

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Visualização de dados marinhos aplicados ao planeamento e supervisão de veículos autónomos

Ana Cláudia Fonseca Santos



Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientador: Prof. Ricardo José Vieira Baptista

Coorientador: Prof. João Tiago Pinheiro Neto Jacob

Julho 22, 2020

Visualização de dados marinhos aplicados ao planeamento e supervisão de veículos autónomos

Ana Cláudia Fonseca Santos

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Prof. Alexandre Miguel Barbosa Valle de Carvalho

Argente: Prof. Hugo Alexandre Paredes Guedes da Silva

Vogal: Prof. Ricardo José Vieira Baptista

Julho 22, 2020

Abstract

The sea is a place that, in addition to its difficult and expensive exploration, is also intrinsically dynamic and subject to various adverse conditions. At the moment, there are a lot of sea-related information sources available such as ship positions, tide height, currents, bathymetry and data from autonomous vehicles. This information is available in different resolutions (temporal and spatial), has variable precision and the data are provided in multiple formats, which makes it difficult to view them in combination. This work aims to allow any user to aggregate ocean information by combining data available on the Web, weather forecasts and data collected in real time by the autonomous vehicles of the Underwater Systems and Technology Laboratory (LSTS).

In order to respond to this problem, a Web application was made where it is possible to view in 3D the data obtained by autonomous underwater vehicles together with data from other sources. The use of web technologies does not require the installation of any specialized software and allows simplified access from any device with a browser HTML5. This application interacts with a set of Web services that provide data from different sources so that they can be accessed and viewed in 3D. Real-time data or forecasts can be viewed, *e.g.* weather data, as well as estimates of future ship positions and autonomous vehicle positions at the current time.

This application allows its users to have a global view of the state of the sea and its stakeholders (AUVs and ships) and thus better understand the different coastal dynamics and will support users specialized in decision-making. It is also useful for archaeologists to visualize artifacts realistically, as well as for oceanographers who will be able to combine 2D visualization with 3D visualization in the hope of improving data analysis. In order to ascertain the interest in this development by potential users, a small survey was carried out and very promising results were obtained. In this study it was possible to verify that the visualization of data in 3D is an asset for its analysis and understanding.

To conclude, despite the existence of a large number of sources of high-quality information, its comprehension is hard and requires specialized visualization software. In validating this application with potential users, it was demonstrated that the tool can be an asset both in scientific dissemination to the general public and in the support of professionals in the areas of marine sciences.

Keywords: 3D. Computer Graphics. Simulation. CesiumJS. Threejs. Data Visualization. Underwater. Bathymetry. MGIS. LSTS. AUV. Ripples

Resumo

O mar é um local que, além de exploração difícil e dispendiosa, é também intrinsecamente dinâmico e sujeito a várias condições adversas. De momento, existe uma grande quantidade de fontes de informação sobre o mar tal como posições de navios, altura da maré, correntes, batimetria e dados provenientes de veículos autónomos. Esta informação é disponibilizada em diferentes resoluções (temporais e espaciais), tem precisão variável e os dados são fornecidos em múltiplos formatos, o que dificulta a sua visualização combinada. Este trabalho tem como objetivo permitir a qualquer utilizador visualizar de forma agregada a informação do oceano combinando dados disponibilizados na web, previsões meteorológicas e dados recolhidos em tempo real pelos veículos autónomos do Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática (LSTS).

De forma a dar resposta a este problema foi realizada uma aplicação *Web* onde é possível visualizar em 3D os dados obtidos por veículos autónomos subaquáticos em conjunto com dados de outras fontes. A utilização de tecnologias *Web* não obriga à instalação de qualquer software especializado e permite um acesso simplificado a partir de qualquer dispositivo com um navegador *HTML5*. Esta aplicação interage com um conjunto de serviços *Web* que disponibilizam os dados das diferentes fontes de forma a poderem ser acedidos e visualizados em 3D. Podem ser visualizados dados em tempo real ou previsões, *e.g.* dados meteorológicos, assim como estimativas de posições futuras de navios e posições de veículos autónomos no momento actual.

Esta aplicação permite aos seus utilizadores uma visualização global do estado do mar e dos seus intervenientes (AUVs e navios) e assim, perceber melhor as diferentes dinâmicas costeiras e apoiará utilizadores especializados na tomada de decisões. É útil também para arqueólogos para visualizar artefactos de forma realista, assim como para oceanógrafos que terão a possibilidade de combinar visualização 2D com a visualização 3D na expectativa de melhorar a análise de dados. De forma a averiguar o interesse neste desenvolvimento por parte de potenciais utilizadores foi realizado um pequeno inquérito e foram obtidos resultados muito promissores. Neste estudo foi possível constatar que a visualização de dados em 3D é uma mais valia para a sua análise e compreensão.

Para concluir, apesar da existência de um grande número de fontes de informação de qualidade, a sua compreensão é dificultada por estarem distribuídas e necessitarem de software especializado para a sua visualização. Na validação desta aplicação com potenciais utilizadores foi demonstrado que a ferramenta pode ser uma mais valia quer na divulgação científica para o público em geral quer no apoio dos profissionais das áreas das ciências do mar.

Keywords: 3D. Computer Graphics. Simulation. CesiumJS. Threejs. Data Visualization. Underwater. Bathymetry. MGIS. LSTS. AUV. Ripples

Agradecimentos

Lembro-me perfeitamente a primeira vez que entrei numa das sala dos “queijos” no edifício B da faculdade, onde uma das mensagens mais importantes mencionadas pelo comité de boas vindas era *“ninguém faz o curso sozinho”*. Cinco anos depois eu não podia estar mais de acordo e neste agradecimento gostaria de mencionar todas as pessoas que pela sua ajuda e/ou motivação contribuíram para o meu percurso académico. Seria impossível sem eles e por isso espero não me esquecer de ninguém.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus supervisores, o professor Ricardo Baptista e o professor João Jacob, por todo o acompanhamento, ajuda e motivação, essenciais no desenvolvimento desta dissertação. Como não podia deixar de ser quero deixar um agradecimento muito especial ao José Pinto, igualmente pelo seu acompanhamento e ajuda, mas também, pela sua dedicação, partilha de conhecimento e por ter estado sempre disponível nas horas mais difíceis. Gostaria de mencionar também o LSTS quer pela sua colaboração nesta dissertação quer pela aprendizagem proporcionada e compreensão nos momentos mais complicados de todo o meu percurso no laboratório.

Também gostaria de agradecer às trinta e seis pessoas que perderam trinta minutos do seu dia na minha experiência, sem elas não havia resultados e parte deste trabalho teria sido em vão.

Deixo ainda um reconhecimento especial aos meus amigos e colegas da faculdade, destacando o Eduardo, pela paciência e ajuda, mas também pelos bons momentos passados. À minha família e em particular aos pais do meu namorado, obrigado pelo enorme apoio e motivação nesta decisão e sonho. Todos vocês foram uma parte fundamental neste percurso.

Agora à pessoa mais importante e que, definitivamente, sem ela tudo isto não era possível. O Tiago é aquele que sempre acreditou em mim quando eu não acreditei, que plantou a ideia *insana* de voltar a estudar e que sempre me deu motivação e alento para continuar quando tudo parecia impossível. É aquele que aturou todas as minhas crises existenciais e me deu forças quando desistir parecia ser a única opção. Qualquer mensagem de agradecimento deixada aqui será ínfima em relação ao apoio dado por ele nestes cinco anos.

Por último, um obrigada também a todos aqueles que não acreditaram, por ser mais velha, por ser mulher ou por ter feito um percurso diferente da maioria dos meus colegas. Sem eles o percurso e esta conquista teria sido mais fácil, mas não seria o mesmo nem teria o mesmo sabor.

Até sempre Faculdade de Engenharia,

Ana Santos

*“A ship in port is safe, but that is not what ships are for.
Sail out to sea and do new things.”*

Grace Hopper

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contexto	1
1.2	Motivação	2
1.3	Objetivos	3
1.4	Estrutura do Documento	4
2	Estado da Arte	5
2.1	Estudo de Técnicas de Representação e Visualização de Dados	5
2.1.1	Dados Batimétricos	6
2.1.2	Fenómeno de Ondulação	8
2.1.3	Tráfego Marinho	9
2.1.4	Trajetória dos Veículos Autónomos	10
2.2	Sistemas de Informação Geográfica	12
2.2.1	Sistemas Baseados em <i>Web</i>	13
2.2.2	Outros Tipos de Sistemas	14
2.3	Ferramentas de Renderização	15
2.3.1	Bibliotecas e Tecnologias	16
2.4	Sumário	18
3	Metodologia	21
3.1	Visão Geral	21
3.2	Recolha de Dados	22
3.3	Análise dos Dados	24
3.4	Sumário	24
4	Desenho e Arquitetura do Sistema	25
4.1	Visão Geral	25
4.2	Requisitos	26
4.2.1	Funcionais	26
4.2.2	Não Funcionais	28
4.3	Arquitetura do Sistema	29
4.3.1	Ferramentas e Tecnologias	29
4.3.2	Dados	30
4.4	Sumário	32
5	Implementação	33
5.1	Visão Geral	33
5.2	Controlos	34

5.2.1	Menu	35
5.2.2	Controlos de Tempo e Animação	35
5.3	Vistas	35
5.3.1	Vista do Globo	36
5.3.2	Vista Subaquática	36
5.3.3	Vista de Cima	37
5.4	Componentes	38
5.4.1	AUV	40
5.4.2	Batimetria	41
5.4.3	Camadas de Ambiente	43
5.4.4	Tráfego de Embarcações	46
5.4.5	Modelos de Naufrágios	47
5.5	Sumário	49
6	Testes, Resultados e Discussão	51
6.1	Testes	51
6.1.1	Preparação	51
6.1.2	Protocolo	53
6.2	Resultados	53
6.2.1	Funcionalidade	53
6.2.2	Usabilidade	55
6.2.3	Gerais	57
6.2.4	Utilizadores Especializados	58
6.2.5	Utilizadores Comuns	60
6.2.6	Operadores de AUVs	61
6.3	Discussão	61
6.3.1	Validação com Utilizadores	61
6.3.2	Requisitos	62
6.4	Sumário	63
7	Conclusões e trabalho futuro	65
7.1	Conclusões	65
7.2	Limitações do Trabalho	66
7.3	Desafios Encontrados	67
7.4	Trabalho Futuro	67
7.4.1	Melhorias	67
7.4.2	Colaboração	69
Referências		71
A	Inquérito para requisitos	77
B	Manual de utilização	81
C	Inquérito de validação	87

Listas de Figuras

1.1	Exemplo de veículo autónomo subaquático (AUV) desenvolvido no LSTS [16].	2
2.1	Mapa de isóbatas para representação de batimetria [33].	7
2.2	Vista de perfil de dados de batimetria [33].	7
2.3	Modelo de alta resolução do fundo do mar em 3D [33].	7
2.4	Típicos formatos dos dados batimétricos: [12]	8
2.5	Exemplo de representação 2D da ondulação marítima [21].	9
2.6	Exemplo de representação de tráfego de embarcações	10
2.7	Vista 3D imersiva de um dos barcos à vela.	11
2.8	Controlador e simulador 2D de AUVs do Neptus.	11
2.9	Simulador 3D de AUVs do <i>LabOceano</i>	12
2.10	Sistema de informação geográfica <i>Google Earth</i>	13
2.11	Exibição de dados batimétricos no protótipo em <i>WebGL</i> . [14].	14
2.12	Imagen do <i>Ripples</i> que mostra dados em tempo real de dois veículos autónomos em conjunto com dados de salinidade [50]	14
2.13	Algumas janelas do software Neptus.	15
2.14	Tendências de pesquisas dos termos no <i>Google</i> [29].	16
2.15	Numero de downloads de cada framework através da <i>API NPM</i> . [51]	16
2.16	Imagen de uma demo de <i>Three.js</i> onde foi simulado o efeito de água [65].	17
3.1	Tipos de dados úteis para visualizar para os inquiridos.	23
4.1	Casos de uso do sistema	26
4.2	Diagrama da proposta de solução	30
4.3	Interação entre componentes no <i>frontend</i>	31
5.1	Protótipo inicial	34
5.2	Vista geral do protótipo com menus disponíveis.	34
5.3	Menu da aplicação <i>Coral</i>	35
5.4	Widgets para animação e controlo do tempo do Cesium.	36
5.5	Batimetria sem exagero na imagem à esquerda e com exagero em z à direita.	38
5.6	Visualização de um naufrágio na vista subaquática e na vista de cima.	38
5.7	Ciclo de atualização e renderização da aplicação e dos seus componentes.	39
5.8	Caminho e tempo de simulação definidos através dos <i>waypoints</i> do plano do AUV.	40
5.9	Processamento de dados aplicados aos dados da batimetria.	42
5.10	Esquema de colocação dos ladrilhos	42
5.11	Vetor de translação a aplicar aos ladrilhos vizinhos em relação ao principal.	43
5.12	Vista do globo com as camada de ondulação e salinidade.	45
5.13	Vista subaquática com layer de ondulação na vista de cima.	45

5.14 Vista do globo com layer de dados <i>AIS</i> ativa.	46
5.15 Vista do globo com a camada de densidade de tráfego de embarcações aplicada.	48
5.16 Vista subaquática que mostra um modelo representativo e localização de um naufrágio e com camada dos naufrágios ativa na vista de cima.	49
6.1 Resultados da avaliação das funcionalidades.	54
6.2 Pontuações da escala de usabilidade	55
6.3 Média da classificação das afirmações de requisitos.	56
6.4 Características e opções de visualização do sistema que mais gostaram.	57
6.5 O que os utilizadores gostaram menos no sistema.	57
6.6 Camadas de correntes e batimetria aplicadas à zona da Madeira.	58
6.7 Tipos de utilizadores à esquerda e âmbito de trabalho dos utilizadores especializados à direita.	58
6.8 Avaliação dos fenómenos e conceitos representados no sistema pelos especialistas.	59
6.9 Que fenómenos e conceitos os utilizadores comuns gostaram mais de ver no sistema.	60
6.10 Resultados do inquérito aos operadores de AUVs.	61

Lista de Tabelas

2.1 Comparação entre bibliotecas	19
--	----

Lista de excertos de código

1	Exemplo de plano de um AUV.	39
2	Procedimento para determinar o vetor de translação.	44
3	Pedido e aplicação de uma camada ao globo.	46
4	Cálculo da futura posição, rotação e direção de uma embarcação.	48

Capítulo 1

Introdução

Cerca de 70% da superfície da Terra é coberta por água e o oceano retém cerca de 96% de toda a água da Terra [63]. Os oceanos são um dos recursos naturais mais importantes da humanidade, são responsáveis por um vasto ecossistema, possuindo o maior habitat no mundo. No entanto, apenas conhecemos cerca de 20% do fundo do mar por se tratar de um local difícil de explorar [13].

As novas tecnologias de monitorização e de deteção remotas levaram a uma explosão de novos dados científicos sobre os oceanos [18]. Assim, foi possível mudar drasticamente a maneira como a humanidade interage com o oceano e permitiu a exploração de áreas e de processos oceânicos que antes eram incompreensíveis e inacessíveis [55].

Na secção 1.1 faremos uma breve contextualização do tema e serão referidas as motivações desta dissertação na secção seguinte 1.2. Seguidamente, na secção 1.3 serão apresentados os objetivos principais deste trabalho. Por último, na secção 1.4 será apresentada a estrutura do presente documento.

1.1 Contexto

Devido à vastidão e inacessibilidade dos oceanos, a sua exploração científica ficou para trás do estudo dos sistemas terrestres [18]. Os sistemas de informação geográfica (SIG)¹ estão altamente avançados devido ao fácil acesso aos dados da superfície terrestre e à natureza estática dos mesmos. Existem satélites que recolhem informações e imagens a partir das quais é possível construir mapas de relevo detalhados de cidades e GPS para registar com precisão mapas de estradas, linhas ferroviárias e outros recursos. Contudo, quando se trata do ambiente marinho e costeiro as coisas são muito menos diretas.

Segundo Dawn Wright [69], não há características fixas no ambiente marinho e muito pouco de natureza estática que possa ser mapeado, com exceção do fundo do mar (mesmo esse bastante

¹Em inglês *geographic information system* (GIS)

dinâmico devido à erosão e transporte de sedimentos). Além disso, apesar da localização da costa permanecer amplamente fixa esta é afetada diariamente pelas marés. Cui Xie[71] caracteriza os dados do oceano como sendo complexos, vastos, descrevendo processos complicados da interação dinâmica entre entidades de várias escalas, como marés, correntes, ondas, topografia do fundo do mar, vento da superfície e outros campos atmosféricos.

O Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática (LSTS) [19] é um laboratório de investigação interdisciplinar sediado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e é especializado na construção e operação de veículos subaquáticos e aéreos não tripulados e no desenvolvimento de ferramentas e tecnologias para a implementação de sistemas de veículos em rede. Neste contexto iremos focar-nos nos veículos subaquáticos não tripulados, utilizados pelo laboratório para a recolha de dados costeiros. Os AUVs ² pertencem ao grupo de veículos subaquáticos não tripulados que permitem recolher dados de rios, lagos, zonas costeiras e do fundo do mar. Chris Goldfinger[28] diz que este tipo de veículos permite extrair a verdade do solo e, por isso, são importantes para a investigação de ambientes marinhos. Os AUVs permitem fornecer uma observação *in situ* do fundo do mar, isto é especialmente útil quando existem informações críticas necessárias mas indisponíveis por outros meios. Além da capacidade de fazer mapeamento do fundo do mar através de sonares, estes veículos permitem a recolha em tempo real de vários outros tipos de dados como temperatura, salinidade, clorofila, magnetometria, etc.



Figura 1.1: Exemplo de veículo autónomo subaquático (AUV) desenvolvido no LSTS [16].

O rápido desenvolvimento deste tipo de veículos e de outras tecnologias de observação do oceano levou a uma explosão de variados tipos de dados marinhos com alta resolução.

Isto traduz-se num maior conhecimento e estes avanços tecnológicos oferecem maiores oportunidades de investigação nas ciências marinhas. Contudo, segundo Cui Xi [71], a alta heterogeneidade dos dados, o seu grande volume, a taxa de atualização alta e a relação acoplada entre os vários tipos de dados, trazem grandes desafios técnicos para a sua análise de forma completa e automática, assim como para a sua visualização.

1.2 Motivação

A quantidade de dados e a sua natureza complexa leva a que seja também difícil a sua análise. Segundo Bernd Resch [54], a logística marítima e a proteção ecológica estão sujeitas a preocupações crescentes.

²veículos autónomos subaquáticos

ções heterogéneas de diferentes grupos de interesse, e, portanto, projetos de proteção, construção e reestruturação em áreas costeiras precisam ser fundados em bases científicas sólidas.

Apesar de existirem algumas ferramentas de visualização de dados marinhos em 2D, quanto mais abstrata é a visualização mais distante é esta do mundo físico e maior é o esforço para interpretar informações apresentadas digitalmente. O 3D serve como ponte psicológica entre mapas bidimensionais abstratos altamente simplificados e a realidade. De forma a averiguar o interesse neste desenvolvimento por parte de potenciais utilizadores foi realizado um pequeno inquérito que será melhor apresentado no capítulo 3. Neste inquérito todos os inquiridos responderam de forma afirmativa à questão:

Existe algum interesse em visualizar dados da sua área científica de estudo em 3D a partir de um *browser*?

A combinação e agregação dos vários tipos de informação disponível do oceano num único sistema gráfico de simples acesso permitirá aos seus utilizadores a exploração dos dados oceânicos, a análise e uma melhor compreensão acerca da dinâmica dos complexos processos marinhos. Além disso, a visualização 4D de dados geoespaciais na *Web* pode contribuir significativamente para dar resposta ao desafio de informar os tomadores de decisão e o público em geral sobre desenvolvimentos em áreas costeiras [54]. Também, para cientistas e biólogos, ter uma forma de monitorizar o oceano será uma mais valia devido às implicações ambientais globais que as mudanças nas características do oceano podem ter [63].

Assim, este desenvolvimento poderá contribuir para o estudo e para a proteção do oceano, assim como facilitar a sua compreensão e análise por parte de todas as ciências que estudam o mar.

1.3 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação é permitir a qualquer utilizador visualizar de forma agregada e intuitiva a informação proveniente de múltiplas fontes relacionadas com o oceano e litoral marinho. Pretendemos então desenhar uma solução de visualização de dados marinhos utilizando tecnologias *Web*. Esta solução terá que responder a objetivos específicos:

- integrar vários tipos de dados que variam no espaço e no tempo provenientes de diferentes fontes de forma a permitir a identificação de padrões e correlações entre as variáveis representadas visualmente;
- representar um enorme volume de dados de forma simples e direta de modo a facilitar a sua interpretação;
- facilitar a demonstração e compreensão de ambientes marinhos;
- ser útil para operadores de AUVs:
 - fornecer aos observadores conhecimento visual em tempo real do plano a decorrer;

- facilitar o processo de tomada de decisão no decorrer de missões;
- correlacionar a visualização 3D com as imagens do sonar recolhidas pelos AUVs.
- facilitar aos arqueólogos visualizarem os modelos dos pontos de interesse inseridos no seu ambiente marinho;
- permitir a divulgação científica das ciências ligadas ao mar através de uma sistema intuitivo, acessível e de fácil compreensão por qualquer utilizador.

Apesar do objectivo principal ser agregar e mostrar informação de forma visualmente simples que seja comprehensível por parte de qualquer utilizador, seja ele especializado ou não, existem grupos de utilizadores ligados às ciências do mar que poderão beneficiar mais com o trabalho desenvolvido, nomeadamente operadores de AUVs, arqueólogos, oceanógrafos e biólogos.

1.4 Estrutura do Documento

Para além da presente introdução, este documento é composto por mais cinco capítulos e três anexos. No capítulo 2 é exposta a revisão bibliográfica dos domínios mais relevantes no contexto do problema. Este capítulo, por sua vez, encontra-se subdividido em quatro secções principais: estudo das técnicas utilizadas para representação de dados marinhos, os sistemas marinhos existentes, as tecnologias de renderização *Web* e por fim o sumário das ideias gerais do capítulo.

O capítulo 3 apresenta as questões de investigação às quais pretendemos responder e identifica o tipo de metodologia de investigação utilizada no estudo, assim como os instrumentos de recolha de dados e de informação. O capítulo da arquitetura (4) apresenta os requisitos funcionais e não funcionais, a arquitetura e o desenho do sistema tendo em conta os problemas apresentados. Também são analisadas ferramentas, tecnologias e APIs úteis para o desenvolvimento.

De seguida, o capítulo 5 descreve a implementação do sistema Coral tendo em conta os requisitos e a arquitetura do sistema. Começa por apresentar o protótipo inicial realizado e fornece uma visão geral do protótipo final desenvolvido nesta dissertação. Os testes realizados e os seus resultados são descritos no capítulo 6. Além de apresentar os testes efetuados com todos os potenciais utilizadores do sistema e os seus resultados, é realizada uma discussão sobre os resultados obtidos na experiência com utilizadores e em relação aos requisitos inicialmente definidos.

O último capítulo, o 7, apresenta todas as considerações finais desta dissertação. Começa pelas conclusões retiradas com o trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação e de seguida são referidas as limitações e desafios encontrados. No fim é apresentado o trabalho futuro, que contém a descrição das melhorias que podem ser desenvolvidas e as colaborações que se encontram a decorrer no momento da entrega deste documento.

Em anexo encontram-se o primeiro inquérito realizado a potenciais utilizadores, o manual de utilização da aplicação desenvolvida e o inquérito desenvolvido para validação do sistema.

Capítulo 2

Estado da Arte

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica efetuada, relevante para o contexto do problema. A secção 2.1 contém o estudo geral das técnicas utilizadas para representação de dados marinhos, nomeadamente dados batimétricos, fenómenos de ondulação, tráfego marinho e trajetória dos veículos subaquáticos. Na secção 2.2 apresentamos o estado da arte em relação a sistemas de visualização marinha como sistemas baseados na *Web* mas também outros tipos de sistemas existentes. Na secção 2.3 são apresentadas e comparadas as tecnologias relevantes para o trabalho. Por fim, na secção 2.4 é apresentado o sumário geral desta revisão bibliográfica.

2.1 Estudo de Técnicas de Representação e Visualização de Dados

Até recentemente, o termo visualização significava construir uma imagem visual na mente. Agora passou a significar algo mais como uma representação gráfica de dados ou conceitos. Assim, além de ser uma construção interna da mente, uma visualização tornou-se uma ferramenta externa que apoia a tomada de decisão. Os dados recolhidos eram tradicionalmente visualizados utilizando técnicas de visualização 2D, no entanto a procura de soluções mais eficientes e interativas levou a novas soluções 3D e 4D. A visualização pode funcionar como ferramenta cognitiva para dar suporte à descoberta, exploração e tomada de decisão. Segundo Colin Ware [67], a visualização de dados, se realizada de forma apropriada, permite exibir grandes quantidades de informações que podem ser rapidamente interpretadas e pode ser uma ferramenta muito útil no controlo de qualidade dos dados uma vez que permite detetar erros nos dados ou na recolha dos mesmos. Kai Wang [66] refere que "a visualização de dados é essencialmente uma apresentação gráfica de informações, onde o objetivo é facilitar que os seus utilizadores obtenham um entendimento qualitativo da maciça informação de alta dimensão".

2.1.1 Dados Batimétricos

Mais de dois terços da Terra está coberta por água e a maior parte do planeta não está acessível para observações visuais diretas. Se há cerca de 100 anos atrás, o fundo do oceano era considerado plano e sem características, nas últimas décadas houve uma revolução nos conhecimentos nesta área com os avanços tecnológicos a permitirem medir cada vez mais e melhor a superfície coberta de água de nosso planeta [8]. Atualmente decorre um projeto chamado *Seabed 2030* que pretende fazer o mapeamento de todo o fundo do oceano até 2030. Foi lançado em 2017 pela fundação Japonesa Nippon e pela GEBCO e tem o objetivo de entender o impacto que os oceanos têm no clima da Terra. Quando foi lançado conhecia-se apenas cerca de 6% do fundo do oceano contudo, segundo [13] (publicado a 22 de Junho de 2020), agora já é conhecido 20%.

A utilização de ferramentas GIS e aplicações geoespaciais contribuíram de forma muito significativa para avanços nesta área. A medição e mapeamento do fundo do mar em águas rasas fornece segurança à navegação enquanto que o seu levantamento em zonas mais profundas é geralmente de natureza exploratória. Ainda, segundo Philippe Blondel [8], as taxas de erosão e sedimentação são muito mais baixas no oceano do que em terra, por isso a batimetria revela a morfologia e a história geológica. A compreensão dos parâmetros geológicos e geofísicos que moldam o fundo do oceano são essenciais para o estudo dos recursos vivos e não vivos.

Os dados batimétricos podem ser obtidos a partir de diversas formas incluindo satélites, aviões, navios, submarinos ou plataformas subaquáticas, sendo depois usados para gerar cartas de navegação, modelos 3D e perfis do fundo do mar. Estes dados são recolhidos principalmente medindo o tempo que a luz do laser, ou um pulso do sonar acústico, leva para chegar através da coluna de água até ao fundo do mar e vice-versa, com base na velocidade do som na água, nas características do sensor, no tempo e outros variáveis [33].

Visualização

Os mapas de isolinhas ou isóbatas são usados para representar batimetria e representam linhas de mesma profundidade em oceanos ou lagos com grandes dimensões. São dados vectoriais representados como linhas interligando profundidades de valores iguais. O intervalo entre as linhas depende da escala, aplicação e outros fatores, mas os contornos mais próximos representam um terreno altamente variável ou íngreme, enquanto os contornos mais afastados indicam um fundo do mar mais suave e plano. Estes mapas são usados como limites de segurança para embarcações que navegam em águas rasas e também em cartas de navegação como mostrado na figura 2.1 [33].

As imagens de perfil de batimetria (2.2) permitem observar o fundo do mar de uma perspectiva transversal, particularmente útil para análise de rotas de cabos ou tabulações e construção de infraestruturas, complementando de forma excelente outras representações batimétricas [33].

Os avanços na área de visualização 3D em computador permitiu ampliar o uso da batimetria muito para além da navegação. Estes desenvolvimentos permitiram aos cientistas que estudam o mar visualizar as superfícies do fundo do oceano com bastante realismo através de imagens

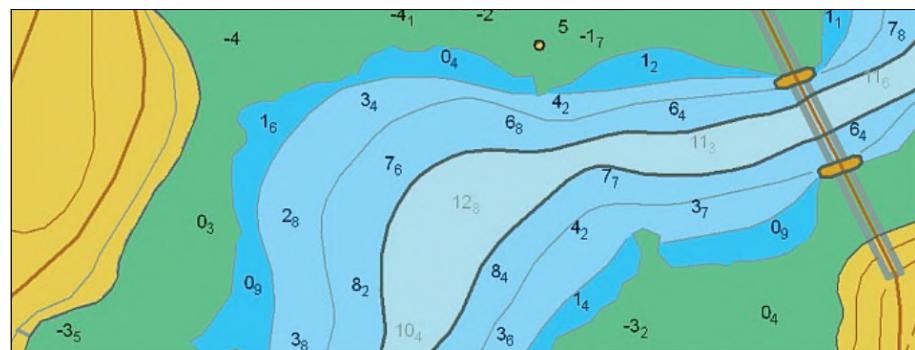


Figura 2.1: Mapa de isóbatas para representação de batimetria [33].

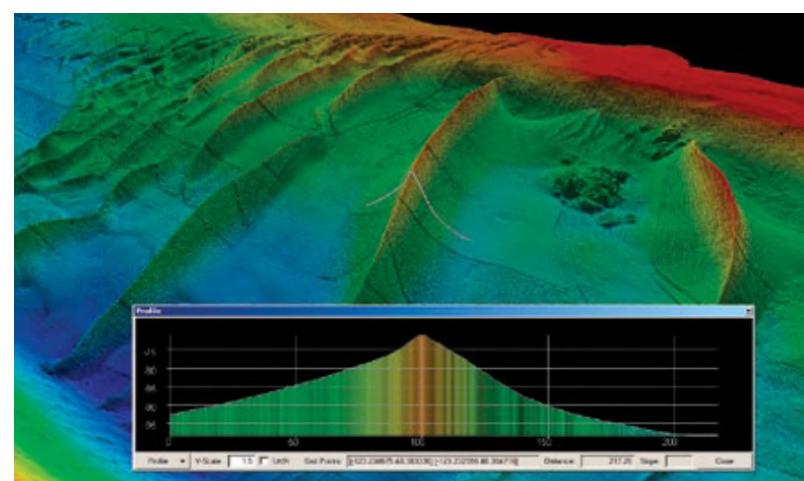


Figura 2.2: Vista de perfil de dados de batimetria [33].

batimétricas de alta resolução em 3D. Na figura 2.3 podemos ver um exemplo de um modelo de alta resolução do fundo do mar em 3D.

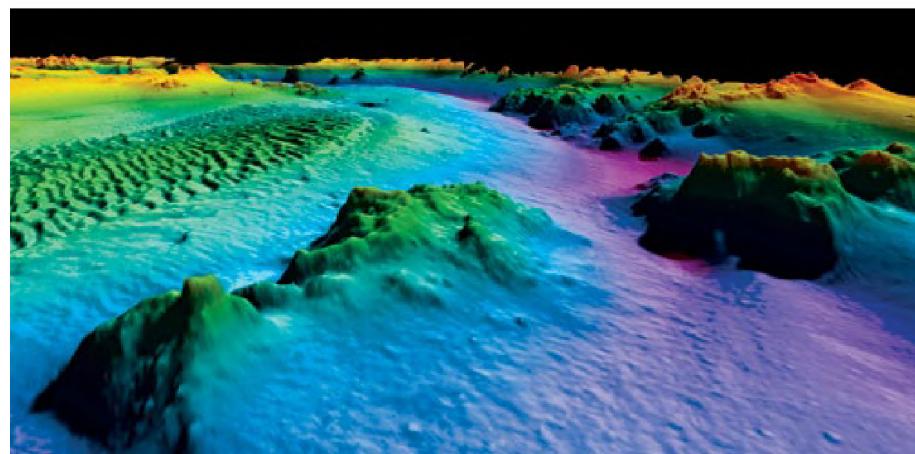


Figura 2.3: Modelo de alta resolução do fundo do mar em 3D [33].

Representação

Os dados batimétricos que descrevem a topografia do fundo do mar estão geralmente em forma de grelha espaçada regular ou em forma de rede triangular irregular, também conhecida por formato TIN¹. Na figura 2.4(a) e na 2.4(b) mostra respectivamente a representação TIN e em grelha regular de um terreno.

O formato em grelha é o mais popular para descrever superfícies uma vez que neste formato é naturalmente fácil exibir e renderizar os dados como uma malha 3D. O modo de funcionamento é bastante simples, onde os pontos de superfície são definidos numa grelha no plano XY e para cada ponto há uma elevação correspondente. Se os dados originais são um conjunto de pontos de superfície distribuídos irregularmente, é necessária uma interpolação para construir uma grelha. Esse processo de interpolação também é chamado de *gridding*². Com base nessa grelha uma malha 3D pode ser facilmente criada [38].

No entanto, características batimétricas como picos, cordilheiras, vales e fossas oceânicas não são explicitamente representadas e estas características são predominantes no mar [38]. Neste caso é aconselhado a modelação através de uma TIN. Existem vários modelos para a geração destas redes, contudo o mais utilizado é a triangulação de Delaunay.

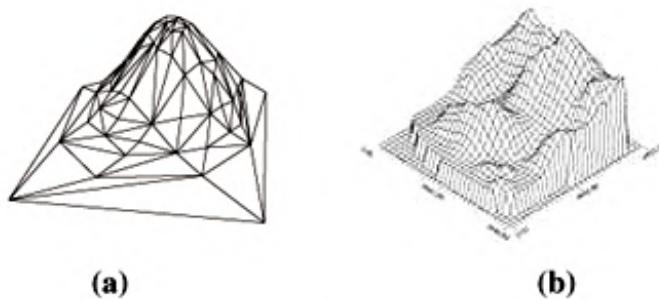


Figura 2.4: Típicos formatos dos dados batimétricos: [12]

Comparando as duas representações, ambas têm vantagens e desvantagens. A utilização da *Constrained Delaunay Triangulation* permite uma melhor representação das características oceânicas anteriormente mencionadas [70] [38]. Segundo Alain Wulf [70] a modelação TIN deve ser preferida quando a área mapeada não tiver uma cobertura homogénea contudo a manipulação deste modelo é mais complexa do que no modelo em grelha. Já os modelos em grelha são menos flexíveis contudo oferecem maior velocidade, exigem menos requisitos de memória e os algoritmos de implementação são mais fáceis de implementar, tornando-os preferidos quando a área é coberta de forma homogénea.

2.1.2 Fenómeno de Ondulação

As ondas oceânicas são dos fenómenos mais reconhecidos na oceanografia. O fenómeno da ondulação é explicado pelo stress aplicado pelo vento à superfície do oceano, que progressiva-

¹do inglês *triangulated irregular network*

²criação de malhas

mente torna as ondas mais altas [68]. A sua representação em 2D é tradicionalmente realizada através de uma mapa bivariável, no qual se utiliza cores mas também flechas que indicam a direção das ondas, como é possível observar na figura 2.5.

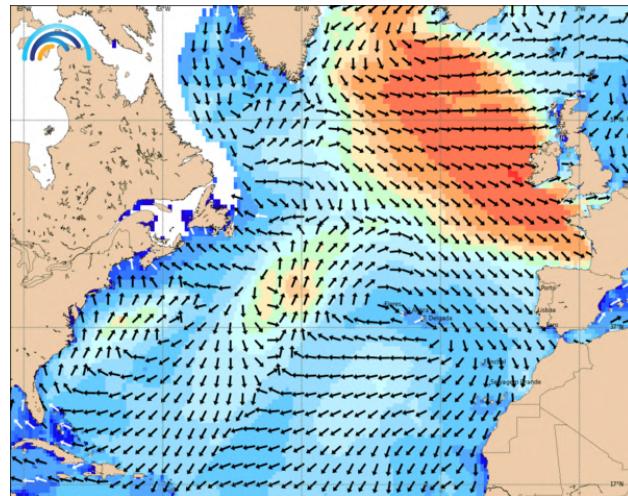


Figura 2.5: Exemplo de representação 2D da ondulação marítima [21].

Não encontramos literatura científica que represente dados de fenómenos de ondulação em 3D. No entanto, existe algum trabalho científico em simulações realistas de ondas para jogos de computador e animações. Apesar de na representação 3D ser possível mostrar a magnitude das ondas, no nosso entender, as cores são uma forma mais simples de a representar e que permite a análise da direção e a altura das mesmas.

2.1.3 Tráfego Marinho

De acordo com a *International Maritime Organization* (IMO), quase 90% do comércio mundial é transportado por via marítima e por isso é necessário garantir proteção e segurança ao número crescente de embarcações. Deste modo, monitorizar o tráfego marinho através da visualização de dados poderá ajudar a compreender comportamentos, a aprimorar a segurança das embarcações e dar confiança aos serviços de atividades marítimas [66]. Desde o ano de 2004 todas as embarcações com tonelagem bruta igual ou superior a 300 toneladas com tráfego internacional têm de ser equipadas com um transmissor AIS (*Automatic Identification System*).

Assim, a apresentação visual dos dados AIS ajuda na vigilância e segurança costeira e também ajuda os analistas que tomam decisões a entenderem melhor os movimentos e fluxo de embarcações.

O sistema AIS permite a troca de informação entre navios vizinhos por rádio (VHF) num intervalo de tempo entre 2 a 10 segundos ou a cada 3 minutos se ancorado. Algumas destas embarcações transmitem as posições recebidas para a Internet e existe ainda uma constelação de satélites AIS que recebem as mesmas transmissões a nível global.

Os três tipos de informações principais contidas nessas transmissões são:

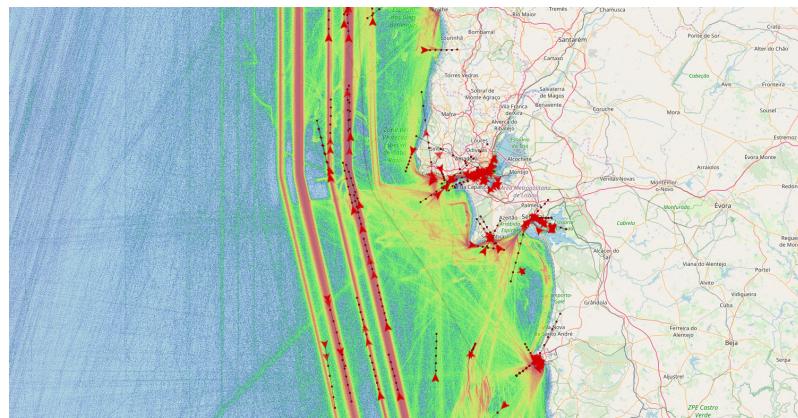


Figura 2.6: Exemplo de representação de tráfego de embarcações

- **Informação estática:** nome, tamanho e tipo de navio e a identidade de serviço móvel marítimo;
- **Informação dinâmica:** velocidade, posição e direção da embarcação e a velocidade de mudança de direção;
- **Informação da viagem:** local de partida e destino, calado³ e tempo estimado de chegada da rota definida.

Com o aumento do número de embarcações e com o aumento de equipamentos e dispositivos avançados no transporte marítimo houve um aumento exponencial de dados de alta dimensão. Devido ao grande volume de possibilidades destes dados a sua visualização pode ter um custo computacional muito alto. Neste sentido, o algoritmo de Douglas-Peucker (DP) permite reduzir o tempo de computação uma vez que filtra apenas os dados essenciais do trajeto [66].

Na figura 2.6 é possível observar um exemplo da representação do tráfego de embarcações em 2D disponível na plataforma *Ripples* [20]. A monitorização do tráfego de embarcações é essencial para que missões com AUVs decorram em total segurança quer para os veículos autónomos quer para as próprias embarcações. Outro exemplo da utilidade deste tipo de monitorização pode ser observado na figura 2.7. Neste caso, o público tinha dificuldade em acompanhar os acontecimentos em campeonatos de barcos à vela por serem longe da costa e por isso foi combinado um sistema de visualização 3D com uma plataforma que difundia informação dos barcos em tempo real [53].

2.1.4 Trajetória dos Veículos Autónomos

Como referido na secção 2.1 a exploração do oceano é cada vez mais importante e o uso de veículos autónomos subaquáticos mostrou ser uma mais valia nesse sentido [61]. Contudo é difícil observar e testar veículos subaquáticos devido à ausência de contato visual e à falta de comunicações num ambiente submerso [61] [10].

³distância entre a quilha do navio e a linha de flutuação

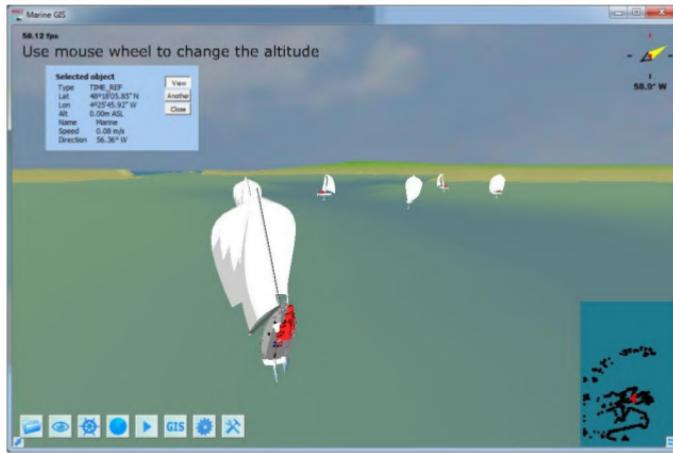


Figura 2.7: Vista 3D imersiva de um dos barcos à vela.

Os AUVs realizam tarefas e missões complexas mantendo um controlo físico estável com seis graus espaciais de liberdade [10] o que requer algoritmos estáveis e confiáveis no software de controlo [61] com pouca tolerância a falhas. Isto significa que uma pequena falha pode ser catastrófica e de difícil recuperação. Além disso, danos no veículo ou até a sua perda, é geralmente intolerável devido ao tempo, dinheiro e recursos investidos [10].

Os recentes avanços tecnológicos levaram à proliferação de vários tipos de veículos autónomos não tripulados e com isso, diferentes formas de comunicação e monitorização. No LSTS a comunicação com os AUVs é realizada através de mensagens IMC⁴. Este protocolo orientado a mensagens projetado para comunicação entre veículos heterogéneos, sensores e operadores humanos, abstrai a heterogeneidade do hardware e da comunicação, fornecendo um conjunto compartilhado de mensagens que podem ser serializadas e transferidas por diferentes meios [40].

No contexto desta dissertação importa salientar as mensagens relativas a manobras porque além de permitirem a definição de manobras e conhecer o estado de execução, são as mensagens relacionadas com a monitorização do veículo através dos *waypoints* [40].

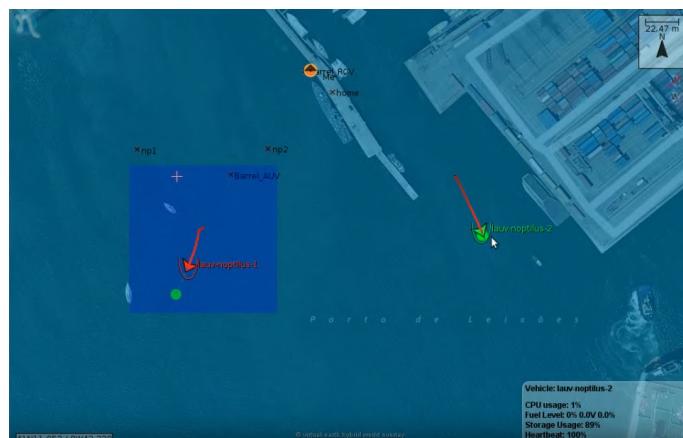


Figura 2.8: Controlador e simulador 2D de AUVs do Neptus.

⁴Inter-Module Communication

A figura 2.8 mostra a interface do software de controlo, visualização e simulação Neptus, desenvolvido no LSTS, onde mostra de que forma o posição dos veículos são monitorizados. Os veículos deste tipo são especializados em percorrer longos trajetos em linha recta e muitas das interfaces gráficas usadas para estes veículos são em duas dimensões. Contudo, estes veículos movimentam-se de forma tridimensional e num ambiente que é também tridimensional, pelo que é relevante a representação destes sistemas em 3D. Don Brutzman [10], em 1995, afirma que "o uso de um mundo virtual subaquático em 3D renderizado em tempo real é um recurso essencial para o desenvolvimento dos AUVs". Também Sorokin [59] refere que "a visualização 3D de um ambiente subaquático permite explorar as especificidades do fundo do mar, facilita o planeamento, o controlo e a tomada de decisões durante as missões submarinas". Na figura 2.9 é possível observar o simulador de AUVs em 3D desenvolvido pelo LabOceano [37].



Figura 2.9: Simulador 3D de AUVs do *LabOceano*.

2.2 Sistemas de Informação Geográfica

Tal como em muitas outras áreas, a evolução de software e hardware das últimas cinco décadas alterou de maneira significativa a forma como recolhemos, tratamos e usamos os dados geoespaciais. Os sistemas de informação geográfica (SIG)⁵ são um bom exemplo das consequências desses desenvolvimentos [9]. Paul Bolstad[9] define um GIS como sendo "um sistema baseado em computador para auxiliar na recolha, manutenção, armazenamento, análise, saída e distribuição de dados e informações espaciais" e que as chaves para a definição de um GIS são "onde" e o "quê".

No inicio dos anos 90 estes sistemas despertaram a curiosidade e atenção dos oceanógrafos e cartógrafos porque desempenharam um papel fundamental na gestão e visualização de dados 3D marinhos [60]. Então, alguns especialistas europeus e americanos desenvolverem ferramentas específicas nos GIS para a análise de dados marinhos. Em 1993, Li e Saxena [39] apresentaram algumas diferenças entre os sistemas terrestres e os marinhos.

Os sistemas de informação geográfica marinha⁶ exigem mais requisitos em comparação com os sistemas terrestres, uma vez que os GISs tradicionais apenas lidam com fenômenos terrestres,

⁵em inglês *geographic information systems* (GIS)

⁶em inglês *marine geographic information systems* (MGIS)

menos dinâmicos que os fenómenos marinhos. Além da integração e análise de informação multidimensional de múltiplas fontes, também tem de permitir a visualização de dados que variam no espaço e no tempo de forma a fornecer uma ampla visão dos processos marinhos e do impacto humano no oceano [32].



Figura 2.10: Sistema de informação geográfica *Google Earth*.

Apesar dos avanços nos últimos anos, em 2016 Pengbo Ji [32] diz que ainda não há nenhuma plataforma especializada em aplicações marítimas que seja capaz de atender aos requisitos da simulação e da visualização. A visualização de fenómenos marinhos que variam no tempo e no espaço, ou seja em 4D, não é uma área de pesquisa completamente desenvolvida e, portanto, não amplamente representada na literatura atual [54].

2.2.1 Sistemas Baseados em Web

Em 1995, o conceito de sistemas de informação baseada na Internet e centralizados em mapas foi difundido com o aparecimento do *Google Earth*. Na imagem 2.10 podemos ver o aspeto deste sistema. Esta aplicação 3D, mantida pela *Google*, permite visitar qualquer lugar no mundo graças às imagens capturadas por satélites e aviões fretados para o propósito.

O aparecimento do *Google Earth* revolucionou a área dos GISs. Contudo, muitos desafios de pesquisa permaneceram, incluindo a questão da integração de dados geográficos que variam no tempo em sistemas de visualização baseados em mapas na Web [14]. O design da visualização de dados geográficos baseada na Web não foi ainda padronizado [54] e os utilizadores deste tipo de sistemas normalmente encontram dificuldades na interação, análise e visualização dos dados que estão longe de ser ótimos [14].

Assim, Bernd Resch [14] utilizou o *WebGL* para a realização de um protótipo destinado a utilizadores não especializados. Para isso focou-se em critérios como os requisitos para transmitir informações para o apoio nas tomadas de decisão e também em critérios como a usabilidade, o

desempenho e o esforço de implementação necessário. O protótipo em *WebGL*, presente na figura 2.11, mostrou-se altamente adequado ao dar resposta favorável aos critérios definidos.

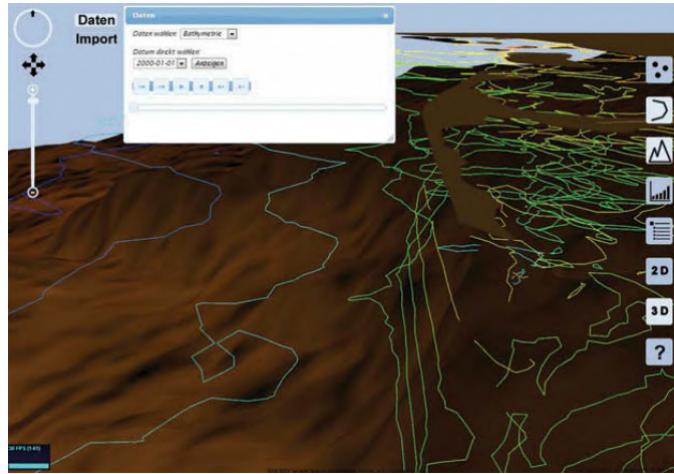


Figura 2.11: Exibição de dados batimétricos no protótipo em *WebGL*. [14].

No contexto desta dissertação é importante referir o sistema *Ripples*, desenvolvido pelo LSTS. Este software baseado em nuvem agrupa e difunde dados e informações provenientes de várias fontes, como modelos físicos, sensores de deriva, tráfego de embarcações (AIS), entre outros. Além disso, através de comunicações via satélite, pode ser usado para o planeamento de missões e monitorização de veículos não tripulados [20]. A figura 2.12 mostra um exemplo da integração dos dados obtidos *in situ* por dois veículos autónomos quando comparados com dados de salinidade gerados por um modelo oceanográfico.

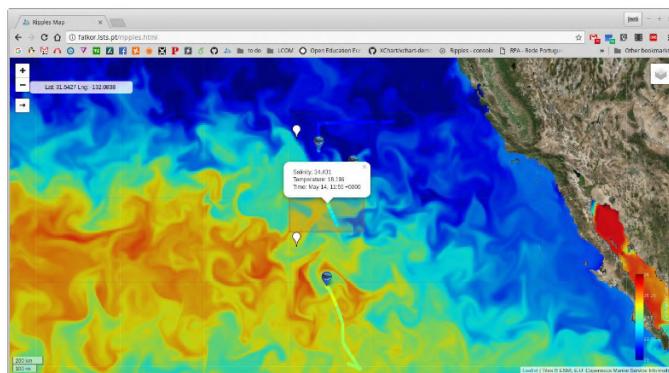


Figura 2.12: Imagem do *Ripples* que mostra dados em tempo real de dois veículos autónomos em conjunto com dados de salinidade [50]

2.2.2 Outros Tipos de Sistemas

O foco desta dissertação são os sistemas MGIS baseados em *Web* contudo, a literatura nesta área é muito escassa. Assim, é importante referir outros tipos de sistemas relevantes para o desenvolvimento deste estudo.

Pengbo Ji [32] introduz a plataforma *i4Ocean*, criada para ajudar as pessoas a explorar, a gerir e a entender o oceano. O sistema permite aos cientistas e meteorologistas investigar, monitorizar, analisar e prever as mudanças nos recursos marinhos e nas condições ambientais. Além da integração dados marinhos, renderização em tempo-real, a visualização, a simulação e posterior análise, os seus utilizadores podem desenvolver aplicações para integrar na plataforma.

Outro sistema que importa salientar é o *Neptus*. José Pinto [49] apresenta este software de comando e controlo distribuído para operações com veículos, sensores e operadores humanos em redes heterogéneas. Este software mostra em tempo-real informação como posição GPS e profundidade / altitude dos veículos autónomos. Adicionalmente, permite analisar os dados recolhidos pelos AUVs tais como, salinidade, temperatura, turbidez ou oxigênio da água dissolvido de uma área, sendo possível criar mapas 2D e 3D. Por fim, permite também analisar dados de sonar de forma a encontrar naufrágios de navios, sítios de interesse arqueológico ou qualquer outra estrutura submersa e não soterrada.

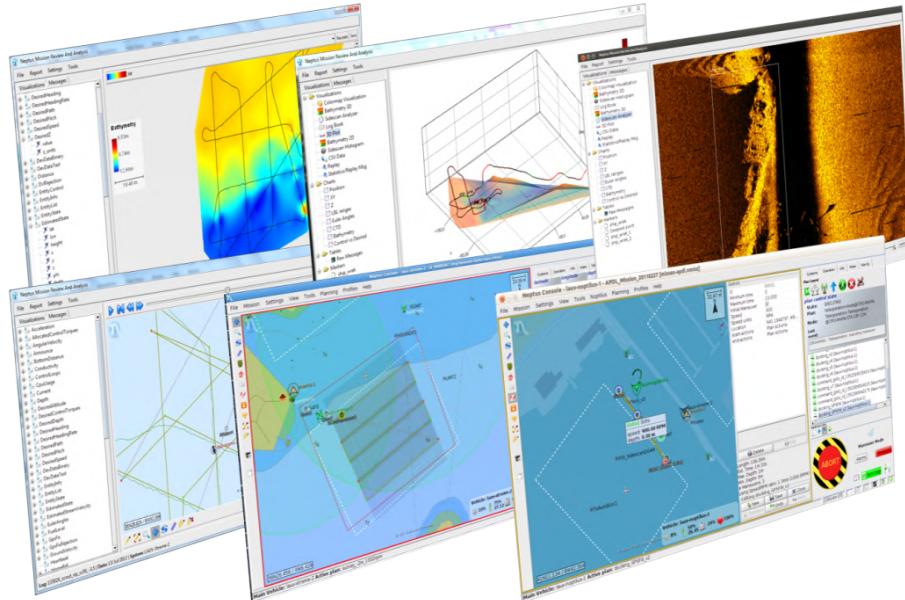


Figura 2.13: Algumas janelas do software Neptus.

2.3 Ferramentas de Renderização

O *WebGL* é uma tecnologia de visualização Web3D baseada em *OpenGL*, que combina *HTML5* com *JavaScript*. Esta *API* fornece uma renderização tridimensional acelerada de elementos canvas *HTML5* usando a *Open Graphics Language* [14].

A vantagem do uso de *WebGL* é que os dados e a parte principal das funções do sistema ficam do lado do servidor, enquanto que no lado do cliente apenas é necessário instalar um navegador que lhe permite fazer interações simples, como mover, dimensionar e consultar informação [42].

Se por um lado temos a facilidade de renderizar gráficos 3D sem usar *plugins* e de funcionar com qualquer plataforma que suporte o *OpenGL*, por outro lado exige que os utilizadores comprehendam profundamente o *OpenGL*, o que torna o seu desenvolvimento difícil. Existem, no entanto, várias *frameworks WebGL* que permitem aos desenvolvedores construir de forma fácil e rápida gráficos e animações 3D.

2.3.1 Bibliotecas e Tecnologias

As bibliotecas introduzem um nível de abstração em relação ao conhecimento matemático necessário no desenvolvimento diretamente em *WebGL*. Estas fornecem uma *API* declarativa no qual uma cena 3D é descrita usando *XML* e incorporada numa página através de uma *tag* personalizada [44].

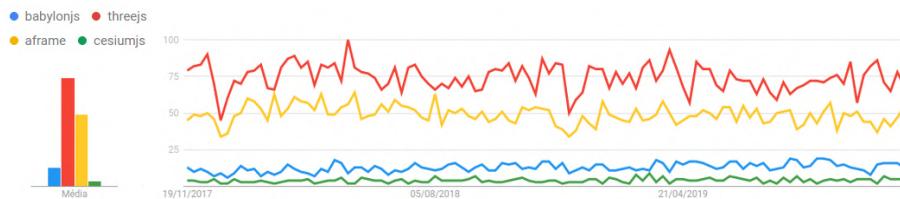


Figura 2.14: Tendências de pesquisas dos termos no *Google* [29].

Distinguem-se ainda pela oferta de recursos, forma de definir o conteúdo 3D e pela sua finalidade. Não existe no entanto trabalho científico que as compare e portanto não há evidências empíricas de que uma biblioteca seja superior a outra para um caso de uso em específico. Aliás, os desenvolvedores escolhem a biblioteca a usar baseando-se no tamanho da sua comunidade, integridade da documentação, número de exemplos ou até a aparência do site [35]. Contudo, as figuras 2.14 e 2.15 mostram uma comparação entre algumas bibliotecas em voga, nomeadamente o número de vezes que o termo foi pesquisado no *Google* e o número de downloads através da *API NPM*, um software de gestão de bibliotecas *JavaScript*. Das apresentadas as estruturas mais populares são *Three.js* e o *Babylonjs* [35].

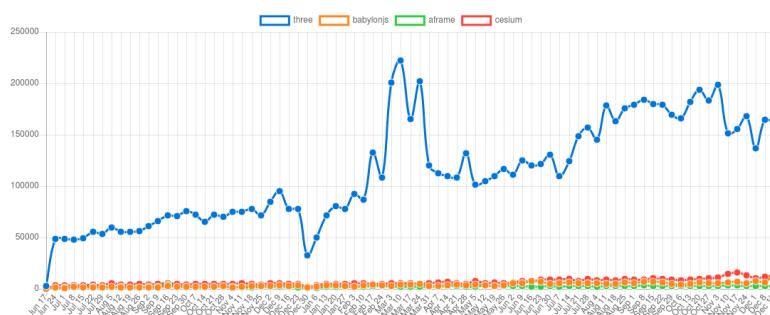


Figura 2.15: Número de downloads de cada framework através da *API NPM*. [51]

O objetivo do *Three.js* é criar uma biblioteca 3D leve e fácil de usar com um renderizador *WebGL* padrão[62]. Nasceu em Abril de 2009 e foi originalmente desenvolvido em *ActionScript*, sendo agora uma biblioteca *JavaScript* de código aberto que permite a programação de alto nível de cenas 3D e é provavelmente a mais famosa para gráficos 3D em navegadores. Como foi criado antes da introdução do *WebGL*, o biblioteca possui uma estrutura modular, o que significa que tem vários mecanismos de renderização (*WebGL*, *Canvas* e *SVG*) [25]. Os desenvolvedores ao usar esta biblioteca contam com uma excelente documentação, exemplos na sua página *Web* e no seu repositório *GitHub*, além de uma grande comunidade ativa. Esta biblioteca permite dar uma resposta eficiente e muito realista à questão da renderização da água, como podemos observar na figura 2.16. Em contrapartida, existe uma constante alteração de versões e não há garantias de retro-compatibilidade.

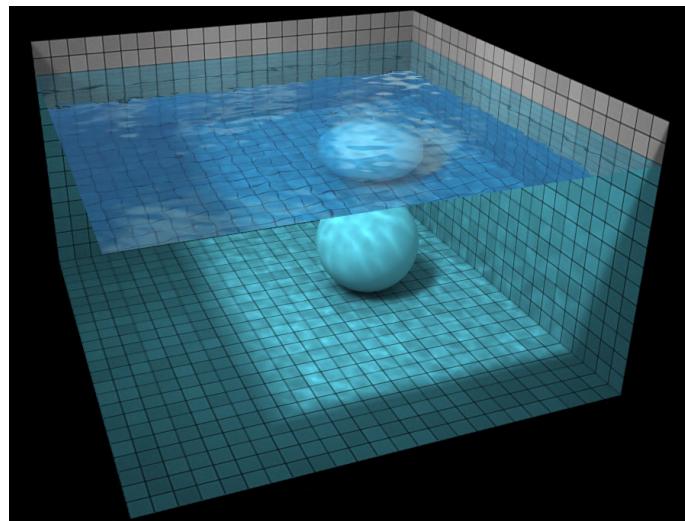


Figura 2.16: Imagem de uma demo de *Three.js* onde foi simulado o efeito de água [65].

O *Babylonjs* é outra biblioteca de código aberto, que ao contrário do *Three.js* oferece uma ampla variedade de recursos de animação, e adota uma abordagem mais orientada para o desenvolvimento de jogos. Além dos sistemas de deteção de colisões integra também mecanismos de física. Em termos de animação de objetos 3D, além de importar cenas de vários formatos 3D, como *.obj* e *.fbx*, suporta também animações de *frames* e animação baseada em estruturas esqueléticas [1].

Uma biblioteca que têm vindo a crescer pelas suas características diferenciadoras é o *CesiumJS* [15]. Esta biblioteca *JavaScript* que tem como objetivo fornecer aos utilizadores poderosas funções que criam globos e mapas 3D e usa o *WebGL* como mecanismo de renderização gráfica para visualização dinâmica de dados. É a única biblioteca *opensource* com suporte direto para coordenadas geospaciais e por isso o seu desenvolvimento é altamente impulsionado pela comunidade geoespacial. Comparado a outras estruturas, o *CesiumJS* é único, pois reúne muitas funcionalidades geospaciais avançadas como transmissão de dados e imagem do terreno, e também desenha camadas de imagem usando serviços e padrões geospaciais da *Web* [35, 24]. Outros dos recursos

mais notáveis do *CesiumJS* é a capacidade de representar dados de serviços da *Web*, desenhar dados vetoriais armazenados no formato *Esri Shapefile*, a possibilidade de visualizar dados de forma temporal [54] e por último, graças a *plugins*, também permite a criação de conteúdo *WebVR*.

Outra framework que é relevante falar é o *A-Frame*. Este sistema *opensource* baseado em *Web* foi especialmente desenvolvido para a criação de experiências de realidade virtual com base em *HTML* e *JavaScript*. A utilização é muito simples e acessível mesmo para não programadores, sendo possível desenvolver conteúdo com conhecimento em apenas em *HTML*, *CSS* e alguma experiência com *JavaScript* [56]. Contudo, apesar de ser uma ferramenta útil para a criação de conteúdo em *VR* não é tão poderoso e flexível como o *Three.js* ou o *Babylonjs*.

Comparação entre Bibliotecas

Só se pode argumentar que uma determinada ferramenta é mais adequada a um objetivo se tiver sido testada em condições realistas e práticas[35]. Existem alguma diferenças que serão apresentadas na tabela 2.1. Como não existe literatura a comparar estas bibliotecas os dados apresentados foram recolhidos através de comparação direta das funcionalidades de cada uma delas.

2.4 Sumário

Ao longo deste capítulo foram abordados diferentes temas relevantes para o desenvolvimento desta dissertação, entre elas o estudo das técnicas de representação e visualização dos dados, vários sistemas de informação geográfica e por último o levantamento de várias ferramentas de renderização *Web*.

No estudo das técnicas de representação e visualização de dados foram apresentadas formas de representação de dados científicos como dados batimétricos, de ondulação marinha, de tráfego marinho, assim como a trajectória de veículos autónomos. Quanto à visualização de dados de batimetria foi possível verificar que existem formas 2D e 3D de visualização, sendo que modelos de alta resolução em 3D permitem observar de forma realista o aspecto do fundo do mar. Referimos também formas de representação destes dados, popularmente realizada em forma de grelha espaçada regular ou em rede triangular irregular (TIN). Depois de destacarmos algumas vantagens e desvantagens associadas a cada formato foi possível concluir que a grelha espaçada regular é um formato mais simples, menos pesado computacionalmente e que permite obter resultados satisfatórios e o modelo TIN, apesar de permitir uma melhor representação de características oceânicas como picos, cordilheiras, vales e fossas, é de manipulação é muito complexa. Nos fenómenos de ondulação foram referidos a forma tradicional de visualização com um mapa bivariável de cores e flechas que indicam a altura das ondas e a direção das mesmas respectivamente. Assim, por se tratar de um forma amplamente utilizada para a representação deste tipo de dados, consideramos que a sua visualização em 3D deverá manter estas características para que não seja perdida informação relevante. No tráfego marinho foi referido o sistema *AIS* que permite a monitorização e comunicação entre embarcações, assim como o tipo de dados e a sua periodicidade. Foram

Tabela 2.1: Comparação entre bibliotecas

	Three.js	Babylonjs	CesiumJS
Prós	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente documentação e grande numero de exemplos online; • Leve e poderoso; • Ótimo suporte para GPU shaders; • Muito recorrente na literatura científica; • Suporte para coordenadas geospaciais através do plugin <i>Potree</i>; • Existe documentação e exemplos de integração com <i>CesiumJS</i>; • Acesso ao baixo nível do <i>WebGL</i>; 	<ul style="list-style-type: none"> • Boa documentação; • Renderizador com desempenho superior; • Maior nível de abstração: desenvolvimento mais rápido de cenas; • Menor curva de aprendizagem; • Comunidade muito ativa: os bugs são corrigidos rapidamente; • API não muda muito entre versões. • Acesso ao baixo nível do <i>WebGL</i>; 	<ul style="list-style-type: none"> • Boa documentação e exemplos online; • Recursos GIS 3D; • Suporte básico para <i>KML</i>, o principal formato do <i>Google Earth</i>; • Comunidade geoespacial ativa; • Excelente desempenho; • Ampla <i>plugins</i> de bibliotecas para a importação de dados, cálculos matemáticos, criação 3D, câmaras, etc.
Contras	<ul style="list-style-type: none"> • Curva de aprendizagem acentuada; • Menor nível de abstração, logo mais código redundante para a construção de uma cena básica; • Constante alteração de versões sem garantias de retro compatibilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliotecas maiores e código mais verboso; • Menos tendência que o <i>Three.js</i> até à data; • Poucos downloads o que é preocupante para o futuro; • Pouca documentação para integração com <i>CesiumJS</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não tem acesso ao baixo nível do <i>WebGL</i>; • Recursos muito técnicos; • Visualização inferior as restantes.

mostradas diferentes formas de visualização, em 2D e em 3D, as vantagens e as diferentes aplicações deste tipo de sistemas. Por último, na representação e visualização da trajetória de veículos autónomos foram igualmente mostradas formas 2D e 3D deste tipo de visualização e a forma de monitorização de *waypoints*.

Nos sistemas de informação geográfica foram referidas as diferenças significativas entre os sistemas GIS e os MGIS. Os *marine geographic information systems*, muito mais relevantes para esta dissertação, são muito mais complexos que os sistemas terrestres que não têm de lidar com fenómenos que variam no tempo e no espaço. Assim, este tipo de visualização ainda não está amplamente representada na literatura atual. Foi destacado também que existem sistemas baseados em *Web* e sistemas de computador local e que existem diferenças relevantes nestes dois tipos de sistemas. Nos sistemas baseados em *Web* importa salientar que a questão da integração e visualização eficiente de dados geográficos que variam no tempo num navegador ainda não foi devidamente explorada e portanto padronizada. Nos outros tipos de sistema foram explorados e mostrados sistemas relevantes como o *Neptus* e o *i4Ocean* que permitem a integração e análise de

dados científicos.

Por último, nas ferramentas de renderização e na apresentação das diferentes bibliotecas foram comparadas e mostradas as mais valias de cada uma das ferramentas. Assim como a tendência de crescimento de cada uma delas quer no número de pesquisas dos termos quer no número de downloads. O baixo número de pesquisa e de downloads do *Babylonjs*, assim como a sua ausência na literatura é preocupante e uma barreira ao uso da biblioteca. Importa destacar o *CesiumJS*, uma ferramenta não muito popular contudo muito poderosa na criação de globos e mapas 3D e cada vez mais representada na literatura devido à resposta adequada aos desafios que a representação de dados geoespaciais apresenta.

O estudo das técnicas de representação e visualização de dados em conjunto com o levantamento dos variados tipos de sistemas de informação geográfica permitiu concluir que existem imposições e dificuldades inerentes na visualização de dados marinhos em plataformas *Web* devido às características dinâmicas deste tipo de dados. Contudo, também foi visto que existem trabalhos relevantes que demonstram que é possível ultrapassar referidas dificuldades. Quanto às bibliotecas estudadas permitiu concluir que existem ferramentas poderosas capazes de dar resposta de forma eficiente às questões de visualização e renderização.

Capítulo 3

Metodologia

Este capítulo apresenta uma visão geral do problema e as questões de investigação às quais pretendemos responder. Posteriormente identifica o tipo de metodologia de investigação utilizada no estudo, assim como os instrumentos de recolha de dados e de informação. Por último, a secção [3.3](#), analisa os dados obtidos na primeira recolha de dados.

3.1 Visão Geral

O objetivo principal desta dissertação é permitir a qualquer utilizador visualizar de forma agregada e intuitiva a informação proveniente de múltiplas fontes relacionadas com o oceano. A par da vertente de divulgação científica, outro dos objetivos é auxiliar os utilizadores ligados às ciências do mar, *i.e.* operadores de AUVs, oceanógrafos, biólogos e arqueólogos. Contudo, devido às características espaço-temporais deste tipo de dados, às múltiplas fontes de dados e ao seu enorme volume, é esperado que isto resulte numa aplicação bastante complexa. Além disso, permitir uma análise mais profunda de dados que possam estar relacionados, pode ser útil uma visualização combinada dos mesmos. Assim, isto leva-nos às questões de investigação que pretendemos responder:

Como combinar dados oriundos de diferentes fontes externas com dados de AUVs?

Como apresentar o resultado dessa combinação de dados de forma simples e apelativa?

Como combinar dados passados com previsões e dados recolhidos em tempo real?

Como referido ao longo do capítulo [1](#), os avanços tecnológicos trouxeram um maior conhecimento do mar e dos oceanos, contudo estes dados são fornecidos por diversas entidades distintas. Para além da informação e dados recolhidos por satélites, existe também os dados recolhidos por veículos autónomos subaquáticos. Existe portanto a necessidade de união esforços e conhecimentos a fim de desenvolver mais e melhor os conhecimentos relativos ao oceano. A resposta

à primeira questão pretende que, com a combinação e unificação destes dados e conhecimento seja possível criar um sistema para um estudo, monitorização e proteção mais eficaz dos oceanos. Além disso, poderá promover a interação e partilha de dados entre as diversas áreas ligadas às ciências do mar e assim contribuir significativamente para a evolução do conhecimento.

A segunda e a terceira questão surgem devido à complexidade e dinamismo no espaço e no tempo dos processos marinhos que por vezes são difíceis de compreender pelo público em geral. Para além disso, ainda não existe nenhuma plataforma que combine dados e informações de múltiplas fontes de uma forma simples e apelativa, que tanto pode ser útil aos profissionais da área como ao público em geral. Como já referido no capítulo 1, a visualização em 4D de dados geoespaciais pode contribuir significativamente para dar resposta ao desafio de informar os tomadores de decisão e o público em geral sobre desenvolvimentos em áreas costeiras [54]. Deste modo, a combinação e agregação de todo o conhecimento do oceano num único sistema gráfico de simples acesso permitirá a exploração dos dados oceânicos e uma melhor compreensão acerca da dinâmica dos complexos processos marinhos. Além da utilidade científica, onde visualizar e combinar graficamente dados e informações poderá contribuir para uma melhor análise dos mesmos. Paralelamente, um sistema único poderá contribuir para a divulgação científica das áreas ligadas às ciências do mar junto das comunidades ligadas à educação, ao comércio e à indústria.

De forma a dar uma melhor resposta a estas questões foi utilizada uma metodologia de estudo mista, pois recorreu sequencialmente a processos de recolha e análise de dados qualitativa e quantitativa. Primeiramente, potenciais utilizadores acima identificados foram inquiridos sobre algumas questões importantes para este processo. Esta etapa possibilitou, além do levantamento de requisitos, identificar que tipos de dados eram mais importantes para cada uma das áreas desses utilizadores e assim identificar o escopo desta dissertação. Este processo foi importante para contextualizar e orientar o estudo do estado da arte e assim perceber o que já foi realizado, mas também, categorizar e identificar padrões nas áreas pertinentes.

Posteriormente ao desenvolvimento e implementação, o protótipo intitulado como *Coral* deve ser validado por todos os potenciais utilizadores. Para isso, tal como na primeira recolha de dados para o levantamento de requisitos, pretende-se que os utilizadores ligados às ciências do mar, *i.e.* operadores de AUVs, oceanógrafos, biólogos e arqueólogos, validem e avaliem o sistema. Contudo, nesta etapa o público geral também deve ser incluído, uma vez que é importante verificar se o sistema, dados e informações são realmente acessíveis e compreendidas por qualquer utilizador, independentemente da sua área de formação. Assim neste processo, detalhadamente explicado no capítulo 6, pretende-se que os utilizadores especializados validem os dados e informação passada pelo *Coral* e a eventual utilidade na sua área de trabalho e os utilizadores comuns validem a sua funcionalidade e usabilidade de um modo geral.

3.2 Recolha de Dados

De forma a conhecer as necessidades de possíveis utilizadores da aplicação foi elaborado um inquérito inicial que se encontra no anexo A. Apesar do número escasso de respostas, permitiu

chegar a conclusões importantes. Estas conclusões foram retiradas principalmente através de duas questões chave, a segunda questão, se havia "Algum interesse em visualizar dados da sua área científica de estudo em 3D a partir de um *browser*?" e a última se os utilizadores achavam que a possibilidade de ver esses dados em 3D teria vantagens em relação às ferramentas que usam em 2D. Estas questões, que visavam perceber a resposta por parte do utilizador em relação às motivações desta dissertação, fizeram com que estas saíssem reforçadas.

Para além da recolha destes dados, foi também considerado importante saber a área de estudo do inquirido. Com a terceira questão "Que tipo de dados é útil visualizar?" o intuito foi perceber que dados seriam mais importantes para os inquiridos e assim serem possivelmente incluídos no protótipo a desenvolver. Como o tipo de resposta era aberta levou a que as respostas fossem bastante variadas. Na figura 3.1 encontram-se os tipos de dados que mais se destacaram, assim como a frequência no total de respostas.



Figura 3.1: Tipos de dados úteis para visualizar para os inquiridos.

Uma vez que a batimetria consta na maioria das respostas, esta demonstrou importância transversal a todas as áreas dos inquiridos. Também foi possível concluir que existe um vasto espectro de necessidades dos inquiridos e, por isso, não seria possível responder a todas elas com este trabalho. Contudo, os dados mais relevantes foram considerados e a inclusão de outros tipos está acima de tudo dependente de fontes de dados.

De seguida foi questionado de que forma seria mais apropriada visualizar os dados referidos e que fontes de acesso público eram utilizadas para a obtenção desses dados. Apesar da diversidade de dados nas respostas à questão anterior a forma de visualização era partilhada por vários utilizadores: uma plataforma 3D, que fosse intuitiva e acessível a partir de um computador, com dados georreferenciados, em tempo real. Em relação às respostas das fontes de dados utilizadas, foram úteis para perceber que fontes públicas estariam à disposição para a elaboração da plataforma desta dissertação.

Um dos propósitos mais importantes deste estudo foi investigar se havia interesse por parte destes utilizadores numa plataforma que agrupasse visualmente alguns tipos de dados para que

fossem melhor interpretados. Desse modo, as respostas à pergunta seis, se "dos dados referidos existe alguns deles correlacionados e por isso mais facilmente interpretados se agrupados?" deram em geral uma resposta afirmativa à combinação visual de dados.

Posteriormente, questionamos que tipo de ferramentas estes utilizadores usam para a visualização dos dados, o que permitiu conhecer uma série de ferramentas visuais para que fossem consideradas no levantamento de requisitos e no desenho da arquitetura da aplicação. Das ferramentas referidas 45.5% dos utilizadores revelou que a visualização não era em 3D e os mesmos afirmaram que visualização desses dados em 3D teria vantagens em relação às ferramentas que usam em 2D.

3.3 Análise dos Dados

O questionário permitiu conhecer as necessidades e alguns problemas destes utilizadores. Contudo, dado que não é possível colmatar tudo o que foi apontado, foi necessário tomar opções. Sendo esta dissertação realizada em conjunto com o Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática uma das principais aplicações deste trabalho é apoiar o seguimento e planeamento de missões de AUVs. As necessidades para os operadores de veículos autónomos é a agregação e processamento de dados marinhos e a sua visualização parametrizada pelo seu estado atual. Deste modo, os tipos de dados mais importantes no decorrer das missões são o tráfego de embarcações e a ondulação do mar. A monitorização destes dados permite que estas operações decorram com a segurança necessária.

Dado que o inquérito demonstrou a importância dos dados de batimetria na generalidade dos utilizadores, também foi decidido a inclusão deste tipo de dados. Por fim, outro aspecto relevante que o inquérito permitiu concluir foi que a sinalização e/ou visualização dos modelos de naufrágios dos arqueólogos permitiria, de uma forma simples, o enriquecimento da visualização. Isto, além de responder aos pedidos dos arqueólogos, também é útil para o planeamento e seguimento de missões com AUVs no rastreamento destes naufrágios.

3.4 Sumário

Ao longo deste capítulo foi descrita a metodologia de investigação utilizada nesta dissertação. Para isso, foram apresentados inicialmente os problemas e questões às quais pretendemos dar resposta, assim como, os instrumentos de recolha e análise de dados. O primeiro estudo permitiu identificar problemas apontados por possíveis utilizadores da aplicação e assim fazer o levantamento de requisitos que serviram como base para o desenho da arquitetura do sistema.

Capítulo 4

Desenho e Arquitetura do Sistema

Este capítulo descreve uma solução em resposta aos problemas apresentados no capítulo 3. Começa por fazer algumas considerações a ter em conta nos requisitos e na arquitetura do sistema. Na secção 4.2 são levantados os requisitos funcionais e não funcionais do sistema. Por último, na secção 4.3, é apresentada a arquitetura e desenho da solução, assim como as tecnologias e fontes de dados da solução proposta.

4.1 Visão Geral

De forma a responder às necessidades mencionadas no capítulo 3 foi desenhada uma possível solução. Estas assentam principalmente na monitorização e supervisão de AUVs no decorrer de missões e para isso, é necessário a agregação e processamento de dados marinhos e a sua visualização parametrizada pelo seu estado atual.

Como referido, serão incluídos os dados de batimetria, de ondulação e tráfego de embarcações, assim como a posição de AUVs e modelos arqueológicos. Dado o amplo espectro de tipos de dados a incluir no sistema é importante estruturar a solução com base nas diferentes especificidades dos dados e nos seus possíveis casos de uso.

Para começar é necessário ter em consideração as características espaço-temporais dos dados marinhos, as múltiplas fontes de dados e ao seu enorme volume. Contudo, para o planeamento e supervisão de AUVs apenas parte da imensidão de dados disponíveis serão selecionados para visualização.

O planeamento destas operações implica ter acesso a dados do passado, do presente e do futuro. De uma forma geral, os dados do passado são utilizados para fazer *replay* de missões passadas e os dados do presente para a supervisão dos veículos em tempo real. Os dados AIS e dados de ondulação são os mais relevantes e os mais susceptíveis de análise e monitorização no decorrer das operações com AUVs.

Para que o sistema seja realmente útil, é fundamental que a visualização 3D do veículo que mostra o ambiente marinho no qual está inserido nas suas operações seja complementada com uma visualização que mostre os referidos dados. Outro ponto importante a considerar é a necessidade de incluir na visualização os modelos 3D de naufrágios.

É também necessário ter em atenção que os dados 2D de tráfego de embarcações e de ondulação apresentam diferentes resoluções temporais. Os primeiros são disponibilizados em tempo real, sendo no entanto possível estimar posições futuras. A ondulação e outros tipos de dados meteorológicos são disponibilizados em tempo real, no passado e previsão de dados futuros num determinado intervalo de tempo.

4.2 Requisitos

Com base nas considerações descritas anteriormente e nos problemas apontados no capítulo 3 foram levantados os requisitos funcionais e não funcionais que devem estar presentes no sistema, assim como os possíveis casos de uso (figura 4.1).



Figura 4.1: Casos de uso do sistema

4.2.1 Funcionais

Nos requisitos funcionais estes foram elaborados tendo como base os diferentes casos de uso do sistema. É importante ter em conta as necessidades de cada utilizador e/ou propósito de uti-

lização. Para a generalidade dos potenciais utilizadores é necessário considerar a visualização de dados de ambiente estáticos e dinâmicos ao longo do tempo. Nos dados dinâmicos importa salientar que estes podem ser em tempo real, dados passados ou previsões.

No caso do planeamento de operações com AUVs é importante assegurar tanto quanto possível que estas decorram com segurança. Nesse sentido, é importante ter em consideração dados como a ondulação e dados AIS, seja em tempo real ou previsão de posições futuras. Na eventualidade de não ser possível prever as posições futuras os dados, poderá ser útil visualizar dados de densidade média de tráfego marítimo.

Na monitorização de missões de AUVs, a visualização 3D do ambiente no qual o veículo está inserido permitirá, o mais próximo quanto possível, uma observação *in situ*. Deste modo é importante ver o percurso do AUV, os dados de batimetria do local e os eventuais dados recolhidos em tempo real. Ver as localizações, ou se existir, modelos 3D de naufrágios permitirá a visualização dos mesmos como se encontram no ambiente. Este desenvolvimento, além de permitir a construção de um museu virtual marinho para os arqueólogos, tem também vantagens para operadores de AUVs. Para estes é muito importante conseguir planejar o percurso do AUV em relação à posição dos naufrágio, tanto para otimizar o tempo de operação e qualidade dos dados, assim como para acautelar possíveis obstáculos inerentes ao modelo, *e.g.* mastros de embarcações encalhadas que podem estar erguidas em relação ao solo. Permite ainda relacionar o modelo 3D com os dados recolhidos da zona pelo AUV e assim ajudar na sua análise. Ainda na monitorização de AUVs além da visualização 3D, paralelamente existe a necessidade de visualizar dados, *e.g.* AIS e ondulação, colmatada com a inclusão da vista de cima.

- **Vistas:** O visualizador deve poder ver a vista de cima e a vista normal. A vista normal deverá ser debaixo de água assim que for escolhido um veículo autónomo subaquático.
- **Menus:** O visualizador deve mostrar os menus para manipular o sistema.
- **Mostrar lista de camadas de dados de ambiente:** O visualizador deve mostrar a lista de camadas de dados que estão disponíveis para visualização.
- **Mostrar datas disponíveis das camadas de ambiente:** O visualizador deve mostrar as datas que o utilizador pode escolher.
- **Visualização das camadas de dados de ambiente:** O visualizador deve renderizar adequadamente as camadas que se encontrem activas.
- **Mostrar legendas das camada de ambiente:** O visualizador deve mostrar as legendas da última camada ativada pelo utilizador.
- **Mostrar lista de ações disponíveis relacionadas com tráfego de embarcações:** O visualizador deve mostrar a opção de mostrar densidade média de tráfego e a opção de ver dados AIS em tempo real.

- **Mostrar densidade de tráfego:** O visualizador deve mostrar a densidade média de tráfego marítimo quando esta opção for ativada pelo utilizador.
- **Mostrar dados AIS em tempo real:** O visualizador deve mostrar a posição das embarcações em tempo real, assim como o seu tipo através de cores.
- **Mostrar dados AIS em modo previsão:** O visualizador deve mostrar a posição prevista das embarcações no futuro quando o utilizador avançar no tempo.
- **Mostrar lista de AUVs:** O visualizador deve mostrar a lista de AUVs que estão disponíveis para visualização.
- **Visualização e monitorização de AUVs:** O visualizador deve renderizar adequadamente o AUV na posição e orientação correta, assim como a sua trajetória ao longo do tempo. A vista de cima terá de acompanhar de forma adequada a vista normal.
- **Visualização de dados na vista de cima:** Quando for escolhido o AUV deverá ser possível escolher e visualizar camadas de dados importantes para a monitorização dos veículos.
- **Visualização de dados de batimetria em 3D:** A existirem dados da zona onde ocorre o plano do AUV escolhido, o visualizador deve renderizar adequadamente a batimetria em 3D.
- **Visualização de dados recolhidos pelo AUV:** O visualizador deve mostrar os dados recolhidos em tempo real pelo AUV.
- **Visualização dos modelos arqueológicos:** O visualizador deve renderizar adequadamente os modelos de naufrágio e/ou mostrar a sua localização.

4.2.2 Não Funcionais

- **Usabilidade:** O visualizador deve ser intuitivo e compreensível por todos os utilizadores independentemente da sua experiência na área alvo desta dissertação.
- **Eficiência** O visualizador deve poder renderizar e responder à interação do utilizador com o mínimo atraso possível.
- **Compatibilidade:** O visualizador deve ser compatível com a maioria dos navegadores.
- **Confiabilidade:** Limitação ao acesso da visualização de modelos e monitorização de AUVs se necessário.
- **Implementação:** O sistema Web será desenvolvido em *Javascript/TypeScript*.

4.3 Arquitetura do Sistema

O *frontend* do sistema será desenvolvido em *JavaScript* e construído com recurso a uma biblioteca moderna, *e.g.* *React*, *Vue* ou *Angular*. Estas bibliotecas de *JavaScript* fazem a gestão do *HTML* e do *CSS*. Tratando-se de um sistema 3D faz sentido equacionar a utilização de bibliotecas de alto nível, auxiliares na interface de visualização, que façam a gestão da renderização *WebGL*.

Relativamente ao *backend* do sistema, um servidor *Web* será a ponte para a interação entre o sistema de visualização e os recursos dos dados. Numa primeira fase os dados serão obtidos através de pedidos *HTTP* a cada detentor de um recurso em específico. Espera-se que posteriormente a comunicação entre o servidor da aplicação e o servidor *Ripples* seja também com *WebSocket*¹.

Quanto aos dados, os planos e dados recolhido dos veículos autónomos subaquáticos serão fornecidos pelo servidor do *Ripples* [20] do LSTS em formato *JSON*. Assim como os dados *AIS* em tempo real, que apesar de fornecidos pelo *Ripples*, são adquiridos através do serviço *AISHUB* [2]. Para os dados de ambiente a visualizar no sistema serão utilizados como fontes de dados a *EMODnet* [23] e o *Copernicus* [17]. A primeira entidade fornece dados de batimetria, mapa de naufrágios e de densidade do tráfego de embarcações. No caso do segundo disponibiliza um vasto tipo de dados meteorológicos, *e.g.* ondulação, correntes, salinidade e temperatura da água. Por último, o alojamento dos dados da batimetria e os modelos dos naufrágio (*.obj*) será realizado pelo *Cesium ION*, um outro recurso fornecida pelo *Cesium* para gerir dados geoespaciais.

Na imagem 4.2 apresentamos uma proposta de solução da arquitetura do sistema na sua generalidade e na imagem 4.3 o diagrama do *frontend* da possível solução da aplicação.

4.3.1 Ferramentas e Tecnologias

Nesta subsecção são apresentadas as ferramentas e tecnologias que constam na proposta de solução para o desenvolvimento do sistema.

React - Biblioteca *JavaScript opensource* direcionada para a criação de *frontend*, declarativa e baseada em componentes [31]. Esta biblioteca foi escolhida tanto por cumprir os requisitos para a elaboração do sistema, como por facilitar uma futura integração com o projeto *Ripples* [20] do LSTS que também usa esta tecnologia.

Three.js - Tal como referido no capítulo 2.3.1 não existem diferenças significativas entre o *Three.js* e o *BabylonJS*. A escolha do *Three.js* é fundamentada pela facilidade de integração com as demais bibliotecas para a implementação do sistema.

CesiumJS - Esta biblioteca é a única de código aberto com suporte direto para coordenadas geoespaciais. Precisa e com uma boa qualidade visual, é utilizada para a criação de aplicações interativas que envolvem dados geoespaciais dinâmicos [15].

Node.js - Interpretador de *JavaScript* assíncrono de código aberto, multiplataforma, que executa o código *JavaScript* fora de um navegador [46].

¹Tecnologia que permite a comunicação bidirecional por canais full-duplex sobre um único soquete TCP.

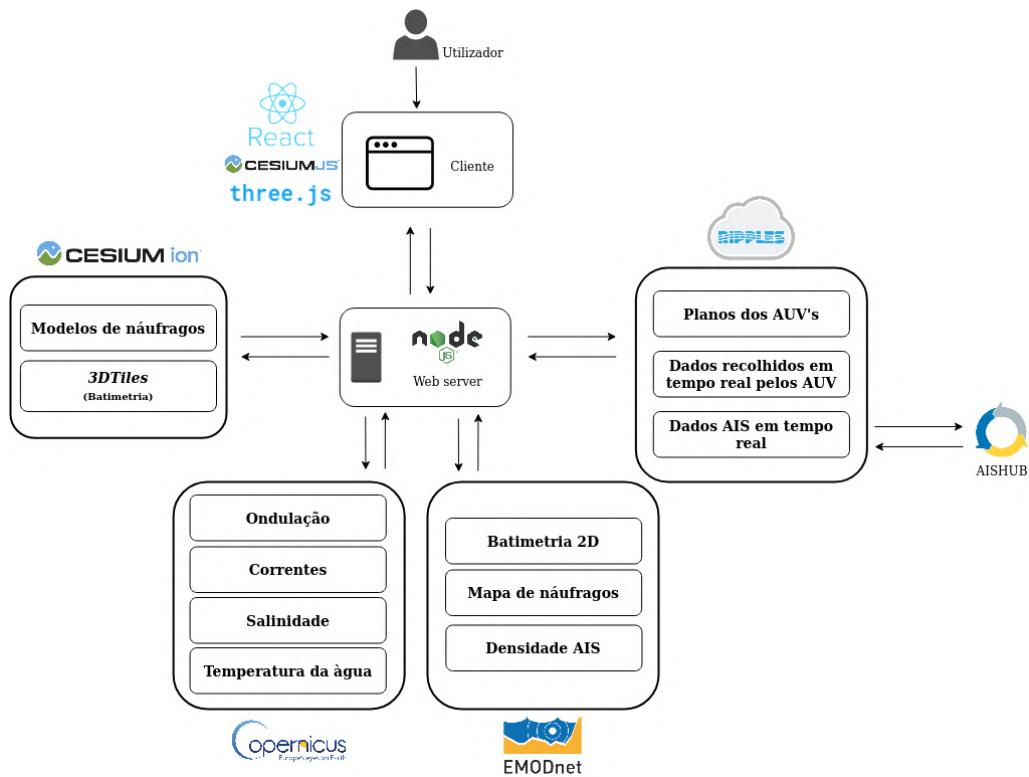


Figura 4.2: Diagrama da proposta de solução

WebGL - O uso das bibliotecas *CesiumJS* e *Three.js* implicam a utilização de *WebGL*.

HTML5, CSS, JavaScript - Tecnologias vitais para a criação da página *Web*.

4.3.2 Dados

Nesta subsecção são apresentadas as interfaces de programação de aplicações (APIs) externas e outras fontes para a obtenção de dados.

EMODNET: Serviço disponibilizado pela Rede Europeia de Observação e Dados Marinhos que é uma rede de organizações apoiadas pela política marítima integrada da UE com o objetivo de observar o mar, processar e disponibilizar dados de forma gratuita [23].

Copernicus: Programa de observação da Terra da União Europeia coordenado e gerido pela Comissão Europeia em parceria com a Agência Espacial Europeia, os Estados-Membros da UE e as agências da UE. A maioria dos dados e serviços fornecidos pela *Copernicus* é disponibilizada de forma gratuita, integral e de livre acesso [17].

AISHUB: Serviço gratuito de partilha de dados AIS que fornece acesso a posições em tempo real de embarcações. Esta API fornece dados NMEA² AIS que permite monitorizar e rastrear o

²Conjunto de especificações de dados e elétricas para comunicação de dispositivos eletrónicos de navegação

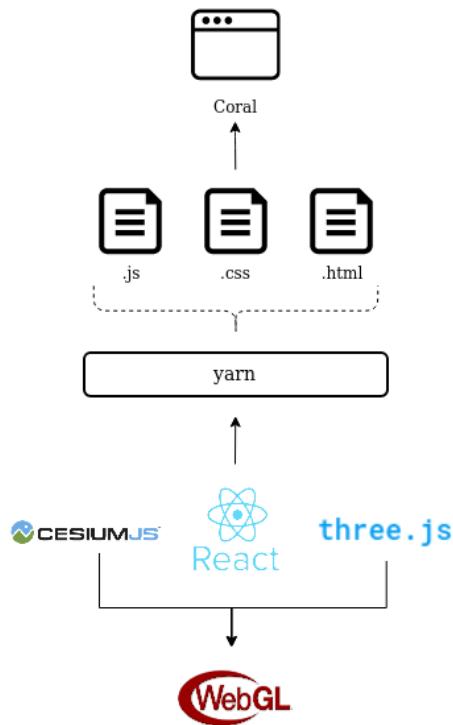


Figura 4.3: Interação entre componentes no *frontend*

tráfego. Juntamente com outras informações relevantes, o *AIS* transmite continuamente dados como posição, identidade, velocidade e destino das embarcações [2].

Modelos de naufrágios - Alguns ficheiros dos modelos foram disponibilizados por arqueólogos em formato *.obj*. Houve alguns problemas na aquisição de modelos, dessa forma alguns destes são meramente ilustrativos e foram adquiridos gratuitamente na *Web*. Apesar de não existirem muitos modelos de naufrágios disponíveis de forma gratuita na Internet, existe um grupo da *Texas A&M University* que pretende disponibilizar dados deste tipo a curto prazo, tendo já sido estabelecida uma parceria com Universidade do Porto para tal, fruto desta dissertação (7.4.2).

Batimetria - Obtida através de um serviço de download de *GeoTIFF* disponibilizado pela *EMODnet*. Exige um grande pré-processamento de dados que será explicado no capítulo da implementação 5.

Cesium ION - Plataforma *online* para agrupar, otimizar e hospedar dados 3D, fornecida pelo *Cesium* [15]. No caso em específico será utilizado para hospedar e gerir os modelos de naufrágios e os dados de batimetria.

4.4 Sumário

Neste capítulo foram apresentados os requisitos funcionais e não funcionais que devem estar presentes na versão final do sistema a desenvolver. Apresenta também o desenho e arquitetura do sistema, assim como as tecnologias e fontes de dados que serão possivelmente utilizadas.

Capítulo 5

Implementação

Este capítulo descreve a implementação do sistema *Coral* tendo em conta a arquitetura apresentada no capítulo 4. Começa por apresentar o protótipo inicial realizado e fornece uma visão geral do protótipo final desenvolvido nesta dissertação. De seguida, a secção 5.2 refere de que forma o utilizador pode interagir com o sistema. Uma vez que a visualização dos dados no protótipo pode ser realizada com diferentes tipos de vistas, estas são apresentadas na secção 5.3. Por último, na secção 5.4 é descrita a implementação de cada um dos componentes, assim como as fontes de dados utilizadas e, a existir, o processamento de dados efetuado.

5.1 Visão Geral

Inicialmente, para validação de conceitos e introdução de algumas tecnologias foi desenvolvido um protótipo muito simplificado utilizando o *Three.js* e o *A-Frame*. O protótipo permite ao utilizador observar um determinado ambiente sob o ponto de vista de AUV (figura 5.1). A cena virtual simula um ambiente marinho simples com rochas, no qual um AUV move-se numa direção pré-definida enquanto são atualizados valores de temperatura através das cores da água e do valor correspondente. Para isso foram carregados dois ficheiros *.obj* para os objetos 3D, rochas e veículo, e um ficheiro *.csv* com valores reais de temperatura recolhidos por um AUV. Este estudo prévio foi importante no sentido de identificar requisitos e questões chave que as tecnologias a utilizar deveriam responder adequadamente.

No protótipo final a gestão do *HTML* e *CSS* é realizada pelo *React* que, juntamente com as bibliotecas *CesiumJS* [15] e *Three.js* [62] fazem parte da interface de visualização. O *React* é utilizado para a camada principal de visualização, e assim fazer a gestão da renderização das vistas e componentes do sistema. Esta biblioteca é especialmente útil para esta aplicação porque permite a alteração de elementos e dados sem recarregar a página. Para os componentes que necessitam de ser localizados no tempo e no espaço é utilizado a biblioteca *CesiumJS* que, como referido anteriormente (4.3), foi especialmente criada para gerir e visualizar conteúdo geoespacial

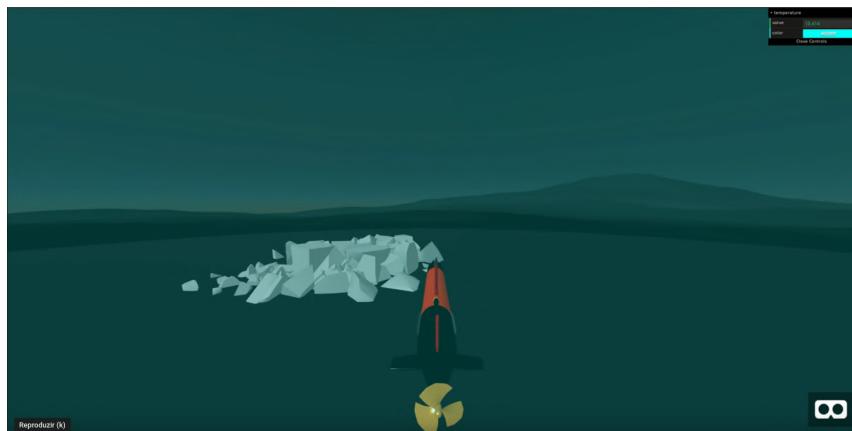


Figura 5.1: Protótipo inicial

dinâmico ao longo do tempo. Por último, o *Three.js* é utilizado para a renderização dos efeitos da água e assim colmatar as limitações do *CesiumJS* relativas à renderização de *shaders*.

5.2 Controlos

Nesta secção descreveremos os controlos da aplicação que permitem ao utilizador interagir com o sistema. Para além do controlo através do Menu (5.2.1) e dos controlos do tempo e animação ((5.2.2)), o *CesiumJS* permite também ao utilizador interagir com o globo do ecrã inicial (figura 5.2). Este widget é fornecido pelo *Viewer* que é um *container* para globos digitais interativos que contêm todos os *widgets* padrão do Cesium.

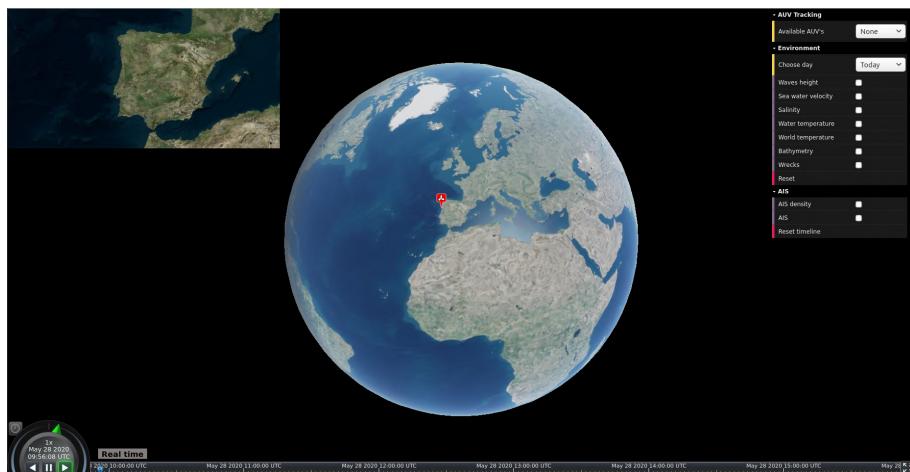


Figura 5.2: Vista geral do protótipo com menus disponíveis.

5.2.1 Menu

Através do menu (fig. 5.3) da aplicação o utilizador pode escolher que tipo de dados quer aceder, desde monitorizar o AUV em tempo real, ver dados relacionados com o tráfego de embarcações ou escolher camadas de dados ambientais para aplicar ao globo. No caso de escolher um AUV para monitorizar o menu é alterado e apenas são mostradas as acções disponíveis na vista subaquática: mostrar efeitos de água, exagero do relevo da batimetria ou voltar à vista do globo. Para a construção do menu foi utilizado a biblioteca *dat.GUI*.

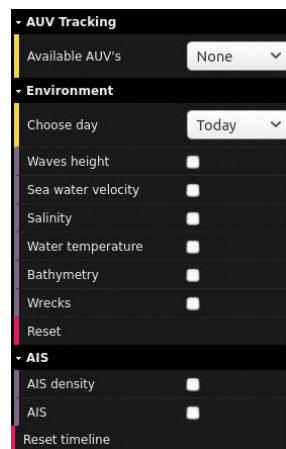


Figura 5.3: Menu da aplicação *Coral*.

5.2.2 Controlos de Tempo e Animação

O *Viewer* fornece também uma interface de animação e a *timeline* para o utilizador controlar a visualização dinâmica dos dados ao longo do tempo. O *widget* da animação contem botões para *play*, *pause* e *reverse*, assim como a hora e data atuais. Junto com estes componentes existe um *shuttle ring* para controlar a velocidade da animação. Por sua vez a *timeline* indica a hora atual e permite que o utilizador deslize para um tempo em específico. Na figura 5.4 mostramos estes widgets do Cesium que permitem controlar a animação e o tempo.

O tempo na aplicação pode assumir três formas distintas: passado, atual e futuro. Por isso, junto aos widgets de controlo do tempo é mostrada essa informação ao utilizador, que varia entre *forecast*, *real-time* e *replay*.

5.3 Vistas

Conforme foi referido no capítulo 4, com o sistema qualquer utilizador deve ser capaz de monitorizar AUVs, visualizar dados AIS e visualizar outros tipos de dados de ambiente. Neste sentido, o sistema foi dividido em diferentes componentes para que fossem reutilizáveis pelas vistas possíveis: do globo, de cima e em 3D.



Figura 5.4: Widgets para animação e controlo do tempo do Cesium.

5.3.1 Vista do Globo

A vista do globo é a vista por defeito da aplicação que é no fundo uma réplica digital da superfície da Terra com imagens de alta resolução e dados do terreno. É adicionada ao sistema a partir de um *Viewer*, um *widget* base para a construção de aplicações no *CesiumJS*, ao qual é atribuído um *container* que o *React* é responsável por renderizar. O *Viewer* desta vista guarda e gera todo o conteúdo inerente, e.g. entidades, primitivas, tempo.

Esta vista permite às aplicações associar de forma eficiente um objecto a uma localização, que pode variar ao longo do tempo. No caso da aplicação *Coral* esta vista permite identificar a localização dos AUVs disponíveis, assim como, as localizações das embarcações em tempo real ou em modo previsão quando a opção *AIS* está ativa. Permite também a visualização de camadas de dados de ambiente georeferenciadas quando estas são ativadas pelo utilizador na opção *Environment* do menu. Este desenvolvimento será explanado na subsecção 5.4.3 da secção Componentes 5.4.

5.3.2 Vista Subaquática

A vista subaquática (figura 5.6) fica visível quando o utilizador escolhe um dos AUVs disponíveis e é através dela que é possível visualizar diversos dados em 3D. Esta vista é criada a partir da vista do globo, no qual é alterada a posição da câmara do *Viewer* para ficar numa posição favorável a monitorizar o AUV e o seu percurso. Além da translação da câmara, é adicionada a entidade AUV, assim como as primitivas dos ladrilhos de batimetria e os modelos 3D de naufrágios (ou as suas localizações) segundo o processo descrito nos componentes respetivos 5.4.

Nesta vista o utilizador pode esticar a altura dos tiles de batimetria para perceber melhor o seu relevo, e/ou ativar os efeitos de água no menu para uma visão subaquática mais imersiva. Estes desenvolvimentos têm como alvo o utilizador comum: ao melhorar e tornar a experiência mais rica e detalhada, esta ferramenta pode ser útil para divulgação científica e ser um meio de partilhar informação com o público em geral.

5.3.2.1 Efeitos da Água

Uma vez que o *Cesium* tem algumas limitações a nível de utilização de *shaders*, imprescindível para a criação dos efeitos da água, foi necessário recorrer ao *Three.js*. Os *shaders* usam GLSL (OpenGL Shading Language) que têm uma sintaxe semelhante à linguagem de programação C e é executada diretamente pela pipeline gráfica. [43] A criação de shaders pode ser bastante complexa, no entanto, existem algumas galerias *opensource*.

A inclusão de efeitos da água nesta dissertação é acessória e portanto foi procurada um solução simples e que não necessitasse de demasiado tempo de desenvolvimento. Neste caso, a shader aplicada à câmera através do *Three.js*, foi obtida na galeria *Shadertoy* [58] e criada com base em padrões Voronoi para a criação do efeito de *water caustics*. De uma forma simplificada, dado um conjunto de pontos num determinado plano, um diagrama de Voronoi é a subdivisão desse plano em regiões formadas pelos lugares mais próximos a cada um dos pontos. Por outro lado o efeito cáustico é o resultado de raios de luz refletindo ou refratando a partir de uma superfície curva e, portanto, concentrando-se apenas em determinadas áreas da superfície receptora.

5.3.2.2 Exagero do Terreno

Os dados de batimetria incluídos nesta dissertação foram os do Parque Natural do Litoral Norte em Esposende e a APDL em Matosinhos, uma vez que são locais onde há frequentemente missões dos AUVs do LSTS. São, no entanto, zonas com pouca variação de profundidade o que se traduz em ladrilhos quase planos onde é difícil perceber o seu relevo. Uma das formas de resolver esta questão foi dar ao utilizador a opção para aumentar em z os ladrilhos da batimetria, artificializando o aspeto dos mesmos. Deste modo, quando o utilizador aumenta ou diminui o *Terrain Exaggeration* no menu, é feito o seguinte procedimento para os ladrilhos que estejam ativos:

1. O ladrilho é removido;
2. Volta a ser renderizado na posição e tamanho correspondente. Para isso é necessário:
 - (a) A matriz de translação a partir das coordenadas;
 - (b) A matriz de escalamento tendo em conta o exagero aplicado;
 - (c) Renderizar na posição obtida com a multiplicação das matrizes.

Na figura 5.5 é possível comparar as diferenças no mesmo cenário: à esquerda os dados são os reais e à direita a altura dos modelos foi multiplicada por um fator de oito.

5.3.3 Vista de Cima

De forma a permitir ao utilizador combinar a visualização subaquática 3D com os dados recebidos em 2D foi adicionada esta vista de cima. Igualmente como a vista do globo é adicionada ao sistema a partir de um *viewer* do *CesiumJS*, atribuído um *container* localizado no canto superior

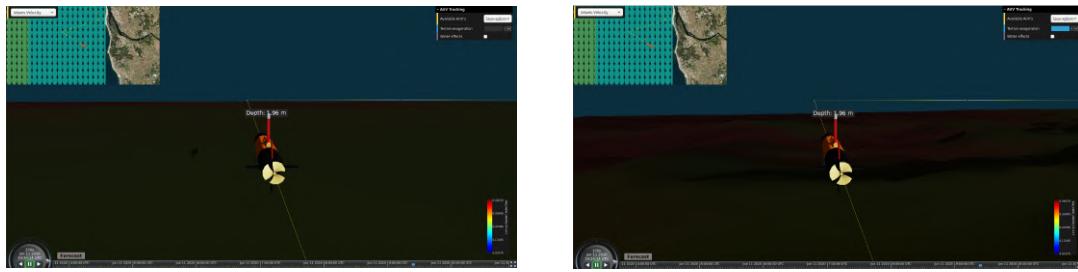


Figura 5.5: Batimetria sem exagero na imagem à esquerda e com exagero em z à direita.

esquerdo da visualização, que gera também o seu próprio conteúdo. Contém ainda um menu, no qual o utilizador pode escolher que camada de dados a aplicar a esta vista.

Assim, além de permitir a monitorização do AUV na vista em 3D subaquática, também é possível visualizar a localização do mesmo e o seu percurso na vista de cima. Deste modo, é possível saber informação crucial no decorrer de missões (e.g. passagem de embarcações na zona, altura das ondas, correntes, etc). Ao aliar o mapa 2D desta vista com a sinalização e/ou modelos 3D de naufrágios, é possível a partir do AUV e do seu percurso, visualizar de uma perspectiva diferente e relacionar melhor as distâncias tendo em conta as posições dos naufrágios. Na figura 5.6 é possível correlacionar a localização do naufrágio da vista subaquática com a vista de cima.



Figura 5.6: Visualização de um naufrágio na vista subaquática e na vista de cima.

Nesta vista as camadas de ambiente mostradas são referentes à data da missão que está a ser visualizada de momento. Contudo, como os dados AIS são voláteis e não há forma de aceder ao seu histórico, são sempre mostrados em tempo real.

5.4 Componentes

O sistema lida e mostra diversos tipos de dados e por isso foi natural a sua divisão em componentes distintos. Isto, para além da possibilidade da reutilização dos componentes por cada

```

1   plan: [
2     {
3       "latitude": 41.474242263041745,
4       "longitude": -8.825801504549208,
5       "depth": 2,
6       "eta": 1591968638088
7     },
8     (...),
9     {
10       "latitude": 41.474254125874589,
11       "longitude": -8.825801504549208,
12       "depth": 1,
13       "eta": 1591968638569
14     }
15   ];

```

Código 1: Exemplo de plano de um AUV.

uma das vistas, faz com que a aplicação seja extensível a futuros dados não equacionados nesta dissertação.

Assim que se entra na aplicação é realizado um pedido HTTP ao servidor *Ripples* de forma a obter uma listagem dos veículos que estão disponíveis. A resposta, em formato *JSON*, contém para cada um deles, entre outros, o nome, o tipo de veículo e também o plano que está a ser executado naquele momento. O formato do plano pode ser visto em 1.

O ciclo de atualização da aplicação é constituído por um *input handler* que trata dos inputs do utilizador e chama as funções de atualização de cada um dos seus componentes. Com isto, o estado da aplicação muda e o *React* trata da renderização tendo em conta o novo estado. O diagrama do ciclo de renderização encontra-se na figura 5.7.

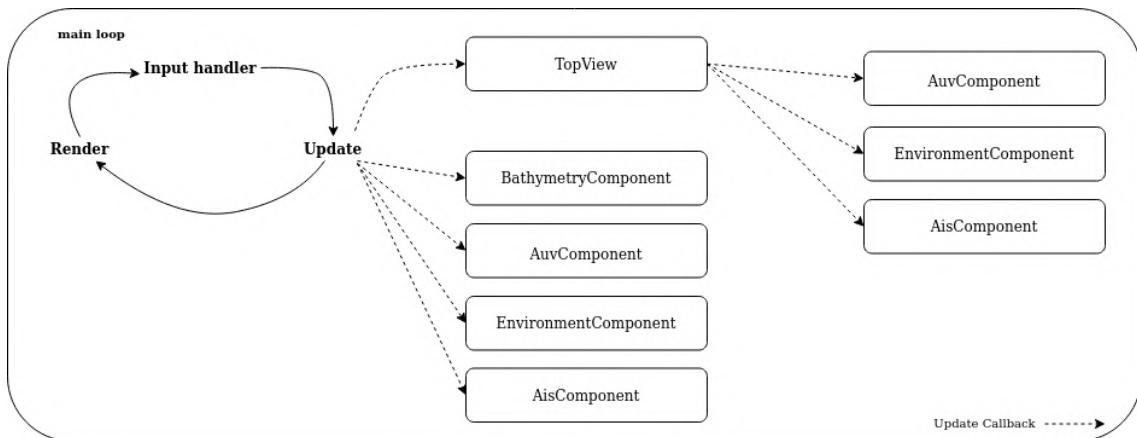


Figura 5.7: Ciclo de atualização e renderização da aplicação e dos seus componentes.

Para além dos *inputs* através do menu da aplicação existem os *inputs* através do controlo da animação e da timeline do próprio *Cesium*. Alguns dos componentes, caso estejam ativos, são

afetados por eventuais inputs neste controlador ou pelo decorrer da animação e, por isso, têm de ser atualizados em conformidade. Assim, sempre que um dos componentes é ativado pelo utilizador no menu principal são programadas funções para atualizar o componente em questão. Estas funções são chamadas através do método *setInterval()* do próprio *JavaScript* em intervalos especificados.

5.4.1 AUV

Este componente é iniciado assim que o utilizador escolhe um dos AUVs disponíveis. Para começar são definidos os limites do tempo de simulação e a timeline do *viewer* é ajustada em conformidade. Os limites da simulação são aqueles definidos pelo primeiro e pelo último *waypoint* do plano do AUV com o parâmetro *estimated time of arrival* (*eta*). Cada *waypoint* contém também a localização geográfica daquele determinado momento.

Com a informação espaço-tempo de cada ponto do plano do AUV, conforme pode ser visto em 1, em conjunto com recursos do *CesiumJS* é possível o cálculo do caminho completo. Para isso é utilizado o método *SampledPositionProperty* do *CesiumJs* que permite a adição de amostras de pontos cartesianos que definem um local no mundo com um determinado tempo associado. Este método permite escolher o método de cálculo das posições intermédias e, neste caso, foi escolhida a interpolação linear. Através do caminho calculado é também possível computar automaticamente a orientação do AUV com recurso ao método *VelocityOrientationProperty* que tem como base a orientação relativa entre dois pontos. Assim, o resultado é associado à entidade AUV e gráficamente representada por um modelo 3D em formato *.glb* [34].

Para que o utilizador observe o caminho calculado, é ainda associado à entidade AUV um *PathGraphics* que demonstra através de linhas o caminho de uma entidade ao longo do tempo. O resultado pode ser observado na figura 5.8.

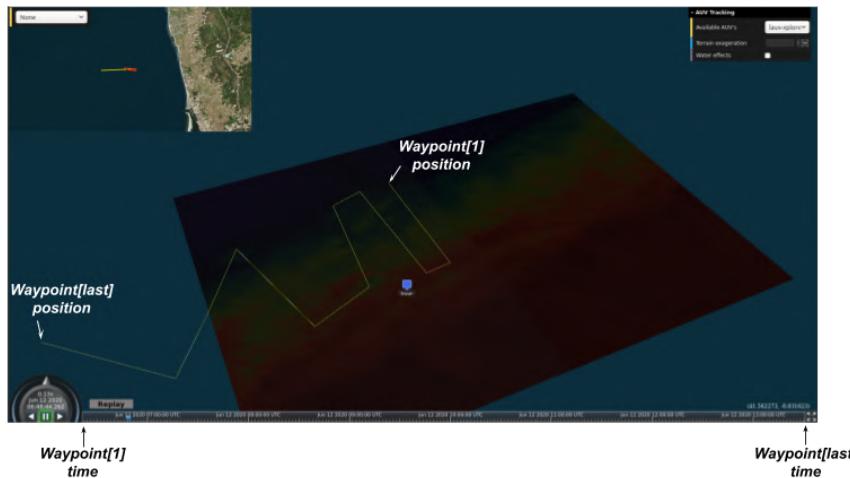


Figura 5.8: Caminho e tempo de simulação definidos através dos *waypoints* do plano do AUV.

Assim que o modelo é carregado pelo sistema é pedido ao *CesiumJS* que ative a animação dos propellers embebidas no modelo, préviamente realizadas com recurso ao software *Blender* [7]. Após isto, o controlo, atualização e renderização da simulação, assim como o tratamento de inputs no controlo de tempo e animação são realizados pelo próprio *CesiumJS*.

Apesar de não constar na versão final do protótipo foram ainda feitos desenvolvimentos para visualização de dados recolhidos pelo veículo em tempo real. Para isso, as amostras desses dados, recebidas através de uma *websocket* e guardadas num estrutura de dados, eram mostradas na *label* da entidade. Com recurso ao *CallbackProperty*, o valor da *label* é atualizado por uma chamada de função de retorno.

5.4.2 Batimetria

Este componente que também é iniciado assim que o utilizador escolhe o AUV, como já referido no capítulo 3 é dos mais importantes para os potenciais utilizadores da aplicação. Estes dados exigem um maior tratamento e processamento de dados e por essa razão foi circunscrito a áreas de interesse em específico. No caso, o Parque Natural do Litoral Norte (PNLN) em Espinho e mais tarde a costa junto à Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL).

5.4.2.1 Processamento de Dados

Os dados de batimetria do PNLN foram obtidos através do serviço de download da EMODnet [23] em formato *geoTiff*. Este formato é o standard TIFF contudo os dados são georeferenciados e contêm informação, *e.g.* sobre qual o sistema de coordenadas utilizado. Apesar do *Cesium* oferecer algumas soluções mais ou menos simples para a renderização destes dados foram encontradas algumas dificuldades neste processo que serão enumeradas no capítulo 7.

O *Cesium ion* suporta o carregamento de GeoTIFFs contudo, devido à altimetria negativa dos dados de batimetria houve limitações neste sentido. A solução encontrada foi a conversão dos dados (.geotiff) em modelos 3D .obj. Para isso foi necessário converter de um sistema de coordenadas não projetado, EPSG:4326, para um projetado, EPSG:3857, usando a ferramenta *gdalwarp!*[26]. O EPSG:4326 é um sistema de coordenadas geográficas não projetadas que tem como referência o elipsóide da terra, utilizado por exemplo nos sistemas de *GPS*. Já o EPSG:3857 ou *Web Mercator* é um sistema de coordenadas projetado mais utilizado em aplicações de mapeamento na *Web*. Visto que a área do PNLN é extensa (252m²), esta foi dividida com o software *QGIS*[52] em áreas menores iguais para não sobrecarregar o sistema. Após este processo foi utilizado o software *Blender*[7] e o plugin *BlenderGIS* [22] para transformar os *Geotiffs* em modelos 3D, no caso ficheiros .obj. Foi também necessário fazer um processo semelhante para incluir um mapa de cores de acordo com as variações da altura do terreno. Por fim, os modelos e texturas resultantes do processo foram carregadas no *Cesium ion*. Na figura 5.9 encontra-se o esquema simplificado de todo o processamento de dados descrito.

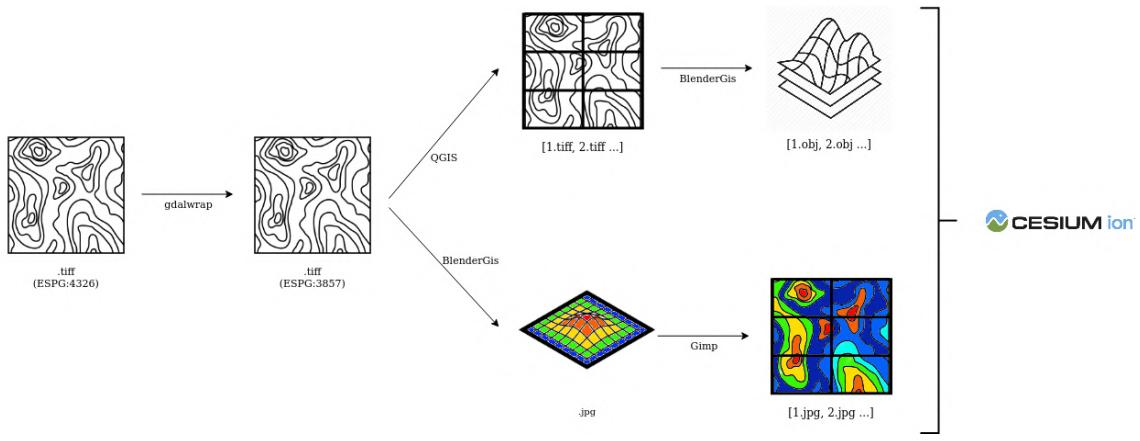


Figura 5.9: Processamento de dados aplicados aos dados da batimetria.

5.4.2.2 Aplicação

Depois de alojar os modelos 3D no *Cesium ion*, estes são convertidos para *3DTile* [15] sendo também possível atribuir uma latitude, longitude e altura do centro geométrico do modelo. De forma a não sobrecarregar o sistema com o carregamento de todos os modelos em simultâneo foi implementado um algoritmo de colocação dos ladrilhos tendo em conta a posição atual do AUV. Para isso, é necessário associar a cada ladrilho um *assetId* atribuído pelo *Cesium ion*, uma latitude e uma longitude. Periodicamente é verificada a distância dos ladrilhos existentes ao AUV. São carregados ou mantidos aqueles que estão dentro de um raio pré definido e removidos os restantes. A figura 5.10 ilustra o algoritmo descrito.

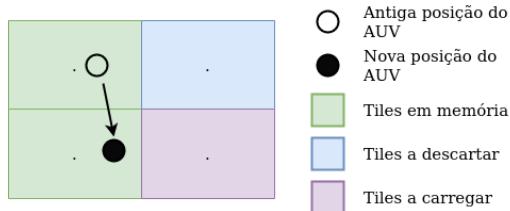


Figura 5.10: Esquema de colocação dos ladrilhos

Contudo, esta abordagem tem problemas. Foi detetado que o *CesiumJS* renderiza os ladrilhos com um erro de cerca de 30% de posicionamento em relação à posição correta, causando assim sobreposição dos mesmos. Assim, para colmatar este obstáculo decidiu-se corrigir a posição a desenhar em tempo real.

Ao processo da figura 5.10 foi acrescentado uma forma de calcular a posição de cada ladrilho relativa ao qual se encontra o AUV e tendo em conta o erro identificado. Para isso, é somado às coordenadas do ladrilho principal um vetor de translação para obter as novas coordenadas do ladrilho a renderizar. Para determinar o vetor de translação foi aplicado o algoritmo 2, também presente na figura 5.11 de uma forma simplificada.

(latitude + offsetN, longitude - offsetE)	(latitude + offsetN, longitude)	(latitude + offsetN, longitude + offsetE)
(latitude, longitude - offsetE)	Tile principal (lat, lon)	(latitude, longitude + offsetE)
(latitude - offsetN, longitude - offsetE)	(latitude - offsetN, longitude)	(latitude - offsetN, longitude + offsetE)

Figura 5.11: Vetor de translação a aplicar aos ladrilhos vizinhos em relação ao principal.

Depois de calcular a sua posição (x, y) é necessário ainda ajustar a profundidade a que se encontra. Para isso, ao ficheiro de metadados referido anteriormente foi também adicionada a profundidade do centro do ladrilho. Com a opção do exagero do terreno é necessário garantir que estes não se sobreponem aos naufrágios ou ao AUV. Para evitar isto a profundidade de cada ladrilho é ajustada tendo em conta o fator de exagero aplicado.

Em suma, em cada ciclo de renderização são verificados os ladrilhos a serem colocados e aqueles a ser retirados tendo como referência o ladrilho onde se encontra o AUV. Depois de calculado o vetor de translação com o processo anteriormente referido e o vetor de escalamento tendo em conta o exagero do terreno é então calculada a matriz final a aplicar ao *3D Tile*.

5.4.3 Camadas de Ambiente

Inicialmente os dados a incluir no sistema eram, como referido no capítulo 3, a ondulação e o tráfego de embarcações. Contudo, ao longo do desenvolvimento do sistema foi percebido que o modo de implementação era similar entre os vários tipos de dados. Adicionalmente no inquérito realizado e descrito no capítulo 3, os *stakeholders* do sistema apontaram a utilidade destes dados extra. Estas camadas aplicadas ao Globo são obtidas através de *Web Map Services* (WMS), um protocolo que fornece imagens de mapas georreferenciados através de pedidos HTTP. De seguida explicamos os serviços utilizados para cada camada e a sua aplicação no globo.

5.4.3.1 Meteorológicas

Os dados meteorológicos incluídos no sistema são a ondulação, as correntes, a salinidade e a temperatura da água. O serviço WMS é fornecido pela Copernicus [17] e foram utilizados dois produtos distintos. O produto *global-analysis-forecast-wav-001-027* fornece valores instantâneos de 3 em 3 horas e o produto *global-analysis-forecast-phy-001-024* que fornece dados de superfície médios horários, sendo que a actualização varia de acordo com o *dataset* escolhido.

```

1   offset = (0,0);
2   offsetE = width * error;
3   offsetN = length * error;
4   if{mainTile.latitude = latitude} { /* west or east */
5       if{mainTile.longitude > longitude}
6           offsetE = offsetE * -1;
7       offset = (offsetE, 0);
8   }
9   else if{mainTile.longitude = longitude}/* north or south */
10      if{mainTile.latitude > latitude}
11          offsetN = offsetN * -1;
12      offset = (0, offsetN);
13   else {                                     /* sw, se. nw or ne */
14       if{mainTile.latitude > latitude}
15           offsetN = offsetN * -1;
16       if{mainTile.longitude > lon}
17           offsetE = offsetE * -1;
18       offset = (offsetE, offsetN)
19   }
20   return offset;

```

Código 2: Procedimento para determinar o vetor de translação.

- **Ondulação:** obtida a partir do produto *global-analysis-forecast-wav-001-027*. Os pedidos do *dataset* da ondulação são realizados de acordo com o tempo atual e atualizados de três em três horas.
- **Correntes:** obtida a partir do produto *global-analysis-forecast-phy-001-024*. O *dataset* é referente a 0.49 metros de profundidade e é atualizada de hora a hora.
- **Salinidade:** obtida a partir do produto *global-analysis-forecast-phy-001-024*. O *dataset* é referente a 0.49 metros de profundidade e apenas é fornecido valores instantâneos a cada 6 horas. Assim, na aplicação é pedido apenas o valor diário.
- **Temperatura da água:** obtida a partir do produto *global-analysis-forecast-phy-001-024*. O *dataset* é referente a 0.49 metros de profundidade e é atualizada de hora a hora.

A aplicação destas camadas no globo é realizado pelo *WebMapServiceImageryProvider*. Este recurso do *CesiumJS* fornece as imagens lado a lado hospedadas pelo servidor WMS. Em 3 é mostrado um excerto do que é efetuado para a obtenção de uma camada. O *url* e o *dataset* dependem de qual camada a aplicar, assim como o *time*, que tem de corresponder a uma data e hora com uma atualização válida. Por último, no campo *colorscalerange* é indicado o intervalo de cores desejado para os dados. Nas camadas adicionados à aplicação foram utilizados intervalos de cores padrão da *Copernicus*, o fornecedor do serviço. Que fornece ainda as legendas correspondentes.

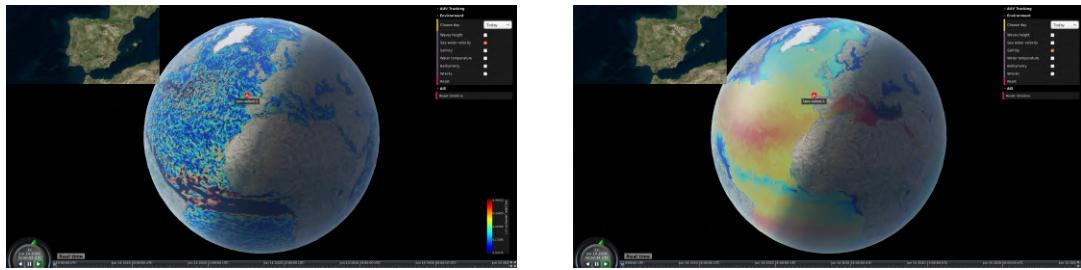


Figura 5.12: Vista do globo com as camada de ondulação e salinidade.

Na vista do globo estes dados são pedidos com base na hora do sistema e são devidamente atualizados no decorrer do tempo. Além disso, o utilizador pode escolher outro dia dos dias disponíveis para visualizar esses dados, o que pode ser particularmente útil para no planeamento de missões. Para estas atualizações temporais foi necessário desenvolver *handlers* que tratam e observam os inputs do utilizador na linha do tempo e o tempo passado no sistema porque, ao contrário da animação do AUV, não são tratadas automaticamente pelo *CesiumJS*.

Para terminar, estes dados podem também ser visualizados na vista de cima depois do utilizador escolher um AUV para monitorizar conforme pode ser visto na figura 5.13. Os pedidos aos dados são realizados com base na data e hora da missão que está a ser visualizada.

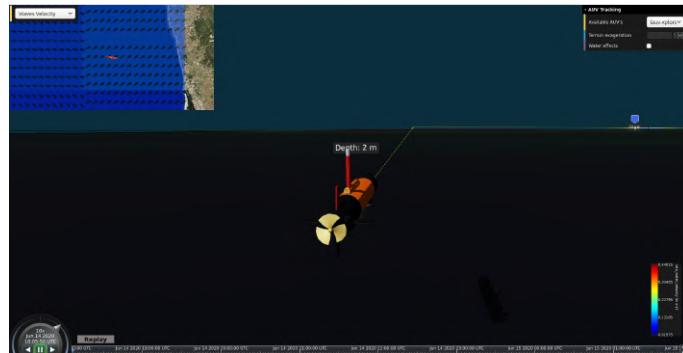


Figura 5.13: Vista subaquática com layer de ondulação na vista de cima.

5.4.3.2 Outras

As camadas de batimetria e de localizações de naufrágios tem um processo muito semelhante às referidas no ponto anterior. A maior diferença é o fornecedor do serviço de WMS e a ausência do parâmetro de tempo por se tratar de dados menos dinâmicos.

A camada de batimetria é disponibilizada pelo serviço *EMODnet* e contém apenas dados de profundidade dos oceanos na Europa. A profundidade é demarcada através de um mapa de cores e uma escala correspondente.

```

1   layer = new Cesium.WebMapServiceImageryProvider({
2       url: url,
3       layers: dataset,
4       parameters: {
5           service: "WMS",
6           request: "GetMap",
7           version: "1.3.0",
8           format: "image/png",
9           transparent: "true",
10          colorscalerange: colorRange,
11          time: time
12      },
13  });
14 viewer.imageryLayers.addImageryProvider(layer);

```

Código 3: Pedido e aplicação de uma camada ao globo.

Por último, a camada de localizações de naufrágios que, apesar de ser disponibilizada pela EMODnet, é fornecida pelo parceiro OceanWise e utiliza dados do UKHO¹ Wrecks como fonte. Os dados desta camada são referentes a todos os mares europeus e o nível de detalhe depende da escala de visualização [23]. Apesar de não ter um range de cores associado como as demais, a camada mostra diferentes tipos de naufrágios e por isso a sua visualização é acompanhada da respectiva legenda.

5.4.4 Tráfego de Embarcações

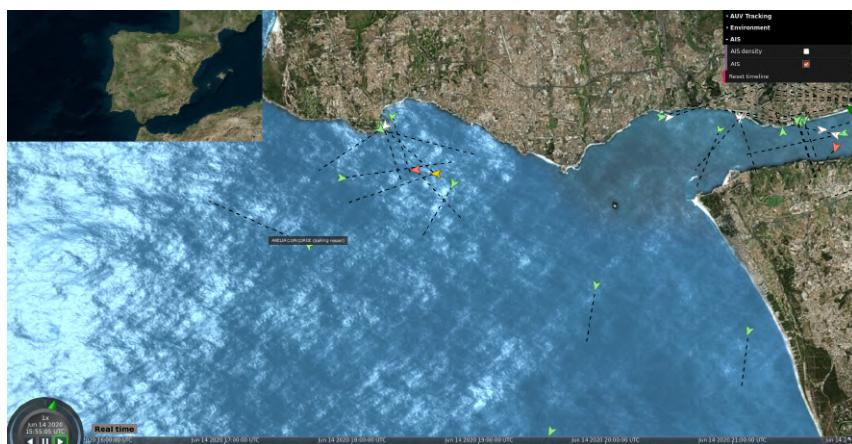


Figura 5.14: Vista do globo com layer de dados AIS ativa.

¹United Kingdom Hydrographic Office

5.4.4.1 AIS

Este componente, fundamental para a monitorização das missões com AUVs, é mostrado na vista do globo quando o utilizador ativa a opção *AIS* no menu principal. Estes dados são obtidos através de pedidos *HTTP* ao servidor *Ripples*, que por sua vez os pede ao *AISHub*. A resposta contém informação como o tipo, nome, velocidade, localização, orientação e direção de cada embarcação. O ícone é orientado de acordo com o *heading* e a direção do movimento, o *course over ground (cog)*, é indicada pela linha a tracejado preto, como é possível ver na figura 5.14.

A representação gráfica de cada embarcação foi feita através de um *Billboard* de modo ser associado a um ícone e posteriormente encapsulado numa *Entity* do *CesiumJS*. Os *Billboards* são por defeito estáticos ao longo do tempo e por isso foi necessário implementar um sistema para que as suas posições e orientações fossem atualizadas periodicamente. A cada ícone é também atribuída uma cor segundo o tipo de embarcação e quando o utilizador clica sobre a mesma é mostrado o seu nome e tipo. A associação da cor ao tipo de navio *AIS* e códigos de grupo segue a recomendação do Projeto de Cadastro Marinho do *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* [47].

Quando o utilizador avança no tempo, seja ao carregar no botão "play" ou avançar na linha temporal, são calculadas e mostradas as posições previstas para o tempo correspondente. Para isso, é obtida a distância utilizando o *speed over ground (sog)* e o intervalo de tempo, e, seguidamente é obtida a posição prevista utilizando a posição atual, a direção e a distância calculada anteriormente. Mesmo estando no modo *forecast* as posições previstas têm sempre como base a posição mais atual recebida até ao momento. Em 4 é apresentado um excerto simplificado dos desenvolvimentos realizados para o cálculo das futuras posições *AIS*.

5.4.4.2 Densidade de Tráfego

Esta camada mostra a distribuição de tráfego marítimo, com base na quantidade de posições recebidas ao longo de um ano numa certa unidade de área, no caso por quilómetro quadrado e é gerada a partir de dados *AIS*. É disponibilizado pela *EMODnet* através do serviço *Web Map Service* e aplicado com recurso ao *WebMapServiceImageryProvider* do *CesiumJS*. Na figura 5.15 encontra-se esta camada aplicada no globo.

5.4.5 Modelos de Naufrágios

Este componente fica ativo quando o sistema se encontra na vista subaquática e permite visualizar modelos de naufrágios em 3D na sua posição conhecida. No decorrer da dissertação houve dificuldades no acesso aos modelos reais de naufrágios e, por isso, para representar estes dados no sistema foram escolhidos alguns modelos simbólicos em alguns casos, ou apenas a sinalização do local. Isto pode ser visto na figura 5.16.

Foi criado um ficheiro para indexar a informação de todos os modelos 3D disponíveis, contendo o *assetId* do *Cesium ion*, se existir, a latitude, a longitude e a profundidade. A localização

```

1     distance = sog * time;
2     futurePosition = getPointFromAngleAndPoint(heading,
3         ↵ longitude, latitude, distance);
4     ais.position = futurePosition;
5     cogDirectionPos = getPointFromAngleAndPoint(cog,
6         ↵ futurePosition.longitude,
7         ↵ futurePosition.latitude);
8     entity.polyline.positions =
9         ↵ Cesium.Cartesian3.fromRadiansArray([
10            cogDirectionPos.longitude,
11            cogDirectionPos.latitude,
12            futurePosition.longitude,
13            futurePosition.latitude,
14        ]);
15     rotation = ais.heading !== 511 ? ais.heading :
16         ↵ ais.cog;
17     entity.billboard.rotation =
18         ↵ Utils.normalRelativeAngle(rotation) +
19         ↵ Cesium.Math.PI;

```

Código 4: Cálculo da futura posição, rotação e direção de uma embarcação.

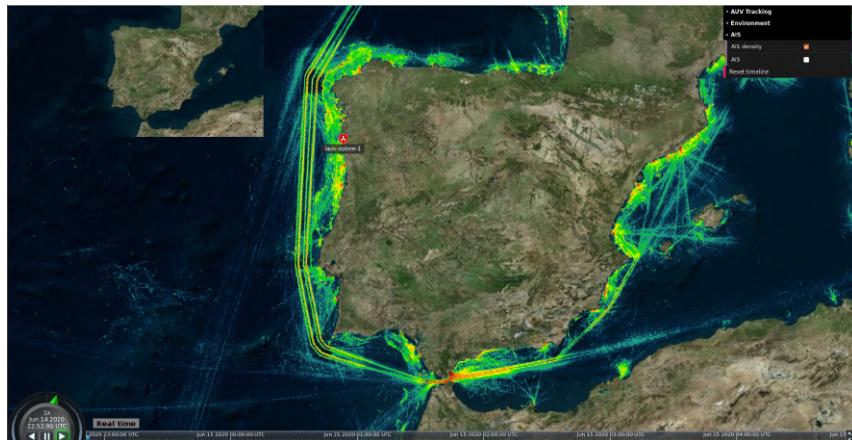


Figura 5.15: Vista do globo com a camada de densidade de tráfego de embarcações aplicada.

de cada um foi obtida através do serviço WMS fornecido pela *EMODnet*. O processo de carregamento segue a mesma metodologia que os ladrilhos da batimetria de forma a não serem carregados todos em simultâneo e cada modelo só é carregado se estiver próximo do AUV. Caso não exista um modelo 3D associado é indicado apenas o nome e a localização do naufrágio.

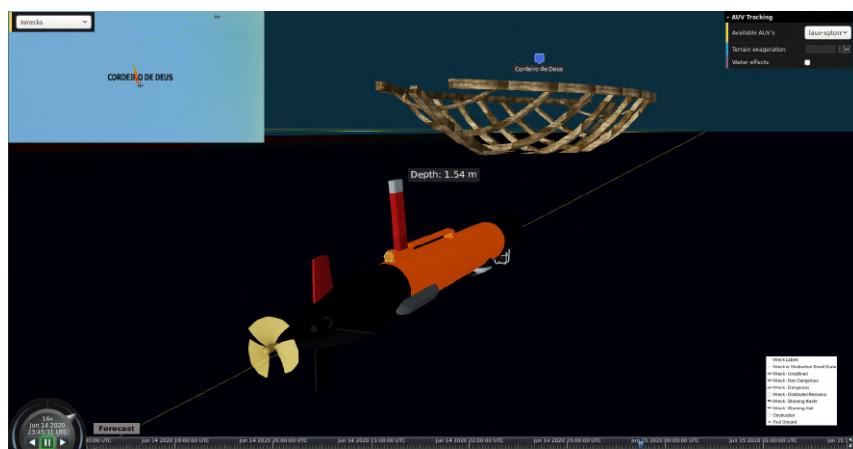


Figura 5.16: Vista subaquática que mostra um modelo representativo e localização de um naufrágio e com camada dos naufragios ativa na vista de cima.

5.5 Sumário

Neste capítulo foi detalhada a implementação do sistema. Inicia com a apresentação de um protótipo inicial para o estudo das tecnologias e de seguida descreve a implementação do sistema final desenvolvido. Para este, foram descritas as suas vistas, *e.g.* do globo, a subaquática e de cima. São também mostrados o menu e os controlos de tempo e animação disponibilizados ao utilizador para interagir com o sistema. Na secção 5.4 foi explicado a implementação de cada componente, desde os dados e processamentos realizados, às técnicas e métodos utilizadas.

Capítulo 6

Testes, Resultados e Discussão

Este capítulo descreve e analisa os testes realizados e os seus resultados. Primeiramente, na secção 6.1 são apresentados os testes efetuados com todos os potenciais utilizadores do sistema. Nos testes com utilizadores é descrito a configuração da experiência e o inquérito elaborado, assim como o protocolo seguido. Os dados recolhidos são apresentados e analisados na secção 6.2. Por último, na secção 6.3 é discutido todos os resultados obtidos, quer na experiência com utilizadores quer em relação aos requisitos inicialmente definidos.

6.1 Testes

Após o desenvolvimento do protótipo descrito no capítulo 5 foi necessário definir uma estratégia adequada para a sua validação e consequente avaliação. Um dos objetivos é permitir a qualquer utilizador visualizar de forma agregada e intuitiva a informação proveniente de múltiplas fontes relacionadas com o oceano, é imprescindível que a sua validação inclua todos os potenciais utilizadores: operadores de AUVs, utilizadores com conhecimentos nas áreas das ciências do mar, ou seja especializados, e utilizadores comuns.

6.1.1 Preparação

A preparação para a fase dos testes com utilizadores começou pela colocação da aplicação num servidor. No caso foi utilizado o *Heroku*, uma plataforma na nuvem que permite alojar e correr aplicações Web [30]. No servidor *Ripples* também foi necessário alguma preparação prévia, entre as quais, ter sempre disponível os dados *AIS*, assim como ter AUVs a executarem planos em modo simulação. Os planos foram definidos no software *Neptus*, um programa de planeamento e controlo do LSTS [19] para veículos e com recurso ao *ZeroTier* partilhados na rede do *Ripples*. O *ZeroTier* é um recurso que permite criar redes virtuais entre dispositivos e sistemas [72].

De modo a preparar e a formar os utilizadores com os conhecimentos necessários foi elaborado um guia de utilização do sistema. Este guia, no anexo B, descreve as principais funcionalidades

da plataforma através de uma linguagem declarativa simples e imagens ilustrativas. O objetivo deste guia é que todos os utilizadores adquiram o mesmo grau de conhecimento do sistema e das suas funcionalidades. Para garantir que todos os utilizadores têm a mesma experiência no uso da aplicação foram também definidas as seguintes tarefas:

1. Entrar na aplicação *Coral*;
2. Experimentar algumas das layers de ambiente na seção *Environment*;
3. Ver o tráfego de embarcações (dados AIS) em tempo real no menu AIS;
4. Escolher veículo autónomo subaquático (AUV) disponível na opção AUV Tracking:
 - No botão da vista de cima aplicar o filtro “Wrecks”;
 - Fazer *play* para o AUV iniciar o percurso.

Alguns dos serviços WMS utilizados na obtenção das camadas de ambiente não suportam *HTTPS* e por isso não passam na verificação de segurança de alguns navegadores como o *Google Chrome*. Foi também detetado que alguns dos modelos 3D demoravam um pouco mais a carregar neste navegador e como tal foi pedido aos utilizadores para usarem o *Firefox* para a realização dos testes.

Assim, cada utilizador tem objetivos em específico na experiência e é guiado a experimentar funcionalidades que serão avaliadas no inquérito. O inquérito realizado no final da tarefa está disponível no anexo C e foi realizado com recurso ao *Google Forms*. Um serviço gratuito da *Google* onde é possível exportar para *CSV* ou para uma *spreadsheet* para analisar os dados. Dado que existem diferentes tipos de potenciais utilizadores, é necessário fazer a distinção dos mesmos na análise dos resultados obtidos. Para isso, o questionário elaborado além de avaliar a funcionalidade e usabilidade do sistema de um modo geral, direciona as restantes perguntas a cada tipo de utilizador. Este inquérito está então dividido nas seguintes secções:

- **Funcionalidade:** questões diretamente relacionadas com as tarefas pedidas aos utilizadores;
- **Usabilidade:** questões standard de escala de usabilidade do sistema (SUS) e outras;
- **Geral:** o que gostaram mais e o que gostaram menos em termos gerais;
- **Utilizadores:**
 - **Comuns:** avaliar a compreensão dos conceitos e fenómenos;
 - **Especializados:** avaliar a ferramenta, as funcionalidades implementadas e a utilidade da mesma no seu contexto de trabalho.;
- **Operadores de AUVs:** avaliar o sistema num contexto de planeamento e supervisão de veículos autónomos;

6.1.2 Protocolo

Para obter dados úteis por parte dos participantes para a validação do sistema foi importante estabelecer um conjunto de regras. Assim, é necessário estabelecer um protocolo experimental para garantir uma abordagem sistemática para cada experiência:

- **Introdução :** Breve explicação da experiência e dos objetivos da dissertação.
- **Formação:** Acesso ao guia de utilização da aplicação. Pequena explicação sobre as principais funcionalidades com suporte visual para melhor entendimento.
- **Tarefas:** Definição das tarefas a serem realizados pelo utilizador. A definição destas tarefas permitem que os utilizadores tenham um guião que servirá como orientação para o próximo passo.
- **Inquérito:** Após a realização das tarefas pretende-se que o utilizador avalie por exemplo a funcionalidade do sistema com base nas tarefas realizadas e a usabilidade do sistema.

6.2 Resultados

O inquérito obteve o total de trinta e seis respostas que serão analisadas nesta secção. O inquérito foi difundido por diversos meios, entre os quais, e-mail dinâmico da faculdade para alunos, na rede social *Linkedin* e com operadores e/ou cientistas que colaboram com LSTS. A figura 6.7 mostra os tipos de utilizadores que testaram o sistema, comuns e especializados. Para serem considerados especializados tinham que trabalhar ou ter trabalhado em áreas ligadas às ciências do mar durante mais de dois anos.

6.2.1 Funcionalidade

A primeira secção de perguntas destina-se a validar as tarefas propostas aos utilizadores no manual. O resumo dos resultados obtidos encontra-se na figura 6.1. Além de perguntar sobre o sucesso na realização de cada uma das tarefas, foi procurado também saber mais detalhes caso a tarefa não tenha sido cumprida. Caso o utilizador tenha tido problemas ou mesmo insucesso na realização de uma tarefa, foi pedido que o utilizador descrevesse o sucedido. Deste modo, torna-se mais fácil perceber se foi devido a um erro da aplicação, alguma limitação do protótipo atual, erro na comunicação do manual de utilização ou má utilização por parte do utilizador.

Em relação à primeira tarefa para "aplicar diferentes layers de dados de ambiente ao globo" todos os utilizadores obtiveram sucesso. Na segunda questão "Conseguiu visualizar o tráfego de embarcações em tempo real no globo?", 83.3% respondeu afirmativamente e os restantes não conseguiram ou tiveram problemas. Assim que estes casos foram detetados foi entendido que faltava alguma informação no manual, no caso a necessidade de fazer zoom. A questão seguinte pretende avaliar se o utilizador conseguiu escolher um AUV no menu. Os resultados revelam que 86,1% conseguiu, 5.6% conseguiu mas teve algum problema e 8.3% não conseguiu. Detetou-se que um

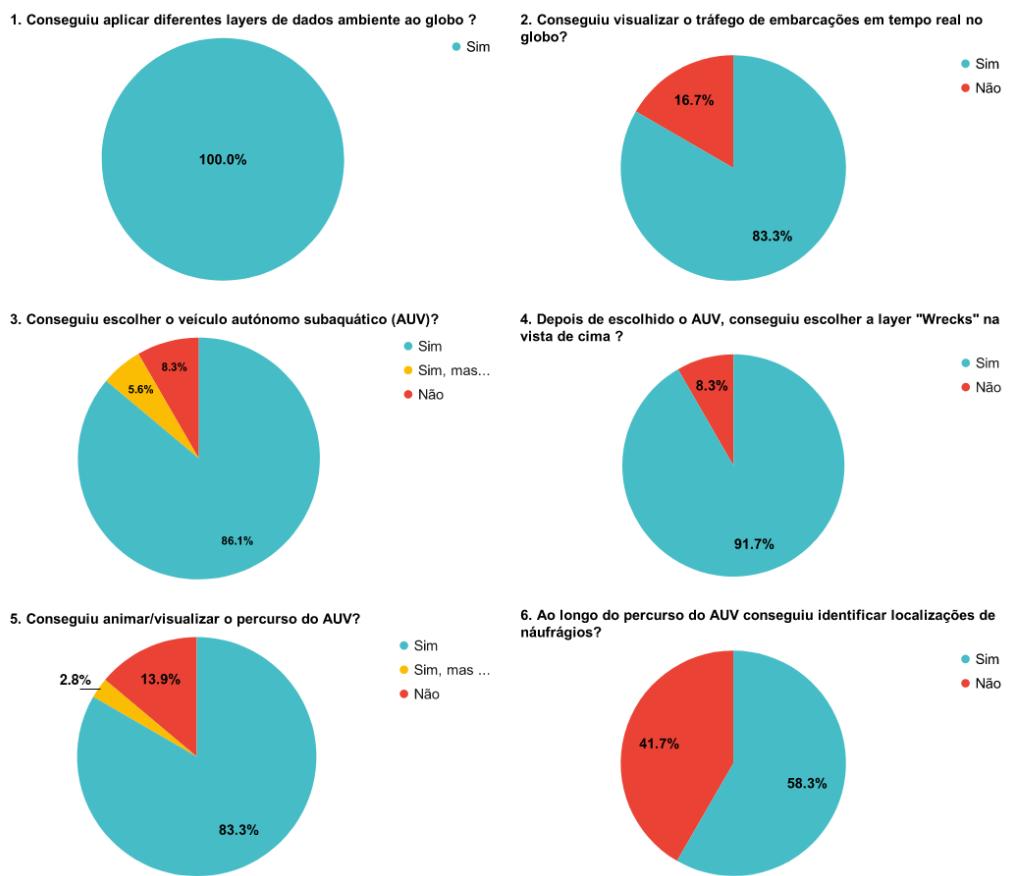


Figura 6.1: Resultados da avaliação das funcionalidades.

dos casos de insucesso deveu-se à natureza do sistema de testes, no qual é necessário reenviar um plano para o veículo ocasionalmente, caso contrário não haverá qualquer veículo disponível para o utilizador escolher. Os restantes casos, o modelo do AUV não carregou ou demorou muito até ser carregado. Isto aconteceu quando os utilizadores utilizaram o *Google Chrome* como navegador. A quarta questão pretende avaliar se o utilizador conseguiu aplicar a camada de naufrágios na vista de cima depois de escolhido do AUV. Aqui apenas 8.3% não conseguiram e correspondem aos que não obtiveram sucesso na tarefa anterior de escolher o AUV. Na pergunta cinco se "Conseguiu animar/visualizar o percurso do AUV?", 83.3% responderam afirmativamente e as restantes tiveram problemas ou não conseguiram. Além das pessoas que não tinham conseguido realizar as tarefas anteriores devido ao navegador utilizado, mais duas pessoas tiveram problemas que atribuíram à capacidade do computador utilizado para a realização dos testes.

Por último, foi questionado se ao longo do percurso do AUV tinha identificado localizações de naufrágios. Nesta tarefa 58.3% dos utilizadores conseguiram identificar, enquanto que 41.7% não conseguiram. Aos anteriores utilizadores que não tinham obtido sucesso desde a questão três de escolher o AUV devido ao navegador ou problemas na máquina, juntaram-se mais dez. Este grau de insucesso pode ser explicado com o tempo que o AUV demorava, caso a animação não

fosse acelerada, até chegar a um naufrago nos primeiros planos efetuados. De forma a colmatar esta situação foram criados planos mais próximos destes pontos de interesse.

6.2.2 Usabilidade

De forma a testar a usabilidade da aplicação foram utilizadas afirmações padrão de escala de usabilidade do sistema (SUS) e outras. O SUS é uma ferramenta confiável e rápida para medir a usabilidade, pode ser usado em amostras pequenas com resultados confiáveis e pode distinguir efetivamente sistemas utilizáveis de inutilizáveis. O utilizador atribui uma escala de 0 a 5 que varia entre "Discordo totalmente" e "Concordo totalmente" a cada uma das afirmações. Com base nos resultados, uma pontuação do SUS acima de 68 é considerada acima da média [64]. As afirmações foram as seguintes:

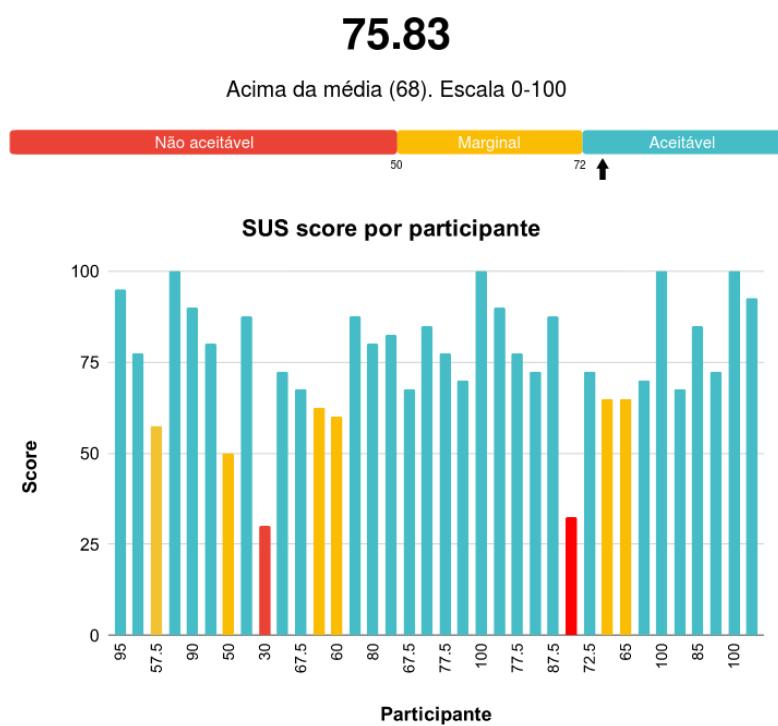


Figura 6.2: Pontuações da escala de usabilidade .

1. Considero que se fosse necessário usaria o sistema com frequência.
2. Considero o sistema desnecessariamente complexo.
3. Considero o sistema intuitivo e de fácil utilização.
4. Considero que iria precisar de ajuda de outra pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema.

5. Considero que as várias funcionalidades do sistema estão bem integradas.
6. Considero que o sistema apresenta muitas inconsistências.
7. Considero que as pessoas podem aprender a usar o sistema rapidamente.
8. Considero o sistema difícil de usar.
9. Considero que me senti confiante ao usar o sistema.
10. Foi necessário aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o sistema.

Na figura 6.2 encontram-se as pontuações da escala de usabilidade. Na classificação por participante, a azul foram os que classificaram o sistema como bom (≥ 68) ou excelente (≥ 80.3), a amarelo como pobre (entre 51 e 67) e a vermelho como mau (< 50). No geral o sistema obteve a pontuação de 75.8, e portanto, segundo a mesma escala foi classificado como bom e como aceitável na escala de aceitabilidade.

De forma a verificar se o sistema cumpre os requisitos definidos, além das afirmações já mencionadas, foram também incluídas as seguintes afirmações:

- Compreendi bem o que estava a ser representado.
- Considero que o sistema é responsivo e com um tempo de resposta aceitável.
- Considero que a qualidade dos gráficos e renderização é aceitável.

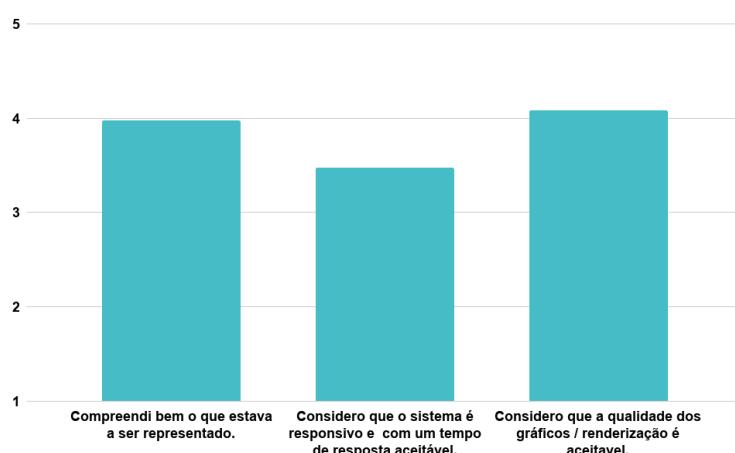


Figura 6.3: Média da classificação das afirmações de requisitos.

Na figura 6.3 encontra-se a média da classificação a estas afirmações, sendo que 1 é "Discordo totalmente" e 5 é "Concordo totalmente". Como é possível observar estes resultados foram também positivos.

6.2.3 Gerais

Na secção das perguntas gerais foi questionado o que os utilizadores tinham gostado mais e o que tinham gostado menos no sistema. Dada a natureza das perguntas, de resposta aberta, houve um espectro grande de respostas. No entanto, os dados foram agrupados por palavras chave e nos gráficos da figura 6.4 encontram-se os resultados. Em cada um dos gráficos encontra-se o número de vezes que a palavra-chave ou semelhante surgiu na respostas dos intervenientes.

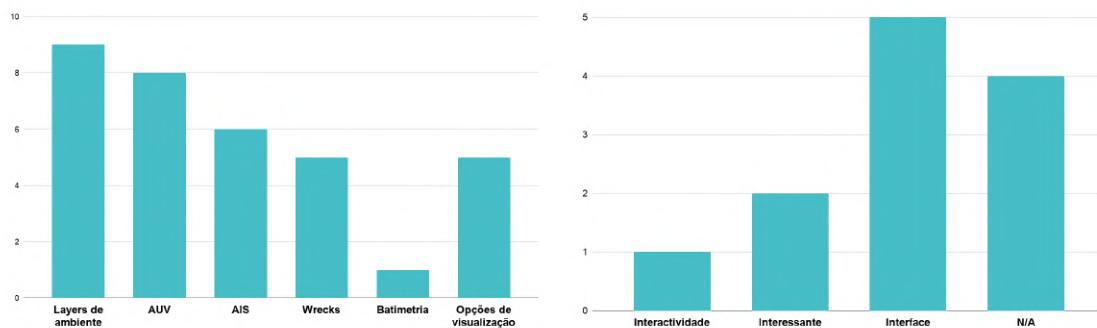


Figura 6.4: Características e opções de visualização do sistema que mais gostaram.

Em relação às características do sistema o que mais foi referido foi a simplicidade da interface. Algumas pessoas consideraram a aplicação interessante e interativa. Cinco pessoas referiram que gostaram de todas as opções de visualização em geral. De forma individual, as opções de visualização mais mencionadas pelos inquiridos foram, por esta ordem, as camadas de ambiente aplicadas ao globo, o AUV, os dados *AIS* em tempo real e as localizações e/ou modelos de *wrecks*.



Figura 6.5: O que os utilizadores gostaram menos no sistema.

Na figura 6.5 encontram-se as ideias gerais do que os utilizadores gostaram menos. Latência, o tempo de resposta ou de carregamento dos dados foram os pontos menos positivos mais mencionados, o que pode ser explicado com o tipo de tecnologias usadas. A performance das

mesmas depende das características dos computadores dos utilizadores (*WebGL*), assim como da sua ligação à Internet (comunicação com serviços externos).

No caso da interface do AUV, foi dada a sugestão de visualizar as coordenadas do veículo em tempo real, que acabou incluída na versão final do sistema. O facto do sistema não permitir alterar os mapas de cores das camadas de ambiente foi um ponto menos positivo apontado por dois utilizadores especializados, sugestão considerada e discutida no capítulo 7. Esconder a vista de cima quando o utilizador está na vista do globo foi considerada e marcada como facultativa para validação do protótipo. Das trinta respostas válidas, dois utilizadores acharam o sistema pouco intuitivo, o que vai contra os resultados obtidos no grupo de questões anterior. Adicionalmente umas das questões levantadas sobre camadas de ambiente foi a sobreposição das mesmas com a terra (figura 6.6), no entanto o seu detalhe e resolução depende somente do fornecedor do serviço de *WMS*. No capítulo 7 será discutido de que forma o problema poderá ser resolvido no trabalho futuro.

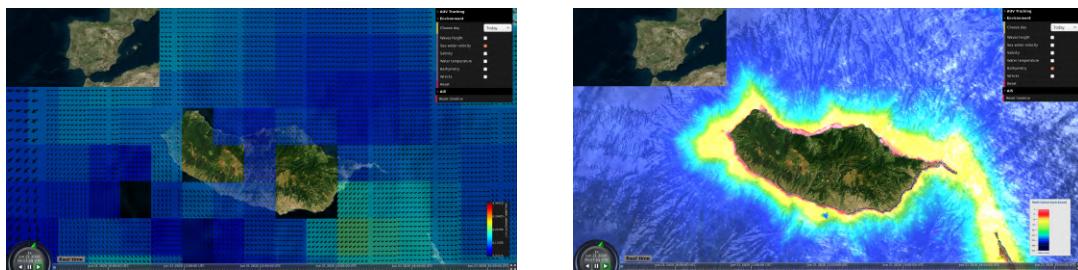


Figura 6.6: Camadas de correntes e batimetria aplicadas à zona da Madeira.

6.2.4 Utilizadores Especializados

Além da divisão dos utilizadores em especializados e não especializados, foi também investigado se o âmbito de trabalho dos utilizadores especializados tinha sido académico, empresarial ou ambos (figura 6.7).



Figura 6.7: Tipos de utilizadores à esquerda e âmbito de trabalho dos utilizadores especializados à direita.

O motivo de incluir necessariamente especialistas na área das ciências do mar no processo de validação é para fazer despiste de eventuais erros na visualização dos dados. Os resultados ao pedido de avaliar os fenómenos e conceitos representados no sistema estão na figura 6.8. No geral os especialistas concordaram totalmente ou concordaram com a representação. De notar que um dos especialistas respondeu "neutro" ao percurso do AUV e aos naufrágios porque não consegui colocar a aplicação na vista subaquática. Ainda, um dos especialistas considerou que a ondulação, a salinidade e a temperatura da água não estão bem representadas porque as escalas de cores não são ajustadas à região focada, não permitindo assim obter dados mais detalhados da região.

Os fenómenos e conceitos estão bem representados?

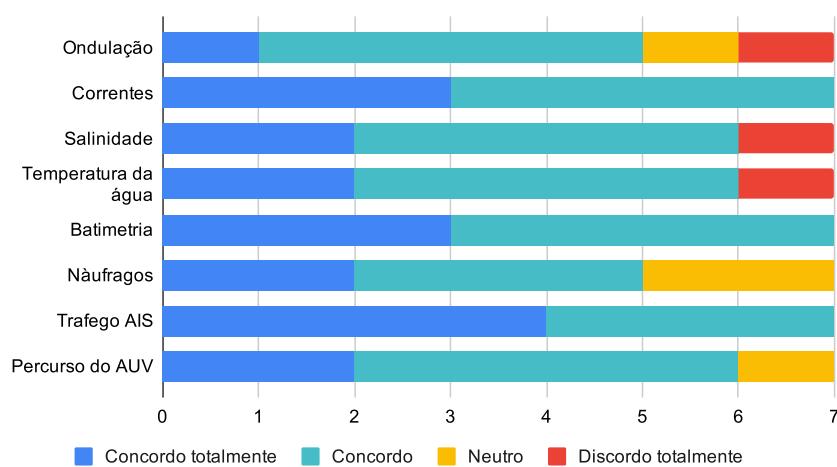


Figura 6.8: Avaliação dos fenómenos e conceitos representados no sistema pelos especialistas.

Quando questionados se este sistema poderia ser útil na sua área de trabalho, 71.4% dos especialistas inquiridos responderam afirmativamente e os restantes 28.6% talvez. Foi pedido aos mesmos que indicassem o porquê da sua resposta. Nas repostas afirmativas consideram que pode ser útil para o planeamento de missões com AUVs pela quantidade de dados visualizados num só sistema, para demonstração de operações e dados recolhidos pelos AUVs ou ser usado como instrumento de gestão de naufrágios de uma possível carta arqueológica portuguesa. Na questão cinco "*que outros fenómenos ou conceitos gostaria de ver representados no sistema?*" os especialistas deram ideias como:

- Dados relativos ao estado de operação do AUV (atitude, erros, etc);
- Obras costeiras com importância arqueológica;
- Previsão do vento, sobretudo frentes na menor escala espacial possível.

Se os aspectos mencionados fossem incluídos no sistema então estes utilizadores consideraram que este poderia ser útil na área de trabalho. As últimas questões tiveram o objetivo de avaliar o sistema comparativamente a ferramentas que já são usadas pelos especialistas. Então quando

questionados "*que aspectos deste sistema gostaria de ver replicados nos sistemas de visualização de dados que usa?*" foi realçado a agregação de dados de ambiente, dos dados AIS e do acompanhamento do percurso do AUV. Por último, na questão "*que aspectos do sistema excluiria*", "nada" foi a resposta mais dada pelos especialistas, no entanto, um dos utilizadores sugeriu retirar funcionalidades dispensáveis que podem tornar o sistema menos responsivo.

6.2.5 Utilizadores Comuns

A validação por parte de utilizadores comuns tem como objetivo avaliar a percepção dos fenómenos e conceitos visualizados e a acuidade visual do sistema. Na primeira questão foi pedido que classificassem cada um dos conceitos numa escala de gosto. Os resultados presentes na figura 6.9 são positivos, uma vez que a maioria gostou do que foi visualizado. De realçar que alguns dos utilizadores não tiveram acesso à vista subaquática dos AUVs e naufrágios e isso explica um maior número de "Neutro" nesses conceitos.

Que fenómenos e conceitos gostou mais de ver representados?

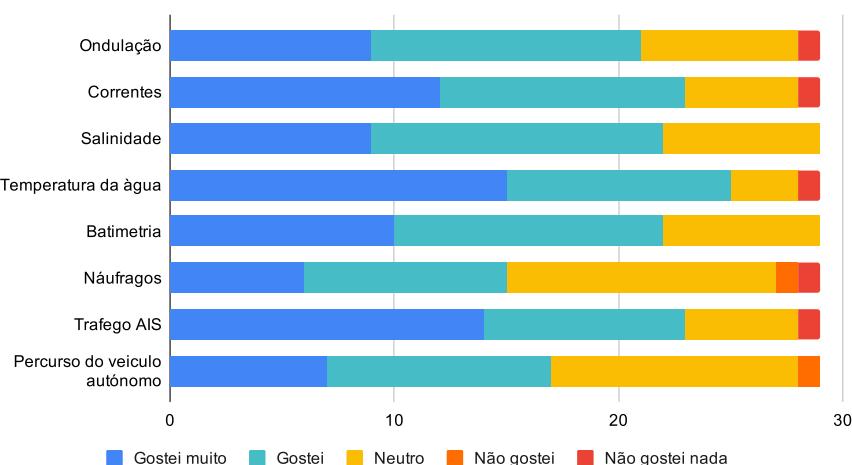


Figura 6.9: Que fenómenos e conceitos os utilizadores comuns gostaram mais de ver no sistema.

Na segunda pergunta, 100% dos utilizadores consideraram o sistema interessante. Por último, foi questionado que utilidade o utilizador veria numa ferramenta deste género para além do planeamento de operações de AUVs, e as respostas foram:

- Controlo de tráfego de embarcações (44.8%);
- Estudo de fenómenos marinhos (31.0%);
- Museu virtual marinho (24.1%).

6.2.6 Operadores de AUVs

Aos operadores de AUVs o intuito do questionário foi perceber se o sistema pode ser realmente útil para estes utilizadores, quer no planeamento, quer no auxílio de operações de forma remota ou até na análise de missões já realizadas. Estas questões foram levantadas e as respostas encontram-se na figura 6.10. No caso de auxiliar em operações remotas algumas das razões apontadas para a utilidade do sistema foram o cruzamento com dados de *AIS* em tempo-real e a monitorização e acompanhamento visual do percurso do AUV. No planeamento foi indicado que ver dados futuros de ambiente e *AIS* é uma mais valia para este propósito. Por fim, a visualização de dados recolhidos integrada com a visualização do desempenho do AUV, teria vantagens para a análise de missões realizadas.

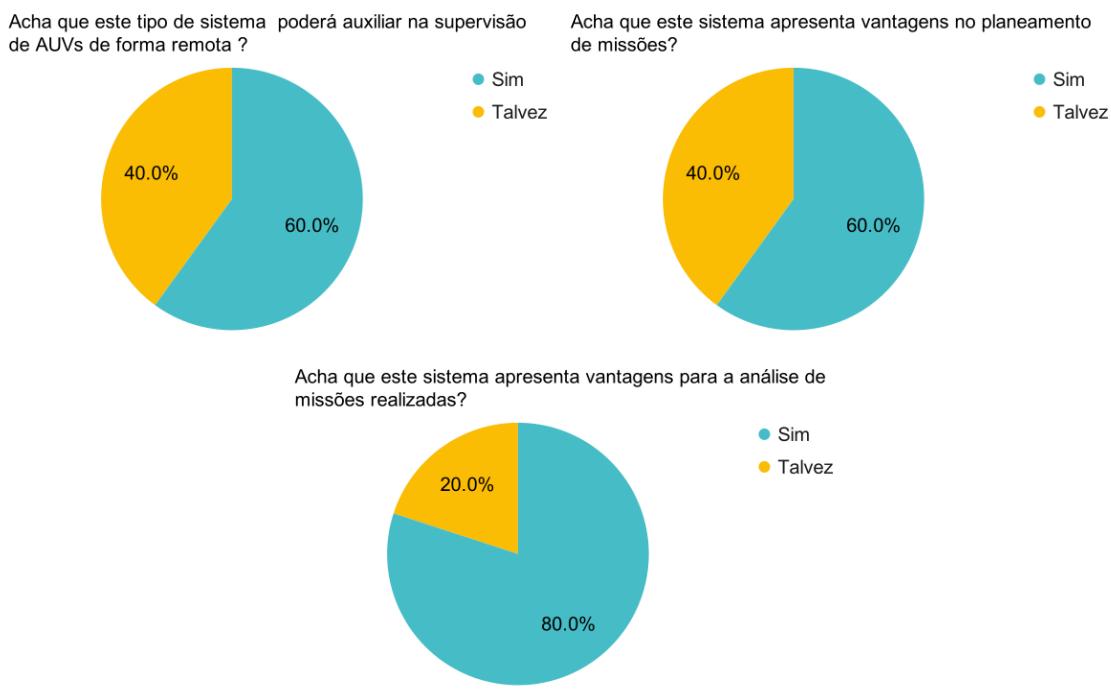


Figura 6.10: Resultados do inquérito aos operadores de AUVs.

6.3 Discussão

Nesta secção é discutido os resultados obtidos com a validação junto dos utilizadores e seguidamente os resultados em relação aos requisitos definidos no secção 4.2.

6.3.1 Validação com Utilizadores

Em questões de funcionalidade, o sistema foi validado, contudo o facto do desempenho ser tão distinto entre navegadores é uma questão importante a resolver. Na usabilidade, a pontuação SUS de 75.83, faz com que o sistema seja considerado acima da média (≥ 68) e como "Aceitável" na

escala de aceitabilidade de aplicações. Em geral, os utilizadores compreenderam o que estava a ser representado, consideraram o sistema responsável e com uma qualidade de renderização aceitável. Contudo, no grupo de perguntas gerais a latência do sistema foi indicado pela maioria dos utilizadores como o que gostaram menos. Foi também indicado que consideraram o sistema interessante e o que gostaram mais foi a simplicidade da interface do sistema. Alguns utilizadores gostaram de todas as opções de visualização dadas, outros destacaram as camadas de ambiente, o AUV, os dados *AIS* ou os naufrágios, por esta ordem de preferência.

Os utilizadores especializados representam 19.4% dos utilizadores que testaram a aplicação e foi testada por pessoas de áreas como oceanografia, arqueologia e investigadores ligados às ciências do mar. Na questão da representação dos fenómenos o discernimento deste grupo de utilizadores é muito importante. Nesse sentido, os resultados da avaliação mostrados na figura 6.8 são muito positivos, uma vez que a maioria destes utilizadores consideraram os fenómenos e conceitos bem representados. A maioria considerou que o sistema poderia ser útil ou vir a ser útil caso fossem introduzidos mais dados. Comparativamente aos sistemas que utilizam no seu trabalho, este sistema distingue-se pelo facto de agregar e combinar dados do ambiente, dados do tráfego *AIS* e dados dos AUVs.

No caso dos utilizadores comuns, que representam 80.6% dos inquiridos, a maioria gostou dos fenómenos e conceitos visualizados no sistema. O intuito da validação por parte destes utilizadores era verificar se o sistema poderia ser usado na divulgação científica das áreas subjacentes e se estes utilizadores compreendiam e se interessavam pelo que era visualizado. Perante isto, considerando que todos estes utilizadores classificaram o sistema como interessante e no seguimento das respostas ao inquérito na sua globalidade, consideramos que o sistema foi validado para o propósito definido para estes utilizadores.

O parecer dos operadores de AUVs sobre o sistema tem um peso maior nesta discussão de resultados, a par dos utilizadores especializados. Neste sentido, é de salientar o facto da maioria considerar o sistema útil quer na operação remota de veículos autónomos, quer no planeamento e análise de operações. Aqueles que não consideraram útil de momento, acham que com algumas alterações poderá vir a ser útil no futuro.

Sendo o sistema um protótipo e não um produto final, que tem um largo espectro de potenciais utilizadores, os resultados obtidos na validação com utilizadores foram em geral muito promissores.

6.3.2 Requisitos

Relativamente aos requisitos funcionais definidos na secção 4.2 estes foram cumpridos na sua generalidade. Em relação às vistas, inicialmente o requisito era uma vista de cima e da vista normal que seria debaixo de água. Na implementação foi optado por uma vista do globo, uma vista de cima e a vista subaquática para que fosse possível visualizar dados de ambiente sem que houvesse um AUV escolhido. Importa mencionar que o requisito de visualizar dados recolhidos pelo AUV em tempo real não foi cumprido na sua totalidade. Apesar de ter sido implementado e

de funcionar quando a simulação ocorre no servidor *Web* da aplicação, estes dados não são ainda disponibilizados pelo servidor *Ripples*.

Segue uma breve análise dos requisitos não funcionais definidos na secção 4.2:

- **Usabilidade:** atendendo aos resultados dos testes com utilizadores é possível concluir que este requisito foi cumprido;
- **Eficiência:** Apesar de alguns utilizadores terem mencionado a latência do sistema, outros consideraram o tempo de resposta aceitável. Este requisito está muito dependente da velocidade da Internet e da máquina utilizada pelo utilizador, desse modo foi considerado que os utilizadores que não referiram a latência como um problema reuniam as condições ideais mínimas para a realização dos testes pedidos.
- **Compatibilidade:** Apesar de haver algumas limitações dependendo do navegador, estas devem-se apenas a alguns serviços externos (*WMS*) utilizados e não ao sistema desenvolvido. Deste modo, consideramos este requisito foi cumprido.
- **Confiabilidade:** Este requisito não foi cumprido por questões de tempo disponível.
- **Implementação:** O sistema *Web* foi desenvolvido em *TypeScript*.

6.4 Sumário

Neste capítulo foram apresentados os testes efetuados para a validação do protótipo desenvolvido. Nos testes com utilizadores foi descrito a configuração, o protocolo seguido para o efeito e os resultados obtidos. Na discussão dos resultados damos um parecer dos resultados da validação por parte de todos os utilizadores que em geral foram muito promissores. Ao longo deste capítulo foram referidos alguns problemas encontrados quer por limitações dos serviços utilizados, quer do próprio sistema. No capítulo seguinte descrevemos melhor estas limitações e de que forma poderão ser resolvidas no trabalho futuro.

Capítulo 7

Conclusões e trabalho futuro

Este capítulo apresenta as considerações finais sobre todo o trabalho desenvolvido. Na secção 7.1 é apresentada uma retrospectiva que conclui o que foi realizado e alcançado ao longo desta dissertação. A secção 7.2 descreve as limitações do trabalho e a secção 7.3 explica as principais dificuldades encontradas durante o desenvolvimento e de que forma foram resolvidas. Finalmente, a secção 7.4 apresenta o trabalho que pode ser realizado no futuro, nomeadamente as melhorias que podem ser realizadas e a colaboração que se encontra a decorrer.

7.1 Conclusões

O objetivo desta dissertação é a criação de um sistema de simples acesso, onde é possível visualizar de forma agregada e intuitiva a informação proveniente de múltiplas fontes relacionadas com o oceano. Para isso, de forma sucinta, teria de:

- integrar vários tipos de dados que variam no espaço e no tempo provenientes de diferentes fontes;
- representar um enorme volume de dados de forma simples e direta de modo a facilitar a sua interpretação;
- facilitar a demonstração e compreensão de ambientes marinho;
- permitir a divulgação científica das ciências ligadas ao mar através de uma sistema intuitivo, acessível e de fácil compreensão por qualquer utilizador comum;
- ser útil para os operadores de AUVs na supervisão dos veículos no decorrer de missões;
- permitir aos arqueólogos visualizarem os modelos dos pontos de interesse inseridos no seu ambiente marinho.

Dados os resultados promissores de validação do sistema, de um modo geral estes objetivos foram cumpridos. No sistema *Coral* foram incluídos dados muito diversos, como dados de batimetria, dados *AIS*, localizações de naufrágios, dados de AUVs e dados meteorológicos. Segundo a generalidade dos utilizadores que testaram o sistema, representou e demonstrou esses dados de uma forma simples, intuitiva e compreensível. Assim, o sistema poderá ser útil para divulgação científica das ciências ligadas ao mar e nos sistemas de apoio à tomada de decisão.

Apesar da falta de testes do sistema no terreno, dado a natureza dos testes realizados em ambiente de simulação serem muito similares ao ambiente real, em conjunto com o *feedback* por parte dos operadores de AUVs nos testes de validação, é possível concluir que o maior objetivo foi cumprido. Este sistema demonstrou que seria útil na supervisão destas missões, quer em tempo real, quer no seu planeamento.

Na área da arqueologia foi manifestado por parte dos profissionais da área que este sistema poderá ser especialmente útil. Uma vez que Portugal não tem uma carta arqueológica subaquática, este sistema poderá servir como instrumento de gestão dos dados existentes. Para além disso, poderá servir como museu virtual que demonstre ao público, estudantes e comunidade em geral, as descobertas de uma forma visual e apelativa.

Para concluir, mais do que uma plataforma de visualização de dados, o sistema demonstrou que pode servir como uma ponte na união de esforços entre a robótica marinha e arqueologia.

7.2 Limitações do Trabalho

Como referido no capítulo 6, segundo os utilizadores que testaram a aplicação a maior limitação da sistema é a sua latência. Também tem de ser referido o facto do sistema atual estar limitado a alguns navegadores e devido às tecnologias utilizadas estar dependente da qualidade da ligação à Internet e da máquina utilizada. Contudo, o sistema apresenta outras limitações não visíveis aos utilizadores:

- Dado o complexo processo de pré-processamento dos dados de batimetria foram apenas incluídos duas áreas distintas, a APDL e o PNLN. Importa mencionar que, apesar da limitação destes dados a estas zonas, o sistema funciona corretamente em outros locais sem os dados de batimetria correspondentes.
- Está limitado às fontes de dados utilizadas e às suas características. A latência do sistema anteriormente referida é influenciada pelo tempo de resposta destas entidades externas. Também significa que a interrupção ou alteração destes serviços influenciará o desempenho do sistema.
- No decorrer das operações os planos enviados para os AUVs podem ser alterados ao longo do tempo. Por limitações da ferramenta utilizada, o *CesiumJS*, isto não se reflete na aplicação. Depois de atribuído o caminho a ser realizado pelo componente AUV existem problemas na sua alteração no decorrer do tempo. Ainda, nos planos gerados com o software

Neptus [19] podem existir dois pontos distintos x,y,z num determinado momento. No *CesiumJS*, o caminho é atribuído e calculado através do par posição-tempo, e no caso de ser adicionado tempos iguais para posições distintas, estes são descartados.

- A obtenção de dados recolhidos pelos AUVs em tempo real não foi conseguida. Apesar do trabalho realizado ir nesse sentido e de este ter sido implementado a nível de simulação local, este foi comprometido na transição para o servidor *Web*. Ainda no decorrer da escrita desta dissertação estão a ser realizados esforços para resolver esta questão.

7.3 Desafios Encontrados

No decorrer desta dissertação foram encontrados diversos desafios. Além dos desafios relacionados com a própria aprendizagem, estudo e pesquisa de todas as tecnologias e fontes de dados utilizadas, envolveu também áreas muito distintas, *e.g.* robótica marinha, oceanografia e arqueologia.

Em termos técnicos, o maior desafio foi o processamento e a renderização dos dados de batimetria. Aqui, foi difícil perceber qual o formato a usar de entre os vários suportados pelo *CesiumJS*, existindo também pouca documentação de suporte. Também, a falta de experiência/conhecimento relacionado com sistemas de coordenadas fez com que alguns problemas levassem mais tempo a ser identificados, assim como possíveis soluções. Por último, como o *CesiumJS* não disponibiliza uma forma automática de gestão dos ladrilhos de batimetria para o formato escolhido como solução, foi necessário implementar um procedimento para este fim.

Para finalizar, a situação de pandemia de *Covid-19* no decorrer desta dissertação impediu a participação em workshops relevantes, assim como testes do sistema no terreno com operadores de AUVs e testes presenciais com utilizadores.

7.4 Trabalho Futuro

Tal como em todos os trabalhos de pesquisa, nesta dissertação existem melhorias, explicadas na subsecção 7.4.1, que podem ser realizadas para aperfeiçoar o sistema. Na subsecção 7.4.2 é apresentada a colaboração a decorrer no momento da escrita desta dissertação.

7.4.1 Melhorias

Durante a experiência de validação realizada com os utilizadores, o inquérito no anexo C, foi permitido que estes fizessem sugestões para a melhoria do sistema. Tendo em conta estes registo foi possível elaborar uma lista de melhorias que poderão ser incluídas:

- Melhorar tempo de resposta da aplicação;
- Melhorar os controlos da câmara;

- Melhorar a interface de controlo do tempo relativo às camadas de ambiente aplicadas ao globo;
- Remover a vista de cima quando na vista do globo;
- Incluir guia de início rápido de funcionalidade da aplicação;
- Incluir mais dados, *e.g.* vento e espécies marinhas de cada região.

Além destas sugestões, os utilizadores especializados e operadores de AUVs justificaram as algumas das repostas tendo em conta o estado atual do sistema e o que poderia ser melhorado ou acrescentado para que este fosse realmente útil no seu trabalho. Isto, juntamente ao largo espectro de necessidades dos vários potenciais utilizadores que já tinha sido mencionado no capítulo 3, levou a fazer uma análise mais profunda do que pode ser realizado no futuro.

De forma a responder a todos os utilizadores, aos distintos casos de uso e às diferentes necessidades seria obrigatório criar os seguintes perfis de utilizador:

- **Arqueólogo:** Devido à natureza dos dados, estes utilizadores poderiam introduzir, proteger ou partilhar os dados da forma mais conveniente e, disponibilizar o que fosse de domínio público. Deste modo poderiam utilizar esta plataforma como uma base de dados visual privada e/ou como museu virtual para dar a conhecer ao público em geral.
- **Oceanógrafo:** Estes utilizadores necessitam de mais dados e de forma mais pormenorizada. Como sugerido no inquérito, a possibilidade do utilizador alterar o intervalo do mapa de cores dos dados e/ou ajustar a escala de cores dos dados à região, seriam funcionalidades a incluir neste perfil.
- **Operador de AUV:** Para este perfil é importante correlacionar melhor os dados que são obtidos a partir do veículo com dados de satélite, *e.g.* salinidade e temperatura da água. Dado os possíveis casos de uso para este perfil pode ser interessante adequar a vista de acordo:
 1. Para a **monitorização** e supervisão de AUVs em tempo real é necessário ter acesso a alguns dados em tempo real, como *AIS* e ondulação, contudo isto não acontece noutras casos de uso.
 2. No caso do **planeamento** serão usados os dados *AIS* e dados de ambiente como previsão. Caso a data da missão esteja para lá do máximo permitido pelo componente *AIS* 5.4 serão usados também os dados de densidade média de tráfego marítimo.
 3. Para a **análise de missões** já decorridas, tal como na visualização de dados de ambiente é útil também visualizar dados *AIS* passados. Ainda, de forma a relacionar dados recolhidos pelos sensores do veículo, *e.g. sidescan, multibean*, etc., pode ser também útil incluí-los ao longo da visualização.

No entanto, é também importante referir que idealmente algumas das limitações referidas anteriormente teriam de ser resolvidas. Nomeadamente o funcionamento do sistema em outros navegadores e também a questão dos *websockets*, quer para a obtenção dos planos dos AUVs e dos seus dados recolhidos em tempo real quer na obtenção dos dados *AIS*.

7.4.2 Colaboração

No momento da escrita desta dissertação existe a decorrer uma colaboração com o *Nautical Archaeology Digital Library* (NADL), pertencente à Universidade do Texas, uma equipa de interessados em disponibilizar dados arqueológicos para um grande público internacional de maneira fácil e confiável [45]. O objetivo será incluir na aplicação dados do NADL:

- Sítios confirmados na costa portuguesa;
- Sítios por confirmar na costa portuguesa;
- Naufrágios com astrolábios;
- Naufrágios antigos no Mediterrâneo;
- Naufrágios portugueses no mundo;
- Instituições que participam na NADL.

Referências

- [1] Amit L. Ahire, Alun Evans, e Josep Blat. Animation on the web: A survey. Em *Proceedings of the 20th International Conference on 3D Web Technology*, Web3D '15, página 249–257, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [2] aishub. Free AIS vessel tracking | AIS data exchange | JSON/XML ship positions. Disponível em <https://www.aishub.net/>, acedido pela última vez em Fevereiro de 2020, 2020.
- [3] Google Elevation API. Get Started | Elevation API | Google Developers. Disponível em <https://developers.google.com/maps/documentation/elevation/start>, acedido pela última vez em Novembro de 2019, 2019.
- [4] Babylon.js. Babylon.js: Powerful, Beautiful, Simple, Open - Web-Based 3D At Its Best. Disponível em <https://www.babylonjs.com/>, acedido pela última vez em Junho de 2020, 2020.
- [5] J Barruos. Effective virtual navigation in a 3D underwater environment based on real-world bathymetry. 2014.
- [6] Carlo Beltrame e Elisa Costa. 3D survey and modelling of shipwrecks in different underwater environments. *Journal of Cultural Heritage*, 29:82–88, 2018.
- [7] Blender. Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. Disponível em <https://www.blender.org/>, acedido pela última vez em Julho de 2020, 2020.
- [8] Philippe Blondel. *Bathymetry and its Applications Edited by Philippe Blondel*. 2011.
- [9] Paul Bolstad. *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems*. 04 2012.
- [10] D. Brutzman. Virtual world visualization for an autonomous underwater vehicle. Em '*Challenges of Our Changing Global Environment*'. *Conference Proceedings. OCEANS '95 MTS/IEEE*, volume 3, páginas 1592–1600 vol.3, Oct 1995.
- [11] Mehmet Buyukdemircioglu e Sultan Kocaman. A 3D campus application based on city models and WebGL. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(5):161–165, 2018.
- [12] Gilberto Câmara, António Miguel Vieira Monteiro, João Argemiro Paiva, Jonas Gomes, e Luiz Velho. Towards a unified framework for spatial data models. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 7:17–25, 2000.
- [13] Maeve Campbell. What's at the bottom of the sea? A fifth of the world's ocean floor has now been mapped | Living. Disponível em <https://www.euronews.com/living/2020/06/22/what-s-at-the-bottom-of-the-sea-a-fifth-of-the-world-s->

- [ocean-floor-has-now-been-mapped](#), acedido pela última vez em Julho de 2020, 2020.
- [14] H. Cao, X. Hou, e Y. Feng. Webgl-based research on virtual visualization simulation display platform of ship, May 2018.
 - [15] Cesium. Open Source 3D Mapping. Disponível em <https://cesium.com/>, acedido pela última vez em Junho de 2020, 2020.
 - [16] Lukáš Chrpa, Jose Pinto, Manuel Ribeiro, Frédéric Py, João Sousa, e Kanna Rajan. On mixed-initiative planning and control for autonomous underwater vehicles. 09 2015.
 - [17] Copernicus. Marine | Copernicus. Disponível em <https://www.copernicus.eu/en/services/marine>, acedido pela última vez em Junho de 2020, 2020.
 - [18] Robert Costanza. The ecological, economic, and social importance of the oceans. *Ecological Economics*, 31(2):199–213, 1999.
 - [19] Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática. LSTS. Available at <https://lsts.pt/>, acedido pela última vez em Novembro de 2019, 2019.
 - [20] Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática. Ripples. Available at <https://ripples.lsts.pt/>, acedido pela última vez em Fevereiro de 2020, 2020.
 - [21] Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). IPMA - Significant wave height forecast. Disponível em <https://www.ipma.pt/en/maritima/hs/>, acedido pela última vez em Fevereiro de 2020, 2020.
 - [22] domlysz. Blender addons to make the bridge between Blender and geographic data. Disponível em <https://github.com/domlysz/BlenderGIS>, acedido pela última vez em Julho de 2020, 2020.
 - [23] EMODnet. Central Portal | Your gateway to marine data in Europe. Disponível em <https://www.emodnet.eu/>, acedido pela última vez em Fevereiro de 2020, 2020.
 - [24] Konstantinos Evangelidis, Theofilos Papadopoulos, Konstantinos Papatheodorou, Paris Mastorokostas, e Constantinos Hilas. 3D geospatial visualizations: Animation and motion effects on spatial objects. *Computers and Geosciences*, 111(December 2016):200–212, 2018.
 - [25] Alun Evans, Marco Romeo, Arash Bahrehand, Javi Agenjo, e Josep Blat. 3D graphics on the web: A survey. *Computers and Graphics (Pergamon)*, 41(1):43–61, 2014.
 - [26] GDAL. GDAL — GDAL documentation. Disponível em <https://www.gdal.org>, acedido pela última vez em Julho de 2020, 2020.
 - [27] Storm Glass. Home - Storm Glass. Disponível em <https://stormglass.io/>, acedido pela última vez em Fevereiro de 2020, 2020.
 - [28] Chris Goldfinger. Active tectonics: Data acquisition and analysis with marine gis. Em Dawn Wright e D. Bartlett, organizadores, *Marine and Coastal Geographical Information Systemsn*, chapter 17, páginas 245–264. Taylor & Francis, 2000.

- [29] Google. Google Trends. Disponível em <https://trends.google.com/trends/explore?date=2017-11-16%202019-12-16&q=babylonjs,threejs,aframe,cesiumjs>, acedido pela última vez em Novembro de 2019, 2019.
- [30] Heroku. The Heroku product suite | Heroku. Disponível em <https://www.heroku.com/products>, acedido pela última vez em Junho de 2020, 2020.
- [31] Facebook Inc. React – A JavaScript library for building user interfaces. Disponível em <https://reactjs.org/>, acedido pela última vez em Junho de 2020, 2020.
- [32] Pengbo Ji, Fenglin Tian, Shuai Liu, Yuchi Jiang, e Ge Chen. I4Ocean: An interactive simulation and scientific visualization platform for marine application. *Revista Tecnica de la Facultad de Ingenieria Universidad del Zulia*, 39(5):169–179, 2016.
- [33] Timothy a. Kearns e Joe Breman. Bathymetry: the art and science of seafloor modeling for modern applications. *Ocean Globe*, página 274, 2010.
- [34] KhronosGroup. glTF – Runtime 3D Asset Delivery. Contribute to KhronosGroup/glTF development by creating an account on GitHub. Disponível em <https://github.com/KhronosGroup/glTF>, acedido pela última vez em Junho de 2020, 2020.
- [35] Michel Krämer e Ralf Gutbell. A case study on 3D geospatial applications in the Web using state-of-the-art WebGL frameworks. *Proceedings - Web3D 2015: 20th International Conference on 3D Web Technology*, (June 2015):189–197, 2015.
- [36] A. Krooks, J. Kahkonen, L. Lehto, P. Latvala, M. Karjalainen, e E. Honkavaara. WebGL visualisation of 3D environmental models based on Finnish open geospatial data sets. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(3):163–169, 2014.
- [37] Laboratório Tecnologia Oceânica LabOceano. LabOceanode. Available at <http://www.laboceano.coppe.ufrj.br/>, acedido pela última vez em Novembro de 2019, 2019.
- [38] Rongxing Li. Data models for marine and coastal geographic information systems. Em Dawn Wright e D. Bartlett, organizadores, *Marine and Coastal Geographical Information Systemsn*, chapter 3, páginas 28–40. Taylor & Francis, 2000.
- [39] Rongxing Li e Narendra Saxena. Development of an integrated marine geographic information system. *Marine Geodesy*, 16:293–307, 10 1993.
- [40] Ricardo Martins, Paulo Sousa Dias, Eduardo R. B. Marques, José Pinto, João Borges de Sousa Sousa, e Fernando M. Lobo Pereira. Imc: A communication protocol for networked vehicles and sensors. *OCEANS 2009-EUROPE*, páginas 1–6, 2009.
- [41] Meteomatics. Meteomatics | Your Experts in Weather Data Processing. Disponível em <https://www.meteomatics.com>, acedido pela última vez em Novembro de 2019, 2019.
- [42] Ru Miao, Jia Song, e Yunqiang Zhu. 3D geographic scenes visualization based on WebGL. *2017 6th International Conference on Agro-Geoinformatics, Agro-Geoinformatics 2017*, 2017.

- [43] Mozilla. GLSL Shaders - Game development | MDN. Disponível em https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Games/Techniques/3D_on_the_web/GLSL_Shaders, acedido pela última vez em Junho de 2020, 2020.
- [44] F. Mwalongo, M. Krone, G. Reina, e T. Ertl. State-of-the-art report in web-based visualization. *Computer Graphics Forum*, 35(3):553–575, 2016.
- [45] NADL. The Nautical Archaeology Digital Library. Disponível em <https://nadl.tamu.edu/>, acedido pela última vez em Junho de 2020, 2020.
- [46] Node.js. Node.js. Disponível em <https://nodejs.org/en/>, acedido pela última vez em Junho de 2020, 2020.
- [47] National Oceanic e Atmospheric Administration (NOAA). National Oceanic and Atmospheric Administration | U.S. Department of Commerce. Disponível em <https://www.noaa.gov/>, acedido pela última vez em Junho de 2020, 2020.
- [48] Joel Rocha De Oliveira. Visualização de conteúdos multimédia num ambiente de realidade virtual. 2018.
- [49] Jose Pinto, Paulo Dias, Rui Gonçalves, Eduardo Marques, Gil Gonçalves, João Sousa, e Fernando Pereira. Neptus - a framework to support the mission life cycle. *7th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft, Lisboa*, 9, 01 2006.
- [50] José Pinto, Paulo Sousa Dias, e João Borges Sousa. Ripples: A tool for supervision and control of remote assets. *Instrumentation Viewpoint*, 2018.
- [51] John Potter. npm trends: Compare NPM package downloads. Disponível em <https://www.npmtrends.com/three-vs-babylonjs-vs-aframe-vs-cesium>, acedido pela última vez em 16 de Dezembro de 2019, 2019.
- [52] QGIS project. Welcome to the QGIS project. Disponível em <https://www.qgis.org/en/site/>, acedido pela última vez em Julho de 2020, 2020.
- [53] Cyril Ray, Rafal Goralski, Christophe Claramunt, e Chris Gold. *Real-Time 3D Monitoring of Marine Navigation*, páginas 161–175. 05 2011.
- [54] Bernd Resch, Ralf Wohlfahrt, e Christoph Wosniok. Web-based 4D visualization of marine geo-data using WebGL. *Cartography and Geographic Information Science*, 41(3):235–247, 2014.
- [55] Jenny Rock, Ellen Sima, e Manon Knapen. What is the ocean: A sea-change in our perceptions and values? *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, (August):1–8, 2019.
- [56] S. G. Santos e J. C. S. Cardoso. Web-based virtual reality with a-frame. Em *2019 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, páginas 1–2, June 2019.
- [57] Matteo Serpi, Alessandro Carcangiu, Alessio Murru, e Lucio Davide Spano. Web5VR: A flexible framework for integrating virtual reality input and output devices on the web. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 2(EICS), 2018.

- [58] Shadertoy. Shadertoy BETA. Disponível em <https://www.shadertoy.com/>, acedido pela última vez em Junho de 2020, 2020.
- [59] V. A. Sorokin, A. Y. Demin, e D. Z. Khasaeva. Three-dimensional visualization of the underwater environment using graphical library “3dbodies”. Em *2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS)*, páginas 1–5, Oct 2014.
- [60] Fenzhen Su, Xiaomei Yang, Jun Xu, Tianyu Zhang, e Jiancheng Luo. Basic theory and key technologies for marine geographic information system. *Acta Oceanologica Sinica*, 25(2):80–86, 2006.
- [61] Tobias Theuerkauff, Yves Wagner, e Frank Wallhoff. Realtime simulation and 3d-visualisation of surface and underwater vehicles for monitoring and evaluating autonomous missions. páginas 129–135, 05 2018.
- [62] Threejs. three.js – JavaScript 3D library. Disponível em <https://threejs.org/>, acedido pela última vez em Novembro de 2019, 2019.
- [63] Juha Uitto. *Global Freshwater Resources*, volume 3, páginas 65–76. 01 2001.
- [64] usability.gov. System Usability Scale (SUS) | Usability
 - . Disponível em <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html>, acedido pela última vez em Junho de 2020, 2020.
- [65] Evan Wallace. WebGL water. Disponível em <http://madebyevan.com/webgl-water/>, acedido pela última vez em Fevereiro de 2020, 2020.
- [66] K. Wang, M. Liang, Y. Li, J. Liu, e R. W. Liu. Maritime traffic data visualization: A brief review. Em *2019 IEEE 4th International Conference on Big Data Analytics (ICBDA)*, páginas 67–72, March 2019.
- [67] Colin Ware. *Information Visualization*. Morgan Kaufmann, 3 edição, 2013.
- [68] Dennis J. Whitford. Teaching ocean wave forecasting using computer-generated visualization and animation - Part 1: Sea forecasting. *Computers and Geosciences*, 28(4):537–546, 2002.
- [69] D. Wright, Dawn and Bartlett. *Marine and Coastal Geographical Information Systems*. Taylor & Francis, 2000.
- [70] Alain Wulf, Denis Constales, Timothy Nuttens, e Cornelis Stal. Grid models versus tin: Geometric accuracy of multibeam data processing. 11 2012.
- [71] Cui Xie, Mingkui Li, Haoying Wang, e Junyu Dong. A survey on visual analysis of ocean data. *Visual Informatics*, 3(3):113–128, 2019.
- [72] ZeroTier. ZeroTier – Global Area Networking. Disponível em <https://www.zerotier.com/>, acedido pela última vez em Junho de 2020, 2020.
- [73] Ziwen Zhang, Yijun Liu, Peichao Yang, Wujian Ye, Shaowei Weng, Tie Liu, e Yang Li. Real-time Rendering Technology of Large-scale Underwater Scene on Web Terminal. *Journal of Coastal Research*, 83(SI):490–494, 2018.

Anexo A

Inquérito para requisitos

Visualização de dados marinhos em 3D

Em contexto de dissertação de mestrado no curso de Engenharia Informática e computação (FEUP), pretende-se implementar uma aplicação web para a visualização 3D de dados científicos provenientes de AUV's e de outras entidades externas, de forma apelativa e compreensível por qualquer utilizador comum.

Este questionário tem o intuito de recolher informação que possa contribuir para o levantamento de requisitos e desenho da arquitectura desta aplicação junto de possíveis utilizadores finais.

*Required

1. Email address *

2. 1. Qual é a sua área de estudo ? *

Mark only one oval.

Oceanografia

Biologia

Arqueologia

Other: _____

3. 2. Algum interesse em visualizar dados da sua área científica de estudo em 3D a partir de um browser? *

Mark only one oval.

Sim *Skip to question 4*

Não *Skip to question 7*

Talvez *Skip to question 4*

Considerando que tem interesse em visualizar dados da sua área científica de estudo em 3D a partir de um browser:

4. Que tipo de dados é útil visualizar ?

5. De que forma será mais adequada visualizar esses dados?

6. Que fontes de acesso público a esses dados utiliza?

7. Dos dados referidos existe alguns deles correlacionados e por isso mais facilmente interpretados se agrupados ?

8. Que tipo de ferramentas normalmente utiliza para visualização de dados?

9. Alguma dessas ferramentas é em 3D? *

Mark only one oval.

- Sim [Skip to question 11](#)
 Não [Skip to question 10](#)
 Não uso nenhuma ferramenta de visualização

10. A possibilidade de visualizar os dados em 3D, teria vantagens em relação a essas? *

Mark only one oval.

- Sim
 Não
 Talvez
 Other: _____

11. Visto que usa uma ferramenta de visualização 3D, tem alguma recomendação para outra aplicação deste tipo?

This content is neither created nor endorsed by Google.

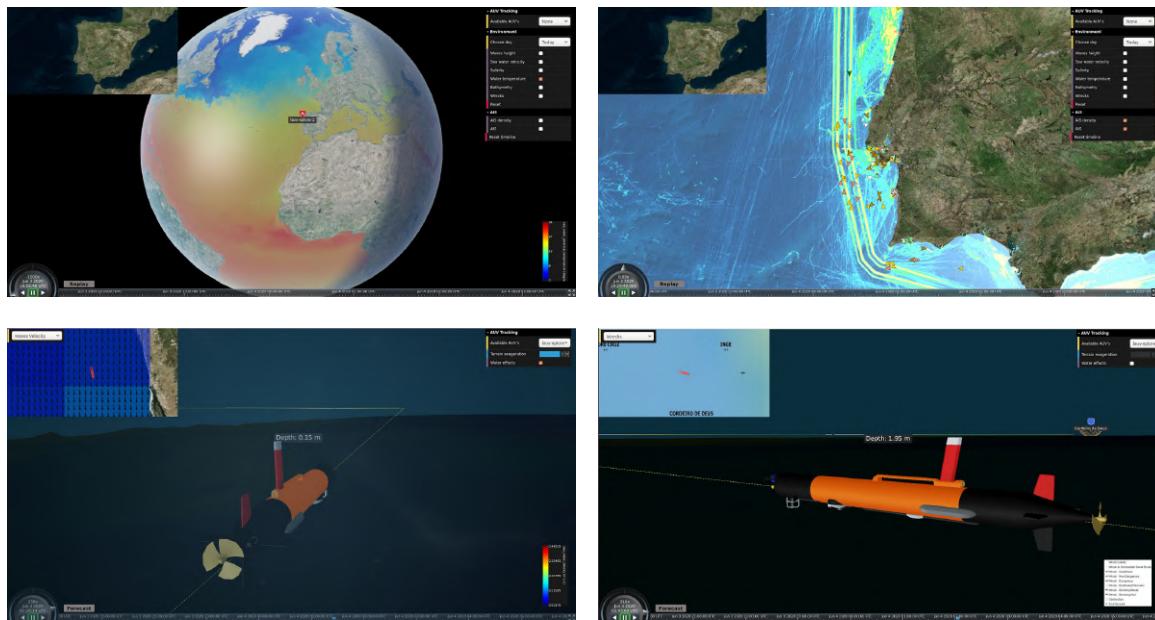
Google Forms

Anexo B

Manual de utilização

Coral

Manual de utilização



Coral é uma aplicação web para a visualização de dados marinhos aplicados ao planeamento e supervisão de veículos autónomos. Um dos objetivos da dissertação é permitir a divulgação científica das ciências ligadas ao mar através de um sistema intuitivo, acessível e de fácil compreensão por qualquer utilizador. Segue uma pequena descrição dos componentes da aplicação.

Componentes

- **Controlos de tempo e animação:** permite animar e atualizar dados temporais.
- **Vista de cima:** permite acompanhar o percurso do veículo autónomo numa perspectiva 2D, podendo também combinar alguns dados marinhos.
- **Menu:** onde poderá interagir com a aplicação e escolher o que visualizar.

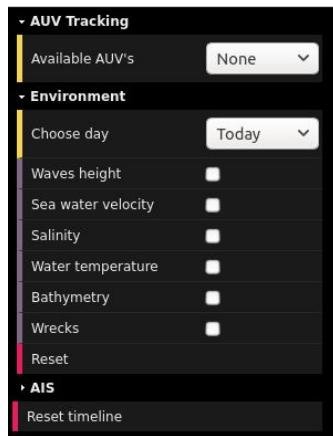


Controlo de tempo e animação

Botões para reproduzir, pausar e reverter a animação. Tem a informação da hora e data da visualização e um anel que permite controlar a velocidade da mesma. Também pode controlar o tempo da cena atual arrastando slider da timeline. A label diretamente por cima da timeline indica-lhe o estado temporal da visualização
- **Real time, Forecast ou Replay**



Menu



AUV Tracking: permite escolher um veículo autónomo subaquático (AUV) que esteja disponível e acompanhar o seu percurso em 3D. Depois de escolher o veículo pode visualizar efeitos de água ou exagerar a textura do terreno para maior detalhe do fundo do mar.



fig. 3 Nesta imagem foi aplicada a layer “wrecks” na vista de cima.

Poderá também aplicar à vista de cima algumas das várias layers de dados marinhos disponíveis (exemplo fig. 3).

Coral - Manual de utilização

Se na vista de cima estiver a visualizar dados temporais (e.g. correntes ou temperatura da água) estes serão correspondentes ao tempo atual da visualização do AUV.

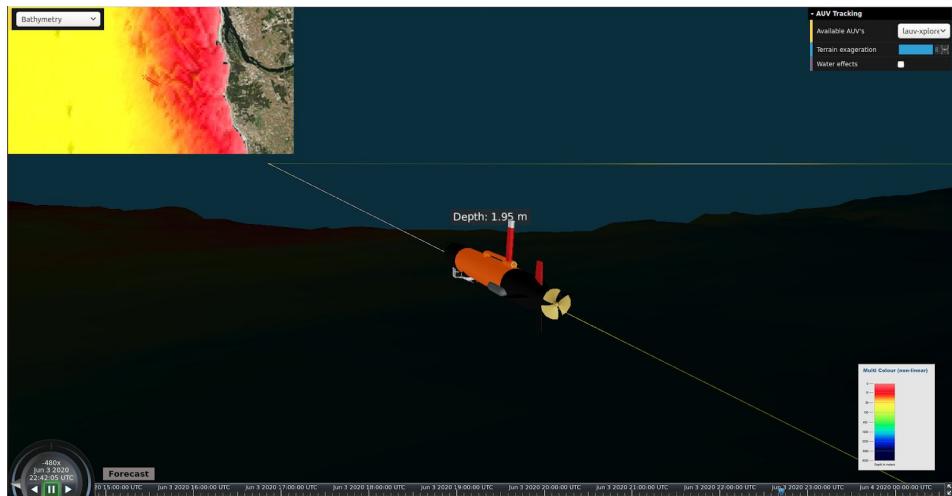


fig. 4 Na imagem foi aplicada a layer de batimetria (textura do fundo do mar).

Para sair escolha “None” em *Available AUV’s*.

Environment: permite selecionar diversos dados marinhos no globo. Poderá escolher um dos dias disponíveis e avançar no tempo nos *controlos de tempo e animação*.



AIS: permite visualizar dados de tráfego marinho - opção *AIS*. Poderá visualizar em tempo real o tráfego marinho da costa portuguesa e prever as posições futuras dessas embarcações avançando no tempo. Poderá ver também a densidade média de tráfego - opção *AIS density*.



Reset timeline: Assim que entra na aplicação o relógio e a timeline são definidos com os intervalos de tempo [tempo atual, tempo atual + seis horas], permitindo assim avançar no tempo para visualizar dados futuros. Com este botão pode fazer reset à timeline para voltar a redefinir os seus limites.

Tarefa

1. Entrar na aplicação [Coral](#). Para melhores resultados utilizar o **Firefox**.
(Algumas das layers poderão não aparecer noutras browsers. No Google Chrome o tempo de carregamento de alguns assets é superior.)
2. Experimentar algumas das layers de ambiente na seção **Environment**.
O tempo de resposta varia de acordo com servidor de dados externo.
3. Ver o tráfego de embarcações (dados AIS) em tempo real no menu **AIS**.
(Fazer zoom no globo na zona da costa portuguesa com o scroll)
4. Escolher veículo autónomo subaquático (AUV) disponível na opção **AUV Tracking**:
 - a. No botão da *vista de cima* aplicar o filtro “Wrecks”.
 - b. Ver a animação, para isso colocar em play. Poderá ajustar a velocidade na animação conforme desejado.

Anexo C

Inquérito de validação

Visualização de dados marinhos aplicados ao planeamento e supervisão de veículos autónomos

Este questionário tem o intuito de recolher informação para a validação e avaliação da aplicação Coral.

O tempo previsto para o preenchimento deste inquérito é de cerca de 12 minutos.

*Required

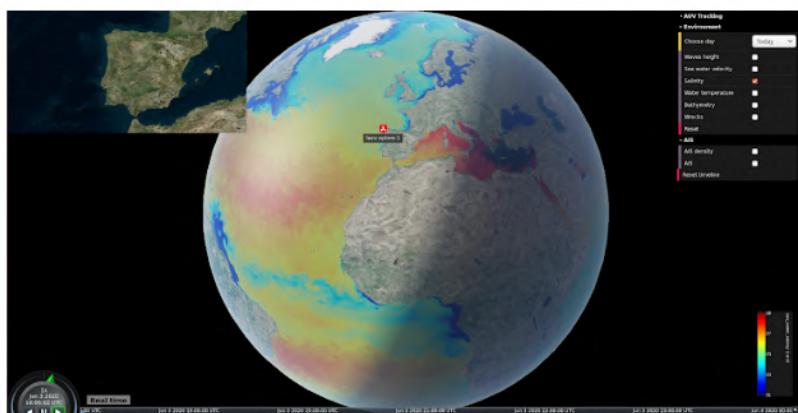
Vista geral da aplicação Coral



Funcionalidade do Sistema

Esta secção tem como objetivo avaliar a funcionalidade da aplicação. Depois de realizar a tarefa proposta no manual responda por favor se conseguiu realizar cada uma das etapas.

1. Conseguiu aplicar diferentes layers de dados ambiente ao globo ? *



Camada de salinidade aplicada ao globo.

Mark only one oval.

Sim

Não

Other: _____

2. a) Se Respondeu Não ou Outra opção pode descrever o que aconteceu?

3. 2. Conseguiu visualizar o tráfego de embarcações em tempo real no globo? *



Dados AIS em tempo real.

Mark only one oval.

Sim

Não

Other: _____

4. 2. a) Se Respondeu Não ou Outra opção pode descrever o que aconteceu?
-

5. 3. Conseguiu escolher o veículo autónomo subaquático (AUV)? *



Vista exemplo depois de escolher o AUV.

Mark only one oval.

Sim

Não

Other: _____

6. 3. a) Se Respondeu Não ou Outra opção pode descrever o que aconteceu?
-

7. 4. Depois de escolhido o AUV, conseguiu escolher a layer "Wrecks" na vista de cima ? *



Vista exemplo depois da escolha do AUV e aplicação da layer "Wrecks" na vista de cima.
Mark only one oval.

- Sim
 Não
 Other: _____

8. 4. a) Se Respondeu Não ou Outra opção pode descrever o que aconteceu?
-

9. 5. Conseguiu animar/visualizar o percurso do AUV? *



Exemplo de uma vista onde é possível observar o percurso do AUV.
Mark only one oval.

- Sim
 Não
 Other: _____

10. 5. a) Se Respondeu Não ou Outra opção pode descrever o que aconteceu.
-

11. 6. Ao longo do percurso do AUV conseguiu identificar localizações de naufragos? *

Mark only one oval.

Sim

Não

Other: _____

12. 6. a) Se Respondeu Não ou Outra opção pode descrever o que aconteceu.

**Usabilidade
do sistema**

Esta secção tem como objetivo avaliar a usabilidade da aplicação. Avalie de 1 a 5, em que 1 é "Discordo totalmente" e 5 "Concordo totalmente", cada uma das afirmações.

13. 1. Considero se fosse necessário usaria o sistema com frequência. *

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

14. 2. Considero o sistema desnecessariamente complexo. *

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

15. 3. Considero o sistema intuitivo e de fácil utilização. *

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

16. 4. Considero que iria precisar de ajuda de outra pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema. *

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

17. 5. Considero que as várias funcionalidades do sistema estão bem integradas. *

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

18. 6. Considero que o sistema apresenta muitas inconsistências.*

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

19. 7. Considero que as pessoas podem aprender a usar o sistema rapidamente.*

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

20. 8. Considero o sistema difícil de usar.*

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

21. 9. Considero que me senti confiante ao usar o sistema.*

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

22. 10. Foi necessário aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o sistema.*

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

23. 11. Compreendi bem o que estava a ser representado.*

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

24. 12. Considero que o sistema é responsivo e com um tempo de resposta aceitável. *

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

25. 13. Considero que a qualidade dos gráficos / renderização é aceitável. *

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Discordo totalmente Concordo totalmente

Gerais

Perguntas gerais sobre a aplicação.

26. 1. O que gostou mais ? *

27. 2. O que gostou menos ? *

Utilizadores

Estas perguntas tem o objetivo de identificar os utilizadores com conhecimento técnico nas áreas ligadas às ciências do mar.

28. 1. Trabalha ou trabalhou em áreas ligadas às ciências do mar? Quantos anos? *

Mark only one oval.

- Não trabalhei. *Skip to question 40*
 2 anos ou menos. *Skip to question 40*
 Mais de 2 anos. *Skip to question 29*

Utilizadores especializados

29. 1. O trabalho realizado na área das ciências do mar foi em âmbito: *

Mark only one oval.

.....

- Académico
- Empresarial
- Ambos

30. 2. No geral os fenômenos e conceitos estão bem representados ? *

Mark only one oval.

- Sim
- Não

31. 2. a) Responda apenas se respondeu NÃO à pergunta anterior. O que é que achou que não estava bem representado ?

32. 3. Os fenômenos e conceitos estão bem representados? Avalie por favor cada um: *

Mark only one oval per row.

	Discordo totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo totalmente
Ondulação	<input type="radio"/>				
Correntes	<input type="radio"/>				
Salinidade	<input type="radio"/>				
Temperatura da água	<input type="radio"/>				
Batimetria	<input type="radio"/>				
Náufragos	<input type="radio"/>				
Trafego AIS	<input type="radio"/>				
Percorso do veículo autónomo	<input type="radio"/>				

33. 4. Este sistema pode ser útil na sua área de trabalho ? *

Mark only one oval.

- Sim
- Não
- Talvez

34. 4. a) Se respondeu Sim diga de que forma, se respondeu Não / Talvez diga porquê.*

35. 5. Que outros fenômenos ou conceitos gostaria de ver representados ?

36. 6. Se os fenômenos anteriormente indicados fossem incluídos no sistema, este poderia ser útil na sua área de trabalho ?*

Mark only one oval.

- Sim
 Não
 Talvez

37. 6. a) Se respondeu Sim diga de que forma, se respondeu Não / Talvez diga porquê.

38. 7. Que aspectos deste sistema gostaria de ver replicados nos sistemas de visualização de dados que usa? *

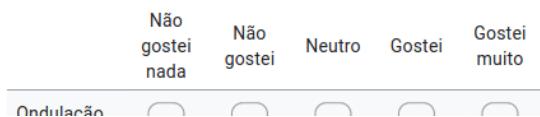
39. 8. O que excluiria deste sistema ? *

Skip to question 43

Utilizadores comuns

40. 1. Que fenômenos e conceitos gostou mais de ver representados? *

Mark only one oval per row.



União	1	2	3	4	5
Correntes	<input type="radio"/>				
Salinidade	<input type="radio"/>				
Temperatura da água	<input type="radio"/>				
Batimetria	<input type="radio"/>				
Náufrago	<input type="radio"/>				
Trafego AIS	<input type="radio"/>				
Percorso do veículo autónomo	<input type="radio"/>				

41. 2. Em geral, achou o sistema interessante? *

Mark only one oval.

- Sim
- Não
- Other: _____

42. 3. Que utilidade vê numa ferramenta deste género para além do planeamento de operações de Auvs?

Mark only one oval.

- Museu virtual marinho
- Estudo de fenômenos marinhos
- Controlo de tráfego de embarcações
- Other: _____

Operadores de AUVs

43. 1. É ou já foi operador de AUVs? *

Mark only one oval.

- Sim
- Não *Skip to question 50*

Missões AUVs

44. 1. Acha que este tipo de sistema poderá auxiliar na supervisão de AUVs de forma remota ?

Mark only one oval.

- Sim
- Não
- Talvez

45. 1. a) Se respondeu Sim diga de que forma, se respondeu Não / Talvez diga porquê.
-

46. 2. Acha que este sistema apresenta vantagens no planeamento de missões? *

Mark only one oval.

- Sim
 Não
 Talvez

47. 2. a) Se respondeu Sim diga de que forma, se respondeu Não / Talvez diga porquê.
-

48. 3. Acha que este sistema apresenta vantagens para a análise de missões realizadas? *

Mark only one oval.

- Sim
 Não
 Talvez

49. 3. a) Se respondeu Sim diga de que forma, se respondeu Não / Talvez diga porquê.
-
-
-

Obrigada pela participação.

50. Antes de submeter pode ainda contribuir com sugestões para a melhoria do sistema ou implementação de outras funcionalidades:
-
-
-