



**SISTEMA DE INFORMAÇÃO, MONITORIZAÇÃO E GESTÃO DA
BIODIVERSIDADE MARINHA DAS ÁREAS CLASSIFICADAS DO
LITORAL NORTE COMO FERRAMENTA DE PROMOÇÃO DA
SUSTENTABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DOS SEUS RECURSOS, DE
DIVULGAÇÃO E SENSIBILIZAÇÃO DA COMUNIDADE**

POSEUR-03-2215-FC-000045

RELATÓRIO FINAL

JANEIRO 2017 | DEZEMBRO 2020



OMARE

OBSERVATÓRIO MARINHO DE
ESPOSENDE

Este relatório deve ser citado como:

José Pinto, João Borges de Sousa (2020). **Observatório Marinho de Esposende. Ação 1 - Cartografia de Habitats EUNIS.** Relatório final do contrato de prestação de serviços nº 119/2017. Instituto de Sistemas e Robótica - Porto.

O presente relatório resulta da prestação de serviços contratada pela Câmara Municipal de Esposende pelo contrato nº 119/2017 para a Ação 1 do projeto OMARE | Observatório Marinho de Esposende.

Os dados constantes neste relatório são propriedade do Município de Esposende, sendo proibido o seu uso, cedência ou replicação para qualquer fim sem autorização expressa.

Os conteúdos e opiniões expressas neste relatório são dos autores e não representam, necessariamente, aquelas do Município de Esposende.

PROJETO OMARE | OBSERVATÓRIO MARINHO DE ESPOSENDE

POSEUR-03-2215-FC-000045

AÇÃO 1 – CARTOGRAFIA DE HABITATS EUNIS (FATORES FÍSICOS)

30 de Dezembro de 2020

ELABORADO PARA:



ELABORADO POR:



ÍNDICE REMISSIVO

SUMÁRIO EXECUTIVO	2
1. INTRODUÇÃO	3
1.1 Enquadramento de contrato.....	3
1.2 Equipa.....	3
1.3 Organização do relatório.....	4
2. SUMÁRIO DO TRABALHO EFETUADO	5
2.1 Divisão da zona a mapear	5
2.2 Levantamentos fotográficos aéreos	5
2.3 Levantamentos fotográficos submarinos	8
2.4 Levantamentos de sonar de varrimento lateral.....	10
2.5 Levantamentos de sonar multifeixe	12
2.6 Processamento de dados	14
Processamento de dados de câmara de vídeo dos AUVs	14
Processamento de imagens fotográficas aéreas	14
Processamento de dados de sonar de varrimento lateral	15
Processamento de dados de sonar multifeixe	16
Classificação de habitats com dados de sonar	16
Classificação de habitats com dados de fotografia aérea	19
3. EXECUÇÃO DO PLANO DE LEVANTAMENTOS	21
3.1 Operações com AUVs.....	21
3.2 Operações com UAVs.....	23
4. RESULTADOS FINAIS	24
4.1 Mapas do parque.....	24
4.2 Formatos de dados	31
	5

4.3	Repositório de dados	32
5.	LISTA DE ENTREGÁVEIS	33
6.	CONCLUSÃO	34
7.	LISTA DE PUBLICAÇÕES	35
7.1	Artigos	35
7.2	Teses.....	35
7.3	Apresentações orais.....	35
Anexo 1	– Exemplo de informação EXIF das imagens aéreas	36
Anexo 2	– Informação geográfica constante de mosaico aéreo	39
Anexo 3	– Exemplo de dados XYZ de batimetria	41
Anexo 4	- Informação geográfica do mosaico de batimetria	42

SIGLAS, ACRÓNIMOS E ABREVIações

ASV	Veículo Autónomo de Superfície (Autonomous Surface Vehicle)
AUV	Veículo Autónomo Subaquático (Autonomous Underwater Vehicle)
CME	Câmara Municipal de Esposende
DUNE	DUNE Uniform Navigation Environment
DVL	Sensor de velocidade relativa por efeito de Doppler (Doppler Velocity Logger)
EUNIS	EUropean Nature Information System
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
ISR	Instituto de Sistemas e Robótica
GPS	Sistema Global de Posicionamento (Global Positioning System)
GSM	Sistema Global para Comunicações Móveis (Global System for Mobile Communications)
LAUV	Veículo Autónomo Subaquático de pequenas dimensões (Light Autonomous Underwater Vehicle)
LSTS	Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática
ML	Aprendizagem por Computador (Machine Learning)
MRA	Módulo de Revisão e Análise (Mission Review & Analysis)
OMARE	Observatório Marinho de Esposende
UAV	Veículo Aéreo Não Tripulado (Unmanned Aerial Vehicle)

ÍNDICE DE QUADROS

TABELA 3-1: UTILIZAÇÃO DOS AUVS NAS CAMPANHAS DE MAR.	22
TABELA 4-2: LISTAGEM DE HABITATS EUNIS NÍVEL 3, CONTABILIZADOS POR ÁREA OCUPADA (PERCENTAGEM E ABSOLUTA)	29
TABELA 4-3: LISTAGEM DE HABITATS EUNIS NÍVEL 3, CONTABILIZADOS POR ÁREA OCUPADA (PERCENTAGEM E ABSOLUTA)	29
TABELA 5- 1: ÁREAS DAS DIFERENTES ZONAS LITORAIS DO PNLN	27

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1: GRELHA DE DIVISÃO USADA PARA O MAPEAMENTO. CADA CÉLULA DA GRELHA CORRESPONDE A UMA ÁREA DE 1 KM2	5
FIGURA 2-2: VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS USADOS PARA O MAPEAMENTO DA ZONA INTERTIDAL DO PARQUE.	6
FIGURA 2-3: EXEMPLO DE IMAGEM AÉREA CAPTADA NO PNLN	7
FIGURA 2-4: ZONA INTERTIDAL MAPEADA DO PARQUE, À DATA DE ESCRITA DO RELATÓRIO	8
FIGURA 2-5: EXEMPLO DE IMAGEM RECOLHIDA COM VEÍCULO LAUV-NOPTILUS-3	9
FIGURA 2-6: TRAJETOS DOS VEÍCULOS AUTÓNOMOS SUBAQUÁTICOS COM RECOLHA DE IMAGENS. OS TRAJETOS A AZUL CORRESPONDEM AO VEÍCULO LAUV-NOPTILUS-3 E OS TRAJETOS A VERMELHO CORRESPONDEM AO VEÍCULO LAUV-XTREME-2	10
FIGURA 2-7: SOFTWARE NEPTUS USADO PARA VISUALIZAR DADOS DE SONAR DE VARRIMENTO LATERAL RECOLHIDO PELOS VEÍCULOS DURANTE UMA DAS CAMPANHAS DE LEVANTAMENTO.	11
FIGURA 2-8: OS 4 AUVS USADOS NOS LEVANTAMENTOS EQUIPADOS COM SONAR DE VARRIMENTO LATERAL.	12
FIGURA 2-9: TRAJETOS DOS VEÍCULOS AUTÓNOMOS SUBAQUÁTICOS COM SONAR DE VARRIMENTO LATERAL ATIVADO (ESQUERDA).	12
FIGURA 2-10: À ESQUERDA, DADOS DE BATIMETRIA PRÉ-EXISTENTES (INSTITUTO HIDROGRÁFICO E PROJETO POLIS) E, À DIREITA, TRAJETOS DOS VEÍCULOS AUTÓNOMOS SUBAQUÁTICOS COM RECOLHA DE DADOS DE BATIMETRIA (SONAR MULTIFEIXE) ATIVADA.	13
FIGURA 2-11: DADOS BRUTOS DO SONAR MULTIFEIXE, VISUALIZADOS NO SOFTWARE DELTAT.	13
FIGURA 2-12: FRAMES DE VÍDEOS RECOLHIDOS PELOS AUVS COM INFORMAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DO VEÍCULO ADICIONADA	14
FIGURA 2-13: UM DOS ORTOFOTOMAPAS PRODUZIDOS VISUALIZADO ATRAVÉS DO SOFTWARE GOOGLE EARTH.	15
FIGURA 2-14: MOSAICO DE DADOS DE SONAR DE VARRIMENTO LATERAL GERADO PELO SOFTWARE NEPTUS.	16
FIGURA 2-15: PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO DE HABITATS USANDO DADOS DE SONAR	17
FIGURA 2-16: CAPTURA DE ECRÃ DO SOFTWARE QGIS SENDO USADO PARA CLASSIFICAR MANUALMENTE PARTE DOS DADOS DE SONAR.	18
FIGURA 2-17: EXEMPLOS DE QUADRÍCULAS CLASSIFICADAS (À ESQUERDA) E RESULTADOS DE CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS DE SONAR DE VARRIMENTO LATERAL (À DIREITA).	18
FIGURA 2-18: PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO DE HABITATS PARA DADOS DE FOTOGRAFIA AÉREA	19
FIGURA 2-19: EXEMPLOS DE QUADRÍCULAS USADAS PARA TREINO DA REDE NEURONAL	19
FIGURA 2-20: FORMA HIERÁRQUICA DE CLASSIFICAÇÃO USANDO 7 REDES NEURONAIAS PARA ATRIBUIÇÃO DE 23 CLASSES EUNIS DISTINTAS.	20
FIGURA 2-21: RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA PARA DADOS DE FOTOGRAFIA AÉREA. DO LADO ESQUERDO, HABITATS EUNIS CLASSIFICADOS ATÉ NÍVEL 5 (MAIOR NÚMERO DE CLASSES), DO LADO DIREITO, CLASSIFICAÇÃO EUNIS ATÉ NÍVEL 3.	20
FIGURA 3-1: TRAJETOS PERCORRIDOS PELOS VEÍCULOS AUTÓNOMOS SUBAQUÁTICOS.	21
FIGURA 4-1: CARTA BATIMÉTRICA DO PARQUE NATURAL DO LITORAL NORTE	25
FIGURA 4-2: RELEVO DE BATIMETRIA E MARCAÇÃO DAS ZONAS LITORAIS DO PARQUE NATURAL DO LITORAL NORTE.	26
FIGURA 4-3: MODELO 3D DO PARQUE NATURAL DO LITORAL NORTE.	27
FIGURA 4-4: MAPA ONDE SÃO APRESENTADOS DADOS DE SONAR E MOSAICOS AÉREOS OBTIDOS PARA ESTA AÇÃO.	28

ANEXOS

ANEXO 1 – EXEMPLO DE INFORMAÇÃO EXIF DAS IMAGENS AÉREAS	35
ANEXO 2 – INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA CONSTANTE DE MOSAICO AÉREO	38
ANEXO 3 – EXEMPLO DE DADOS XYZ DE BATIMETRIA	40
ANEXO 4 - INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA DO MOSAICO DE BATIMETRIA	41

SUMÁRIO EXECUTIVO

Este documento constitui o relatório final da prestação de serviços contratada pela Câmara Municipal de Esposende, contrato nº 119/2017 para a Ação 1 do projeto OMARE | Observatório Marinho de Esposende, ao Instituto de Sistemas e Robótica.

O plano de trabalho associado estava organizado em quatro atividades. A atividade A1 relativa à execução do varrimento com AUVs foi concluída com sucesso, tendo sido realizados levantamentos com câmara de vídeo, sonar de varrimento lateral e sonar multifeixe. A atividade A2, que diz respeito aos levantamentos com UAVs, endereçou o levantamento da zona de costa. No entanto, à data de escrita deste relatório, não tinha sido ainda possível mapear uma pequena área na zona dos Cavalos de Fão. Esta área será mapeada assim que ocorrerem condições favoráveis à sua execução, quer em termos de maré como em termos de ondulação. A atividade A3, referente ao pós-processamento de dados, foi também concluída. Os dados recolhidos originaram vários tipos de mapas e cartografia de habitats completa. Todos os dados foram carregados para uma pasta partilhada na nuvem e estão à disposição da Câmara Municipal de Esposende.

Este relatório completa a informação apresentada nos relatórios de progresso, apresentando, por isso, um sumário dos levantamentos efetuados, dos respetivos processamentos de dados e resultados.

1. INTRODUÇÃO

O Observatório Marinho de Esposende (OMARE) pretende a criação de um sistema de informação e monitorização da biodiversidade marinha do Parque Natural do Litoral Norte (PNLN), cujo objetivo principal será o fornecimento regular de informação sobre o estado da biodiversidade, tendo em vista a sua gestão, o suporte à decisão técnico-política focada no alargamento e gestão da Rede Natura 2000 no meio marinho e o apoio ao relato internacional da condição da biodiversidade nacional, assim como a criação de condições de divulgação de informação cientificamente suportada ao nível das campanhas implementadas junto de toda a comunidade. Para ajudar a caracterização do PNLN, o ISR foi contratado pela Câmara Municipal de Esposende (CME) para realizar levantamentos geomorfológicos do fundo marinho bem como das zonas costeiras usando em ambos os casos veículos não tripulados. Todos os dados recolhidos são usados para identificar os habitats marinhos existentes, classificados segundo o sistema de classificação da Agência Europeia do Ambiente EUNIS.

Este documento descreve o trabalho realizado pelo ISR tanto a nível de levantamento de dados como também a nível do processamento dos dados e resultados finais obtidos.

1.1 Enquadramento de contrato

Em junho de 2017, a CME lançou um concurso limitado por qualificação prévia intitulado *“Prestação de Serviços para a Realização de Cartografia Batimétrica e Geomorfológica, para a Realização da Ação1 — Cartografia de Habitats EUNIS (Fatores Físicos — Níveis 1,2,3), no Âmbito da Operação OMARE, Candidatada ao POSEUR”*. Este concurso refere que deverá existir *cartografia detalhada da batimetria e geomorfologia* dos fundos do parque marinho, cartografia da zona intertidal usando veículos aéreos e, finalmente, apoio à caracterização de habitats marinhos segundo a metodologia EUNIS, até ao nível 3.

1.2 Equipa

Apresenta-se, de seguida, a equipa que esteve envolvida na realização deste projeto.

- **Responsável do projeto**
 - João Borges Sousa

- **Coordenador do projeto**
 - José Pinto

- **Analista de Dados para Fotogrametria**
 - Manuel Ribeiro

- **Analista de Dados para Geomorfologia e Batimetria**
 - José Pinto

- **Analistas de Dados para Biologia e catalogação EUNIS**
 - Bárbara Ferreira, André Diegues, José Pinto

- **Coordenador de missões AUV**
 - José Pinto

- **Coordenador de missões UAV**
 - Manuel Ribeiro

- **Operadores de AUVs**
 - José Pinto, Keila Lima, Maria Costa, Paulo Dias.

- **Operadores de UAVs**
 - Manuel Ribeiro, João Costa, João Pereira

1.3 Organização do relatório

O documento está dividido em 5 secções. A Secção 2, apresenta um resumo do trabalho efetuado a nível de levantamentos e de processamento de dados. A Secção 3, apresenta o escalonamento destes levantamentos, bem como principais ocorrências durante a sua execução. A Secção 4, apresenta os resultados finais obtidos após processamento dos dados recolhidos e a Secção 5 apresenta a lista de entregáveis. Na Secção 6 são apresentadas as conclusões do trabalho realizado. A última secção apresenta a lista de publicações resultantes deste trabalho.

A razão da utilização de dois drones ao invés de um resulta do facto das condições favoráveis ao levantamento serem de duração bastante curta, correspondendo a um intervalo de cerca de duas horas centradas no pico da maré baixa diária. Fora esse período, grande parte da zona intertidal passa a estar submersa e, não pode, por isso ser observada por ar.



Figura 2-2: Veículos aéreos não tripulados usados para o mapeamento da zona intertidal do parque.

Para levantamento aéreo, os veículos foram carregados com um plano de mapeamento de área, sendo usada a câmara fotográfica para recolha temporizada de imagens. O planeamento garante a sobreposição das diferentes imagens recolhidas por forma a ser possível posteriormente gerar um ortofotomapa e ainda estimar a altimetria da área mapeada. Relativamente à altimetria, embora seja possível estimar com precisão na zona terrestre, existe bastante ruído nas zonas de recifes devido à ondulação e movimentos de espuma entre fotografias capturadas. Como se pode ver na Figura 2-3, os dados têm bastante ruído a partir da linha de água (variável com a maré).

À data de escrita do relatório apenas uma pequena área do parque não foi mapeada após várias tentativas frustradas pelas condições meteorológicas que se observaram.



Figura 2-3: Mapa de altimetria obtido a partir da análise de sobreposição de imagens aéreas (escala de cinzas).

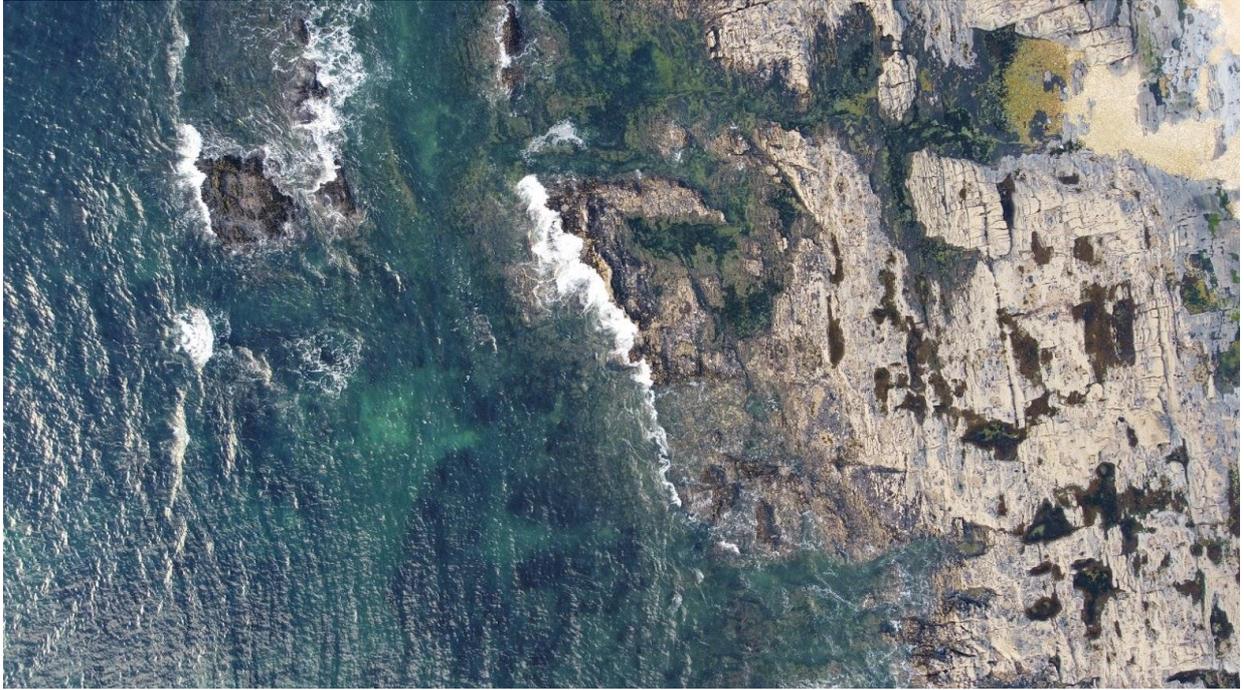


Figura 2-4: Exemplo de imagem aérea captada no PNLN

As imagens recolhidas pelos drones (exemplo na Figura 2-4) incluem dados de posicionamento do drone no momento da captura. Esta informação serve para o posterior tratamento para projeção no plano do solo. A zona intertidal mapeada está representada na Figura 2-5 e inclui também uma parte substancial do estuário do rio Cávado.

Existem algumas zonas que foram mapeadas uma segunda vez, em alturas de menor ondulação, no sentido de melhorar os resultados obtidos. Ainda assim, o mapeamento de habitats submersos nas zonas de rebentação revelou-se virtualmente impossível devido à existência de espuma superficial.



Figura 2-5: Zona intertidal mapeada do parque, à data de escrita do relatório

2.3 Levantamentos fotográficos submarinos

Para melhor perceber os diferentes tipos de habitats, foi necessária a recolha de imagens do fundo submarino. Para tal foram usadas câmaras de vídeo que equipam alguns dos AUVs utilizados nos levantamentos submarinos. Estas câmaras permitem registar imagens georreferenciadas do fundo submarino, a uma frequência de até 7 imagens por segundo.

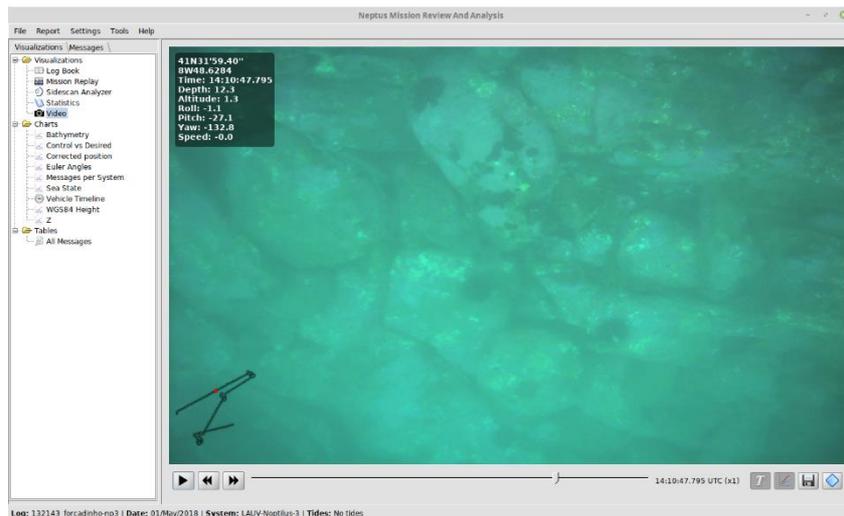


Figura 2-6: Exemplo de imagem recolhida com veículo LAUV-Noptilus-3

Devido à rápida absorção da luz na água, para conseguir fotografar o fundo, o veículo autónomo tem de se deslocar muito perto deste (por volta de 3 metros de altitude) e por isso a área correspondente a cada foto é bastante reduzida. Assim, as fotos obtidas permitiram validar dados recolhidos com sonar e auxiliar a sua catalogação.

Na impossibilidade de mapear todo o parque com câmara fotográfica, estes levantamentos pontuais deram origem a grandes conjuntos de imagens que foram parcialmente catalogadas por biólogos marinhos para identificação de espécies e habitats existentes. Estas imagens catalogadas serviriam depois para ajudar a caracterizar os dados recolhidos pelos sonares dos veículos, que conseguem cobrir uma área bastante maior.

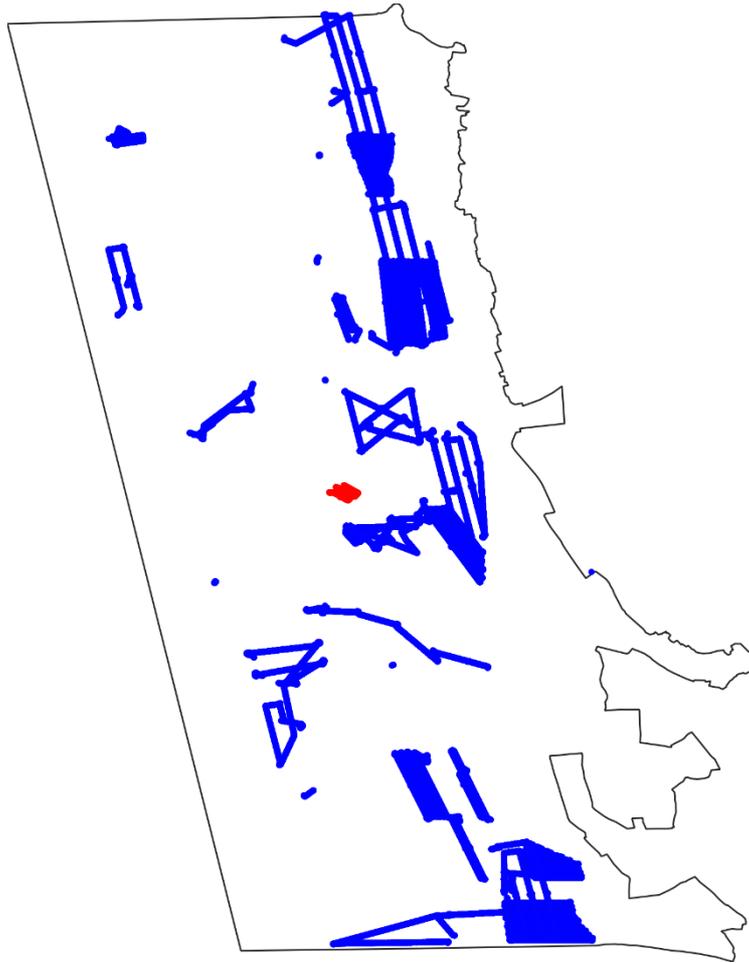


Figura 2-7: Trajetos dos veículos autônomos subaquáticos com recolha de imagens. Os trajetos a azul correspondem ao veículo LAUV-Noptilus-3 e os trajetos a vermelho correspondem ao veículo LAUV-XTREME-2

Conforme se pode visualizar na Figura 2-7, grande parte dos trajetos correspondem a um padrão de movimento específico. Estes padrões visam visitar o maior número possível de habitats e não mapear zonas de forma exhaustiva. Nas zonas mais junto da costa, de menor profundidade, e especialmente em dias de pouca turbidez, a câmara foi também ligada oportunisticamente durante levantamentos de sonar e foi possível recolher imagens com grande qualidade.

2.4 Levantamentos de sonar de varrimento lateral

Para tornar possível o mapeamento total do fundo do parque marinho, para além de terem sido usados múltiplos veículos em simultâneo, optou-se também por amostrar o fundo usando sonares de varrimento lateral. Estes sonares conseguem recolher uma imagem de refletividade acústica do fundo marinho através do envio de uma frequência acústica (ultrassom) e registar depois todos os ecos recebidos de cada lado do veículo até a uma distância (de som) configurável. Para otimizar os resultados obtidos, os veículos devem navegar a uma altitude correspondente a 10% da distância mapeada para cada lado.

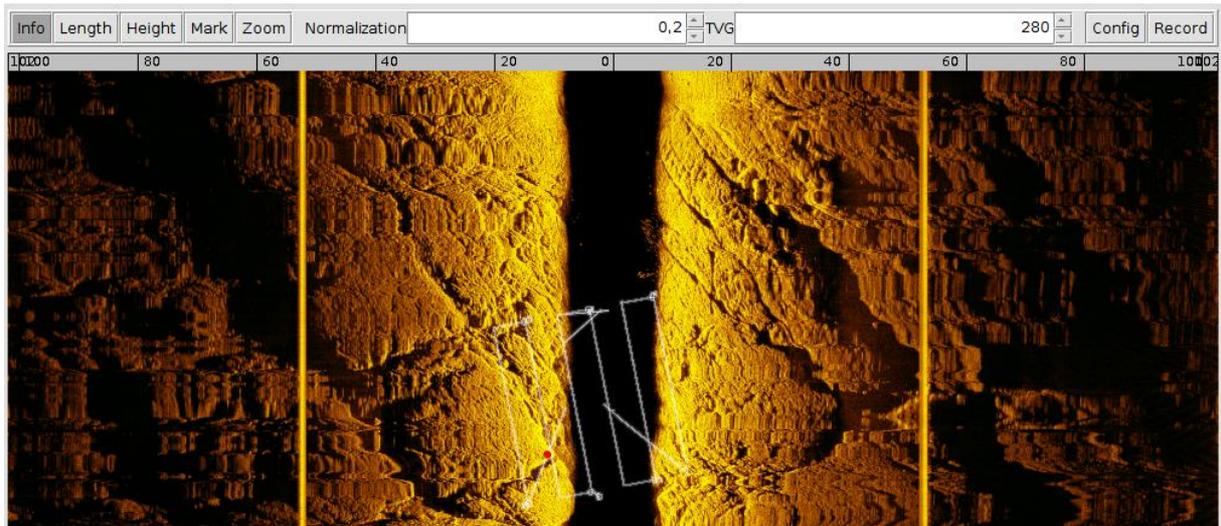


Figura 2-8: Software Neptus usado para visualizar dados de sonar de varrimento lateral recolhido pelos veículos durante uma das campanhas de levantamento.

A Figura 2-8 mostra um exemplo de dados recolhidos por este tipo de sensores. De notar que a coloração da imagem corresponde apenas à intensidade da reflexão sonora, uma vez que não é possível obter a cor do fundo através de dispositivos acústicos. A imagem apresentada é uma imagem de “dados brutos”, ou seja, antes de qualquer processamento. Assim, é visível uma zona escura na parte central da imagem (nadir) que corresponde ao tempo em que som se propagou apenas na coluna de água e é também observável que quanto maior é a distância ao centro, menor é a intensidade da reflexão, devido à atenuação do sinal pela absorção da água. Assim, na altura da recolha existem vários tipos de distorção e atenuação que serão corrigidos depois na fase de processamento de dados usando processamentos como “Time Variable Gain”, “Slant Range Correction”, entre outros.

Todos os veículos usados nos levantamentos estão equipados com sonar de varrimento lateral que possibilita amostrar mais de 100 metros do fundo para cada lado do veículo. Assim, para mapear uma zona com 1 km^2 , os veículos precisam percorrer “apenas” cerca de 7 km enquanto se devem manter a uma distância de cerca de 10 metros do fundo durante esse percurso. Como resultado, foi possível mapear com sonar de varrimento lateral a totalidade do parque submarino conforme se pode verificar na Figura 2-10.



Figura 2-9: Os 4 AUVs usados nos levantamentos equipados com sonar de varrimento lateral.



Figura 2-10: Trajetos dos veículos autônomos subaquáticos com sonar de varrimento lateral ativado (esquerda).

2.5 Levantamentos de sonar multifeixe

Para levantamento do relevo do fundo, todos os veículos usados estão equipados com sensor de profundidade bem como sonares que permitem medir distâncias ao fundo. Um desses sensores é o sonar multifeixe, que permite recolher até 5000 medições de distância ao fundo por segundo. Todas as medições são georreferenciadas o que permite a criação posterior de uma nuvem de pontos correspondente ao relevo do fundo marinho.

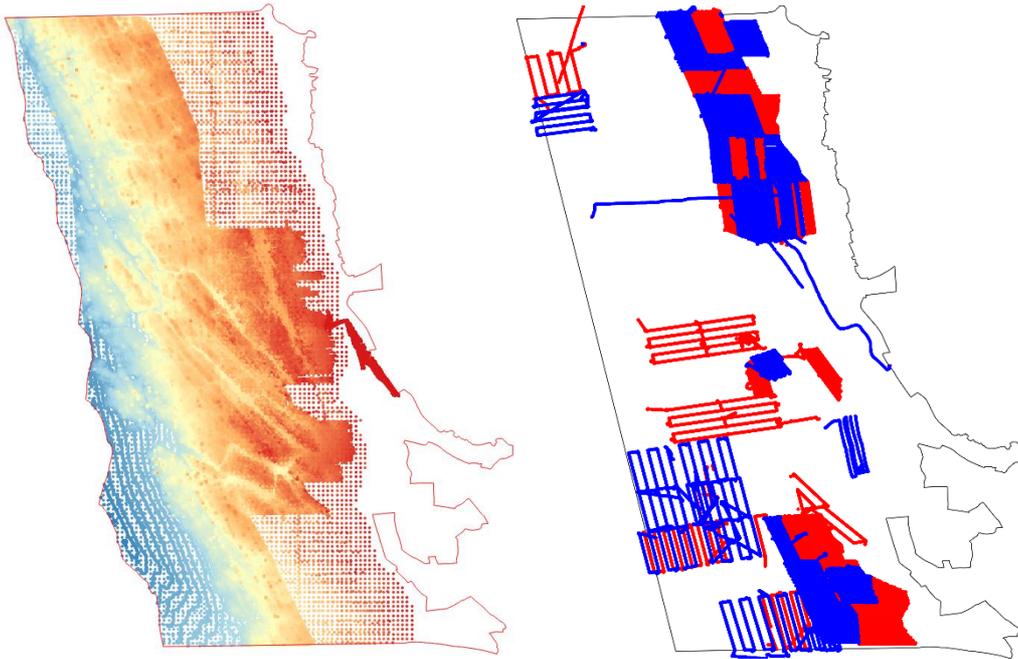


Figura 2-11: À esquerda, dados de batimetria pré-existentis (Instituto Hidrográfico e Projeto POLIS) e, à direita, trajetões dos veículos autónomos subaquáticos com recolha de dados de batimetria (sonar multifeixe) ativada.

Este sensor usa um conjunto de transdutores que emitem pulsos acústicos em diferentes direções. A reflexão desses pulsos é depois recebida por recetores no mesmo sensor, permitindo identificar distâncias a diferentes pontos no terreno, numa linha transversal ao movimento do veículo.

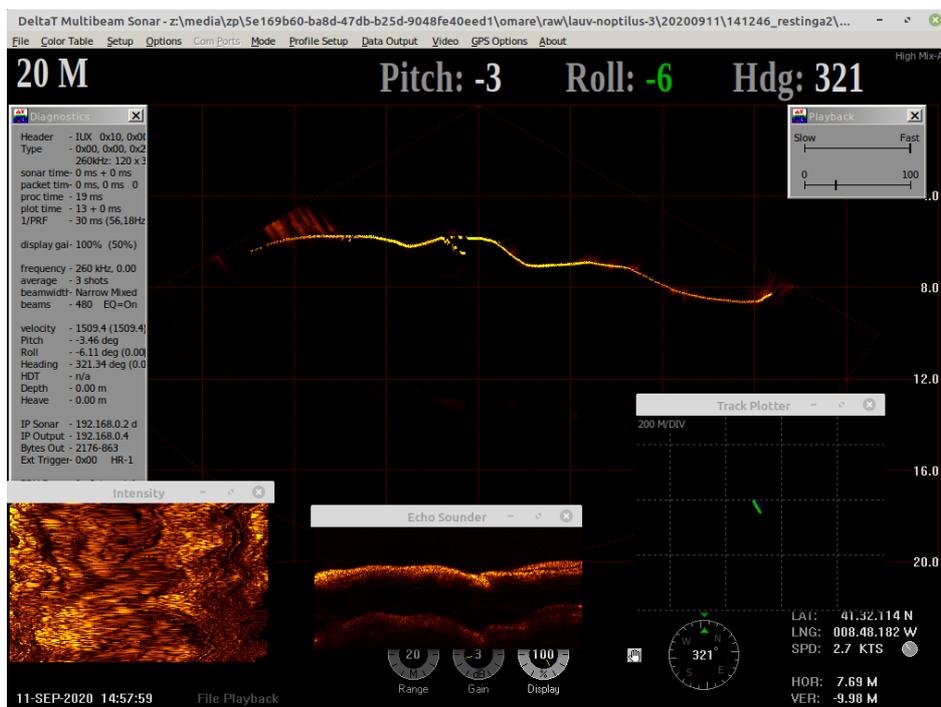


Figura 2-12: Dados brutos do sonar multifeixe, visualizados no Software DeltaT.

Uma vez que a direção dos feixes do sonar multifeixe é fixa, para cobertura do fundo marinho com sonar multifeixe, os veículos têm de se mover o mais longe possível do fundo para assim poderem cobrir uma área maior. Ora, isto impossibilita levantamento simultâneo de câmara, sonar de varrimento e sonar multifeixe. Levantamentos anteriores com sonar multifeixe já tinham coberto as zonas mais profundas do parque e junto à foz de Cávado (ver Figura 2-11, à esquerda), sendo que as zonas para as quais os dados existentes tinham menor resolução, que se encontram a nordeste e sudeste do parque, foram agora cobertas em detalhe pelos veículos do ISR, conforme se pode ver na Figura 2-11, à direita.

2.6 Processamento de dados

Nesta secção indicamos os diferentes tipos de processamento efetuados aos dados recolhidos.

Processamento de dados de câmara de vídeo dos AUVs

As imagens da câmara de vídeo dos veículos subaquáticos foram melhoradas usando um algoritmo de “contrast stretching” que permite mais facilmente identificar variações de luz e cor, mesmo em imagens muito escuras ou com pouca variação de cor.

Para além desta melhoria às imagens recolhidas, foram também produzidos vídeos com a adição da posição georreferenciada de cada *frame*.



Figura 2-13: Frames de vídeos recolhidos pelos AUVs com informação da localização do veículo adicionada

Processamento de imagens fotográficas aéreas

As imagens captadas pelos veículos aéreos incluem embetida informação com a localização e ângulos de Euler da aeronave no momento da captura. No entanto, como o terreno não é absolutamente plano, as imagens recolhidas devem ser posteriormente georreferenciadas e alinhadas de forma a produzir um ortofotomapa.

Para alinhamento e georreferenciação foi usado o Software *DroneDeploy*¹ que permite produzir uma imagem, em formato TIFF, correspondente à área coberta pela câmara no terreno. Uma vez que, no processo, foram detetados alguns erros do posicionamento automático dos ortofotomapas, procedeu-se à correção manual dos mesmos utilizando, para o efeito, o Software QGIS².

¹ <https://www.dronedeploy.com/>

² <https://qgis.org/en/site/>

Como resultado foram produzidos um total de 19 ortofotomapas correspondentes a diferentes zonas do parque (ver Figura 2-5). Apresenta-se, de seguida, um desses ortofotomapas.

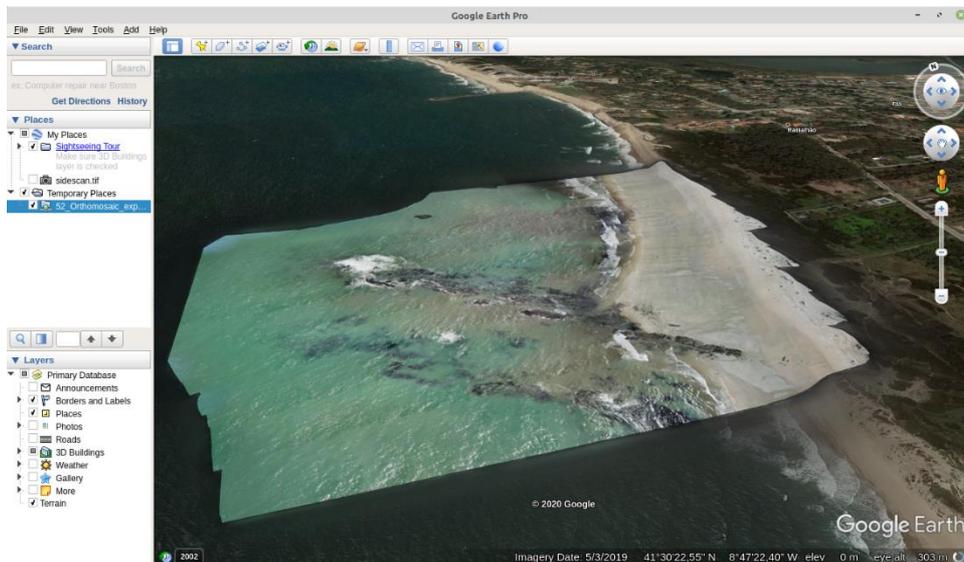


Figura 2-14: Um dos ortofotomapas produzidos visualizado através do Software Google Earth.

Processamento de dados de sonar de varrimento lateral

De forma a ser possível utilizar os dados de sonar de varrimento lateral para mapeamento de habitats é preciso corrigir todas as deformações resultantes de se tratar de uma imagem acústica do terreno. Todo o processamento dos dados foi realizado com o Software Neptus que é capaz de processar de forma análoga todos os sonares de varrimento usados para esta Ação (Imagenex, Klein e Edgetech). Usando o Neptus é possível exportar de forma automática os dados brutos em formato GeoTIFF. Esta exportação aplica as seguintes correções:

1. **Correção de navegação:** Usando as posições GPS à superfície, é aplicada uma correção linear a todos os pontos submersos quando aplicável;
2. **Seleção automática de dados:** De forma a ignorar dados com menos qualidade, por exemplo, quando o veículo está parado à superfície, é realizada uma pré-seleção dos dados com base no estado reportado pelo veículo;
3. **Slant Range Correction:** Usando a distância ao fundo, a imagem de som é projetada num fundo plano a essa profundidade relativa;
4. **“Empirical Gain Normalization”:** Os dados brutos são analisados de forma a calcular um fator de normalização variável com a distância ao sensor (absorção pode variar com a densidade e quantidade de partículas suspensas na água). Esse fator de normalização é depois aplicado a todos os dados;

Como resultado dos passos anteriores, são geradas imagens georreferenciadas dos dados de sonar que podem ser carregadas e visualizadas de forma análoga aos ortofotomapas gerados a partir dos dados de UAVs. Um exemplo de mosaico gerado pode ser visualizado na Figura 2-15. Uma vez que os dados são gerados no formato

GeoTIFF, estes podem ser carregados com qualquer ferramenta de GIS como QGIS, ArcGIS, GRASS ou mesmo Google Earth.

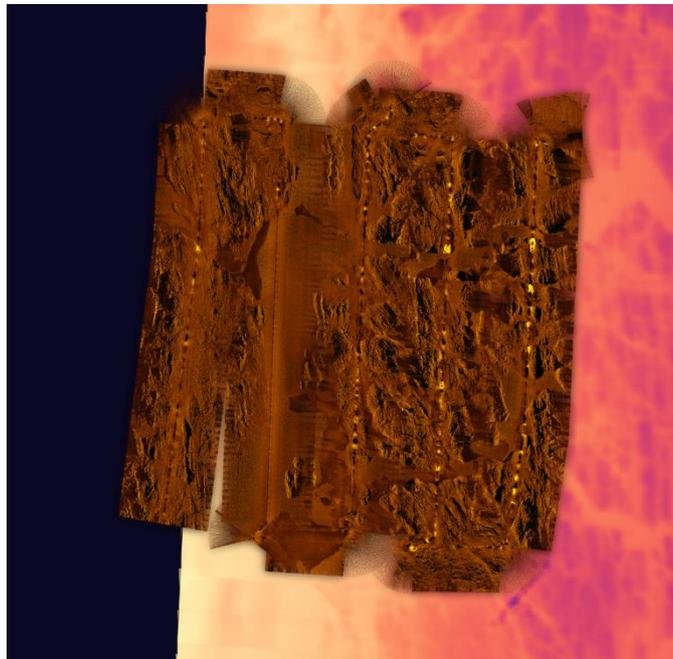


Figura 2-15: Mosaico de dados de sonar de varrimento lateral gerado pelo Software Neptus.

Processamento de dados de sonar multifeixe

Quando são executados levantamentos de sonar multifeixe, os dados são armazenados no formato **Imagenex .837**. O primeiro processamento realizado é através do Software Imagenex **DeltaT³**, que permite gerar, a partir dos dados brutos, uma nuvem de pontos no formato **.83P**. Esta nuvem de pontos carece ainda de correções de navegação e do efeito das marés, pelo que é usado o Software Neptus para o efeito, conforme se descreve de seguida:

1. **Correções de Navegação:** Utilizando as posições GPS à superfície, é aplicada uma correção linear a todos os pontos submersos quando aplicável;
2. **Correções de Maré:** Sabendo o momento de recolha de cada amostra, é adicionado o deslocamento resultante da maré (bem como profundidade do veículo), de forma a serem gerados valores de batimetria usando como referência o zero hidrográfico de Viana do Castelo.

Após estes processamentos os dados são exportados para o formato **.XYZ**, que pode ser carregado por qualquer ferramenta de GIS como QGIS, ArcGIS ou GRASS (entre outras).

Classificação de habitats com dados de sonar

Para classificação de habitats subaquáticos, recorreremos aos dados resultantes dos processos anteriores para gerar pequenas imagens (quadrículas) georreferenciadas. Cada uma destas quadrículas irá corresponder a um

³ <https://imagenex.com/products/837bxi-delta-t-300-m-profiling>

habitat, sendo que essa correspondência pode ser atribuída de forma manual ou automática, através de um algoritmo de aprendizagem por computador (*machine learning*).

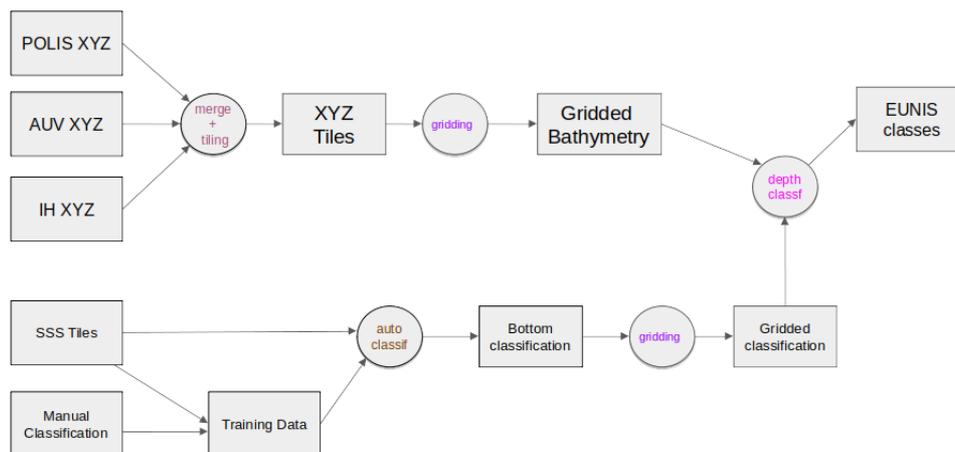


Figura 2-16: Processo de classificação de habitats usando dados de sonar

Conforme se pode ver na Figura 2-16, os dados .XYZ de diferentes fontes (incluindo os dados recolhidos pelos AUVs) são reunidos e normalizados de forma a produzir uma única grelha. A grelha resultante é usada posteriormente para classificar qualquer habitat do parque como sendo circalitoral ou infralitoral, de acordo com a sua batimetria.

No caso dos dados de sonar de varrimento lateral, estes são inicialmente carregados no software QGIS de forma a permitirem realizar uma classificação manual de habitats. Esta classificação é realizada através de polígonos que indicam zonas de rocha (classes EUNIS MB12 e MC12), zonas de lama (classes EUNIS MB22 e MC22) ou zonas de areia (classes EUNIS MB52 e MC52).

A classificação manual (ver exemplo na Figura 2-17) é importada pela ferramenta Neptus de forma a exportar os dados como um conjunto de quadrículas. Estas quadrículas são acompanhadas de um ficheiro que indica qual a classificação manual atribuída a cada quadrícula ou se esta classificação não foi atribuída. Neste último caso, a classificação será definida como desconhecida.

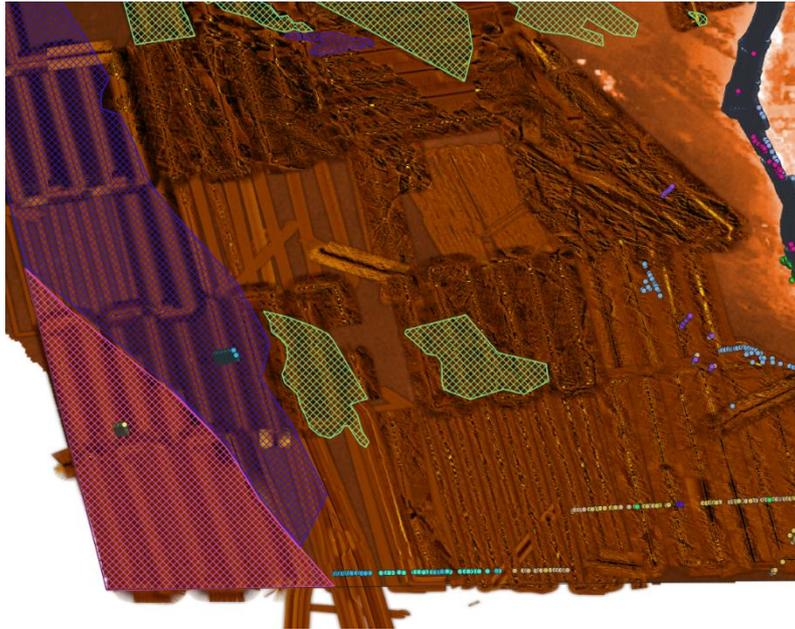


Figura 2-17: Captura de ecrã do Software QGIS sendo usado para classificar manualmente parte dos dados de sonar.

As quadrículas geradas pela ferramenta Neptus são depois usadas para treinar uma rede neuronal do tipo CNN (*Convolutional Neural Network*) que irá “aprender” a classificar os diferentes tipos de habitat de forma automática. Após este processo de treino (aprendizagem), em que são usados apenas as quadrículas pré-classificadas manualmente, a rede neuronal treinada resultante é usada para classificar todas as quadrículas para a geração da classificação para todo o parque.

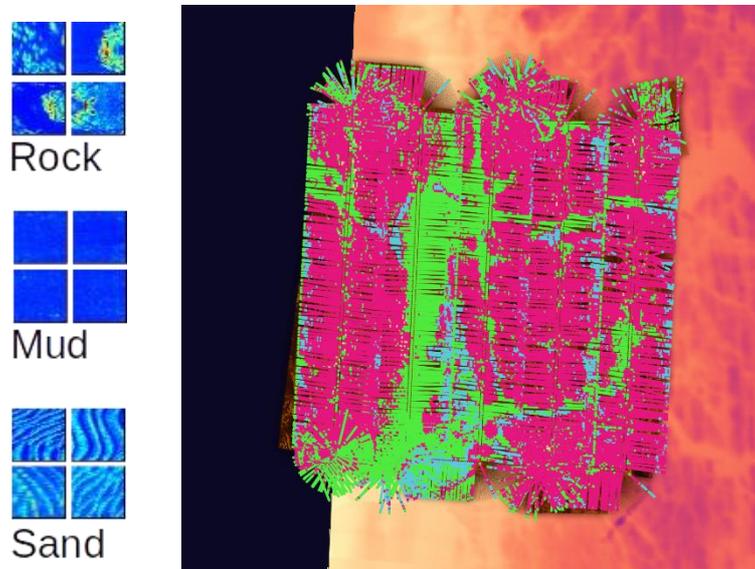


Figura 2-18: Exemplos de quadrículas classificadas (à esquerda) e resultados de classificação automática de dados de sonar de varrimento lateral (à direita).

Após classificação das quadrículas de sonar, é ainda necessário converter os pontos resultantes para uma grelha regular (processo de *gridding*). Para tal foi usado um algoritmo *Nearest Neighbor*.

Classificação de habitats com dados de fotografia aérea

O processo de classificação dos ortofotomapas aéreos é semelhante ao processo anterior (dados de sonar). No caso dos ortofotomapas a classificação manual foi baseada em pontos, e não polígonos. Em função da boa resolução dos ortofotomapas, foi também possível extrair quadrículas para treino e classificação automática diretamente dos mosaicos em formato GeoTIFF.

Assim, foi desenvolvida uma aplicação que recebe como entrada uma classificação manual em formato CSV e um mosaico em formato GeoTIFF. A aplicação extrai todas as quadrículas do mosaico atribuindo a classificação dada ou indicando que a classificação é desconhecida, caso esta não conste das classificações manuais.

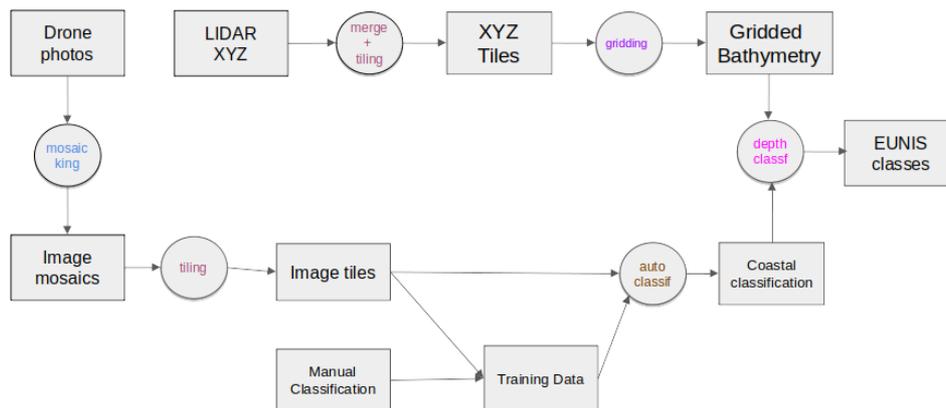


Figura 2-19: Processo de classificação de habitats para dados de fotografia aérea

Mais uma vez, o conjunto de dados resultante é usado para treinar uma rede neuronal de classificação automática, que é depois utilizada para classificar todas as quadrículas.

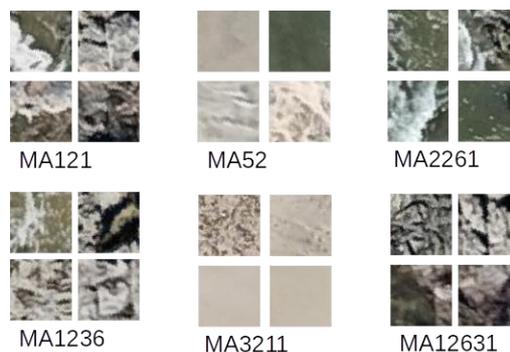


Figura 2-20: Exemplos de quadrículas usadas para treino da rede neuronal

Uma vez que, no caso dos dados aéreos, foi possível identificar classes EUNIS até ao nível 6, o processo de classificação automática tem várias fases. Uma rede neuronal inicial classifica as quadrículas de acordo com o nível 3 da classificação EUNIS. Depois, de acordo com a classe atribuída, uma rede neuronal específica é usada para atribuir o nível 4 da classificação EUNIS e, em alguns casos atribuir ainda classificações de nível 5. Assim, para cada quadrícula são geradas 3 classificações correspondentes aos níveis 3, 4 e 5 do sistema de classificação de habitats EUNIS.

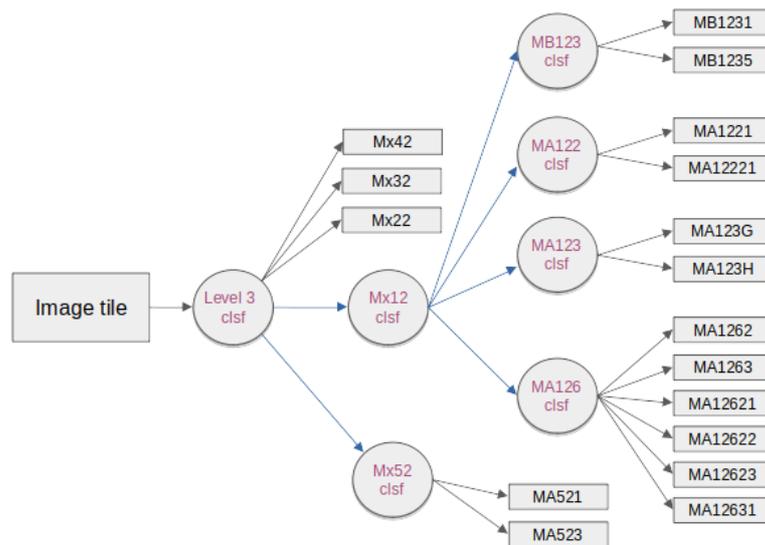


Figura 2-21: Forma hierárquica de classificação usando 7 redes neurais para atribuição de 23 classes EUNIS distintas.

Uma vez que o processo de classificação é automático, foi assim possível utilizar uma resolução de 1m x 1m para a grelha final gerada, tendo sido gerados um total de 8.7 milhões de quadrículas. O processo de classificação demorou cerca de 118 horas num computador Intel i7-4770 (3.4 GHz). Uma parte do resultado da classificação é apresentado na Figura x-18.

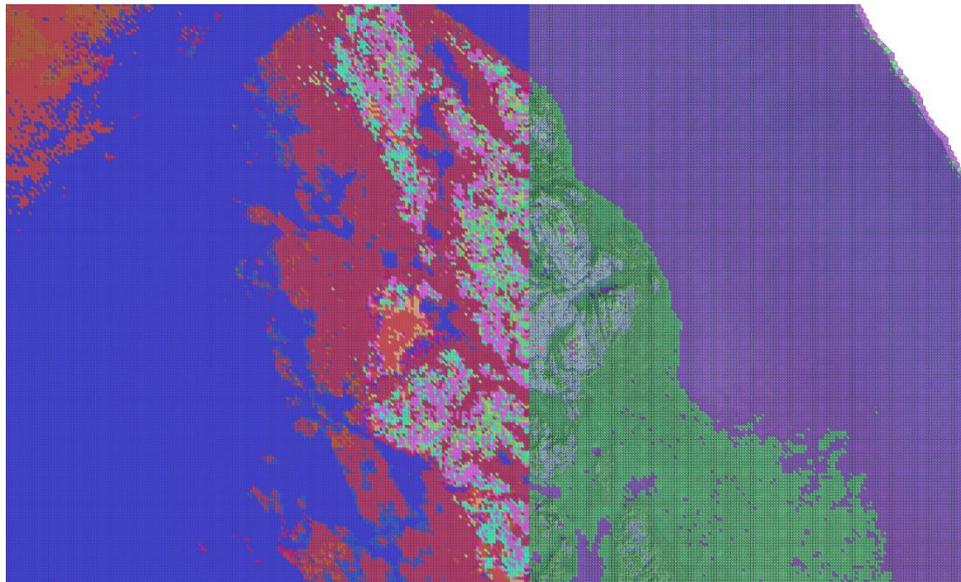


Figura 2-22: Resultados da classificação automática para dados de fotografia aérea. Do lado esquerdo, habitats EUNIS classificados até nível 5 (maior número de classes), do lado direito, classificação EUNIS até nível 3.

3. EXECUÇÃO DO PLANO DE LEVANTAMENTOS

Para a execução do plano de levantamentos foram necessários 40 dias de operação com AUVs e 13 dias de operação com UAVs.

3.1 Operações com AUVs

Os levantamentos com AUVs tiveram início no dia 1 de maio de 2018 e terminaram no dia 11 de setembro de 2020. Estes levantamentos foram levados a cabo por equipas do ISR, que incluíam no mínimo, dois operadores especializados.

Apresentam-se, de seguida, os percursos efetuados pelos quatro AUVs do ISR que estiveram envolvidos na recolha de dados subaquáticos.

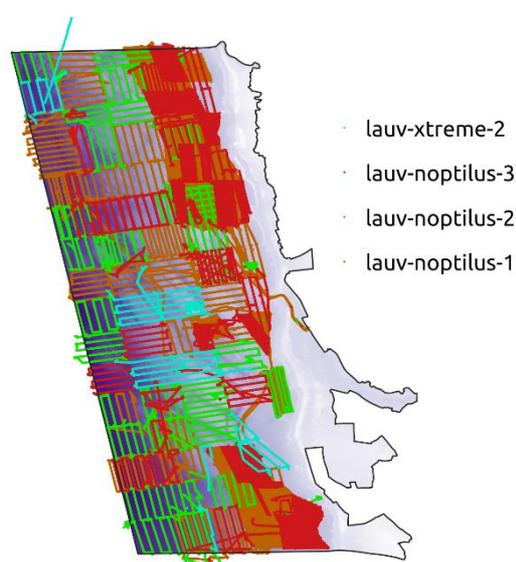


Figura 3-1: Trajetos percorridos pelos veículos autónomos subaquáticos.

Os levantamentos com AUVs enfrentaram vários desafios, entre os quais se destacam: i) AUVs presos em artes de pesca; ii) manifestação de condições de ondulação e de correntes que estiveram por base da interrupção de alguns levantamentos; iii) perda, temporária, de um AUV.

Observa-se que as condições de operação foram mais adversas do que o inicialmente esperado, nomeadamente no que diz respeito à meteorologia que se manteve desfavorável às operações durante longos períodos de tempo. A necessidade de saída e entrada na barra a horas específicas do dia, devida a marés criou algumas restrições adicionais à operação. A pandemia de COVID-19 colocou também algumas dificuldades adicionais, que não impediram, contudo, a conclusão dos levantamentos

Apresentam-se, na tabela seguinte, uma lista dos dias de operação, bem assim como dos AUVs utilizados nesses dias.

Veículo Data	LAUV-Noptilus-1	LAUV-Noptilus-2	LAUV-Noptilus-3	LAUV-Xtreme-2
2018-05-01	X		X	
2018-07-09	X	X	X	
2018-07-10	X		X	
2018-07-11	X	X	X	
2018-07-13	X	X	X	
2018-10-22	X	X		
2018-10-23		X		
2018-10-24	X		X	
2018-10-25	X	X		
2019-01-08		X	X	X
2019-01-09		X	X	X
2019-01-10		X	X	
2019-01-11	X	X		X
2019-01-14	X	X		X
2019-01-15	X	X		X
2019-03-20	X	X	X	
2019-03-21	X	X		
2019-03-27	X	X	X	
2019-03-28	X	X	X	
2019-03-29		X	X	
2019-05-13	X	X	X	
2019-05-14	X	X	X	
2019-06-27	X	X		
2019-07-08	X	X	X	
2019-07-09	X	X	X	
2019-07-12		X	X	
2019-08-06		X	X	
2020-07-17			X	
2020-07-20	X		X	
2020-07-22			X	
2020-08-10	X		X	
2020-08-13	X		X	
2020-08-14	X		X	
2020-08-24	X		X	
2020-08-25	X		X	
2020-08-27	X		X	
2020-09-08	X		X	
2020-09-09	X		X	
2020-09-10	X		X	
2020-09-11	X		X	

Tabela 3-1: Utilização dos AUVs nas campanhas de mar.

O elevado número de dias de operação contribuiu para refinar os procedimentos de operação e para melhorar a operacionalidade das equipas, o que traduziu em maior eficiência e resiliência. Foi também neste âmbito que se estabeleceu um notável espírito da equipa de operação que incluía, para além dos elementos do ISR, a tripulação das embarcações de apoio, com particular destaque para a tripulação do “Rabilo” que, sempre que necessário, auxiliou no resgate de AUVs em dificuldades e que contribuiu, de forma decisiva, para o planeamento dos levantamentos do ponto de vista meteorológico e logístico. A mobilização de múltiplos AUVs permitiu mitigar, em parte, indisponibilidades resultantes da atividade operacional de alguns veículos.

3.2 Operações com UAVs

Os levantamentos com UAVs tiveram início em novembro de 2018, faltando ainda uma pequena área para completar o levantamento de toda a zona intertidal do PNLN.

Devido à elevada portabilidade dos equipamentos usados, as operações de levantamento foram realizadas de forma oportunista, sempre que havia previsão de condições favoráveis aos levantamentos. No entanto, essas condições propícias, bastante comuns noutras zonas do país, são algo raras no PNLN, sendo necessária a conjugação dos seguintes fatores:

- Marés vivas no período da vazante;
- Período diurno;
- Vento inferior a 4 m/s;
- Ondulação inferior a 0.5 m;
- Ausência de nuvens baixas (ou nevoeiro).

No caso da zona litoral de Esposende, o vento e ondulação são quase uma constante pelo que foram relativamente poucas as oportunidades para obtenção de dados com boas condições de visibilidade, tendo sido estas, no entanto aproveitadas.

Como resultado alguns dos levantamentos tiveram de ser repetidos após análise dos resultados e ficou ainda uma área (Cavalos de Fão) por concluir na próxima janela de oportunidade.

4. RESULTADOS FINAIS

Esta seção apresenta uma breve descrição dos mapas gerados a partir dos dados recolhidos, fundamentalmente, pelos AUVs e UAVs, dos formatos de dados utilizados e, ainda, a organização do repositório em que os mesmos foram armazenados.

4.1 Mapas do parque

Os dados recolhidos pelos AUVs foram processados para a geração de um mapa batimétrico de alta resolução do parque (Figura 4-1 e Figura 4-3), bem como um mapa de refletividade de todo o fundo do parque marinho (Figura 4-4).

Os veículos aéreos recolheram a informação necessária para a geração de ortofotomapas de toda a zona costeira e recifes. O mapa apresentado na Figura 5-4 apresenta os dados de sonar e os mosaicos aéreos obtidos para esta Ação.

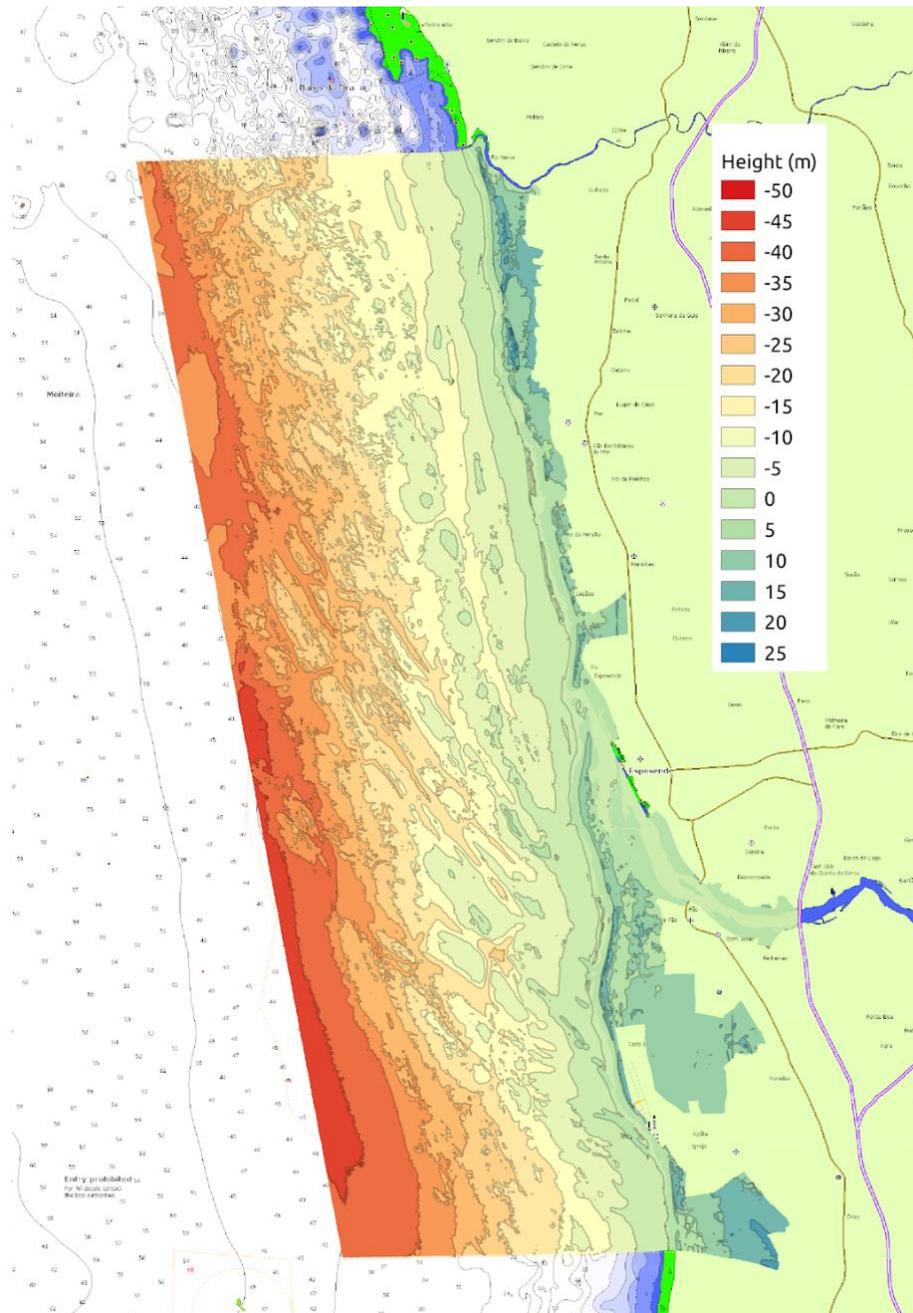


Figura 4-1: Carta batimétrica do Parque Natural do Litoral Norte

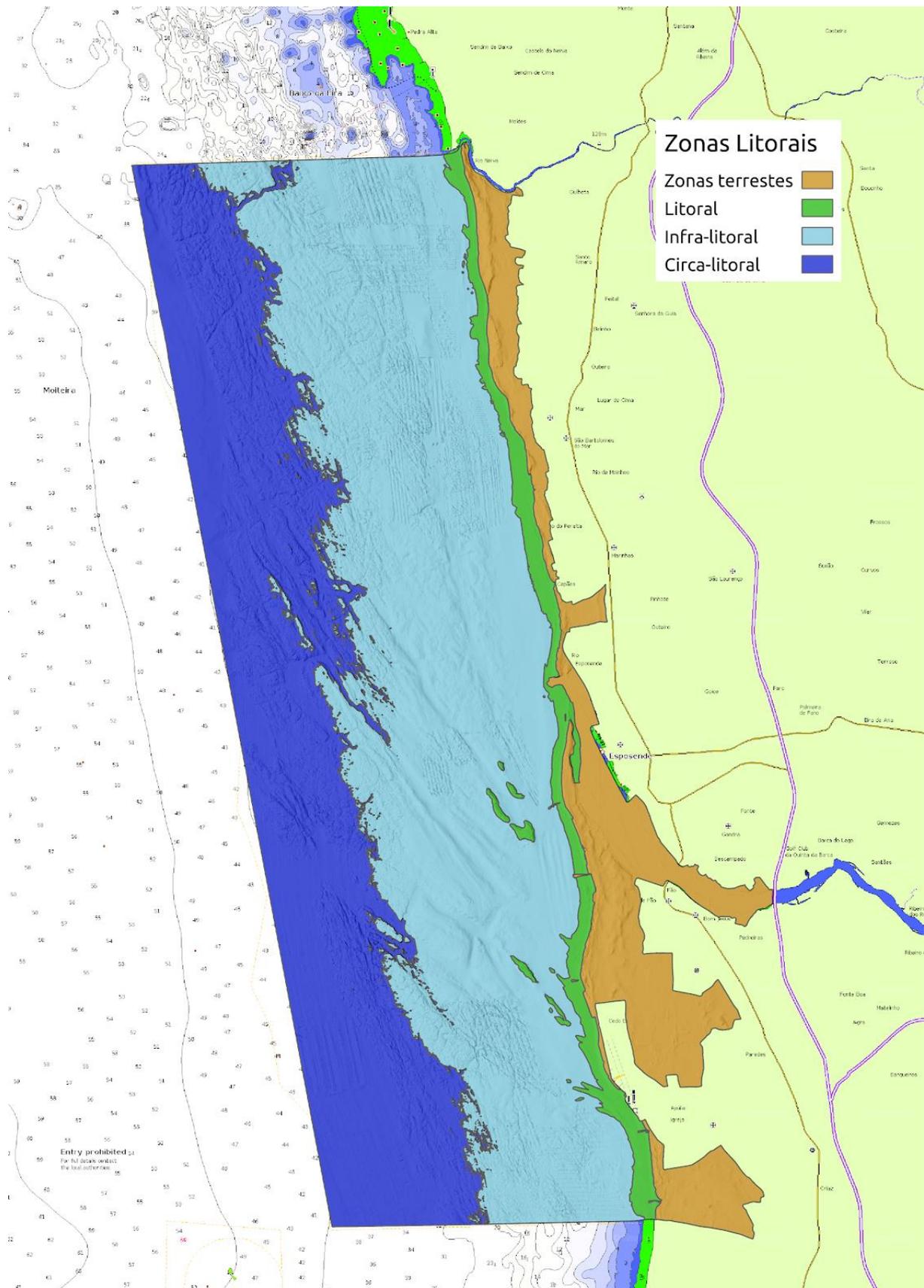


Figura 4-2: Relevo de batimetria e marcação das zonas litorais do Parque Natural do Litoral Norte.

Conforme pode ser observado na Figura 4-2, o PNLN foi subdividido em diferentes zonas de batimetria, de acordo com a tabela seguinte:

Zona	Área Total	Área Percentual
Litoral	3.86 Km ²	4.5 %
Infra-litoral	43.43 Km ²	50.9 %
Circa-litoral	27.69 Km ²	32.5 %
Não litoral	10.35 Km ²	12.1 %

Tabela 5- 1: Áreas das diferentes zonas litorais do PNLN

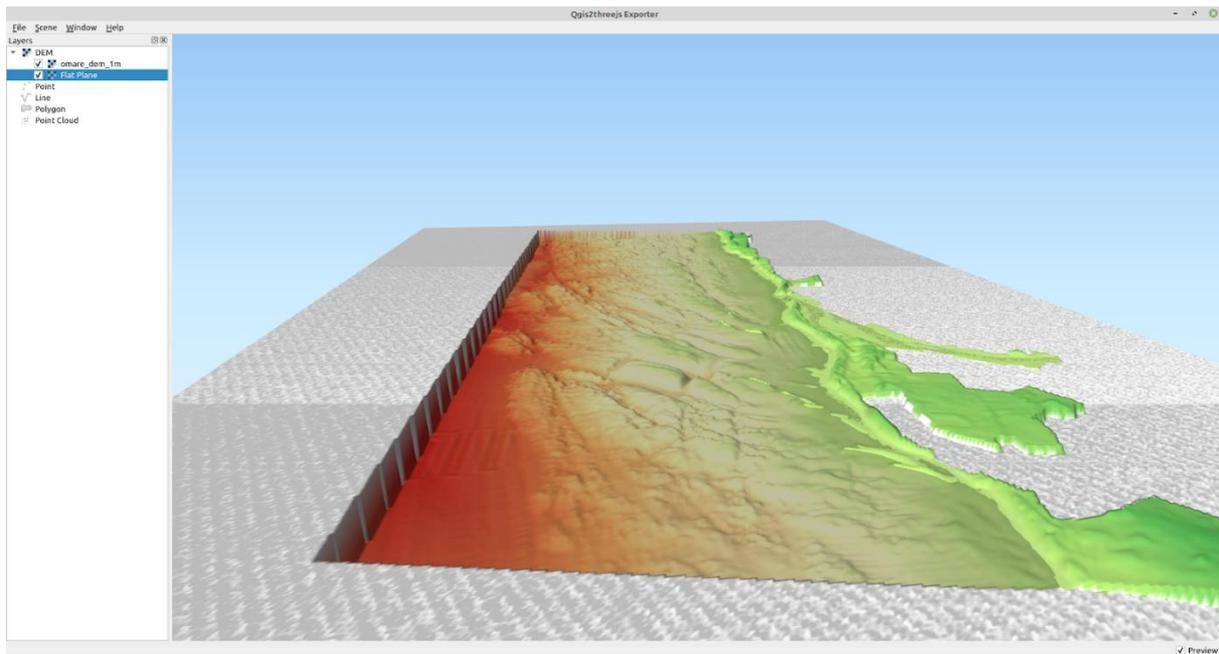


Figura 4-3: Modelo 3D do Parque Natural do Litoral Norte.



Figura 4-4: Mapa onde são apresentados dados de sonar e mosaicos aéreos obtidos para esta Ação.

O processo de classificação automática, desenvolvido e aplicado no âmbito desta Ação, permitiu gerar um mapa com a classificação de habitats (Figura 4-5) para o parque marinho com base em amostras reais de todo o parque. As áreas correspondentes a cada tipo de habitat estão também indicadas na Tabela 4-2 e Tabela 4-3. De notar que nessas tabelas estão apenas a ser contabilizadas as zonas litorais, infralitorais e circa-litorais do parque.

Habitat	Descrição	%	Km ²
MA12	Atlantic littoral rock	1,528	1,146
MA22	Atlantic littoral biogenic habitat	0,012	0,009
MA32	Atlantic littoral coarse sediment	0,119	0,089
MA42	Atlantic littoral mixed sediment	0,129	0,097
MA52	Atlantic littoral sand	2,934	2,2
MA62	Atlantic littoral mud	0,024	0,018
MB12	Atlantic infralittoral rock	39,102	29,318
MB22	Atlantic infralittoral biogenic habitat	0,006	0,004
MB32	Atlantic infralittoral coarse sediment	0,001	0,001
MB42	Atlantic infralittoral mixed sediment	0,119	0,09
MB52	Atlantic infralittoral sand	17,377	13,029
MB62	Atlantic infralittoral mud	1,715	1,286
MC12	Atlantic circalittoral rock	18,604	13,949
MC42	Atlantic circalittoral mixed sediment	0,034	0,025
MC52	Atlantic circalittoral sand	15,286	11,462
MC62	Atlantic circalittoral mud	3,01	2,257

Tabela 4-2: Listagem de habitats EUNIS nível 3, contabilizados por área ocupada (percentagem e absoluta)

Habitat	Descrição	%	Km ²
MAxx	Littoral	4,746	3,559
MBxx	Infralittoral	58,32	43,728
MCxx	Circalittoral	36,934	27,693

Tabela 4-3: Listagem de habitats EUNIS nível 3, contabilizados por área ocupada (percentagem e absoluta)

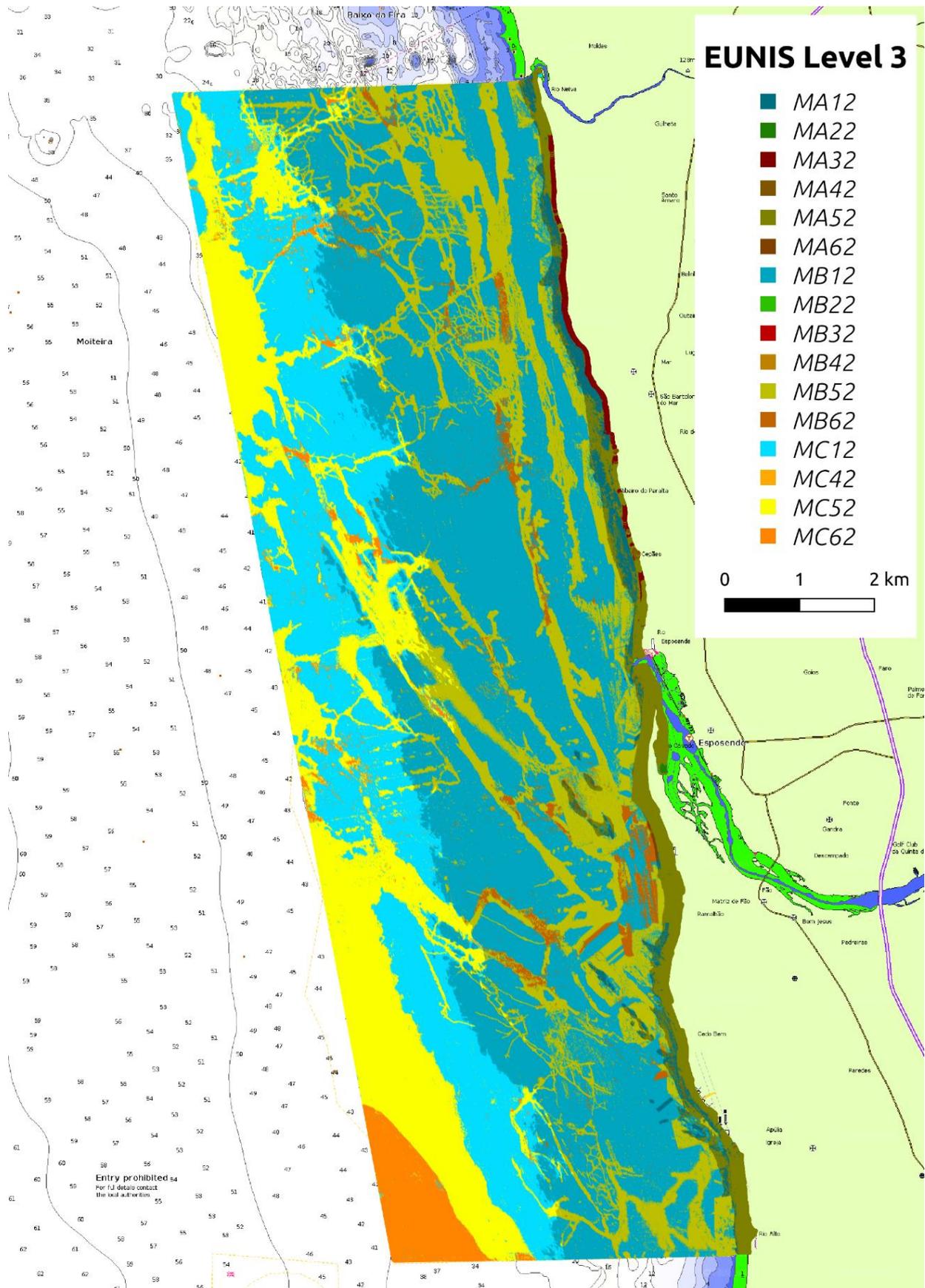


Figura 4-5: Mapa de classificação de Habitats EUNIS (nivel 3) do PNLN

4.2 Formatos de dados

Os dados recolhidos foram armazenados no formato de gravação bruto (sem processamento) nos seguintes formatos:

1. **Dados Brutos dos Veículos Aéreos:** Fotografias de alta resolução em formato JPEG e com informação EXIF embebida com indicação de data, hora e posição da plataforma aérea. Um exemplo da informação constante nestes ficheiros JPEG (para além da imagem) é apresentada no Anexo 1.
2. **Dados Brutos dos Veículos Subaquáticos:** Todos os dados dos veículos subaquáticos são armazenados pelo software DUNE que corre a bordo dos AUVs. Os dados brutos de sensores são armazenados no formato LSF (*LSTS Serialization Format*). Os dados relativos à execução de um plano são gravados numa diretoria com indicação do veículo, data e plano. Cada ficheiro pode ser visualizado individualmente através da ferramenta Neptus, cuja versão atual também faz parte dos entregáveis deste projeto.

Após processamento inicial, os dados são também disponibilizados em formatos que podem ser facilmente consultados com ferramentas GIS conforme indicado de seguida:

1. **Mosaicos dos levantamentos aéreos:** Os mosaicos dos levantamentos aéreos estão disponibilizados no formato GeoTIFF que pode ser visualizado com recurso a ferramentas tais como QGIS ou ArcGIS. Um exemplo de informação armazenada junto com a imagem TIFF, acedida através da ferramenta *GDALINFO*, está apresentada no Anexo 2.
2. **Batimetria em formato XYZ:** Os dados de sonar multifeixe recolhidos pelos veículos foram processados e convertidos em formato XYZ. Este formato contém, para um conjunto de posições georreferenciadas, a respetiva batimetria, normalizada pelo zero hidrográfico de Viana do Castelo. Um exemplo de dados constante destes ficheiros está apresentado no Anexo 3. Para além dos ficheiros que incluem todos os pontos amostrados (grelha irregular), foi também produzido um ficheiro XYZ com batimetria em grelha regular de 1m de espaçamento. Este ficheiro, que cobre todo o parque, inclui dados recolhidos pelos AUVs, bem assim como outros dados pré-existentes.
3. **Batimetria em formato TIF:** Foi também produzido um mosaico dos dados de batimetria recolhidos por todos os AUVs. Este é disponibilizado em formato GeoTIFF, que utiliza uma grelha regular com espaçamento de 1m, e, onde cada pixel representa um valor de batimetria de 32 bits (FLOAT32). A informação geográfica constante deste mosaico pode ser visualizada no Anexo 4 e uma visualização destes dados está presente na Figura 4-1.

4. **Mosaicos de Sonar de Varrimento Lateral:** Os dados de sonar de varrimento lateral foram processados de forma a poderem ser visualizados com ferramentas GIS. Foi também utilizado o formato GeoTIFF para armazenamento. Existem mosaicos de todos os planos individuais (cerca de 1 km² cada mosaico), bem assim como um mosaico com todos os dados recolhidos para a totalidade do parque.
5. **Vídeos com informação de posição:** Os vídeos capturados pela câmara de vídeo a bordo dos AUVs foram também processados de forma a ser adicionada uma camada com informação do posicionamento do veículo. Estes vídeos foram disponibilizados em formato MP4, tendo sido usada uma compressão de vídeo H264.
6. **Modelo 3D do PNLN:** A partir da batimetria do parque foi ainda produzido um modelo 3D que pode ser visualizado através de qualquer navegador Internet recente. Os dados estão armazenados em formato JSON, mas o seu visualizador (em JavaScript) acompanha os dados e pode ser acedido abrindo (com um navegador Internet recente) o ficheiro *index.html*. A Figura 4-2 mostra uma captura de ecrã destes dados (e visualizador).
7. **Classificações EUNIS:** A Classificação de Habitats EUNIS para todo o parque está disponibilizada em formato *ESRI Shapefile*, em formato CSV e TIF. Para cada ponto da grelha, é indicada a batimetria, bem assim como classificação EUNIS atribuída (nível 2, nível 3 e classificação manual, se disponível).

4.3 Repositório de dados

Todos os dados recolhidos e processados estão disponibilizados através de uma *Shared Drive* da Google. Todos estes dados serão também enviados numa disco rígido para a CME, via correio, para arquivo.

O repositório está dividido hierarquicamente da seguinte forma:

1. Reports (relatórios de progresso, manual técnico e relatório final)
2. Software (utilitários de software útil para consulta de dados brutos)
3. Raw Data
 - 3.1. AUV Data (dados brutos dos veículos subaquáticos)
 - 3.2. Aerial Photos (fotografias aéreas em formato JPEG com informação geográfica)
4. Processed Data
 - 4.1. Aerial Mosaics (mosaicos das fotografias recolhidas pelos UAVs)
 - 4.2. AUV Vídeos (vídeos com informação de posição dos AUVs)
 - 4.3. Sidescan Mosaics (mosaicos dos dados de sonar de varrimento lateral)
 - 4.4. Bathymetry XYZ (dados de batimetria em formato XYZ)
 - 4.5. Bathymetry TIF (dados de batimetria em formato TIF)
 - 4.6. PNLN 3D (modelo 3D do parque natural)
 - 4.7. Habitat Classifications (classificações EUNIS do parque)

5. LISTA DE ENTREGÁVEIS

Segue-se uma lista de entregáveis do ISR para a Ação 1 do OMARE.

1. I Relatório de Progresso ISR (Relatório)
2. II Relatório de Progresso ISR (Relatório)
3. III Relatório de Progresso ISR (Relatório)
4. IV Relatório de Progresso ISR (Relatório)
5. Relatório Final ISR (Relatório)
6. Manual Técnico do Projeto (Relatório)
7. Debriefings de Missão (Relatório)
8. Executável Neptus para consulta de dados crus (Software)
9. Executável HiJack para anotação de imagens subaquáticas (Software)
10. Dados Brutos de levantamentos AUV (Dados Brutos)
11. Fotografias recolhidas com veículos aéreos (Dados Brutos)
12. Vídeos georreferenciados recolhidos por AUVs (Dados Processados)
13. Mosaicos de dados de sonar de varrimento lateral (Dados Processados)
14. Dados de batimetria recolhidos por AUVs (Dados Processados)
15. Modelo batimétrico do parque (Dados Processados)
16. Visualizador e modelo 3D do parque (Dados Processados)
17. Classificações EUNIS para dados aéreos (Dados Processados)
18. Classificações EUNIS para dados subaquáticos (Dados Processados)

6. CONCLUSÃO

O projeto OMARE contou com a contribuição do ISR para mapeamento e processamento de dados recolhidos por todo o Parque Marinho do Litoral Norte. A recolha de dados foi realizada ao longo de várias campanhas, que foram agendadas de acordo com condições meteorológicas.

O projeto, que foi desenvolvido em estreita articulação com a CME, atingiu os objetivos previstos, tendo ainda contribuído para reforçar a cooperação entre a CME e a Universidade. Foi, neste âmbito, que os vários desafios que colocaram à execução do projeto foram sucessivamente ultrapassados. Foram aprendidas várias lições que contribuíram para enriquecer não só a capacidade operacional e inovação tecnológica do ISR, mas também o relacionamento institucional associado.

As técnicas de classificação de habitats EUNIS, que combinam mapeamento efetuado por veículos autónomos e aprendizagem por computador, é pioneira a nível nacional e internacional. Esta abordagem, e resultados associados, foram o tema de dois artigos publicados em ata de conferência internacional. Tal deve-se fundamentalmente à aposta da CME na utilização de tecnologias inovadoras para a prossecução dos objetivos do projeto OMARE. Estabeleceram-se ainda as bases para futuros projetos e para melhoramentos dos níveis de automatização atingidos.

Os levantamentos de dados no litoral de Esposende foram bastante exigentes, tanto para nível da equipa de operação do ISR, como também para a tripulação das embarcações “Rocha de Viana” e, principalmente “Rabilo”. Os levantamentos de mar não teriam sido possíveis sem o seu incedível empenho e profissionalismo. A colaboração, empenho e profissionalismo do Dr. Vasco Ferreira, que não só coordenou estas campanhas, como também apoiou o trabalho de tratamento e processamento de dados, assumiu um destaque muito especial, que em muito agradecemos.

LISTA DE PUBLICAÇÕES

6.1 Artigos

Keila Lima, José Pinto, Vasco Ferreira, Bárbara Ferreira, André Diegues, Manuel Ribeiro, João Borges de Sousa, "Comprehensive Habitat Mapping of a Littoral Marine Park," OCEANS 2019 - Marseille, Marseille, France, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/OCEANSE.2019.8867074. (apresentado por Keila Lima)

A. Diegues, J. Pinto, P. Ribeiro, "Automatic Habitat Mapping using Convolutional Neural Networks," 2018 IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicle Workshop (AUV), Porto, Portugal, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/AUV.2018.8729787. (apresentado por André Diegues)

6.2 Teses

André Diegues, "Automatic Habitat Mapping using Machine Learning (Master's Thesis)," 2018, Online: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/118807/2/312218.pdf>

6.3 Apresentações orais

José Pinto, "Automatic Habitat Mapping using Unmanned Vehicles," Congresso Internacional Sistemas de Informação do Meio Marinho, Ofir, 5 de Fevereiro de 2019.

José Pinto, "Mapeamento automático de habitats utilizando AUVs," Workshop Indicadores de Monitorização de Áreas Marinhas Protegidas, Faro, 11 de Janeiro de 2019.

Anexo 1 – Exemplo de informação EXIF das imagens aéreas

ExifTool Version Number	11.88
File Name	DJI_0219.JPG
Directory	.
File Size	5.8 MB
File Modification Date/Time	2020:12:01 18:41:46+00:00
File Access Date/Time	2020:12:01 18:41:50+00:00
File Inode Change Date/Time	2020:12:01 18:41:47+00:00
File Permissions	rw-rw-r--
File Type	JPEG
File Type Extension	jpg
MIME Type	image/jpeg
Exif Byte Order	Little-endian (Intel II)
Image Description	DCIM\100MEDIA\DJI_0219.JPG
Camera Model Name	FC220
Orientation	Horizontal (normal)
X Resolution	72
Y Resolution	72
Resolution Unit	inches
Software	v02.08.506
Modify Date	2019:01:03 10:49:03
Y Cb Cr Positioning	Centered
Exposure Time	1/313
F Number	2.2
Exposure Program	Program AE
ISO	100
Exif Version	230
Date/Time Original	2019:01:03 10:49:02
Create Date	2019:01:03 10:49:02
Components Configuration	-, Cr, Cb, Y
Compressed Bits Per Pixel	3.847907333
Shutter Speed Value	1/313
Aperture Value	2.2
Exposure Compensation	0
Max Aperture Value	2.2
Subject Distance	0 m
Metering Mode	Center-weighted average
Light Source	Unknown
Flash	No flash function
Focal Length	4.7 mm
Warning	[minor] Possibly incorrect maker notes
Make	DJI
Speed X	-1.2
Speed Y	2.4
Speed Z	0.1
Pitch	6
Yaw	176.4
Roll	-13.4
Camera Pitch	-90
Camera Yaw	179.8
Camera Roll	-179.9
Flashpix Version	10
Color Space	sRGB

Exif Image Width	4000
Exif Image Height	3000
Interoperability Index	R98 - DCF basic file (sRGB)
Interoperability Version	100
Exposure Index	undef
File Source	Digital Camera
Scene Type	Directly photographed
Custom Rendered	Normal
Exposure Mode	Auto
White Balance	Manual
Digital Zoom Ratio	undef
Focal Length In 35mm Format	26 mm
Scene Capture Type	Standard
Gain Control	None
Contrast	Normal
Saturation	Normal
Sharpness	Hard
Device Setting Description	(Binary data 4 bytes, use -b option to extract)
Subject Distance Range	Unknown
GPS Version ID	2.3.0.0
GPS Latitude Ref	North
GPS Longitude Ref	West
GPS Altitude Ref	Below Sea Level
XP Comment	0.9.143
XP Keywords	N
Compression	JPEG (old-style)
Thumbnail Offset	41984
Thumbnail Length	7812
About	DJI Meta Data
Format	image/jpg
Absolute Altitude	-47.18
Relative Altitude	100.2
Gimbal Roll Degree	-179.9
Gimbal Yaw Degree	179.8
Gimbal Pitch Degree	-90
Flight Roll Degree	-13.4
Flight Yaw Degree	176.4
Flight Pitch Degree	6
Version	7
Has Settings	False
Has Crop	False
Already Applied	False
MPF Version	10
Number Of Images	2
MP Image Flags	Dependent child image
MP Image Format	JPEG
MP Image Type	Large Thumbnail (VGA equivalent)
MP Image Length	284028
MP Image Start	5829993
Dependent Image 1 Entry Number	0
Dependent Image 2 Entry Number	0
Image UID List	(Binary data 66 bytes, use -b option to extract)
Total Frames	1
Image Width	4000

Image Height	3000
Encoding Process	Baseline DCT, Huffman coding
Bits Per Sample	8
Color Components	3
Y Cb Cr Sub Sampling	YCbCr4:2:2 (2 1)
Aperture	2.2
Image Size	4000x3000
Megapixels	12
Scale Factor To 35 mm Equivalent: 5.5	
Shutter Speed	1/313
Thumbnail Image	(Binary data 7812 bytes, use -b option to extract)
GPS Altitude	47.1 m Below Sea Level
GPS Latitude	41 deg 33' 5.77" N
GPS Longitude	8 deg 47' 36.48" W
Preview Image	(Binary data 284028 bytes, use -b option to extract)
Circle Of Confusion	0.005 mm
Field Of View	69.4 deg
Focal Length	4.7 mm (35 mm equivalent: 26.0 mm)
GPS Position	41 deg 33' 5.77" N, 8 deg 47' 36.48" W
Hyperfocal Distance	1.86 m
Light Value	10.6

Anexo 2 – Informação geográfica constante de mosaico aéreo

```
Driver: GTiff/GeoTIFF
Files: 40to46_Orthomosaic_export_TueOct20120134385741_part1_modifiedv1.tif
Size is 48043, 69070
Coordinate System is:
PROJCRS["ETRS89-extended / LAEA Europe",
  BASEGEOGCRS["ETRS89",
    DATUM["European Terrestrial Reference System 1989",
      ELLIPSOID["GRS 1980",6378137,298.257222101,
        LENGTHUNIT["metre",1]]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
      ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
    ID["EPSG",4258]],
  CONVERSION["Europe Equal Area 2001",
    METHOD["Lambert Azimuthal Equal Area",
      ID["EPSG",9820]],
    PARAMETER["Latitude of natural origin",52,
      ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
      ID["EPSG",8801]],
    PARAMETER["Longitude of natural origin",10,
      ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
      ID["EPSG",8802]],
    PARAMETER["False easting",4321000,
      LENGTHUNIT["metre",1],
      ID["EPSG",8806]],
    PARAMETER["False northing",3210000,
      LENGTHUNIT["metre",1],
      ID["EPSG",8807]]],
  CS[Cartesian,2],
  AXIS["northing (Y)",north,
    ORDER[1],
    LENGTHUNIT["metre",1]],
  AXIS["easting (X)",east,
    ORDER[2],
    LENGTHUNIT["metre",1]],
  USAGE[
    SCOPE["unknown"],
    AREA["Europe - LCC & LAEA"],
    BBOX[24.6,-35.58,84.17,44.83]],
  ID["EPSG",3035]]
Data axis to CRS axis mapping: 2,1
Origin = (2764421.423324642702937,2248401.817666178569198)
Pixel Size = (0.035679075802438,-0.035679075802438)
Metadata:
  AREA_OR_POINT=Area
Image Structure Metadata:
  COMPRESSION=LZW
  INTERLEAVE=PIXEL
```

Corner Coordinates:

Upper Left (2764421.423, 2248401.818) (8d48'42.25"W, 41d34'44.13"N)
Lower Left (2764421.423, 2245937.464) (8d48'17.94"W, 41d33'26.75"N)
Upper Right (2766135.553, 2248401.818) (8d47'30.19"W, 41d34'57.92"N)
Lower Right (2766135.553, 2245937.464) (8d47' 5.91"W, 41d33'40.54"N)
Center (2765278.488, 2247169.641) (8d47'54.07"W, 41d34'12.34"N)

Anexo 3 – Exemplo de dados XYZ de batimetria

41.4962359, -8.8257744, 31.19
41.4962368, -8.8257645, 31.35
41.4962378, -8.8257539, 31.61
41.4962389, -8.8257426, 31.95
41.4962400, -8.8257312, 32.23
41.4962410, -8.8257201, 32.39
41.4962420, -8.8257091, 32.47
41.4962430, -8.8256984, 32.48
41.4962440, -8.8256875, 32.47
41.4962451, -8.8256764, 32.46
41.4962462, -8.8256650, 32.44
41.4962473, -8.8256532, 32.43
41.4962484, -8.8256406, 32.47
41.4962497, -8.8256276, 32.53
41.4962509, -8.8256141, 32.58
41.4962521, -8.8256011, 32.53
41.4962534, -8.8255880, 32.43
41.4962546, -8.8255751, 32.29
41.4962558, -8.8255616, 32.16
41.4962573, -8.8255464, 32.14
41.4962588, -8.8255296, 32.19
41.4962605, -8.8255116, 32.28
41.4962622, -8.8254932, 32.33
41.4962639, -8.8254750, 32.30
41.4962656, -8.8254571, 32.18
41.4962674, -8.8254380, 32.09
41.4962695, -8.8254157, 32.13
41.4962719, -8.8253901, 32.29
41.4962744, -8.8253637, 32.40
41.4962767, -8.8253386, 32.34
41.4962362, -8.8258106, 31.22
41.4962371, -8.8258022, 31.17
41.4962380, -8.8257938, 31.09
41.4962389, -8.8257851, 31.07
41.4962399, -8.8257761, 31.10
41.4962410, -8.8257664, 31.22
41.4962421, -8.8257560, 31.47

(...)

Anexo 4 - Informação geográfica do mosaico de batimetria

```
Driver: GTiff/GeoTIFF
Files: pnln_1m.tif
Size is 7459, 17754
Coordinate System is:
PROJCRS["ETRS89-extended / LAEA Europe",
  BASEGEOGCRS["ETRS89",
    DATUM["European Terrestrial Reference System 1989",
      ELLIPSOID["GRS 1980",6378137,298.257222101,
        LENGTHUNIT["metre",1]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
      ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
    ID["EPSG",4258]],
  CONVERSION["Europe Equal Area 2001",
    METHOD["Lambert Azimuthal Equal Area",
      ID["EPSG",9820]],
    PARAMETER["Latitude of natural origin",52,
      ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
      ID["EPSG",8801]],
    PARAMETER["Longitude of natural origin",10,
      ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
      ID["EPSG",8802]],
    PARAMETER["False easting",4321000,
      LENGTHUNIT["metre",1],
      ID["EPSG",8806]],
    PARAMETER["False northing",3210000,
      LENGTHUNIT["metre",1],
      ID["EPSG",8807]]],
  CS[Cartesian,2],
  AXIS["northing (Y)",north,
    ORDER[1],
    LENGTHUNIT["metre",1]],
  AXIS["easting (X)",east,
    ORDER[2],
    LENGTHUNIT["metre",1]],
  USAGE[
    SCOPE["unknown"],
    AREA["Europe - LCC & LAEA"],
    BBOX[24.6,-35.58,84.17,44.83]],
  ID["EPSG",3035]]
Data axis to CRS axis mapping: 2,1
Origin = (2759979.000000000000000,2252920.000000000000000)
Pixel Size = (1.000000000000000,-1.000000000000000)
Metadata:
  AREA_OR_POINT=Area
Image Structure Metadata:
  INTERLEAVE=PIXEL
Corner Coordinates:
```

Upper Left (2759979.000, 2252920.000) (8d52'33.68"W, 41d36'30.15"N)
Lower Left (2759979.000, 2235166.000) (8d49'38.36"W, 41d27'12.74"N)
Upper Right (2767438.000, 2252920.000) (8d47'19.99"W, 41d37'30.27"N)
Lower Right (2767438.000, 2235166.000) (8d44'25.39"W, 41d28'12.69"N)
Center (2763708.500, 2244043.000) (8d48'29.22"W, 41d32'21.52"N)
Band 1 Block=7459x1 Type=Float32, ColorInterp=Gray
Band 2 Block=7459x1 Type=Float32, ColorInterp=Undefined