

Dinâmica da pluma de sedimentos oriundos de atividades de dragagens no estuário da Beira - Moçambique

Dredge plume dynamics in the Beira estuary - Mozambique

Nélio das Neves O. SITO¹, Avelino A. A. LANGA¹, José L. PINHO², Luís V. VIEIRA²

¹ Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras; Universidade Eduardo Mondlane – UEM, Quelimane, Moçambique, nelio.d.siteo@uem.ac.mz, avelinolanga@uem.mz

² Departamento de Engenharia Civil – Universidade do Minho; Campus de Gualtar 4704-553 Braga, Portugal, jpinho@civil.uminho.pt, 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

ABSTRACT: *The Beira Estuary in Mozambique is a marine system of high importance in terms of biodiversity, and navigation use at Beira Harbor, the second largest harbor of Mozambique. The intense traffic of large ships implies frequent activities of maintenance of the port access channel, since it suffers severe siltation. Dredging activities have negative impacts on the marine environment, and may temporarily affect the abundance and distribution of marine species, also causing change in estuarine circulation and its bathymetry. This paper focuses on the evaluation of sediment plume dispersion from dredging activities in the Beira Estuary, and was based on hydrodynamic and sedimentological modeling using Delft3D software. In general, tidal currents are responsible for sediment transport within the estuary, and dredging activities increase the concentration of suspended sediments (near the surface) and near the bottom during their execution. River discharges have an important influence limited to their mouths, transporting sediments towards the estuary. The wind action induces currents with variable directions in the shallower areas, conditioned by bathymetry (channels and sandbanks) also being responsible for sediments transport. The dynamics of the dredging plume is mainly conditioned by the hydrodynamics that depends on the bathymetry characteristics and the tidal action.*

Keywords: Hydrodynamic modeling; Sedimentary transport; Dredging

1. INTRODUÇÃO

Os estuários são ambientes naturais onde a atividade portuária constitui normalmente um dos usos mais importantes em termos económicos e com implicações 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 *et al.*, 2012). As alterações biológicas podem incluir variações da abundância e distribuição temporária de espécies marinhas (Becker, 2011).

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).

A distribuição de sedimentos dragados depende fundamentalmente das condições hidrodinâmicas locais. No Estuário da Beira, as correntes são condicionadas pela batimetria, sendo que a corrente principal é direcionada ao longo do canal de acesso portuário (Nzualo, 2010; Silva, 2011). Neste estuário há maior predominância das correntes de maré do que das descargas fluviais. Resultados do modelo de transporte de sedimentos realizado por Nzualo (2010) mostram que de um modo geral, é mais intenso o transporte de sedimentos na sizígia, tanto

da estação de verão quanto de inverno, entretanto, o valor do transporte que ocorre no verão de sizígia supera o de inverno, devido às marés equinociais que são intensas.

O presente trabalho tem como foco o estudo da dispersão da pluma de sedimentos oriundos de atividades de dragagens, avaliando o efeito coletivo 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 hidrodinâmica

Beira é a cidade capital da província de Sofala (Moçambique), sendo a segunda maior cidade de Moçambique e incluindo o segundo maior porto de Moçambique construído próximo à foz e margem esquerda do rio Púnguè. No estuário da Beira desaguam águas do rio Púnguè (a Norte) e Búzi (a Oeste) (figura 1), com presença de bancos de areia e uma profundidade média de 10 m. Macro marés semidiurnas são dominantes no estuário com alturas maiores a 6 m e velocidades das correntes superiores a 1.5 m/s durante as marés de sizígia (Nzualo *et al.*, 2018; Silva, 2011).

O trabalho de modelação foi realizado considerando-se um modelo bidimensional no plano horizontal (2DH) criado com o programa *Delft3D*. A implementação do modelo foi realizada considerando as seguintes fases: (i) Digitalização da carta náutica do canal de acesso ao porto da Beira utilizando o Mike zero; (ii) Definição do contorno do sistema utilizando *Google Earth*; (iii) Criação da malha computacional pelo módulo *RGFGRID* e interpolação da batimetria pelo módulo *QUICKIN*, ambos do programa *Delft3D*. A malha apresenta uma dimensão de 210 x 345 células nas direções M e N, respetivamente com espaçamentos horizontais $\Delta x = \Delta y = 150$ m, na região do mar aberto e de $\Delta x = 150$ m e $\Delta y = 50$ m na região de atividades de dragagens. Considerando limites impostos ao número de *Courant*, determinou-se o passo de tempo de cálculo de 30 s. Pelas condições adotadas nos métodos numéricos utilizados no programa, o número de *Courant* não deverá exceder o valor de 11, pelo que valores mais altos implicam erros numéricos consideráveis (*Delft3D-Flow*, 2017); (iv) Estabelecimento de condições iniciais para as datas de início das simulações; (v) Estabelecimento das

condições nas fronteiras abertas oceânicas, fluviais e atmosféricas, atribuindo-se a amplitude e fase da maré, descargas fluviais e velocidade e direção do vento, respetivamente. A atribuição de amplitude e fase das constituintes de marés nas fronteiras

oceânicas abertas foi realizada com o TMD (*Tide Model Driver*) acoplado à série de modelos globais de marés oceânicas *TPXO 9.1*. Estes dados foram calibrados manualmente com uma série de 66 dias de dados observados do ano de 2016 (figura 2).

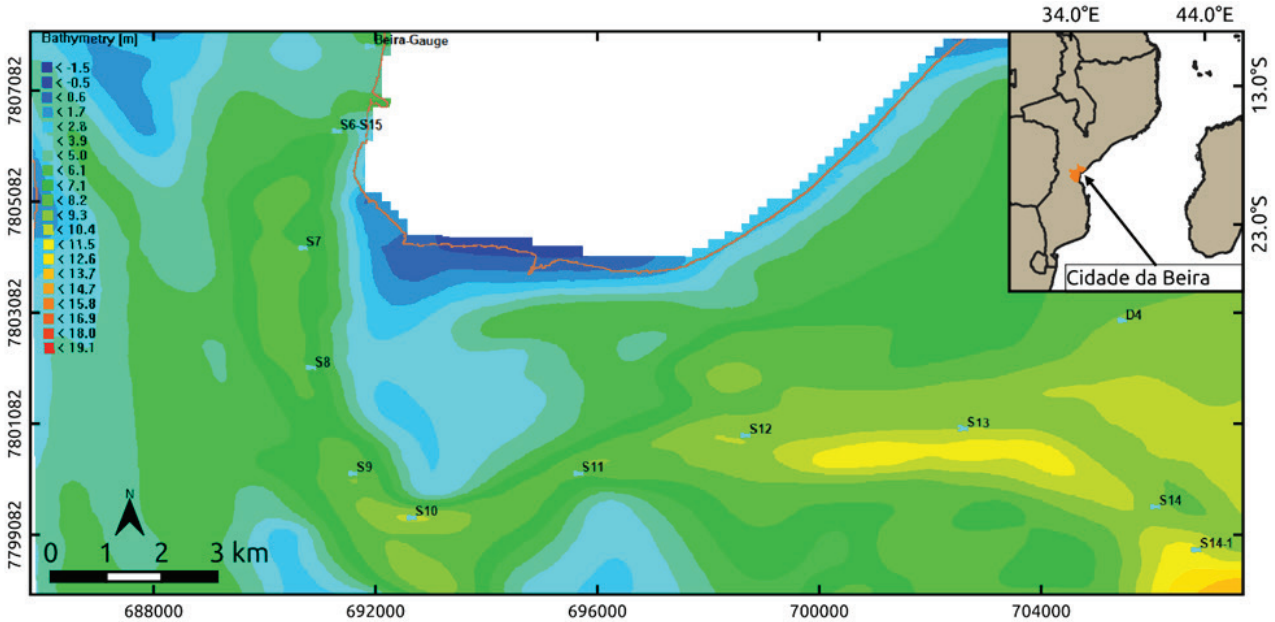


Figura 1. Localização do Estuário da Beira em Sofala, Moçambique. Batimetria interpolada e os pontos de observação. S14-1, S14, S13, S12, S11, S10 (curva de Macuti), S9, S8, S7, S6-S15 correspondem a pontos de observação ao longo do canal de acesso ao porto da Beira; D4 corresponde ao ponto de observação no local de deposição sedimentos dragados; Beira-Gauge corresponde ao ponto de observação no Marégrafo no porto da Beira.

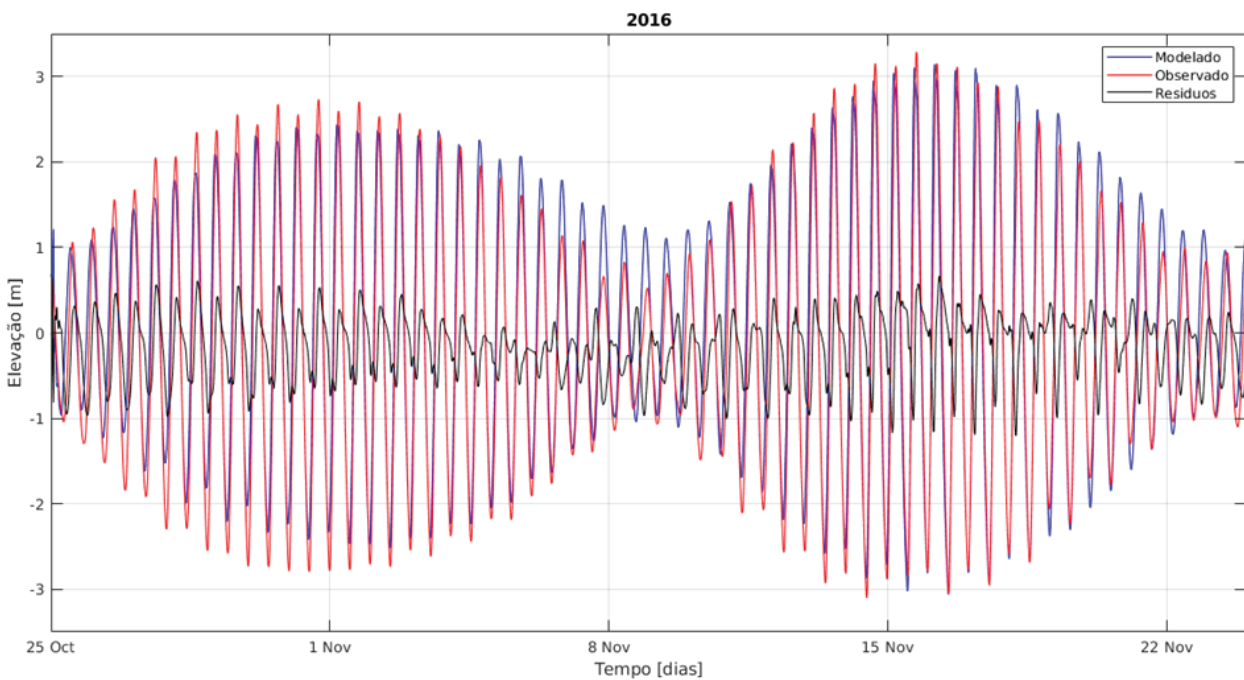


Figura 2. Comparação entre valores simulados (linha azul), observados (linha vermelha) e resíduos (linha preta).

2.2 Modelação do transporte de sedimentos

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, ocorre grande dispersão de sedimentos, por serem finos e sobretudo pelo facto de as correntes de maré serem fortes (Consultec, 2007). A atribuição de uma fonte de sedimentos no domínio do modelo foi feita considerando três tipos de sedimentos (D_{50}) que são: lodo (18 μm), areia fina (64 μm) e areia (430 μm). Estes tipos fazem parte da composição do fundo segundo JICA (1998).

Foi utilizado o programa *Delft3D* para realizar as simulações de dispersão de sedimentos associados às atividades de dragagens. A implementação do modelo foi realizada considerando a 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).

Uma draga auto transportadora de sucção extrai do fundo marinho, através do tubo de sucção, a mistura de água e sedimento. As características desta mistura de água e sedimento podem ser determinadas a partir da concentração do sedimento *in situ*, do caudal e massa volúmica da mistura seca e da granulometria do sedimento. À medida que ocorre a sucção, a sedimentação é imediatamente iniciada no local em que draga se encontra. Como consequência deste processo, surge a pluma por *overflow* (ou transbordamento) e pela erosão no fundo induzida pela boca do tubo de sucção. Podem ser utilizadas relações empíricas para estimar a fonte de sedimentos que retorna para a coluna de água conhecendo-se a produção da auto transportadora de sucção (TSHD), através das seguintes expressões:

$$Q_m = \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot V_m \cdot n \quad (1)$$

$$C_{\text{situ}} = \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_s - \rho_w}, \quad (2)$$

$$P_s = Q_m \cdot C_{\text{situ}}, \quad (3)$$

$$\rho_{m.\text{dry}} = \rho_k \cdot \left(1 - \frac{\rho_k - \rho_m}{\rho_k - \rho_w}\right), \quad (4)$$

$$P = \rho_{m.\text{dry}} \cdot P_s \quad (5)$$

onde:

Q_m é o caudal de mistura água sedimento;

D é o diâmetro do tubo de sucção;

V_m é a velocidade de sucção da mistura;

n é o número de tubos de sucção;

C_{situ} é a concentração *in situ*;

P_s é a taxa de produção *in situ*;

$\rho_{m.\text{dry}}$ é a massa volúmica da mistura seca;

ρ_m é a massa volúmica da mistura água sedimento;

ρ_w é a massa volúmica da água;

ρ_s é a massa volúmica *in situ* do material; e

ρ_k é a massa volúmica do sedimento.

Para determinar a pluma dinâmica B , a produção P deve ser multiplicada pela fracção de sedimentos de *overflow* f_{fines} , e a fracção de descarga de *overflow* f_{overflow} . A fonte da pluma dinâmica tem a seguinte forma:

$$B = P \cdot f_{\text{fines}} \cdot f_{\text{overflow}} \quad (6)$$

Esta fonte da pluma dinâmica pode ser traduzida numa componente da fonte de pluma passiva. Foi considerada uma componente x_1 na superfície, multiplicando a pluma dinâmica pelo fator f_{dyn} que compõe a pluma de superfície ou *overflow* considerando 5-15% para TSHD. Foram consideradas outras componentes que se adicionam à pluma passiva como, por exemplo, o contributo que resulta do arrasto da boca do tubo de sucção, a dispersão do sedimento que resultam da rotação das hélices da draga e a reentrada da pluma dinâmica, x_2 , x_3 e x_4 respectivamente. A pluma passiva é definida pelas seguintes equações:

$$x_1 = B \cdot f_{\text{dyn}}, \quad (7)$$

$$X = \sum_{i=1}^4 x_i \quad (8)$$

A produção de sedimentos pela draga (em kg/s) é equiparada à fonte de sedimentos que a draga coloca em suspensão que é posteriormente introduzida no modelo para efeitos de simulação da mesma.

Os parâmetros ρ_s , ρ_k , ρ_m para a determinação de $\rho_{m.\text{dry}}$ foram obtidos dos dados medidos por JICA (1998). O diâmetro do tubo de sucção e a velocidade do fluxo de mistura foi fornecido pela EMODRAGA (Empresa Moçambicana de Dragagens).

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 maré + vento + descargas fluviais
Padrão com dragagem	Realizada com o efeito de maré + vento + descargas fluviais
Ação da maré	Realizada considerando apenas a maré
Ação dos ventos	Realizada considerando a velocidade e direção do vento
Ação das 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

3.1 Ação da corrente de maré

O efeito da maré na dinâmica dos sedimentos é de considerável impacto, caracterizado pela enorme dispersão da pluma de dragagem, especificamente no canal de acesso ao Porto da Beira. Identificou-se que as correntes de marés chegam a alcançar 1.4 m/s na enchente da maré de sizígia (figura 3). Relativamente a enchente e vazante da maré de quadratura e vazante da maré de sizígia, este cenário apresenta a maior velocidade no canal de acesso ao porto da Beira próximo das secções S9 e S10. Nzualo *et al.*, (2018), concluíram que as correntes de enchente no estuário da Beira são mais dominantes na maré de sizígia e as correntes de vazante são dominantes na maré de quadratura, tendo sido identificada assimetria nas correntes de maré. Esta assimetria na maré é resultado de fatores como a morfologia do estuário (bancos de

areia e canais), atrito do fundo e a amplitude das constituintes de maré registada na região. Durante a maré de sizígia devido a baixa profundidade e ao atrito com os bancos de areia, cria-se uma maré enchente dominante com correntes residuais de enchente.

Abas *et al.* (2017), identificaram que há ocorrência de elevada intrusão salina que se deveu à advecção do sal pela maré até quase 84.5 km da embocadura do rio Púnguè, o que demonstra uma dominância de maré de enchente.

O transporte total de sedimentos chega a atingir $1.2 \cdot 10^{-3}$ m³/s/m (equivalente a 1.2 kg/s/m) na enchente da maré de sizígia tendo sido transportados do local da dragagem em direção ao porto (figura 4). Este transporte de sedimentos resulta das fortes correntes verificadas no canal de acesso ao Porto da Beira. Nzualo (2010) identificou um transporte elevado de sedimentos do fundo devido a correntes de enchente na sizígia da região especialmente no canal de acesso ao porto da Beira.

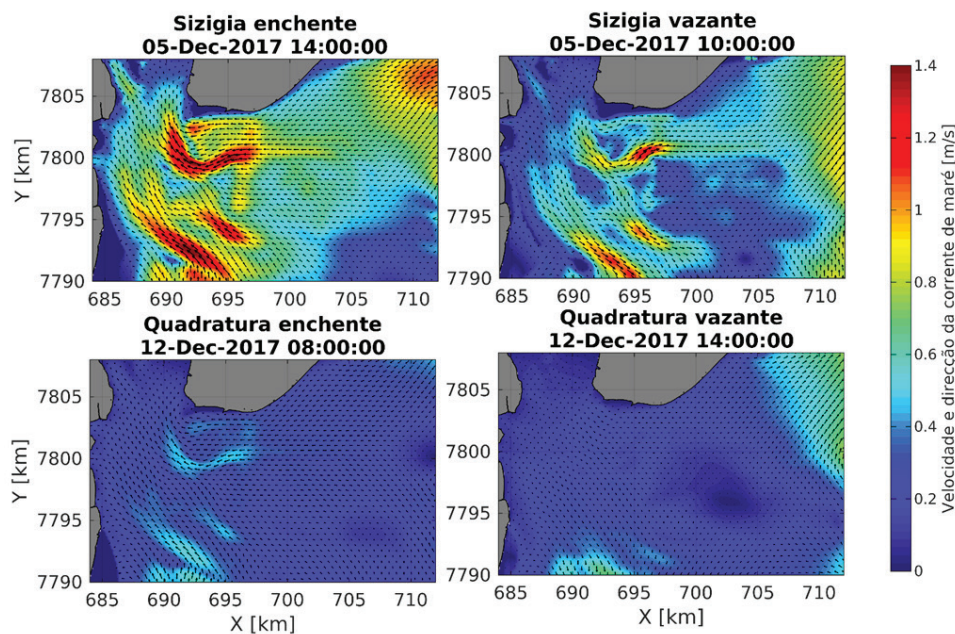


Figura 3. Velocidade e direção da corrente de maré na enchente e vazante da maré de sizígia e quadratura.

O transporte de sedimentos também pode ser associado a outras forças. Por exemplo, a erosão do fundo. A erosão no fundo é consequência da elevada tensão da água com o fundo (Van Rijn, 1998). O transporte aqui apresentado não reflete somente as atividades de dragagens e sim adicionada ao transporte devido a erosão do fundo. Na maré de quadratura a tensão da água com o fundo é relativamente baixa e o resultado é somente o transporte de sedimentos devido as atividades de dragagens.

As correntes desempenham um papel fundamental na dinâmica dos sedimentos no Estuário da Beira. Van Rijn (1993) afirma que devido às baixas profundidades as correntes de marés podem ser verticalmente semelhantes e a tensão para remoção de sedimentos no fundo pode ser dominante no fundo.

3.2 Ação das descargas fluviais

A simulação envolvendo apenas as descargas fluviais (período de cheias) mostrou que os rios Búzi e Púnguè induziram correntes de 0.6 m/s no porto da Beira e 1 m/s na embocadura do rio Búzi (figura 5). 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 menos intensas.

As correntes induzidas pelo rio Búzi são maiores do que as induzidas pelo rio Púnguè mas confinadas à embocadura, devido aos vários bancos de areia que ali se localizam. Entretanto, os sedimentos transportados pelo mesmo rio ficam, na sua maioria, retidos na embocadura (figura 6). As correntes induzidas pelo rio Púnguè acompanham o canal de

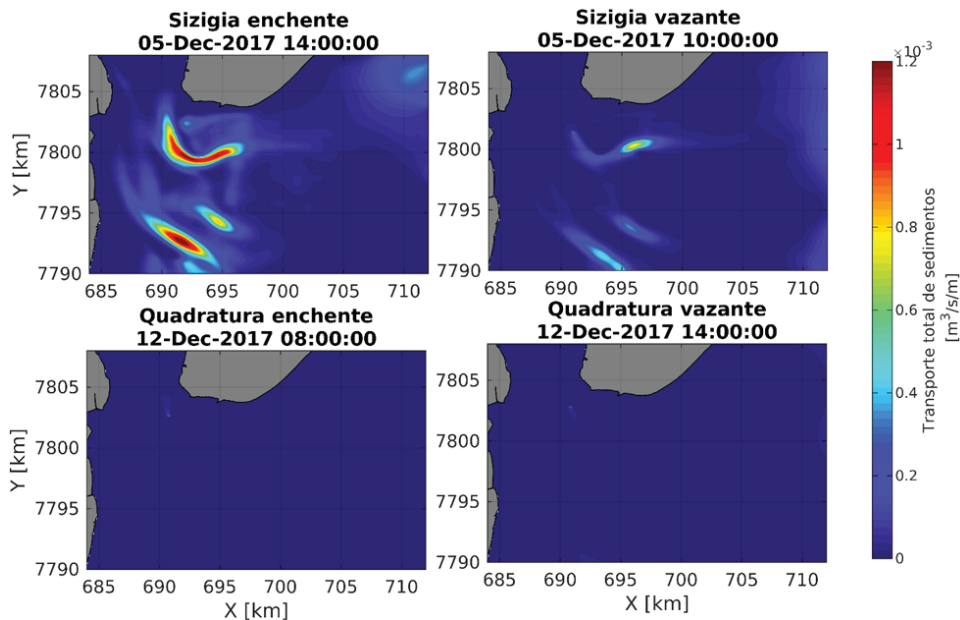


Figura 4. Transporte total de sedimento: Note-se que corresponde ao somatório de todas as frações de sedimentos (areia, areia fina e lodo).

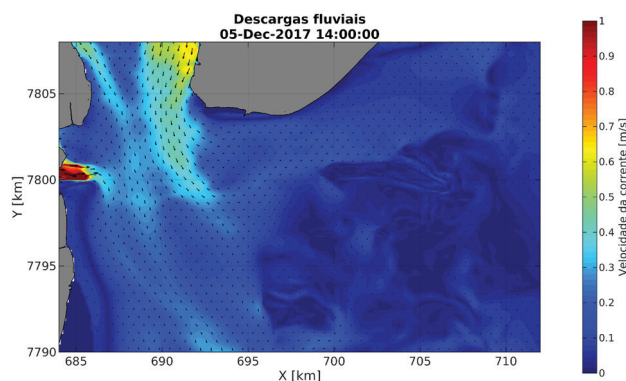


Figura 5. Velocidade e direção da corrente devida às descargas fluviais.

acesso ao porto. No mesmo local as correntes são intensificadas. A pluma de dragagem (representada na figura 6 – elipse vermelha) é transportada pelas correntes induzidas pelo rio Púnguè seguindo a sua direção.

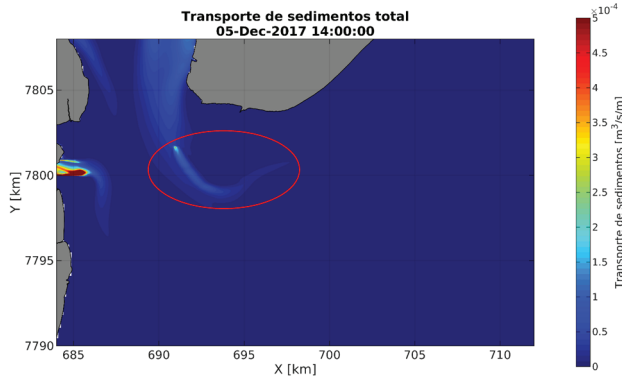


Figura 6. Transporte total de sedimentos considerando o somatório de todas as frações de sedimentos (areia, areia fina e lodo) devido a correntes de descargas fluviais. Note-se que a elipse assinala a zona de dispersão da pluma de dragagem.

(marés e descargas fluviais) alteram a influência do vento na hidrodinâmica local. Neste caso da simulação com a atuação apenas do vento, indica que a circulação no estuário é condicionada pela batimetria do local. Nota-se que no canal de acesso ao porto concretamente na S10 (curva de Macuti) foram registadas velocidades de até 0.12 m/s. Refira-se que as velocidades das correntes induzidas pelos ventos são menores relativamente às correntes induzidas pelas marés e descargas fluviais.

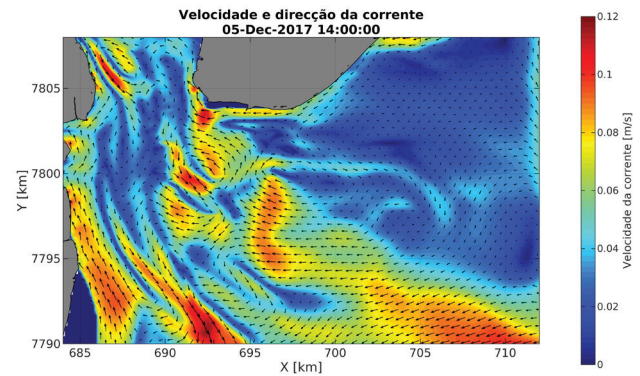


Figura 8. Correntes induzidas pelo vento.

3.3 Ação do vento

Considerada uma velocidade do vento de 6 m/s soprando para o noroeste (figura 7), a corrente induzida sofre uma deflexão devido ao efeito de Coriolis de aproximadamente 45° para a esquerda (hemisfério sul), isto no alto mar, enquanto no interior do estuário as correntes são condicionadas pela batimetria (pela presença de bancos de areia e canais).

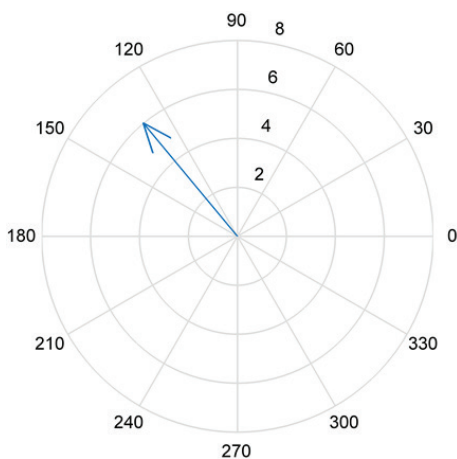


Figura 7. Velocidade e direção do vento aplicada.

Na simulação da pluma de sedimentos durante a atuação de vento, a pluma de dragagem foi transportada pelas correntes superficiais na curva de Macuti (figura 9). Nesta simulação, a pluma de sedimentos é constituída maioritariamente por lodo.

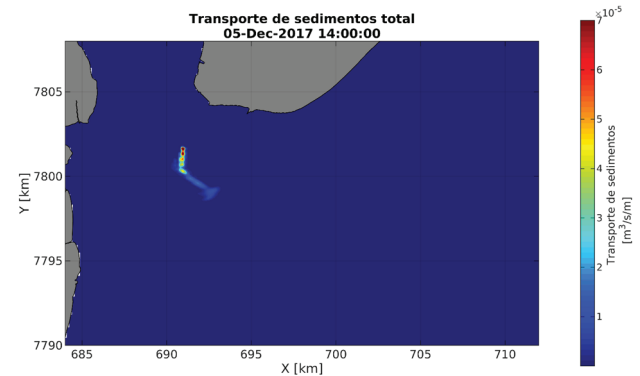


Figura 9. Transporte total de todas as frações de sedimentos (areia, areia fina e lodo).

3.4 Concentração de sedimentos nas principais secções dragadas

A análise da ação do vento sobre a dinâmica da pluma de sedimentos no Estuário da Beira mostrou que as respetivas correntes apresentam direções diversificadas (figura 8). Esta mudança no padrão das correntes sugere que as outras forças

de comparação da concentração de sedimentos foi realizada somando as frações de sedimentos (areia, areia fina e lodo). Considerando os pontos de observação correspondentes às secções S8, S9, S10 (curva de Macuti) foi possível comparar a concentração da pluma com dragagem sem

atuação de outras ações com uma situação de atuação da maré, influência das descargas fluviais e da ação do vento (figura 10).

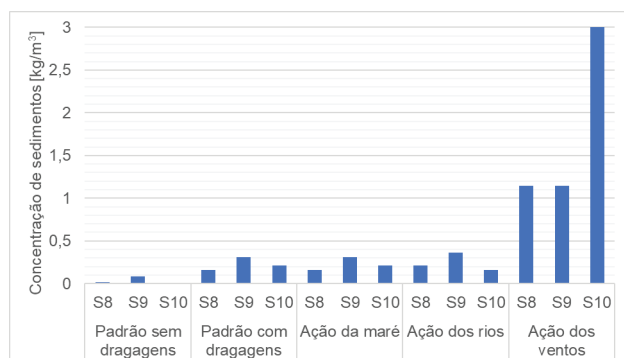


Figura 10. Concentração de sedimentos considerando o somatório das frações de sedimentos (areia, lodo, areia fina) para os pontos S8, S9 e S10 (curva de Macuti).

A concentração da pluma de dragagem na curva de Macuti é relativamente maior sob a ação do vento com valores que chegam a 3 kg/m^3 , seguido da ação da maré e das descargas fluviais. Van Rijn (1998) considera que para concentrações de lodo entre 0.3 a 10 kg/m^3 o processo de deposição é dominado pela floculação. 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 ao ambiente por *overflow*. Este facto explica a predominância de elevadas concentrações de lodo e areia fina. Pode-se verificar pela equação (1) que maiores velocidades de sucção da mistura de água e sedimentos durante a dragagem implicam maior produção da dragagem mas como consequência haverá maiores concentrações de sedimentos.

A simulação da concentração de sedimentos sem operações de dragagens apresenta valores mais baixos de concentração de sedimentos relativamente as restantes simulações, indicando assim que as dragagens aumentam a concentração de sedimentos na coluna de água.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo tinha como objetivo avaliar a influência das marés, vento e das descargas fluviais na dispersão da pluma de sedimentos oriundas de atividades de dragagens no canal de acesso ao Porto da Beira. Foram realizadas diversas simulações para se aferir a contribuição de cada ação na dispersão da pluma de sedimentos oriundas de atividades de dragagens nesta região.

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

De um modo geral, a corrente de maré é responsável pela dispersão de maior parte dos sedimentos no estuário. As descargas fluviais tiveram uma contribuição intermédia na dispersão dos sedimentos e finalmente a ação do vento é a que induz menor transporte sedimentar.

As descargas fluviais mostraram ser uma ação importante para a dispersão da pluma de sedimentos em direção ao mar aberto. O sedimento associado às descargas é predominantemente lodo em suspensão.

O vento mostrou-se como sendo uma ação que origina correntes superficiais em diversas direções, influenciado pela batimetria (canais e bancos de areia). A pluma de dragagem pode deslocar-se em direção ao Porto da Beira ou ao mar aberto dependendo da atuação do vento. No caso específico deste trabalho os sedimentos foram transportados para o mar aberto. O sedimento associado ao vento é predominantemente lodo.

As dragagens têm forte contributo na concentração de sedimentos suspensos por períodos longos devido a predominância de lodo e areia fina. Esta concentração pode ser reduzida diminuindo a velocidade de sucção da mistura de água e sedimento durante a atividade de dragagem.

Correntes fracas implicam que a concentração de sedimentos seja maior e a dispersão (transporte) da pluma é baixa (caso específico da ação do vento) enquanto que correntes fortes mostraram que a dispersão da pluma é maior e a concentração é baixa (caso específico das correntes de marés). Toda esta dinâmica é condicionada pela batimetria e ação das marés.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abas, I.; Hagedooren, H. - *Salt intrusion in the Pungue estuary, Mozambique*. Delft: Delft University of Technology, 2017. Dissertação de mestrado.

Becker, Johannes - *Dredge plumes - ecological risk assessment*. Delft: Delft University of Technology, 2011. Dissertação de mestrado.

Castro, S. M.; Almeida, J. R. - *Dragagem e conflitos ambientais em portos clássicos e modernos: uma revisão*. Uberlândia: Soc. Nat., 2012.

CONSULTEC - *Simplified Environmental Study of the Dredging of Beira Port Access Channel*, Sofala, 2007. (Relatório final).

Delft3D-Flow - *Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena*,

including sediments. User Manual. Published and printed by Deltares, Rotterdamseweg 185 p.o. box 177. 2600 MH Delft, 2017.

JICA - *The Study for Maintenance and Improvement Plan of Access Channel of Beira Port in the Republic of Mozambique*. Japan International Cooperation Agency (JICA) and Ministry of Transport and Communications of Republic of Mozambique, 1998. (Final Technical Report).

Nzualo, Teodósio das Neves Milisse - *Estudo hidrodinâmico e ambiental do estuário da Beira - Moçambique*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010. Dissertação de mestrado.

Nzualo, Teodósio N.M.; Gallo, Marcos N.; Vinzon, Susana B., *Short-term tidal asymmetry inversion in a macrotidal estuary (Beira, Mozambique)*,

Geomorphology (2018), doi:10.1016/j.geomorph.2018.01.029.

Rijn, Leo C. van - *Principles of sediment transport in estuaries and coastal seas*. Amsterdam: Aqua Publication, 1993. ISBN 90-800356-2-9.

Rijn, Leo C. van - *Principles of coastal Morphology*. Amsterdam: Aqua Publication, 1998. ISBN 90-800356-3-7.

Rijn, Leo C. van - *Turbidity due to dredging and dumping of sediments*. Leo van Rijn sediment consultancy, 2019. www.leovanrijn-sediment.com.

Silva, António Fernandes - *Características hidrográficas do estuário da Beira, Moçambique*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. Dissertação de mestrado.