

CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA A CURTO PRAZO DAS PRAIAS DOS MUNICÍPIOS DE CAUCAIA E SÃO GONÇALO DO AMARANTE, ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

Short-term morphological characterization of beaches in Caucaia and São Gonçalo do Amarante counties, Ceará State, Brazil

Silvana Helena Oliveira Magalhães¹, Luís Parente Maia²

RESUMO

A pesquisa foi desenvolvida na zona costeira dos municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante, entre a desembocadura do Rio Ceará e a Praia do Pecém, litoral oeste do Estado do Ceará. O estudo tem como objetivo definir e quantificar os processos costeiros responsáveis pela erosão observada na região, com ênfase nos agentes que interferem diretamente nessas modificações: ventos, ondas, marés e correntes longitudinais, incluindo a instabilidade gerada pela ação antrópica. As ondas que atingem a linha de praia são de dois tipos: *sea*, que são ondas irregulares com o período variando entre 3 e 10 s, altura média de 1,10 m e direção de aproximação E-SE, e ondas do tipo *swell*, mais regulares com altura da ordem de 1 m, período variando entre 10 e 20 s e direção de aproximação N-NE. As marés são do tipo semidiurnas (período de 12 h) com amplitudes variando em torno de 160 cm. As correntes superficiais apresentaram velocidades, no período de estiagem, entre 0,22 e 0,68 m/s com um valor médio de 0,34 m/s e direção N-NW. A metodologia consistiu de uma coletânea dos trabalhos anteriores e visualização na escala de curto prazo por um monitoramento mensal durante 27 meses em oito pontos pré-estabelecidos, acompanhado de uma amostragem dos sedimentos; a cota dos perfis praiais foi reduzida ao zero hidrográfico estipulado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). O estudo identificou áreas de tendências erosivas e taxas variando de -48 m³/m.a. a -16,8 m³/m.a., pontos de acúmulo de sedimentos com valores de +37 m³/m.a a. +26,4 m³/m.a., bem como locais onde a zona costeira está em equilíbrio. Os sedimentos apresentaram uma predominância de areia média, quartzo, com grãos polidos de esfericidade média.

Palavras-chaves: zona costeira, erosão, influência antrópica.

ABSTRACT

The research was developed in the beaches of Caucaia and São Gonçalo of Amarante counties, located between Rio Ceará's outlet and Pecém, Ceará State, Brazil. The study has as objective to define and quantify the coastal processes that account for the erosion observed in the area, causing damages to the environment and highlighting the agents that interfere directly on those modifications: winds, waves, tides and longitudinal currents, as well as, instability generated by human action. The waves that reach the coastline are of the types: sea, irregular waves with the period varying between 4 and 9 s, with a mean height of 1.10 m and approaching direction ESSE; and swell, waves that are more regular, with height of about 1.0 m, period above 10 s and approaching direction N-NE. The tides are semidiurnal(12 hour periods) and a 160 cm range. The superficial currents presented speeds in dry period from 0.22 and 0.68m/s and approaching direction N-NW. The used methodology consisted of a critical analysis of the previous works, definition of short-term variations of the coastline, the visualization proceeded for the observation of eight pre-established profiles, for 27 months, together with sampling of the sediments. The quota of those profiles was reduced to the hydrographic zero by Brazil's Hydrography and Navigation Directory (DHN). The study of the profiles identified areas of erosive tendencies with rates from -48m³/m.yr. to -16,8m³/m.yr., deposition point of sediments with +37m³/m.yr. to +26,4m³/m.yr., as well as places where the coastal zone is in balance. The sediments presented a predominance of medium sand, rich in quartz, with polished and sub-round grains.

Key words: coastal zone, erosion, human impacts.

¹ Mestre em Sedimentologia, Pesquisadora do Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza. E-mail: <silvaniamagalhaes@yahoo.com.br>

² Professor Adjunto do Departamento de Geologia e Pesquisador do Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Av. da Abolição, 3207, Fortaleza, CE 60165-081. E-mail: <parente@ufc.br>

INTRODUÇÃO

É de conhecimento comum a todos que a linha de praia constitui uma das feições mais dinâmicas do planeta. Sua posição no espaço muda constantemente em várias escalas temporais (diárias a milenares) e diversos são os parâmetros que modificam a paisagem costeira.

Alguns são de origem natural, tais como as condições oceanográficas, suprimento de sedimentos, tempestades entre outros, ou de origem antrópica, dentre os quais podemos citar a construção de espiões e açudes, dragagens, ocupação de dunas, ou qualquer intervenção artificial que venha interferir na dinâmica natural. Neste trabalho utilizou-se a descrição de Cunha (1999) dos parâmetros naturais e antrópicos apresentados a seguir.

CAUSAS NATURAIS

As praias representam formas de acumulação de um litoral em equilíbrio, enquanto o processo de erosão representa uma modificação deste equilíbrio que, de positivo, passa a ser negativo.

O nível do mar, ao se estabilizar por volta de 7.000 anos A.P., apresentou ligeiras oscilações em relação a sua posição atual, possibilitando a acumulação de grande quantidade de material no ambiente costeiro, com formação de vastas praias e amplos campos de dunas. Esse período de acumulação abundante permanece até que o equilíbrio do litoral seja atingido às custas da reserva submarina de sedimento. De acordo com Paskoff (1985, *apud* Cunha, 1999) o que começa em seguida a esse evento é um período de déficit de material, uma vez que os aportes limitaram-se apenas ao material resultante do produto da erosão marinha e continental.

Esta situação é caracterizada pela escassez de sedimentos para alimentar as praias. Os estudos maregráficos, em escala global, têm mostrado que o nível relativo do mar, atualmente, apresenta uma tendência de elevação lenta, na ordem de 1,2 a 1,5 mm/ano.

Foi constatado que uma elevação do nível do mar pode interferir no estado de equilíbrio das praias, através da perda de sedimentos e recuo das mesmas. O perfil da praia migra em direção ao continente devido à erosão do estirâncio superior ou da pós-praia, com acúmulo do material na antepraia, de tal forma que a espessura da lâmina d'água permanece constante.

Um lento crescimento de freqüência e da força das ondas é considerada por alguns autores como agentes que favorecem a erosão das praias. Embora relativamente lenta comparada com a escala humana,

esta transgressão provoca dois efeitos que se conjugam para estimular uma tendência erosiva costeira: a migração de cordões litorâneos, lagunas e praia em direção ao continente, e a deposição de sedimentos fluviais nos estuários e nas lagunas formadas pelo afogamento de vales fluviais baixos.

Esta última ação agrava o efeito da erosão, pois compromete o aporte de sedimentos transportados pelos rios para a costa, desequilibrando negativamente o balanço sedimentar das praias. Os processos comentados anteriormente, ao atuarem de forma isolada, são insuficientes para explicar a erosão generalizada que as praias sofrem atualmente. Porém, agindo em conjunto, podem criar condições desfavoráveis que ameaçam a estabilidade, permitindo um recuo das praias, muitas vezes acelerado pelos efeitos das intervenções humanas. Outro fator que contribui para acentuar a erosão costeira é a presença de extensos campos de dunas formados a partir da retirada de sedimentos das praias pela ação dos ventos.

CAUSAS ANTRÓPICAS

A erosão marinha na zona costeira é um problema que está associado à ocupação desordenada e à falta de planejamento urbano. Outros fatores de ordem ambiental atuam fortemente para agravar este problema, dentre os quais, aterros indiscriminados dos mangues e "obras de engenharia" que, quando executadas sem critérios globais, podem agravar ou provocar erosão nas áreas adjacentes.

Os trabalhos realizados nos rios geralmente reduzem consideravelmente seu papel de principal fornecedor de material sólido a costa. Neste sentido, as barragens representam armadilhas eficazes na retenção dos sedimentos. A exploração indiscriminada de areia de dunas, pós-praia e antepraia, para a construção civil e aterros agrava seriamente o déficit de sedimentos nas praias e acelera seu processo de emagrecimento.

Grandes concentrações de construções, tais como áreas portuárias, edifícios, estradas, diques, entre outros, no domínio do litoral, sobre dunas e a pós-praia, além de agredir a paisagem, contribuem para aumentar o déficit de sedimentos e, consequentemente, sua erosão ao serem excluídas de seus setores de abastecimento. As dunas frontais e a pós-praia constituem importantes reservas de areia e funcionam como um anteparo contra a arrebentação das ondas mais fortes (ressacas). Por outro lado, reduzindo-se a largura do estirâncio, diminui-se o poder dissipador das ondas, o que vai acarretar maior erosão.

CARACTERÍSTICAS LOCAIS

O Estado do Ceará possui 573 km de costa. Estudos das feições morfológicas realizadas ao longo do litoral demonstram que a linha de costa encontra-se, de maneira geral, em recuo, causado por mecanismos naturais e agravado pela ação degradativa do homem (Maia & Morais, 1995).

Pitombeira (1995) considera a costa de Fortaleza um modelo dos efeitos da intervenção humana no meio físico. O barramento do transporte litorâneo, inicialmente pelo molhe da ponta do Mucuripe e posteriormente pelo espigão de aprisionamento construído na praia do Futuro, representa o que há de mais grave em termos de agressão a uma região de praia (Figura 1).



Figura 1 - Vista aérea da zona costeira de Fortaleza, apresentando o conjunto de espigões.

A construção do molhe, sem um estudo profundo dos efeitos desta intervenção, representou por si só um ato de desconhecimento de causas e efeitos. A violência da ação das ondas, sem a devida recompensação pela chegada de sedimentos para equilibrar, resultou em um processo erosivo de intensidade significativa na região. As praias foram destruídas, a proteção executada inviabilizou o uso das mesmas para recreação. O meio ambiente foi agredido pelo lançamento das paredes disformes de pedras amontoadas longitudinalmente às praias de Iracema e Formosa e por espigões construídos ao longo do trecho de costa do Pirambu à Barra do Ceará, onde o transporte eólico foi barrado decorrente do uso indevido das áreas dunares, comprometendo também o equilíbrio costeiro.

Após a descrição das intervenções ocorridas no litoral de Fortaleza, segue-se uma exposição do pro-

blema no litoral oeste, o qual se encontra em franco processo erosivo decorrente das intervenções antrópicas explanadas anteriormente.

METODOLOGIA

Nesta pesquisa foi adotado o procedimento vinculado às variações sazonais em escala de curto prazo, com observações mensais em campo. A morfologia da praia foi estudada no período de agosto/96 a outubro/98, através de levantamentos topográficos. Oito perfis foram pré-estabelecidos de acordo com a intensidade da ação erosiva na faixa costeira das praias de Pacheco, Icaraí, Tabuba, Cumbuco, Pecém e Colônia (Figura 2). O material utilizado nesta etapa constou de: Nível Topográfico – Kern, Tripé – Al top, Mira topográfica, Trena de 50 m, Bússola Brunton, Fichas de campo, GPS - Garmim 45.

Os referidos perfis foram definidos em sentido perpendicular à linha de costa e executados durante um período de 26 meses na baixa-mar das marés de sizígia, com o intuito de apresentar maior extensão do estirâncio descoberto, logo um perfil maior e mais representativo. As estações foram fixadas na pós-praia adotando-se como referência pontos estáveis tipo quina de muro ou postes elétricos. Com base nestes pontos fixos foram realizadas leituras em intervalos constantes espaçados de 10 m. A leitura prossegue até a linha de maré baixa e a partir desta, mais 10m em direção a antepraia.

O nivelaamento topográfico foi realizado a partir de visadas na mira sobreposta à superfície do terreno. Os níveis desses perfis foram reduzidos ao zero hidrográfico estipulado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), com a utilização de planilha do Programa EXCEL, na qual se desenvolveu um cálculo de correção para as oscilações das curvas harmônicas da maré.

Concomitante, foram efetuadas coletas mensais de sedimentos ao longo do perfil praial, e as amostras foram retiradas superficialmente dos setores da pós-praia, praia (estirâncio) e antepraia, com o objetivo de melhor caracterizar o ambiente, bem como o ângulo de inclinação da praia. Durante as campanhas foi também possível observar e cadastrar estruturas de proteção instaladas na área através de método visual.

As amostras coletadas nas campanhas foram analisadas no Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada da Universidade Federal do Ceará.

Os parâmetros estatísticos dessas amostras foram calculados com a ajuda do programa de com-

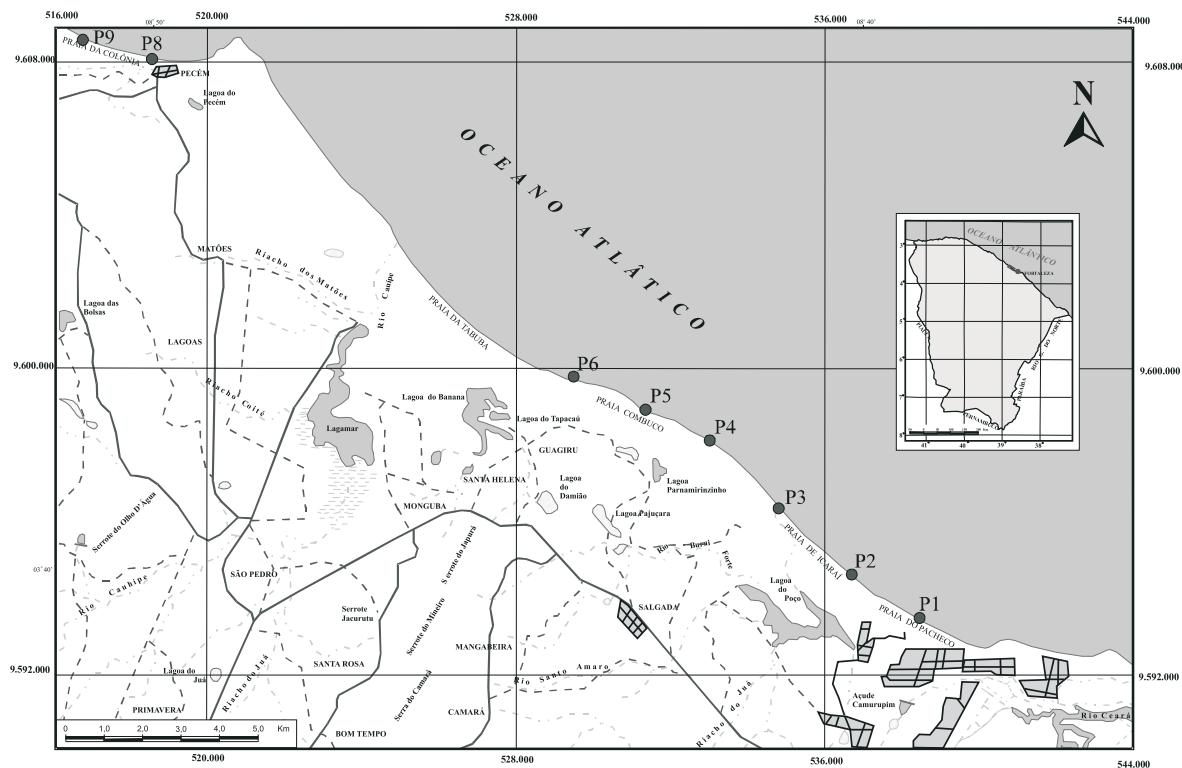


Figura 2 – Mapa de localização dos perfis praiais.

putador COULTER. Os gráficos de representação da morfologia do perfil praial foram confeccionados no programa 2-D Graphing System versão 1.3. A partir do software Sufer versão 6.01 Surface Mapping System, foram obtidos os valores de volume, expressos em m^3/m .

Com base na pesquisa bibliográfica em dados coletados no campo, os quais foram tratados nos referidos softwares, foi possível caracterizar o ambiente praial, a diversidade morfológica da linha de costa e quantificar as variações volumétricas observadas, bem como correlacionar tais eventos com os agentes hidrodinâmicos.

EVOLUÇÃO A CURTO PRAZO

A quantificação do material sedimentar remanejado durante os meses de estudo teve como base levantamentos topográficos mensais, sendo os perfis monitorados em pontos pré-determinados.

A análise qualitativa apresentada refere-se à movimentação sedimentar principalmente nas zonas de pós-praia, berma e estirâncio. A Tabela I mostra, de maneira resumida, os resultados obtidos para cada perfil (P1 a P9). Observar-se que a zona de berma demonstra uma maior estabilidade em relação ao restante do perfil, enquanto que as zonas de estirâncio e

a antepraia apresentam uma maior interação, ou seja, quando ocorre a retirada de sedimento em uma destas zonas, automaticamente ocorre uma deposição na outra.

Para cálculo dos volumes considerou-se sempre o volume positivo obtido através do software Surfer32.

Como se sabe, o perfil transversal de uma praia modifica-se rapidamente conforme ganho ou perda de sedimentos, de acordo com a energia das ondas, as quais estão relacionados com as mudanças atmosféricas de cada região.

No Estado do Ceará o clima de onda é regido por variações sazonais e, por consequência, a praia desenvolve processos de acumulação e erosão, denominados perfil de verão e perfil de inverno, respectivamente. Vale ressaltar que essa denominação foi baseada nas estações climáticas do hemisfério norte e que no hemisfério sul o perfil de verão caracteriza-se por um processo de acumulação e o perfil de inverno por erosão dos sedimentos praiais (Figura 3).

Durante todo o ano a região costeira do Ceará é caracterizada por temperaturas bastante elevadas, com média de 27,6°C. Entre os meses de agosto e dezembro, período de verão, esse valor tende a aumentar, causando uma redução da umidade, aumento da insolação e maior velocidade dos ventos, dando origem a ondas mais altas e de maior poder erosivo,

resultando nas praias um perfil erosivo. Nos meses de janeiro a julho, em geral, essa condição climática se inverte, com a ocorrência de ventos mais amenos e

mais suaves e de menor poder erosivo, restaurando a morfologia das praias, ou seja, apresentando um perfil de deposição.

Tabela I – Balanço sedimentar dos perfis praiais

Praia do Pacheco		Praia do Icaraí		Praia da Tabuba		Praia do Cumbuco		Praia do Pecém		Praia da Colônia	
Data	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P8	P9			
Agosto/96	*	*	*	R	R	R	*	R			
Setembro	R	R	R	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	R	B _o /E ₊ /A ₊			
Outubro	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A ₊							
Novembro	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A ₊							
Dezembro	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E _o /A ₊	B _o /E _o /A _o	B _o /E _o /A _o	B _o /E ₊ /A ₊				
Janeiro/97	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E _o /A ₊	B _o /E _o /A ₊	B _o /E _o /A _o	B _o /E _o /A _o	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E _o /A ₊	B _o /E _o /A ₊	
Fevereiro	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E _o /A _o	B _o /E _o /A ₊	B _o /E _o /A ₊	B _o /E _o /A _o	B _o /E _o /A _o	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E _o /A ₊	*	
Março	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E ₊ /A ₊	B _o /E _o /A ₊				
Abril	*	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E _o /A ₊	B _o /E _o /A _o	B _o /E _o /A _o	B _o /E ₊ /A _o				
Maio	B _o /E ₊ /A _o										
Junho	B _o /E ₊ /A _o	*	*	*	B _o /E _o /A _o	*					
Julho	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E _o /A _o	*	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	*	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	
Agosto	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	*	B _o /E ₊ /A _o	*	B _o /E ₊ /A _o				
Setembro	*	*	*	B _o /E ₊ /A _o							
Outubro	*	B _o /E ₊ /A _o									
Novembro	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	*	B _o /E ₊ /A _o						
Dezembro	B _o /E ₊ /A _o	*	B _o /E ₊ /A _o								
Janeiro/98	B _o /E ₊ /A _o										
Fevereiro	B _o /E ₊ /A _o										
Março	B _o /E ₊ /A _o										
Abril	*	*	B _o /E ₊ /A _o								
Maio	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Junho	*	*	*	*	*	*	*	*	B _o /E ₊ /A _o	*	
Julho	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Agosto	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Setembro	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Outubro	B _o /E ₊ /A _o	*	*	*	B _o /E ₊ /A _o	*	*	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	B _o /E ₊ /A _o	

Legenda: R – perfil de referência; B – berma; E – estirâncio; A – antepraia; (o) setor estável; (-) setor em erosão; (+) setor em deposição.

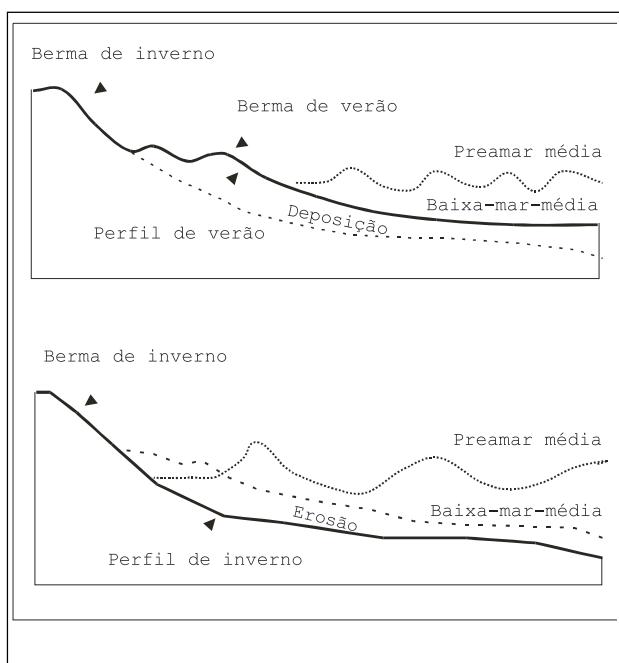


Figura 3 – Mudanças sazonais de uma praia, apresentando a morfologia de perfil de verão e perfil de inverno.

Perfil P1 - Praia do Pacheco

As características sedimentológicas durante o monitoramento do perfil P1 são descritas para a pós-praia como areias finas a médias, bem selecionadas, leptocúrtica e aproximadamente simétrica. A zona de estirâncio apresentou areia média, moderadamente selecionada, mesocúrtica e aproximadamente simétrica. Na antepraia, areia média, moderadamente selecionada, mesocúrtica de assimetria negativa.

O estirâncio apresentou uma inclinação média de $3,6^\circ$, máxima de 5° em janeiro/98 e mínima de $1,3^\circ$ em outubro/96.

O perfil em questão demonstrou na pós-praia pouca modificação durante o período de estudo, mas com variação significativa em relação ao 1º mês de observação, ou seja, o envelope praial apresentou uma flutuação na sua morfologia, que ocorreu principalmente na zona de estirâncio (Figura 4).

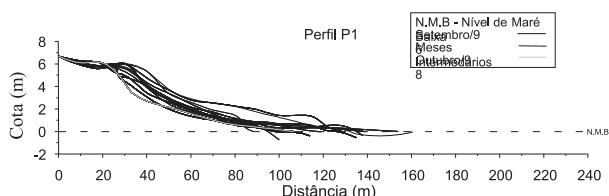


Figura 4 – Representação gráfica das variações sazonais do perfil P1, localizado na praia do Pacheco.

Na Figura 4, observou-se um mês de maior acréscimo (junho/97), com um volume positivo de $97,81 \text{ m}^3$ que pode ser possivelmente relacionado com uma variação do clima de ondas incidentes. A Tabela II apresenta o volume sedimentar de cada mês e suas respectivas variações.

Tabela II – Cálculo de volume e variação de volume para o perfil P1.

Meses	Volume (m^3)	Variação de volume (m^3)
Setembro/96	424,02	(mês de referência)
Outubro	355,65	-68,37
Novembro	334,13	-21,52
Dezembro	334,34	+0,20
Janeiro/97	362,28	-27,94
Fevereiro	344,52	-17,76
Março	428,14	+83,62
Maio	347,06	-81,08
Junho	444,87	+97,81
Julho	431,13	-13,74
Agosto	302,57	-128,56
Novembro	323,97	+21,40
Dezembro	324,67	+0,70
Janeiro/98	319,89	-4,78
Fevereiro	297,33	-22,56
Março	306,62	+9,29
Outubro	283,62	-23,00

Durante todo o período monitorado, o perfil P1 demonstrou uma tendência erosiva que se evidencia tanto na configuração do envelope praial, quanto na taxa de erosão definida por regressão linear, da ordem de $-48 \text{ m}^3/\text{m.a}$ ou de $-7,3 \text{ m}_1/\text{a}$ (Figura 5).

Esta tendência erosiva pode ser decorrente do aprisionamento sedimentar nos espiões ao longo do litoral de Fortaleza, intensificando desta forma, o déficit sedimentar desta praia (Figura 1).

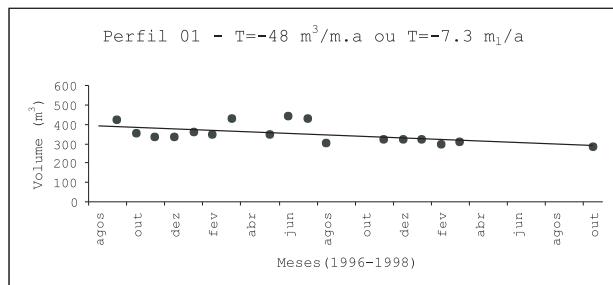


Figura 5 – Gráfico de tendência e taxas de erosão definidas por regressão linear para o perfil P1.

Perfis P2 e P3 - Praia do Icaraí

As características sedimentológicas nesses perfis são muito semelhantes. A pós-praia é composta por areia média, bem a moderadamente selecionada, mesocúrtica e assimetria positiva. A zona de estirâncio é formada por areia média, moderadamente selecionada, platicúrtica, com assimetria positiva a aproximadamente simétrica. A antepraia foi representada por areia fina, de pobre a moderadamente selecionada, leptocúrtica e assimetria negativa.

A inclinação média no estirâncio para o P2 foi de $2,9^\circ$ e para o P3 de $1,8^\circ$, máxima de $4,5^\circ$ em setembro/96 e $2,4^\circ$ em outubro/96, mínima de $2,2^\circ$ janeiro/97 e $1,3^\circ$ em março/97, respectivamente.

A Figura 6 representa a variação morfológica dos perfis P2 e P3. O perfil P2 mostra uma variação pequena principalmente na pós-praia e estirâncio inferior. Os volumes calculados e suas variações estão expressos na Tabela III. O mês de maior erosão foi abril/97 e o de maior acréscimo em outubro/96.

Embora o P2 apresente meses com acréscimo, sua taxa final de variação é da ordem de $-16,8 \text{ m}^3/\text{m.a}$ ou $-2,6 \text{ m}_1/\text{a}$, indicando também uma tendência erosiva, como se pode observar no gráfico de regressão linear (Figura 7), ainda que de menor intensidade. A alternância de volumes positivos e negativos neste perfil pode ser explicada em parte pela presença das ondas tipo *swell*, a qual resulta em uma inversão no sentido da deriva longitudinal, ou ainda pode ser resultante das flutuações normais do transporte transversal de sedimentos.

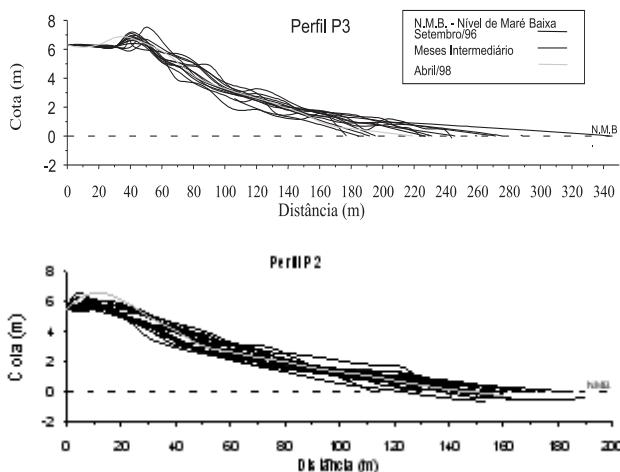


Figura 6 – Envelope praial dos perfis P2 e P3, localizados na praia do Icaraí, Estado do Ceará.

Tabela III – Cálculo de volume e variação de volume para o perfil P2.

Meses	Volume (m ³)	Variação de volume (m ³)
Setembro/96	357,22	(mês de referência)
Outubro	469,37	+112,16
Novembro	349,43	-119,95
Dezembro	375,66	+26,24
Janeiro/97	405,84	-30,18
Fevereiro	409,45	+3,61
Março	501,51	+92,06
Abril	391,31	-110,20
Maio	408,25	+16,94
Junho	392,69	-15,56
Julho	452,70	+60,01
Agosto	369,51	-83,19
Outubro	372,76	+3,25
Novembro	365,67	-7,08
Janeiro/98	400,02	+34,34
Fevereiro	378,44	-21,58
Março	375,01	-3,43

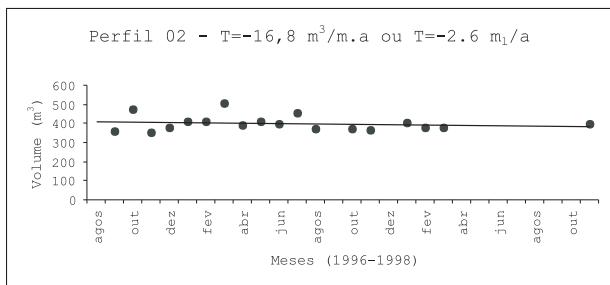


Figura 7 – Gráfico de tendência e taxas de erosão definidas por regressão linear para o perfil P2.

Os perfis P3 e P2 assemelham-se quanto à sedimentologia, mas P3 demonstra um comportamento morfológico diferenciado de P2 e P1. Apresenta uma flutuação mais significativa na zona de pós-praia e estirâncio, em virtude da presença de dunas frontais, as quais também alimentam a praia, amenizando desta forma o processo erosivo. Seu volume mensal e suas respectivas variações estão descritos na Tabela IV.

Tabela IV - Cálculo e variação de volume para o perfil P3.

Meses	Volume (m ³)	Variação de volume (m ³)
Setembro/96	684,00	(mês de referência)
Outubro	641,44	-42,56
Novembro	754,47	+113,03
Dezembro	784,30	+29,83
Janeiro/97	766,91	+17,40
Fevereiro	817,34	+50,43
Março	718,68	-98,66
Junho	827,87	+109,19
Julho	810,00	-17,88
Dezembro	762,64	-47,35
Janeiro/98	710,33	+52,31
Fevereiro	719,12	+8,79
Março	718,55	-0,58
Abril	764,91	+46,36

Os meses de maior acréscimo sedimentar para P3 foram novembro/96 e abril/97, com valores de +113,03 m³ e +168,69 m³, respectivamente. O mês de maior retirada de material foi março/97, com valores na ordem de 98,66 m³. Este perfil se encontra em equilíbrio, de modo que sua variação volumétrica não apresenta modificações significativas (Figura 8).

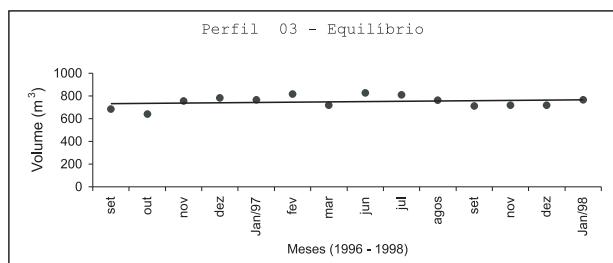


Figura 8 – Gráfico de tendência e taxas de erosão definidas por regressão linear para o perfil P3.

Perfil P4 - Praia da Tabuba

Sedimentologicamente, o perfil P4 é caracterizado na pós-praia por areia de granulometria fina a média, moderadamente selecionada, leptocúrtica,

aproximadamente simétrica. A zona do estirâncio é representada por areia média, moderadamente selecionada, leptocúrtica, aproximadamente simétrica. Na antepraia o material sedimentar encontrado foi areia muito fina, moderadamente selecionada, mesocúrtica e assimetria positiva.

A inclinação média do perfil foi 3° , a máxima de $4,1^\circ$ em junho/97 e a mínima de $2,1^\circ$ em agosto/96.

Na Figura 9, observou-se que na maioria dos meses foram verificadas variações positivas na zona do estirâncio superior e médio. Este ponto apresentou ao longo do período de pesquisa uma tendência a acresção com valores significativos de retirada de material apenas no mês de outubro/96 na ordem de $-128,84\text{m}^3$ (Tabela V).

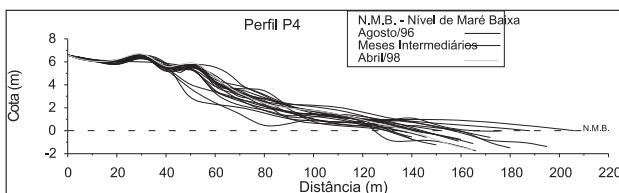


Figura 9 - Envelope praial do perfil P4, localizado na praia da Tabuba, Estado do Ceará.

Tabela V – Cálculo de volume e sua variação para o perfil P4.

Meses	Volume (m^3)	Variação de volume (m^3)
Agosto/96	397,87	(mês de referência)
Setembro	507,97	+110,10
Outubro	379,13	-128,84
Novembro	449,77	+70,65
Dezembro	439,76	-10,02
Janeiro/97	512,92	-73,16
Fevereiro	503,54	-9,38
Março	548,83	+45,29
Abril	496,32	-52,51
Maio	503,93	+7,60
Junho	480,43	-23,50
Agosto	463,72	+16,71
Setembro	476,66	+12,95
Outubro	527,85	+51,19
Dezembro	517,23	-10,63
Janeiro/98	467,78	+49,45
Fevereiro	520,71	+52,93
Março	490,84	-29,86
Outubro	507,40	+16,56

Taxas de acresção com valores na ordem de $+37 \text{ m}^3/\text{m.a}$ ou $+5,9 \text{ m}_1/\text{a}$ foram encontrados neste ponto e o gráfico de regressão linear confirma esta afirmação (Figura 10). Provavelmente, o comportamento distinto do P4 em relação aos perfis anteriores, deve ser devido ao material oriundo da longa faixa de praia existente entre P4 e P3.

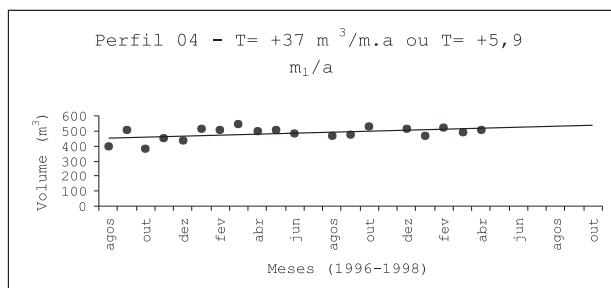


Figura 10 – Gráfico de tendência e taxas de erosão definidas por regressão linear para o perfil P4.

Perfis P5 e P6 - Praia do Cumbuco

Os sedimentos no setor de pós-praia dos perfis P5 e P6 são as areias médias, moderadamente selecionadas, leptocúrticas e de assimetria positiva. O estirâncio caracteriza-se por areias finas, leptocúrticas, moderadamente selecionadas e aproximadamente simétricas. Na antepraia a granulometria encontrada foi areia fina a muito fina, bem selecionada, mesocúrtica e assimetria negativa.

No perfil P5 a variação no envelope praial é bem acentuada na zona de estirâncio, enquanto P6 apresenta uma flutuação mais uniforme ao longo de todo o perfil (Figura 11).

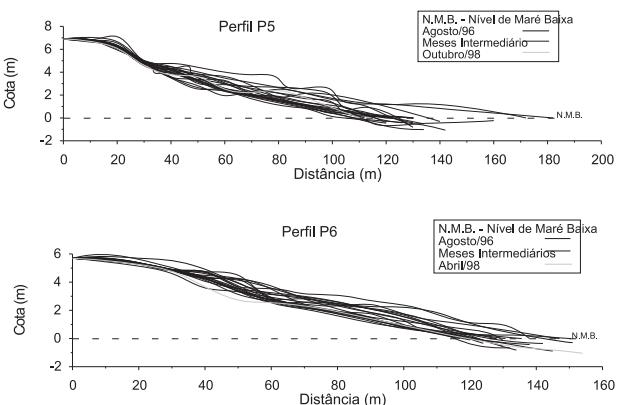


Figura 11 - Envelope praial dos perfis P5 e P6, localizados na praia do Cumbuco, Estado do Ceará.

A inclinação média da zona de estirâncio em P5 foi de $3,1^\circ$, máximo de $3,8^\circ$ em setembro/96 e mínima de $1,5^\circ$ em março/97. Os valores de inclinação para P6 na média foi de $2,5^\circ$, máxima de $3,9^\circ$ em dezembro/96 e mínima de $1,5^\circ$ em abril/97. A variação volumétrica apresenta uma seqüência de dois ou três meses de erosão intercalados por um mês de deposição. Somente no final de dezembro/97 a janeiro e feve-

reiro/98 é que esse ciclo foi interrompido por um período maior de deposição (Tabela VI).

Tabela VI – Cálculo de volume e sua variação para o perfil P5.

Meses	Volume (m ³)	Variação de volume (m ³)
Agosto/96	418,62	(mês de referência)
Setembro	384,26	-34,36
Outubro	373,76	-10,50
Novembro	376,61	+2,85
Dezembro	369,75	-6,86
Janeiro/97	491,96	-122,21
Fevereiro	378,61	-113,35
Março	525,35	+146,74
Abril	375,11	-150,24
Maio	356,78	-18,34
Julho	437,75	+80,97
Setembro	395,98	-41,76
Outubro	394,57	-1,41
Novembro	389,81	-4,77
Dezembro	398,87	+9,07
Janeiro/98	374,17	+24,70
Fevereiro	377,29	+3,12
Março	354,43	-22,86
Abril	353,47	-0,96
Outubro	380,92	+27,46

O gráfico de regressão linear demonstra a propensão do perfil à erosão, com taxas de $-19,2 \text{ m}^3/\text{m/a}$ ou $-3,4 \text{ m}_1/\text{a}$. Os meses de janeiro, fevereiro e abril de 1997 são os meses com maior perda de material, possivelmente, em virtude de variações climáticas (Figura 12).

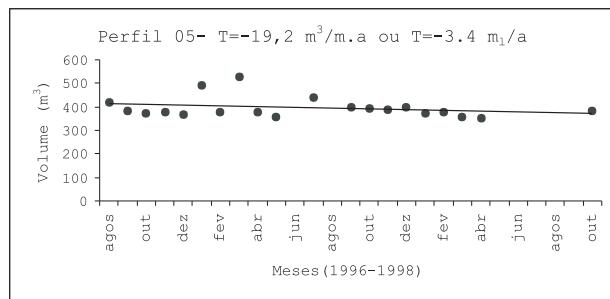


Figura 12 – Gráfico de tendência e taxas de erosão definidas por regressão linear para o perfil P5.

O perfil P6 apresenta uma flutuação do envelope praial com distribuição bastante homogênea, mas a variação em seu volume não apresenta um padrão definido de erosão e/ou acresção (Figura 11). No mês de dezembro/96 ocorreu uma perda significativa de sedimentos (Tabela VII). Taxas de erosão na ordem de $-39 \text{ m}^3/\text{m.a}$ foram encontradas para este perfil (Figura 13).

Tabela VII – Cálculo de volume e sua variação para o perfil P6.

Meses	Volume (m ³)	Variação de volume (m ³)
Agosto/96	454,89	(mês de referência)
Setembro	397,68	-57,21
Outubro	412,89	+15,21
Novembro	458,79	+45,90
Dezembro	370,99	-87,80
Janeiro/97	381,77	-10,78
Fevereiro	386,07	+4,30
Março	406,48	+20,41
Abril	380,60	-25,89
Maio	349,90	-30,70
Julho	387,22	+37,32
Agosto	393,83	+6,60
Setembro	396,76	+2,93
Outubro	385,19	-11,57
Novembro	370,77	-14,42
Dezembro	369,79	-0,99
Janeiro/98	369,20	-0,58
Fevereiro	356,52	-12,69
Março	359,56	+3,04
Abril	343,85	-15,71

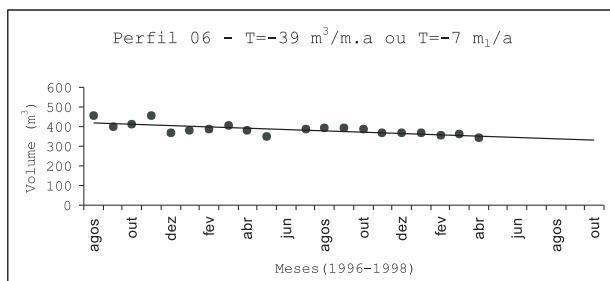


Figura 13 – Gráfico de tendência e taxas de erosão definidas por regressão linear para o perfil P6.

Perfil P8 - Praia do Pecém

Os sedimentos encontrados na zona de pós-praia de P8 caracterizam-se por areia média, moderadamente selecionada, mesocúrtica, variando de aproximadamente simétrica a assimetria positiva. O estirâncio foi representado por areia fina, leptocúrtica, moderadamente selecionada e aproximadamente simétrica. Na zona de antepraia a granulometria predominante é areia muito fina, mesocúrtica, de moderadamente a bem selecionada e aproximadamente simétrica.

A inclinação média para o estirâncio foi de 3° , a máxima de $4,3^\circ$ em outubro/98 e mínima de $2,5^\circ$ em dezembro/96 e janeiro/97. A berma deste perfil apresentou uma variação bastante expressiva durante o período monitorado, bem como a zona de estirâncio (Figura 14).

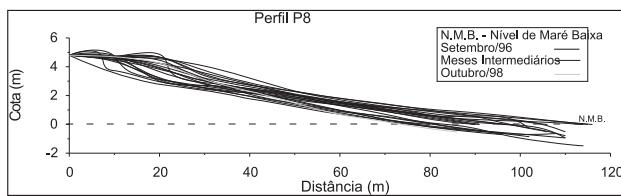


Figura 14 – Configuração do envelope praial do perfil P8.

O mês de maior erosão foi janeiro/98, com uma retirada de material na ordem de $-48,42\text{m}^3$ e maior acresção no mês novembro/97 com $+40,46\text{m}^3$ (Tabela VIII).

Tabela VIII – Cálculo de volume e sua variação para o perfil P8.

Meses	Volume (m^3)	Variação de volume (m^3)
Setembro/96	181,34	(mês de referência)
Outubro	152,41	-28,93
Novembro	184,43	+32,01
Dezembro	192,62	+8,20
Janeiro/97	225,13	-32,51
Fevereiro	221,09	-4,04
Março	223,14	+2,05
Abril	233,25	+10,12
Maio	194,17	-39,09
Junho	226,11	+31,94
Agosto	179,22	-46,89
Setembro	162,58	-16,64
Outubro	174,66	-4,56
Novembro	203,04	+40,46
Dezembro	210,36	+35,70
Janeiro/98	258,78	-48,42
Fevereiro	253,96	-4,82
Março	250,42	-3,54
Abril	259,65	+9,23
Junho	221,61	-38,04
Outubro	190,95	-30,66

O gráfico de regressão linear demonstra um processo de acresção com taxas de $+26,4 \text{ m}^3/\text{m.a}$ ou $+5,6 \text{ m}^3/\text{a}$ (Figura 15).

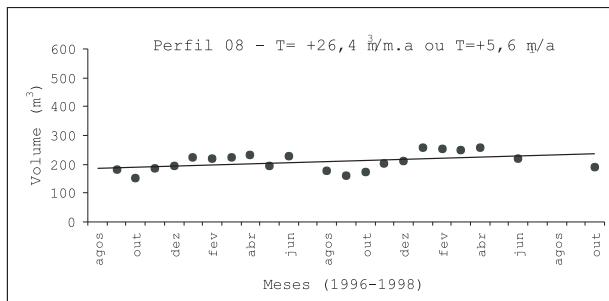


Figura 15 – Gráfico de tendência e taxas de erosão definidas por regressão linear para o perfil P8.

Perfil P9 - Praia da Colônia

A zona de pós-praia no perfil P9 é formada por areia média, mesocúrtica, moderadamente selecionada, aproximadamente simétrica. A zona de estirâncio é constituída de areia média, platicúrtica, moderadamente selecionada, aproximadamente simétrica. A antepraia caracteriza-se por areia média, platicúrtica, moderadamente selecionada e aproximadamente simétrica.

O estirâncio apresentou uma inclinação média de $2,3^\circ$, máxima de $3,2^\circ$ em abril/97 e mínima de $1,6^\circ$ em agosto/96.

Na Figura 16, o envelope praial demonstra uma flutuação bem distribuída ao longo de todo o perfil. Somente o mês de maio/97 apresentou um maior acúmulo na zona do estirâncio médio.

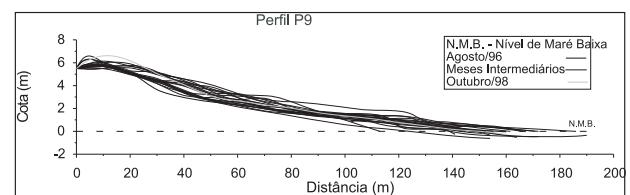


Figura 16 – Configuração do envelope praial do perfil P9.

A Tabela IX apresenta o volume e suas variações mensais do P9. O mês de maior erosão foi novembro/96 com $-120,34\text{m}^3$ e o de maior acresção, o mês seguinte, dezembro/96 com $+104,75\text{m}^3$.

Tabela IX – Cálculo de volume e sua variação para o perfil P9.

Meses	Volume (m^3) P9	Variação de Volume (m^3)
Agosto/96	337,29	(mês de referência)
Setembro	420,81	+83,52
Outubro	430,35	+9,55
Novembro	310,02	-120,34
Dezembro	414,77	+104,75
Janeiro/97	412,51	-2,25
Março	354,47	-58,04
Abril	423,04	+68,57
Maio	448,68	+25,64
Julho	358,10	-90,58
Agosto	368,65	+10,56
Setembro	375,81	+7,16
Outubro	381,56	+5,75
Novembro	371,63	-9,94
Dezembro	357,66	-13,96
Janeiro/98	393,39	+35,73
Março	423,88	+30,49
Abril	350,97	-72,91
Maio	406,95	+55,98
Outubro	404,21	-2,74

A Figura 17 demonstra a flutuação do material sedimentar, indicando um perfil em equilíbrio cíclico, ao final do estudo.

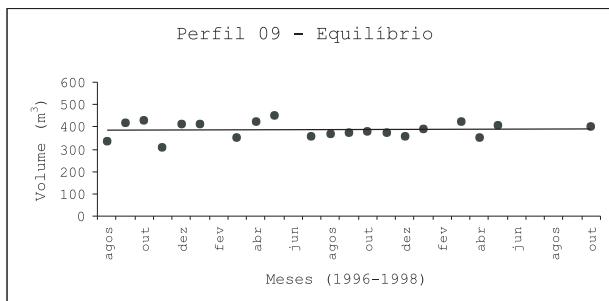


Figura 17 – Gráfico de tendência e taxas de erosão definidas por regressão linear para o perfil P9.

COMENTÁRIOS FINAIS

Durante o período de estudo, observou-se que as flutuações dos perfis em curto prazo estiveram relacionadas à configuração da linha de costa e principalmente ao clima de ondas da região, o qual está estreitamente vinculado ao regime de ventos ali atuantes e ao transporte longitudinal da área.

A Tabela I corresponde a um resumo das variações nos setores de pós-praia, estirâncio e antepraia. Os setores mais influenciados pelas modificações foram o estirâncio e a antepraia.

As modificações significativas no perfil praial ocorreram entre os meses de julho e novembro período de ondas com altura significativa (H_s) acima de 1,6 m e inferiores a 2,4 m, em sua maioria ondas do tipo *sea* com período de pico (T_p) entre 4 e 9 s, que retiravam sedimentos da zona de estirâncio e/ou antepraia e removiam estes sedimentos na direção leste-oeste.

O perfil P1 demonstrou ser o ponto de maior erosão, seguindo pelos perfis P5, P6 e P2, enquanto que perfis em equilíbrio foram detectados em P3 e P9. Os perfis P4 e P8 apresentaram processo de acresção. Ao longo de toda área (P1 a P9), verificou-se semelhança entre o material constituinte das praias (pós-praia e estirâncio), indicando uma única fonte de sedimentos. Um outro fator observado foi a presença de material fino na zona de antepraia, mas não nos setores da pós-praia e estirâncio, desse modo assinalando a ausência de transporte transversal na região em estudo.

Foi possível constatar com este estudo que o processo erosivo está cada vez mais acentuado em toda a área do litoral oeste, o aprisionamento de sedimentos nos espiões ao longo da costa de Fortaleza modificou o balanço sedimentar e aumenta cada vez mais o déficit de sedimentos nestas praias.

A utilização desta metodologia de observações a médio e curto prazo, em conjunto na zona de praia, possibilita um melhor entendimento dos agentes modificadores que ali atuam, bem como caracterizar de maneira mais eficiente o ambiente praial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brown, J.; Colling, A.; Park, D.; Philips, J.; Rothery, D. & Wright, J. *Waves, tides and shallow-water processes*. Pergamon Press - Open University, 187 p., Oxford, 1989.
- CERC - *Shore Protection Manual*. US Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S. Government Printing Office, Washington, DC. 4th ed., vol. 2., 1994.
- Cunha, E.M.S. *Projeto de recuperação da Praia de Areia Preta – Natal*. SEMOV - Prefeitura Municipal de Natal – RN, Secretaria Municipal de Obras Viárias, 66 p., Natal, 1999.
- Davis, R. A. *Beach and nearshore zone*, in Davis, R. A. (ed.), *Coastal sedimentary environments*. Springer-Verlag, 420 p., New York, 1978.
- Kennett, J. *Marine geology*. Prentice Hall Inc., New Jersey, 1992
- King, C. A. M. *Beaches and coasts*. Edwards Arnold, 573 p., London, 1972.
- Magalhães, S. H. O. *Caracterização morfodinâmica e evolução a médio e curto prazo das praias dos municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante-CE*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 124 p., Recife, 2000.
- Maia, L.P. *Processos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral*. Tese de Doutorado, Universidade de Barcelona, 269 p., Barcelona, 1998.
- Maia, L. P. & Morais, J. O. *Aspectos históricos e evolução em médio prazo da costa de Fortaleza*, p. 67-70, in *Anais do 1º Simpósio sobre Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira do Nordeste do Brasil*, Recife, 1995.
- Pitombeira, E.S. *Litoral de Fortaleza-Ceará-Brasil, um exemplo de degradação*, p. 59-62, in *Anais do 1º Simpósio sobre Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira do Nordeste do Brasil*, Recife, 1995.
- Viles, H. & Spencer, T. *Coastal problems-geomorphology, ecology and society at the coast*. Edwards Arnold, 350 p., London, 1994.
- Uvo, C.R.B. *A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região norte do Nordeste brasileiro*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 99 p., São José dos Campos, 1989.