

Operacionalização de metodologias para a extração de batimetria a partir de dados de deteção remota

Pedro Vilar (1), Ana Moura (1) e Luísa Lamas (1)

(1) Instituto Hidrográfico. Pedro.Vilar@hidrografico.pt

Resumo: No âmbito do projeto *Horizon 2020 Coastal Waters Research Synergy Framework* (H2020 Co-ReSyF), o Instituto Hidrográfico (IH) tem contribuído para o desenvolvimento e validação de metodologias de extração de informação batimétrica a partir de imagens de satélite (*Satellite Derived Bathymetry-SDB*) multiespectrais e SAR. O presente artigo pretende apresentar uma aplicação operacional desenvolvida no IH no âmbito do projeto Co-ReSyF para a automatização do processo de derivação de batimetria a partir de imagens multiespectrais obtidas pelos satélites Landsat-8 e Sentinel-2 aplicando uma metodologia que tem vindo a ser estudada no IH. Com esta ferramenta pretende-se o máximo automatismo possível na derivação de modelos SDB, beneficiando de uma capacidade de atualização constante de informação batimétrica para zonas costeiras de baixas profundidades (normalmente inferiores a 10 m) que não existia anteriormente. Esta capacidade operacional tem numerosas vantagens e aplicações, nomeadamente, em estudos de dinâmica sedimentar, na deteção de alterações de fundo, na gestão de alertas e riscos, entre outros.

Palavras-chave: *Satellite Derived Bathymetry*, Deteção Remota, Operacionalização, Batimetria.

1. INTRODUÇÃO

No Instituto Hidrográfico (IH) têm sido estudadas algumas metodologias SDB a partir de imagens de satélite multiespectrais (Guerreiro e Moura, 2015; 2016). Mais recentemente, no âmbito do projeto *Horizon 2020 Coastal Waters Research Synergy Framework* (H2020 Co-ReSyF), o IH tem contribuído também para a implementação e validação de metodologias SDB a partir de imagens *synthetic aperture radar* (SAR) (Lamas *et al.*, 2018). Com o objetivo de automatizar e operacionalizar a derivação de batimetria a partir de imagens multiespectrais, foi desenvolvida e programada a aplicação computacional DeepInEye. Esta aplicação implementa uma metodologia baseada no algoritmo proposto por Stumpf *et al.* (2003) e permite a derivação de batimetria a partir de imagens adquiridas pelos satélites Landsat-8 e Sentinel-2. A automatização do processo reduz significativamente o tempo de processamento e, consequentemente, permite uma maior taxa de aquisição de modelos SDB contribuindo diretamente para estudos de avaliação e validação, quer da metodologia quer dos resultados. Através da aptidão operacional oferecida pela aplicação, pretende-se também beneficiar de uma capacidade de atualização constante da informação batimétrica em vários domínios de aplicação que não existia anteriormente, nomeadamente em estudos de dinâmica sedimentar, na gestão de alertas, no apoio à produção de cartografia náutica e ao planeamento de levantamentos hidrográficos (LH), etc.. Este artigo descreve a aplicação DeepInEye, a metodologia implementada para a derivação de batimetria, bem como as suas capacidades operacionais em vários domínios de aplicação de âmbito costeiro.

2. DERIVAÇÃO DE BATIMETRIA A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE

O processo de derivação de batimetria implementado na aplicação desenvolvida resultou de uma investigação efetuada no âmbito do projeto H2020 Co-ReSyF (Vilar *et al.*, 2018a) tendo por base uma metodologia desenvolvida por Guerreiro e Moura (2015; 2016). A metodologia SDB implementada na aplicação é composta pelas seguintes fases: cálculo da refletância espectral, separação água-não água, correção da refletância do efeito do brilho solar e a implementação do algoritmo de Stumpf *et al.* (2003) para a derivação de batimetria. De seguida, de forma sucinta, é descrito o processo implementado na aplicação desenvolvida (Fig. 1).

2.1 Determinação da Refletância Espectral

No processo de derivação de batimetria está implementado o cálculo da refletância *Top of Atmosphere* (TOA) para os sensores Landsat-8 e para o Sentinel-2A/B. De modo a considerar uma correção atmosférica, o algoritmo permite a utilização da refletância à saída da coluna de água (*Water-Leaving reflectance* - WL) proveniente da aplicação ACOLITE (Vanhellemont e Ruddick, 2016) também para imagens Landsat-8 e Sentinel-2.

2.2 Separação Água – Não Água

A separação Água-Não Água é realizada através do *Normalized Difference Water Index* (NDWI). No caso das imagens do sensor Landsat-8 existe a possibilidade de se optar entre o NDWI e o *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI) pois a banda da região do infravermelho de comprimento de onda curto (SWIR) possui a mesma resolução espacial que as bandas da região visível.

2.3 Correção do Brilho Solar

A correção do brilho solar nas refletâncias é realizada segundo o método proposto por Hedley *et al.* (2005). Este método utiliza uma amostra de pixéis em águas profundas que apresentem brilho solar e pixéis com ausência de brilho nas bandas do visível a corrigir, e que através de uma regressão linear desta amostra nestas bandas com a banda do infravermelho próximo (NIR), determina a equação de correção do brilho solar.

2.4 Algoritmo de Derivação de Batimetria

Na derivação de batimetria (Z) utilizou-se o algoritmo proposto por Stumpf *et al.* (2003):

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0$$

Este algoritmo baseia-se no rácio dos logaritmos das refletâncias de duas bandas espectrais com diferentes níveis de absorção na água (denominado de modelo relativo), sendo $R_w(\lambda_i)$ a banda do azul e $R_w(\lambda_j)$ a banda do verde. Através de uma relação linear entre o rácio dos logaritmos das refletâncias e um conjunto de profundidades de referência são determinados os modelos batimétricos. A variável n é uma constante inteira positiva para que os logaritmos tomem um valor positivo de modo a existir uma resposta linear do modelo, m_1 é uma constante que dimensiona o rácio com a profundidade de referência e m_0 representa o *offset* para a profundidade de 0 m. Adicionalmente, ao longo da investigação da metodologia, têm sido efetuados alguns testes aplicando uma relação polinomial de grau 2 entre o rácio dos logaritmos e as profundidades de referência para determinar os modelos SDB. Esta relação quadrática também se encontra implementada na aplicação.

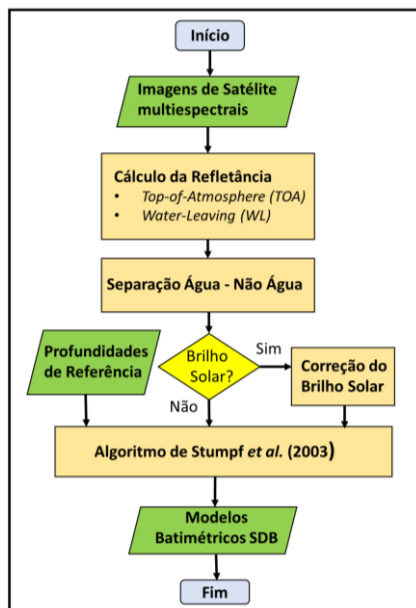


Fig. 1. Fluxograma da metodologia implementada na aplicação DeepInEye para a derivação de batimetria.

3. SOFTWARE DeepInEye – APLICAÇÃO DESENVOLVIDA

3.1 Estrutura da Aplicação

A aplicação DeepInEye foi desenvolvida na linguagem de programação Python 2.7. Este *software* é composto por uma interface gráfica com o utilizador (Fig. 2) e por rotinas que incluem módulos computacionais (Fig. 3) que aplicam a metodologia descrita anteriormente (Fig. 1).

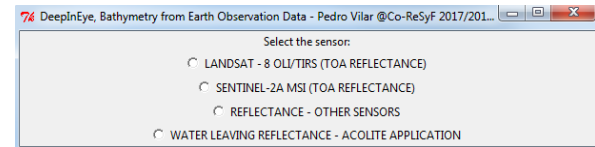


Fig. 2. Interface Gráfica com o Utilizador do Software.

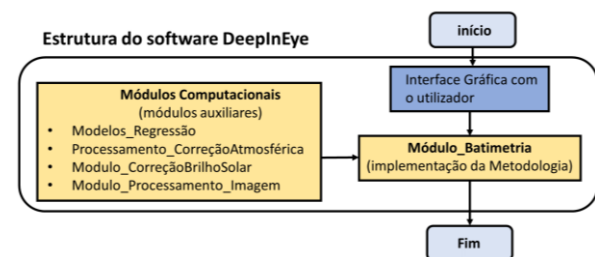


Fig. 3. Estrutura conceitual do Software.

3.2 Operação com o Software

A aplicação inicia com a interface gráfica mostrada na Fig. 2. Ao surgir esta interface, o utilizador escolhe, em primeiro lugar, se pretende derivar modelos batimétricos recorrendo ao cálculo da refletância TOA ou WL, conforme indicado no ponto 2.1 do presente artigo. Dependendo da opção selecionada os ficheiros de entrada para a operação da aplicação serão diferentes. No primeiro caso (refletância TOA) são necessários os ficheiros correspondentes às bandas do azul, verde e NIR provenientes das imagens de Landsat-8 ou Sentinel-2. No caso de se pretender utilizar Landsat-8 poderá ser necessário ter a banda SWIR se se pretender realizar a separação Água-Não Água com o MNDWI. Todos os ficheiros correspondentes às bandas devem estar georreferenciados no sistema de referência *World Geodetic System 1984/Universal Transversa de Mercator* (WGS84/UTM). Ainda para as imagens de Landsat-8 é necessário possuir o ficheiro de meta-dados que acompanha a imagem. Para a opção da refletância WL é necessário o ficheiro *.nc* (formato NetCDF) proveniente da aplicação ACOLITE (Vanhellemont e Ruddick, 2016). Para todas as opções anteriormente referidas será necessário um ficheiro em formato *.txt* que contenha a informação referente às profundidades de referência com as respetivas posições fornecidas em coordenadas geográficas no sistema de referência WGS84. Após se indicar a opção escolhida e indicados os ficheiros de entrada, serão necessários mais parâmetros ao cálculo do algoritmo indicados pelo utilizador, tais como, o valor de *threshold* para

separação Água - Não Água, as coordenadas dos cantos da zona de estudo pretendida no sistema de referência WGS84/UTM bem como as coordenadas da amostra de pixéis para correção do brilho solar e ainda o valor de n a aplicar no cálculo do rácio dos logaritmos das refletâncias. Como resultados, o *software* exporta as bandas do cálculo da refletância, o modelo relativo e o modelo batimétrico SDB em formato *.GeoTiff*.

4. OPERACIONALIZAÇÃO DE PRODUTOS SDB

A aplicação foi testada com imagens em diferentes localizações da Costa Portuguesa, nomeadamente na Foz do rio Minho e na Foz do rio Tejo em Lisboa. Recorrendo a diferentes casos de estudo descritos seguidamente, são mostradas as aplicações operacionais da metodologia e do *software* desenvolvidos.

4.1. Caso de Estudo I: Derivação de Batimetria na Foz do Rio Minho – Caminha, Portugal.

Este primeiro caso de estudo pretende testar a viabilidade e a aplicabilidade do *software* desenvolvido de modo a apoiar as atividades no projeto Co-ReSyF. Para tal, foram derivados modelos SDB para a zona da Foz do Rio Minho. Os dados utilizados estão indicados na Tabela I.

Tabela I. Dados utilizados para derivação e validação de modelos SDB.

Satélite/Sensor	Data de Aquisição
Landsat-8 OLI/TIRS	28/06/2016
Sentinel-2A MSI	29/06/2016
Profundidades de Referência	Período de Aquisição
Carta Náutica 24609	Dados adquiridos através de um LH a feixe simples de ordem 1b realizado em 2011
Dados de Validação	Período de Aquisição
Levantamento Hidrográfico Multifeixe de ordem 1b	junho 2016 – julho 2016

Para cada uma das imagens indicadas na Tabela I foram derivados os respetivos modelos SDB, utilizando sondas extraídas da Carta Náutica 24609 para calibrar os modelos batimétricos. De modo a validar os modelos SDB foi utilizado um LH multifeixe de ordem 1b na zona de Caminha (Tabela I). Na Fig. 4 apresentam-se os modelos SDB obtidos.

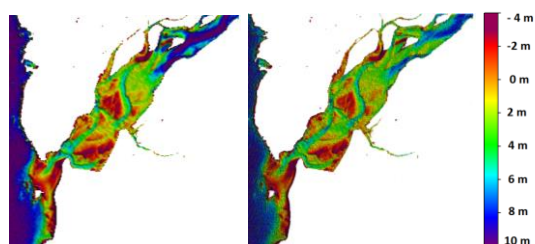


Fig. 4. Modelo Batimétrico para a Imagem de Landsat 8 (esquerda) e Sentinel -2A (direita)

A validação dos modelos foi realizada através das diferenças entre o modelo SDB e um modelo gerado a partir do LH adquirido em 2016 (Tabela II).

Tabela II. Estatística das Diferenças entre modelo SDB e modelo LH para validação de resultados.

	Sentinel-2A MSI	Landsat8 – OLI/TIRS
Mínimo	-10.3 m	-9.4 m
Máximo	3.3 m	2.4 m
Média	-1.4 m	-1.1 m
Desvio-Padrão	1.7 m	1.7 m

Com os resultados obtidos para este primeiro caso de estudo, através da operacionalização que a aplicação DeepInEye oferece, é possível a utilização de uma metodologia SDB de forma automatizada em vários domínios que antes não se verificava.

Assim, de modo a utilizar os modelos SDB derivados pela aplicação no apoio ao estudo da dinâmica dos fundos na zona em questão, avaliou-se o potencial da informação batimétrica derivada a partir de uma série temporal de imagens multiespectrais Landsat-8 e Sentinel-2. Na Tabela III podem ser identificados os dados utilizados. Na Fig. 5 são apresentados os modelos SDB para a série temporal em questão.

Tabela III. Dados utilizados na série temporal.

Satélite/Sensor/ Data de Aquisição	
Landsat-8 17/08/2014	Sentinel-2A 29/06/2016
Sentinel-2A 04/08/2015	Sentinel-2A 18/01/2017
Sentinel-2A 14/03/2016	Sentinel-2A 14/07/2017
Profundidades de Referência	Período de Aquisição
Carta Náutica 24609	2011

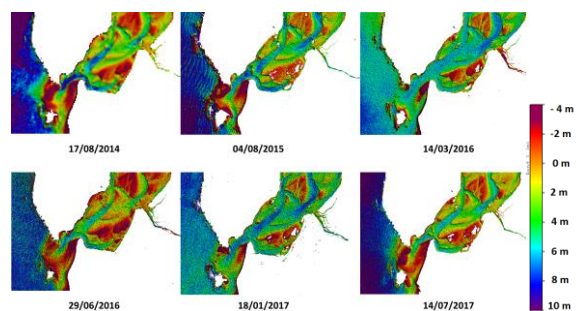


Fig. 5. Série Temporal de modelos SDB obtidos para a Foz do Rio Minho, Caminha, Portugal.

Analisando os modelos batimétricos obtidos (Fig. 5), de uma forma geral, é possível perceber a dinâmica sedimentar ocorrida na área de estudo, entre agosto de 2014 e julho de 2017. No canal de entrada identifica-se um comportamento cíclico de abertura e de fecho da barra. Quanto aos canais interiores de navegação e às zonas de fundeadouro, ocorre uma variabilidade significativa e uma tendência de assoreamento destes canais e nos baixios onde se encontram os fundeadouros. Assim, aplicando esta metodologia operacional através deste caso de estudo, é possível identificar uma mais-valia

desta operacionalização na compreensão da dinâmica dos fundos.

4.3. Caso de Estudo II: Apoio à remoção do Navio Betanzos utilizando produtos SDB.

Este segundo caso de estudo pretende demonstrar a aplicabilidade de produtos SDB (Fig. 6), obtidos através da aplicação desenvolvida, que foram entregues à Autoridade Marítima Nacional para apoio às operações de remoção do navio 'Betanzos' (Vilar *et al.*, 2018b).

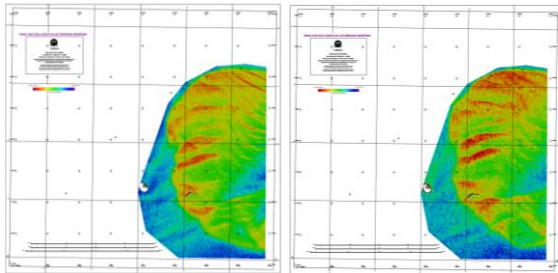


Fig. 6. Série Temporal de produtos SDB obtidos para as goladas do Rio Tejo, Lisboa, Portugal.

Como o último LH disponível para a zona em estudo datava de 2015, não existia informação batimétrica à data do encalhe do navio. Utilizando uma imagem de Sentinel-2B (19 de Novembro de 2017) e outra de Sentinel-2A (30 de Janeiro de 2018) foram obtidos modelos SDB para adquirir batimetria na Golada do Bugio. Estes produtos foram entregues à Autoridade Marítima durante as operações de remoção do navio.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

A aplicação computacional DeepInEye foi experimentalmente aplicada para diferentes regiões da Costa Portuguesa, mostrando estar apta para obter modelos batimétricos SDB de modo operacional em zonas costeiras de baixas profundidades a partir de imagens de satélite multiespectrais através da metodologia implementada. A operacionalização/automatização dada por esta aplicação permitiu até à data obter informação batimétrica para diversos fins, tais como a entrega de produtos operacionais a entidades nacionais em tempo útil para apoio à decisão nas suas atividades. Por outro lado, foi possível perceber o seu potencial operacional, quer no desenvolvimento das atividades do projeto H2020 Co-ReSyF, quer na atualização de informação através da constante disponibilização de novas imagens, podendo ser utilizada como uma ferramenta de apoio à decisão em vários domínios de aplicação onde seja necessária informação batimétrica. Estando a ferramenta operacional de base atualmente desenvolvida, projeta-se a adição de novas funcionalidades na mesma, tais como, a extensão a outros sensores. Devido à limitação das metodologias que recorrem a imagens multiespectrais apenas derivarem modelos

batimétricos a baixas profundidades prevê-se o estudo da possível integração e operacionalização com metodologias SAR (Lamas *et al.*, 2018) de forma a obter batimetria a outras escalas de profundidades.

REFERÊNCIAS

- Guerreiro, R., e Moura, A. (2015). Aplicação de uma Metodologia de Derivação de Batimetria a partir de Imagens de Satélite. *VIII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*. Lisboa, 29-30 outubro.
- Guerreiro, R., e Moura, A. (2016). A utilização de imagens de satélite multiespectrais de elevada resolução espacial para a derivação de batimetria. *4as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*. Lisboa, 21-23 junho.
- Hedley, J.D., Harborne, A.R., Mumby, P.J. (2005). Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 10, Págs. 2107 – 2112.
- Lamas, L., Pinto, J.P., Sancho, P., Azevedo, A., Birrien, F., Vilar, P., Moura, A (2018). High-resolution coastal bathymetry retrieved from satellite data: a research application within the Co-ReSyF project. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 20, EGU-2018-129.
- Stumpf, R. P., Holdereid, M. e Sinclair, M. (2003). Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography*, Vol.48, No. 1, Part 2, 547-555.
- Vanhellmont, Q., e Ruddick, K. (2016). ACOLITE for Sentinel-2: aquatic application of MSI imagery. *2016 ESA Living Planet Symposium*. Prague, 9-13 maio.
- Vilar, P., Moura, A., Guerreiro, R., Lamas, L., J.P.Pinto. (2018a). A multispectral earth observation approach for retrieving bathymetric data: models and in situ data evaluation. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 20, EGU-2018-452.
- Vilar, P., Guerreiro, R., Moura, A., Monteiro, C. Videira Marques, C. (2018b). Produtos *Satellite Derived Bathymetry* no apoio à Decisão às Operações de remoção do navio 'Betanzos'. *5as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*. Lisboa, 19-21 junho. (em publicação)