

Dinâmica Costeira e Processos Sedimentares ao longo das Praias do Município de Porto

Seguro, Sul do Estado da Bahia

Iracema Reimão Silva

Superintendência de Pesquisa e Pós-Graduação/Universidade Católica do Salvador

e-mail: iracemars@ucsal.br; iracemars@yahoo.com.br

Abílio Carlos da Silva Pinto Bittencourt

Laboratório de Estudos Costeiros/CPGG /Instituto de Geociências/Universidade Federal da Bahia

Merissa Andrade Leite Barbosa

Curso de Graduação em Geografia/Universidade Católica do Salvador

Abstract

The beaches from the Porto Seguro municipality, studied in this work, are, today, the major attraction for tourists, in Brazil, because they offer an indigenous scenery rich in history and culture. Some beaches are still primitive, but others have been already heavily impacted due to human occupation. Based on wave-refraction diagrams, using the Mike-21 software, it was possible to map zones of higher energy waves along the whole studied area, and to define patterns of sediment dispersion, identifying areas of convergence and divergence of the net longshore drift of sediment. Comparing the general pattern of sediment dispersion with the present condition of beach erosion, one's sees that there is a relationship between the zones of erosion with the areas where a process of divergence in sediment dispersion is occurring. This erosion was considered, herein, as a long-term process, and it is seen in the active sea cliffs of Trancoso and south of Itaquena.

Keywords: net longshore drift, beach erosion, sea cliffs

Resumo

As praias do município de Porto Seguro, devido à sua beleza natural e importância histórica e cultural, é hoje um dos principais destinos turísticos do Brasil. Esse trecho costeiro engloba praias com características bastante diversificadas, tanto do ponto de vista natural como da ocupação antrópica. A partir da construção de diagramas de refração, através do *software* Mike-21, foi possível mapear zonas de alta energia das ondas ao longo da costa do município de Porto Seguro e definir os padrões de dispersão de sedimentos ao longo da costa, onde foram identificadas zonas de convergência e divergência da deriva litorânea efetiva. A comparação das tendências erosivas indicadas pelo padrão geral de dispersão de sedimentos com o quadro atual de erosão mostra a associação das zonas de divergência com a erosão observada nos trechos de falésias ativas entre Arraial d'Ajuda e Trancoso e ao sul de Itaquena, tendo sido, nestes trechos, a erosão considerada como de longo-termo.

Palavras-chave: deriva litorânea, erosão costeira, falésias

1. Introdução

As ondas marinhas são as principais responsáveis pelo transporte litorâneo e pelos processos erosivos e de acumulação dos sedimentos (Goldsmith, 1976; Griggs & Trenhaile, 1994). A distribuição de energia das ondas está, fundamentalmente, relacionada ao processo

de refração, que constitui o principal mecanismo controlador das mudanças na altura das ondas ao longo da costa (Munk & Traylor, 1947). A refração das ondas ocorre devido às mudanças na velocidade de propagação das ondas, causadas pela interação com o fundo. A porção da onda que viaja em águas mais profundas move-se mais rapidamente que a parte da onda que viaja em águas mais superficiais, o que resulta no curvamento das cristas das ondas, buscando o alinhamento aos contornos do fundo (Goldsmith, 1976).

A refração das ondas pode causar a concentração ou dispersão da sua energia ao longo da costa. Isto se dá através da convergência ou divergência dos raios-de-onda, que são linhas perpendiculares às cristas e que viajam no sentido do avanço da onda (Komar, 1976). Os raios-de-onda convergem sobre altos submarinos e divergem sobre vales submarinos. Quando as ortogonais convergem, as cristas são “comprimidas”, e a energia por unidade de comprimento de crista é aumentada. Inversamente, se as ortogonais divergem, as cristas são “estiradas”, e a energia por unidade de comprimento de crista é relativamente menor (Munk & Traylor, 1947). A construção de diagramas de refração permite a visualização das variações no nível de energia das ondas e de seu poder de ataque ao longo de uma linha de costa. As ondas apresentam um maior poder erosivo nos locais de convergência dos raios de onda e uma menor capacidade erosional nos locais de divergência, onde ocorre, respectivamente, sobrelevação e diminuição na altura das mesmas.

Parte da energia dissipada pelas ondas incidentes na zona de surfê promove a geração de correntes costeiras. Quando as ondas quebram formando um ângulo com a linha de costa, são geradas correntes longitudinais. Estas correntes são fluxos paralelos à costa, entre a zona de arrebentação e a linha de costa, que transportam os sedimentos colocados em suspensão pelas ondas ao longo da costa (Komar, 1976). A deriva litorânea pode, sazonalmente, mover os sedimentos em sentidos opostos de acordo com a direção de aproximação das ondas; em geral, o sentido predominante do transporte de sedimentos ao longo da praia é mostrado por indicadores morfológicos como pontais arenosos, por exemplo.

O município de Porto Seguro apresenta aproximadamente 60km de extensão costeira e o seu relevo é condicionado pelas principais unidades geológico-geomorfológicas que ocorrem nesta região: o embasamento, os tabuleiros costeiros e as planícies quaternárias. O embasamento, constituído por gnaisses, granitóides e coberturas pré-cambrianas, compõe um relevo de serras e morros que ocorrem nas porções mais internas da região costeira. Os tabuleiros costeiros, formados pelos depósitos do Grupo Barreiras, constituem um relevo

plano, interrompido por vales amplos, de fundo chato e de paredes íngremes. Em alguns trechos ao longo da linha de costa, principalmente entre Arraial D'Ajuda e Caraíva, estes tabuleiros formam falésias ativas. As planícies quaternárias ocupam as regiões mais baixas, ao longo da costa e nos vales esculpidos nos tabuleiros do Grupo Barreiras. Estas planícies são bem desenvolvidas, principalmente onde ocorrem os terraços marinhos (holocênicos e pleistocênicos), como em Ponta Grande e na Ponta do Corumbau.

A linha de costa é marcada pela presença de recifes de corais, de terraços de abrasão e de bancos de arenito (*beach-rock*). Os terraços de abrasão ocorrem adjacentes à praia, principalmente no trecho entre Arraial D'Ajuda e Caraíva, e são formados por uma crosta ferruginosa que ocorre na base do Grupo Barreiras. Estes terraços por vezes servem de substrato para recifes de corais e algas. Os recifes de corais próximos à costa induzem a formação, defronte aos mesmos, de feições cuspidatas construtivas na linha de costa, o que pode ser observado, por exemplo, entre Coroa Vermelha e a Ponta Grande e na Ponta do Corumbau.

Segundo Martin *et al.* (1998), a circulação atmosférica nesta região é fundamentalmente controlada pelo anticiclone semi-estacionário do Atlântico Sul. Os ventos aí gerados alcançam a costa com duas direções principais: E-SE (alísios *sensu stricto*) e NE (alísios de retorno). No outono/inverno o litoral é varrido por ventos de E e SE e, na primavera/verão, por ventos de E e NE. Durante as estações de outono e inverno ocorrem episodicamente ventos de SSE associados às advecções de ar polar (frentes-frias). Os ventos de E, NE, SE e SSE chegam a esta faixa costeira com frequências anuais médias de, respectivamente, 35%, 31%, 21% e 13% (DHN, 1993).

O objetivo deste artigo é indicar as variações no potencial erosivo das ondas e os padrões de dispersão de sedimentos ao longo da costa do município de Porto Seguro a partir de modelagens numéricas utilizando o *software* Mike-21.

2. Métodos

2.1. Levantamentos de Campo

Foram realizadas pesquisas de campo em setembro de 2006 e janeiro de 2007, quando todas as praias foram percorridas a pé, possibilitando a obtenção de dados referentes aos principais parâmetros naturais e de ocupação das praias, tais como: largura e declividade da praia, textura da areia, características das ondas, principais ecossistemas associados,

tendência ao recuo ou à progradação da linha de costa, preservação das condições naturais e conflitos de uso. Estas observações foram realizadas a cada quilômetro ou sempre que havia alguma importante alteração morfológica.

2.2. Construção de diagramas de refração de ondas

Para a construção dos diagramas de refração referentes às frentes-de-onda mais significativas que ocorrem ao longo da costa sul do Estado da Bahia (N90°, N45°, N135° e N157,5° com, respectivamente, período de 5,0s e altura de 1,0m para as duas primeiras, e período de 6,5s e altura de 1,5m para as duas últimas), foram utilizados os dados batimétricos obtidos através de cartas náuticas da Marinha na escala aproximada de 1:300.000, consideradas válidas para a escala regional desta modelagem. A partir destes dados, os diagramas de refração para o município de Porto Seguro foram construídos através do Módulo de Ondas do *software* Mike 21 (desenvolvido pela DHI Water & Environment) e tratados na sua forma de apresentação através do *software* Arc-View.

2.2. Estimativa do Transporte Litorâneo de Sedimentos

De acordo com Komar (1976), a intensidade da deriva litorânea é proporcional ao ângulo (α) com que a frente-de-onda (ou o raio-de-onda) atinge a linha de costa, segundo a expressão: $ID = \sin \alpha \cos \alpha$ ou $ID = \frac{1}{2} \sin (2\alpha)$. Além disso, como a energia das ondas é diretamente proporcional ao quadrado de sua altura, tal aspecto também foi considerado. Assim, para a determinação da intensidade da deriva, a região estudada foi segmentada de acordo com a orientação de sua linha de costa e a intensidade da deriva litorânea por unidade de área da antepraia (um número adimensional), em cada um dos segmentos, assim como para cada direção de frente-de-onda, foi estimada segundo a expressão: $ID = \frac{1}{2} P H^2 \sin (2\alpha)$, onde, H é a altura da onda ao longo da costa (após refratar), P é o percentual de incidência anual das ondas e α é o ângulo entre a frente-de-onda (após refratar) e a linha de costa. A altura da onda ao longo da linha de costa (H) e o ângulo α foram obtidos através da modelagem de ondas feitas através do Mike 21 para esta região, para ondas vindas de leste, nordeste, sul e sul-sudeste. Devido à falta de dados mais apurados em condições de águas rasas, estes parâmetros foram obtidos ao longo da curva batimétrica de 5m.

3. Resultados e Discussões

A figura 1 mostra as indicações de altura e direção das ondas vindas de E, NE, SE e SSE ao longo da curva batimétrica de 5m. As ondas vindas de leste são as que apresentam um menor grau de refração. A figura 1 mostra fracas zonas de divergência nos raios-de-onda em Porto Seguro e ao norte de Corumbau, bem como também fracas zonas de convergência em torno do Recife de Fora e dos Recifes Itacolomis. Ocorrem regiões de “sombra de onda” no trecho costeiro atrás dos Recifes de Araripe, de Fora e de Coroa Alta. As ondas vindas de nordeste refratam um pouco mais que as de leste. Isso ocorre porque, devido à direção com que estas ondas chegam de águas profundas (N045°), elas acabam por se refratar mais na “tentativa” de tornarem-se paralelas à linha de costa. Estas ondas apresentam fracas zonas de divergência ao norte de Corumbau, e zonas de convergência nos Recifes de Fora e Itacolomis. Ocorrem zonas de “sombra” para estas ondas entre Porto Seguro e Ponta Grande. Para ondas vindas de sudeste e sul-sudeste, zonas fracas de divergência em Porto Seguro e convergência em torno dos Recifes de Fora e na parte sul dos Recifes dos Itacolomis. Ocorrem zonas de “sombra” para estas ondas na porção norte da Ponta do Corumbau.

A altura média predominante das ondas de leste, na curva batimétrica de 5m é de 80cm. Ocorrem diminuições na energia destas ondas, apresentando alturas entre 50 e 70cm, ao norte de Porto Seguro e ao sul de Caraíva. Localmente ocorrem pequenas zonas de alta energia, onde estas ondas apresentam alturas de até 1,20m, como nos Recifes de Fora e Itacolomis. As ondas de leste ocorrem praticamente durante todo o ano nesta faixa costeira, com um percentual anual de 35%; desta forma, a avaliação da sua distribuição de energia ao longo da costa é de grande importância para a compreensão dos processos costeiros e do uso das praias nesta região. As ondas de nordeste chegam com menor energia que as de leste ao longo da costa do município de Porto seguro, com alturas médias em geral de 60 a 80cm. Isso torna as praias ainda mais atrativas para o banho durante a primavera e o verão, quando estas ondas ocorrem com maior frequência e quando é maior a demanda por estas praias. Em alguns locais a sua energia diminui ainda mais devido à influência dos recifes de corais, como ao norte de Porto Seguro, com alturas inferiores a 40cm. Ocorrem sobrelevações locais na energia destas ondas em Caraíva, no lado norte da Ponta do Corumbau e em torno dos Recifes de Fora e Itacolomis, onde podem ocorrer ondas com alturas de até 1,20m. As ondas de sudeste são mais frequentes nos meses de outono e inverno e são as que chegam à costa com maior energia. Apresentam, em geral, alturas entre 1,0 e 1,5m. As maiores alturas

normalmente variam entre 1,40 e 1,50m e ocorrem ao norte de Porto Seguro. A energia destas

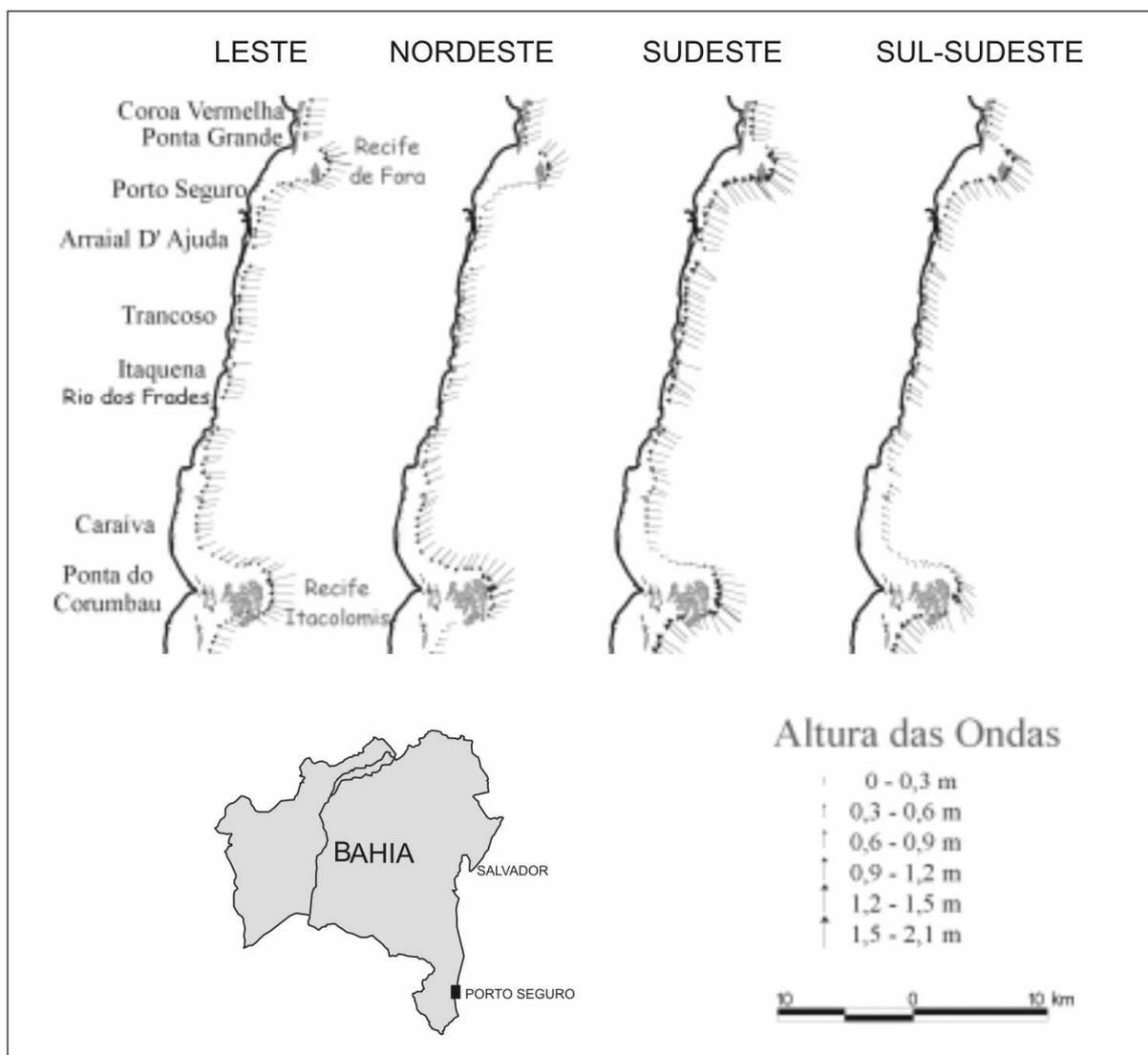


Figura 1 - Direção e altura das ondas ao longo da curva batimétrica de 5m para a costa do município de Porto Seguro.

ondas diminui em Coroa Vermelha e entre Caraíva e a Ponta do Corumbau; em geral, nestes locais, as alturas variam de 60 a 90cm, chegando praticamente sem ondas na porção norte da Ponta do Corumbau. As ondas de SSE são as menos freqüentes nesta faixa costeira (13%) e sua ocorrência está associada à chegada eventual de frentes-frias, mais comuns nos meses de outono-inverno. Apesar de apresentarem, como as ondas de sudeste, alturas em alto-mar em torno de 1,5m, estas ondas chegam na maior parte desta faixa costeira com alturas inferiores a 90cm. Isso se deve principalmente, à semelhança do já constatado por Bittencourt *et al.* (2000) e Silva *et al.* (2001), à grande dispersão e atenuação de energia sofrida por estas ondas

ao passarem pelos recifes de corais da região de Abrolhos, ao sul do município de Porto Seguro, cuja presença foi considerada para a geração dos diagramas de refração. As maiores alturas variam de 1,0 a 1,20m e são observadas ao norte de Porto Seguro. Estas ondas chegam com alturas inferiores a 60cm entre Coroa Vermelha e Ponta Grande e entre Itaquena e a Ponta do Corumbau.

A partir dos dados acima, observa-se que alguns trechos deste litoral mostram condições opostas de direções de onda entre situações de primavera-verão, com predominância de ondas de nordeste, e condições de outono-inverno, com predominância de ondas de sudeste e sul-sudeste. Isso ocorre, por exemplo, entre Ponta Grande e Arraial D'Ajuda, onde ocorre baixa energia das ondas de nordeste e alta energia das ondas de sudeste e sul-sudeste; e entre Caraíva e a Ponta do Corumbau, onde as ondas de sudeste e sul-sudeste apresentam baixa energia e as ondas de nordeste são relativamente mais intensas.

De uma maneira geral, a deriva efetiva de sedimentos ao longo da costa do município de Porto Seguro é predominantemente de sul para norte, induzida principalmente pelas ondas de SE, que são as ondas que chegam a esta costa com maior energia. Contudo, em algumas regiões, as ondas de NE e E tornam-se mais efetivas que as de SE, promovendo inversões no sentido preferencial de deriva litorânea. Isso ocorre entre Itaquena e a Ponta do Corumbau, principalmente devido à interação das ondas de SE e SSE com os recifes de corais que ocorrem na Ponta do Corumbau. Silva *et al.* (2001) e Bittencourt *et al.* (2000) identificaram também esta zona de inversão no sentido da deriva efetiva.

A definição dos padrões gerais de dispersão de sedimentos, com a identificação de zonas de convergência e divergência da deriva litorânea, identifica zonas suscetíveis de acumulação e de déficit de sedimentos, respectivamente. Desta forma, a Ponta do Corumbau (foto 1) pode ser considerada como zona, a longo termo, de acúmulo de sedimentos; enquanto que o trecho costeiro entre Arraial d'Ajuda e Caraíva pode ser considerado como zona de erosão, a longo termo. A verificação em campo indica uma associação entre esta zona de divergência e a existência de falésias ativas neste trecho costeiro (foto 2).

A modelagem numérica realizada nesta pesquisa apresenta algumas limitações, que devem aqui ser consideradas. Uma destas limitações é que os raios-de-onda dos diagramas de refração param nos recifes de coral, assumindo-se assim que em condições normais essa é a situação que acontece. Todavia, é bastante provável que, em situações eventuais de coincidência de preamares equinociais de sizígia com frentes-frias, as ondas,

ultrapassando os recifes, consigam exercer uma significativa influência na dinâmica costeira na retaguarda dos mesmos. Uma outra limitação refere-se ao fato de que foram desconsiderados os processos de difração das ondas, por exemplo, aqueles provocados pelos recifes de corais existentes na área. Uma terceira limitação refere-se ao fato de as estimativas de altura e de ângulo de incidência das ondas se aterem à isóbata de 5m, em alguns locais, distantes quase 5km da linha de costa. Além disso, deve ser também considerado que foram adotadas, dentro de um amplo espectro (U.S. Navy, 1978), direções médias das frentes-de-onda, bem como dos períodos e alturas das mesmas em alto-mar.



Foto 1 Zona de acúmulo de sedimentos na Ponta do Corumbau.



Foto 2 Falésias ativas ao Sul de Arraial d'Ajuda.

4. Conclusões

A partir da construção dos diagramas de refração, através do Módulo de Ondas do software Mike 21, foi possível mapear zonas de alta energia, de focos de convergência de ondas, ao longo da costa do município de Porto Seguro. A identificação destas zonas é de grande importância na gestão costeira uma vez que estas representam locais de risco para construções próximas à praia. Esta modelagem indicou a existência de uma zona de alta energia para ondas vindas de leste localizada em torno dos Recifes de Fora e Itacolomis. As ondas vindas de nordeste, que predominam durante os meses de verão, apresentam focos de convergência, com aumento local de sua energia, em Caraíva, no lado norte da Ponta do Corumbau e em torno dos Recifes de Fora e Itacolomis. Já as ondas vindas de sudeste, mais comuns durante os meses de inverno, e as de sul-sudeste, associadas à chegada eventual de frentes-frias, apresentam maiores energias ao longo da costa, especialmente na orla norte da cidade de Porto Seguro.

Os padrões de dispersão de sedimentos ao longo da costa do município de Porto Seguro, definidos a partir da modelagem de ondas, mostram em geral uma deriva efetiva de sedimentos de sul para norte, com inversão nesse sentido entre Itaquena e a Ponta do Corumbau, gerando zonas de divergência da deriva litorânea. A comparação das tendências erosivas indicadas pelo padrão geral de dispersão de sedimentos com o quadro atual de erosão mostra a associação destas zonas de divergência com os trechos de falésias ativas que ocorrem entre Arraial d'Ajuda e Caraíva.

5. Bibliografia

Bittencourt A.C.S.P., Dominguez J.M.L, Martin L., Silva I.R. (2000) Patterns of Sediment Dispersion Coastwise the State of Bahia – Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 72 (2): 271-287.

DHN. (1993) Atlas de Cartas Piloto. Rio de Janeiro. 24p.

Goldsmith, V. (1976) Wave climate for models for the continental shelf: Critical links between shelf hydraulics and shoreline processes. In: DAVIS, R. A., Jr. (eds.) *Beach and Nearshore Sedimentation (SEPM Spec. Publ.)*, 24: 39-69.

Griggs, G.B. & Trenhaile, A.S. (1994) Coastal cliffs and plateforms. In: CARTER, R.W.G. e WOODDROFFE, C.D. (eds.). Coastal Evolution - Late Quaternary shoreline morphodynamics. Cambridge University Press, Great Britain, 425 - 450.

Komar, P.D. (1976) Beach processes and sedimentation. New Jersey. 429 p.

Martin, L.; Dominguez, J.M.L.; Bittencourt, A.C.S.P. (1998) Climatic control of coastal erosion during a sea-level fall episode. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 70 (2): 249-266.

Munk, W.H. & Traylor, M. A (1947) Refraction of ocean waves: a process linking underwater topography to beach erosion. The Journal of Geology, LV (1): 1-34.

Silva I. R., Bittencourt A.C.S.P., Dominguez J.M.L, Martin L. (2001) Principais Padrões de Dispersão de Sedimentos ao Longo da Costa do Descobrimento – Sul do Estado da Bahia. Revista Brasileira de Geociências, 31(3): 335-340.

U.S. NAVY (1978) Marine Climatic Atlas of the World. Vol. IV. South Atlantic Ocean. Washington. 325p.