

## MODELAÇÃO DO TRANSPORTE TRANSVERSAL DE SEDIMENTOS NA RESTINGA DA MACANETA

Jaime PALALANE<sup>1</sup>; Magnus LARSON<sup>2</sup>; Hans HANSON<sup>3</sup>

### RESUMO

A restinga da Macaneta é um cordão litoral com aproximadamente 12 km de extensão, localizado imediatamente a norte da cidade de Maputo. Esta formação que se desenvolve ao longo do estuário do rio Incomáti contribui para a proteção do ambiente costeiro aí existente. Os istmos existentes ao longo da restinga despertam atenção para a possibilidade de rompimento desta formação, o que a acontecer poderia, dentre outros problemas ambientais, provocar a propagação da intrusão salina mais para montante da foz do rio Incomáti e a perda de áreas aráveis. Para estudar sob que condições a erosão e o transporte transversal de sedimentos poderá resultar no seu rompimento, foi estabelecido um modelo de transporte transversal de sedimentos para a restinga da Macaneta. Para a conceção de tal modelo, foram efetuados levantamentos altimétricos na parte emersa da restinga, batimétricos na parte imersa e recolhidas amostras de sedimento em diferentes pontos característicos das secções levantadas. Foi propagada uma série de 12 anos de ondas provenientes de reanálises para a costa. Com as ondas propagadas e variações de marés foram quantificadas perdas de sedimento por erosão, a troca de sedimentos entre as bermas e barras, e o transporte de sedimento por lavagem (*overwash*) para o lado abrigado da restinga. Os resultados desta modelação demonstraram a existência de potencial para a ocorrência de rompimentos da restinga nas secções estreitas desta. Foi igualmente possível de observar ao longo do tempo de análise a ocorrência de episódios de lavagem que levam a que sedimentos sejam transportados do lado da restinga exposta a agitação marítima para o lado abrigado em contacto com o rio.

**Palavras-chave:** Erosão; Macaneta; Restinga; Tempestades; Transporte de Sedimentos.

---

<sup>1</sup> Mestre e Assistente, Departamento de Engenharia Civil - Universidade Eduardo Mondlane; Av. De Moçambique, km 1.5, Cidade de Maputo, Moçambique; jaime.palalane@uem.mz, Telefone: +258 21475311.

<sup>2</sup> Doutor e Professor; Departamento de Engenharia de Recursos Hídricos - Universidade de Lund; Universidade de Aveiro; Faculdade de Engenharia LTH, C.P. 118, SE-221 00 Lund, Suécia; magnus.larson@tvrl.lth.se, Telefone: +46 462228987.

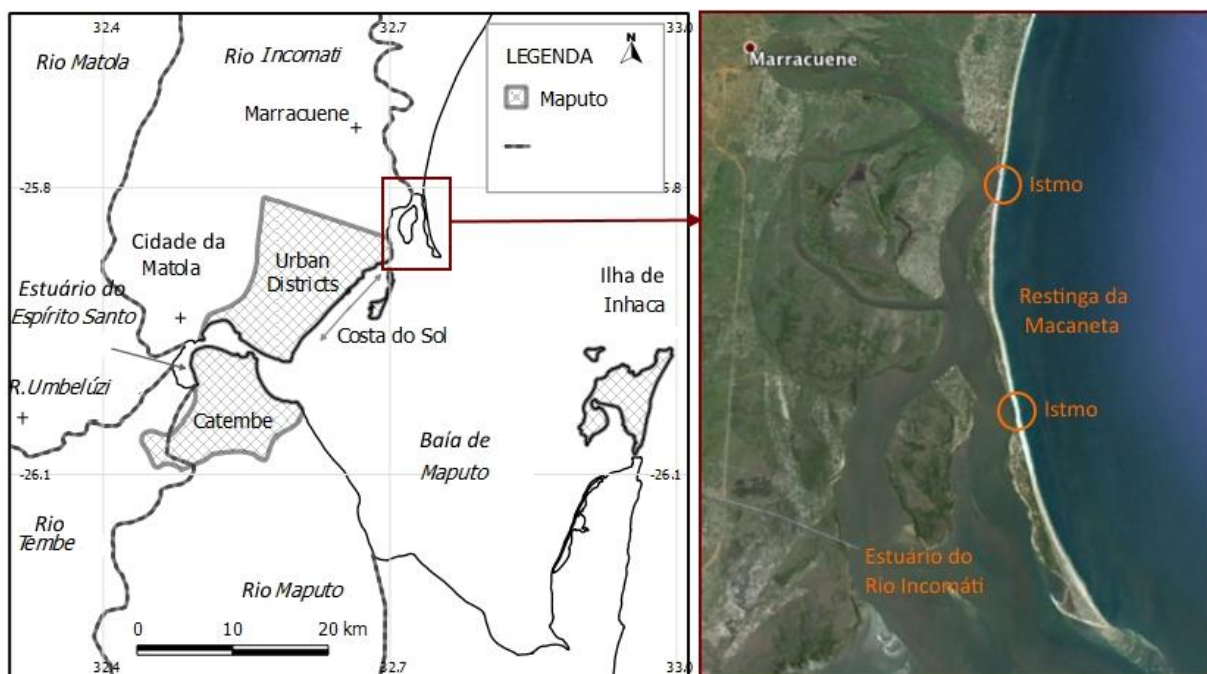
<sup>3</sup> Doutor e Professor; Departamento de Engenharia de Recursos Hídricos - Universidade de Lund; Universidade de Aveiro; Faculdade de Engenharia LTH, C.P. 118, SE-221 00 Lund, Suécia; hans.hanson@tvrl.lth.se, Telefone: +46 462228987.

## 1. INTRODUÇÃO

A ocorrência e desenvolvimento de restingas é comum junto à foz de rios, barras e a sotamar de ilhas barreira. A restinga da Macaneta, localizada a sensivelmente 30 km para norte da Cidade de Maputo, é um exemplo emblemático deste tipo de formação. Esta restinga arenosa estende-se ao longo do estuário do rio Incomati, com um desenvolvimento no sentido norte-sul, e uma ligeira curvatura para este (Figura 1).

O rompimento desta formação arenosa em uma das suas secções mais estreitas ao longo dos seus 12 km de comprimento provocaria o deslocamento da cunha salina mais para montante do estuário do rio Incomati e conseqüentemente uma considerável perda de terras aráveis pelo progresso da intrusão salina para montante. O seu rompimento e erosão acentuada pode igualmente resultar no isolamento das propriedades localizadas mais a sul, em resultado do corte do seu acesso por terra. Magos (2002), citado em DHI (2013), descreve a ocorrência de eventos de erosão transversal de grande magnitude, que resultaram na observância de transporte de sedimentos por lavagem em 2002. É igualmente descrito na mesma publicação a ocorrência de um evento de rompimento parcial da restinga em Novembro do ano 2000 ou 2001.

Neste contexto, o presente estudo explora a aplicação de um modelo numérico de simulação do transporte transversal de sedimentos para quantificar os ganhos e perdas de sedimento nas porções emersas e imersas da restinga da Macaneta. É igualmente explorado o potencial deste modelo para simular a ocorrência de lavagem ou rompimento da restinga associados á grandes magnitudes de erosão.



**Figura 1.** Localização da restinga da Macaneta e identificação das suas duas secções mais estreitas (imagem a direita modificada de Google Earth 2015)

## 2. OBJECTIVOS

O objetivo principal deste estudo é de modelar o transporte transversal de sedimentos na restinga da Macaneta induzindo pela ação das ondas, do vento e variações no nível das águas do mar. Particular interesse do estudo está em simular e quantificar eventos de erosão associados às tempestades que possam resultar na ocorrência de lavagem e rompimento da restinga. Com a quantificação das magnitudes desses eventos almeja-se avançar para uma análise estatística que permite definir a probabilidade de ocorrência de tempestades que coloquem a integridade da restinga em risco.

## 3. METODOLOGIA

O capítulo da metodologia inicia com uma descrição teórica sumária do modelo de transporte transversal de sedimentos adotado para o presente estudo no subcapítulo 3.1. A posterior, é feita a descrição dos dados introduzidos no modelo e seu tratamento no subcapítulo 3.2.

### 3.1 Formulação teórica do modelo

O modelo de transporte transversal adotado considera a erosão e acreção da duna do lado de barlavento (exposto a ação energética do mar) e do lado de sotavento, como resultado do transporte devido ao impacto das ondas incidentes e do transporte eólico (Hanson *et al.* 2010; Larson *et al.*, 2013).

A evolução restinga é dada pelas alterações na geometria da sua secção transversal. Para tal, o modelo considera um perfil tipo da secção da restinga definida pelos parâmetros geométricos posição do pé da duna a sotavento ( $y_L$ ), posição do pé da duna a barlavento ( $y_S$ ), posição da crista da berma ( $y_B$ ) e altura da duna ( $s$ ), tal como representado pela Figura 2.

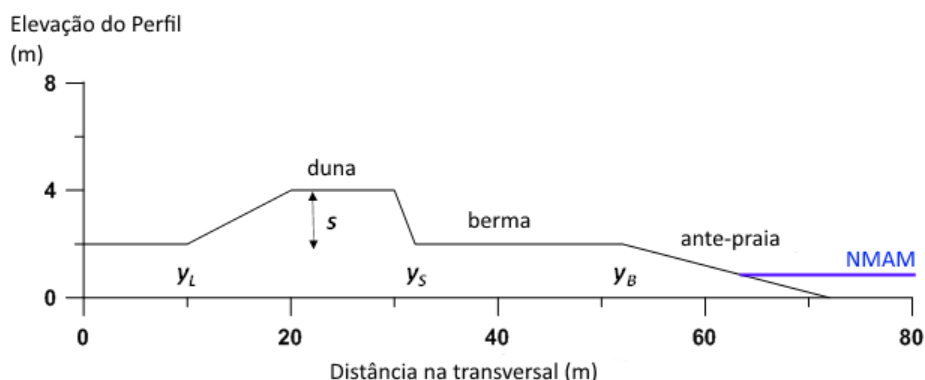


Figura 2. Representação esquemática do perfil tipo da secção transversal considerado pelo modelo

#### 3.1.1 Erosão da duna

A erosão em resultado do espraio das onda é calculado a partir da versão modificada da teoria de impacto (Overton e Fisher, 1998) proposta por Larson *et al.* (2004). Segundo esta

teoria, o volume mobilizado pelo impacto de uma onda incidente pode ser determinada pela expressão:

$$\Delta V_E = 4A(R - z_B)^2 \frac{\Delta t}{T} \quad (1)$$

sendo:

- $\Delta V_E$  - volume erodido durante um tempo específico ( $m^3/m$ );
- $R$  - altura do *runnup* medido a partir do no nível médio das águas do mar - NMAR (m);
- $Z_B$  - altura da berma acima do NMAR (m);
- $\Delta t$  - tempo (s);
- $T$  - período da onda (s);
- $A$  - coeficiente empírico do impacto da duna ( $= 2 \times 10^{-4}$ ).

A altura do *runnup* é determinado a partir da expressão:

$$R = C_R \sqrt{H_0 L_0} \quad (2)$$

sendo:

- $C_R$  - coeficiente empírico ( $= 0.158$ );
- $H_0$  - altura significativa de onda ao largo (m);
- $L_0$  - comprimento de onda ao largo (m).

De acordo com a Equação 1, regista-se erosão quando a altura do *runnup* excede a altura da berma ( $R > Z_B$ ). De modo contrário, não ocorre erosão quando o *runnup* é inferior a altura da duna ( $R < Z_B$ ). Um terceiro cenário possível é o da lavagem que ocorre quando o *runnup* excede a altura da duna  $s$  ( $R > Z_B + s$ ).

### 3.1.2 Lavagem e rompimento

Na presença de lavagem (*overwash*) parte do sedimento mobilizado pelo impacto da onda passará por cima da crista da duna, sendo transportado para o lado de sotavento. A parte restante do volume erodido será transportado em direção ao largo. Porque a força de impacto é neste caso reduzida, o volume erodido é quantificado a partir da expressão:

$$\Delta V_E = 4A(R - z_B) \frac{\Delta t}{T} \quad (3)$$

Deste, a porção transportada para sotavento e em direção ao largo, serão dados pelas Equações 4 e 5, respetivamente.

$$\Delta V_L = \frac{\Delta V_E}{1+\alpha} \quad (4)$$

$$\Delta V_S = \alpha \frac{\Delta V_E}{1+\alpha} \quad (5)$$

em que  $\alpha$  é um coeficiente que expressa a porção do sedimento erodido que é transportado por lavagem. O coeficiente  $\alpha$  pode é calculado a partir da expressão:

$$\alpha = \frac{\frac{R-z_B}{s} - 1}{A_{over}} \quad (6)$$

sendo a constante  $A_{over} = 3$  (Larson *et al.*, 2009).

No modelo, considera-se que ocorre o rompimento da duna devido à erosão e lavagem quando 90% da duna for erodida, critério proposto por Larson *et al.* (2009).

### 3.1.3 Transporte eólico

O enriquecimento e crescimento da duna ocorre em resultado do transporte eólico. A taxa de transporte aumenta ao longo da ante-praia, atingindo o seu valor de equilíbrio meio caminho entre a linha da costa (crista da berma) e o pé da duna, conforme expresso pela, Equação 7:

$$q_w = q_{w0} \left( 1 - \exp(-\lambda(y_B - y)) \right) \quad y_D \leq y \leq y_B \quad (7)$$

sendo:

$q_{w0}$  - taxa de transporte eólico nas condições de equilíbrio;  
 $y$  - distância de equilíbrio;  
 $\lambda$  - coeficiente de crescimento da taxa de transporte.

A distância de equilíbrio depende de factores como o tamanho e humidade dos sedimentos, e a velocidade do vento (Hotta 1984; Davidson-Arnott e Law, 1990). A fórmula de cálculo da taxa de transporte eólico de equilíbrio, derivada por Lettau e Lettau (1977), é apresentada pela Equação 8.

$$q_{w0} = K_W \sqrt{\frac{d_{50}}{d_{50}^{ref}}} \frac{u_*^2}{g} (u_* - u_{*c}) \quad (8)$$

sendo:

$K_W$  - coeficiente empírico (= 4.2);  
 $d_{50}^{ref}$  - diâmetro mediano de referência (mm)  
 $u_*$  - velocidade de arrastamento no solo;  
 $u_{*c}$  - velocidade crítica de arrastamento no solo.

Por seu turno, a velocidade crítica de arrastamento é calculada a partir da expressão:

$$u_{*c} = A_W \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} g d_{50}} \quad (9)$$

sendo:

$\rho_s$  - densidades do sedimento;  
 $\rho_a$  - densidade do ar;  
 $A_W$  - coeficiente empírico (=0.1).

A velocidade de arrastamento é calculada a partir da expressão:

$$u_* = C_S W \quad (7)$$

sendo:

$W$  - velocidade do vento a 10 m do solo;  
 $C_S$  - coeficiente (= 0.053, de acordo com Horikawa, 1978).

Para os casos de indisponibilidade de séries consistentes de velocidade e direcção do vento, o modelo permite especificar que o enriquecimento e crescimento da duna dá-se a uma taxa constante de transporte eólico.

### 3.1.4 Outras formulações

O modelo inclui outras formulações para descrever a transferência de sedimentos entre a berma e a barra, tendo como base o modelo desenvolvido por Larson *et al.* (2013). Segundo este modelo, a barra evolui em direcção a um volume de equilíbrio ditado pelas características das ondas incidentes e propriedades dos sedimentos.

Após o cálculo das taxas de transporte pelo impacto das ondas, eólico e de transferência de sedimento entre a berma e a barra, é aplicado o princípio de conservação da massa. Resolvidas as equações que advêm da aplicação dess princípio é determinada a evolução para cada intervalo de tempo dos parâmetros geométricos  $y_L$ ,  $y_S$ ,  $y_B$ ,  $s$ , e dos volumes da duna ( $V_D$ ) e da barra ( $V_B$ ).

### 3.2 Implementação do modelo

O modelo de transporte transversal de sedimentos foi aplicado para simular a ocorrência de erosão, lavagem e rompimento na secção mais estreita da restinga identificada na Figura 1. Para os casos de ausência de dados provenientes dos levantamentos de campo, coeficientes padrões derivados em estudos anteriores que envolveram levantamentos de campo e ensaios laboratoriais foram adoptados para o presente caso de estudo.

#### 3.2.1 Características geométricas e do sedimento

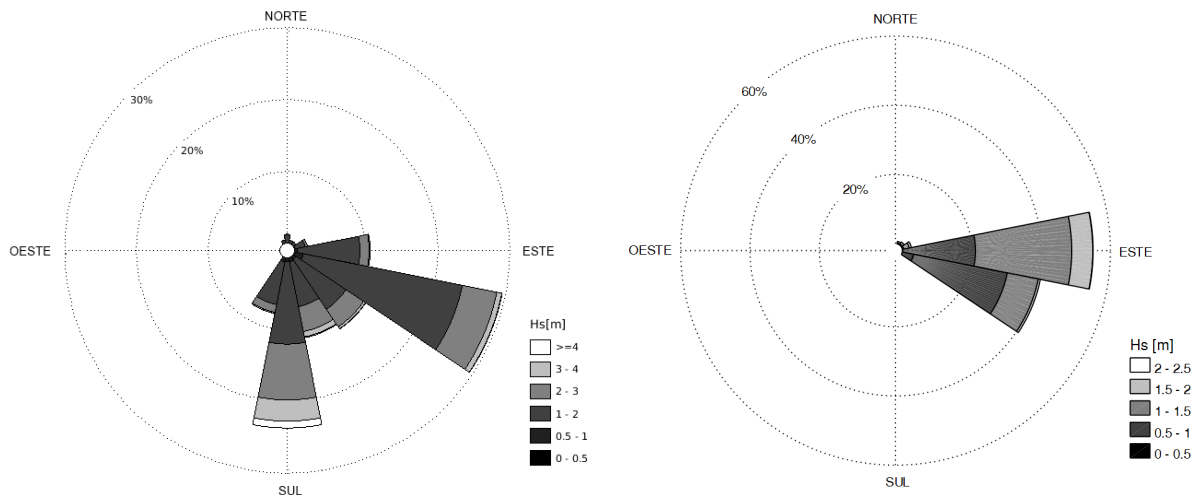
A partir dos levantamentos de campo, efectuados em Março de 2015, com recurso a um par de GPS diferenciais, foi possível derivar o perfil da secção transversal do istmo. Para o mesmo foram considerados os seguintes valores de entrada: altura inicial da duna ( $s$ ) e altura máxima da duna ( $s_{max}$ ) acima da crista da berma igual a 2 m. A altura a crista da berma foi igualmente especificada em  $Z_D=2$  m, a posição do pé da duna a sotavento  $Y_L=10$  m, no lado de barlavento  $Y_S=46$ m, e a posição da berma  $Y_B=70$ m. As inclinações a sotavento e a barlavento da duna foram especificadas em  $\beta_L = 0.1$  e  $\beta_S = 0.3$ , respectivamente (ver Figura 2).

O diâmetro mediano dos sedimentos foi determinado a partir da análise granulométrica amostras de sedimentos recolhidas em quatro pontos do perfil da secção em análise, especificamente: na duna, na berma, na ante-praia e na zona de rebentação. Um diâmetro médio mediano  $d_{50}=0.35$  mm foi determinado. Este valor está em concordância com os valores apresentados nos estudos de DHI (2013) e Macário (1995). Foi considerada uma temperatura média das águas do mar de 24°C, profundidade de fecho  $d_{clos}=6$  m, e um volume inicial da barra de 40 m<sup>3</sup>/m.

#### 3.2.2 Acções hidrodinâmicas e do vento

Dados de onda ao largo foram obtidos a partir do modelo Wave Watch III (WW3), para um ponto situado a sensivelmente 80 km da restinga, com coordenadas 26°S e 33.5°E. A extensão da série de dados de onda empregue foi de 10 anos, com valores de altura significativa, período e direcção de onda em cada 3 horas. Os dados de onda ao largo foram propagados para costa para um ponto localizado a batimétrica de 10 m, com o recurso ao modelo EBED (Nam e Larson, 2010). As ondas propagadas atingiram a costa com uma altura média e máxima de onda de 0.74 m e 1.87 m, respectivamente. O período médio da onda foi de 7 s, e o máximo 15.5 s. Foram igualmente consideradas variações de marés que

induzem a oscilações no nível médio das águas do mar, entre -1.46 m e +1.52 m. A série de variações foi obtida do WXTide32, tendo sido multiplicados por um factor de correcção de 0.75 para fazer coincidir com os valores apresentados em estudos anteriores (de Boer *et al.* 2000; DHI, 2003). O desvio observado nos valores dados pelo WXTide pode ser explicado pelo facto de os valores serem calculados tomando como base dados de maré no Porto de Durban.



**Figura 3.** Rosa das ondas ilustrando a variação das alturas de onda e direcções de incidência ao largo (imagem a esquerda) e batimétrica 10 m (imagem a direita).

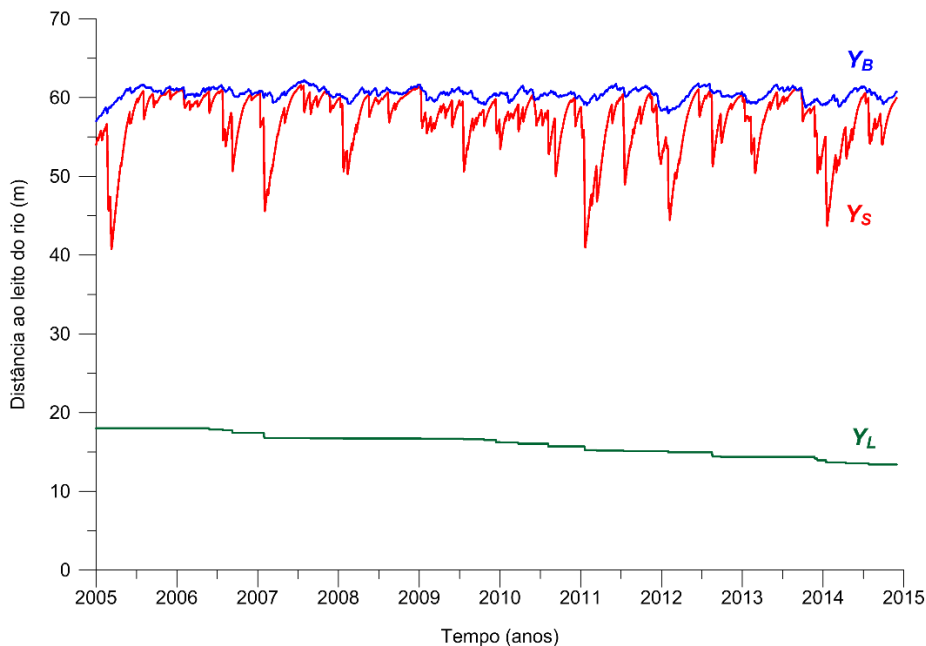
Para estimativa do transporte eólico, foram empregues dados de vento de reanálises obtidos no repositório do Centro Europeu para Previsão Climática a Médio Termo (ECMWF). Os dados de vento foram descarregados para um ponto com coordenadas 26°S e 32.75°N. A série empregue tinha, de modo similar aos dados de onda, uma extensão de 10 anos, apresentando componentes horizontais e verticais da velocidade do vento a cada 6 horas. Paralelamente a simulação com dados de vento, por estes não serem provenientes de medições *in situ*, foi feita uma simulação adicional assumindo uma taxa de transporte eólico constante de 0.25 m<sup>3</sup>/m/dia.

#### 4. RESULTADOS

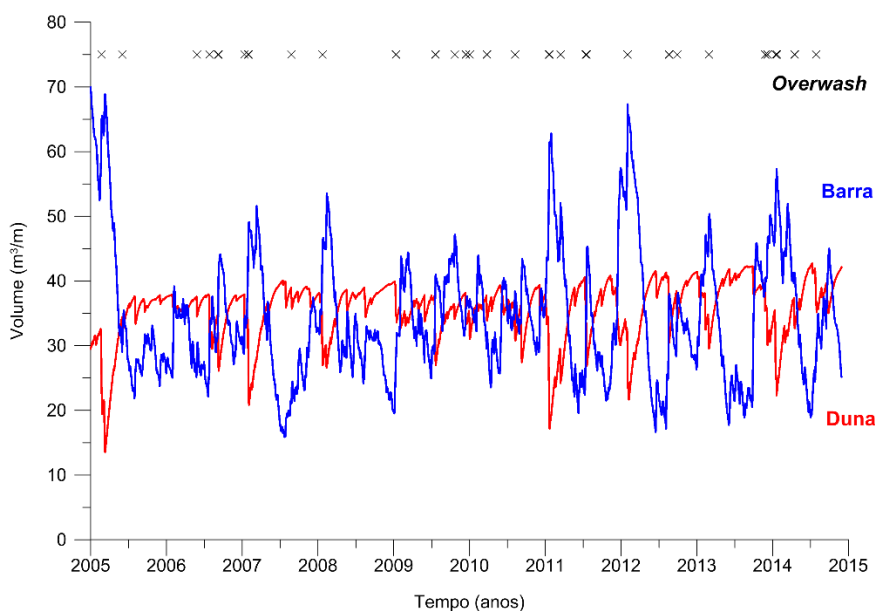
O transporte transversal de sedimentos foi calculado para um período de 10 anos, entre Janeiro de 2005 e Dezembro de 2014. A análise dos resultados incidiu sobre o movimento da berma ( $Y_B$ ), do pé da duna a barlavento ( $Y_S$ ) e a sotavento ( $Y_L$ ), e na transferência de sedimento entre a duna e a berma. Foram também marcados os períodos em que o modelo indicou a ocorrência de lavagem.

A Figura 4 ilustra a evolução no tempo de  $Y_L$ ,  $Y_S$  e  $Y_B$ . Na Figura 5, é feita a ilustração da variação temporal dos volumes da duna e da barra. É também ilustrado nesta figura os momentos de ocorrência de lavagem.





**Figura 4.** Evolução temporal da posição do pé da duna a barlavento e a sotavento, e da crista da berma.



**Figura 5.** Variações no volume da duna e da barra para a secção mais estreita da restinga da Macaneta, e indicação dos momentos em que se registaram episódios de lavagem.

Da Figura 4 é possível observar que a posição da berma e da duna estão em mudança constante durante o período da simulação. A acção combinada das ondas e ventos incidentes contribuem para o intercalar entre fases de ganhos e perdas de sedimentos que ditam a inclinação da praia e a largura da berma e da duna. É notório que a posição do pé da duna a barlavento está em constante alteração mas com indicação de que oscila em torno de um valor de equilíbrio. O padrão de oscilação em torno de um valor de equilíbrio é também notório para a posição da berma mas com a particularidade que as variações em torno desse valor de equilíbrio serem maiores.



Os resultados da simulação ilustrados na Figura 4 indicaram ainda a ocorrência de 79 eventos de lavagem ao longo dos dez anos da simulação. Contudo, importa mencionar que o volume de sedimento transportado por lavagem não se mostrou significativo, tendo sido estimado em  $5.5 \text{ m}^3/\text{m}$  durante todo o período da simulação.

A Figura 5 ilustra a interligação existente entre a porção emersa e a porção imersa da praia. Esta interligação pode é ilustrada pelo facto de os decréscimos de volume da duna serem acompanhados por incrementos de volume da barra. De modo recíproco, os ganhos de volume pela duna são acompanhados por reduções no volume da barra. Este padrão de variação conjunta é explicado pelo facto de o material erodido da duna ser libertado contribuir para o crescimento da berma, ao mesmo que se verifica a transferência de sedimentos entre a berma e a barra.

## 5. DISCUSSÃO

Um aspecto importante a discutir sobre os resultados da implementação do modelo é a ocorrência de lavagem. O reduzido volume de sedimentos transportados por lavagem ( $5.5 \text{ m}^3/\text{m}$  ao longo dos dez anos de simulação) quando comparado com o número de 79 eventos de lavagem ocorridos durante o período da simulação explica a lenta e reduzida migração da posição do pé da duna a sotavento ( $Y_L$ ), em direcção ao rio (ver Figura 5).

A análise de imagens de satélites históricas para a secção em estudo, com especial enfoque na escarpa da duna, contraria com a tendência de lenta e contínua migração da duna indicada pelo modelo. Esta oposição pode ser explicada pelo facto de o modelo adoptado não entrar em consideração como o efeito das variações do caudal no rio Incomáti e do seu poder erosivo no lado de sotavento da restinga. Este facto sugere que os eventos de lavagem ora assinalados não contribuem para o alargamento do restinga mas sim podem estar a contribuir para compensar as perdas de sedimento por erosão fluvial no lado do rio.

A análise granulométrica efectuada a amostras de sedimentos recolhidos no leito do rio junto a restinga mostra que o mesmo é composto principalmente por areias com uma distribuição granulométrica próxima à das amostras recolhidas a barlavento no lado exposto à acção energética do mar. Os sedimentos existentes no leito do rio nesta secção apresentam igualmente um coloração mais clara que os sedimentos mais finos que são característicos do leito. Estas constatações reforçam a ideia de ocorrência de lavagem e o consequente transporte de sedimentos do lado barlavento para sotavento. Informações anedóticas apresentadas em DHI (2013) reportam a ocorrência de eventos de lavagens em alguns anos.

Os resultados da simulação não indicarem a ocorrência de rompimento entre os anos 2005 e 2014. Contudo, o risco de ocorrência de rompimento está sempre presente e não deve ser negligenciado. Ademais, Magos (2002) citada em DHI (2013) reporta e apresenta imagens de um evento de rompimento da restinga com a indicação de ter ocorrido em Novembro de 2000 ou 2001. Assim, seria desejável que período de modelação seja alargado para poder cobrir este período com relato de ocorrência de um evento de rompimento.

A análise do clima de ondulação revelaram que os ciclones e tempestade tropicais constituem a grande ameaça para o rompimento da restinga. Esta constatação é baseada

na observação de que dos dados do WW3 as alturas de ondas mais altas ao largo ocorreram durante a passagem do ciclone tropical Irina em finais de Fevereiro de 2006. Embora a restinga possua uma protecção natural contra as ondas mais energéticas, o Baixo de Danae, que causa a rebentação das ondas de maior altura mais ao largo, a observância de marés de tempestade de grande amplitude pode contribuir para que ondas mais severas chegam a costa. Esta última constatação contribuiu para a ideia de um maior risco de rompimento da restinga a quando da passagem de tempestades ou ciclones tropicais, especialmente se o seu pico coincidir com marés vivas.

O modelo de transporte transversal de sedimentos representou a variação temporal do perfil da secção transversal da restinga de forma satisfatória. Contudo, a inexistência de um programa de monitoria regular de perfis de praia na restinga da Macaneta, impossibilita a realização de um exercício de calibração e validação do modelo ora adoptado. Deste modo, o mesmo foi implementado com alguma dependência de parâmetros provenientes da aplicação do modelo em outras áreas de estuário e derivados de ensaios laboratoriais. Assim, é desejável que sejam conduzidos levantamentos mais regulares que focalizem não apenas o lado exposto à acção directa do mar mas também o lado do rio Incomati.

## **6. CONCLUSÕES**

O presente estudo analisou os resultados da implementação de um modelo de transporte transversal de sedimentos para simular a erosão transversal, lavagem e rompimento da restinga da Macaneta. Os resultados da implementação do modelo durante um período de dez anos, entre Janeiro de 2005 e Dezembro de 2014 mostraram que o mesmo tem um potencial para representar as variações do perfil transversal da restinga, assim como a transferência de sedimentos entre as porções emersas e imersas do perfil ora representado.

A aplicação do modelo indicou a ocorrência de eventos de lavagem, durante os quais verifica-se o transporte de sedimento mobilizados no lado de barlavento da duna para o lado de sotavento. Contudo, esta transferência de sedimentos não tem contribuído para o alargamento da restinga em direcção ao rio. Este não alargamento da restinga sugere que o volume adicional de sedimentos no lado do rio contribuiu para a estabilização, compensado o volume de sedimentos é erodido pelo rio a quando da ocorrência de caudais elevados neste curso de água.

Limitações na implementação do modelo foram impostas pela exiguidade de dados instrumentais de alturas, direcções e períodos de ondas, variação do nível médio das águas do mar, perfis da secção da restinga. Há portanto a necessidade de se empreender um esforço para elevar o nível de qualidade dos dados de modo a possibilitar a validação do modelo. A existência de um modelo mais robusto e fiável possibilitará o uso do mesmo para quantificar a resposta da restinga às acções hidrodinâmicas de diferentes magnitudes, e o posterior uso dos resultados para uma análise probabilística do risco de rompimento da restinga.

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste trabalho contou com o apoio do Departamento para Cooperação em Investigação da Agência Sueca para o Desenvolvimento Internacional (Sida-SAREC),

através do financiamento concedido ao Programa de Gestão Integrada de Recursos Hídricos – Aspectos Quantitativos e Qualitativos da GIRH para o Desenvolvimento Sustentável de Moçambique (subvenção 2011-002102), implementado dentro das actividades de cooperação bilateral entre instituições suecas e a Universidade Eduardo Mondlane em Moçambique.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Davidson-Arnott R.G.D., Law M.N. (1990). Seasonal patterns and controls on sediment supply to coastal foredunes, long Point, Lake Erie. In *Coastal Dunes: Form and Process*. Ed. Nordstrom K.F., Psuty N.P., e Carter R.W.G. John Wiley & Sons Ltd., 177-200.

de Boer W. F., Rydberg L., Saide V. (2000). Tides, tidal currents and their effects on the intertidal ecosystem of the southern bay, Inhaca Island, Mozambique. *Hydrobiology* 428, 187-196.

DHI (2013). Macaneta. Coastal and River Bank Erosion. DHI. Copenhaga, 58 p.

Hanson H., Larson M., Kraus N. C. (2010). Calculation of beach change under interacting cross-shore and longshore processes. *Coastal Engineering* 57, 610-619.

Horikawa K. (1978). Coastal engineering. An introduction to Ocean Engineering. University of Tokyo Press. Tokyo.

Hotta S. (1984). *Wind blown sand on beaches*. Tese de Doutoramento. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Tóquio. Tóquio.

Larson M., Hanson H., Palalane J. (2013). Simulating cross-shore material exchange in long-term coastal evolution models. In: *Proceeding of Coastal Dynamics 2013*, Arcachon, França, 1037-1048.

Larson M., Donnelly C., Jiménez J. A., Hanson, H. (2009). Analytical model of beach erosion and overwash during storms. *Journal of Maritime Engineering* 164, 115-125.

Larson M., Erikson L., Hanson H. (2004). An analytical model to predict dune erosion due to wave impact. *Coastal Engineering* 51, 675-696.

Nam P., Larson M. (2010). Model of Nearshore Waves and Wave-Induced Currents around a Detached Breakwater. *Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering* 136 (3), 156-176.

Lettau K., Lettau H. (1977). Experimental and micrometeorological field studies of dune migration. In: *Exploring the World's Driest Climate*. Ed. Lettau, K., e Lettau, H. University of Wisconsin-Madison, IES Report 101, 110-147.

Macário L. (1995). *Sedimentos recentes na área da Macaneta*. Tese de Licenciatura. Departamento de Geologia, Universidade Eduardo Mondlane. Maputo.

Magos M. M. J. (2002). *Erosão costeira de Maputo e arredores: O exemplo da Macaneta*. Tese de Licenciatura. Departamento de Geologia, Universidade Eduardo Mondlane. Maputo.

Overton M. F., Fisher J. S. (1988). Laboratory investigation of dune erosion. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 114 (3), 367-373.