



HIDROGRAFIA APLICADA A OBRAS PORTUÁRIAS E COSTEIRAS

Margarida Balhau; Micael Le Coz; Bruno Brilhante; Victor Silva
Atlanticland Consulting margarida@atlanticland.pt, Atlanticland Consulting micael@atlanticland.pt,
Atlanticland Consulting bruno@atlanticland.pt, Atlanticland Consulting victor@atlanticland.pt

Introdução

A AtlanticLand desenvolve trabalhos na área da hidrografia há 10 anos. Estes trabalhos têm um largo espetro de finalidades, no entanto, há um enfoque maior no apoio a obras marítimas.

De forma a dar resposta às necessidades dos *stakeholders* de infraestruturas marítimas e fluviais, há um conjunto de produtos que podem ser fornecidos que derivam de Levantamentos Hidrográficos e que têm uma grande importância no que diz respeito à tomada de decisão.

Os Levantamentos hidrográficos permitem um conhecimento da evolução batimétrica do fundo. Resultante destes levantamentos pode obter-se um amplo conjunto de produtos finais dos quais são exemplo: modelos batimétricos do fundo, grelhas de pontos resultantes destes mesmos modelos e imagens georreferenciadas. Acoplado a estes pode ainda haver recolha de amostras sedimentares para posterior análise físico-química ou para apoio à calibração de modelos de retrodispersão acústica.

De entre as várias finalidades dos referidos levantamentos, podemos referir as três que têm uma maior representatividade:

- Operações de dragagem: são realizados levantamentos em várias fases da obra. É necessária uma avaliação inicial, uma avaliação contínua do trabalho, sendo esta traduzida pela realização de levantamentos hidrográficos consecutivos e por fim, uma avaliação final. Estes levantamentos traduzirão a evolução da batimetria do fundo até à cota de dragagem pretendida, bem como permitirá a realização de cálculo de volumes da dragagem;
- Monitorização de estruturas imersas: levantamentos que podem ser requeridos após tempestade, para avaliação de estragos e possível deslocamento de estruturas, permitindo a identificação precisa do novo local destas e fornecendo uma imagem, através do modelo batimétrico ou da nuvem de pontos, que permita ter uma visão geral do estado de preservação ou degradação da construção;
- Monitorização de sedimentos onde, tendo dados de campanhas consecutivas, é possível avaliar um conjunto de indicadores como cálculo de volumes, imagens resultantes destes cálculos de volumes (onde se podem verificar zonas de acreção e erosão) e diferenças na morfologia de fundo;

Serão apresentados exemplos de cada uma das finalidades descritas de forma a permitir ter uma ideia visual de todos os elementos acima referidos.

A AtlanticLand Consulting, Lda.

A AtlanticLand Consulting Lda. é uma empresa que desenvolve a sua atividade nas áreas da topografia e hidrografia. Contando já com 12 anos de existência, começou a desenvolver trabalhos na área da hidrografia em 2012, contando assim com 10 anos de experiência nesta área.

De entre os vários serviços que oferece, destacam-se os levantamentos batimétricos com recurso a feixe simples, levantamentos batimétricos com recurso a multifeixe, levantamentos topográficos com métodos convencionais ou através de sistema LiDAR, de apoio aos levantamentos hidrográficos.

A evolução da empresa tem sido contínua e, neste momento, conta já com a colaboração de 32 funcionários, dispondo de frota e equipamentos próprios para a realização dos seus trabalhos, bem como de profissionais qualificados e acreditados para o desempenho das funções a que se



propõe.

Frota e equipamento

De entre os vários equipamentos disponibilizados pela empresa, podem destacar-se, na área da hidrografia, três sistemas multifeixe e dois sistemas feixe simples. De forma a operar com estes equipamentos, estão à disposição vários tipos de embarcações.

Totalizam-se 5 embarcações dedicadas aos levantamentos que se podem realizar, nomeadamente: o *AtlanticLand I*, o *Ingomar*, a *ATLAS I*, a *ATLAS II* e o *CAMÕES*. As três primeiras embarcações são dedicadas a sistema multifeixe e feixe simples, sendo que a primeira foi concebida e preparada especificamente para o sistema multifeixe dual-head. A *ATLAS I*, a *ATLAS II* e o *CAMÕES*, duas motas de água e um barco semirrígido, respetivamente, são embarcações dedicadas a levantamentos com recurso a sistema feixe simples.

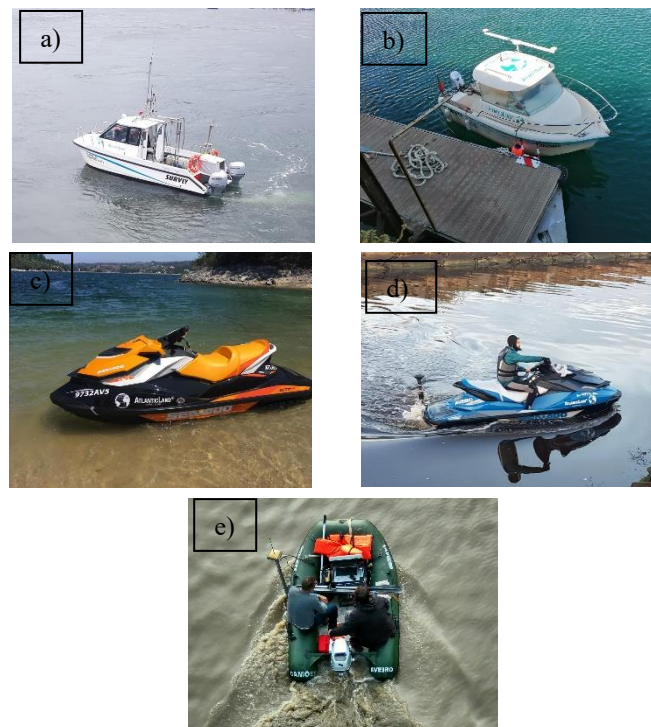


Figura 1. Embarcações dedicadas a levantamentos hidrográficos. a) *ATLANTICLAN I*; b) *INGOMAR*; c) *ATLAS I*; d) *ATLAS II*; e) *CAMÕES*.

Hidrografia aplicada à engenharia

De forma a perceber a importância da hidrografia em obras de engenharia, é necessário perceber o significado deste conceito que, de acordo com o dicionário de hidrografia da Organização Hidrográfica Internacional vem:

“Hidrografia - A hidrografia é o ramo das ciências aplicadas que trata da medição e descrição das características físicas dos oceanos, mares, zonas costeiras, lagos e rios, bem como da previsão da sua mudança ao longo do tempo, com o objetivo principal de segurança da navegação e de apoio a todas as outras atividades marinhas, incluindo o desenvolvimento económico, segurança e defesa, investigação científica, e proteção ambiental.” (Hydrography Dictionary S-32, 1994)

Assim, a hidrografia trata da cartografia subaquática, conseguindo descrever características



físicas de todos os corpos de água no planeta (mares, rios, lagos, barragens, etc.).

Hoje em dia, a hidrografia é bastante útil não só para efeitos de segurança à navegação (que acaba por estar inerente em todos os levantamentos realizados), bem como para apoio a atividades marinhas, das quais se podem destacar a investigação científica, a segurança e defesa, a proteção e gestão ambiental e também as dragagens e manutenção de portos e estruturas de proteção costeira.

Como tal, a realização de levantamentos hidrográficos pode ter vários objetivos, tendo em conta o fim para o qual vão servir.

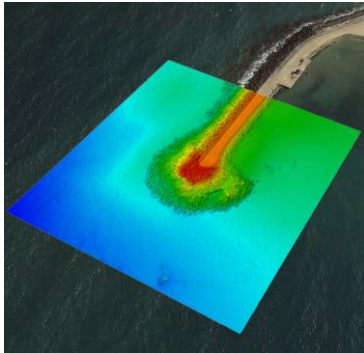
Antes de introduzir quais os elementos que podem ser entregues para apoio à tomada de decisão é importante perceber a diferença entre técnicas de aquisição tendo em conta a finalidade de cada levantamento. Sendo assim, apesar de os produtos finais não serem muito díspares, o nível de confiança, de precisão e exatidão são diferentes.

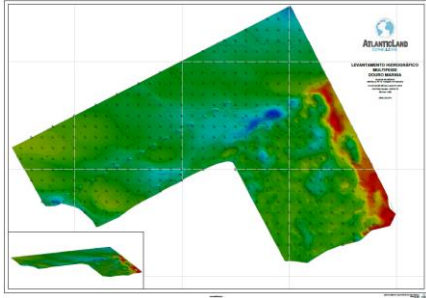
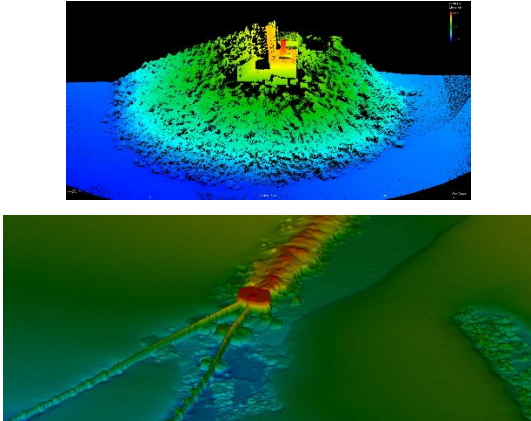
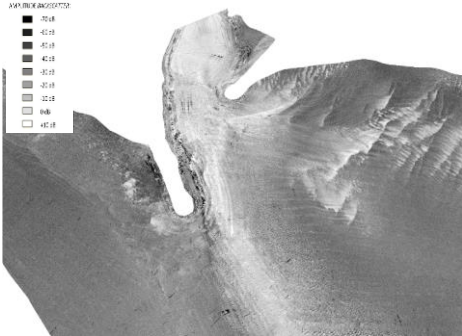
Dependendo do intervalo de profundidades de cada trabalho, por vezes é necessário recorrer a mais do que uma técnica para obter a totalidade de dados batimétricos. O multifeixe é utilizado até que as condições subaquáticas permaneçam favoráveis em termos de profundidade e segurança à navegação. Na impossibilidade de atingir certos locais recorrendo a multifeixe, os dados são completados com recurso a feixe simples que opera a bordo de uma mota de água, por esta apresentar uma maior adaptabilidade a zonas onde há maior perigo de navegação.

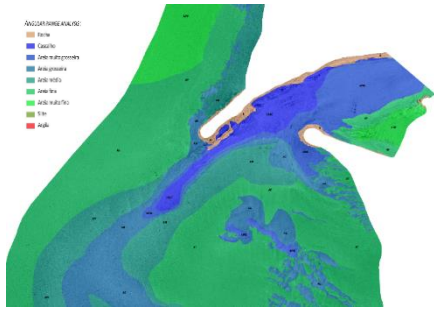
Aquando a monitorização de estruturas, muitas vezes é utilizado um *sistema laser scanner* que irá complementar o levantamento batimétrico com a sua componente emersa. Surge assim um levantamento hidrográfico com integração de dados entre a componente imersa e emersa, para avaliação da estrutura como um todo.

Após a aquisição e processamento de dados, alguns dos produtos finais que se obtêm e são entregues para satisfazer as necessidades dos *stakeholders* e ajudar na tomada de decisão encontram-se descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Produtos finais e sua descrição.

Produtos Finais	
Modelo Batimétrico ou Topo-Batimétrico	Permitem obter uma imagem georreferenciada da área de interesse, onde facilmente se consegue identificar as diferentes profundidades neles existentes. 
Ficheiros ASCII	Estes ficheiros podem apresentar diferentes resoluções e compreendem as profundidades registadas na área em estudo (sondas validadas após o processamento), referidas a um nível de referência ou <i>datum</i> vertical (normalmente o Zero Hidrográfico, ZH).
Isobatimétricas	Depois de realizada a triangulação entre os pontos após o processamento, obtêm-se o modelo digital do terreno de onde é se obtém

	<p>um conjunto de isobatimétricas que tornem perceptível as características morfológicas do fundo.</p>
<p>Peças desenhadas</p>	<p>Conjugam todos os elementos referidos acima. Apresentam a imagem georreferenciada, as sondas, as isobatimétricas e outros elementos que sejam considerados de interesse.</p> 
<p>Imagens 3D</p>	<p>Imagens retiradas ou da nuvem de pontos total do levantamento ou do modelo batimétrico resultante.</p> 
<p>Boletins de caracterização sedimentar</p>	<p>Após a recolha de amostras sedimentares em zonas de interesse, estas são sujeitas a uma análise granulométrica que vem posteriormente descrita neste boletim.</p>
<p>Mosaico Backscatter</p>	<p>Fornecer informação acerca da variabilidade e distribuição espacial dos diferentes tipos de sedimentos. Numa escala normalizada, materiais mais refletivos (rocha) traduzem-se em tons de cinza mais claro e materiais menos refletivos traduzem-se em tons de cinza mais escuro.</p> 

<p>Caraterização ARA</p>	<p>De forma a caraterizar os sedimentos superficiais recorre-se à técnica <i>Angular Range Analysis</i> (ARA), conjugada com a análise granulométrica e identificação do tipo de sedimento origina mapas de distribuição espacial de sedimentos.</p> 
-------------------------------------	---

Levantamentos hidrográficos para operações de dragagens

Uma definição simples de dragagem é que é uma escavação subaquática de solo e rocha. (Bray & Cohen, 2010)

De acordo com Bray & Cohen, dragar é essencial para a construção e manutenção da navegação e projetos de portos. Este processo consiste em quatro fases:

- 1) Escavação;
- 2) Transporte vertical;
- 3) Transporte Horizontal;
- 4) Recolocação ou isso do material dragado

O papel da hidrografia em trabalhos deste âmbito foca-se na realização de levantamentos hidrográficos que permitam descrever o fundo. Assim, é importante a realização de vários levantamentos ao longo de toda a empreitada para ter uma noção da batimetria antes, durante e após a operação de dragagem. Estes levantamentos têm extrema importância, uma vez que terão grande influência para os decisores.

De seguida apresentam-se alguns exemplos de trabalhos realizados neste âmbito pela AtlanticLand.

Trabalhos de dragagem de Sedimentos – Leixões

Os trabalhos de dragagem desenvolvidos para a DEME Group no Porto de Leixões, no âmbito da Empreitada de Prolongamento do quebra-mar e das acessibilidades marítimas do Porto de Leixões, compreende duas fases, sendo que os resultados aqui apresentados dizem respeito à primeira fase que decorreu no último trimestre de 2021.

Uma obra deste tipo obriga à realização de um levantamento inicial para base ou referência, estudo evolutivo e análise final. Por vezes a dimensão e obstáculos à aquisição por um único meio ou sistema obriga à utilização de outros para completagem. Serve este projeto para exemplo da junção de dados batimétricos adquiridos com recurso a sistema multifeixe em embarcação de sondagem e dados feixe simples, adquiridos por mota de água, em zonas de baixa profundidade e rebentação.

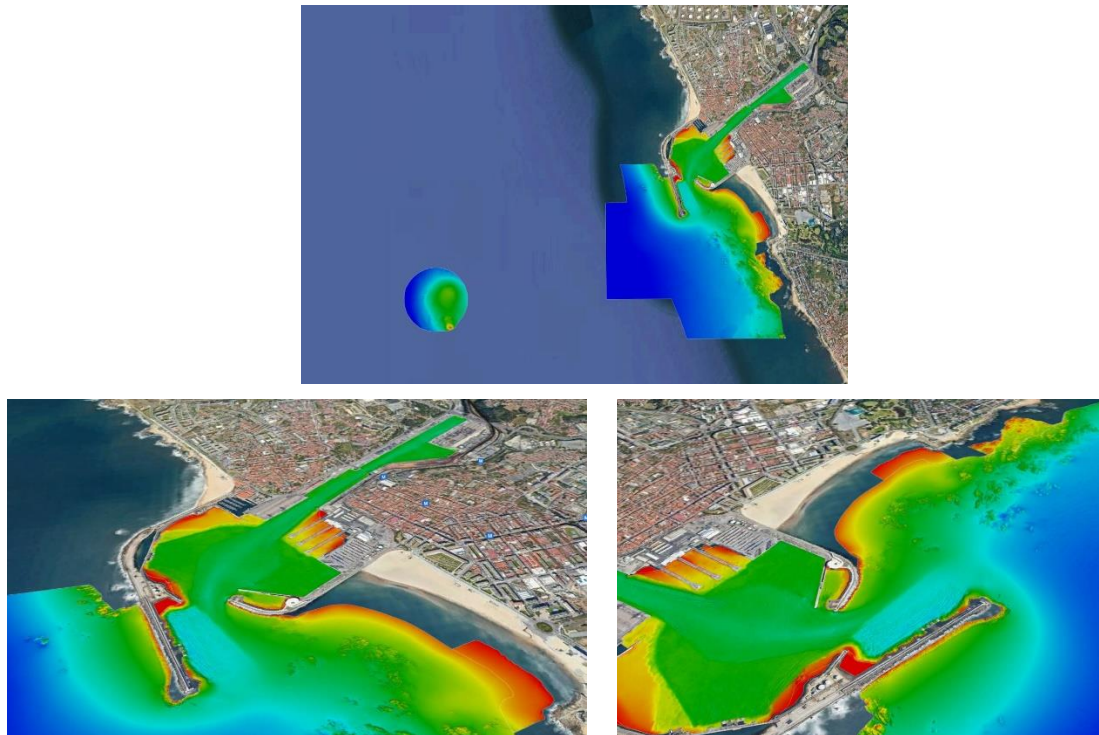


Figura 2. Imagens georreferenciadas do modelo batimétrico correspondente ao levantamento inicial no Porto de Leixões.

Um exemplo direto da vantagem e importância desta integração de técnicas é a possibilidade de análise de acreção após depósito de sedimentos, numa parte de área que a cobertura por multifeixe não era possível. Numa das zonas de depósito localizadas *inshore* (DUMP3) foi realizada a sua alimentação com sedimentos extraídos das dragagens do Canal de Acesso e Bacia de Manobras do Porto, pela draga *TSHD MEUSE RIVER* com a técnica *rainbowing* (Figura 3).

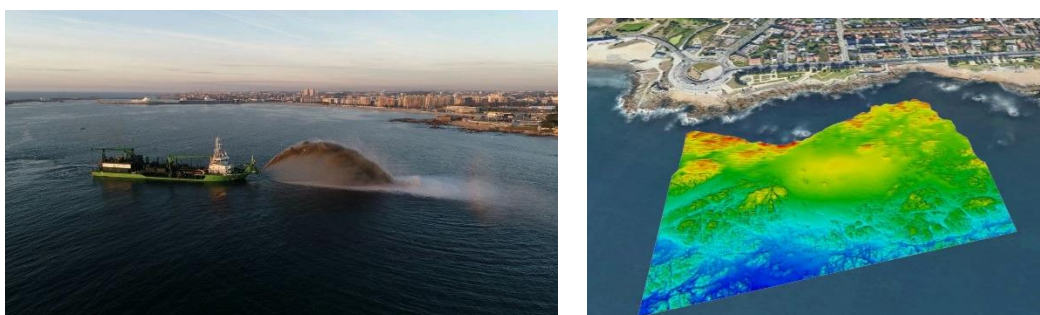


Figura 3. Deposição de dragados com a técnica *rainbow* no DUMP 3 e posterior levantamento hidrográfico com recurso a multifeixe e feixe simples.

No decorrer das operações de dragagem, foram realizados levantamentos multifeixe diários para acompanhamento e controlo. No fim das operações intermédias realizou-se um levantamento global da área de atuação para atualização batimétrica e estudo de volumes dragados (Figura 4).



Figura 4. Imagens georreferenciadas do modelo batimétrico correspondente ao levantamento final no Porto de Leixões.

Levantamento hidrográfico para manutenção de dragagens do Porto Skhirat

Foram realizados, durante os meses de Dezembro de 2021 e Janeiro de 2022, dragagens de manutenção do Porto de Skhirat em Marrocos, para apoio ao trabalho de dragagem desenvolvido pela DRAGUS INT, S.A..

No início do projeto houve um levantamento inicial (Figura 5) que serviu para conhecer a morfologia do fundo da zona bem como para ajudar a perceber qual seria o volume de sedimentos a dragar para cumprir as cotas de dragagem do projeto.

Todos os dias, durante o decorrer da obra, foram realizados levantamentos batimétricos para sucessiva atualização da batimetria de fundo e forneceu-se ao cliente o ficheiro ASCII com as sondas validadas após o processamento.

Por fim, aquando do cumprimento do valor da cota de dragagem do projeto, realizou-se um levantamento final do qual resultaram peças desenhadas, ficheiros ASCII com sondas validadas, isobatimétricas e uma imagem georreferenciada.

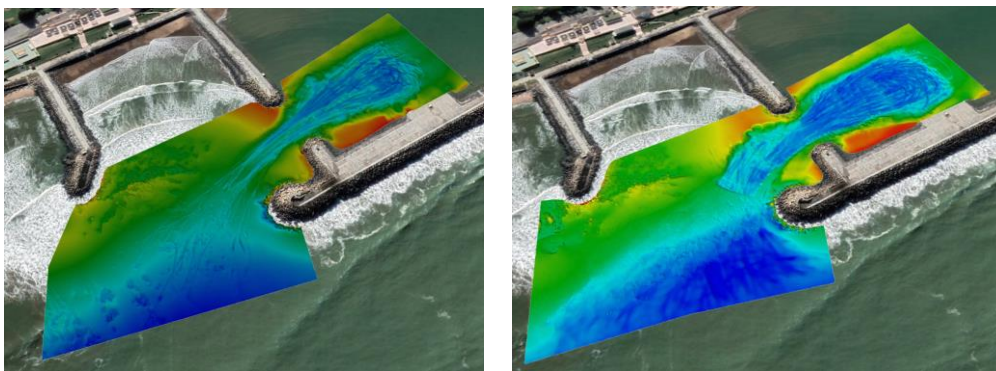


Figura 5. Imagens georreferenciadas dos levantamentos batimétricos inicial e final no Porto de Skhirat, respetivamente.

Levantamentos hidrográficos para monitorização de estruturas imersas

A monitorização e observação de estruturas imersas fornece informação de grande relevância para o controlo e verificação da integridade das estruturas, permitindo identificar a evolução da obra, as deformações e deterioração estrutural. Seguem dois exemplos deste tipo de



monitorização.

Levantamento hidrográfico multifeixe do emissário submarino CELBI/SOPORCEL

Realizaram-se dois levantamentos multifeixe para monitorização do emissário submarino pertencente à CELBI/SOORCEL junto à praia da Leirosa – Figueira da Foz. Estes levantamentos realizaram-se em 2017 e em 2020.

Comparando e analisando estes dois levantamentos, foi possível detetar alterações no cobrimento ou descobrimento do emissário, assim como também perceber a quantidade de acreção e erosão, ocorrida entre as duas épocas.



Figura 6. Superfície batimétrica representativa das diferenças entre LH2020 vs LH2017.

A azul é representada a zona de acreção e a vermelho a de erosão, estando os novos troços de emissário localizados nas zonas de erosão.

Ao analisar a o emissário percebe-se o descobrimento de algumas zonas, nomeadamente mais a oeste:

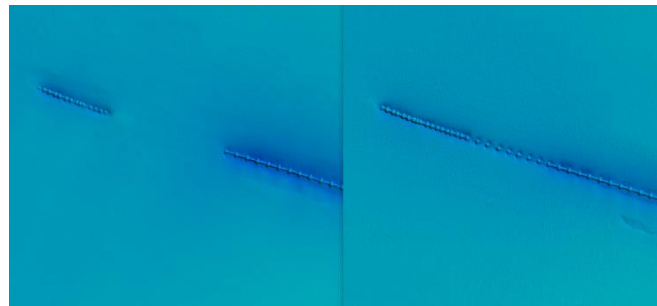


Figura 7. Descobrimto de emissário, com LH 2017 (esquerda) e LH 2020 (direita).

Mais próximo á linha de praia foi detetado novo descobrimento do emissário submarino (figura 8), numa zona onde as baixas profundidades e rebentação impossibilitaram a aquisição de mais informação.

Depois de validados os dados adquiridos, foi também registada a rotação de cada bloco de ancoragem detetado no emissário. A forma de medir essa rotação encontra-se na Figura 9 e esta é medida com recurso ao *software* PDS2000.

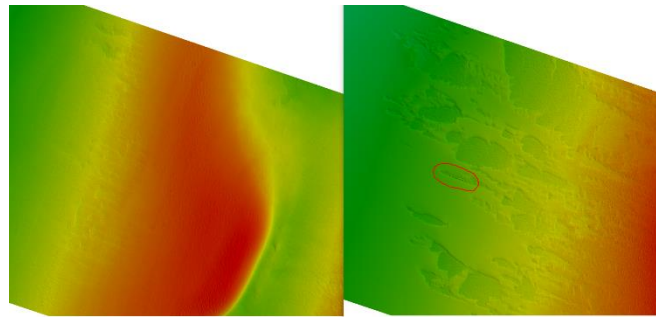


Figura 8. Descobrimto de emissário, com LH 2017 (esquerda) e LH 2020 (direita).

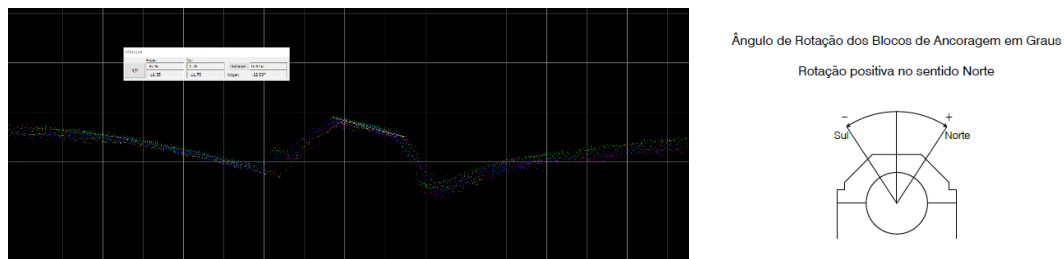


Figura 9. Rotação de um bloco de ancoragem com recurso a PDS2000.

Levantamento Topo-hidrográfico 3D – Porto da Ericeira

Foram realizados levantamentos topo-hidrográficos com sistema multifeixe e sistema *laser scanner dinâmico* de alta resolução, com o objetivo de reconhecer os fundos e estruturas (domínio imerso e emerso). Neste projeto procedeu-se à integração de dados resultantes do sistema multifeixe e do sistema *laser scanner*, de modo a permitir acompanhar a evolução de todo o molhe desde a zona imersa até à zona emersa. Para garantir a qualidade da integração dos dados é necessário que haja uma sobreposição dos mesmos (Figura 10), assim, o levantamento multifeixe foi executado aquando a preia-mar e o levantamento com sistema *laser* foi executado durante a baixa-mar.

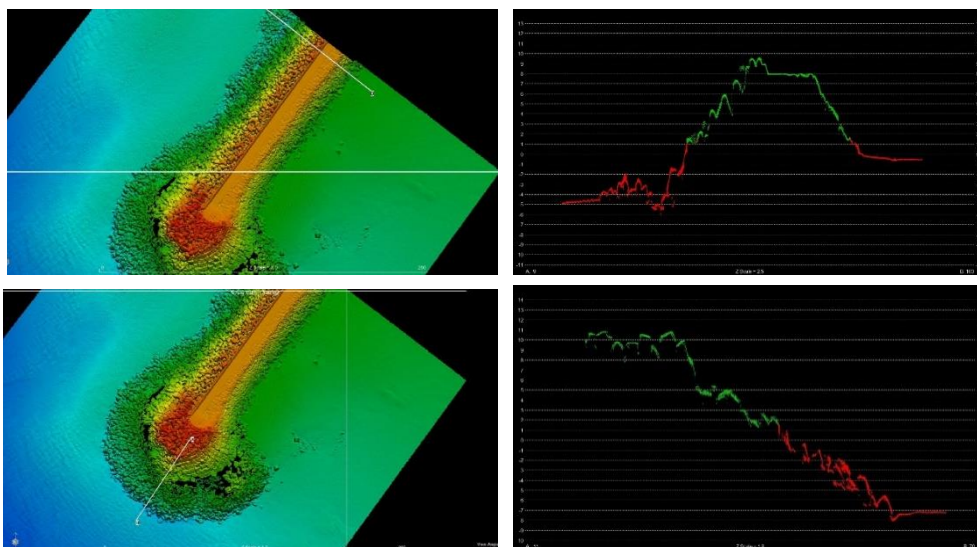


Figura 10. Integração de dados das componentes batimétrica (a vermelho) e topográfica (a verde).

O modelo topo-batimétrico final encontra-se na Figura 11 sendo posteriormente comparado com levantamentos anteriores para acompanhamento da obra e visualização de possíveis deformações na estrutura.

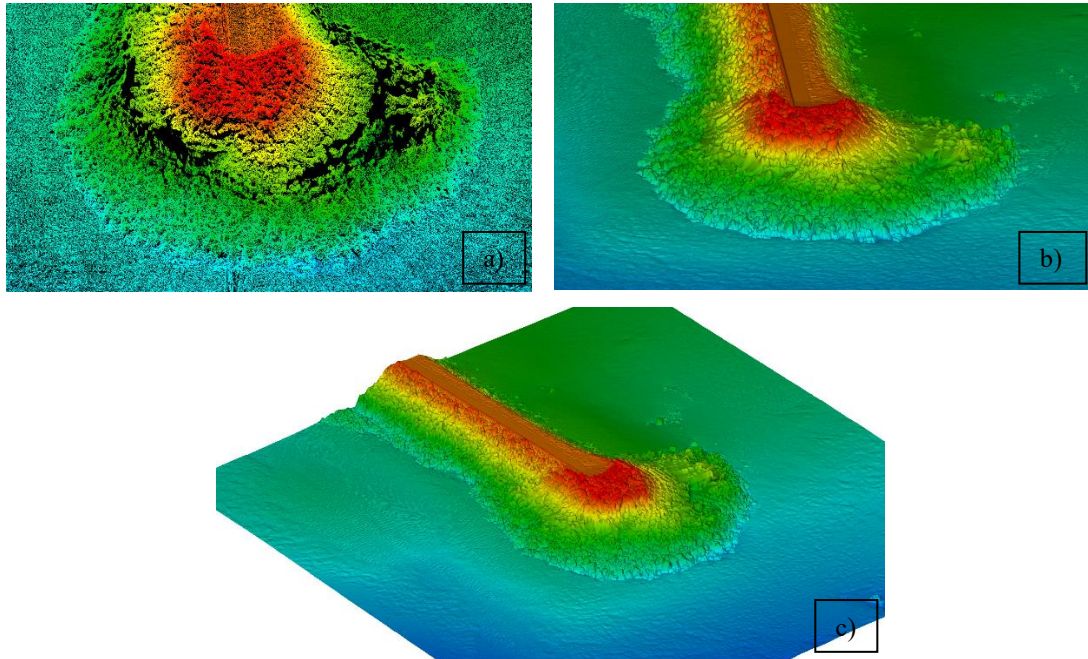


Figura 11. a) Imagens 3D da nuvem de pontos do levantamento topo-hidrográfico. b) Imagem do modelo topo-hidrográfico na mesma zona onde foi retirada a imagem 3D da nuvem de pontos; c) Modelo topo-batimétrico integral do levantamento.

Levantamentos hidrográficos para monitorização de sedimentos

A monitorização de sedimentos é realizada mediante a execução de campanhas sucessivas que avaliem uma mesma área de interesse e, posteriormente fazendo comparações como, por exemplo, o de cálculo de volumes.

Um dos maiores projetos desenvolvidos pela AtlanticLand, foi a componente hidrográfica do Programa Cosmo cuja finalidade é descrita na citação que se segue que englobou levantamentos topo-hidrográficos e realização de perfis totais de praia.

O “Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental - COSMO” consiste na recolha, processamento e análise de informação sobre a evolução das praias, dunas, fundos submarinos próximos e arribas ao longo da faixa costeira de Portugal Continental. O Programa COSMO foi concebido e desenvolvido pela Agência Portuguesa do Ambiente I.P., sendo cofinanciado pelo POSEUR – Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos, no âmbito de Aviso-Convite POSEUR-09-2015-25 referente à “Proteção do Litoral - Ações Materiais e Ações que visam a produção de conhecimento, gestão da informação e monitorização”.

O Programa COSMO teve uma duração de três anos, começando em 2018 e acabando em 2020. Abrangeu quatro regiões hidrográficas diferentes: a do Norte, a do Centro, a do Tejo-Oeste e a do Algarve, contemplando assim a realização de três campanhas no que diz respeito a levantamentos topo-hidrográficos.

Durante estas três campanhas foram realizados levantamentos batimétricos com recurso a multifeixe, feixe-simples e topografia clássica, integrando posteriormente todos estes dados, de

modo a obter uma superfície contínua. A integração destes dados permitiu a geração de modelos digitais de terreno para cada uma das áreas levantadas.

De forma a complementar estes levantamentos e permitindo assim um conhecimento mais aprofundado não só da morfologia de fundo, mas também da sua composição, realizou-se a recolha de amostras em locais previamente definidos para realização do mosaico de backscatter, calibração do modelo geoacústico e consequente produção da caracterização sedimentar.

Entre campanhas consecutivas foram apresentados indicadores como o cálculo de volumes e produção de mapas cut & fill quer permitissem ver com clareza quais os locais que sofreram acreção ou erosão (Figura 12). Tomando como exemplo a zona de Aveiro, apresentam-se os resultados obtidos.

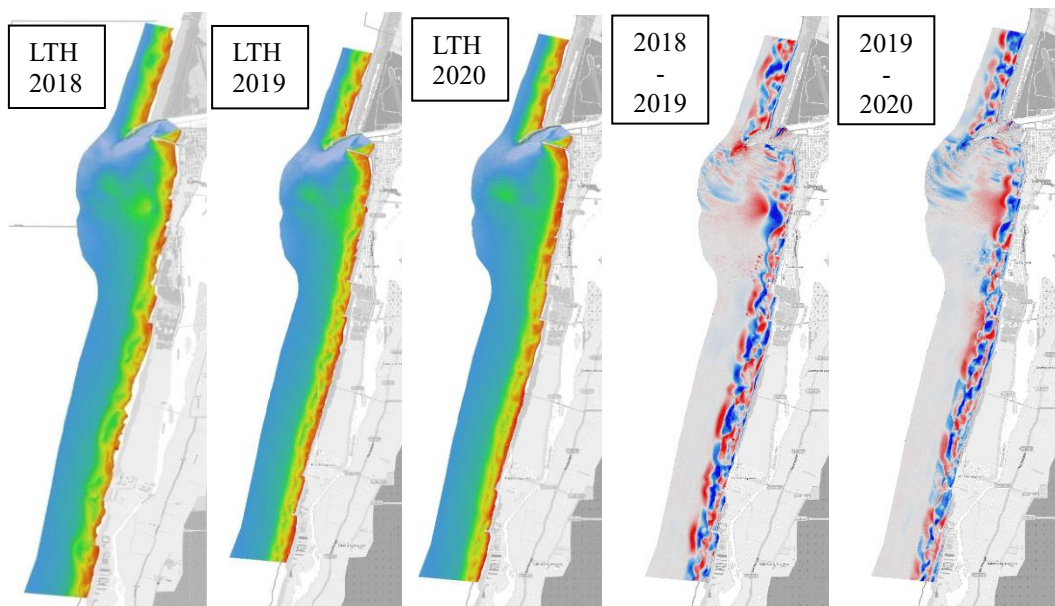


Figura 12. Campanhas sucessivas dos levantamentos topo-hidrográficos na zona de Aveiro e mapas *cut & fill* resultantes das diferenças entre campanhas consecutivas.

Tabela 2. Resultados do cálculo de volumes e das diferenças entre campanhas consecutivas na zona de Aveiro.

Área Total (m ²)	Volume de Acreção (m ³)	Volume de Erosão (m ³)	Varição Volumétrica (m ³)
24456500.00	10327113.00	14129424.54	-1353866.46
24462700.00	11890673.82	12572026.47	+252063.92

Como se pode verificar através da Tabela 2, houve um balanço sedimentar negativo de 2018 para 2019 e um balanço sedimentar positivo de 2019 para 2020.

De forma a complementar esta avaliação, foram recolhidas amostras durante a aquisição dos dados batimétricos. Estas serviram para calibração do modelo geoacústico posteriormente obtido. Obtiveram-se assim um mosaico *backscatter* e um mapa de distribuição de sedimentos por zona (Figura 13).

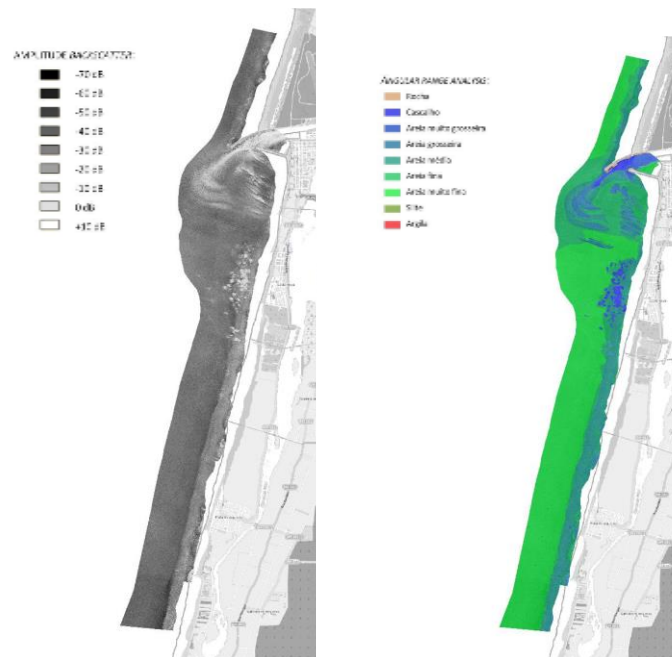


Figura 13. Mosaico *backscatter* e mapa de distribuição sedimentar da zona de Aveiro realizado após a campanha de 2020.

Considerações Finais

A Hidrografia é uma ciência que pode ser aplicada no contexto de obras de engenharia e serve como apoio à realização das mesmas.

Há diferentes técnicas de aquisição batimétrica e cada uma delas é utilizada consoante a finalidade de cada trabalho, bem como dos intervalos de profundidades onde se desenvolvem os levantamentos. Estes levantamentos batimétricos podem ainda ser complementados com levantamentos topográficos de alta resolução aquando a necessidade de se avaliar uma estrutura que contenha uma zona emersa relevante para o projeto.

Depois da aquisição e processamento de dados dos levantamentos hidrográficos, são gerados um conjunto de produtos finais que irão ajudar na tomada de decisão. Estes englobam imagens georreferenciadas, sondas validadas, isolinhas (isobatimétricas no caso de estarmos a avaliar apenas batimetria), peças desenhadas, imagens 3D, boletins de amostragem de sedimentos, mosaicos de *backscatter*, mapas de caracterização sedimentar, entre outros que podem ser especificamente solicitados.

Com o auxílio destes elementos, será possível obter um conjunto de indicadores como cálculos volumétricos (no caso das dragagens), perceção da morfologia de fundo bem como das profundidades da zona em estudo, identificação de deformações em estruturas (como no caso dos emissores, onde se conseguiu calcular o ângulo de rotação dos blocos de ancoragem), comparações entre acreção e erosão.

Todos estes elementos fornecidos pela componente hidrográfica são de grande valor, uma vez que têm de ser extremamente rigorosos e apresentam resultados que não se encontram disponíveis à vista desarmada.

Referências Bibliográficas

Bray, N. (Richard N., & Cohen, Marsha. (2010). *Dredging for development*. International Association of Dredging Companies, IADC. *Hydrography Dictionary*. (1994). Consultado a 28 de Novembro, 2021, from <http://iho-ohi.net/S32/index.php>