

# UMA APROXIMAÇÃO DE PRIMEIRA ORDEM ENTRE O CLIMA DE ONDAS E A LOCALIZAÇÃO, DE LONGA DURAÇÃO, DE REGIÕES DE ACUMULAÇÃO FLÚVIO-MARINHA E DE EROSIÃO NA COSTA NORTE DO BRASIL

ABÍLIO CARLOS DA SILVA PINTO BITTENCOURT<sup>1</sup>, JOSÉ MARIA LANDIM DOMINGUEZ<sup>1</sup>, LOUIS MARTIN<sup>1,2</sup> & IRACEMA REIMÃO SILVA<sup>3</sup>

**Abstract** *A FIRST-ORDER APPROXIMATION OF RELATIONSHIP BETWEEN WAVE CLIMATE AND LOCATION OF LONG-TERM FLUVIAL-MARINE ACCUMULATION AND EROSIVE ZONES, NORTH BRAZILIAN COAST* Using the average directions of the main wave-fronts reaching the coastal stretch of Brazilian North between Calcanhar Point (Rio Grande do Norte State) and Santana Island (Maranhão state) – which coincide with that of the main winds occurring in the area – and their periods, a wave climate model has been defined based on the construction of refraction diagrams. The resulting sediment transport model, obtained by numerical modelling from the refraction diagrams, taking on account the angle of wave approximation and its height along the isobath of 5m, was able to reproduce the sediment dispersion pattern identified by geomorphic indicators of the littoral drift. In addition, the modelling has identified the long-term gradients in the potential intensity of the wave energy component parallel to the coastal line, which explain the location of the large zones of fluvio-marine accumulations and of erosion or non deposition along the coast.

**Keywords:** Littoral drift, wave refraction, numerical modelling, accumulation and erosive zones, North Brazilian Coast.

**Resumo** Utilizando-se as direções médias das principais frentes-de-onda que se aproximam do trecho costeiro norte brasileiro entre as localidades de Pta. do Calcanhar (Estado do Rio Grande do Norte) e Ilha de Santana (Estado do Maranhão) – coincidentes com aquelas dos principais ventos que ocorrem na área – e os seus períodos, foi definido um modelo de clima de ondas baseado na construção de diagramas de refração. O modelo resultante de transporte de sedimentos, obtido por modelagem numérica a partir dos diagramas de refração, levando-se em conta o ângulo de aproximação das ondas e a altura das mesmas ao longo da isóbata de 5m, foi capaz de reproduzir o padrão de dispersão de sedimentos identificado por indicadores geomórficos de deriva. Ademais, a modelagem permitiu a identificação dos gradientes de longa duração existentes na intensidade potencial da componente da energia das ondas paralela à linha de costa, que explicam a localização das grandes zonas de acumulação flúvio-marinhas e de erosão ou não-deposição ao longo da costa.

**Palavras-chaves:** Deriva litorânea, refração de onda, modelagem numérica, zonas de acumulação e de erosão, costa norte do Brasil.

**INTRODUÇÃO** Os mecanismos primários causadores de modificações na linha de costa são melhor reconhecidos em grande escala, onde os padrões regionais de mudanças podem ser avaliados para se desenvolver uma compreensão do arcabouço evolucionário dos sistemas deposicionais costeiros (Byrnes & Hiland 1995). Fundamentalmente, concluem esses autores, isto reflete o princípio de continuidade, que provê um meio de avaliar as relações de longa duração entre o fluxo de sedimentos ao longo da linha de costa e a progradação ou recuo costeiro.

A região costeira brasileira que vai de Pta. do Calcanhar até a Ilha de Santana, se estendendo aproximadamente por 1000km (Fig. 1), é caracterizada por apresentar um sentido geral único na deriva litorânea efetiva de sedimentos, de leste para oeste (Dominguez & Bittencourt 1996, MMA/UFRJ/FUJB/LAGET 1996, Martin *et al.* 1998). Uma outra característica importante dessa região costeira é a existência de extensos campos de dunas, que ocupam quase que continuamente a sua orla. Como observam Dominguez &

Bittencourt (1996) e Dominguez (1999), esses campos de dunas removeram volumes consideráveis de sedimentos da linha de costa que, de outra forma, estariam disponíveis para a progradação da mesma. Dessa forma, segundo Dominguez & Bittencourt (1996), como uma consequência dessas características, de uma maneira geral, do ponto de vista do balanço de sedimentos de longa duração, é esperado que nessa região costeira o mesmo tenda a ser negativo ou próximo de zero, principalmente considerando que o *input* fluvial é pequeno. Assim, a sua tendência de longa duração, de uma maneira geral, seria para um recuo erosivo ou equilíbrio na posição de linha de costa, situação que parece ter persistido, pelo menos desde o Pleistoceno (Dominguez & Bittencourt 1996, Dominguez 1999). Todavia, Dominguez (1999) chama a atenção para o fato de que alguns trechos costeiros podem ser aí identificados apresentando localmente um balanço de sedimentos positivo, com áreas de progradação durante o Quaternário. Na escala mais detalhada em que foi realizado o presente trabalho, pôde-se

1 - Laboratório de Estudos Costeiros – CPGG, Instituto de Geociências – UFBA, Rua Caetano Moura, 123 – Federação, 40210-340 – Salvador

– Bahia, e-mail: abílio@cpgg.ufba.br, landim@cpgg.ufba.br

2 - IRD (ORSTOM)/CNPq, e-mail: louis.martin@noos.fr

3 - Curso de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências –UFBA, e-mail: iracema@cpgg.ufba.br

constatar que essas áreas de progradação podem apresentar dimensões significativas. São três essas áreas costeiras (DNPM 1974, DNH 1974, 1975, 1978 a e b, MMA/UFRJ/FUJB/LAGET 1996) (Fig. 1): a) de Pta. dos Três Irmãos à Areia Branca (Setor II), b) de Pta. Itapagé à Barra das Preguiças (Setor IV) e c) de Ilha Santaninha à Ilha de Santana (Setor VI). Nos setores I e III as planícies costeiras são muito estreitas, quase inexistentes, com vários trechos no setor III apresentando erosão ao longo da linha de costa (Valentini & Rosman 1993, Meireles & Gurgel 1994, MMA/UFRJ/FUJB/LAGET 1996, Dominguez 1999), destacando-se entre estes os extensos trechos de falésias vivas localizados entre Ponta Grossa e Morro Branco, como o de Canoa Quebrada, por exemplo (Fig. 1). No setor V a planície costeira é totalmente ocupada pelo campo de dunas denominado de Lençóis Maranhenses (DNPM 1974, MMA/UFRJ/FUJB/LAGET 1996), que se constitui no maior campo de dunas do litoral brasileiro. A linha de costa é atualmente perfeitamente linearizada, sem formas de acumulação flúvio-marinha (DNH 1978a). Em toda a região de estudo as planícies costeiras são delimitadas interiormente por tabuleiros acompanhado a linha de costa, que recobrem até 50 km continente adentro (DNPM 1974), com 20 a 40m de altitude, localmente formando as falésias vivas acima mencionadas. Estes tabuleiros são constituídos de sedimentos continentais inconsolidados de idade pliocênica (Grupo Barreiras - Mabessone *et al.* 1972, Bigarella 1975).

As zonas de progradação quaternária estão, na sua maioria, associadas à foz de rios, como é o caso dos deltas dos rios Parnaíba (Setor IV) e Açú (Setor II) (Fig. 1), sendo representadas por planícies fluviais e flúvio-marinhas e por cordões arenosos marinhos, ambos recobertos por dunas em grandes trechos. Vastas regiões de manguesais também aí ocorrem. Os cordões arenosos, constituídos pela deriva de leste para oeste, aparecem notavelmente na região entre o Rio Açú e Morrinhos (Setor II) (Fig. 1). Nos setores II, IV e VI também é muito comum a presença, defronte à desembocadura dos rios e à entrada dos braços-de-mar, de extensos bancos arenosos que descobrem nas grandes baixas-mares de sizigia (DNH 1974, 1975, 1978a).

A linha de quebra da plataforma continental, que se dá entre 60 e 80m (Palma 1979), acompanha o traçado do litoral. A largura varia pouco, com um valor médio de 65km, sendo maior defronte ao trecho costeiro entre Pta. Itapagé e Ilha de Santana (Fig. 1), que é também o que apresenta menores declividades (Palma 1979). Segundo esse autor, entre Acaraú e Ilha de Santana a plataforma apresenta um relevo na forma de ondas de areia. Já entre Acaraú e Pta. do Calcanhar, segundo ainda o mesmo autor, o relevo da plataforma é constituído de superfícies planas alternadas com formas onduladas, campos de ondas de areia e feições irregulares de recifes de algas.

O objetivo do presente trabalho é avaliar, em escala regional, o papel desempenhado pelo Clima de Ondas no controle da localização das grandes zonas de acumulação flúvio - marinhas e de erosão ou não-deposição ao longo da área de estudo.

**MODELO DE CLIMA DE ONDAS** A refração é o mecanismo primário a controlar as variações na energia das ondas ao longo da linha de costa (Munk & Traylor 1947, Zenkovitch 1967, Goldsmith 1976). Dessa forma, Modelos de Clima de Ondas obtidos através da confecção de diagramas de refração têm se tornado uma importante ferramenta para auxiliar na compreensão dos processos costeiros (Munk & Traylor 1947, Cherry 1966, Zenkovitch 1967, Goldsmith 1976, Goldsmith & Golik 1980, Laurence e Davidson-Arnott 1997, Bittencourt *et al.* 2000, 2002).

As medidas diretas de ondas na região costeira aqui estudada correspondem a séries temporais curtas e não-coincidentes, e muito espalhadas, impossibilitando assim que se tenha uma visão consistente do regime de ondas da região (Bandeira & Salim 1995). Em vista disso, à partir do conhecimento das direções dos ventos que ocorrem neste trecho costeiro (DNH 1993), foram consideradas como representativas do regime de ondas da região aquelas cujas direções induzidas por esses ventos poderiam conseguir, com percentuais anuais significativos, promover uma deriva litorânea ao longo da linha de costa (Martin *et al.* 1998).

Dessa forma, as seguintes direções de frentes-de-onda, com os seus percentuais anuais de ocorrência, foram consideradas a partir dos dados existentes para os seguintes trechos costeiros (DNH 1993): N (N0°), NE (N45°) e E (N90°), que ocorrem entre Ilha de Santana e Pta. Itapagé (Fig. 1) com percentuais relativos entre si de 7%, 23% e 70% e, entre Pta. Itapagé e Pta. Do Calcanhar, com 5%, 13% e 82%. Por fim, também foram considerados os mais significativos períodos e alturas de ondas associados às direções selecionadas (U.S. Navy 1978): períodos de 5 seg e alturas de 1m.

Com base nesses dados, e utilizando-se de técnicas clássicas (CERC 1984), foram construídos diagramas de refração de ondas, resultando em um modelo genérico do clima de ondas para a área estudada (Figs. 2 a 4). Os dados batimétricos utilizados na construção desses diagramas foram extraídos de cartas náuticas publicadas pela Marinha do Brasil, em uma escala aproximada de 1:300.000 (DNH 1974, 1975, 1978 a e b). As ondas não foram propagadas em águas com profundidades inferiores a 5m, que é o limite das cartas náuticas.

O exame das figuras 2 a 4 mostra que as frentes-de-onda provinidas de norte são as que menos se refratam (Fig. 2), o que acontece de uma maneira significativa apenas nas regiões imediatamente a leste de Morrinhos, na região do delta do Rio Açú e em Areia Branca. As frentes-de-onda de nordeste se refratam um pouco mais (Fig. 3), de uma maneira mais notável no trecho entre Acaraú e Luis Correia, na Foz do Rio Açú e entre Morrinhos e Galinhos. Já as frentes-de-onda provenientes de leste (Fig. 4) são as que mais se refratam, notadamente nos trechos entre Pta. Dos Três Irmãos e a Foz do Rio Jaguaribe e entre Acaraú e Barra das Preguiças, regiões que apresentam grandes divergências entre os raios-de-onda. Uma significativa refração nas frentes-de-onda de leste é também identificada na região entre Barra das Preguiças e Ilha de Santana.

#### **INTENSIDADE POTENCIAL E SENTIDO DA DERIVA LITORÂNICA EFETIVA**

A intensidade potencial da deriva litorânea de sedimentos foi determinada levando-se em consideração que: a) a energia da onda é diretamente proporcional ao quadrado da sua altura (Davies 1972) e b) a intensidade da deriva litorânea é proporcional ao ângulo com que a frente-de-onda incide na linha de costa (Zenkovitch 1967, Komar 1976, Kokot 1997), de acordo com a função  $y = \sin \alpha \cdot \cos \alpha$  (Komar 1976). Assim, a intensidade potencial da deriva litorânea de sedimentos, calculada por unidade de área, e expressa por um valor adimensional, foi dada pela função  $x = y \times H^2$ , onde H, no caso do presente trabalho, é a altura estimada da onda ao longo da isóbata de 5m. Para a estimativa da altura da onda utilizou-se a equação:

$$H = H_0 \sqrt{\frac{b_0}{b}} \quad (\text{Bascom } 1954)$$

onde o zero subscrito designa condições de água profunda e b a distância entre duas ortogonais às frentes-de-onda. A linha de

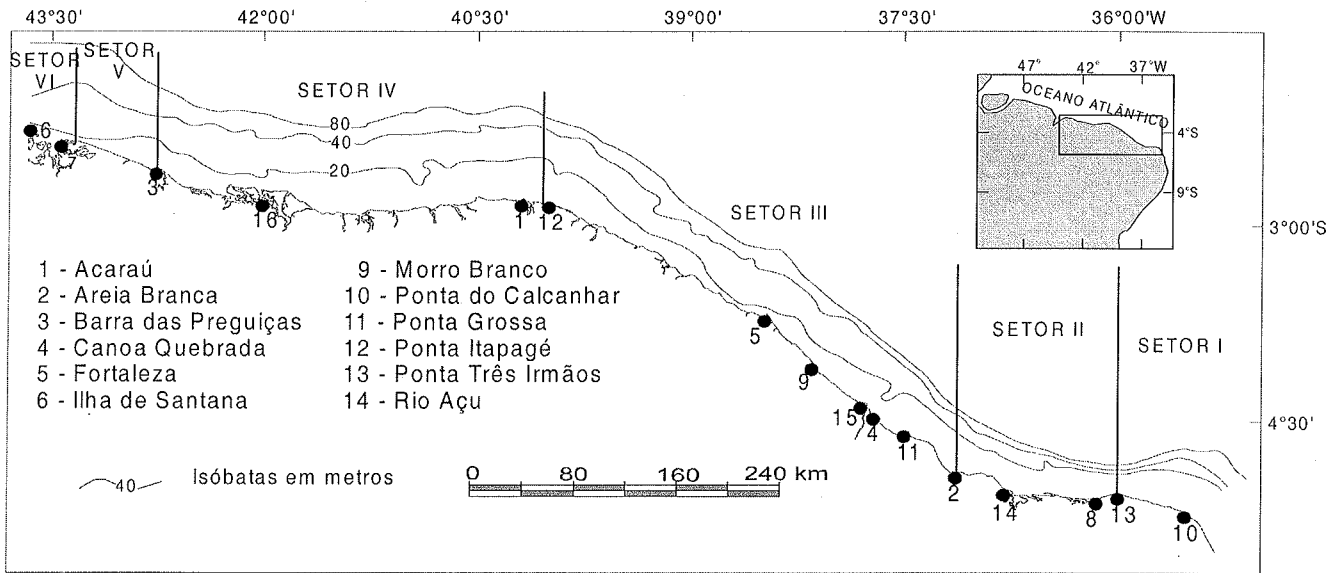


Figura 1 – Características fisiográficas da plataforma continental norte brasileira entre Ponta do Calcanhar e Ilha de Santana. É também mostrada a localização dos diferentes setores discutidos no texto.

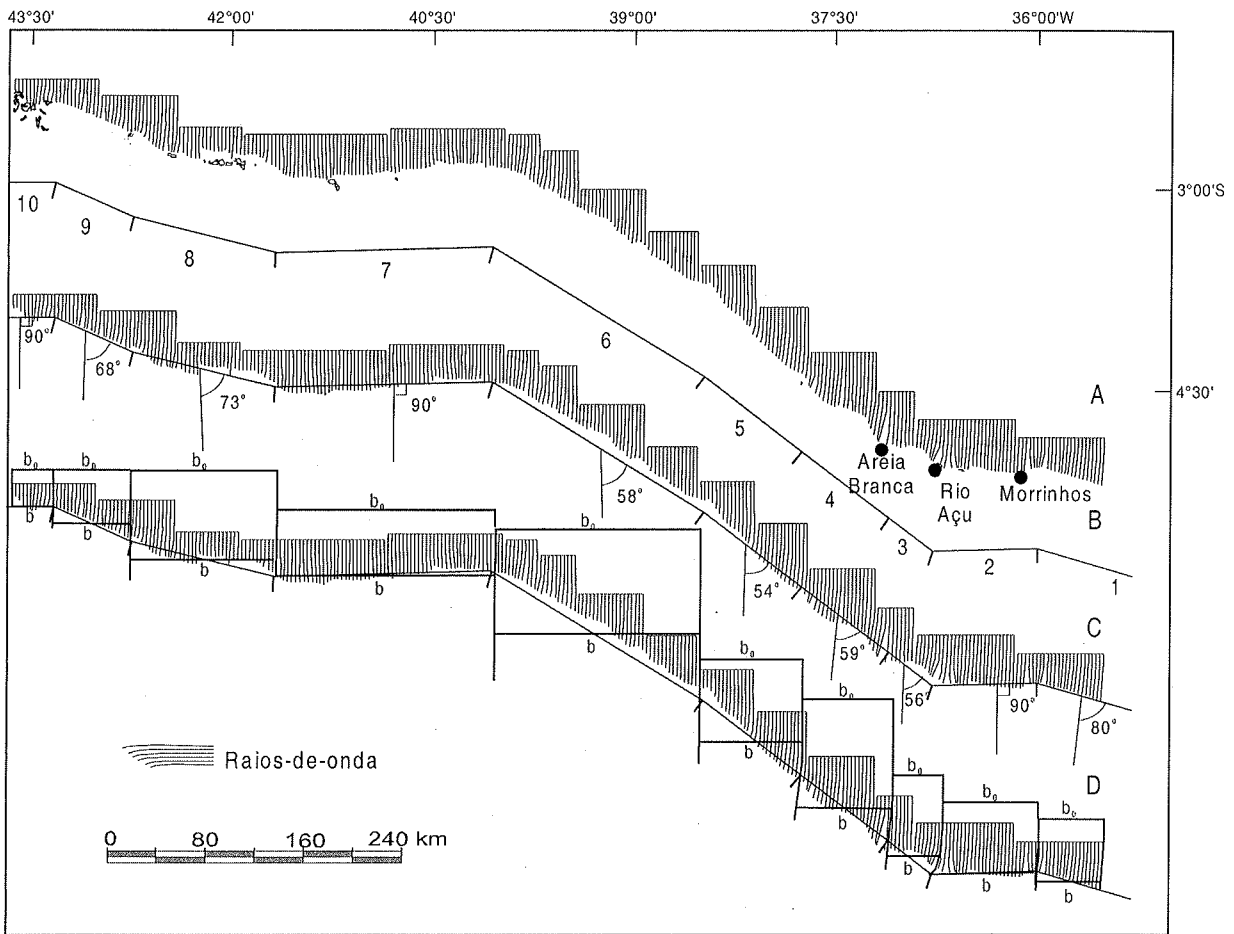


Figura 2 – A – Diagramas de refração para ondas com período de 5 segundos, provenientes de N. B – Diferentes segmentos em que a linha de costa foi retilinearizada. C – Ângulos de incidência formados pelos raios-de-onda de N em relação aos segmentos costeiros. D – Medidas de  $b$  e  $b_0$  (ver o texto) para a estimativa da altura das ondas ao longo dos segmentos costeiros.

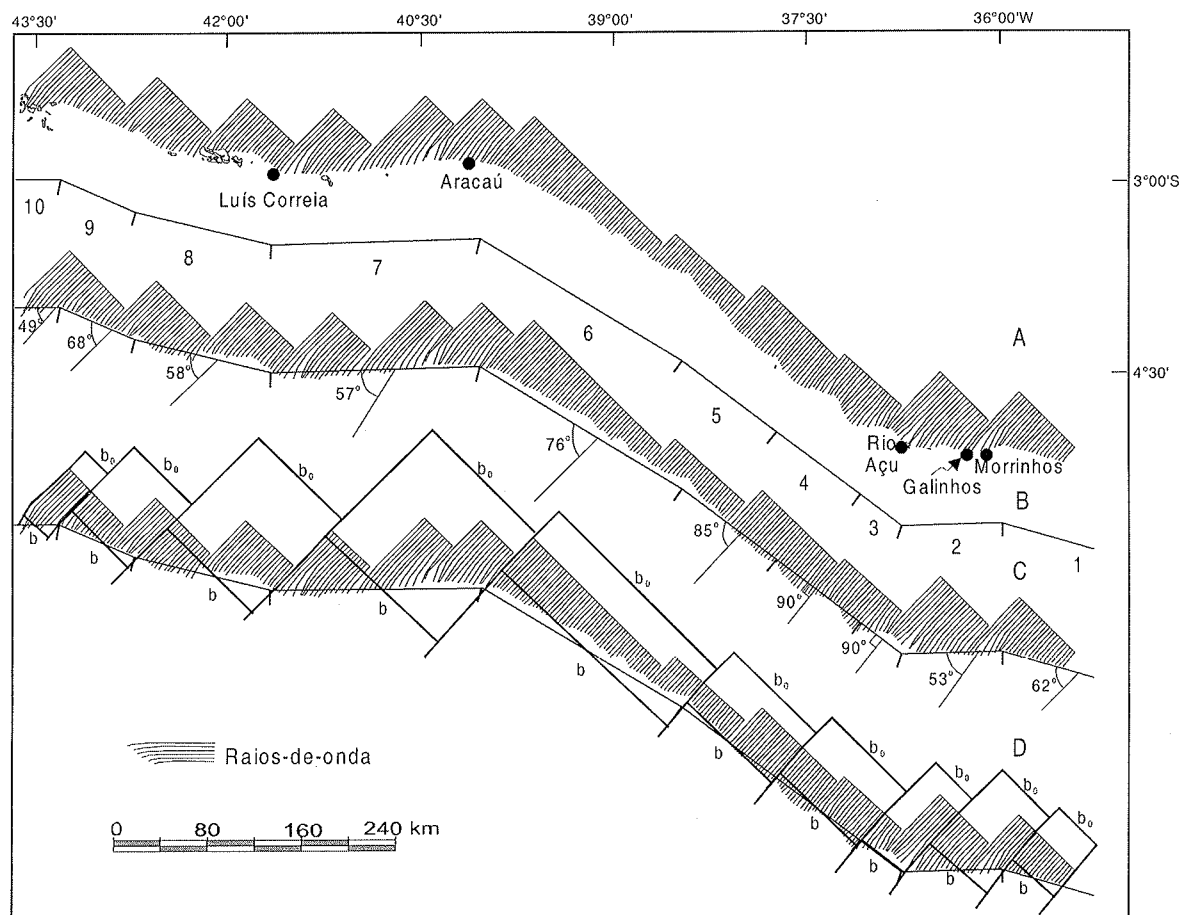


Figura 3 – A – Diagramas de refração para ondas com período de 5 segundos, provenientes de NE. B – Diferentes segmentos em que a linha de costa foi retilinearizada. C – Ângulos de incidência formados pelos raios-de-onda de NE em relação aos segmentos costeiros. D – Medidas de  $b$  e  $b_0$  (ver texto) para a estimativa da altura das ondas ao longo dos segmentos costeiros.

costa foi dividida em 10 segmentos, tendo sido cada um deles aproximado para uma linha reta de acordo com a orientação da linha de costa (Fig. 2). No caso dos segmentos 3, 4 e 5, um mesmo trecho retilíneo foi dividido em três segmentos pelo fato de apresentar padrões distintos de distanciamento entre os raios-de-onda ao longo da linha de costa. As distâncias  $b$  e  $b_0$  (Figs. 2 a 4) foram medidas entre as ortogonais-limites do feixe de ortogonais incidente em cada segmento, ou, raramente, quando isso não foi possível, englobando segmentos contíguos (por exemplo, segmentos 2 e 3, figura 4). Obteve-se assim um valor médio da altura da onda para o trecho costeiro considerado. O ângulo  $\alpha$  entre cada segmento e uma determinada frente-de-onda foi aquele predominante entre os raios-de-onda incidentes no segmento, medido diretamente no diagrama de refração (Figs. 2 a 4). Posteriormente, o valor obtido para a intensidade da deriva foi multiplicado pela percentagem da frequência anual da direção do vento a que está associada a frente-de-onda considerada.

Os valores da intensidade potencial e do sentido obtidos para a deriva litorânea de sedimentos ao longo do trecho costeiro estudado são mostrados na tabela 1, juntamente com o sentido e a intensidade potencial da deriva efetiva. Nos trechos costeiros apresentando sentidos de deriva opostos durante o ano, o sentido da deriva efetiva foi definido considerando-se o sentido predom-

inante, dado pela diferença de intensidade entre as derivas opostas. Por exemplo, no segmento 1 (Tab. 1), a soma das intensidades das derivas de leste para oeste foi 3649, enquanto que o valor da intensidade da deriva com sentido oposto foi 85. Assim, o sentido da deriva efetiva obtido foi de leste para oeste, com uma intensidade potencial no valor de 3654.

Pela figura 5 constata-se que a intensidade potencial da deriva litorânea efetiva de sedimentos a) diminui gradualmente entre os segmentos 1 e 3, b) aumenta gradativamente do segmento 3 para o 6, c) diminui gradualmente do segmento 6 para o 8, d) aumenta do segmento 8 para o 9 e e) diminui do segmento 9 para o 10.

**DISCUSSÃO E CONCLUSÕES** De maneira geral, os setores I, III e V, de um lado, e II, IV e VI, de outro, experimentam diferentes níveis de energia. Os setores I, III e V são os mais expostos aos processos hidrodinâmicos pelo fato de, fundamentalmente apresentarem: a) uma mínima refração nas ondas predominantes de leste (Fig.4), e, desta forma, preservarem níveis de energia próximos aos originais (o que se traduz em muito pouca modificação na altura original das ondas – Tab. 1) e b) ângulos de incidência das mesmas com a linha de costa próximos de  $45^\circ$  (Fig. 4) (ângulo que proporciona a maior quantidade de energia à deriva litorânea). Os *inputs* de energia nos setores I, III e V, expressos pela intensidade

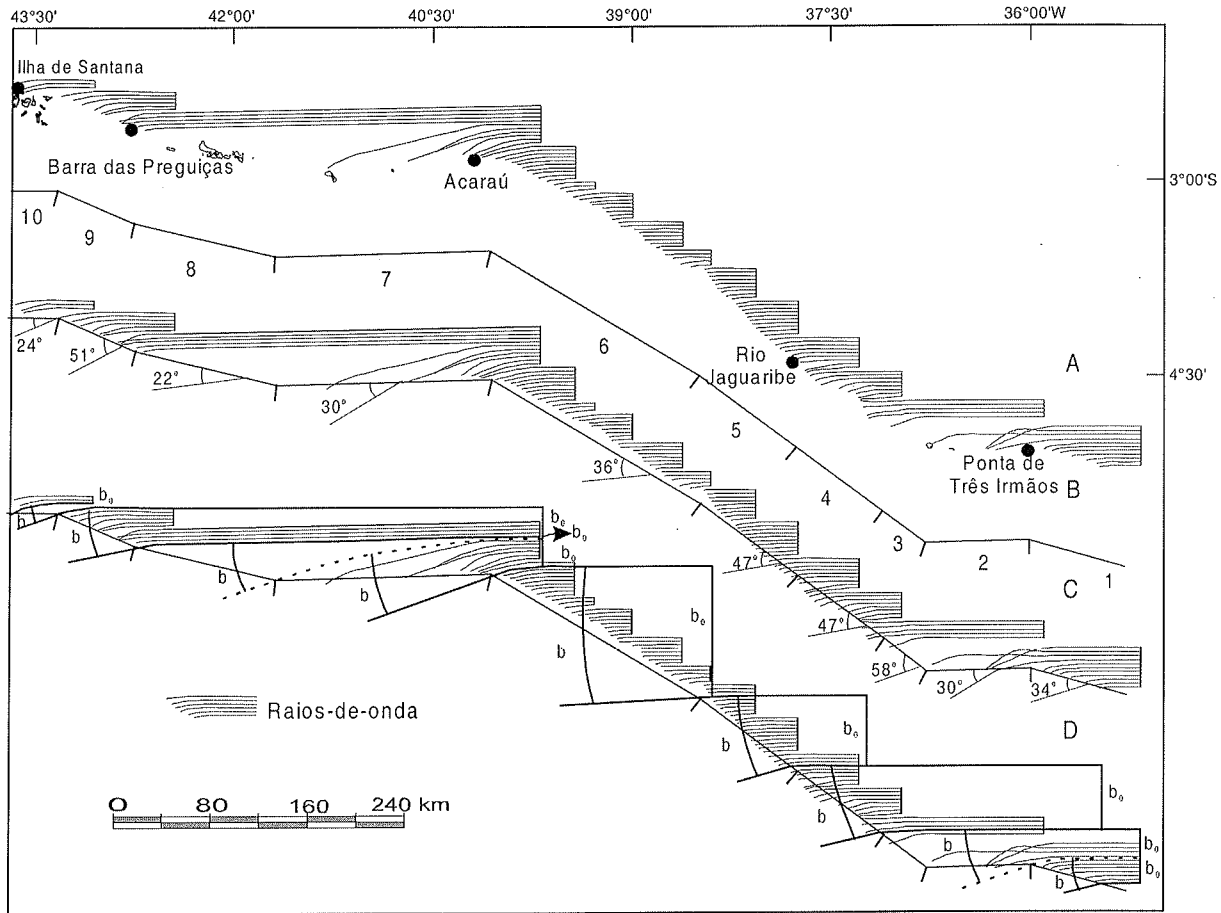


Figura 4 – Diagramas de refração para ondas com período de 5 segundos, provenientes de E. B – Diferentes segmentos em que a linha de costa foi retilinearizada. C – Ângulos de incidência formados pelos raios-de-onda de E em relação aos segmentos costeiros. D – Medidas de  $b$  e  $b_0$  (ver texto) para a estimativa da altura das ondas ao longo dos segmentos costeiros.

potencial da deriva litorânea (Tab. 1), são assim maiores do que nos setores II, IV e VI, onde a refração das ondas predominantes é bem maior e os ângulos de incidência se afastam mais de  $45^\circ$  (Fig. 4). Esse fato vai ser um condicionante para que os setores II, IV e VI sejam os trechos costeiros mais favoráveis para a acumulação flúvio-marinha ao longo da linha da costa, bem como pelas características erosivas, ou não-depositivas, ao longo da linha de costa nos setores I, III e V.

Se em um determinado trecho costeiro a deriva litorânea tem a tendência de mover menos sedimentos do que é introduzido no sistema, o balanço de sedimentos tenderá a ser positivo. Ao contrário, se a deriva litorânea tende a remover mais sedimentos do que é introduzido no sistema, o balanço tende a ser negativo. Dessa forma, ao longo do trecho costeiro aqui analisado, as grandes zonas de acumulação flúvio-marinhas existentes nos setores II, IV e VI podem ser explicadas pelo fato de que há, nos mesmos, um decréscimo acentuado no valor da intensidade potencial da deriva litorânea efetiva de sedimentos, no sentido de sotamar, a partir do limite entre eles e os setores contíguos à barlavento (Fig. 5). Assim, vai haver uma perda na capacidade de transporte efetivo do fluxo de sedimentos, conforme mecanismo discutido em Zenkovitch (1967). Na área aqui estudada, tal balanço positivo de sedimentos ocorre mesmo apesar das dunas aí existentes ao lon-

go do litoral subtraírem sedimentos do sistema de deriva litorânea. No setor IV, o balanço de sedimentos positivo é reforçado no segmento 8 pela carga de sedimentos carregada para aí pelo maior rio da região aqui estudada, Rio Parnaíba (Fig. 5), que desemboca na forma de um grande delta, bem como ainda pelo fato de a água do rio diminuir o fluxo de material ao longo da linha da costa.

Quanto às características erosivas ou de não-acumulações flúvio-marinhas ao longo da linha de costa nos setores I, III e V, pode-se relacioná-las ao fato de que há um acréscimo nos valores da intensidade potencial da deriva litorânea efetiva de sedimentos nesses setores, no sentido de sotamar, a partir do limite entre os mesmos e os setores contíguos à barlavento (Fig. 5). Dessa forma, vai haver um aumento na capacidade de transporte efetivo do fluxo de sedimentos, o que tende a provocar um déficit de sedimentos à sotamar, déficit este que é aumentado pela retirada de areia da face da praia para as dunas costeiras. Os diferentes trechos de erosão da linha de costa existentes no Setor III podem estar relacionados ao fato de que, ao longo do mesmo, diferentemente dos setores I e V, há um acréscimo gradativo na intensidade potencial da deriva litorânea efetiva de sedimentos, no sentido de sotamar, o que vai implicar em um déficit crescente de sedimentos nesse sentido. Ademais, em relação ao longo trecho de falésias vivas da região de Canoa Quebrada (Fig. 1), as mesmas podem

Tabela 1 – Altura da onda ao longo da costa e ângulo de incidência dos raios-de-onda, para ondas provenientes de N, NE e E; intensidade da deriva litorânea para cada frente-de-onda e intensidade potencial da deriva litorânea efetiva.

| Segmento | Direção da frente-de-onda | Altura da onda ao longo da linha de costa (m) (H)* | Ângulo de incidência dos raios de onda ( $\alpha$ ) | Componente principal da deriva | Intensidade potencial da deriva litorânea por unidade de área $X = \text{sen}\alpha \cdot \cos\alpha \cdot H^2 \cdot (x100)$ | Percentual de incidência anual das ondas | Intensidade da deriva x percentual de incidência anual | Intensidade da deriva dominante menos a da deriva secundária: deriva efetiva |
|----------|---------------------------|--|---|--------------------------------|--|--|--|--|
| 1        | N0°                       | 1,0  | 80°   | W-E                            | 17   | 5  | 85   |  |
|          | N45°                      | 1,0  | 62°   | E→W                            | 41   | 13                                       | 533  | 3564   |
|          | N90°                      | 1,9  | 34°   | E→W                            | 38   | 82                                       | 3116   | E→W  |
| 2        | N0°                       | 0,9  | 90°   | -                              | -  | 5  | -  |  |
|          | N45°                      | 0,9  | 53°   | E→W                            | 39   | 13                                       | 507  | 1819   |
|          | N90°                      | 0,6  | 30°   | E→W                            | 16   | 82                                       | 1312   | E→W  |
| 3        | N0°                       | 1,0  | 56°   | W→E                            | 46   | 5  | 230  |  |
|          | N45°                      | 1,0  | 90°   | -                              | -  | 13                                       | -  | 1082   |
|          | N90°                      | 0,6  | 58°   | E→W                            | 16   | 82                                       | 1312   | E→W  |
| 4        | N0°                       | 0,9  | 59°   | W→E                            | 36   | 5  | 180  |  |
|          | N45°                      | 1,0  | 90°   | -                              | -  | 13                                       | -  | 3100   |
|          | N90°                      | 0,9  | 47°   | E→W                            | 40   | 82                                       | 3280   | E→W  |
| 5        | N0°                       | 1,0  | 54°   | W→E                            | 47   | 5  | 235  |  |
|          | N45°                      | 1,0  | 85°   | E→W                            | 8  | 13                                       | 104  | 3149   |
|          | N90°                      | 0,9  | 47°   | E→W                            | 40   | 82                                       | 3280   | E→W  |
| 6        | N0°                       | 1,0  | 58°   | W→E                            | 45   | 5  | 225  |  |
|          | N45°                      | 1,0  | 76°   | E→W                            | 23   | 13                                       | 299  | 3190   |
|          | N90°                      | 0,9  | 36°   | E→W                            | 38   | 82                                       | 3116   | E→W  |
| 7        | N0°                       | 1,0  | 90°   | -                              | -  | 7  | -  |  |
|          | N45°                      | 0,9  | 57°   | E→W                            | 37   | 23                                       | 851  | 1971   |
|          | N90°                      | 0,6  | 30°   | E→W                            | 16   | 70                                       | 1120   | E→W  |
| 8        | N0°                       | 1,0  | 73°   | W→E                            | 28   | 7  | 196  |  |
|          | N45°                      | 1,0  | 58°   | E→W                            | 45   | 23                                       | 1035   | 909  |
|          | N90°                      | 0,8  | 22°   | E→W                            | 1  | 70                                       | 70   | E→W  |
| 9        | N0°                       | 1,0  | 68°   | W→E                            | 35   | 7  | 245  |  |
|          | N45°                      | 1,0  | 68°   | E→W                            | 35   | 23                                       | 805  | 2730   |
|          | N90°                      | 0,8  | 51°   | E→W                            | 31   | 70                                       | 2170   | E→W  |
| 10       | N0°                       | 1,0  | 90°   | -                              | -  | 7  | -  |  |
|          | N45°                      | 0,9  | 49°   | E→W                            | 40   | 23                                       | 920  | 1550   |
|          | N90°                      | 0,5  | 24°   | E→W                            | 9  | 70                                       | 630  | E→W  |

\*  $H = H_0 \cdot (b_0/b)^{1/2}$ .  $H_0$  = altura normalizada da onda em alto-mar por unidade de comprimento: 1,0m. Para o significado de  $b$  e  $b_0$ , ver figura 2.

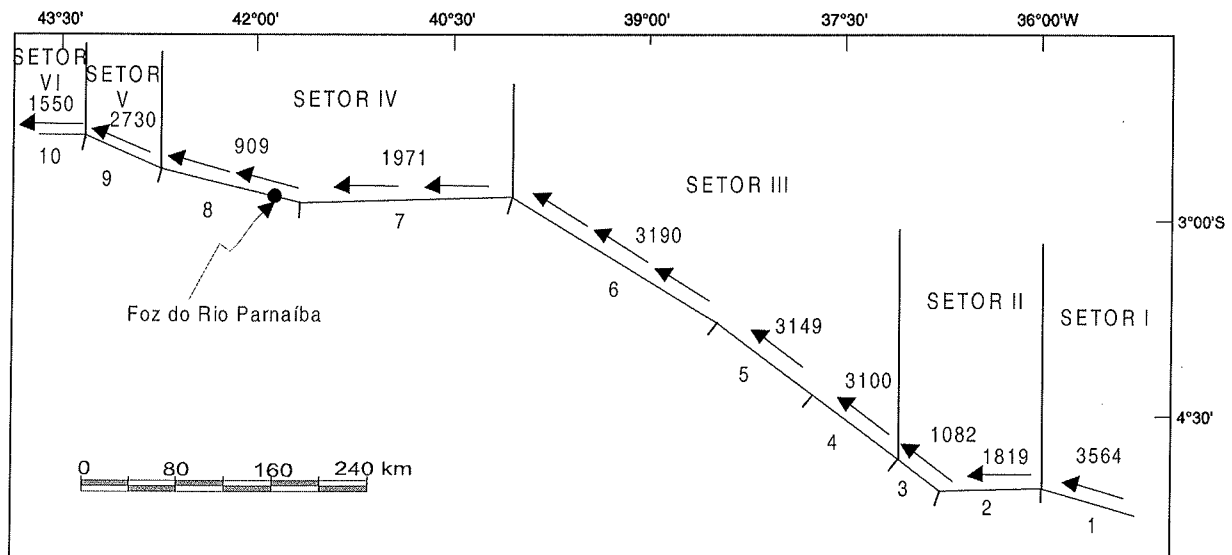


Figura 5 – Sentidos da deriva litorânea efetiva de sedimentos, computados no presente trabalho para cada segmento retilinearizado. Os números ao lado das setas representam a intensidade potencial da deriva litorânea efetiva de sedimentos ao longo do segmento (ver Tab. 1).

também estar relacionadas ao fato de aí as frentes-de-onda predominantes de leste apresentarem uma convergência nos raios-de-onda (Fig. 4). Essa zona de convergência vai promover, localmente, a formação de uma divergência no sentido da deriva litorânea induzida pelas ondas de leste. Essa divergência é produzida em função do gradiente lateral na altura das ondas. Isto é, vão ser criados fluxos de energia opostos através da frente-de-onda, da região de grandes ondas (convergência) para as regiões contíguas de ondas menores (Zenkovitch 1967, King 1972, Calliari *et al.* 1998). Essa zona de divergência vai, portanto, criar nesse local condições de déficit de sedimentos, que poderá propiciar uma erosão local (Calliari *et al.* 1998).

Deve-se ressaltar que os diferentes segmentos costeiros aqui considerados estão altamente interrelacionados, funcionando como um *continuum*, expresso por um sentido geral único na deriva litorânea efetiva de sedimentos. Dessa forma, com o saldo restante de sedimentos, debitados os incorporados às acumulações costeiras pelo sistema de deriva litorânea e pela ação dos ventos, esses segmentos, como considera Dominguez (1999), vão também funcionar como exportadores de sedimentos para os tre-

chos costeiros à sotamar da região aqui estudada.

Por fim, constata-se que a modelagem relativamente simples efetuada sobre os diagramas de refração de ondas no presente trabalho reproduz o padrão geral de leste para oeste no sentido da deriva litorânea efetiva de sedimentos, bem como identifica, em escala regional, os gradientes de longa duração existentes na intensidade potencial da componente de energia das ondas paralela à linha de costa. Tais gradientes nos auxiliam a melhor entender a distribuição das grandes zonas de acumulação flúvio-marinha e de erosão ou não-deposição existentes na região costeira estudada, as quais dependem também de outros fatores, como o aporte de sedimentos para a zona costeira e a atividade eólica.

**Agradecimentos** A.C.S.P. Bittencourt e J.M.L. Dominguez agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) por sua Bolsa de Produtividade em Pesquisa. Essa pesquisa foi em parte financiada pelo Convênio Internacional CNPq/IRD (Orstom), projeto AIMPACT. I. R. Silva agradece, respectivamente, a CAPES e ao CNPq pelas suas bolsas de Mestrado e Doutorado. Aos revisores da RBG pelas sugestões

## Referências

- Bandeira J.V. & Salim L.H. 1995. *Relato Sucinto sobre o Conhecimento das ondas na Costa Brasileira: uma contribuição ao 1º Seminário sobre ondas e marés*. Arraial do Cabo - RJ. 1º Seminário sobre ondas e marés. Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira/Ministério da Marinha, p. 31-33.
- Bascom W.J. 1954. The control of stream outlets by wave refraction. *Journ. Geology*, **62**:600-605.
- Bigarella J.J. 1975. The Barreiras Group in northeastern Brazil. *An. Acad. Bras. Ciências*, **47**:365-393.
- 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. *An. Acad. Bras. Ciências*, **72**:271-287.
- Bittencourt A.C.S.P., Martin L., Dominguez J.M.L., Silva I.R., Sousa D.L. 2002. A Significant Longshore Transport Divergence Zone at the Northeastern Brazilian Coast: Implications on Coastal Quaternary Evolution. *An. Acad. Bras. Ciências*, **74**:505-518.
- Byrnes M.R., & Hiland M.W. 1995. Large-scale sediment transport patterns on the continental shelf and influence on shoreline response: St. Andrew Sound, Georgia to Nassau Sound, Florida, U.S.A. *Mar. Geology*, **126**: 19-43.
- Calliari L.J., Speranski N.S., Boukareva I.I. 1998. *Stable focus wave rays as a reason of local erosion at the Southern Brazilian coast*. Proc. Internat. Coastal Symp. Florida. Suppl. Vol. 2:19-23.
- CERC (Coastal Engineering Research Center). 1984. *Shore Protection Manual*. U.S. Army Corps of Engineers. Washington, D.C. V.I., 597p.; V. II, 603p.
- Cherry J.A. 1966. Sand movement along equilibrium beaches north of San Francisco. *J. Sed. Pet.*, **36**:341-357.
- Davies J.L. 1972. *Geographical variation in coastal development*. Longman, Inc. New York, 204p.
- DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação). 1974. *Brasil-Costa Leste: de Fortaleza até à Ponta dos Três Irmãos*. Carta Náutica nº 700. Esc.: 1:316.220.
- DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação). 1975. *Brasil-Costa Norte: de Camocim a Fortaleza*. Carta Náutica nº 600. Esc.: 1:316.680.
- DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação). 1978a. *Brasil-Costa Norte: de Ilha de Santana a Camocim*. Carta Náutica nº 500. Esc.: 1:316.836.
- DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação). 1978b. *Brasil-Costa Leste: de Ponta dos Três Irmãos ao Cabo Branco*. Carta Náutica nº B 800. Esc.: 1:315.428.
- DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação). 1993. *Atlas de Cartas-Piloto*. Oceano Atlântico, de Trindade ao Rio da Prata, 13p.
- DNPM. 1974. *Carta geológica do Brasil ao milionésimo; folha Jaguaribe - SB24, folha Fortaleza - SA24*. Texto Explicativo. Brasília, 95p.
- Dominguez J.M.L. & Bittencourt A.C.S.P. 1996. Regional Assessment of Long-term Trends of Coastal Erosion in Northeastern Brazil. *An. Acad. Bras. Ciências*, **68**: 355-371.
- Dominguez J.M.L. 1999. *Erosão costeira na região leste-nordeste do Brasil*. Tese de Professor Titular. Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 175p.
- Goldsmith V. 1976. Continental shelf wave climate models: a critical link between shelf hydraulics and shoreline processes. In: R.A. Davis, Jr. (ed) *Beach and Nearshore Sedimentation*, SEPM Spec. Publ., 24: 39-69.
- Goldsmith V. & Golik A. 1980. Sediment transport model of the southeastern mediterranean coast. *Mar. Geology*, **37**:147-175.
- King C.A.M. 1972. *Beaches and Coasts*. Edward Arnold, London, 570p.
- Kokot R.R. 1997. Littoral drift, evolution and management in Punta Médanos, Argentina. *J. Coastal Res.*, **13**:192-197.
- Komar P.D. 1976. *Beach process and sedimentation*. Prentice Hall, New Jersey, 429p.
- Laurence P.L., Davidson-Arnott R.G.D. 1997. Alongshore Wave Energy and Sediment Transport on Southeastern Lake Huron, Ontario, Canada. *J. Coastal Res.*, **13**:1004-1015.
- Mabesoone J.M., Campos Silva A., Beurlen K. 1972. Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, *Rev. Bras. Geoc.*, **2**:173-188.
- Martin L., Dominguez J.M.L., Bittencourt A.C.S.P. 1998. Climatic con-

- trol of coastal erosion during a sea-level fall episode. *An. Acad. Bras. Ciências*, **70**:249-266.
- Meireles A.J.A., Gurgel Jr. J.B. 1994. Dinâmica costeira em áreas de dunas móveis associadas a promontórios, ao longo do litoral cearense. *In: Congr. Bras. Geologia*, **38**, Camboriú, *Anais*, p. 403-404.
- MMA/UFRJ/FUJB/LAGET. 1996. *Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil na Escala da União*. Brasília: Programa Nacional do Meio Ambiente, 280p.
- Munk W.H. & Traylor M.A. 1947. Refraction of ocean waves; a process linking underwater topography to beach erosion. *J. Geology*, **55**:1-26.
- Palma J.J.L. 1979. Geomorfologia da Plataforma Continental Norte Brasileira. *In: H.E.F. CHAVES (ed) Geomorfologia da Margem Continental Brasileira e das Áreas Oceânicas Adjacentes*. Projeto REMAC. Vol 7: 25-51.
- U.S. Navy. 1978. *Marine Climatic Atlas of the World*, V. IV, South Atlantic Ocean. Washington D.C., 325p.
- Valentini E. & Rosman P.C. 1993. Subsídios técnicos para o gerenciamento costeiro no Ceará. *In: Simp. Bras. Recursos Hídricos*, **10**, Anais, 2:51-60.
- Zenkovich V.P. 1967. *Processes of Coastal development*. Oliver & Boyd, London, 738p.

Manuscrito A-1331

Recebido em 14 de março de 2002

Revisão dos autores em 20 de abril de 2003

Revisão aceita em 26 de abril de 2003