio, podendo degradar significativamente a navegação



quando se verificarem correntes demasiado elevadas, aumentando os riscos para a navegação.

Assim, respondendo à QD1, podemos concluir que as condições extremas que afetam a navegação nos rios prendem-se essencialmente com as variações do caudal e com a velocidade das correntes de escoamento do rio.

Para dar resposta à QD2, verificou-se que de todas as AtoNs utilizáveis, aquelas que realmente condicionam e dificultam a edificação do assinalamento marítimo em rios com correntes fortes são as implantadas no leito do rio, por se verificarem alterações morfológicas do leito original provocadas pela erosão ao longo do tempo, sendo mais significativa em fundos arenosos e menos pronunciada em fundos rochosos.

Concluiu-se assim que as condicionantes de um modelo de balizagem em rios com correntes fortes, considerando a natureza do fundo, correspondem à degradação do rigor do posicionamento das AtoNs, pois para além de poder ocorrer a alteração da posição das marcas flutuantes, as fortes correntes aliadas às irregularidades do seu fluxo e conjugadas com a variação de amplitude do rio contribuirão para o aumento da tensão na amarra, podendo provocar a rotura dos elos da corrente, soltando a boia e originando um perigo para a navegação.



3. Balizagem em rios de grande variação de coluna de água

Como se pôde verificar nos capítulos anteriores, de entre todas as AtoNs existentes, aquelas que na realidade podem constituir motivo de preocupação em rios cujo gradiente da coluna de água seja significativo, são as marcas flutuantes (boias), isto devido principalmente ao respetivo sistema de fixação. Deste modo, justifica-se que a análise da balizagem em rios de grande variação de coluna de água incida maioritariamente no sistema de fixação das boias.

3.1. Sistema de fixação de boias

A fixação de uma boia ao solo terá de passar obrigatoriamente pela utilização de uma amarra, cujas extremidades possuirão olhais para fixação aos restantes elementos do sistema de amarração, sendo que no leito do rio (fundo), o olhal é fixo por intermédio de um peso de chumbo ou de uma poita de cimento armada. No entanto, poder-se-ão utilizar outros sistemas de fixação (IALA, 2010a, p.8).

Neste âmbito, a *Guideline* 1066 (IALA, 2010a) aprofunda e detalha os cuidados a ter em conta no processo de dimensionamento do sistema de fixação das boias, apresentando a resistividade dos vários tipos de materiais usados para o efeito e os cálculos a considerar.

3.2. Estudos de Caso

Seguidamente serão apresentados alguns casos práticos, em rios internacionais, da aplicação de sistemas de fixação de amarras para boias em rios que apresentam um fluxo de corrente significativa, identificando o problema, a solução apresentada e os resultados obtidos. Por representar uma solução alternativa ao assinalamento marítimo, apesar de não envolver a utilização de Ajudas à Navegação físicas, foi considerado enriquecedor para o estudo desenvolvido a inclusão, no anexo D, de um caso que prima por AtoNs virtuais.

3.2.1. Caso prático alemão

No rio Reno, na área de Saint Goar, a via navegável é sinuosa, com 120 metros de largura, apresentando uma corrente média que ronda os sete nós, sendo a natureza do fundo maioritariamente rochosa. A profundidade média é de 3,4 metros e a variação sazonal da amplitude do rio varia entre os 1,39 metros e os 9,29 metros.

A navegação praticada nesta secção do rio está limitada a navios e embarcações rebocadas até um comprimento máximo de 140 metros e uma largura de 15 metros. Embora se registre um tráfego de 70 000 navios, transportando uma média de 67 milhões de toneladas por ano. Por razões de segurança não é permitida a navegação nos dois sentidos em simultâneo.



Esta secção do rio possui um terço dos sistemas de fixação das boias cravadas diretamente à rocha do leito do rio, a 60 centímetros de profundidade e com olhais de 50 milímetros de diâmetro. A boia é suportada por duas amarras, uma com um comprimento de 12 metros e a outra de 15 metros (IALA, 2010a, pp.39-40).

Embora não tenha sido possível averiguar a taxa de sucesso deste método, foi possível apurar que existe um plano de contingência baseado numa amarra de características superiores.

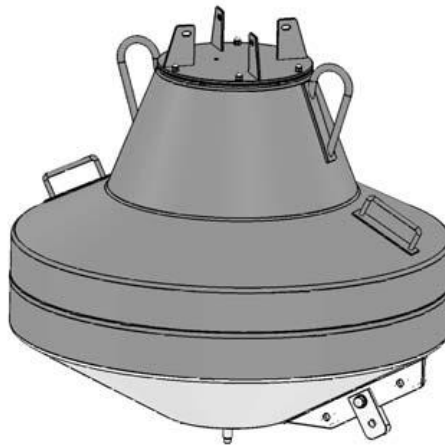


Figura 11 – Boia típica usada em rios

Fonte: (IALA, 2010a, p.40)

3.2.2. Caso prático holandês

Igualmente no rio Reno, por parte dos holandeses, é usado um sistema ligeiramente diferente. Na secção holandesa do rio, a corrente média registada é de quatro nós, aumentando por vezes até valores na ordem dos seis nós. A profundidade varia entre os três e os 12 metros sendo desconhecida a natureza do fundo.

A fixação da amarra é feita através de um ferro de 125 kg, no lugar do tradicional peso de chumbo. A amarra tem inicialmente (junto ao ferro) um comprimento de 25 metros, dividindo-se posteriormente em duas amarras com quatro metros de comprimento e cujo diâmetro dos elos corresponde a 22 mm.

A segunda linha de amarra da boia é designada por *neuringline* e destina-se simplesmente a permitir a uma embarcação deslocar a boia, e eventualmente o ferro, para uma nova posição, por motivos de alterações dos níveis de água (IALA, 2010a, pp.39-40).

Também neste caso não foi possível apurar os resultados da eficácia deste sistema, quer ao nível de precisão da AtoN, quer ao nível de registos de perda de boias.

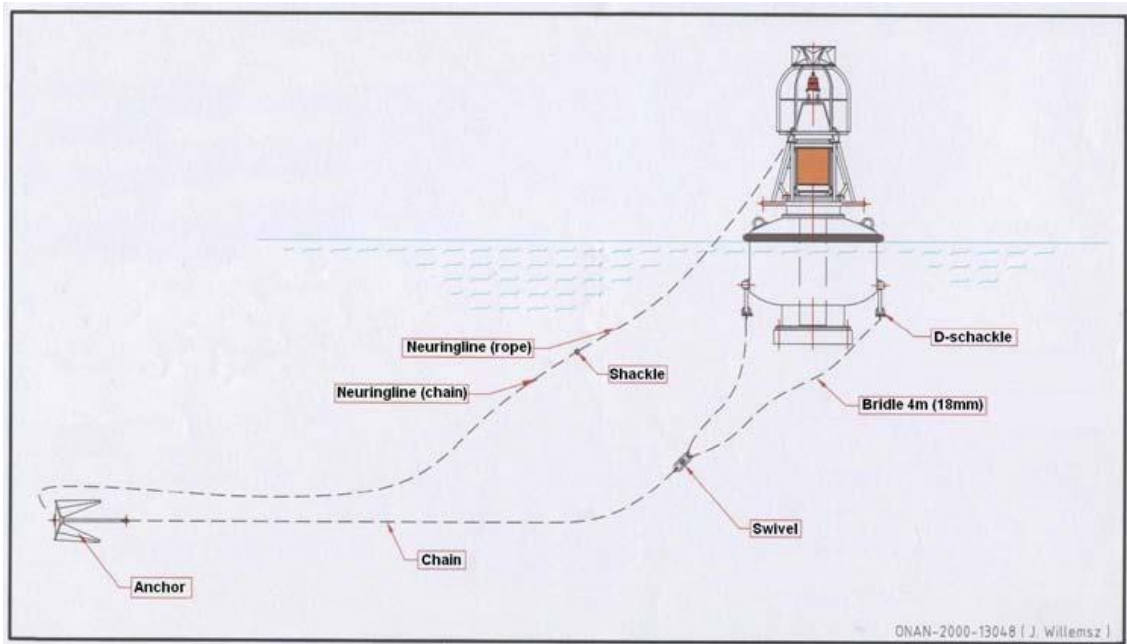


Figura 12 – Sistema de fixação das boias em rios

Fonte: (IALA, 2010a, p.40)

3.2.3. Caso prático canadiano

A solução levada a cabo pelos canadianos difere dos outros três sistemas anteriormente apresentados. Baseia-se num sistema com um peso de chumbo de 300 kg e uma amarra de cabo duplo de poliéster de 16 mm, usando um flutuador de arrasto posicionado a um terço do comprimento do cabo em relação ao fundo e procurando desta forma minimizar o efeito da corrente sobre o movimento rotacional da boia (raio de giração). Entre os olhais de fixação da boia e do cabo é usada uma amarra composta por elos de ferro que serve de contrapeso para manter a verticalidade da boia. Este contrapeso varia mediante as condições ambientais, verificando-se a existência de dois modelos, o normal e o de gelo. Já na união entre o contrapeso e o cabo pode ser adicionado um suporte giratório devidamente dimensionado de acordo com a amplitude e as correntes sentidas na área (IALA, 2010a, p.62).

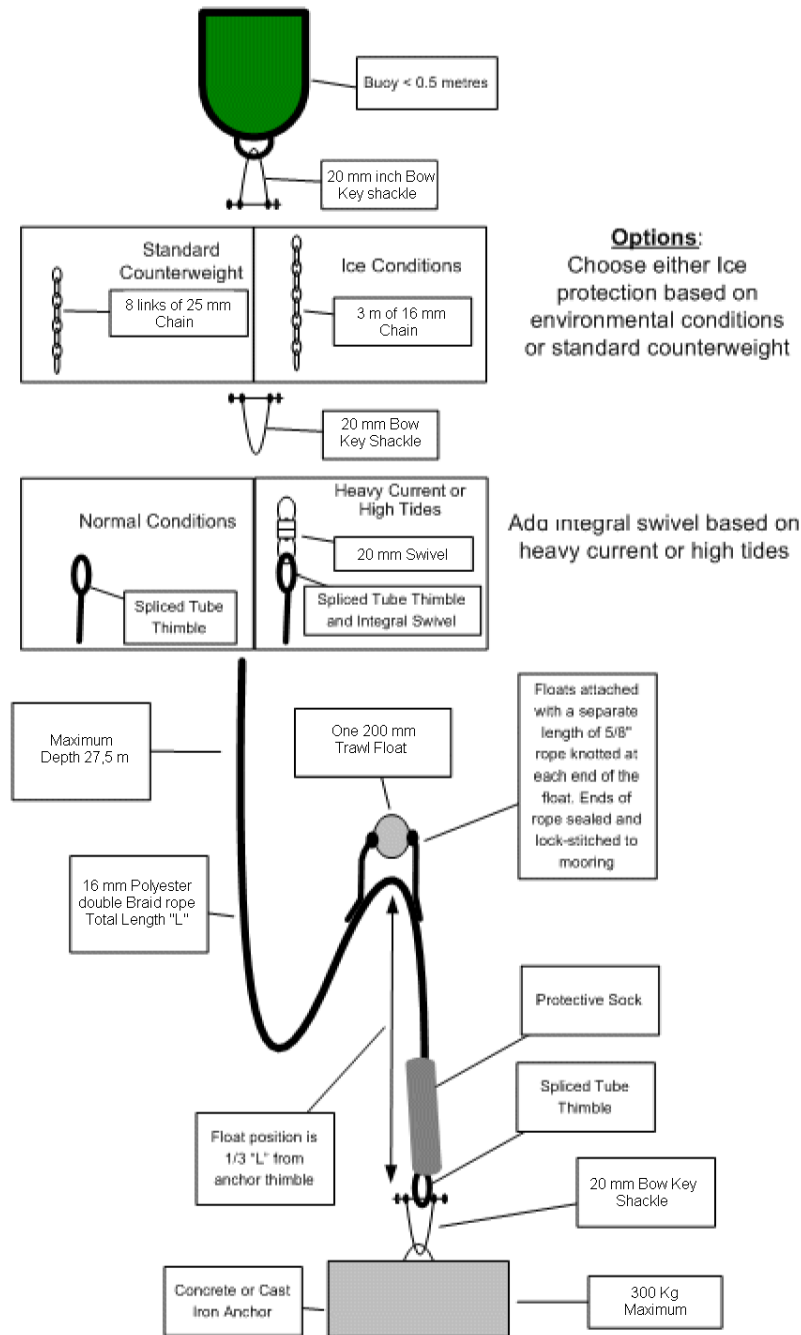


Figura 13 – Sistema de fixação canadiano

Fonte: (IALA, 2010a, p.62)

3.2.4. Caso prático japonês

Embora o canal não identifique a presença das condições extremas em estudo, os japoneses preocupados em aumentar a eficiência das AtoNs, procederem à substituição de boias por balizas articuladas, conforme se pode observar na Figura 14, conseguindo resultados surpreendentes. Esta alteração conduziu, em termos operacionais, atingir o principal objetivo que consistia em aumentar a fiabilidade do rigor das AtoNs, promovendo uma maior segurança da navegação, assim como, tecnicamente, a solução



revelou ser mais vantajosa do que a utilização de boias apresentando, curiosamente, a longo prazo custos de manutenção inferiores (IALA, 2005).

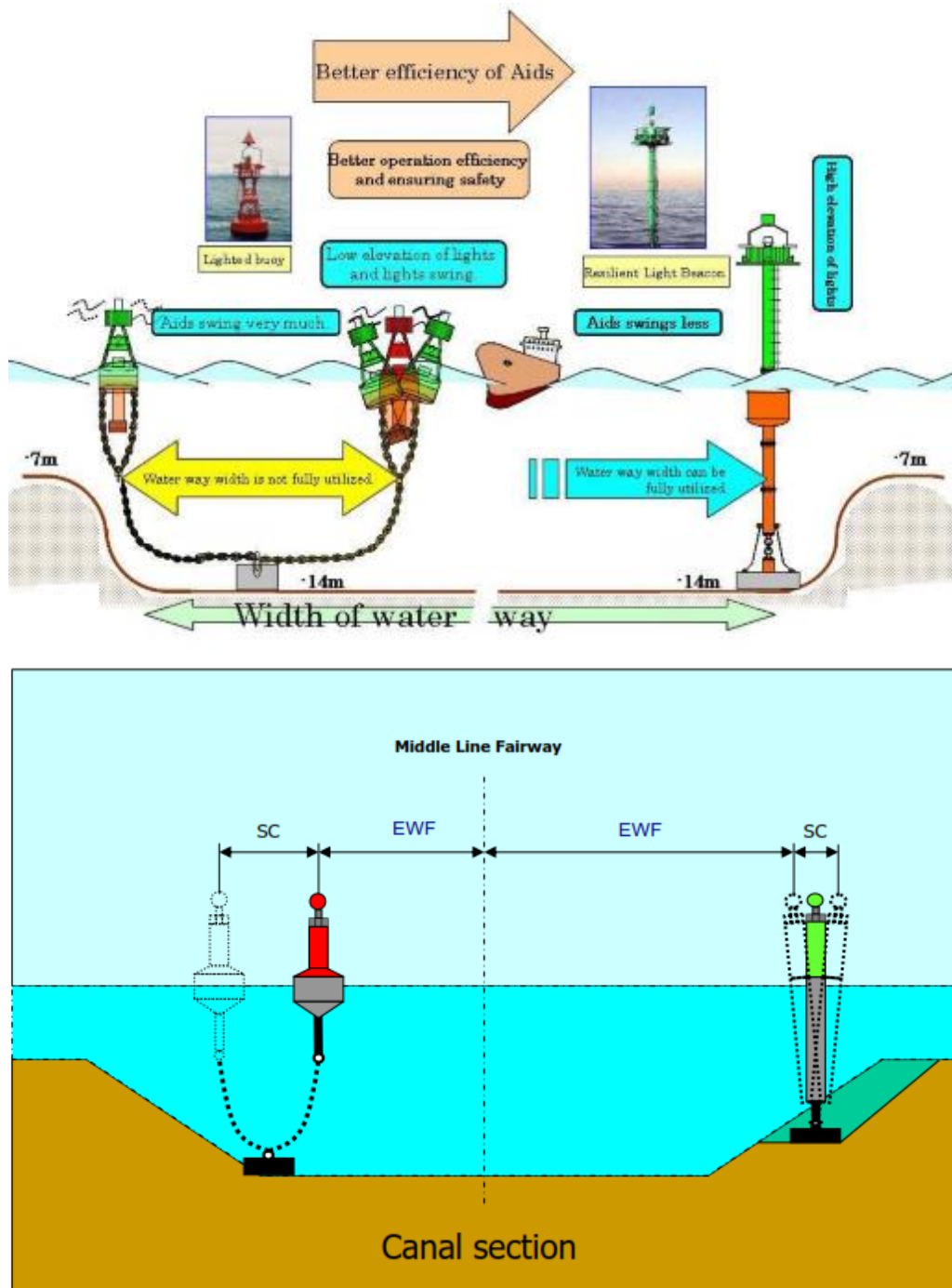


Figura 14 – Sistema de balizagem japonês

Fonte: (IALA, 2011a, p.35)

3.3. Síntese conclusiva

Da recolha de dados efetuada e dos estudos de caso analisados, embora não sejam claros quanto ao nível da sua eficácia e não explicitem o esforço necessário nas ações de manutenção, todos são referenciados nos fóruns internacionais como sendo modelos a



seguir. Em relação aos casos da Alemanha e da Holanda, pelo facto do fluxo da corrente ser unidirecional assumem o fator corrente como sendo uma constante, não a considerando relevante desde que esteja devidamente dimensionado para os fluxos máximos registados e que se façam regularmente as necessárias inspeções e manutenções. Já no caso austríaco (anexo D) é dada mais importância ao *Danube River Information Services* (DoRIS) como um todo, enaltecendo as Ajudas virtuais. Os canadianos apresentam um sistema dimensionado para situações de elevadas amplitudes e onde a corrente se faça sentir em múltiplas direções. Finalmente, os japoneses primam pela utilização de balizas articuladas.

Concluiu-se que aquando da edificação de marcas localizadas no leito do rio, estas estão condicionadas de acordo com o tipo de AtoN, carecendo sempre de uma análise prévia das características do rio, podendo ser utilizado um sistema misto: boias e/ou balizas, dependendo maioritariamente da relação da largura do canal com a largura do rio e da natureza do seu fundo.

Quando se utilizam boias, a principal variável está associada ao respetivo sistema de fixação, podendo ocorrer situações em que a boia deixe de ser uma Ajuda para passar a constituir um perigo para a navegação. Isto não só pelo rigor que a Ajuda à navegação deverá garantir (raio mínimo de giração), como pelo facto de poder ocorrer uma rotura no sistema, caso não possua uma boa resistividade aos efeitos naturais provocados pelos elevados caudais e pela influência das fortes correntes.

Já no caso da utilização de balizas, a grande fragilidade prende-se com o dimensionamento do poste cujo elemento essencial é a luz da AtoN, uma vez que o ângulo de visibilidade da luz irá variar conforme a amplitude do caudal, podendo ficar submersa quando se verificar uma amplitude do caudal bastante acentuado e demasiado elevado com amplitudes menores.

Assim, face aos factos expostos e respondendo à QD3, o modelo de balizagem mais adequado para rios com grandes variações de coluna de água corresponderá ao recurso a um sistema híbrido, aproveitando o melhor das duas opções, ou seja, conjugando a utilização de uma baliza fixa ou articulada, mediante o tipo de fundo, com uma boia, minimizando desta forma os riscos inerentes a eventuais alterações de posição da marca, e aumentando a sua eficiência e eficácia.



4. Possível modelo para arquitetura

A apresentação de um possível modelo de arquitetura para o assinalamento marítimo a edificar no rio Douro, baseado no modelo de balizagem para condições extremas, obriga previamente à sua caracterização, focando os aspetos mais relevantes anteriormente abordados no presente estudo, e realçando os atuais constrangimentos deste rio.

É importante ressaltar o facto do rio Douro se encontrar inserido no Plano Estratégico de Desenvolvimento Turístico Nacional e no Plano de Desenvolvimento Turístico do Vale do Douro, sendo que a taxa de crescimento turístico médio anual registada nos últimos três anos foi superior a 19%, o que conduziu à criação do projeto *Douro's Inland Waterway 2020* com o intuito de melhorar as condições de navegabilidade da via navegável do Douro, reforçando a segurança, otimizando o sistema de comunicações e criando novas formas de utilização de meios de transporte (APDL, 2016).

4.1. Caracterização do rio Douro

A via navegável do Douro tem uma extensão de 207,5 km de águas navegáveis, desde a foz do rio Douro até à Barca de Alva (foz do rio Águeda), é um rio canalizado e apresenta ao longo das suas cinco eclusas um desnível de 125 metros. Verifica-se a existência de duas larguras mínimas, sendo a largura mínima do canal de 40 metros em leito rochoso e de 60 metros em leito aluvionar (Peixeiro, 2012) e conforme o Decreto-Lei n.º 344-A/98, de 6 de novembro (Conselho de Ministros, 1998), que aprova o regulamento da via navegável do Douro, no ponto quatro do artigo 67.º a profundidade mínima é de 4,2 m, “podendo, em circunstâncias excepcionais, com uma baixa-mar de maré viva e a central parada, a profundidade ser de 3,6 m.”.

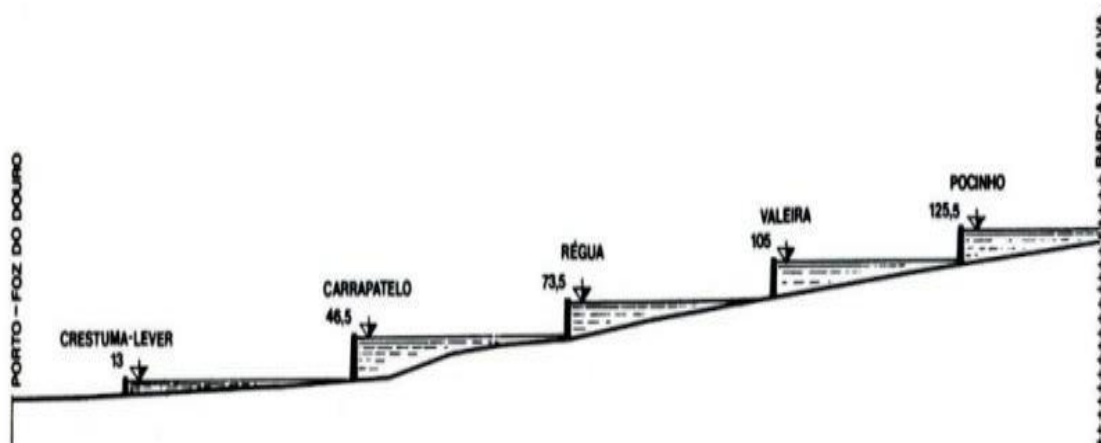


Figura 15 – Eclusas e respetivas cotas

Fonte: (Peixeiro, 2012)

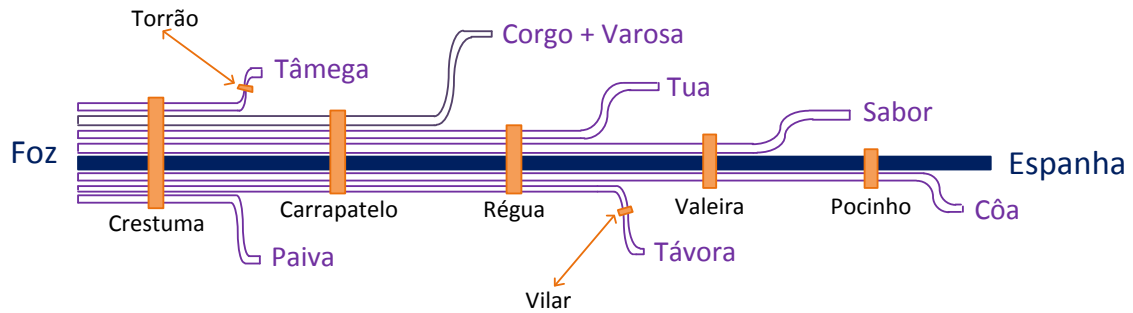


Figura 16 – Rio Douro, principais afluentes e eclusas

Fonte: (Adaptado de Silva, 2016)

4.1.1. Correntes e natureza do fundo

De acordo com as entrevistas realizadas,¹¹ a via navegável do Douro, não possui atualmente equipamentos instalados e integrados numa plataforma de monitorização e controlo, consequentemente não existem registos das correntes típicas ao longo da via navegável. A leitura feita baseia-se na experiência acumulada, por um lado pela Eletricidade de Portugal (EDP), através da exploração hidroelétrica das barragens, que realiza a sua atividade de descargas de água com base na quantidade de água em metros cúbicos, sabendo, por experiência própria, quanto tempo demora essa mesma quantidade de água descarregada numa determinada eclusa a percorrer a distância até outra mais a jusante (Silva, 2016). Por outro lado, com base nas leituras do caudal de água, associadas às previsões meteorológicas, e sabendo que nas zonas de confluência com os rios afluentes, a corrente varia em direção e intensidade dependendo diretamente do caudal que esse rio está a debitar para a via navegável, a capitania gere a abertura ou o encerramento do rio à navegação (Martins, 2016).

Quanto à natureza do fundo, o Instituto Hidrográfico (IH) encontra-se a efetuar o levantamento pormenorizado de toda a via navegável do Douro. Embora ainda não esteja disponível o correspondente relatório, foi adiantado que o rio Douro é constituído quer por zonas arenosas quer por zonas rochosas, sendo o leito do rio maioritariamente rochoso (Marques, 2016).

4.1.2. Caudais Médios

Segundo o engenheiro Nelson Silva¹² (2016), apesar do rio Douro ter em Espanha a maior parte da sua bacia hidrográfica (quatro vezes superior), a maior contribuição para a formação das grandes cheias verifica-se em território português, sendo caracterizadas por elevados caudais que se atingem em curtos espaços de tempo e uma forte subida do nível

¹¹ Lindley, Adjunto do Capitão do Porto do Douro e EDP – exploração hidroelétrica das barragens.

¹² Responsável da EDP pela exploração hidroelétrica das barragens.



da superfície livre da água. As figuras seguintes pretendem ilustrar o incremento do caudal do rio em território português. A primeira imagem (Figura 17) diz respeito a uma grande cheia registada em dezembro de 2002 e a segunda (Figura 18) representa um dia de fevereiro de 2014, sendo que este dia representa a média das condições verificadas no inverno. Contudo, o que importa reter é o valor do caudal proveniente de Espanha (entre 775 m^3 e 840 m^3) comparativamente com o caudal na foz do rio ($9\,270 \text{ m}^3$ e $5\,716 \text{ m}^3$).

Como foi anteriormente referido, no apêndice B são ilustrados um conjunto de cinco gráficos, produzidos a partir de informação facultada pelo engenheiro Nelson Silva, que representam os caudais médios mensais largados pelas várias eclusas existentes no Douro.

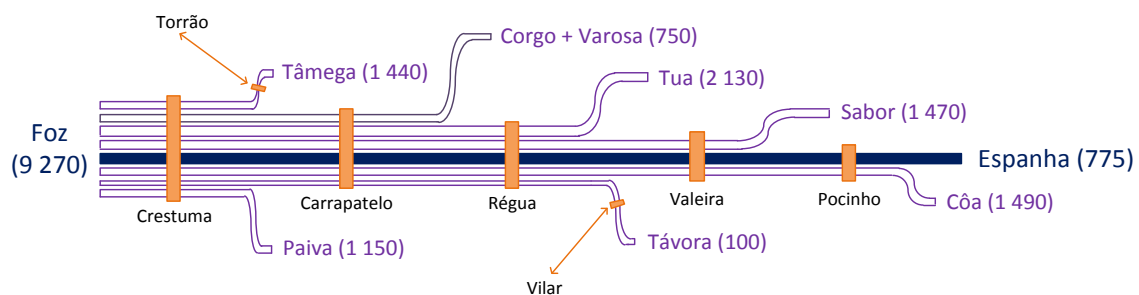


Figura 17 – Caudal do rio Douro oriundo da cheia de 27 de dezembro de 2002

Fonte: (Adaptado de Silva, 2016)

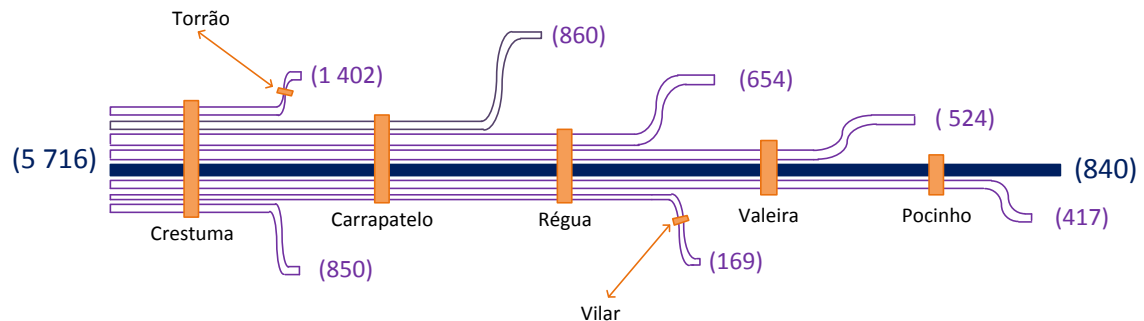


Figura 18 – Caudal do rio Douro num dia de fevereiro em 2014

Fonte: (Adaptado de Silva, 2016)

4.1.3. Constrangimentos atuais

Tendo em conta que é na via navegável que as estruturas de assinalamento marítimo estão mais expostas aos efeitos da amplitude do caudal e das correntes, naturalmente que o maior constrangimento e preocupação recai sobre a mesma, nomeadamente, sobre as boias e balizas.

Segundo o engenheiro Pedro Vieira (2016), fruto das fortes correntes registadas, principalmente no inverno, a arquitetura das boias foi alterada, tendo estas passado a ser construídas com a forma de um casco de navio, diminuindo assim a resistência às correntes e aumentando a sua durabilidade e resiliência. Contudo, ainda se regista um número



significativo de perda de boias, isto devido aos atritos que provocam a rotura das amarras. Outro dos problemas identificados com este tipo de boias, prende-se com a horizontalidade da luz, que não está devidamente otimizada, isto porque a boia apresenta permanentemente uma ligeira inclinação.

Em algumas zonas de leito rochoso foram instaladas balizas, em substituição das boias, apresentando bons resultados. Neste caso, os constrangimentos registados são igualmente no inverno, sendo que com o aumento do caudal do rio, os postes ficam submersos (Vieira, 2016).

Em ambos os casos, boias ou balizas, no período de inverno verifica-se que as marcas estão também sujeitos a impactos não desejados por parte de resíduos sólidos à deriva, maioritariamente oriundos das margens do rio, como acontece com os troncos de árvores. Comparativamente, verifica-se ser mais fácil e económico, proceder à reparação/substituição de uma boia do que de uma baliza (Vieira, 2016).

4.2. Possível assinalamento marítimo

De acordo com o engenheiro João Duarte Filipe¹³ (2016), para fazer face às condições extremas registadas, um possível assinalamento marítimo consiste na edificação de um sistema integrado que compreenda um conjunto de subsistemas, nomeadamente, os identificados no primeiro capítulo, sintetizados através da Figura 1 (página 6). Contudo, e não obstante este facto, é deveras importante garantir que as marcas visuais (boias e balizas) ao longo da via navegável sejam resistentes às intempéries, promovendo a segurança da navegação de um modo eficaz e eficiente, aumentando a sua confiança e minimizando potenciais acidentes. A principal preocupação deverá ser a segurança das pessoas e não os custos associados.

4.2.1. Via navegável

A solução economicamente mais vantajosa corresponde à utilização de boias, fixas nas zonas arenosas por intermédio de pesos, e diretamente à rocha nas zonas rochosas (Vieira, 2016), contudo, como foi anteriormente referido, esta solução apresenta algumas fragilidades.

Tendo em conta que teremos de ter, permanentemente presente, a salvaguarda da segurança das pessoas, não se pode edificar um sistema que à partida apresenta fragilidades que podem implicar riscos e perigos para a navegação. Ou seja, a solução não pode estar

¹³ Assessor técnico da APDL para a edificação do RIS do Douro inserido no projeto *Douro's Inland Waterway 2020*.



prisioneira de vantagens económicas, devendo sim corresponder àquela que apresenta maiores garantias de segurança.

Face ao estudo efetuado, uma possível solução passa por aplicar o melhor das duas realidades atuais, ou seja, utilizar balizas de comprimento ligeiramente superior à maior cheia registada, nas quais é colocado um dispositivo com flutuadores à sua volta (tipo boia). Este dispositivo terá a forma de uma lágrima, sendo que a sua área submersa apresentará a um aspeto cónico, à semelhança de um navio, possuindo uma quilha longitudinal e cuja furação do corpo, para se mover livremente no poste, será posicionada a um terço da proa, de modo a garantir que fica sempre apreado à corrente, minimizando o atrito com a água e eventuais impactos com objetos à deriva. No topo da boia seria instalada uma lâmpada de leds em forma toroidal, mantendo constante o ângulo da luz em relação à água, garantindo a ausência de setores mortos de visibilidade causados pelo poste da baliza (ver Figura 19 e consultar apêndice A).

Nas zonas rochosas, os postes poderiam ser fixados diretamente na rocha e nas zonas arenosas seriam usadas balizas articuladas.

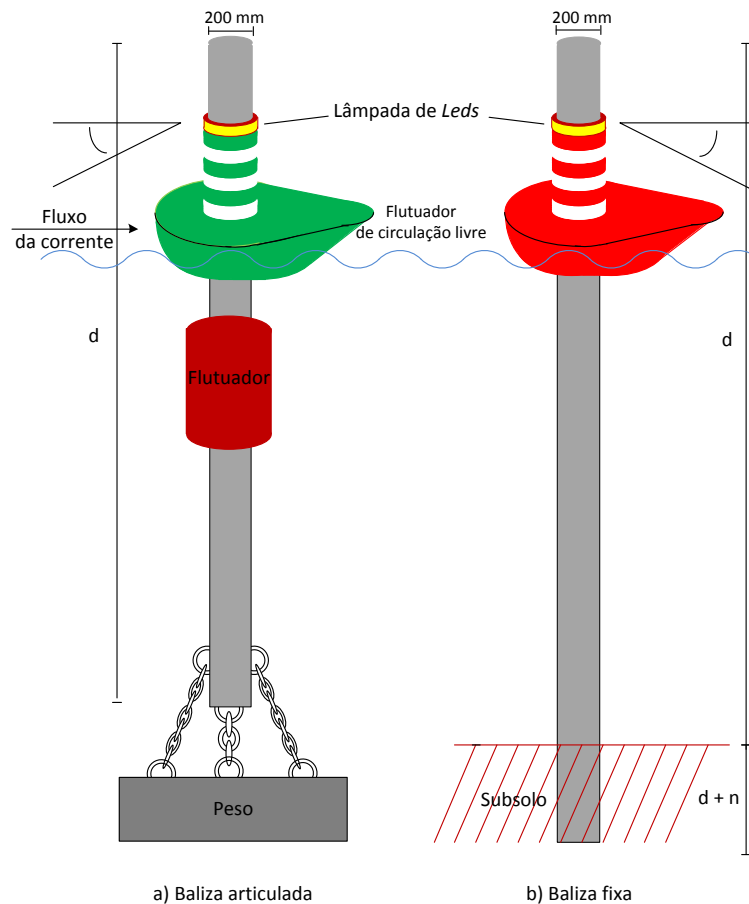


Figura 19 – Modelo proposto

Fonte: (Autor, 2016)



4.2.2. Outros sistemas

Paralelamente à sinalização na via navegável, para além de um subsistema de comunicações VHF, é deveras importante ter a capacidade de controlar e monitorizar todas as AtoNs, devendo, para tal:

- Ser edificado um subsistema de AIS, devidamente inserido na regulamentação oficial para a utilização do rio, obrigando a que a utilização deste subsistema, seja adotada por embarcações, no mínimo, iguais ou superiores às de nível dois (ver página 12);
- Proceder à instalação de correntómetros estrategicamente colocados nas balizas implantadas nas zonas de maior risco, e de marégrafos para registar efetivamente as amplitudes ao longo do ano.

Será imperativo que todos os subsistemas e equipamentos estejam devidamente integrados numa plataforma centralizada para uma eficaz gestão, controlo e monitorização, à semelhança do DoRIS, permitindo que no caso de ocorrência de situações de crise, exista a capacidade de intervir de um modo rápido e expedito, não só atuando presencialmente no local, como também, através da introdução no sistema de Ajudas virtuais que alerte a navegação para eventuais perigos ou situações de risco que possam ter resultado daquela situação de crise.

4.3. Síntese conclusiva

Aquando da caracterização do rio Douro, constatou-se que a recolha de informação para os registos de correntes são efetuadas de um modo empírico, recorrendo à experiência acumulada por parte de alguns setores com responsabilidade pela via navegável do Douro, e pontualmente são utilizadas barcas ou solicitado aos operadores que navegam a indicação das leituras da corrente registada. Quanto à natureza do fundo, não existe ainda disponível o levantamento pormenorizado do leito do rio por parte do IH, mas na sua maioria é de natureza rochosa.

Em relação aos valores de amplitudes verificou-se que os registos existentes são pobres, sendo maioritariamente apenas baseados nos valores de descarga por parte das várias eclusas existentes ao longo da via navegável.

Atendendo aos constrangimentos identificados, nomeadamente à dificuldade de manter as marcas implantadas na via navegável com o rigor exigido e aos riscos à segurança da navegação que poderão vir a provocar, foi apresentado um possível modelo



de arquitetura a implementar em rios sob condições extremas, baseado num modelo híbrido entre uma boia e uma baliza, cujas principais vantagens identificadas são:

- Maior fiabilidade e precisão do rigor da AtoN;
- Garantia da manutenção da horizontalidade da luz, com um ângulo constante;
- Menor risco de que uma Ajuda flutuante possa vir a ser um perigo à navegação;
- Redução, para valores desprezáveis, da oscilação do movimento lateral das boias;
- Diminuição da probabilidade de sofrer impactos provocados por objetos à deriva;
- Diminuição dos custos de manutenção;
- Aumento dos índices de segurança da navegação, mesmo em situações registo onde se registem amplitudes de caudais muito elevados e fortes correntes.

Assim, respondendo à QD4, a arquitetura adequada para a edificação de um sistema de balizagem num rio com as características do Douro, corresponderá à utilização de postes ligeiramente superiores à maior cheia registada, nos quais são colocados dispositivo com flutuadores à sua volta (tipo boia) em forma de navio, cuja furação esteja a um terço da proa, permitindo estar permanentemente alinhados com a direção da corrente minimizando impactos indesejados de objetos à deriva. No seu topo serão instaladas lâmpadas de *leds*, em forma toroidal, permitindo uma visibilidade de 360° e um ângulo constante. Com esta solução torna-se possível anular a oscilação do movimento lateral típico da boia aumentando a segurança da navegação.



Conclusões

O presente trabalho de investigação teve como objeto de estudo a apresentação de um modelo de balizagem para implementação em rios sujeitos a condições extremas. Foi orientado a partir de um OG focando a investigação numa QC e organizado de uma forma sequencial, cujos capítulos obedeceram a objetivos específicos e, conseqüentemente, formuladas as respetivas questões derivadas. As respostas a estas questões foram obtidas pela análise e relacionamento da informação recolhida, através de pesquisa bibliográfica, leitura e observação de referências bibliográficas estruturantes e entrevistas semiestruturadas a especialistas na área.

Nos rios, de todas as AtoNs disponíveis, aquelas que se encontram fisicamente na via navegável são as que apresentam constrangimentos significativos, principalmente devido aos elevados caudais e às correntes fortes, podendo ser consideradas como um perigo para a navegação. Destacam-se as AtoNs flutuantes, devido ao rigor posicional que possam não conseguir garantir, ou derivado da elevada tensão exercida nas amarras, podendo provocar a sua rotura, transformando-as num perigo à navegação. Foi concluído que as fortes correntes e as elevadas amplitudes correspondem, de facto, às condições extremas mais significativas, sendo que por um lado contribuem para as alterações morfológicas do fundo do leito do rio através da erosão provocada no tempo dificultando a eficiência e eficácia do rigor das AtoNs usadas, por outro lado contribuem para o aumento de problemas e riscos na condução da navegação através da influência que provocam no comportamento das embarcações, conforme estas se deslocam ao longo do rio. Foi assim dada resposta à QD1, «De que forma é que as condições extremas poderão afetar a navegação, tendo em consideração o tipo de navegação na área e as características das AtoNs?» e à QD2 «Quais as condicionantes de um modelo de balizagem em rios com correntes fortes, considerando a natureza do fundo?» e atingidos o OE1 e o OE2.

No estudo efetuado, foi verificado que o sistema de fixação das marcas corresponde ao fator mais preocupante na implantação de AtoNs nos leitos dos rios sujeitos a condições extremas (elevadas amplitudes e correntes fortes), por deste depender o rigor posicional que a AtoN deverá garantir, e pelo facto de existir a possibilidade da ocorrência de uma rotura no sistema de amarração, caso não apresente uma boa resistividade aos efeitos naturais provocados pelos elevados caudais e pela influência das fortes correntes, implicando que uma marca flutuante possa deixar de ser uma Ajuda, passando a constituir um perigo para a navegação. Assim, de forma a responder à QD3, «Qual será o modelo de



balizagem mais adequado para rios com grandes variações de coluna de água?», permitindo atingir o OE3, «Caracterizar a balizagem mais adequada para a implementação em rios com variações de caudal de água», foi analisado um conjunto de estudos de caso de sistemas de fixação de boias, internacionalmente referenciados como sendo modelos de sucesso.

Para a prossecução da QD4, «Qual a arquitetura adequada para a edificação do sistema de balizagem num rio sujeito a condições extremas?», foi efetuada a caracterização do rio Douro, visto este corresponder ao exemplo de um rio português sujeito condições extremas, apresentando grandes variações de coluna de água e fortes correntes. Constatou-se que no Douro a recolha de informação sobre as correntes é efetuada de um modo empírico, recorrendo à experiência acumulada por parte de alguns sectores com responsabilidade pela via navegável, e também que a natureza do leito do rio é maioritariamente rochoso. As grandes variações de amplitude devem-se principalmente às descargas efetuadas pelas várias eclusas e registam-se os valores mais elevados no período do inverno, isto devido à precipitação.

Foi assim possível concluir, dando resposta à QD4 e atingindo o OE4, «Apresentar um modelo para a edificação de um sistema de balizagem e assinalamento marítimo num rio português sujeito a condições extremas», que um possível modelo de arquitetura consiste na edificação de um sistema integrado que compreenda um conjunto de subsistemas, nomeadamente: informação das vias/canais navegáveis; navegação por intermédio de cartas eletrónicas (ECDIS); avisos à navegação; relatos eletrónicos; sistema AIS para gestão do tráfico; sistema VHF; entre outros. Concluindo-se igualmente que, para além da edificação de um sistema integrado é deveras importante sinalizar a via navegável com marcas físicas, tendo-se apresentado e demonstrado um possível modelo de arquitetura a implementar em rios sujeitos a condições extremas, baseado num modelo híbrido que conjuga características de ambos os tipos de marcas, as boias e as balizas.

As questões derivadas foram estruturadas de forma lógica e sequencial, permitindo com o encadeamento das suas respostas responder à QC da investigação «Qual a melhor solução técnica para a implementação de um sistema de balizagem e assinalamento num rio sujeito a condições extremas?». Chegou-se à conclusão de que a melhor estratégia a adotar passa pelo desenvolvimento de um protótipo de um modelo inovador, com o intuito de se atingir os objetivos mais importantes: a segurança da navegação e a salvaguarda de vidas humanas. Este protótipo corresponde a um poste ligeiramente superior à maior cheia



registada, tendo um dispositivo com flutuadores à sua volta (tipo boia) em forma de navio, cuja furação esteja a um terço da proa (permitindo o alinhamento com a direção da corrente), tendo aplicadas lâmpadas de *leds*, em forma toroidal (garantindo uma visibilidade de 360° e um ângulo constante). Deste modo fica garantida a anulação da oscilação do movimento lateral típico das boias, aumentando a segurança da navegação e promovendo um conjunto de vantagens extremamente relevantes, que devem ser tidas em consideração, nomeadamente:

- Maior fiabilidade e precisão do rigor da AtoN;
- Garantia da manutenção da horizontalidade da luz, com um ângulo constante;
- Menor risco de que uma Ajuda flutuante possa vir a ser um perigo à navegação;
- Redução, para valores desprezáveis, da oscilação do movimento lateral das boias;
- Diminuição da probabilidade de sofrer impactos provocados por objetos à deriva;
- Diminuição dos custos de manutenção;
- Aumento dos índices de segurança da navegação, mesmo em situações registadas onde se registem amplitudes de caudais muito elevados e fortes correntes.

Fica no entanto colocado um grande desafio à indústria responsável pelo fabrico e desenvolvimento de AtoNs físicas, o qual corresponde ao desenvolvimento de uma solução robusta, fiável e eficiente, podendo esta vir a revelar-se um caso de sucesso, justificando um maior investimento no seu aperfeiçoamento e possibilitando a sua implantação noutras vias navegáveis. Realça-se também que se deve fazer prevalecer a segurança das pessoas em detrimento do economicamente mais vantajoso, isto porque, na maioria das situações, apenas se projeta a curto prazo, não existindo a preocupação com os custos a longo prazo, estes associados à manutenção das capacidades edificadas, nomeadamente do rigor e disponibilidade que devem estar permanentemente garantidos. Neste sentido, fica a recomendação para a realização de um rigoroso estudo técnico e financeiro, incluindo as três vertentes principais: projeto, implementação e manutenção, que permita, para além de uma boa relação custo/eficácia, uma solução otimizada que garanta o aumento dos índices associados à segurança da navegação e à salvaguarda da vida humana, nas vias navegáveis dos rios sujeitos a condições extremas.



Bibliografia

- Abreu, C.d., 2007. Navegação no rio Douro, o sonho (re)corente de Castela. In *Douro - Estudos e documentos*. Douro. p.42.
- APDL, 2016. *APDL - Via navegável do Douro*. [Em linha] Disponível em: <http://douro.apdl.pt/index.php/via-navegavel/introducao/> [Acedido em 08 mai. 2016].
- ASFPM, 2016. *Association of State Floodplain Managers*. [Em linha] Disponível em: <http://www.floods.org/?menuid=810> [Acedido em 06 abr. 2016].
- Canadian Coast Guard, 2013. *Ice Navigation in Canadian Waters. Navigation In Ice Covered Waters*. [Em linha] Government of Canada. Disponível em: <http://www.ccg-gcc.gc.ca/folios/00913/docs/icenav-ch4-eng.pdf> [Acedido em 17 dez. 2015].
- Conceição, P.d., 2015. *Oficial do Departamento de Ciências do Mar da Escola Naval*. [Entrevista]. Alfeite (18 de dezembro de 2015).
- Conselho de Ministros, 1998. *Decreto-Lei n.º 344-A/98 de 6 de novembro, que aprova o regulamento da via navegável do Douro*. Lisboa: Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território e Ministério do Ambiente.
- Cunha, P.N.B.D.e., 2010. *Medição de caudais em rios*. Porto: FEUP.
- Diário de República, 2016. *Portaria n.º 177/2016 de 24 de junho, que aprova o Regulamento de Balizagem Marítima Nacional*. Lisboa: Ministério da Defesa Nacional e do Mar.
- Domingues, M.R.V., 2014. *Estudo da navegabilidade e ajudas à navegação da via navegável do rio Douro*. Tese de Mestrado em Ciências Militares Navais: Escola Naval.
- DoRIS, 2016. *Service & Information for Danube Navigation*. [Em linha] Disponível em: <http://www.doris.bmvit.gv.at/en/> [Acedido em 01 mai. 2016].
- EMA, 1998. *INA 2 - Disposições gerais e conceitos fundamentais da navegação*. Lisboa: EMA.
- EMA, n.d. *INA 4 - Condução da navegação*. Lisboa: EMA.
- Fernandez, O.V.Q., n.d. *O papel dos grandes detritos orgânicos na morfologia e sedimentologia em canais de cabeceira de drenagem*. [Em linha] Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brazil: Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Disponível em: <http://www.cibergeo.org/XSBGFA/eixo3/3.4/210/210.htm> [Acedido em 18 fev. 2016].



- Filipe, J.D., 2016. *Assessor técnico da APDL para a edificação do sistema RIS no Douro*. [Entrevista]. Linda à Velha (20 de maio de 2016).
- Gil, A.B., 2010. *Navegação fluvial em Portugal - O aproveitamento dos principais rios*. [Em linha] Disponível em: http://www.revistademarinha.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1150:navegacao-fluvial-em-portugal-o-aproveitamento-dos-principais-rios-portugueses&catid=106:marinha-mercante&Itemid=390 [Acedido em 08 dez. 2015].
- Gomes, A., Boto, A.S. & Pinho, A.L.e.H., 2016. *Fazer geografia 3.0 - A terra: Estudos e representações*. Lisboa: Porto Editora.
- Grupo Lindley, 2015. *Almarin*. [Em linha] Disponível em: <http://www.almarin.es/pt/sinalizacao-maritima> [Acedido em 11 dez. 2015].
- Guimarães, R.C., 2012. Capítulo 5 - Escoamento Superficial. In *Hidrologia Agrícola*. Évora: ECT, ICAAM, Universidade de Évora. pp.119-32.
- Hanson, G.M., n.d. *Geographic Summary*. [Em linha] Louisiana State University - Shreveport Disponível em: http://www.wetmaap.org/Red_River/Supplement/rr_background.html#River_Channel_Morphology [Acedido em 11 mar. 2016].
- Hebert, P.D.N., 2008. *Physical properties of rivers*. [Em linha] Disponível em: <http://www.eoearth.org/view/article/155233/> [Acedido em 10 mar. 2015].
- IALA, 2004. *Guideline 1035 - Availability and Reliability to Aids to Navigation*. 2nd ed. St Germain en Laye, França: IALA-AISM.
- IALA, 2005. *Guideline 1047 - Cost Comparison Methodology of Buoy Technologies*. 1st ed. St Germain en Laye, França: IALA-AISM.
- IALA, 2010a. *Guideline 1066 - The Design of Floating Aid to Navigation Moorings*. 1st ed. St Germain en Laye, França: IALA-AISM.
- IALA, 2010b. *Maritime Buoyage System and Other Aids to Navigation*. St Germain en Laye, França: IALA-AISM.
- IALA, 2010c. *Recommendation O-143 on Virtual Aids to Navigation*. 1st ed. Saint Germain en Laye, França: IALA-AISM.
- IALA, 2011a. *Guideline 1078 - The Use of Aids to Navigation in the Design of Fairways*. IALA-AISM.
- IALA, 2011b. *Recommendation A-126 on The Use of the Automatic Identification System (AIS) in Marine Aids to Navigation Services Edition 1.5*. Saint Germain en Laye, França: IALA-AISM.



- IALA, 2011c. *Recommendation O-130 on Categorisation and Availability Objectives for Short Range Aids to Navigation*. 2nd ed. St Germain en Laye, França: IALA-AISM.
- IALA, 2012. *Recommendation O-104 on "Off Station" Signals for Major Floating Aids*. 2nd ed. St Germain en Laye, França: IALA-AISM.
- IALA, 2013a. *Guidance 1018 - Risk Management*. 3rd ed. St Germain en Laye, França: IALA-AISM.
- IALA, 2013b. *Guideline 1099 - The hidroestrat design bouys*. 1st ed. St Germain en Laye, França: IALA-AISM.
- IALA, 2014. *NAVGUIDE - Aids to Navigation Manual*. 70th ed. St Germain en Laye, França: IALA-AISM.
- IESM, 2015a. *Norma de Execução Permanente Académica n.º 10 - Trabalhos de investigação*. Pedrouços: IESM.
- IESM, 2015b. *Norma de Execução Permanente Académica n.º 18 - Regras de apresentação e referenciação para os trabalhos escritos a realizar no IESM*. Pedrouços: IESM.
- IESM, 2016. *Cadernos do IESM - Orientações metodológicas para elaboração de trabalhos de investigação*. Pedrouços: IESM.
- IMO, 2009. *NAV 55/INF.7 AIS-based Aids to Navigation - Information document on usability, potential role, technological potentials and limitations*. Londres, Reino Unido: IMO.
- IMO, 2014. *MSC.1/Circ.1473 - Policy On Use Of Ais Aids To Navigation*. Londres, Reino Unido: IMO.
- Instituto Hidrográfico, 1977. *Sistema de Balizagem Marítima - Sistema A*. Lisboa: IH.
- Kontakt, n.d. *River Delta Formation Diagram*. [Em linha] Disponível em: <http://sweetpics.site/r/river-delta-formation-diagram.html> [Acedido em 21 jun. 2016].
- Marques, A.D., 2016. *Divisão de navegação do Instituto Hidrográfico*. [Entrevista]. Lisboa (30 de maio de 2016).
- Martins, F.B., 2016. *Oficial Adjunto do Capitão do Porto do Douro*. [Entrevista]. Douro (03 de abril de 2016).
- Miguens, A.P., 2010. *Navegação Fluvial*. In *Navegação: A ciência e a arte*. Brasília: Cartas Nauticas.



- Peixeiro, L.C., 2012. Navegação no rio Douro - Infra-estruturas e canal. In Consulmar, ed. *Jornada sobre “Navegação no Rio Douro e transporte fluvial do minério de Moncorvo”*. Douro, 2012.
- PIANC, 2010. *Report 111 - Performance Indicators for Inland Waterways Transport*. Bruxelas, Bélgica: PIANC.
- PIANC, 2011a. *Guidelines and recommendations for River Information Services, Status 2010 - Part I*. Bruxelas, Bélgica: PIANC.
- PIANC, 2011b. *Guidelines and recommendation for River Information Services - Part III*. Bruxelas, Bélgica: PIANC.
- POEM, 2012. Orientações de Gestão. In *Plano de Ordenamento do Espaço Marítimo*.
- Prof2000, n.d. *Geografia - A erosão fluvial (dos rios)*. [Em linha] Disponível em: <http://www.prof2000.pt/users/elisabethm/geo8/rios2.htm> [Acedido em 18 mar. 2016].
- R&RNAV, 2014. *Radionavigation - AIS*. [Em linha] Disponível em: <http://www.gla-rrnav.org/radionavigation/ais/index.html#> [Acedido em 20 jan. 2016].
- Silva, N., 2016. *Engenheiro responsável da EDP na exploração dos aproveitamentos hidroeléctricos*. [Entrevista]. Régua (01 de abril de 2016).
- United Nations, 2010. *SIGNI - Signs and Signals on Inland Waterways - Revision I*. New York e Geneva: Economic Commission for Europe.
- USGS, 2016. *The Water Cycle*. [Em linha] Disponível em: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclestreamflow.html> [Acedido em 18 mar. 2016].
- Vieira, P., 2016. *Engenheiro responsável pelas AtoN da empresa Lindley e pela manutenção da via navegável do rio Douro*. [Entrevista]. Cascais (10 de maio de 2016).
- Yin, R.K., 2001. *Estudo de caso: planeamento e métodos*. 2nd ed. Translated by D. Grassi. Porto Alegre, Brazil: Bookman.



Anexo A — Fatores de risco associados à navegação

Tabela 4 – Fatores de risco associados à navegação

Considerações com o tráfego	Volume de tráfego	Considerações de navegação	Configuração do canal de navegação	Consequências a curto prazo	Consequências a longo prazo
Qualidade dos navios	Grande calado	Navegação diurna/noturna	Profundidade	Danos pessoais	Impactos para a segurança e saúde
Competências das tripulações	Pequeno calado	Estado do mar	Largura do canal	Derrames de combustível	Impacto no estilo de vida
Tipo de tráfego	Navegação mercante e de pesca	Condições de vento	Obstruções à visibilidade	Derrame de substâncias perigosas	Impacto na pesca
Densidade do tráfego	Embarcações de recreio	Correntes	Complexidade do canal	Danos para a propriedade	Vida marinha protegida
Natureza da carga	Embarcações de alta velocidade	Restrições à visibilidade	Tipo de fundo	Obstrução do canal de navegação	Danos na linha de costa
Taxa de participação de Sistemas (VTS)	Navios de passageiros	Gelo	Estabilidade do fundo		Danos em recifes
		Iluminação de fundo (terra)	Configuração das AtoNs		Impacto económico
		Destroços	Qualidade dos dados hidrográficos		

Fonte: (Adaptado de IALA, 2013a, p.14)



Anexo B — Indicadores de desempenho do rigor das AtoNs e sua definição

É essencial garantir um adequado rigor das AtoNs sendo vital assegurar que estas apresentem uma elevada disponibilidade e fiabilidade. Neste âmbito, considera-se que disponibilidade corresponde ao elemento chave dos indicadores de desempenho, funcionando como uma ferramenta de gestão que serve para analisar e monitorizar o desempenho das AtoNs e/ou sistemas específicos cuja informação poderá, entre outros, ser usada para demonstrar a eficiência e eficácia do serviço prestado (IALA, 2004, p.4).

Pese o facto de que a obtenção de padrões elevados de disponibilidade e fiabilidade implique elevados custos, é imprescindível garantir um nível de confiança e segurança na navegação de modo a evitar danos/acidentes catastróficos. Assim, no que respeita à utilização de AtoNs a IALA define os seguintes indicadores de desempenho como sendo indispensáveis (IALA, 2004, p.6):

– **Disponibilidade:**

Percentagem de tempo total que uma AtoN ou de um sistema de AtoNs deve estar em funcionamento, desempenhando a função para a qual foi implementada.

– **Fiabilidade:**

Medida de desempenho da Ajuda ou do sistema de AtoNs. Avalia a probabilidade do desempenho sem interrupções num determinado espaço temporal, sob determinadas condições.

– **Tempo médio entre falhas (MTBF):**

Tempo médio entre falhas sucessivas de uma AtoN. Corresponde a uma medida de fiabilidade.

– **Tempo médio de reparação (MTTR):**

É o tempo necessário para repor o normal funcionamento da AtoN, após a ocorrência de uma falha. O resultado desta medida indica a capacidade técnica para corrigir as anomalias mostrando a eficácia do desempenho da equipa técnica.

– **Continuidade:**

Probabilidade de uma AtoN desempenhar a sua função ininterruptamente num determinado período. É utilizada principalmente para aferir o desempenho de sistemas de radionavegação.



Anexo C — Principais preocupações

C.1. Tipos de perigos a considerar

Como referido, os perigos devem ser especificamente identificados e assinalados nos documentos náuticos, devendo ser analisados individualmente e adequadamente priorizados. Em termos gerais, a IALA, por intermédio da *Guideline 1018* (2013, p.8), identifica cinco tipos de perigos a considerar:

- **Naturais:**
Inundações, tempestades de vento, sismos, riscos biológicos, entre outros.
- **Económicos:**
Inflação, depressão e alterações nas quotizações, impostos e taxas.
- **Técnicos:**
Falha de um sistema e/ou equipamento, incêndio, explosão, obsolescência, poluição do ar/água, falha de sistemas de comunicações, degradação da qualidade dos dados.
- **Fatores humanos:**
Erros ou omissões por parte do pessoal, formação inadequada, cansaço ou *stress*, sabotagem ou terrorismo.
- **Riscos operacionais:**
Imobilização, colisões, outros eventos indesejados.

C.2. Matriz ALARP

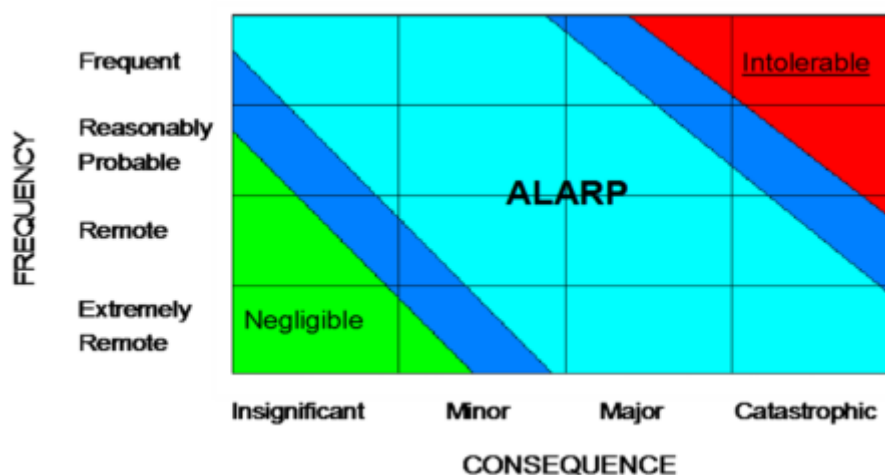


Figura 20 – Matriz ALARP

Fonte: (IALA, 2013a, p.14)



Anexo D — Caso prático com AtoNs virtuais: austríaco (via *Donau*)

O rio Danúbio atravessa a Áustria na região norte do país, de oeste para este, sendo a via navegável designada por via *Donau*. Tendo por base que o rio é um forte impulsionador da economia austríaca e que nele se verificam significativas amplitudes de caudal provocadas por cheias, existe uma preocupação permanente em prever eventuais desastres. Deste modo, os austríacos dispõem de um sistema de monitorização e de gestão rigoroso contra as cheias, mantendo uma organização conjunta com as autoridades locais e serviços de emergência para garantir a segurança de pessoas e bens.

Por intermédio das autoridades competentes e responsáveis pelo controlo e monitorização do rio, foi concebido o sistema *Danube River Information Services* (DoRIS), o qual tem desempenhado um papel determinante na modernização e na melhoria da segurança da navegação da via *Donau*. Não foi possível apurar sobre a existência de boias físicas porque evoluíram para um sistema de navegação totalmente eletrónico, obrigando o uso do sistema AIS e ECDIS por parte de todas as embarcações que nele navegam.

Como resultado, o DoRIS fornece um panorama de elevada precisão de toda a navegação no rio em tempo real, proporcionando um apoio permanente à navegação local, melhorando a confiança e a segurança do rio, tornando possível controlar de forma positiva todos os navios de interesse, principalmente os que deslocam carga perigosa, e permitindo acionar os serviços de emergência de uma forma significativamente mais fácil e mais expedita em caso de emergência e/ou sinistro. Acresce o facto de ser extremamente eficaz indicar um eventual perigo ou aviso à navegação por intermédio das Ajudas virtuais (DoRIS, 2016).



Anexo E — Respostas obtidas

E.1. De: Hörström Mats [mailto:Mats.Horstrom@transportstyrelsen.se]

Enviada: quarta-feira, 2 de Dezembro de 2015 08:46

I just want to acknowledge and thank you for your question, which feels very honored that you would like to contact me about your academic work at the Portuguese Institute of Higher Military Studies.

For that reason I would come back to you the after investigation the relevant colleagues on the Transport Agency and the Swedish Maritime Administration.

Please let me know when you want my answer latest.

Finally, I hope to live up to your expectations about my knowledge and experience of AtoN in shallow waters.

E.2. De: Detweiler, George H CIV [mailto:George.H.Detweiler@uscg.mil]

Enviada: quarta-feira, 2 de Dezembro de 2015 15:45

Thank you for your email. LT Jacobsen (email address in the Cc line) will try and obtain and forward the information you are requesting.

Good luck in your project.

Also pleas give my regards to Cte Sousa Rodrigues of the Hydrographic Institute in Portugal.

E.3. De: Martin Bransby [mailto:Martin.Bransby@gla-rnav.org]

Enviada: sexta-feira, 4 de Dezembro de 2015 12:09

Thanks for your note. Although I am flattered that you have corresponded with me, I think that other of my GLA colleagues would be better placed to help you out. I copy each of them in here: they are the navigation experts within the GLA who have the responsibility for ensuring the suitability and placement of Marine Aids to Navigation around the British Isles.

Good luck with your thesis.

E.4. De: Roger Barker [mailto:Roger.Barker@trinityhouse.co.uk]

Enviada: sexta-feira, 4 de Dezembro de 2015 18:55

Our jurisdiction at Trinity House is restricted in general to outside Port areas and rivers and as such your study is not really our area of responsibility.

I have however passed your request on to two of the Port Authorities who I work fairly closely with and I hope that they may respond to you in due course.



E.5. De: Herrlich, Christian [mailto:Christian.Herrlich@wsv.bund.de]

Enviada: segunda-feira, 7 de Dezembro de 2015 10:39

I forwarded your question to my colleague. He will contact you for further information.

Best wishes for your investigations

E.6. De: Pinder, John [mailto:john.pinder@pla.co.uk]

Enviada: segunda-feira, 7 de Dezembro de 2015 19:21

Hello Rui, Capt. Roger Barker of Trinity House (UK GLA) has asked me to see if I can help you with your studies regarding buoyage in more extreme environments.

Whilst I would not consider the Thames very extreme, we do have a tidal range of up to 8m and flows in excess of 3 knots in places. I will get details for you about the sinkers, length of cable and bottom type. I know that we have one Class 2 buoy that has been specifically designed to lay with the tide in a particular way so I will get you some pictures too.

I am very busy with meetings this week but will put in a reminder to get back to you next week, until the,

E.7. De: Trainor, Robert M CIV [mailto:Robert.M.Trainor@uscg.mil]

Enviada: quarta-feira, 9 de Dezembro de 2015 14:51

I will investigate to determine if we have any such studies and then will get back to you. What document format is best for you.

E.8. De: Hörström Mats [mailto:Mats.Horstrom@transportstyrelsen.se]

Enviada: quarta-feira, 20 de Janeiro de 2016 16:18

Will return here as desired with answers to your questions after having collaborated with the Swedish Maritime Administration.

In Sweden we don't have any problems with the tides. For major local change entries usually result in a maximum of +/- 1 meter.

The Swedish Maritime Administration has equipped its floating buoys with a special device in order to ensure that the marking is properly anchored to the impact of the current (Figure 1).

Normally anchored buoys with two weights with a few meters of chain in between (Figure 2).

Anchoring at different ground of conditions (Figure 3):

- Plan rock surface anchored to the iron rings.



- Sloping rock surface above 45 degrees dealt with bridle.
- A soft bottom (sand, clay) with anchors.
- Rocky bottom with molded structure (e.g. concrete block).

If you have any further questions, please feel free to contact me again.

Finally, I want to wish you good luck with your exams!

E.9. De: Brine, Gerry [mailto:gerry.brine@amsa.gov.au]

Enviada: quarta-feira, 13 de Abril de 2016 03:16

My sincere apologies for the lengthy delay in replying to you request.

AMSA as the national maritime safety authority does not have responsibility for buoyage in rivers and estuaries and therefore is not aware of and does not have any such information that you are seeking.

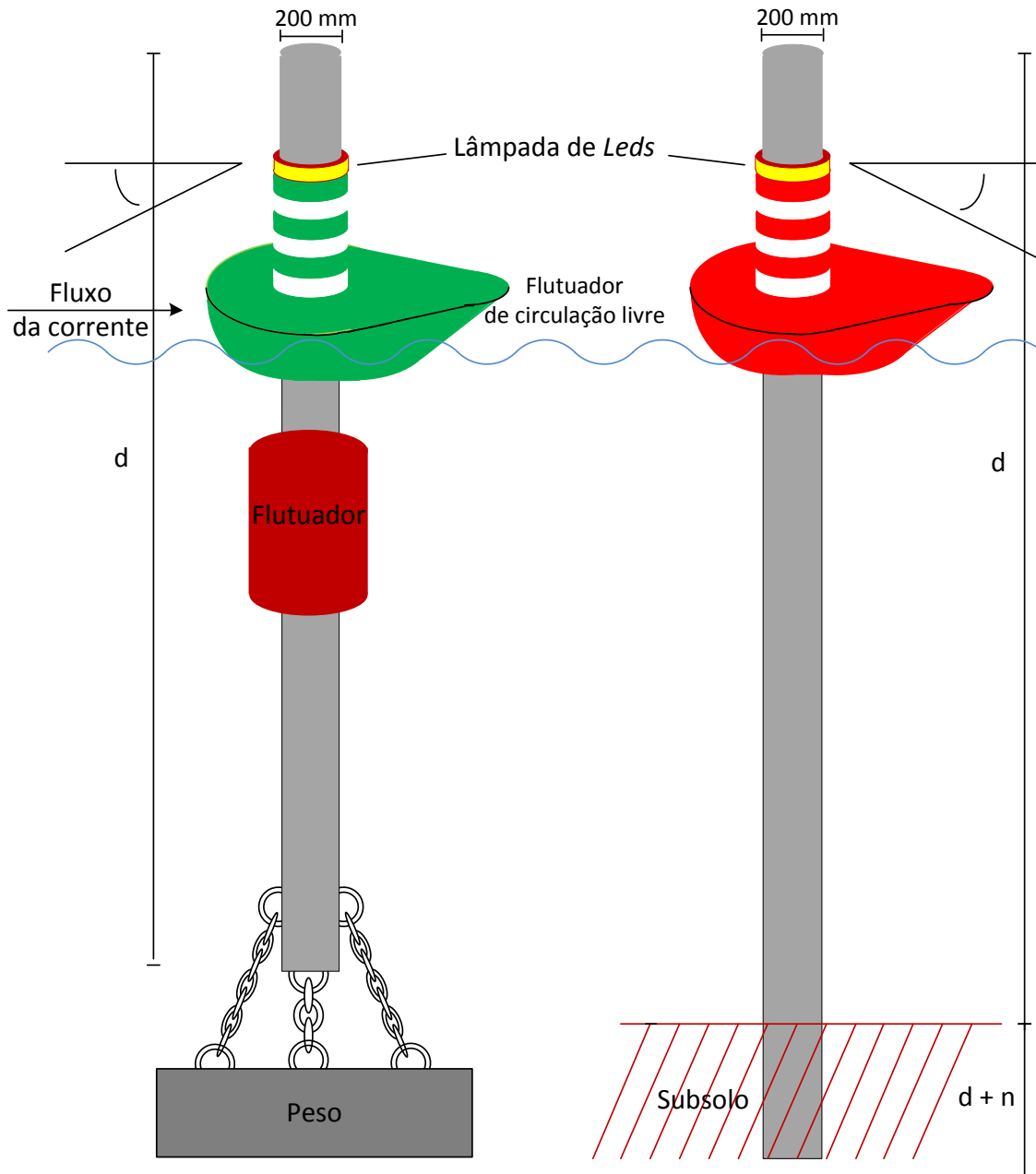
Responsibility for buoyage rivers and estuaries sits with the marine safety agencies in each of the States within Australia.

If you still require this information I can forward your request to them in case they have any information that may be of help? We have a meeting with some of them in late May 2016 at which I can discuss your request with them as necessary

Best regards

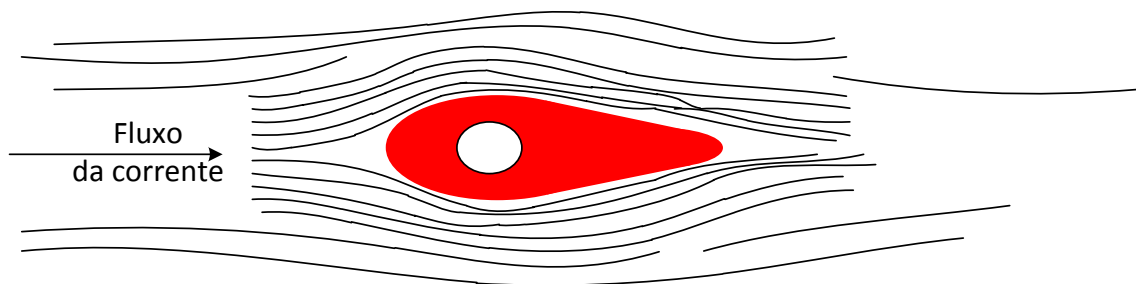


Apêndice A — Modelo proposto



a) Baliza articulada

b) Baliza fixa



c) Vista de cima



Apêndice B — Caudal médio mensal lançados das eclusas do rio Douro

B.1. Pocinho

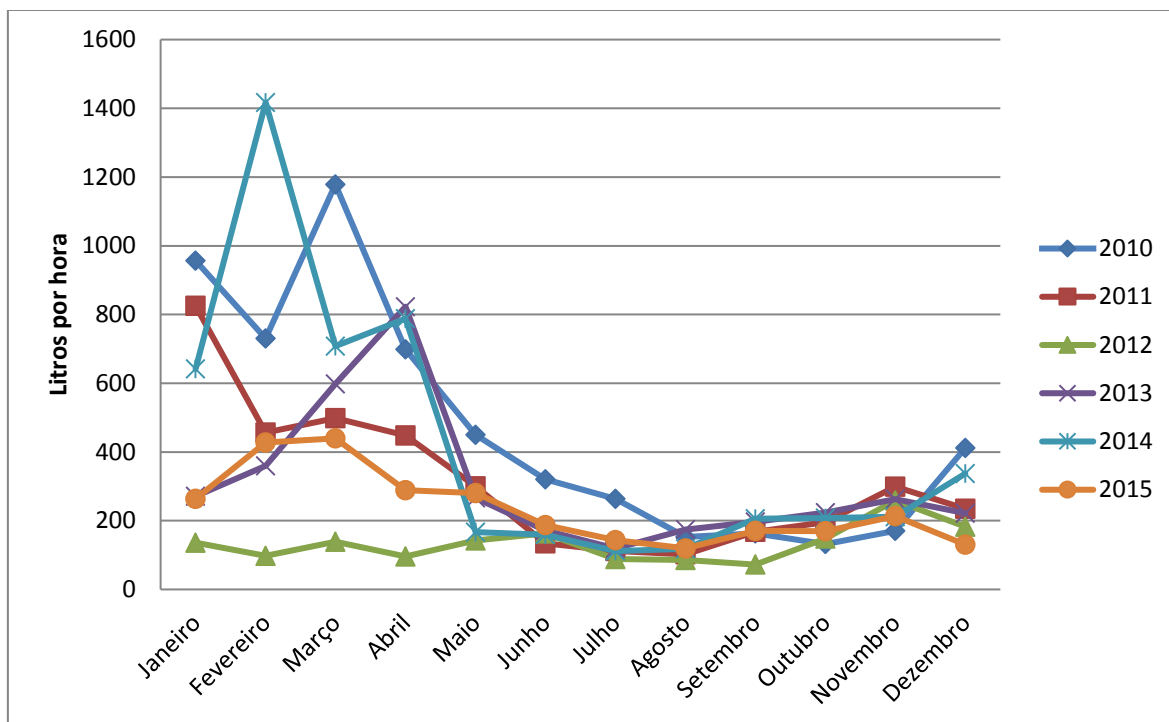


Figura 21 – Caudal médio da eclusa do Pocinho

Fonte: (Autor, 2016)

B.2. Valeira

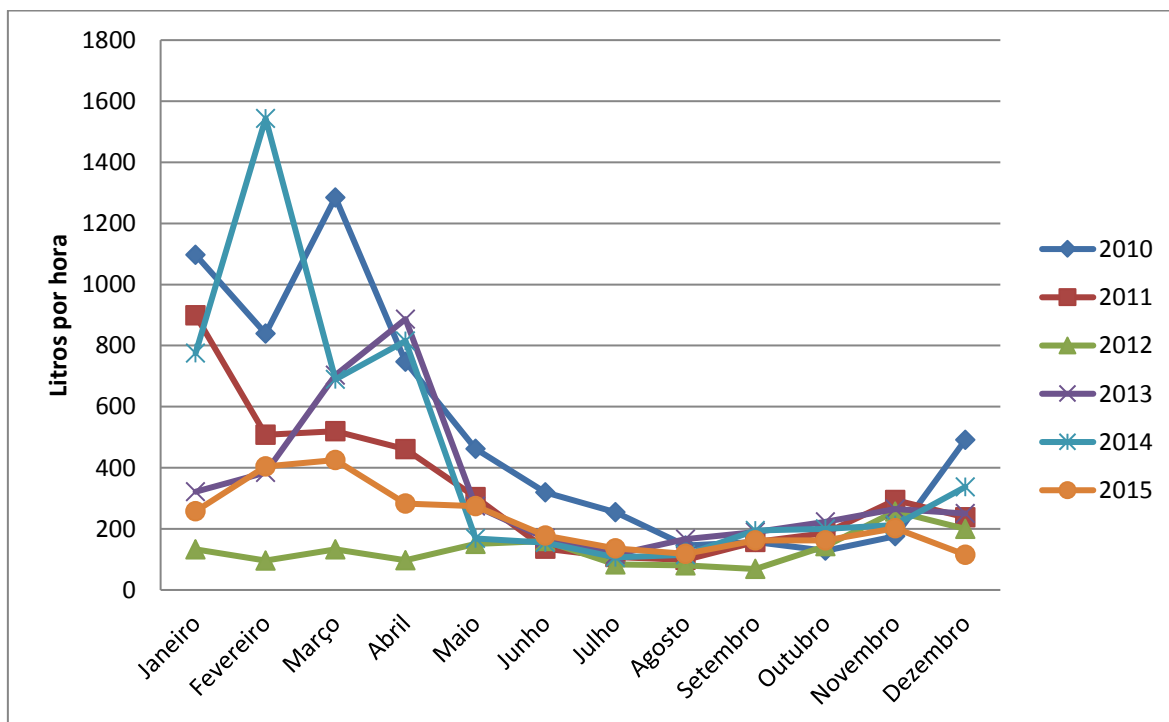


Figura 22 – Caudal médio da eclusa da Valeira

Fonte: (Autor, 2016)



B.3. Régua

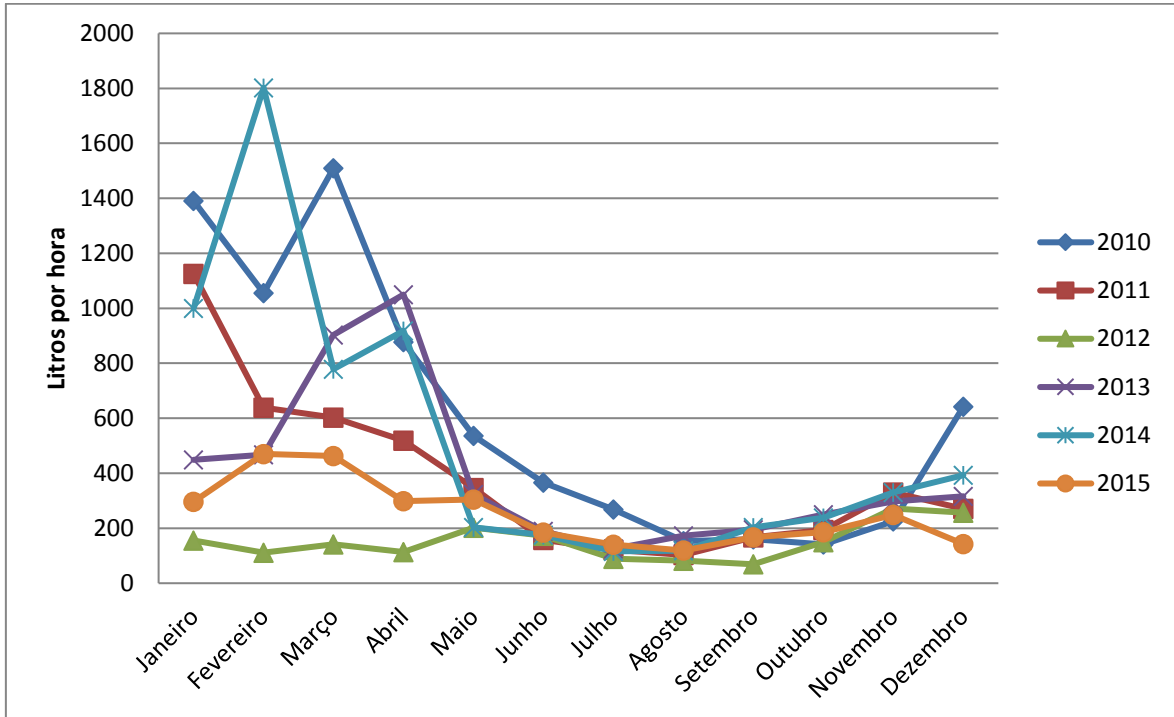


Figura 23 – Caudal médio da eclusa da Régua

Fonte: (Autor, 2016)

B.4. Carrapateiro

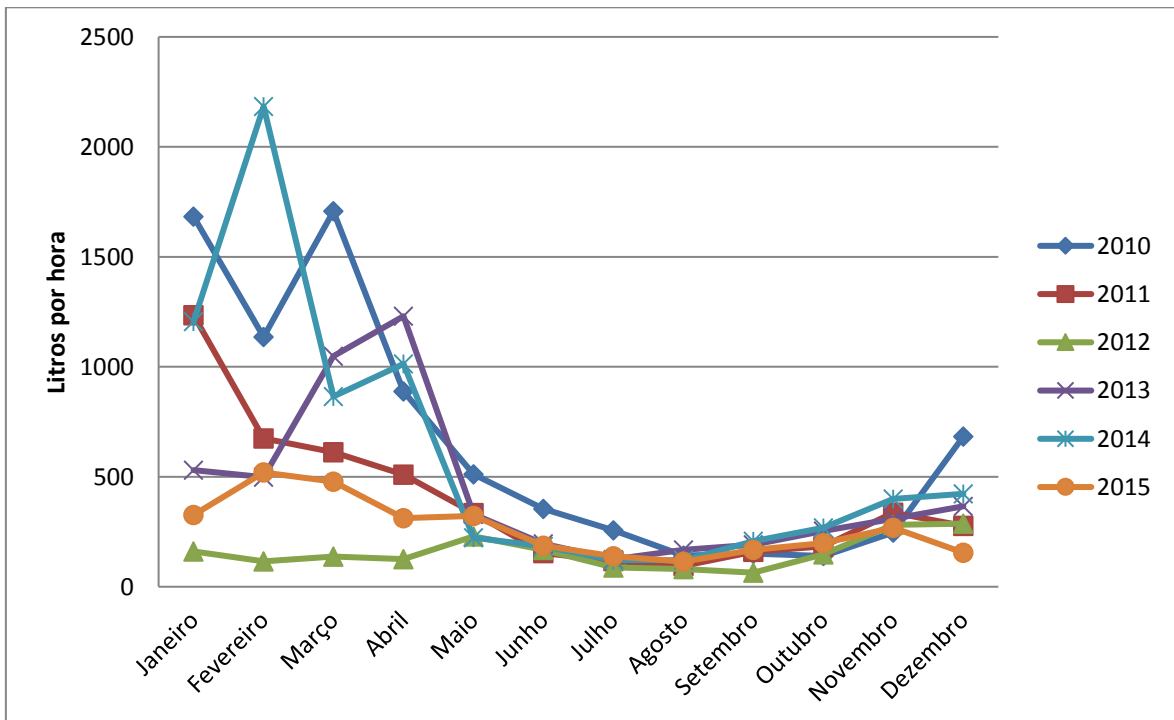


Figura 24 – Caudal médio da eclusa do Carrapateiro

Fonte: (Autor, 2016)



B.5. Crestuma-Lever

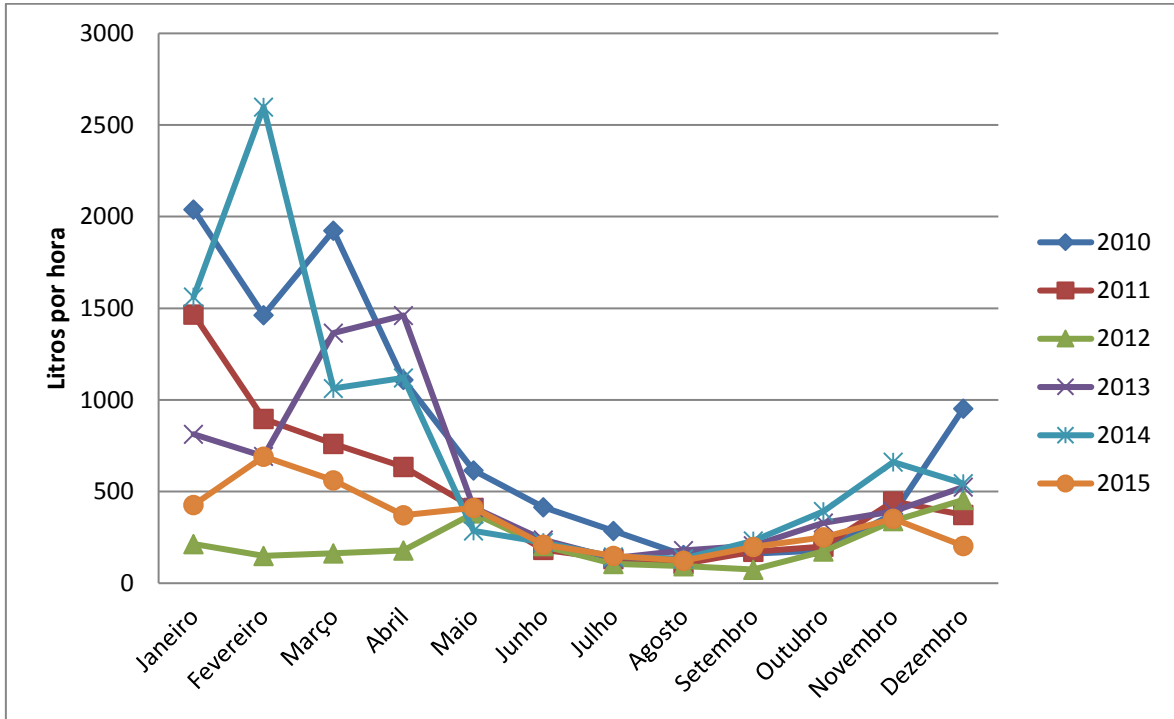


Figura 25 – Caudal médio da eclusa da Crestuma-Lever

Fonte: (Autor, 2016)

Todos os gráficos acima ilustrados foram construídos pelo autor com base em técnicas de análise dos dados facultados pelo engenheiro Nelson Silva, responsável da EDP na exploração dos aproveitamentos hidroelétricos.



Apêndice C — Efeito da precipitação no caudal e na corrente do rio

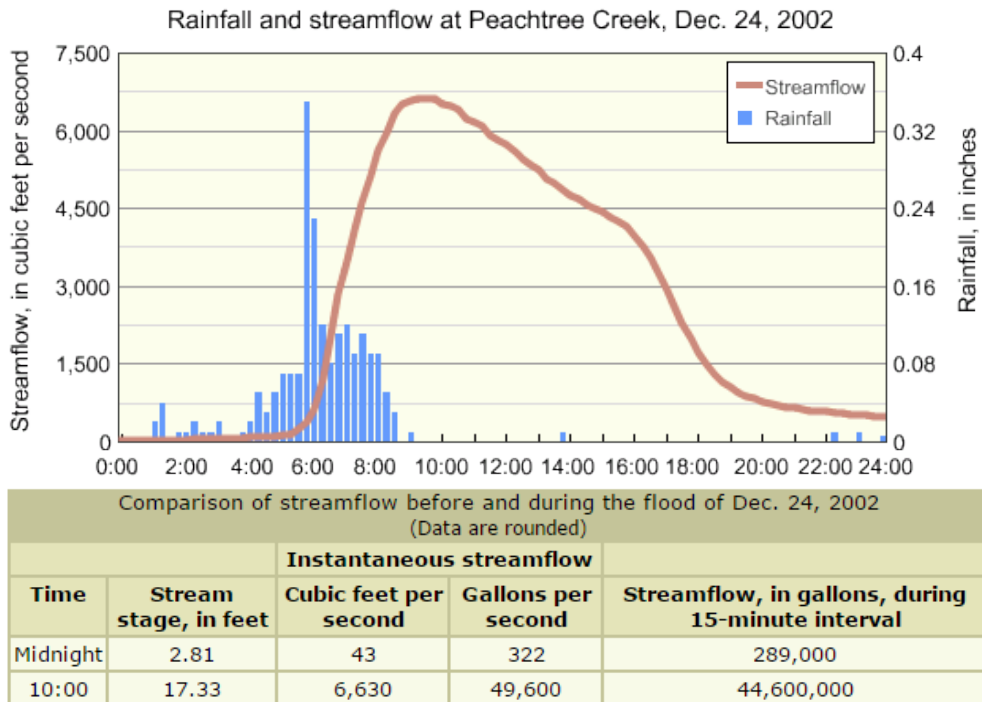


Figura 26 – Efeito da precipitação no caudal de água e sobre a corrente

Fonte: (USGS, 2016)

A *United States Geological Survey* (USGS), é um departamento de ciência norte americana, cuja missão principal consiste em estudar desastres naturais com impacto no equilíbrio do ecossistema, onde se incluem estudos sobre rios que apresentam condições extremas, nomeadamente rios com elevados caudais e correntes fortes. Apesar de, neste caso, o rio observado¹⁴ não apresentar um sistema de balizagem implementado, a Figura 26 ilustra de uma forma clara o resultado do efeito que a precipitação possui sobre um rio, quer no seu elevado caudal quer nas fortes correntes observadas.

A precipitação, aliada à temperatura do ar, afeta diretamente as correntes de escoamento, fazendo-as variar significativamente com as estações do ano. Poderão ser elevadas no início da primavera, devido à libertação de precipitação armazenada como gelo e neve durante o inverno, e baixas no verão. No outono volta a ser elevada porque existe menos evaporação e transpiração, permitindo que mais água da precipitação vá diretamente para o rio (USGS, 2016).

¹⁴ Rio *Peachtree Creek* em Atlanta, Estados Unidos da América.

**Apêndice D — Tentativas de entrevistas a membros estrangeiros da IALA****Tabela 5 – Lista de estrangeiros contatados**

Entrevistados	Empresa / Função	Envio	Dia Resposta	Resposta
Roger Barker	Trinity House / Director of Navigational Requirements	Apêndice E	04-dec-2015	Anexo E.4
Martin Bransby	General Lighthouse Authorities of the UK & Ireland / Research & Radionavigation Manager	Apêndice E	04-dec-2015	Anexo E.3
John Pinder	Port of London Authority	Apêndice E	07-dec-2015	Anexo E.6
Gerry Brine	Australian Maritime Safety Authority / Manager; Aids to Navigation; Navigation Safety and International Relations	Apêndice E	12-abr-2016	Anexo E.9
Alfredo	Tide Land Signal	Apêndice E	-	-
Rescalante	GBA Hidrovia	Apêndice E	-	-
Jean Luc Fontan	GOUV / Developpement-durable	Apêndice E	-	-
Christian Herrlich	WSV Bund	Apêndice E	07-dec-2015	Anexo E.5
Mats Horstrom	Swedish Transport Agency / Civil Aviation and Maritime Department	Apêndice E	02-dec-2015 20-dec-2016	Anexo E.1 Anexo E.8
Marek Ledochowski	UMGDY	Apêndice E	-	-
Guttorm Tomren	Kystverket	Apêndice E	-	-
George Detweiler	United States Coast Guard	Apêndice E	02-dec-2015	Anexo E.2
Torrey Jacobsen	United States Coast Guard	Apêndice E	-	-
Robert Trainor	United States Coast Guard / Office of Navigation Systems; Visual Navigation Division	Apêndice E	09-dec-2015	Anexo E.7

Fonte: (Autor, 2016)



Apêndice E — Corpo do texto remetido aos vários destinatários estrangeiros

De: 1TEN EN-AEL Figueiredo dos Santos

Enviada: Terça-feira, 1 de Dezembro de 2015

Assunto: Information about buoyage system in rivers with harsh conditions

Good Evening,

Sir,

At first let me present myself. My name is Rui Santos, I'm a Portuguese navy officer (lieutenant) and I frequent a graduate degree in Military Sciences from the Portuguese Institute of Higher Military Studies.

I got your contact through the Cte Sousa Rodrigues of the Hydrographic Institute in Portugal.

To finish the graduate degree I must do an academic investigation work. My theme is about “buoyage system in rivers with maritime harsh conditions”.

I thought develop my study around a central question: What is the best solution for buoyage system application in rivers with maritime harsh conditions? To answer the central question I intend focus the follow secondary questions:

- High variation of river water column?
- High currents?
- Floods?
- River soil type (sand, rock, ...)?

For that reason, I appreciate if it is possible you can give me some support with information, like case studies, official literature, doctrine, examples and/or applicability work in rivers with similar conditions, that can cover all above stated items to develop my research.

Thank you for your attention,

Best Regards



Apêndice F — Entrevistas realizadas a nível nacional

Tabela 6 – Lista dos entrevistados nacionais

Entrevistados	Função	Serviço / Unidade ou Empresa	Data
CFR M Plácido da Conceição	Departamento de Ciências do Mar	Escola Naval	16-dec-2015
CTEN M Dias Marques	Divisão de Navegação	Instituto Hidrográfico	Várias
2TEN ST-EELT Frederico Branco Martins	Adjunto do Capitão do Porto do Douro	Delegação Marítima da Régua	21-mar-2016 03-abr-2016
Engenheiro Nelson Silva	Direção de Gestão e Manutenção Hídrica - Gestão da Operação - Telecomando	EDP - Gestão da Produção de Energia, S.A.	01-abr-2016
Engenheiro Pedro Vieira	Técnico responsável por AtoNs e pela manutenção da via navegável do rio do Douro	Lindley	10-mai-2016
Engenheiro João Duarte Filipe	Assessor da APDL para a edificação do sistema RIS no Douro	DUFINAV – Consultores Industriais e Navais, Lda	20-mai-2016

Fonte: (Autor, 2016)