



## DINÂMICA DA PLUMA DE SEDIMENTOS ORIUNDOS DE ATIVIDADES DE DRAGAGENS NO ESTUÁRIO DA BEIRA – MOÇAMBIQUE

Nélio Das Neves O. SITO<sup>1</sup>, Avelino A. A. LANGA<sup>1</sup>, José L. PINHO<sup>2</sup>, Luís V. VIEIRA<sup>2</sup>

1. Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras; Universidade Eduardo Mondlane – UEM, Quelimane, Moçambique, [nelio.d.sitoe@uem.ac.mz](mailto:nelio.d.sitoe@uem.ac.mz), [avelinolanga@uem.mz](mailto:avelinolanga@uem.mz)

2. Departamento de Engenharia Civil – Universidade do Minho; Campus de Gualtar 4704-553 Braga, Portugal, [jpinho@civil.uminho.pt](mailto:jpinho@civil.uminho.pt), [luis.vasquez.vieira@gmail.com](mailto:luis.vasquez.vieira@gmail.com)

### RESUMO

O Estuário da Beira, em Moçambique, apresenta-se como um sistema marinho de elevada importância em termos de biodiversidade, e abrigando o porto da cidade da Beira, o segundo maior porto de Moçambique. A intensa movimentação de navios de grande calado implica atividades frequentes de manutenção do canal de acesso ao porto visto que este sofre acentuados assoreamentos. As dragagens apresentam impactos no ambiente marinho, podendo afetar temporariamente a abundância e distribuição de espécies marinhas, provocando a alteração da circulação estuarina e a respetiva batimetria. Este artigo foca-se na avaliação da dispersão da pluma de sedimentos oriundos de atividades de dragagens no Estuário da Beira, tendo sido realizado com base em modelação hidrodinâmica e sedimentológica utilizando o programa Delft3D. Em geral, a corrente de maré é responsável pelo transporte sedimentar no estuário, sendo que as atividades de dragagem aumentam a concentração de sedimentos em suspensão (próximo à superfície) e junto ao fundo durante a sua execução. As descargas fluviais apresentam uma influência importante limitada às respetivas embocaduras, transportando os sedimentos em direção ao estuário. A ação do vento induz correntes com direções variáveis nas zonas menos profundas, condicionadas pela batimetria (canais e bancos de areia) transportando sedimentos. A dinâmica da pluma de dragagem é condicionada principalmente pela hidrodinâmica que depende da batimetria da região e pela ação das marés.

**Palavras-Chave:** Modelação hidrodinâmica; Transporte sedimentar; Dragagens

### 1. INTRODUÇÃO

Os estuários são ambientes naturais onde a atividade portuária constitui normalmente um dos usos mais importantes em termos económicos e ambientais. O processo contínuo de expansão desta atividade obriga a que a respetiva infraestrutura permita receber um número cada vez maior de embarcações e com maior calado. O aprofundamento e manutenção dos canais de navegação estuarinos obrigam à execução de atividades de dragagem resultando, assim, do processo contínuo de expansão portuária. Estas atividades podem resultar em impactos ambientais importantes como a possível alteração do padrão de circulação, alteração das condições ambientais no local de deposição de sedimentos dragados, poluição do ambiente por substâncias tóxicas que podem existir nos depósitos sedimentares, resuspensão e transporte de sedimentos durante a respetiva execução e alterações da qualidade de água (Castro e Almeida, 2012). Durante o processo de dragagem que se inicia com a extração dos sedimentos, prossegue com o seu transporte e termina com a sua deposição, formam-se plumas de sedimentos cujas características dependem das condições hidrodinâmicas do local. Dragagens realizadas utilizando dragas do tipo Auto Transportadoras de Sucção (*TSHD - Trailing Suction Hopper Dredge*) são necessárias em ambientes com predominância de areia fina. Estas dragas utilizam normalmente o método de extração com *overflow*. Neste tipo de dragagem há uma descarga de água em excesso a partir do tanque de recolha dos sedimentos que inclui sedimentos mais finos e que são descarregados para o ambiente marinho juntamente com a água em excesso, formando-se uma pluma de sedimentos na superfície por *overflow*. No fundo forma-se também uma pluma junto à boca de sucção durante a operação de extração (Van Rijn, 2019).

O presente trabalho tem como foco o estudo da dispersão da pluma de sedimentos oriundos de atividades de dragagens, avaliando o efeito colectivo e individual das principais ações como as marés, descargas fluviais e vento, na dispersão das plumas resultantes das atividades de dragagens. Os resultados do estudo realizado contribuem para delinear estratégias que maximizem a eficiência das atividades de dragagens e minimizem os possíveis impactos ambientais associados.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Modelação do transporte de sedimentos

A área de estudo do presente trabalho compreende o Estuário da Beira que se localiza na região central de Moçambique Província de Sofala (**Figura 1-d**).

Ao longo do canal de acesso ao porto da Beira predominam as areias exceto na curva de Macuti onde abundam sedimentos finos. Durante as atividades de dragagens, exatamente na curva de Macuti ocorre grande dispersão de sedimentos, por serem finos e sobretudo pelo facto de as correntes de maré serem fortes (Consultec, 2007). A ressuspensão de sedimentos durante as atividades de dragagens, *overflow* e despejo, com recurso à tecnologia de sucção, resultam em grandes quantidades de material em suspensão na coluna de água (Van Rijn, 2019).

Foi utilizado o programa Delft3D para realizar as simulações de dispersão de sedimentos associados às actividades de dragagens. A implementação do modelo foi realizada considerando as seguintes tarefas: (i) digitalização da carta náutica do estuário da Beira; (ii) definição do contorno do sistema; (iii) criação da grelha computacional e interpolação da batimetria; (iv) estabelecimento de condições iniciais; (v) estabelecimento das condições de fronteira; (vi) caracterização das fontes sedimentares associadas às atividades de dragagem. Nesta última tarefa, determinou-se a pluma dinâmica  $B$  a partir da produção da draga  $P$ , da fração de sedimentos de *overflow*  $f_{fines}$ , e da fração de descarga de *overflow*  $f_{overflow}$ , método aplicado por Becker (2011). A fonte de sedimentos que origina a pluma dinâmica é dada por:

$$B = P \cdot f_{fines} \cdot f_{overflow} \quad [\text{Eq. 1}]$$

Foi necessário traduzir esta fonte da pluma dinâmica numa fonte sedimentar passiva. Para tal, considerou-se uma componente  $x_1$  na superfície, multiplicando o valor da pluma dinâmica pelo fator  $f_{dyn}$  que compõe a pluma de superfície ou *overflow* considerado 5-15% para *TSHD*. Foram ainda adicionadas à pluma passiva parcelas correspondentes ao arrastamento pelo tubo de sucção, à dispersão do sedimento pelas hélices da draga e à reentrada da pluma dinâmica,  $x_2$ ,  $x_3$  e  $x_4$ , respetivamente. A pluma passiva é quantificada da seguinte forma:

$$x_1 = B \cdot f_{dyn}, \quad [\text{Eq. 2}]$$

$$X = \sum_{i=1}^4 x_i \quad [\text{Eq. 3}]$$

As simulações foram definidas para o mês de Dezembro de 2017 correspondendo ao período de realização de uma dragagem de emergência. Na Tabela 1 apresentam-se as principais características das simulações realizadas.

**Tabela 1:** Características das simulações realizadas.

Simulação	Ações consideradas
Padrão sem dragagem	Realizada com o efeito da corrente de maré + vento + descargas fluviais
Padrão com dragagem	Realizada com o efeito da corrente de maré + vento + descargas fluviais
Correntes de marés	Realizada considerando apenas corrente de maré
Vento	Realizada considerando a velocidade e direção do vento
Descargas fluviais	Realizado considerando descargas fluviais de cheias (10000 $m^3/s$ e 2000 $m^3/s$ para os rios Púnguè e Búzi, respetivamente)

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação em que se considera apenas a maré (**Figura 1-a**) indicou que estas correntes são as dominantes na dispersão da pluma. O efeito da maré na dinâmica dos sedimentos é de considerável impacto, caracterizado pela enorme dispersão da pluma de sedimentos oriundos de dragagem, especificamente no canal de acesso ao Porto

da Beira. Os sedimentos foram transportados do local da dragagem em direção ao porto, com um transporte de  $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  (equivalente a  $2.5 \text{ kg}/\text{s}/\text{m}$ ).

A simulação envolvendo apenas as descargas fluviais (período de cheias) mostrou que os rios Búzi e Púnguè induziram correntes de  $0.6 \text{ m}/\text{s}$  no porto da Beira e  $1 \text{ m}/\text{s}$  na embocadura do rio Búzi (**Figura 1-b**). As correntes induzidas pelo rio Búzi ficam confinadas à embocadura do rio. Por outro lado, as correntes induzidas pelo rio Púnguè propagaram-se pelo canal de acesso ao porto da Beira mas com velocidades baixas. O transporte total de sedimentos na simulação envolvendo apenas as descargas fluviais foi de cerca de  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  (equivalente a  $0.2 \text{ kg}/\text{s}/\text{m}$ ).

A análise do efeito do vento sobre a dinâmica da pluma de sedimentos no Estuário da Beira mostrou que as correntes devido ao vento tomam diferentes direções em conformidade com o vento atuante (**Figura 1-c**). Contudo as correntes causadas pelas outras ações (marés e descargas fluviais) são de ordem de grandeza superior às correntes induzidas pelo vento. Na simulação em que se considera apenas a atuação do vento, a pluma de sedimentos oriunda de dragagem apenas é transportada pelas correntes na curva de Macuti. O transporte máximo verificado foi de  $9 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  (equivalente a  $0.09 \text{ kg}/\text{s}/\text{m}$ ).

Para efeitos de comparação da concentração de sedimentos devido a pluma de sedimentos oriundos de atividades de dragagem e devido a concentração de sedimentos em condições padrão no estuário, foram selecionadas quatro estações de observação (S8, S9, S10 e S11 que fazem parte das secções com assoreamento crítico e mais dragadas) para o período de correntes máximas de enchente (05 de Dezembro de 2017 as 13:00:00) (**Figura 1-e**). Verificou-se que as dragagens aumentam a concentração de sedimentos, não só em suspensão, mas também próximo ao fundo. Segundo Van Rijn (2019), a realização de dragagens em ambientes de lodo e areia fina, está sujeita a que 30% de todo o sedimento dragado seja devolvido à massa de água por *overflow*.

#### 4. CONCLUSÕES

O programa Delft3D revelou-se adequado à simulação das plumas de sedimentos resultantes das atividades de dragagens.

A corrente de maré é a ação preponderante na dispersão dos sedimentos no estuário da Beira em Moçambique. As descargas fluviais apresentam uma influência intermédia na dispersão dos sedimentos e finalmente a ação do vento é aquela que menos contribui para o transporte sedimentar.

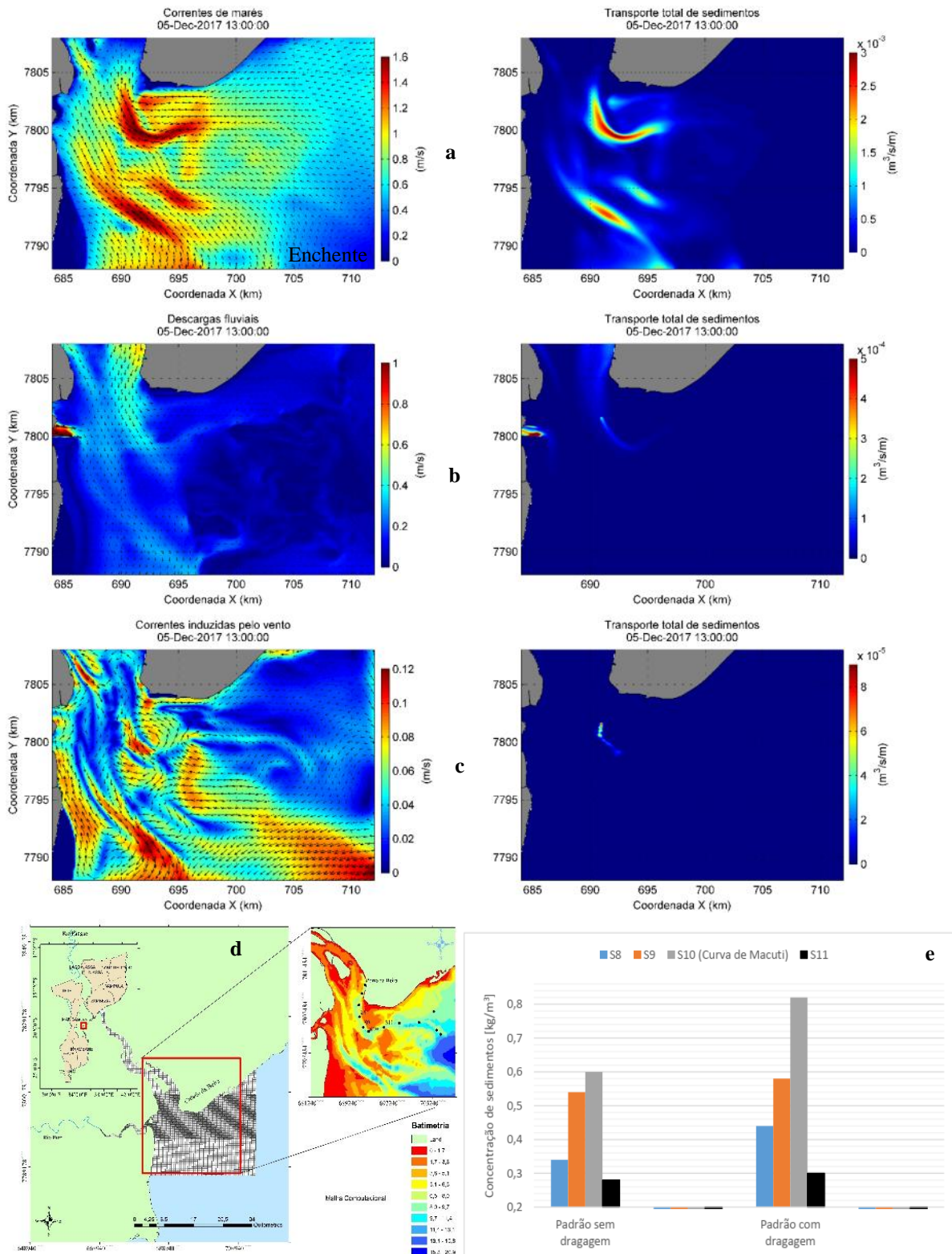
As descargas fluviais mostram ser uma ação importante para a dispersão da pluma de sedimentos oriundos de atividades de dragagens em direção ao mar. O sedimento associado às actividades de dragagem é predominantemente lodo em suspensão.

O vento origina correntes superficiais em conformidade com a batimetria e direção do vento atuante. Os sedimentos com origem nas atividades de dragagens podem-se deslocar em direção ao Porto da Beira ou ao mar aberto. Na simulação realizada neste trabalho os sedimentos foram transportados para o mar aberto. O sedimento transportado pelas correntes induzidas pela ação do vento é predominantemente lodo em suspensão.

As dragagens têm forte contributo na concentração de sedimentos suspensos por períodos longos devido a predominância de lodo e areia fina. Toda esta dinâmica é condicionada pela batimetria e ação das marés.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Becker, J. (2011). DREDGE PLUMES - Ecological risk assessment. Rotterdam: Delft University of Technology.
- Castro, S. M., & Almeida, J. R. (2012). Dragagem e conflitos ambientais em portos clássicos e modernos: uma revisão. Uberlândia: Sociedade & Natureza.
- CONSULTEC. (2007). Estudo ambiental simplificado da dragagem do canal de acesso ao Porto da Beira. Maputo– Moçambique: Relatório Final.
- Nzualo, T. d. (2010). Estudo hidrodinâmico e ambiental do estuário da Beira – Moçambique. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Rijn, L. C. (2019). Turbidity due to dredging and dumping of sediments. Leo van Rijn sediment consultancy. Obtido de [www.leovanrijn-sediment.com](http://www.leovanrijn-sediment.com)



**Figura 1.** Resultados da influência individual da corrente de maré, descargas fluviais e efeito dos ventos no transporte da pluma de dragagem na enchente da maré de sizígia (**a**, **b**, **c**); área estudada (**d**); contributo das dragagens na concentração de sedimentos suspensos (**e**).