



11º Simpósio de Hidrologia e Recursos Hídricos dos Países de Expressão Portuguesa. VI Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa

27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

11º SILUSBA
Zonas Costeiras 2013

MONITORIZAÇÃO E MODELAÇÃO DA EVOLUÇÃO COSTEIRA EM MOÇAMBIQUE: PRÁTICAS E DESAFIOS

Jaime Palalane¹, Manel Grifoll² e Tiago Oliveira³

¹ Universidade Eduardo Mondlane – Faculdade de Engenharia; Av. de Moçambique km 1.5, Maputo – Moçambique,
jaime.palalane@uem.mz

² Universidade Politécnica da Catalunha – Laboratório de Engenharia Marítima; Carrer Jordi Girona 1-3, 080034 Barcelona –
Espanha; manel.grifoll@upc.edu

³ Universidade Politécnica da Catalunha – Laboratório de Engenharia Marítima; Carrer Jordi Girona 1-3, 080034 Barcelona –
Espanha; tiago.oliveira@upc.edu

Palavras-chave: Monitorização e modelação costeira, evolução da linha da costa, Moçambique

Tema: Modelação das zonas costeiras

Tipo de comunicação: Comunicação oral

Resumo

A zona costeira de Moçambique tem sido nos últimos anos alvo de elevados investimentos, com a construção e reabilitação de infraestruturas portuárias e de proteção costeiras nas grandes cidades que, em alguns casos, tem implicado mudanças na dinâmica sedimentar costeira com efeitos notáveis a diferentes escalas temporais e espaciais.

Esta comunicação sintetiza as práticas adotadas em diferentes estudos de monitorização e modelação da evolução costeira realizados para Moçambique, documentando as diferentes metodologias neles aplicados, avaliando a qualidade de informação e a sua utilidade para a compreensão e previsão das alterações que se têm verificado na zona costeira.

A metodologia usada consistiu numa pesquisa bibliográfica, identificando-se os pressupostos e parâmetros adotados para a compreensão da evolução costeira observada, com destaque para os de controlo da evolução costeira, as escalas espaciais e temporais dos estudos, processos que mais influenciam na dinâmica costeira, fontes e especificidades da informação de base para as avaliações e tipo de modelo adotado para simulação das alterações observadas. Posteriormente, efetuou-se uma análise crítica dos resultados apresentados, considerando a qualidade dos dados de entrada empregues e as limitações das diferentes ferramentas de cálculo.

Do presente estudo constata-se a exiguidade de ações contínuas para a monitorização da evolução da linha da costa em Moçambique. A dificuldade em se encontrar informação histórica é uma das principais limitações encontradas, ao lado da ausência de medições instrumentais das características principais das ondas. Constata-se também a dificuldade em separar a dinâmica sedimentar resultante de origem natural, da influência que ações antropogénicas como a destruição da vegetação natural, sendo mais fácil de quantificar a influência de infraestruturas de proteção costeira construídas ao longo da costa. Tendo com base os resultados obtidos apresenta-se uma série de recomendações para futuros estudos de modelação da linha de costa em Moçambique.

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira de Moçambique tem sido nos últimos anos alvo de elevados investimentos, com a reabilitação e expansão de infraestruturas portuárias (e.g. Beira, Maputo e Nacala) e obras de proteção costeiras nas grandes cidades (e.g. Beira e Maputo). Paralelamente à dinâmica sedimentar, verificada ao longo da costa,



induzida por ações naturais, infraestruturas portuárias e de proteção costeira contribuem para alterar o padrão natural do transporte de sedimento, com efeitos notáveis em escalas temporais variáveis. O desfasamento entre o início da exploração de praias e zonas costeiras, e a elaboração de planos que salvaguardem um desenvolvimento sustentável destas áreas tem igualmente contribuído para aumentar a vulnerabilidade das zonas costeiras (CTV, 2012). A possível influência das mudanças climáticas, com a prevista subida do nível do mar (Brommer e Bochev-Van Der Burgh, 2009, INGC, 2011) pode também estar a contribuir para as modificações que se verificam ao longo da costa.

Neste contexto, surge a presente comunicação que pretende sintetizar as práticas adotadas em diferentes estudos de monitorização e modelação da evolução costeira realizados para Moçambique, documentando as diferentes metodologias neles aplicadas, avaliando a qualidade de informação por eles fornecida e a sua utilidade para a compreensão e previsão das alterações que se têm verificado na linha da costa. Pretende também a presente comunicação, identificar as principais necessidades de melhoria nos procedimentos adotados nestes estudos como forma de obter dos mesmos informação mais fiável para a avaliação dos impactos que as diferentes ações, naturais ou antropogénicas, possam ter na evolução da linha da costa.

Para o alcance dos objetivos a que se propunha o trabalho, foi feita uma pesquisa bibliográfica, procurando-se identificar os pressupostos e parâmetros adotados para a compreensão da evolução costeira retratados em diferentes estudos. Para os estudos identificados, efetuou-se uma análise crítica das fontes de informação e métodos de processamento da informação por ele adotados, considerando as limitações dos dados empregues considerando e a qualidade dos resultados por eles fornecidos. O artigo termina com a apresentação das principais conclusões e uma síntese de alguns desafios para a melhoria das iniciativas de monitorização e modelação da evolução da linha costeira em Moçambique.

2. METODOLOGIA

A evolução costeira é motivada por ações naturais assim como antropogénicas. A análise efetuada pelo presente estudo procurou identificar os principais aspetos a ter em consideração na monitorização e modelação da evolução costeira que resultam destes dois grupos de ações. Para a monitorização da evolução costeira foram escolhidos como principais aspetos a serem analisados nas diferentes iniciativas identificadas: o objetivo do estudo e a natureza do problema abordado, os parâmetros de controlo da evolução costeira adotados, o período de análise e a extensão da área de estudo, os processos dominantes na evolução costeira considerados, as fontes e especificidades da informação empregue. Para o estudo que incluiu uma ação de modelação da evolução costeira, foram analisados três aspetos adicionais: tipo de modelo adotado, o mecanismo dominante de transporte de sedimento considerado pelo modelo e o procedimento de calibração e verificação da capacidade de modelação.

Foram também incluídos para análise, pontos que possam fornecer indicadores que apoiem na apreciação da qualidade e fiabilidade dos dados empregues e resultados dos estudos, sugeridos em publicações que efetuam uma revisão do estado da arte do tema abordado, monitorização e modelação da evolução costeira (Brommer e Bochev-Van Der Burgh, 2009, Crowell et al., 1991, Hanson et al., 2003). Cinco estudos, realizados entre os anos 2005 e 2012, foram identificados e selecionados para a análise das práticas de monitorização e modelação da evolução costeira (títulos e autores indicados na Tabela 1). Constituiu critério para a escolha dos estudos, a existência de informação quantitativa que ajude a fundamentar os ganhos ou perdas de sedimentos nas áreas de análise. Destas cinco iniciativas, apenas uma integrou atividades de modelação da evolução da linha da costa.

As principais constatações sobre as práticas correntes nas iniciativas de monitorização e modelação da evolução da linha da costa serviram de base para propor algumas medidas que permitam melhor a qualidade dos resultados e informação final resultante destas iniciativas.



11^o SILUSBA
Zonas Costeiras 2013

11^o Simpósio de Flora e Recursos Hídricos dos Países de Expressão Portuguesa. VI Congresso sobre Ordenamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa.

27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma síntese dos resultados da análise de diferentes estudos de monitorização e modelação da evolução da costa, identificados para Moçambique, é apresentada na Tabela 1. As principais constatações são retratadas em detalhes nas secções seguintes: Práticas na monitorização da evolução costeira; Modelação da evolução costeira; e Desafios para melhoria das ações de monitorização e modelação da evolução costeira.



11ª Smpócio de Floraúca e Aocursos Flóricos dos Países do Expressão Portuguesa VI Congresso sobre Plancamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países do Expressão Portuguesa

27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

11ª SILUSBA

Zonas Costeiras 2013

Tabela 1 – Síntese das iniciativas de monitorização e modelação da evolução costeira identificadas pelo estudo

Estudo (Referência)	A dinâmica dos sistemas litorais do sul de Moçambique durante os últimos 30 anos (Moreira, 2005)	Problemas na zona costeira de Moçambique com ênfase para a costa de Maputo (Langa, 2007)	Assessment of the Impacts of Climate Changes to Sea Level Rise at Costa do Sol Beach in Maputo – Mozambique (Ruby, 2008)	Satellite Remote Sensing for Coastal Change Detection: Mozambique case study ¹ (INGC, 2011)	Coastal erosion in Maputo, Mozambique. Governing processes and Mathematical modeling. (Björnberg, 2012)
Objetivo do estudo e natureza do problema abordado	Análise de taxas de erosão e recuo da linha da costa devido a causas naturais e ações antrópicas na costa sul de Moçambique.	Diagnóstico das causas da erosão, quantificação das perdas e ganhos em termos de volumes de sedimentos e análise de intervenções de proteção costeira.	Avaliação do impacto das mudanças climáticas na subida do nível das águas do mar e recuo da linha da costa na Praia do Costa do Sol e áreas circundantes.	Avaliação da possibilidade de uso de dados de satélite, derivados do sensoriamento remoto, na identificação de processos de erosão e acreção na costa de Moçambique.	Avaliação dos processos que controlam a evolução histórica da costa este da Cidade de Maputo e suas causas; quantificar e avaliar as taxas de transporte de sedimento e reproduzir a evolução histórica da linha de costa.
Parâmetros de controlo da evolução costeira	Perfis de praia diacrónicos e perfis das areias eolianíticas; modificações morfológicas (alterações na natureza de sedimentação e áreas de mangal) e alterações em relação à posição de estruturas artificiais fixas.	Fluxos de sedimentos gerados pelas correntes de agitação com influência na área, posições históricas da linha de costa; redução das alturas das dunas e variações nos perfis de praia levantados.	Nível médio das águas do mar, posições históricas da linha da costa e perfis de praia.	Posições históricas da linha da costa.	Posições históricas da linha da costa e perfis de praia.
Período de análise	1970-2004	1969-2005 ²	2000-2008	1984-2009	1969-2012
Locais e extensão das áreas de estudo	Região costeira do sul de Moçambique: Ponta do Ouro, Ponta Mamoli, Ilha da Inhaca, Praia do Xai-Xai, Arquipélago de Bazaruto e Ponta Bartolomeu Dias (em Vilankulos)	Cidade de Maputo (analisada uma extensão aproximada de 20km, entre o Clube Naval e o Bairro dos Pescadores)	Cidade de Maputo, Praia da Costa do Sol e áreas circundantes (considerada uma extensão aproximada de 15km)	Moçambique. Locais específicos: Maputo, Maxixe, Vilankulos e Beira.	Costa este da Cidade de Maputo, Praia do Costa do Sol.

¹ Estudo anexo ao relatório *Responding to Climate Change in Mozambique. Theme 2: Coastal Planning and Adaptation to Mitigate Climate Change Impacts*

² Período provável tomando como base a data da fonte de informação mais antiga e o ano de realização dos levantamentos.



11^o Simpósio de Hidrologia e Recursos Hídricos dos Países da Expressão Portuguesa VI Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países da Expressão Portuguesa

27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

11^o SILUSBA Zonas Costeiras 2013

Processos dominantes na evolução costeira	Erosão com causas naturais, em grande parte resultantes da dinâmica marítima; erosão com causas antrópicas diretas (corte da vegetação natural e construção de estruturas portuárias e de proteção costeira) e indiretas (redução da capacidade de transporte e retenção de sedimentos pela regularização de caudais em rios) com efeitos localizados em alguns sectores do litoral.	Erosão com causas naturais, em grande parte resultantes da dinâmica marítima, com efeitos agravados pela ação humana (construção de estruturas de proteção costeira, interceção dos sedimentos pelo canal de navegação e cortes na vegetação).	Erosão causada pela subida do nível médio das águas do mar em combinação com ações antrópicas.	Erosão resultante da dinâmica marítima (ação das ondas e marés), ação do vento, temporais e descargas de rios, conjugada com a subida no nível médio das águas do mar e ações antrópicas.	Erosão com origem em processos hidrodinâmicos, variações nas taxas de transporte de sedimentos, ocorrência de tempestades e ações antrópicas.
--	--	--	--	---	---

Tabela 1 – Síntese das iniciativas de monitorização e modelação da evolução costeira identificadas pelo estudo

Estudo (Referência)	A dinâmica dos sistemas litorais do sul de Moçambique durante os últimos 30 anos (Moreira, 2005)	Problemas na zona costeira de Moçambique com ênfase para a costa de Maputo (Langa, 2007)	Assessment of the Impacts of Climate Changes to Sea Level Rise at Costa do Sol Beach in Maputo – Mozambique (Ruby, 2008)	Satellite Remote Sensing for Coastal Change Detection: Mozambique case study (INGC, 2011)	Coastal erosion in Maputo, Mozambique. Governing processes and Mathematical modeling. (Björnberg, 2012)
Fontes e especificidades da informação empregue	Perfis de praia resultantes de levantamentos de campo (1970-1975 e 1999-2004), fotografias aéreas, fotografias de paisagem, cartas hidrográficas (1941-1943), imagens de satélite <i>Landsat Thematic Mapper</i> (Landsat TM) captadas em baixa-mar (1985 e 1998) e análises sedimentológicas de areias.	Quantificação de fluxos de sedimentos gerados pelas correntes de agitação: dados de batimetria obtidos a partir de cartas hidrográficas (1972 e 1989), níveis de maré do INAHINA – Instituto Nacional de Hidrografia e Navegação (2000), e observações e registos de ondas do <i>UK Meteorological Office</i> (1949-1997); Posições da linha de costa: fotografias aéreas (1969 e 1996); Reduções nas alturas das dunas: estimadas com base no desenraizamento das árvores existentes ao longo das formações dunares.	Nível médio da água do mar do PSMSL - Permanent Service for Mean Sea Level (1961-2000) e INAHINA (1958-2001); Posições históricas da linha da costa obtidas a partir de cartas hidrográficas do INAHINA (2000 e 2004) e do levantamento de campo/Google Earth (2008); perfis de praia obtidos de levantamentos de campo (2008).	Dados de sensoriamento remoto Landsat TM do <i>Global Land Cover Facility</i> (1984-2009), com resolução espacial de $\pm 60m$ de precisão. Procedimentos de análise das imagens: <i>Object-Oriented Image Analysis, Change Vector Analysis and Spectral Change Analysis</i> .	Posições da linha da costa: fotografias aéreas históricas a escala 1:10.000 da CENACARTA (1969 e 1979), imagens de satélite do Google Earth (2000 e 2012.) e levantamento da posição da linha da costa com GPS; Perfis de praia: levantamento de perfis de praia com nível e pontos de referência identificados por GPS (2012); Quantificação do transporte de sedimentos: carta hidrográfica do INAHINA (2010), dados de ventos empregues no cálculo de vagas de vento medidos Ilha de Inhaca do Dpto. Física da UEM (Jan. 1999-Maio 2012). Nível de água instantâneo adotado como indicador da posição da linha da costa.



11^o SILUSBA

Zonas Costeiras 2013

11^o Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países da Expressão Portuguesa - VI Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países da Expressão Portuguesa

27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

Tipo de modelo	-	-	-	-	Modelo numérico de uma linha (<i>one-line numerical models</i>), GENESIS – Generalized Model for Simulating Shoreline Change.
Mecanismo dominante de transporte de sedimentos modelado	-	-	-	-	Correntes paralelas à linha da costa originadas pela rebentação das ondas
Calibração e verificação da capacidade de modelação	-	-	-	-	Calibração e verificação efetuada com os mesmos dados de 1969-2000, servindo o primeiro exercício para fornecer as condições de fronteira do modelo e calibrar os coeficientes empíricos, a profundidade de fecho e altura da berma.



Práticas na monitorização da evolução costeira

Há necessidade de compreender os processos que norteiam a evolução da linha da costa com especial os da erosão e o possível impacto da subida do nível médio das águas do mar, como resultado das mudanças climáticas, aparecem como as principais razões por detrás das ações de monitorização da linha da costa apresentadas. Ações antrópicas são também citadas como estando a condicionar a evolução da costa, contribuindo para o aparente incremento das taxas de erosão com causas naturais. Surge ligado a este último objetivo e natureza dos estudos retratados, a necessidade de compreender como as ações antrópicas influenciam nas observadas taxas de erosão e acreção, e no surgimento de zonas de perda e deposição de sedimentos.

Da análise dos locais e extensão das áreas de estudo, salta à vista a existência de uma maior disponibilidade de estudos para a costa sul do país, sendo exceção a costa da Cidade da Beira, uma das zonas costeiras urbanas mais dinâmica do país, que foi retratada no estudo do INGC (2011), trabalho este que avalia a possibilidade de uso de dados de satélite na identificação de processos de erosão e acreção.

As iniciativas de controlo da evolução da linha da costa descritas são na sua maioria resultados de ações isoladas, implementadas para dar resposta a solicitações de estudos específicos que recorrem a informação histórica disponibilizada por estudos anteriores e repositórios de informação específicos. O estudo “A dinâmica dos sistemas litorais do sul de Moçambique durante os últimos 30 anos” (Moreira, 2005) apresenta-se como a única ação de monitorização contínua em que a autora apresenta taxas de erosão resultantes de observações e levantamentos conduzidos por uma equipe de trabalho de que é parte integrante. Esta constatação pode sugerir uma reflexão sobre a validade da consideração dos restantes estudos como ações de monitorização da evolução da linha da costa por este não se apresentarem como ações contínuas e conduzidas por uma mesma equipe de trabalho. Contudo, a extensão temporal em que manifestam-se parte das alterações que substanciam a evolução da costa, que pode variar de segundos a centenas de anos, legitima de certa forma a monitorização com recurso a dados disponibilizados por outras fontes, em estudos com extensão temporal de anos a décadas.

A posição histórica da linha da costa sobressai como o parâmetro de controlo da evolução costeira mais frequente, tendo sido adotado como parâmetro de análise em quatro dos cinco estudos apresentados. Igual número de ocorrências teve a utilização de perfis de praia como parâmetros de controlo da evolução costeira. No entanto, a indisponibilidade de perfis anteriores a data dos levantamentos efetuados pelos autores dos estudos em análise não possibilitou a comparação e a identificação de alterações nos perfis de praia que fundamentem uma possível evolução da linha da costa. A intenção de analisar alterações no posicionamento da linha da costa e nos perfis de praia diacrónicos sugerem o foco principal dos estudos retratados na evolução observada a longo termo. Deste modo, os estudos identificados e sintetizados, não descrevem as alterações que possam ocorrer em intervalos inferiores a um ano, como as possíveis variações sazonais entre o verão, menos energético, e o inverno, mais energético (Guiloviça, 2011), e alterações instantâneas resultantes de temporais ou outros eventos extremos.

Na análise da evolução com base nas alterações no posicionamento da linha da costa, cartas batimétricas e fotos aéreas, obtidos juntos do INAHINA e CENACARTA, respetivamente, surgem como as principais fontes de informação histórica com mais de 30 anos. Dados de sensoriamento remoto do satélite *Landsat Thematic Mapper*, imagens de satélite disponibilizadas pelo aplicativo *Google Earth* e levantamentos com GPS forneceram informação sobre a posição da linha da costa para os últimos 30 anos. Esta aparente variedade de informação para a análise da evolução da linha da costa vem a associada a um leque de limitações impostas por fatores como: a uniformidade da característica física da praia adotada como indicador da posição da linha da costa, a resolução espacial e a existência de referências temporais e espaciais, abordados nas secções seguintes. Outros aspetos com potencial influência na qualidade das análises e resultados da monitorização são detalhados em Crowell et al. (1991) e Gorman et al. (1998).



O termo linha da costa é empregue para referir-se a linha que representa a interface entre a terra e o mar (Boak e Turner, 2005). A posição desta interface não é estacionária, sendo que as variações no nível de marés, semidiurnas para Moçambique, e outras variações hidrodinâmicas que ocorrem em intervalos de tempo mais reduzidos, dão origem a flutuações na posição da linha da costa. Da multiplicidade de características físicas da praia que podem ser adotadas como indicador da linha da costa, a que destacar o nível máximo da água (Gorman et al., 1998), considerando como o melhor indicador para a interface terra-mar pela facilidade da sua identificação em fotos aéreas, sendo manifesto por uma notável mudança na cor da areia da praia (Crowell et al., 1991). Outro indicador comumente adotado e ainda mais facilmente identificável é a posição instantânea da interface terra-mar. Apesar de parte das fotos aéreas disponíveis para a costa de Maputo possibilitarem a deteção do nível de máximo da água, Björnberg e Wahlström (2012) constataram que no geral o único indicador identificável sem ambiguidades é a posição instantânea da linha de água. Este é o único indicador possível de discernir em cartas batimétricas e outros mapas mais generalistas.

A par das possíveis variações na característica física da praia adotada como indicador da posição da linha da costa, surge a dificuldade adicional imposta pela inexistência de referências temporais suficientes para uma boa comparação entre as diferentes posições da linha da costa. Esta limitação adicional é mais frequente nas cartas batimétricas e imagens de satélite históricas que apresentam apenas informação sobre o ano do levantamento. Seria desejável a existência de informação adicional que possibilita-se uma melhor avaliação do nível de maré no momento do levantamento, a contabilização das variações sazonais, e a sua possível correção para um nível de referência a ser considerado para efeitos de comparação. Uma boa referenciação temporal do levantamento da posição da linha da costa é deixada no estudo de Björnberg e Wahlström (2012), em que faz referência a um levantamento da posição da linha da costa com recurso a um GPS, tomando como característica de referência o nível correspondente a posição da berma, e mencionando a realização do trabalho de campo durante os períodos de baixa-mar para permitir uma maior extensão dos perfis de praia levantados.

A escala das cartas batimétricas, das fotos aéreas e a resolução espacial das imagens de satélite de sensoriamento remoto contribuem para a qualidade final dos resultados da comparação entre as posições históricas da linha da costa e avaliação das taxas de recuo da linha da costa e o correspondente volume de sedimentos movimentado. O estudo do INGC (2011) indicou para os dados de sensoriamento remoto uma precisão de $\pm 60\text{m}$, precisão esta considerada muito grosseira, permitindo apenas a utilização dados em estudos de contextualização. Assim, a aplicação dos dados de sensoriamento remoto, retratados neste estudo, na quantificação de taxas de recuo e avanço da linha da costa revelou-se prematura. A melhor escala de fotos aéreas identificada, 1:10000 (Björnberg e Wahlström, 2012), e a melhor escala identificadas para as cartas batimétricas, 1:75000 (Björnberg e Wahlström, 2012), podem induzir a que erros na leitura e digitalização de linha de água na ordem de 0.5mm correspondem a uma variação da posição da linha da costa de $\pm 5\text{m}$ e $\pm 37.5\text{m}$, respetivamente. Estes erros associados ao não conhecimento do nível da maré no momento do levantamento podem levar a grandes desvios na posição real da linha da costa, impondo dificuldades acrescidas na correta avaliação da evolução da costa. A título de exemplo, para os estudos que focalizaram na costa da cidade de Maputo taxas de retrocesso da linha de costa por eles identificados variaram de um mínimo de 1m/ano calculado por Langa (2007) com base em fotografias aéreas de entre 1969 e 1996, para 5m/ano calculados por Ruby et al. (2008) tomando como base cartas batimétricas para os anos 2000 e 2004 e imagens de satélite para o ano 2008.

Os avanços nas técnicas de obtenção de dados de sensoriamento remoto e imagens de satélites deixam transparecer que estas tecnologias podem permitir num futuro próximos a melhoria da resolução espacial e precisão da informação por si fornecida. É possível a identificação de dados de sensoriamento remoto com uma precisão de 10m para alguns países (Gorman et al., 1998). As mais recentes imagens de satélite, acessíveis a partir do Google Earth, permitem a fácil identificação de diferentes características físicas da praia que possam ser adoptadas como indicadores da posição da linha da costa, como o máximo nível da água ou a posição instantânea da linha de água, a uma escala de 1:500, que associado



ao conhecimento do nível de marés no momento do levantamento pode levar a uma considerável redução do erro final no mapeamento de posições da linha da costa.

A sobreposição de fotos aéreas e mapas mostra-se em alguns momentos necessária para cobrir áreas mais ou menos amplas comparativamente as extensões da costa cobertas por cada mapa ou foto em uso de forma singular. Esta sobreposição pode ser facilitada fazendo corresponder objetos estacionários, considerados pontos de controlo secundário (Crowell et al., 1991, Gorman et al., 1998). Este procedimento foi adotado por Björnberg e Wahlström (2012) para analisar a evolução do posicionamento da linha da costa com base em fotos aéreas disponíveis para a costa da Cidade de Maputo, tendo a estrada marginal sido tomada como ponto de controlo principal a par de outros marcos como cantos de edifícios. Contudo, a ocorrência de desvios na sobreposição de fotos aéreas é frequente por para estas fontes de informação apenas a coordenada central ser conhecida (Björnberg e Wahlström, 2012). Em alguns casos a efetivação da correção da distorção para compensar o declive ou forma do terreno e ângulo da máquina fotográfica é recomendável.

Os levantamentos de perfis de praia requerem a par do conhecimento em projeção horizontal do ponto de base para o levantamento (marcos) o estabelecimento de níveis de referência verticais que possam servir de base para futuras comparações. O estabelecimento e utilização de marcos permanente ou semi-permanente pode também revelar-se útil para levantamentos regulares de perfis de praia e possibilitar a partilha de informação e comparação entre levantamentos efetuados por diferentes equipas. Indicações da utilização de marcos estabelecidos para possibilitar a continuidade de ações de monitorização dos perfis de praia são deixadas nos estudos conduzidos por Moreira (2005) e Björnberg e Wahlström (2012), existindo para este último referências específicas. O fácil acesso a aparelhos de GPS mais precisos pode dar uma contribuição adicional para a fácil partilha de informação e realização de ações de monitorização regulares por facilitar o posicionamento e identificação de marcos, e a normalização dos dados para um mesmo sistema de coordenadas.

Modelação da evolução costeira

Existe uma multiplicidade de modelos de evolução costeira, podendo estes variar desde modelos de estado morfológico, baseados em observações visuais de praia, até aos modelos analíticos, que fazem uso das formulações matemáticas para a representação dos processos que ocorrem em diferentes escalas espaciais e temporais na zona costeira. A escolha do modelo para um uso específico é condicionado pelo conhecimento do funcionamento da morfodinâmica do sistema, tipo de problema a ser abordado, e a escala temporal e espacial que se revela mais adequada para a sua utilização (Hanson et al., 2003).

Da pesquisa efetuada para o presente estudo, apenas foi possível identificar uma iniciativa de modelação da evolução costeira. Em linha com a tendência das iniciativas de monitorização, a modelação procurou representar a evolução da linha da costa numa escala temporal de anos a décadas, sem focalizar as variações sazonais. Para tal, foi adotado um modelo analítico de uma linha (*one-line model*), GENESIS (Hanson e Kraus, 2011), que fornece resultados satisfatórios na identificação de tendências características nas modificações das praias ao longo do tempo (Hanson et al., 2003). A base da teoria destes modelos assenta na observação comum de que algumas praias permanecem ingrimas, enquanto outras ligeiramente inclinadas ao longo do tempo, sendo uma única isolinha, representando a posição da linha da costa, suficiente para descrever as mudanças na forma e volume da praia, e os correspondentes processos de erosão e acreção (Hanson e Kraus, 2011). O modelo adotado considera como mecanismos principal de transporte de sedimentos as correntes paralelas à linha da costa originadas pela rebentação das ondas (Björnberg e Wahlström, 2012). A modelação da influência das ações antrópicas limita-se as alterações induzidas pelas infraestruturas portuárias e de proteção costeira existentes ao longo da costa, reconhecida a dificuldade em incluir e expressar os processos socioeconómicos na evolução da linha da costa (Brommer e Bochev-Van Der Burgh, 2009).

Como grande condicionante para a qualidade final da modelação surge a indisponibilidade de dados instrumentais de ondas para o período de análise. Para contornar esta limitação, os dados de ondas



empregues na modelação foram geradas a partir de dados de vento disponíveis para um ponto próximo ao local de estudo, localizado na Ilha de Inhaca, e comparadas com a propagação de ondas correspondentes ao clima médio disponíveis para um ponto ao largo da costa de Maputo (Björnberg e Wahlström, 2012). O procedimento de geração de ondas a partir de dados de vento e a propagação de dados de ondas existentes de um ponto ao largo para dentro da Baía de Maputo foi também adotado por Langa (2007) para obtenção de valores de alturas e direções de ondas junto a costa que possibilitassem a quantificação de taxas de recuo e avanço da linha da costa, assim como os correspondentes volumes erodidos ou depositados. A par das limitações nos dados para caracterização da dinâmica das ondas, a informação existente sobre composição dos sedimentos é escassa. As alterações imposta pela regulação do caudal dos rios, fonte de entre 80% e 90% dos sedimentos que afluem a costa (Brommer e Bochev-Van Der Burgh, 2009), na redução da sua capacidade de transporte de sedimentos não são avaliados sistematicamente. A calibração e validação dos resultados da modelação baseou-se nas posições históricas da linha da costa obtidas a partir de fotos aéreas da CENACARTA e de imagens de satélite acessíveis a partir do Google Earth (Björnberg e Wahlström, 2012).

Desafios para melhoria das ações de monitorização e modelação da evolução costeira

Da análise das iniciativas de monitorização da evolução costeira, nota-se uma grande dependência de informação proveniente de fotos aéreas, imagens e dados de sensoriamento remoto de satélites. Embora as tecnologias por detrás destas fontes de informação estejam em constante desenvolvimento e podem num futuro próximo permitir um melhor acompanhamento das modificações que vão ocorrendo ao longo da costa, há necessidade de se efetuar levantamentos de campo mais regulares com recurso a ferramentas simples que conferem na atualidade um bom nível de precisão, como o caso de aparelhos de GPS, níveis e GPS diferenciais. Os resultados destes levantamentos podem permitir reduzir o erro das análises comparativas a serem efetuados nas próximas décadas com informação proveniente de levantamentos efetuados com instrumentos similares mais precisos ou mesmo do aperfeiçoamento das tecnologias de sensoriamento remoto e imagens de satélite que resultem numa melhor resolução espacial e melhor referenciação das posições dos locais e períodos de levantamentos.

As iniciativas de monitorização descritas são na sua maioria motivadas por objetivos académicos. A diversidade de fins e agentes envolvidos nestas iniciativas deve constituir uma mais-valia para o aumento da informação disponível e criação de conhecimento. Para tal, existe a necessidade de criação de mecanismos que facilitem o acesso a informação recolhida e que possibilitem a comparação de dados provenientes de diferentes autores. Uma possível abordagem para que tal seja possível é a criação e ou identificação, e posterior divulgação de manuais de boas práticas, com a indicação e recomendação de procedimentos para a levantamentos de campo, que considere aspetos como: a definição de características físicas da praia que possam ser adotadas na definição da posição da linha da costa, a necessidade de inclusão de referências temporais, descrição do estado do mar e o estabelecimento de marcos para os levantamentos.

Existe uma maior disponibilidade de estudos de monitorização da evolução costeira para a costa sul do país, com ocorrência de algumas referências para a Cidade da Beira e zona costeira circundante. Este facto pode estar associado à proximidade ou existência de um maior número de instituições académicas e de investigação nesta região e ao facto de a morfologia e geologia costeira da zona sul e centro contribuírem para a sua maior vulnerabilidade destas zonas às ações naturais e antrópicas. O interesse pela costa da Cidade da Beira está de certa forma ligada ao facto de a mesma apresentar-se como uma das zonas costeiras urbanas mais dinâmicas do país e pelas baixas altitudes que a caracterizam. Este facto pode ser facilmente constatável pelo grande número de estruturas de proteção costeira existentes ao longo da sua costa, com destaque para campo de mais de 40 esporões. Lança-se, portanto, o desafio de estender as ações de monitorização e a realização de estudos de evolução da costa a zona norte do país e para zonas da costa de grande importância social, económica e ambiental, como os locais atualmente alvos e identificados para futuros desenvolvimentos urbanos, turísticos e portuários.



Para as cidades de Maputo e Beira, obras de reabilitação e extensão das infraestruturas de proteção costeira tiveram início nos finais do ano 2012, estando previstas algumas abordagens inovadoras como a alimentação artificial de praias (CMB, 2012, CMM, 2011). A monitorização destas zonas costeiras e a realização de levantamentos simples e regulares de perfis de praia e posição da linha da costa, antes, ao longo e depois destas intervenções, surgem como uma potencial fonte de informação para uma melhor compreensão da dinâmica costeira nestas regiões. Assim, lança-se o desafio de se capacitar as entidades locais para este tipo de iniciativas e adoção da prática de realização de levantamentos regulares em locais da costa em que se prevê ou estejam em curso atividades com um elevado potencial de modificar a zona costeira.

A modelação da evolução histórica e futura da costa surge como uma ferramenta de elevado potencial para ajudar na compreensão das modificações até então observadas, para um melhor ordenamento e ocupação das zonas costeiras assim como para apoiar na definição e adoção de medidas mais eficazes para proteção da costa. Especial atenção deve ser dada à melhoria dos dados de ondas atualmente disponíveis, sendo importante a instalação de boias ondógrafo em locais estratégicos da costa. Os mecanismos de acesso à informação batimétrica que possibilite a propagação dos dados de ondas obtidos ao largo, disponíveis em diferentes repositórios internacionais, para pontos de interesse na costa, devem também ser facilitados. Num cenário de carência de dados e de existência de um número ainda reduzido de iniciativas de modelação, é recomendável para as ações iniciais nesta frente, a adoção de modelos analíticos simples de evolução da linha da costa, a realização de balanços sedimentares, bem como o emprego de modelos morfológicos baseados na observação visual. O exercício do balanço sedimentar, diferença entre os ganhos e perdas de sedimentos, pode permitir identificar as fontes e sumidouros de sedimento para e ao longo da costa. Este pode também possibilitar uma melhor compreensão da dinâmica costeira e ajudar no reconhecimento de possíveis influências que alterações no regime de escoamento dos rios podem estar a ter na passagem de sedimentos para a costa.

4. CONCLUSÕES

Como constatações do presente estudo, há que destacar a exiguidade de ações contínuas para a monitorização da evolução da linha da costa em Moçambique. A dificuldade em se encontrar informação histórica sobre a posição da linha da costa com qualidade suficiente e perfis de praia aparece como uma das principais limitações das diferentes iniciativas de modelação da evolução da linha da costa apresentadas. Para as ações de modelação, a inexistência de medições instrumentais das características principais das ondas, ação base para a quantificação do transporte de sedimento ao longo da costa e cálculos das taxas avanço e recuo da linha da costa, surge como fator limitante destas iniciativas.

Reconhecida a importância da monitorização e da realização de estudos de modelação da evolução da linha da costa, recomenda-se a realização de levantamentos mais regulares, com especial enfoque nas zonas costeiras de grande importância social, económica e ambiental. As ações de monitorização devem procurar tirar proveito de técnicas simples de levantamento que permitem a obtenção de informação sobre a posição da linha da costa e perfis de praia com qualidade, como o recurso a aparelhos de GPS, níveis e GPS diferenciados. Para as ações de modelação, na presente situação ainda caracterizada por limitações na disponibilidade de dados, recomenda-se a utilização de modelos analíticos simples e a realização de balanços sedimentares para uma melhor compreensão da dinâmica costeira e sua interação com outros meios circundantes.

O estudo identificou ser necessário a criação de mecanismos que facilitem a partilha de informação recolhida por diferentes estudos e que possibilite a comparação de dados provenientes de diferentes fontes. Tal pode ser possível a partir da adoção ou criação de guias de boas práticas que podem também contribuir para elevar a qualidade da informação fornecidas pelas diferentes iniciativas de monitorização e modelação da evolução costeira.



REFERÊNCIAS

- BJÖRNBERG, S. & WAHLSTRÖM, S. 2012. *Coastal Erosion in Maputo, Mozambique. Governing processes and mathematical modeling*. Master, Lund University.
- BOAK, E. H. & TURNER, I. L. 2005. Shoreline definition and detection: A review. *Journal of Coastal Research*, 21, 688-703.
- BROMMER, M. B. & BOCHEV-VAN DER BURGH, L. M. 2009. Sustainable coastal zone management: A concept for forecasting long-term and large-scale coastal evolution. *Journal of Coastal Research*, 25, 181-188.
- CMB 2012. Empreitada de Reabilitação da Protecção Costeira da Cidade da Beira - Fase I. In: CONSULMAR, P. E. C., LDA (ed.) *Projecto*. Beira: Conselho Municipal da Beira.
- CMVM 2011. Detailed Design of the Rehabilitation and Construction of Maputo City Coastal Protection - Mozambique Hamza Associates / TECNICA Engenheiros Consultores Lda. ed. Maputo: Conselho Municipal de Maputo.
- CROWELL, M., LEATHERMAN, S. P. & BUCKLEY, M. K. 1991. Historical Shoreline Change - Error Analysis and Mapping Accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7, 839-852.
- CTV 2012. 1^o Relatório de Monitoria de Boa Governação na Gestão Ambiental (2010-2011). Maputo: Centro Terra Viva.
- GORMAN, L., MORANG, A. & LARSON, R. 1998. Monitoring the coastal environment; part IV: Mapping, shoreline changes, and bathymetric analysis. *Journal of Coastal Research*, 14, 61-92.
- GUILLOMÇA, C. 2011. *Caracterização da agitação marítima ao largo da Baía de Maputo*. Licenciatura, Eduardo Mondlane University.
- HANSON, H. & KRAUS, N. C. 2011. Long-term evolution of a long-term evolution model. *Journal of Coastal Research*, 118-129.
- HANSON, H., LARSON, M., AARNINKHOF, S., STIVE, M. J. F., CAPOBIANCO, M., JIMÉNEZ, J. A., NICHOLLS, R. J., PLANT, N. G., DE VRIEND, H. J., SOUTHGATE, H. N. & STEETZEL, H. J. 2003. Modelling of Coastal Evolution on Yearly to Decadal Time Scales. *Journal of Coastal Research*, 19, 790-811.
- INGC 2011. Responding to Climate Change in Mozambique - Coastal Planning and Adaptation to Mitigate Climate Changes Impact. Stellenbosch: National Institute for Disaster Management.
- LANGA, J. 2007. Problemas na zona costeira de Moçambique com ênfase para a costa de Maputo. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 7, 33-44.
- MOREIRA, M. E. 2005. A dinâmica dos sistemas litorais do sul de Moçambique durante os últimos 30 anos. *Revista Finisterra*, XL, 121-135.
- RUBY, J., CANHANGA, S. & COSSA, O. 2008. Assessment of the Impacts of Climate Changes to Sea Level Rise at Costa do Sol Beach in Maputo – Mozambique. Maputo: INAHINA.