

SISTEMAS MULTIFEIXE - BATIMETRIA APLICADA A OBRAS DE ENGENHARIA

B. Brillhante (1)

(1) Atlanticland Consulting, Lda.. bruno@atlanticland.pt

Resumo: O objetivo do presente trabalho é avaliar a utilização de sistemas que permitem a aquisição de dados batimétricos, com elevada resolução e diminuto teor de incerteza posicional associado, no acompanhamento de obras de engenharia atuantes em zona imersa. Na necessidade de se obterem produtos finais cada vez mais claros e rigorosos, como acompanhamento, e até mesmo complemento aos mais diversos trabalhos e seus distintos objetivos, nomeadamente no controlo de barragens, pontes, obras portuárias, rotas de cabos submarinos, colocação de oleodutos, dragagens, instalação de plataformas e deteção de objetos, entre muitos outros, considera-se a execução do levantamento hidrográfico com ecossonda multifeixe como o método mais adequado. Aqui será estudada a aplicabilidade desta técnica para a monitorização de algumas fases de uma obra executada na Barragem de Crestuma, no rio Douro. É expectável verificar-se o contributo fornecido pela resolução espacial e alta densidade dos dados adquiridos através do sistema multifeixe e processados para obtenção de superfícies batimétricas.

Palavras chave: Levantamento hidrográfico, superfície batimétrica, sondador multifeixe.

1. INTRODUÇÃO

A AtlanticLand Consulting, Lda., organização privada recentemente especializada na área da hidrografia, tem vindo a desenvolver a sua atividade em projetos de engenharia civil, que exigem um conhecimento pormenorizado para o controlo de operações desenvolvidas e monitorização das estruturas já existentes. Em virtude da localização geográfica destes projetos, desenvolve-se uma intervenção vocacionada para a execução de levantamentos hidrográficos em águas muito pouco profundas, com equipamentos de pesquisa adequados, totalmente em linha com as suas demandas e requisitos. Os levantamentos hidrográficos são um elemento chave no acompanhamento deste tipo de trabalhos, exigindo-se um rigoroso processo de planeamento, aquisição e posterior tratamento dos dados, de modo a minimizar-se o valor da incerteza da medição das profundidades.

A execução de um trabalho hidrográfico, através de um sistema multifeixe, torna este método de aquisição de dados o mais complexo dos sistemas possíveis de ser utilizados no acompanhamento e desenvolvimento de obras de construção civil. Este fator exige um olhar atento e a existência de um controlo de qualidade em todas as suas fases. A quantidade de equipamentos inerentes, a necessidade da sua correta integração, parametrização, calibração, leitura e adequação às características do meio, exige o estabelecimento de um processo rigoroso da validação do volume de informação adquirida para obtenção de dados finais válidos.

Procura-se por este modo expor os resultados obtidos na realização de 3 dos vários levantamentos hidrográficos realizados a jusante da Barragem de Crestuma-Lever. Foram selecionadas épocas distintas e evolutivas da progressão dos trabalhos, desenvolvidos a jusante da estrutura, junto às bacias denominadas de 1E e 3E. Estão presentes nestes levantamentos as situações: pós dragagem inicial; impermeabilização e colocação de enrocamento como tapete de proteção da camada superior.

2. PRINCIPIOS FUNDAMENTAIS DE UM SISTEMA MULTIFEIXE

Os sondadores multifeixe proporcionam uma cobertura total do fundo marinho, com uma elevada densidade e taxa de aquisição de dados, e uma metodologia própria no que diz respeito à medição das profundidades, comparativamente a outros sistemas de mono-feixe. Este é um método indireto para a medição da profundidade, que através da medição do intervalo de tempo, entre o impulso acústico transmitido e o recebido pelo transdutor, regista indiretamente um comprimento, obtido pela relação entre outras grandezas de relação biunívoca conhecida.

No que diz respeito a acústica submarina, verifica-se a boa propagação das ondas acústicas nos meios elásticos, tendo em conta as propriedades físicas da água. Assim compreende-se que a energia acústica se propaga através da propagação da vibração das partículas no meio, criando alterações de densidade, por via dos sucessivos desequilíbrios traduzidos em compressões e expansões (OHI, 2005). A velocidade de propagação do som na água vai depender diretamente da densidade do meio em atuação, da sua temperatura, profundidade e salinidade, afetando também o comportamento da onda acústica ao nível da sua refração e retroespalhamento.

Tendo em conta o meio de atuação, o valor do sinal acústico emitido pelo transdutor deverá ser o suficientemente forte de modo a garantir que a onda refletida após o contacto do eco no fundo, seja recebida e que resulte numa relação sinal recebido/ruído ambiente (SNR) suficiente para a sua consideração como eco, por parte do sonar. Entende-se como equação sonar, $(SNR = SL - 2TL - NL + BS + DI)$, a relação entre sinal recebido/ruído ambiente, *signal to noise ratio*, e os somatórios dos valores da potência do sinal emitido, *source level*, (SL); focagem da energia emitida relativamente a uma propagação esférica, *directivity index*, (DI); nível de retroespalhamento, *backscatter strength*, (BS), diretamente dependente do ângulo de incidência em relação à vertical do nadir, da composição do fundo e do comprimento do impulso e conseqüentemente, da área que é insonificada por cada feixe. O valor correspondente ao nível de retroespalhamento vai ser tanto maior quanto maior o comprimento do seu impulso, bem como, quanto menor o valor do ângulo de incidência. Para o caso específico, tratando-se de um fundo irregular, sem a presença de lodos, um solo rico em areias cascalho e rochas, ocorre uma boa performance nos ângulos de maior abertura, pois a irregularidade do solo funciona como um espelho, refletindo o sinal no sentido do emissor/recetor. Para a completa abordagem das relações intrínsecas à equação sonar falta referir as perdas de transmissão, *transmission loss*, (TL), na direção da propagação do eco e do seu retorno, por espalhamento esférico, e atenuação devido à descontinuidade do meio; e subtração do valor referente ao nível de ruído, *noise level*, (NL) que depende do nível espectral de ruído ambiente (navio e estado do mar/meio) e largura de banda, que na diminuição desta reduz-se o nível de ruído mas em contrapartida perde-se a resolução em distância (IH, 2008).

3. OS COMPONENTES DE UM SISTEMA MULTIFEIXE

Um sistema multifeixe é composto pelo sondador, que compreende unidades responsáveis pela transmissão, receção e processamento da informação transmitida e recebida pelos transdutores. O sistema utilizado neste trabalho é o modelo EM3002 da kongsberg, que integra ainda uma unidade de operação das unidades anteriormente referidas. Os projetores do seu transdutor acústico, convertem impulsos elétricos em vibrações longitudinais, e os seus hidrofones detetam as vibrações de retorno e convertem de novo em energia elétrica de modo a ser interpretada pelo sistema.

Como equipamentos auxiliares: módulo de integração dos dados de posicionamento, Seapath 330, com os de atitude do sensor inercial MRU5. Deste modo cumpre-se a função de receber e integrar o conjunto de informação inercial e posicional resultante de dois recetores GNSS e uma estação de referência. Esta unidade calcula e envia para a unidade de processamento do sondador a posição, atitude e proa da embarcação.

Para a medição da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água, e para o controlo da mesma junto à face do transdutor, são necessário os dois distintos equipamentos auxiliares, em que nomeadamente foram utilizados os modelos da AML minus-x para perfilador na coluna de água e o micro-x, localizado à face do transdutor.

4. CASO DE ESTUDO

Pretende-se de uma forma sucinta, apresentar e defender o contributo que as superfícies batimétricas, resultantes dos vários levantamentos hidrográficos, ofereceram à condução da obra. Tratando-se de serviços de controlo e apoio à decisão de elevada importância, foi necessário estabelecer metas de compromisso para o cumprimento dos requisitos mínimos de incerteza que um projeto deste tipo de obra exige. Em função da área a sondar e do relevo do fundo esperado, foram executados levantamentos no intuito de fazer cumprir e respeitar as condições de especificação mais rigorosas nas normas S-44. Foi requerida e cumprida execução dos levantamentos classificados na Ordem Especial, conforme publicação S-44 da Organização Hidrográfica Internacional (OHI, 2008).

4.1. *Instalação do sistema Multifeixe na embarcação*

Nos casos específicos de monitorização de obras e trabalhos que se desenvolvem em áreas perfeitamente delimitadas, num local onde as profundidades são reduzidas, e como neste caso, ainda sujeito à variação de maré, considerou-se mais indicado a aplicação de todo este sistema numa embarcação de dimensões reduzidas e baixo calado. Uma embarcação com estas características obriga à existência de um sistema portátil e de fácil montagem a cada operação de sondagem. Neste processo será necessário garantir o posicionamento, orientação angular de cada um dos componentes que integram o sistema e uma instalação sem oscilações. Com a instalação do transdutor fora de borda, assegurou-se a existência de um fluxo de água linear à sua face, sem influência de esteiras e bolhas de água criadas pela embarcação no seu seguimento.

Com a embarcação fora de água e devidamente nivelada foram recolhidas distâncias lineares e angulares entre cada um dos componentes. Todas estas medições foram referenciadas ao plano de referência do sistema/embarcação, localizando-se o sensor inercial sobre o seu eixo e na vertical do transdutor. Os offsets calculados, tendo em conta a posição do MRU no centro do eixo do referencial, são colocados no menu de configuração do Seapath 330 na relação posicional entre componentes. As distâncias em relação ao transdutor e este eixo são introduzidas no software de aquisição dos dados *Seafloor Information System*, para que não exista duplicação de valores, tendo em atenção a orientação dos seus eixos (SIS, 2010).

No sentido de garantir a boa receção posicional, as antenas do sensor de posicionamento e a posição da antena do rádio, responsável pela receção da correção diferencial, devem encontrar-se em posições elevadas e desobstruídas.

4.2. *Provas de Calibração*

No início de cada sessão de sondagem foi efetuada a calibração do sistema sondador, de modo a efetivar a correta determinação dos desvios de orientação. Estas consistem na medição dos desvios da origem de medição do balanço, do cabeceio e proa, visto que o atraso em tempo é corrigido pelo sensor de posicionamento, eliminando-se assim a existência de latência na troca de informação entre equipamentos. É adotado um método sequencial com início numa correção grosseira do valor do roll, seguido do pitch, yaw e novamente roll para uma correção mais fina. Para cada uma das calibrações é seguido um procedimento próprio, como se indica:

4.2.1. *Roll*

Realização de 2 fiadas sobrepostas e em sentidos contrários, na presença de um fundo plano, a uma velocidade constante. De acordo com a figura 1 e com a criação de um corredor perpendicular às fiadas, avalia-se os feixes exteriores.

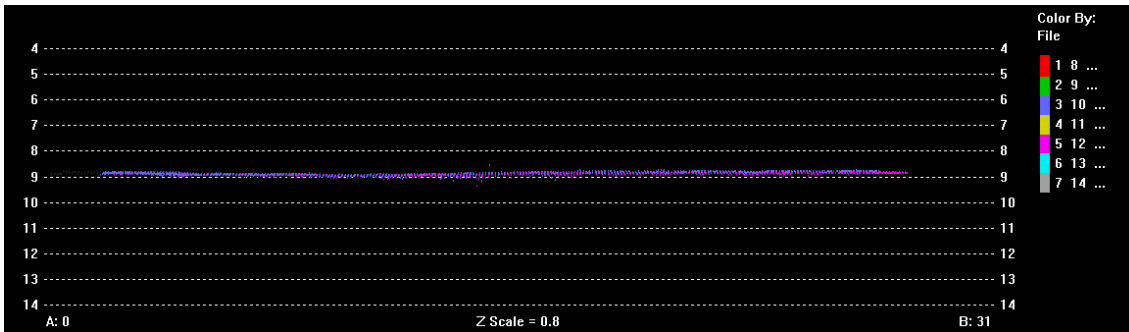


Fig. 1. Fiadas para calibração do roll.

4.2.2. Pitch

Realização de 2 fiadas sobrepostas e em sentidos contrários, na presença de um fundo com declive acentuado, preferencialmente ascendente e descendente, a uma velocidade constante. De acordo com a figura 2 e com a criação de um corredor paralelo às fiadas, avalia-se os feixes centrais.

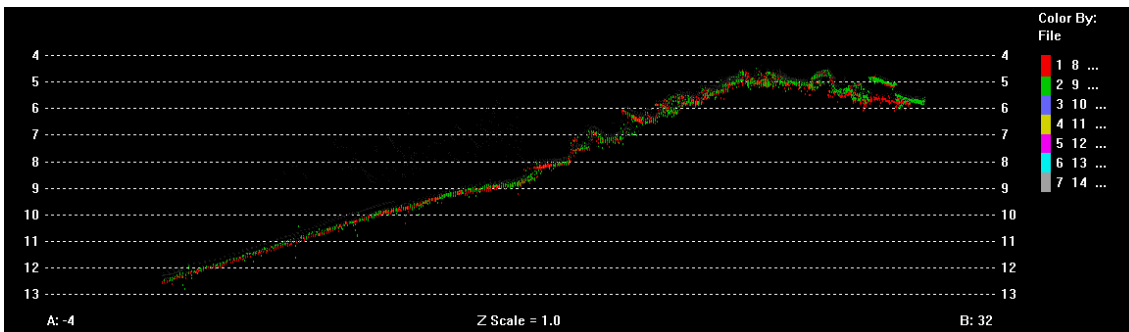


Fig. 2. Fiadas para calibração do pitch.

4.2.3. Yaw

Realização de 2 fiadas paralelas com o mesmo sentido e à mesma velocidade, na presença de um fundo plano onde facilmente se identifique uma estrutura, ou cruzando zonas ondulatórios naturais. Será necessário garantir uma sobreposição entre fiadas próxima dos 30%. De acordo com a figura 3 e com a criação de um corredor paralelo às fiadas, avalia-se os feixes exteriores.

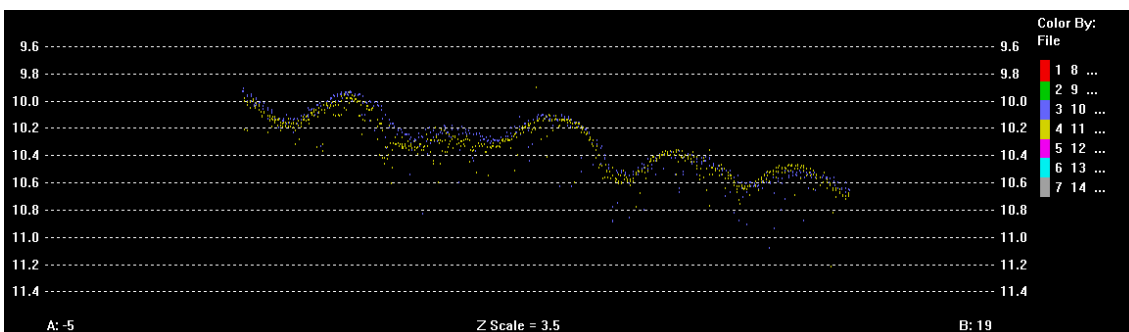


Fig. 3. Fiadas para calibração do yaw.

Cada uma destas provas é realizada depois do registo do valor de correção da prova anterior, de forma a permitir a correção prévia dos dados que vão ser adquiridos e gravados (IH, 2008).

4.3. Execução do levantamento

As estruturas naturais salientes do fundo, em conjunto com o objetivo de reconhecimento em detalhe das zonas afetadas à colocação de enrocamento e cobertura da estrutura imersa, foram responsáveis pela requisição de uma Busca Total do Fundo, obrigando ao ajuste do espaçamento entre fiadas, resultando numa sobreposição superior a 50%. Para a eliminação de buracos sem informação, durante a fase de aquisição foi tida em consideração a necessidade de executar fiadas paralelas e em sentidos contrários, sujeitas à sobreposição por outras com orientação perpendicular às primeiras. De modo a fornecer uma maior sustentabilidade e rigor ao levantamento, tentam minimizar-se as influências dos erros associados ao valor da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água, na medição da variação da maré, movimento vertical na embarcação, através de leituras sistemáticas e sempre que consideradas necessárias.

4.4. Fase de processamento dos dados

Os dados foram importados para software de processamento do MBMAX 64 - Hypack. Para o efeito, foram utilizados os parâmetros de conversão do filtro de profundidade, criando uma janela de profundidades que compreende o intervalo de valores entre as de sondas admissíveis obtidas. Assim, as profundidades fora deste intervalo foram rejeitadas, não tendo sido utilizadas nas fases seguintes do processamento (Hypack, 2012).

De seguida cada fiada foi submetida à seguinte sequência de operações: análise dos dados de atitude, de proa e de posicionamento, com vista à deteção de eventuais erros e consequente rejeição das profundidades afetadas desses valores; interpolação do caminho da embarcação com base nas posições de controlo; determinação do Total Propagator Uncertainty (TPU), ou seja, da incerteza associada a cada medição, e eliminação de todas as sondas com uma incerteza na medição superior à exigida para levantamentos de Ordem Especial; deteção, análise e eliminação de profundidades anómalas através de filtros do sistema.

Nesta fase do processamento, os feixes encontram-se referidos à linha de água na vertical do transdutor. Para georreferenciar cada uma das profundidades e referenciá-las ao datum vertical, realizou-se a redução da sondagem da altura de maré, convertendo as profundidades obtidas em sondas reduzidas, referindo desta forma os valores de profundidade ao plano do nível médio (NM) adotado em obra. Também nesta fase ocorre a junção dos dados de profundidade com os dados de posicionamento, considerando os vários datagramas correlacionados com a hora GPS dos equipamentos de aquisição, sendo que toda a informação hidrográfica foi adquirida em coordenadas geográficas.

No desenvolvimento das sequências do processamento, refere-se a construção da superfície batimétrica recorrendo ao algoritmo CUBE, procedendo-se à transformação das sondas numa malha regular de profundidades estimadas, por via da assimilação, intervenção e desambiguação, gerando estimações da profundidade nos nodos pré-definidos da superfície. Para cada um destes nodos são atribuídos valores de profundidade, incerteza e números de hipóteses associadas, como também o grau de confiança dessas hipóteses. Assegurando-se o cumprimento dos requisitos mínimos de incerteza do levantamento, assim como a sua correta execução, este método de obtenção das profundidades estimadas torna a representação da batimetria ainda mais fidedigna (Vicente, 2011).

4.5. Produtos Finais

Quando realizamos levantamentos com um objetivo tão especial como o desta obra, é necessário obter informação pertinente e em prazos muito curtos, onde seja avaliada a evolução dos trabalhos. Para isto são criadas superfícies batimétricas de elevada resolução de onde são extraídos perfis para apoio e monitorização de pontos específicos que exijam especial atenção.

Diversas avaliações e comparações envolveram superfícies batimétricas resultantes das distintas operações de sondagem. Assim, na figura 4, 5 e 6 são apresentadas as nuvens de pontos que constroem as diferentes superfícies batimétricas, correspondendo nomeadamente

às fases de dragagem, colocação de colchão impermeabilizante e camada de enrocamento a jusante das bacias 1E e 3E.

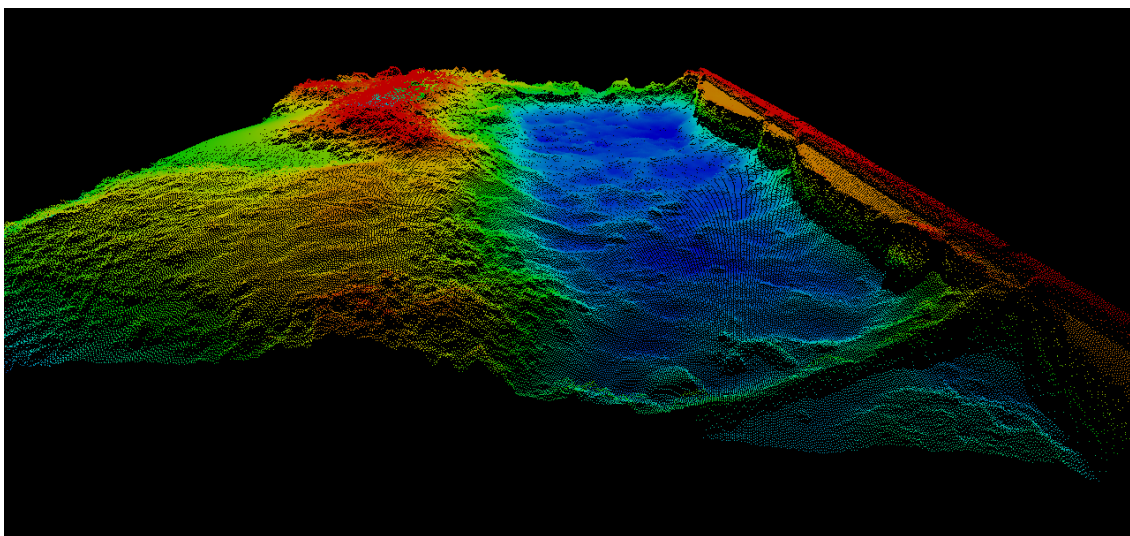


Fig. 4. Nuvem de pontos após operação de dragagem (Crestuma, 2011).

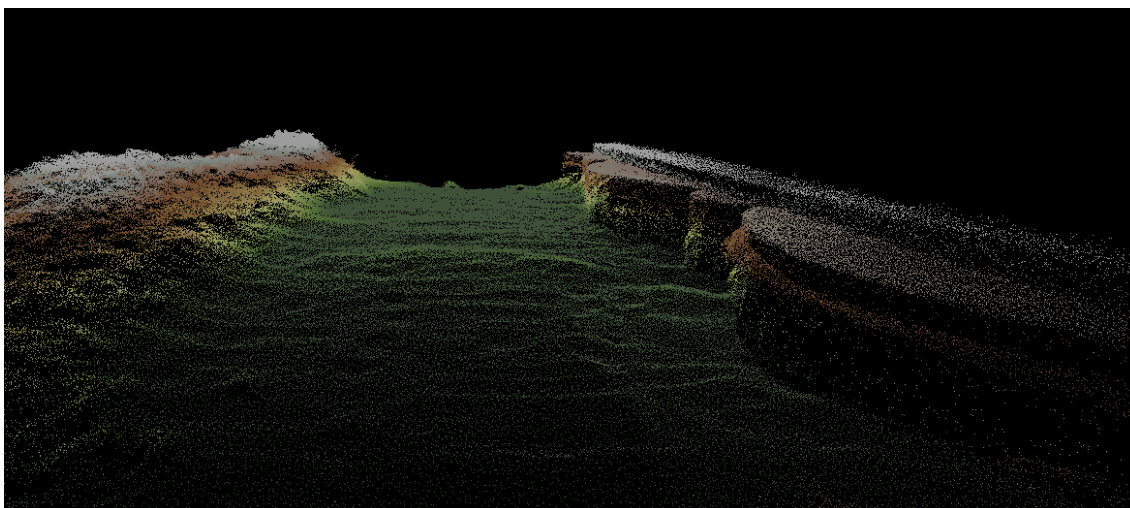


Fig. 5. Nuvem de pontos após operação de colocação de colchão impermeabilizante (Crestuma, 2011).

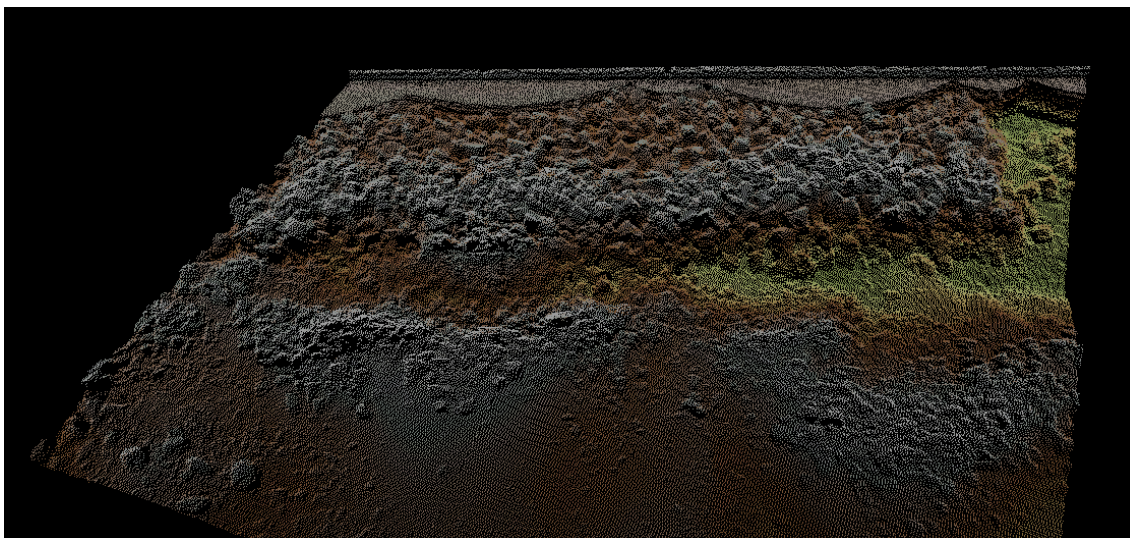


Fig. 6. Nuvem de pontos após operação de colocação do enrocamento (Crestuma, 2012).

Apesar da ampla visão que estes modelos fornecem na monitorização dos trabalhos e das paredes verticais imersas, é necessário também providenciar a análise em perfil destas áreas. Os modelos batimétricos foram processados para uma resolução decimétrica da célula, fornecendo um maior contributo na elaboração do perfil apresentado na figura 7. O desenho serve de exemplo a outros realizados perpendicularmente à estrutura.

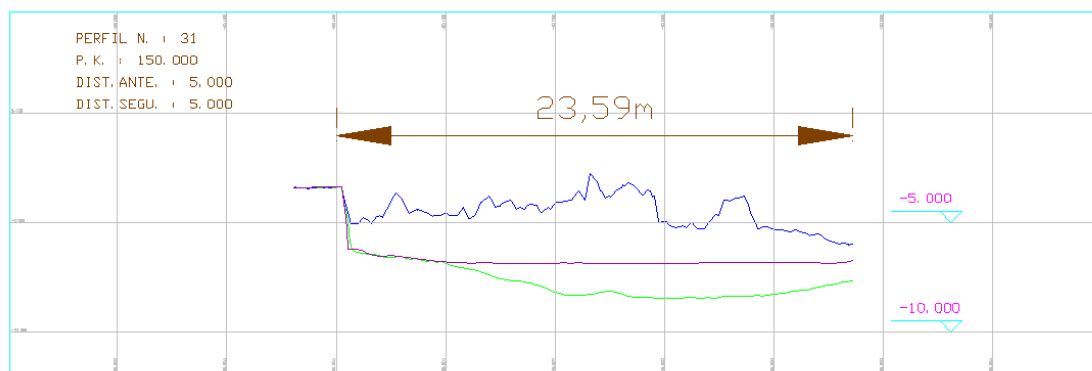


Fig. 7. Perfil nº31, transversal à barragem (Crestuma, 2011-2012).

Em relação à figura anterior, a estrutura encontra-se do lado esquerdo e inicial do perfil, sendo a sua orientação de dentro para fora da barragem. As diferentes cores representam as diferentes fases, sendo que a verde o após dragagem; a linha magenta representa o colchão impermeabilizante e a linha azul o enrocamento.

Um levantamento realizado com sistema multifeixe permite a criação de imagens 2D e 3D com base nas superfícies batimétricas criadas, cuja resolução não deverá ser inferior à da superfície que lhe dá origem. Com base na malha de pontos resultante foram criadas imagens que representam com detalhe a área de trabalho, figura 8, tratando-se de mais um apoio à tomada de decisão e por vezes a única maneira de conseguir perceber as características do fundo. Entre as várias operações de sondagem realizadas nesta obra, existiu uma com elevada relevância ao nível da perceção visual. É ilustrada uma área diferente da documentada no projeto, onde decorriam os trabalhos de colocação do colchão impermeabilizante. A plataforma

que mantinha a sua posição por fixação ao solo com estacaria, foi retirada momentos antes da sondagem, sendo essa a razão de se verificarem furações na zona mais plana e próxima da barragem.

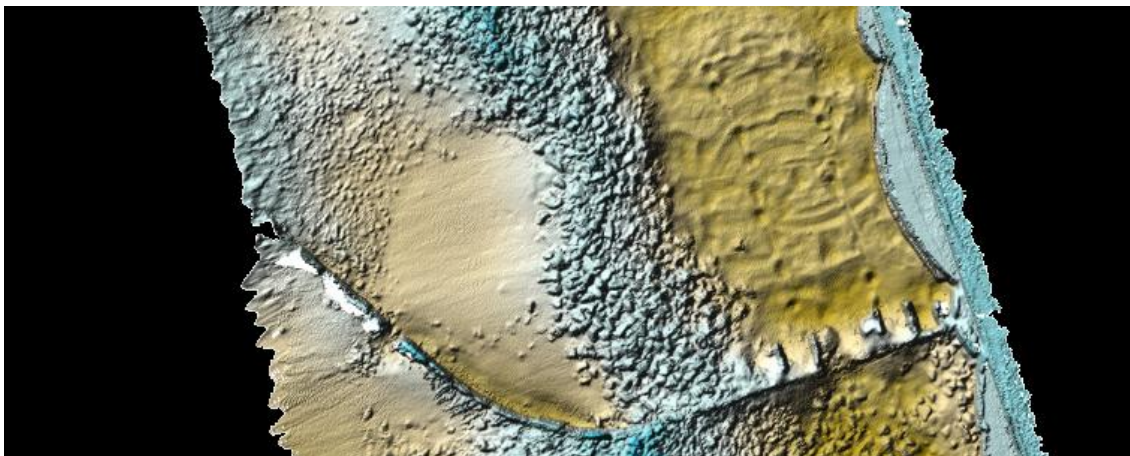


Fig. 8. Imagem 3D obtida por triangulação com 10cm de resolução (Crestuma-Lever, 2011).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho procurou ilustrar as mais-valias, potencialidades e contributos que os levantamentos hidrográficos, realizados com sistema multifeixe fornecem no acompanhamento de obras de engenharia. Para monitorização das áreas submersas apresenta-se como a melhor opção permitindo um cálculo mais exato de volumes de dragados e uma busca total do fundo com todos os seus elementos georreferenciados.

Agradecimentos

Ao dono de obra do projeto desenvolvido na Barragem de Crestuma/Lever no Rio Douro, “Empreitada de Impermeabilização das Bacias a Montante e Execução de Tapetes de Proteção a Jusante” (2012-2013), EDP - Gestão da Produção de Energia S.A., pela ajuda que indiretamente prestou na permissão para a divulgação dos dados.

À Teixeira Duarte - Engenharia e Construções S.A., empresa executora da obra, e solicitadora dos trabalhos de levantamento hidrográfico, pela abertura na exposição dos trabalhos desenvolvidos. Agradece-se à Diretora de Obra, Engenheira Paula Pedro, pela prestimosa colaboração, esclarecimentos prestados e partilha de dados de observação.

REFERÊNCIAS

Hypack (2012). 64-bit HYSWEEP EDITOR - User Manual.

SIS (2010). Seafloor Information System - Operator Manual.

Vicente (2011). Modelação de dados batimétricos com estimação de incerteza, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, 2011.

IH (2008). Especificação Técnica para Planeamento, Execução e Processamento de Levantamentos Hidrográficos, Instituto Hidrográfico.

OHI (2008). “S-44 IHO Standards for Hydrographic Surveys”, 5ª Ed.

OHI (2005). M-13 IHO Manual on Hydrography, 1ª Edição, Organização Hidrográfica Internacional.