

## ASPECTOS DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NO LITORAL DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA, ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

Jáder Onofre de Morais<sup>(1)</sup>

Laboratório de Ciências do Mar  
Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza — Ceará — Brasil

O litoral do município de Fortaleza está situado entre as embocaduras dos rios Pacoti e Ceará (figura 1), limitado pelas latitudes de 3°38' e 3°47'S, e pelas longitudes de 38°23' e 38°38'W.

O município de Fortaleza é formado por duas feições morfológicas distintas: a) o Relevo Litorâneo onde se incluem os cordões litorâneos, dunas, planícies de marés e mangues; b) Superfície Aplainada das coberturas cenozóicas. A linha de costa tem uma feição retilínea no litoral leste da cidade e assume aspectos de enseada no litoral oeste.

Tendo em vista estes aspectos morfológicos, este trabalho tenta definir os principais tipos de transporte de sedimentos no litoral e localizar sítios de maior intensidade de assoreamento e/ou erosão atuais. Além disso, procura estabelecer em caráter preliminar locais, nas praias, onde estejam se estabelecendo níveis de equilíbrio dinâmico.

### MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas coletas de sedimentos de praias, embocaduras de rios, além das efetuadas a bordo do Navio Hidro-

gráfico Taurus, da Marinha do Brasil, e barcos de pesca, em profundidades de até 20 metros (figura 2).

A coleta de sedimentos em praias processou-se segundo perfis perpendiculares à linha de costa, espaçados de 1.000 metros, e ao longo dos quebra-mares. Dragas cônicas e retangulares foram usadas em águas rasas.

O levantamento dos dados de hidrodinâmica, sedimentação e erosão foi realizado utilizando-se os correntômetros tipo "hidrocean" e derivadores. Não foi feito levantamento batimétrico de campo, em virtude da grande quantidade de dados existentes nas Companhia Docas do Ceará.

Foi realizado um sobrevôo na área litorânea, utilizando-se um helicóptero pertencente à Base Aérea de Fortaleza, para observação visual das possíveis áreas atuais de erosão e assoreamento.

Foram observadas seqüências de fotografias aéreas de épocas diferentes desde 1958 até 1980, obtidas em instituições do governo estadual do Ceará.

Os sedimentos foram analisados em laboratório do ponto de vista textural e mineralógico, e o transporte final de sedimentos, de modo qualitativo.

(1) Pesquisador do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

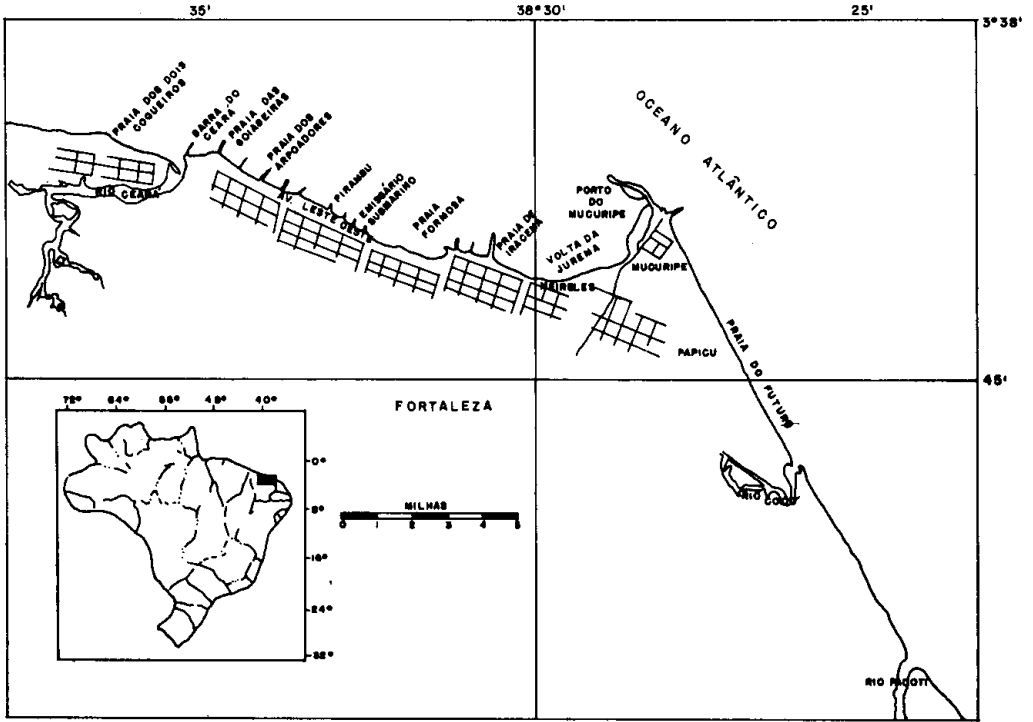


Figura 1 — Localização da área de estudo.

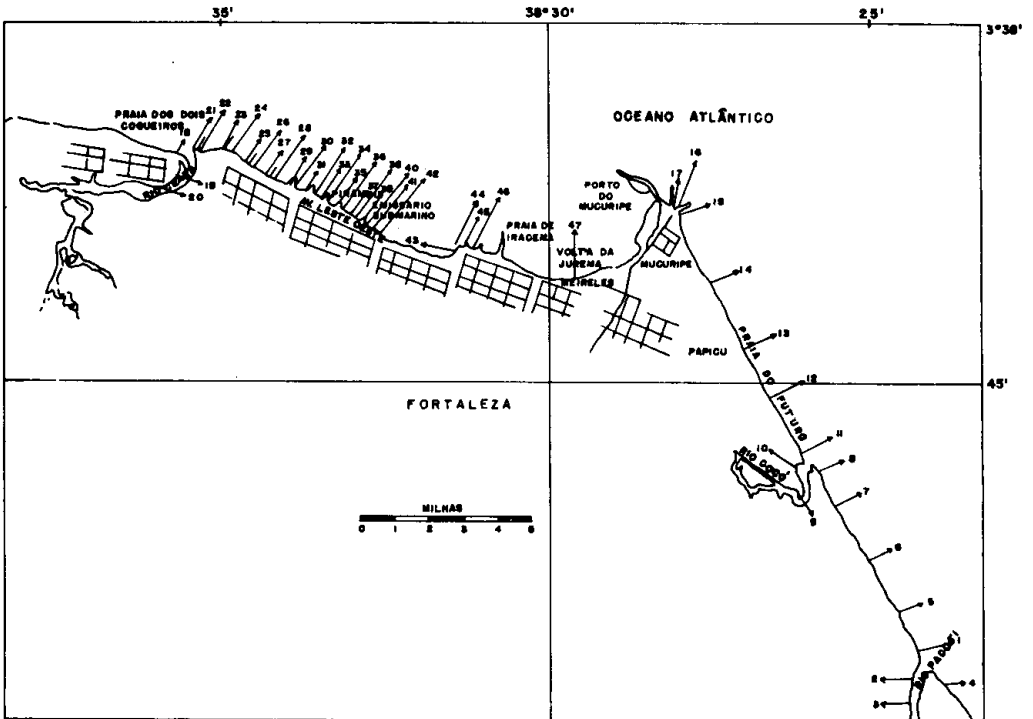


Figura 2 — Locais de coleta dos sedimentos, nas praias de Fortaleza.

## CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E METEOROLÓGICAS

A temperatura do ar, precipitação pluviométrica, evaporação, umidade e outros fatores climáticos e meteorológicos são importantíssimos na interação com os processos hidrodinâmicos e sedimentológicos das praias. De acordo com as observações efetuadas em campo e dados oriundos da FUNCEME, a área em estudo apresenta, de uma maneira geral, as seguintes características:

a) As temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de dezembro a fevereiro e as mínimas de junho a agosto.

b) O primeiro semestre do ano é o período mais úmido, com umidade média relativa alcançando 80,5% no mês de abril. No segundo semestre o valor máximo é 73%.

c) A máxima insolação é registrada durante a época de estiagem que vai de julho a dezembro, com precipitações inferiores a 10 mm no mês de outubro.

d) As pressões atmosféricas máximas situam-se entre maio e outubro e as mínimas em dezembro, março e abril.

e) A circulação geral atmosférica que predomina no Estado do Ceará são os chamados ventos alísseos dos quadrantes NE a SE. A variação de sudeste para nordeste é estacional e originada pelo deslocamento do equador térmico para o sul do equador geográfico. No inverno predominam os ventos alísseos de sudeste com o deslocamento do equador térmico para o norte. De fevereiro a abril, os ventos são brandos com velocidade média de 3,7 m/s. A partir de maio há progressiva intensificação dos ventos, que apresentam, de agosto a novembro, velocidade média de 6,8 m/s, sendo que no mês de setembro os valores atingem 7,2 m/s, com predominância no quadrante E-SE.

## HIDRODINÂMICA DAS ÁGUAS COSTEIRAS

O estudo da hidrodinâmica das águas costeiras é de fundamental importância

para avaliação do transporte dos sedimentos, zonas de assoreamento, zonas de erosão, dispersão de poluentes e material em suspensão.

### Marés

As cotas verticais de nível de marés têm influência sobre o transporte litorâneo, já que a posição da zona de rebentação varia conforme o nível instantâneo. As marés de Fortaleza são ondas semi-diurnas com desigualdade de amplitudes, e período médio de 12,4 horas.

TABELA I

Valores mínimos e máximos, e amplitude de maré de sizígia, para o ano de 1976.

Data	Maré máxima (m)	Maré mínima (m)	Amplitude (m)
01/01	2,3	0,0	2,3
17/01	2,4	0,0	2,4
31/01	2,2	0,2	2,0
16/02	2,5	-0,1	2,6
01/03	2,2	0,2	2,0
15/03	2,5	-0,1	2,6
30/03	2,1	0,2	1,9
14/04	2,5	-0,2	2,7
29/04	2,1	0,2	1,9
30/05	2,1	0,2	1,9
12/06	2,4	-0,1	2,5
29/06	2,2	0,2	2,0
11/07	2,3	0,0	2,3
27/07	2,3	0,1	2,2
10/08	2,2	0,1	2,2
26/08	2,4	0,0	2,4
08/09	2,1	0,2	1,9
24/09	2,5	0,0	2,5
08/10	2,1	0,2	1,9
23/10	2,5	-0,1	2,6
06/11	2,1	0,2	1,9
21/11	2,5	-0,1	2,6
06/12	2,1	0,2	1,9
21/12	2,4	-0,1	2,5
Média	2,29	0,04	2,25

Fonte: Occhipinti (1976).

A tabela I mostra as amplitudes de marés de sizígia para o ano de 1976 (Ochipinti, 1976), registrando uma amplitude máxima de 2,7 m no equinócio de abril. A tabela II mostra os valores registrados para o ano de 1980, estimados de hora em hora por computação na Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. Comparando-se os valores das tabelas citadas, podemos notar que a amplitude não é a mesma, tendo permanecido em 1980 em torno de 3,3, m para máxima de sizígia. A diferença dos valores de amplitude desempenha papel relevante no transporte frontal dos sedimentos no litoral oeste da cidade de Fortaleza, a ser discutido posteriormente neste trabalho.

### Ondas

A ação direta das ondas, ou seja, a agitação pelo plano d'água, e a consequente influência na erosão, assoreamento e transporte de sedimentos, fazem do estudo de ondas um instrumento importantíssimo para os aspectos conclusivos deste trabalho.

Não houve aqui medições de características das ondas pelos processos clássicos de campo, mas as observações visuais em cronômetros e fotografias aéreas tiradas em diferentes épocas, evidenciaram que as ondas mais freqüentes são as do quadrante E-SE. As menos freqüentes são as do quadrante NE embora sejam as mais perigosas do ponto de vista erosivo

TABELA II

Valores mínimos e máximos, e amplitudes das marés de sizígia e quadratura, em metros, estimados de hora em hora, para o ano de 1980.

Data	Maré de sizígia			Data	Maré de quadratura		
	máxima	mínima	amplitude		máxima	mínima	amplitude
02/01	3,0	0,2	2,8	11/01	2,2	1,0	1,2
18/01	3,0	0,0	3,0	27/01	2,4	0,9	1,5
01/02	2,9	0,3	2,6	10/02	2,1	1,1	1,0
16/02	3,2	-0,1	3,3	24/02	2,3	1,0	1,3
01/03	2,8	0,5	2,3	10/03	2,2	1,1	1,1
17/03	3,3	-0,1	3,4	24/03	2,2	1,1	1,1
31/03	2,7	0,3	2,4	08/04	2,2	1,1	1,1
15/04	3,2	-0,1	3,3	22/04	2,2	1,2	1,0
30/04	2,7	0,3	2,4	07/05	2,4	0,8	1,6
14/05	3,1	0,0	3,1	22/05	2,2	1,0	1,2
29/05	2,7	0,3	2,4	06/06	2,5	0,7	1,8
13/06	3,1	0,1	3,0	05/07	2,6	0,7	1,9
28/06	2,8	0,2	2,6	21/07	2,1	1,1	1,0
12/07	3,0	0,2	2,8	04/08	2,5	0,9	1,6
28/07	3,0	0,0	3,0	19/08	2,1	1,1	1,0
10/08	2,9	0,3	2,6	03/09	2,3	1,0	1,3
28/08	3,2	0,0	3,2	17/09	2,1	1,1	1,0
09/09	2,8	0,3	2,5	02/10	2,2	0,9	1,3
24/09	3,2	-0,1	3,3	17/10	2,2	1,1	1,1
09/10	2,7	0,3	2,4	31/10	2,2	1,2	1,0
23/10	3,2	-0,1	3,3	15/11	2,3	1,0	1,2
07/11	2,7	0,3	2,4	30/11	2,2	1,1	1,1
22/11	3,2	0,0	3,2	15/12	2,5	0,8	1,7
07/12	2,7	0,3	2,4	31/12	2,2	1,0	1,2

e responsáveis pela maior parte do transporte frontal de sedimentos. As ondas do quadrante E-SE são as principais responsáveis pelo caminhamento das areias, no sentido de leste para oeste.

### *Correntes*

O movimento predominante das águas na área de estudos é o movimento ondulatório. Há, no entanto, presença constante de deslocamentos, tipo correntes, que resultam da superposição do deslocamento no sentido leste-oeste, e das correntes de marés.

As variações verticais de salinidade e temperatura são pequenas, não influenciando o movimento das águas. A coluna d'água é, de uma maneira geral, isotérmica, isohalina e isopícnica, havendo, no entanto, localmente, aumento da temperatura com o aquecimento diurno e mudanças na salinidade com o deságue de rios.

A corrente resultante no litoral de Fortaleza é devida unicamente à ação constante dos ventos. Ela é permanentemente orientada na direção noroeste, tangida pelo vento de 80°. Sua velocidade mantém-se sempre abaixo de 1 nó, mas sofre variações dependendo da intensidade dos ventos e posicionamento das marés. Foi observado que as velocidades decrescem com a profundidade, havendo no entanto uma zona de maior intensidade a 2 m de profundidade, onde alcançam 55 cm/s; na zona superficial permanecem, a maior parte do tempo, em 40 cm/s.

### CARACTERÍSTICAS TEXTURAIIS DOS SEDIMENTOS

Os sedimentos coletados nas praias e enseada do Mucuripe foram estudados do ponto de vista textural, numa tentativa de se estabelecer associações e correlações entre a morfoscopia, morfometria, parâmetros estatísticos e o transporte. Estudou-se a distribuição textural nas praias de acordo com segmentos de estirâncio a seguir comentados.

### *Sedimentos do litoral correspondente à Praia do Futuro e adjacências*

Este trecho de litoral inclui sedimentos coletados nas embocaduras dos rios Cocó e Pacoti, nas praias situadas entre eles e no molhe de retenção dos sedimentos.

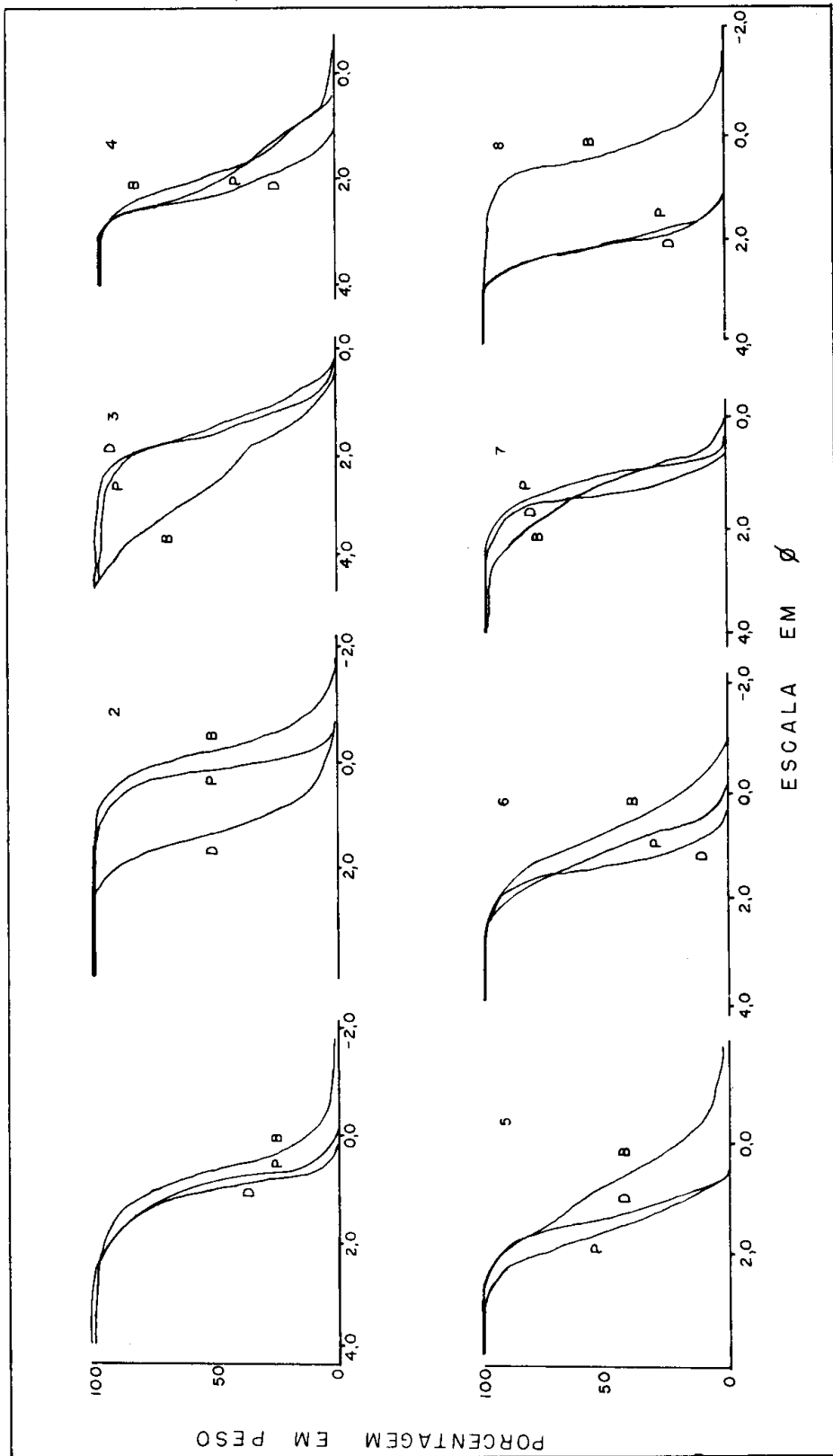
A tabela III mostra a predominância total da fração areia sobre as frações cascalho e silte + argila. Fica comprovado, mais uma vez, que os rios locais não têm aporte de sedimentos nem apresentam espigão hidráulico que transporte material para a plataforma. O material fino é sedimentado nos mangues que margeiam os estuários.

Na figura 3 estão as curvas acumuladas representativas deste trecho do litoral. Nota-se uma predominância de areia média nas amostras coletadas nas bermas e linha de maré alta, e areia grossa na zona de maré baixa, representando esta última uma região de maior energia, justamente por ser o local onde há maior frequência de rebentação de ondas. Os sedimentos da margem direita dos rios Pacoti e Cocó (figura 3, curvas 4 e 8) apresentam granulometria fina, na linha de rebentação, e granulometria média nas bermas, fugindo à característica geral da área, justamente por serem locais fornecedores de material para migração de embocaduras e sofrerem retrabalhamento constante. Todas as amostras são unimodais, significando que nesta parte do litoral não há uma alternância marcante no nível de energia.

Na área próxima ao espigão de retenção na praia do Futuro (figura 3, curva 15) repete-se a mesma situação que acontece na margem direita das embocaduras. O sedimento fino confirma, assim, sua acumulação nos locais onde há descontinuidade na linha de costa.

### *Sedimentos das praias do litoral noroeste*

A figura 4 mostra as curvas acumuladas dos sedimentos do trecho de litoral



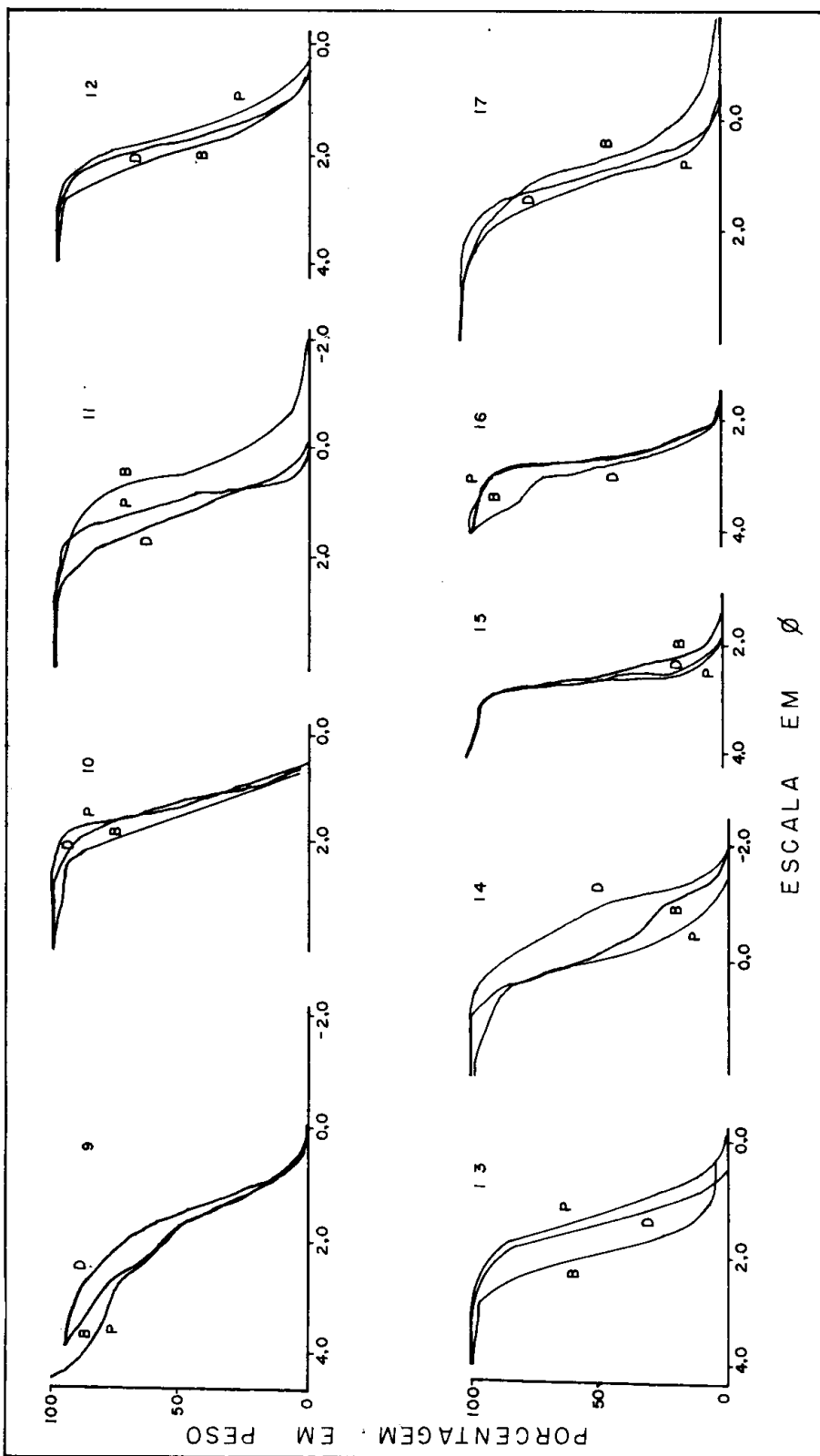
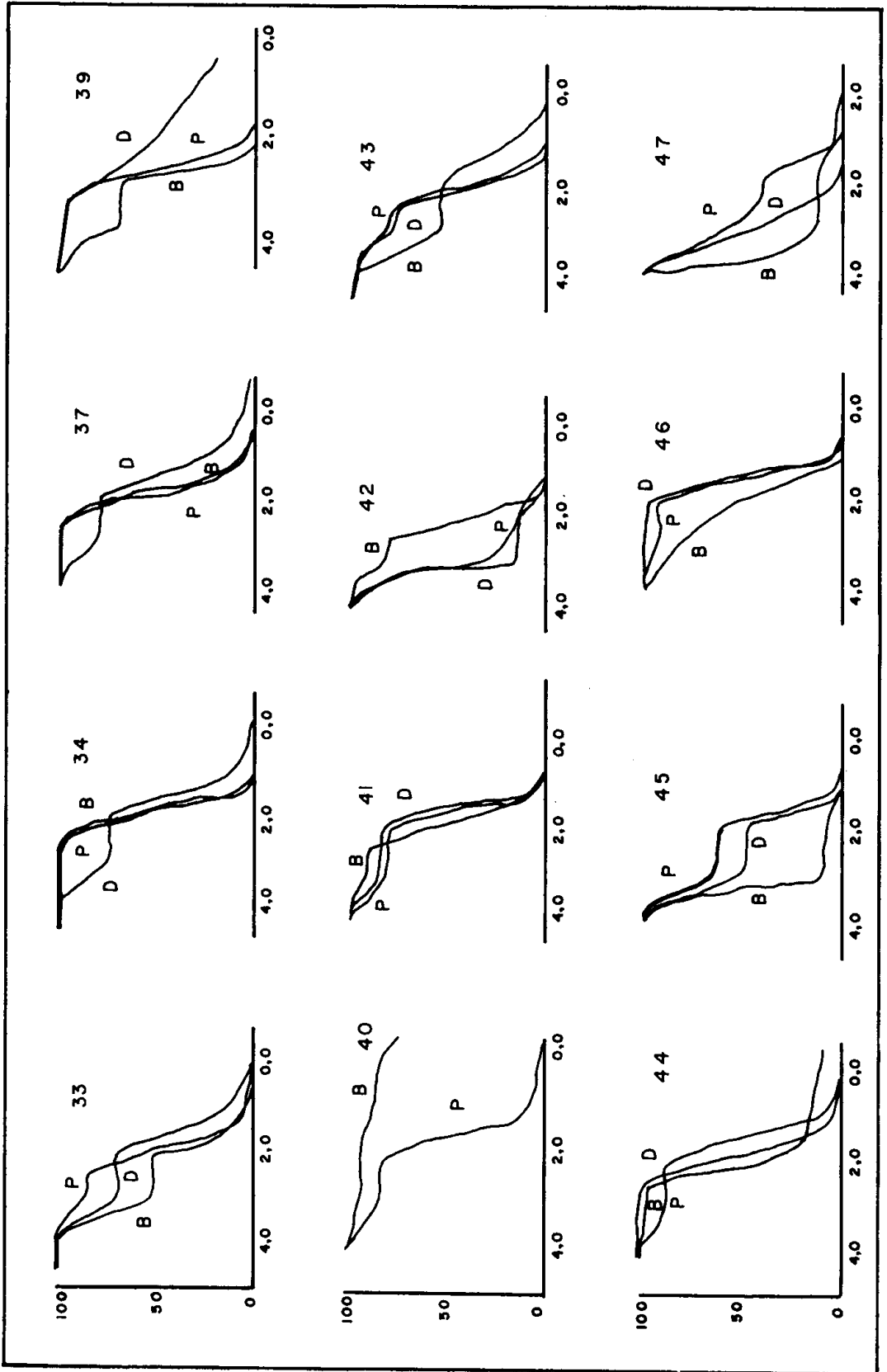


Figura 3 — Curvas acumuladas representativas do litoral da praia do Futuro e adjacências.





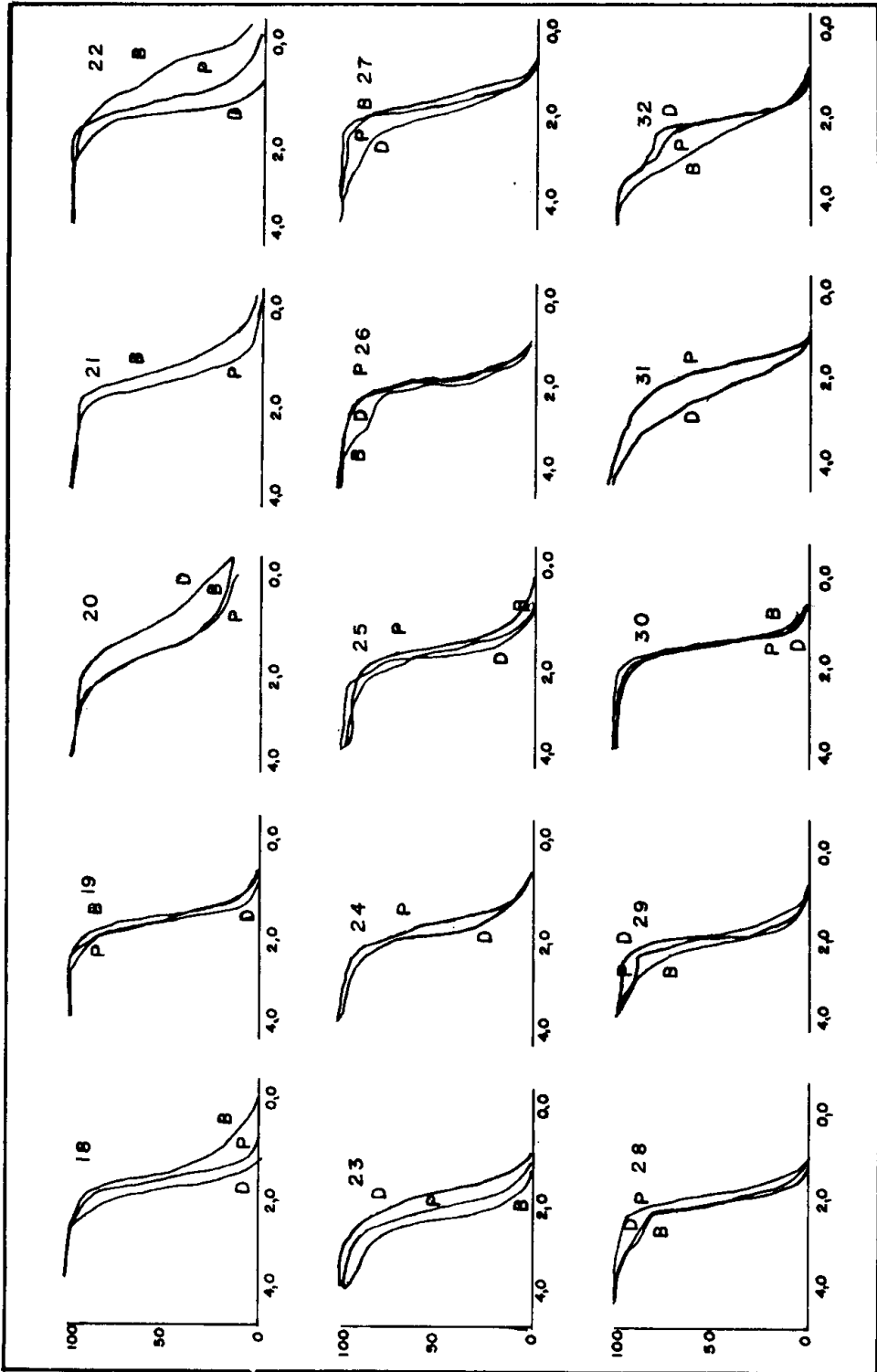


Figura 4 — Curvas acumuladas representativas do litoral compreendido entre a Barra do Rio Ceará e a enseada do Mucuripe.

compreendido entre a Barra do Ceará e a enseada do Mucuripe, principalmente os acumulados nos lados dos espigões.

Há muita semelhança entre as amostras representadas pelas curvas 18 e 21, parecendo que houve, de fato, migração e transporte dos sedimentos da margem leste do rio para a margem oeste.

No restante das amostras há predominância da fração areia média, não acontecendo o fato evidenciado nas praias do lado leste, onde sempre próximo a um espigão havia ocorrência de areia fina. Isto deve ser conseqüência da presença dos espigões de retenção neste trecho do litoral. As tabelas IV e V associam os resultados texturais aos parâmetros estatísticos destes sedimentos que serão discutidos mais adiante.

Somente as amostras coletadas próximo à Praia dos Arpoadores apresentam componentes de granulação fina a média, fato possivelmente relacionado com a alimentação proveniente das dunas existentes no local.

A maioria das amostras é unimodal, revelando um nível constante de energia. As amostras 34 e 35 são, no entanto, bimodais, o que revela uma variação no tipo de transporte. Neste local há transporte eólico em largá escala assim como retrabalhamento pelas ondas.

#### *Sedimentos ao largo de Fortaleza*

Das 136 amostras coletadas a bordo do Navio Taurus, somente 65 foram analisadas do ponto de vista granulométrico, sendo que as demais foram observadas macroscopicamente, pois o que se visava neste trabalho era definir os efeitos de arraste dos sedimentos associados à hidrodinâmica local. As amostras que apresentavam biodetritos e algas não são representativas para esta finalidade. Além disto, as amostras constituídas essencialmente de lama, por sua própria constituição, já revelavam o porquê da sedimentação, sem haver necessidade da divisão nas diversas classes de silte e argila.

Os resultados da granulometria das amostras escolhidas para análise indicam a predominância arenosa sobre cascalho e lama no contexto geral da área. Aparecem também biodetritos a nordeste do molhe do porto e uma nova área síltica argilosa em torno do molhe, onde em épocas anteriores predominava a fração areia grossa. Isto deve-se ao fato de que, uma vez retido o caminhamento das areias pelo espigão da praia do Futuro, somente houve transpasse de sedimentos finos em suspensão, que se depositaram naquele local.

A figura 5 mostra histogramas dando conta da ocorrência de sedimentos caracteristicamente bimodais nas classes de areia média e areia muito fina. Esta ocorrência da moda muito fina nos sedimentos já é o resultado da construção dos molhes a montante do movimento litorâneo. Portanto, as amostras que contêm fração muito fina são mais recentes, do ponto de vista deposicional, do que as demais.

#### *Parâmetros estatísticos dos sedimentos coletados*

As amostras das praias foram tão uniformes quanto ao aspecto modal, que não houve necessidade de traçar curvas de frequência. Apenas as observações visuais nas próprias fichas preparatórias para obtenção de curvas acumuladas foram suficientes para evidenciar a predominância modal na classe compreendida entre  $+ 1 \phi$  e  $+ 2 \phi$

Este valor é muito importante para a gênese do sedimento e estudos de transporte, especialmente quando duas ou mais fontes estão contribuindo. Pode-se notar que os valores das amostras são bimodais quando há contribuição do transporte litorâneo e do transporte eólico associados, ou quando a fonte de sedimentos (fragmentos de rochas de praia) interfere para formação de cascalho, ou ainda, quando há interrupção no transporte e caminhamento normal de areia modificando os níveis de energia.

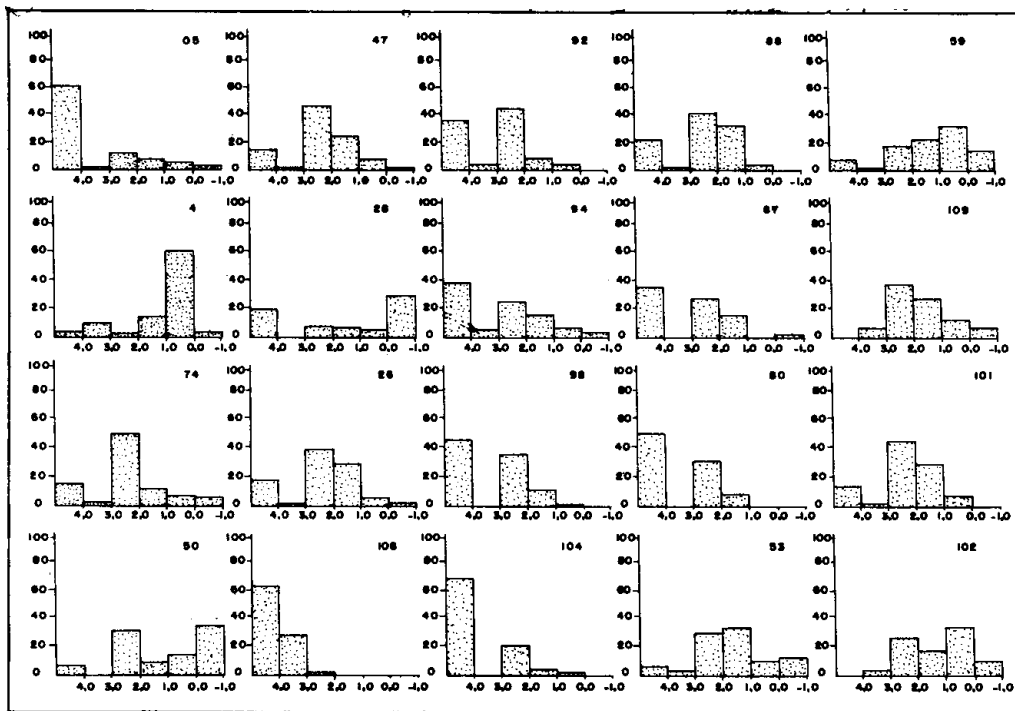


Figura 5 -- Histogramas representativos de sedimentos caracteristicamente bimodais nas classes de areia média e areia muito fina.

Este último caso é o que acontece atualmente em torno do molhe do Murcuripe.

Os demais parâmetros estatísticos representados pelo tamanho médio dos grãos, seleção, uniformidade, assimetria e curtose serão discutidos a seguir, separadamente. Todos foram obtidos de curvas acumuladas traçadas em papel semi-log.

De acordo com Folk & Ward (1957), Mason & Folk (1968) e Friedman (1961 e 1962), os parâmetros de granulometria, particularmente desvio padrão, assimetria e curtose são critérios úteis na distinção de ambientes tais como rios, praias e dunas. Shepard & Young, 1961 (*in* Duane, 1964) são de opinião contrária, principalmente em se tratando de sedimentos terrígenos com quantidade apreciável de biodetritos.

Neste trabalho, a definição destes parâmetros é, no entanto, muito importante, devido a associação direta com níveis de energia no transporte e deposição de sedimentos.

#### a) Valor médio e mediana

Somente em sedimentos compostos quase exclusivamente de uma única classe modal, a mediana e valor médio são praticamente iguais, como no caso de sedimentos de dunas.

A mediana é o diâmetro correspondente à marca de 50% na curva acumulada, mas não reflete a média geral do tamanho dos grãos por não incluir as extremidades da curva. A melhor medida para avaliar o valor médio dos grãos é o "Graphic Mean" de Folk (1965), que faz a média aritmética de  $\phi_{16}$ ,  $\phi_{50}$  e  $\phi_{84}$ .

A distribuição destes valores ao longo das praias da cidade de Fortaleza (figura 6) apenas confirma os resultados discutidos nos parágrafos anteriores, ao referir-se às tabelas III e IV. As areias finas predominam nas áreas de descontinuidade litorânea no litoral leste, e no litoral noroeste apenas nos locais onde há ocorrência de dunas. A areia grossa predomina nas áreas de maior energia, ou seja, nas zonas de rebentação de ondas.

TABELA III

Parâmetros estatísticos — mediana (Md), valor médio (Mz), desvio padrão (Mi), assimetria (SKi) e curtose (Kg), medidos na unidade  $\phi$ , e texturais — cascalho (CASC.), areia (AR) e silte + argila (S + Ag), expressos em porcentagem, dos sedimentos da Praia do Futuro e adjacências.

N.º da amostra	Md	Mz	Mi	SKi	Kg	CASC.	AR	S + Ag
1 . B	0,65	0,65	0,70	0,02	1,40	3,36	95,52	1,12
1 . P	0,90	1,00	0,53	0,30	1,27	0,00	99,69	0,31
1 . D	1,00	1,08	0,46	0,30	1,32	0,09	99,60	0,31
2 . B	-0,25	-0,30	0,55	-0,06	1,34	11,74	87,51	0,75
2 . P	0,03	0,08	0,38	0,43	1,52	0,44	99,53	0,03
2 . D	1,30	1,26	0,67	-0,13	1,02	0,61	99,35	0,04
3 . B	2,55	2,49	1,33	0,12	1,32	0,00	92,37	7,63
3 . P	1,39	1,41	0,62	0,09	0,99	0,13	98,75	1,12
3 . D	1,43	1,48	0,49	0,18	4,12	0,34	99,65	0,01
4 . B	1,90	1,78	0,69	-0,24	0,90	0,51	97,91	—
4 . P	2,06	1,85	0,74	-0,33	0,78	0,00	98,98	1,02
4 . D	2,26	2,17	0,44	0,26	1,11	—	99,27	0,73
5 . B	0,75	0,76	1,05	-0,06	0,96	6,29	92,89	0,82
5 . P	1,65	1,60	0,65	-0,03	0,93	0,03	98,20	1,72
5 . D	1,36	1,13	0,48	0,06	0,98	0,03	99,63	0,34
6 . B	0,75	0,68	0,89	-0,07	1,18	2,43	96,70	0,87
6 . P	1,13	1,21	0,67	0,14	0,87	0,00	99,77	0,23
6 . D	1,39	1,38	0,45	0,02	1,29	0,12	99,86	0,20
7 . B	1,19	1,30	0,75	0,18	0,93	0,16	98,39	1,45
7 . P	1,03	1,11	0,40	0,29	0,94	—	99,83	0,17
7 . D	1,39	1,33	0,38	-0,11	1,42	0,06	99,88	0,06
8 . B	0,33	0,25	0,59	-0,19	1,25	4,58	94,42	1,00
8 . P	2,03	2,04	0,57	-0,07	1,44	0,00	99,32	0,68
8 . D	2,06	2,10	0,47	-0,04	1,65	0,00	99,75	0,25
9 . B	1,85	2,03	1,10	0,23	0,86	0,63	94,50	4,87
9 . P	1,80	2,24	1,45	0,47	1,12	0,37	85,59	14,04
9 . D	1,55	1,78	0,96	0,37	1,18	0,49	95,23	4,28
10 . B	1,26	1,30	0,54	0,18	1,04	—	99,20	0,80
10 . P	1,33	1,31	0,41	-0,05	0,86	0,00	99,92	0,08
10 . D	1,55	1,52	0,56	0,00	0,83	0,08	99,86	0,06
11 . B	0,48	0,42	0,71	-0,06	1,42	4,23	94,77	1,00
11 . P	0,95	1,01	0,37	0,25	0,95	0,09	99,65	0,26
11 . D	1,23	1,26	0,64	0,07	1,26	0,03	99,33	0,64
12 . B	1,95	1,94	0,59	-0,03	0,90	—	98,91	1,07
12 . P	1,65	1,59	0,56	-0,13	1,03	—	99,71	0,29
12 . D	1,80	1,75	0,51	-0,15	1,08	0,00	99,56	0,44
13 . B	2,00	2,03	0,55	0,13	1,10	0,04	98,08	1,88
13 . P	1,33	1,32	0,57	0,04	1,01	0,08	99,76	0,16
13 . D	1,46	1,47	0,56	0,15	1,71	—	99,67	0,33
14 . B	1,84	1,64	0,87	-0,14	1,39	—	99,81	1,19
14 . P	1,98	1,96	0,55	-0,14	1,30	—	96,62	0,38
14 . D	1,00	1,20	0,66	0,36	0,72	0,08	99,52	0,40
15 . B	2,51	2,52	0,35	0,23	2,40	—	99,15	0,85
15 . P	2,52	2,57	0,24	0,28	5,60	—	99,51	0,49
15 . D	2,52	2,60	0,22	0,37	4,19	—	99,55	0,45
16 . B	2,58	2,51	0,23	-0,54	2,75	—	99,51	0,49
16 . P	2,73	2,65	0,32	-0,09	0,84	—	98,80	1,20
16 . D	2,95	2,96	0,60	0,15	5,48	—	98,56	1,44
17 . B	0,75	0,72	0,72	-0,01	0,53	3,28	96,02	0,70
17 . P	1,20	1,21	0,59	0,11	1,12	0,22	99,61	0,17
17 . D	0,90	0,98	0,59	0,64	1,19	0,28	99,55	0,17

Tabela III – continuação

N.º da amostra	Md	Mz	Mi	SKi	Kg	CASC.	AR	S + Ag
34 . D	2,05	2,08	0,35	0,05	1,41	—	99,83	0,17
35 . B	2,50	2,53	0,85	0,05	0,67	—	98,16	1,30
35 . P	1,85	1,95	0,35	0,15	1,44	0,07	99,25	0,68
35 . D	1,65	2,05	1,00	0,60	0,70	—	98,30	1,70
36 . B	1,50	1,92	0,84	0,64	0,79	—	98,17	1,83
36 . P	1,80	1,85	0,27	0,075	0,94	—	99,87	1,13
36 . D	1,75	1,76	0,22	0,025	0,96	—	99,91	0,09
37 . B	1,35	1,15	0,75	-0,30	1,19	—	99,90	0,10
37 . P	1,80	1,76	0,30	-0,05	1,26	0,14	99,60	0,26
37 . D	1,70	1,66	0,25	-0,05	1,92	0,01	99,57	0,42
38 . B	1,70	1,63	0,25	-0,10	1,27	0,08	98,82	1,10
38 . P	1,60	1,56	0,25	-0,05	0,52	0,02	99,41	0,57
38 . D	1,75	1,85	0,50	0,15	1,22	—	99,50	0,50

O movimento litorâneo no entanto pre- valece com o arraste de areia média.

A figura 7 mostra a distribuição tex- tural segundo os valores médios das amostras coletadas ao largo da cidade. Estão individualizadas as faixas de biode- tritos que são constituídos na maioria, de conchas de moluscos e incluindo-se também nesta terminologia, as algas cal- cárias para facilitar o traçado da figura. A língua de lama formada em torno do

molhe do Mucuripe e prosseguindo no rumo oeste acha-se também individuali- zada. Em frente à enseada do Mucuripe, temos a seqüência clássica sedimentoló- gica em que os grãos se tornam mais finos à medida que se distanciam da costa, mas na área ao largo do rio Ceará a seqüência é inversa. Isto talvez seja de- vido à ocorrência dos cascalhos e conchas oriundas das rochas de praias submersas.

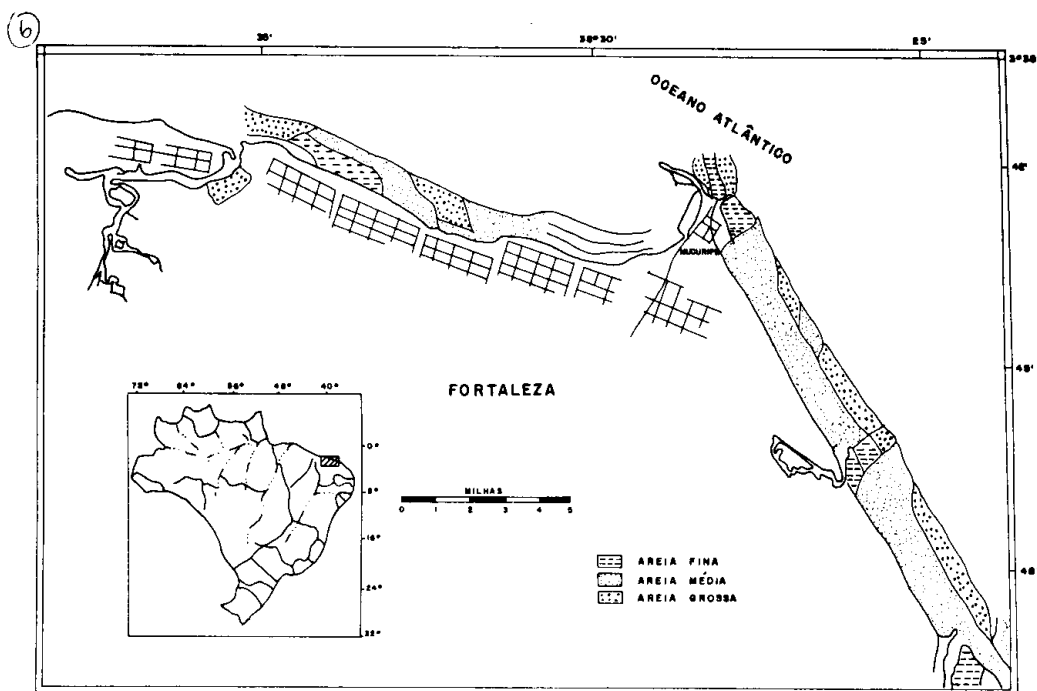


Figura 6 – Distribuição dos valores da mediana e valor médio nas praias de Fortaleza.

TABELA IV

Parâmetros estatísticos — mediana (Md), valor médio (Mz), desvio padrão (Mi), assimetria (SKi) e curtose (Kg), medidos na unidade  $\phi$ , e texturais — cascalho (CASC.), areia (AR) e silte + argila (S + Ag), expressos em porcentagem, dos sedimentos das praias do litoral oeste do município de Fortaleza.

N.º da amostra	Md	Mz	Mi	SKi	Kg	CASC.	AR	S + Ag
18 . B	1,34	1,29	0,60	-0,11	0,57	0,56	98,08	1,36
18 . P	1,53	1,55	0,74	0,22	0,71	0,02	99,69	6,29
18 . D	1,80	1,86	0,45	0,23	0,75	0,00	100,00	0,00
19 . B	1,50	1,53	0,37	0,00	1,58	0,10	98,88	1,02
19 . P	1,60	1,67	0,40	0,23	0,87	-	99,60	0,40
19 . D	1,53	1,60	0,42	0,37	1,45	-	99,64	0,36
20 . B	0,60	0,33	1,42	0,04	0,82	16,26	83,04	0,70
20 . P	1,86	0,69	1,00	-0,45	0,84	11,83	87,62	0,55
20 . D	1,32	0,91	1,15	-0,21	0,80	14,71	83,21	2,08
21 . B	1,10	0,97	0,36	-0,30	1,09	2,73	95,35	1,92
21 . P	1,36	1,29	0,54	0,02	1,61	2,38	97,16	0,46
21 . D	-	-	-	-	-	-	-	-
22 . B	0,20	0,14	0,74	0,36	0,90	7,55	91,86	0,59
22 . P	0,80	0,91	0,77	0,13	1,18	1,62	98,05	0,33
22 . D	1,27	1,28	0,50	0,15	1,73	0,01	99,82	0,17
23 . B	2,40	2,41	0,56	0,08	2,16	0,20	98,17	1,63
23 . P	2,28	2,12	0,49	-0,04	1,05	-	99,54	0,46
23 . D	1,75	1,78	0,48	0,07	0,84	-	99,58	0,42
24 . B	-	-	-	-	-	-	-	-
24 . P	1,58	1,69	0,52	0,33	1,06	0,02	99,44	0,54
24 . D	1,98	1,87	0,64	0,43	0,68	0,17	99,57	0,26
25 . B	1,42	1,38	0,51	0,39	1,92	0,39	98,48	1,13
25 . P	-	-	-	-	-	-	-	-
25 . D	1,46	1,59	0,53	0,37	2,70	0,00	94,48	0,52
26 . B	2,00	2,15	0,71	0,29	1,65	-	98,33	1,67
26 . P	1,85	1,90	0,48	0,08	2,84	-	99,81	0,19
26 . D	1,80	1,79	0,50	0,12	1,41	0,00	99,60	0,40
27 . B	1,95	1,92	0,60	-0,01	1,01	-	98,59	1,41
27 . P	1,55	1,57	0,43	0,09	0,92	-	99,32	0,68
27 . D	1,75	1,67	0,42	-0,25	1,05	-	99,97	0,03
28 . B	2,06	2,05	0,60	0,11	1,50	-	98,86	1,14
28 . P	1,80	1,79	0,44	-0,03	0,90	-	99,78	0,22
28 . D	2,06	2,05	0,44	0,11	1,60	-	99,83	0,17
29 . B	2,20	2,30	0,65	0,12	0,84	-	99,24	0,76
29 . P	2,00	2,00	0,53	0,21	1,59	-	99,76	0,24
29 . D	1,85	1,85	0,38	0,09	0,57	-	99,86	0,14
30 . B	1,43	1,42	0,35	-0,03	1,10	-	99,06	0,94
30 . P	1,53	1,54	0,38	0,01	1,05	-	99,25	0,75
30 . D	1,47	1,46	0,21	0,09	1,33	-	99,96	0,04
31 . B	2,33	2,35	0,80	0,06	0,85	0,11	98,24	1,65
31 . P	1,70	1,66	0,31	0,12	1,37	-	99,81	0,19
31 . D	-	-	-	-	-	-	-	-
32 . B	2,56	2,47	0,66	-0,09	0,68	-	99,87	1,13
32 . P	2,30	2,54	0,81	0,29	1,00	-	99,18	0,82
32 . D	2,30	2,35	0,69	0,14	1,81	0,03	99,58	0,39
33 . B	-	-	-	-	-	-	-	-
33 . P	-	-	-	-	-	-	99,55	0,45
33 . D	-	-	-	-	-	-	99,71	0,29
34 . B	1,25	1,18	0,90	-0,10	1,15	11,67	87,28	1,05
34 . P	1,75	1,71	0,34	-0,06	1,01	-	99,95	0,05

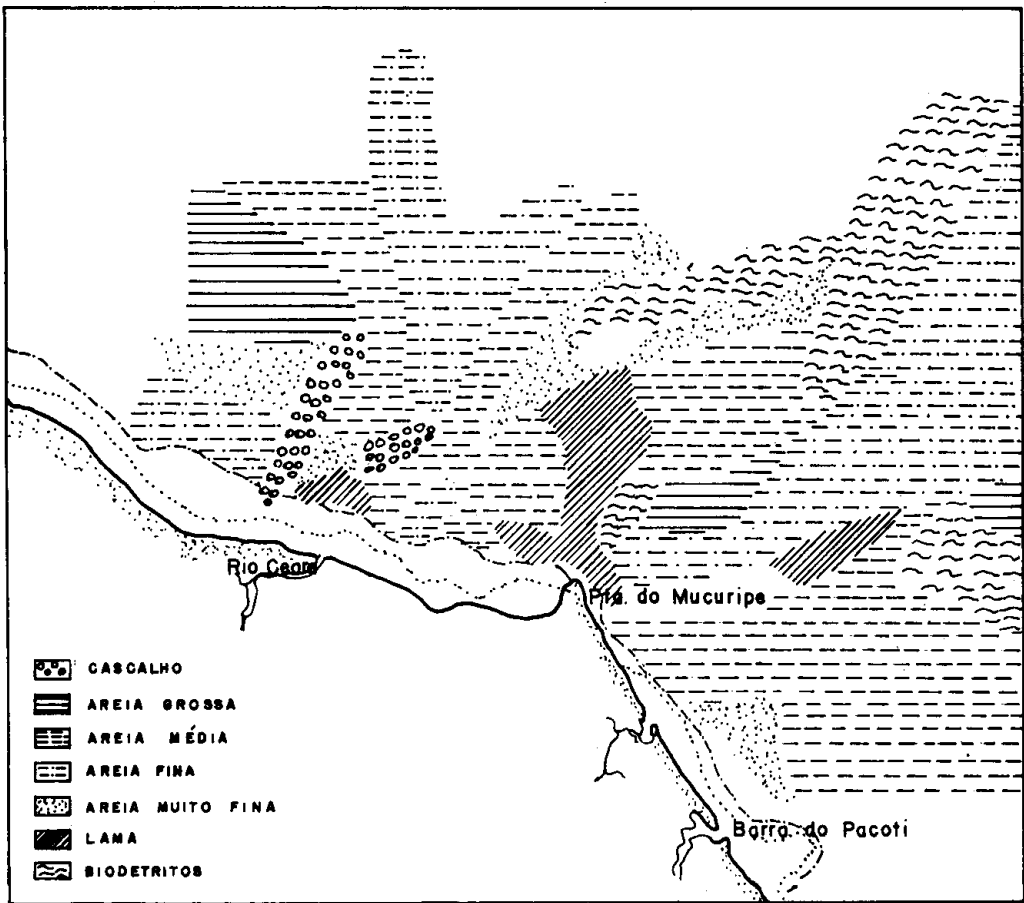


Figura 7 — Distribuição dos valores médios ao largo da cidade de Fortaleza.

#### b) Medidas de uniformidade

Estas medidas tratam do grau de seleção ou uniformidade dos grãos. O coeficiente de seleção de Trask ( $So = \sqrt{Mm\ 25/Mm\ .\ 75}$ ), antes uma das medidas mais usadas, hoje se encontra em desuso por não incluir a seleção nas extremidades das curvas; considerava os valores em milímetro. Uma medida análoga a esta, mas a adaptada à escala gráfica é a  $QD\phi = \phi\ 75 - \phi\ 25/2$ .

O uso destas medidas para definir uniformidade de grãos só seria conveniente em amostras em que predomine uma mesma classe modal. Em outro caso qualquer, elas são totalmente falhas. Por exemplo: uma praia arenosa consistindo essencialmente de areia fina e média,

como é o caso da área próxima à embocadura do rio Pacoti, deveria ter o mesmo  $QD\phi$  e  $So$  que um sedimento consistindo de 15% de cascalho e 10% de argila. Por isto, neste trabalho, adotamos o Desvio Padrão Gráfico de Folk (1957), que é muito próximo da medida estatística do desvio padrão. É obtida por  $Mi = \phi\ 84 - \phi\ 16 + \phi\ 95 - \phi\ 5/6,6$ , fórmula que inclui 90% da distribuição e é a melhor medida para esta finalidade. As vezes, neste trabalho, sempre que não foi possível obter os valores de  $\phi\ 5$  e  $\phi\ 95$  foram utilizados os valores de  $\phi\ 82 - \phi\ 16$  ou  $\phi\ 75 - \phi\ 25$ .

2

2

Friedman (1962) comparou em detalhe os coeficientes de seleção de Trask

(1930), Inman (1952) e Folk & Ward (1957) com o desvio padrão, concluindo que a medida usada por Folk & Ward (utilizada nesse trabalho) é a que mais a ele se assemelha. Duane (1967), também, fez comparação com as medidas estatísticas de Trask (*op. cit.*), Inman (*op. cit.*), Mason & Folk (1958) e Shepard & Young (1961) e mostrou variações numéricas semelhantes aquelas notadas por Friedman, ou seja, o coeficiente de seleção usado no presente trabalho é o que mais se aproxima da realidade.

A distribuição dos valores de uniformidade nos sedimentos é apresentada na figura 8. Nas praias correspondentes à região litoral leste, há ocorrência de material bem selecionado nas areias de dunas e linha de maré alta, intercalado ocasionalmente por areias muito bem selecionadas. Na faixa de rebentação, as amostras são moderadamente selecionadas.

Nas praias do litoral noroeste, na altura do Pirambu, as dunas são muito

bem selecionadas o mesmo acontecendo com os sedimentos da linha de maré alta.

As amostras situadas nos estuários mostram-se pobremente selecionadas a montante dos estuários mas, à medida que se aproximam da embocadura, tornam-se bem selecionadas a muito bem selecionadas, dando a entender que aí predomina a seleção progressiva.

Russel (1939), classificou o coeficiente de seleção em dois tipos: um chamado "seleção local", que envolve a seleção das partículas em uma localidade particular de seleção; e outro, a "seleção progressiva", que consiste na seleção em direção ao transporte do sedimento. Este último tipo ocorre na praia do Futuro, revelando transporte em direção ao molhe de retenção onde os sedimentos são muito bem selecionados. Os mais importantes fatores envolvidos em ambos os tipos de seleção parecem ser o tamanho, forma e gravidade específica das partículas, e a velocidade, grau de

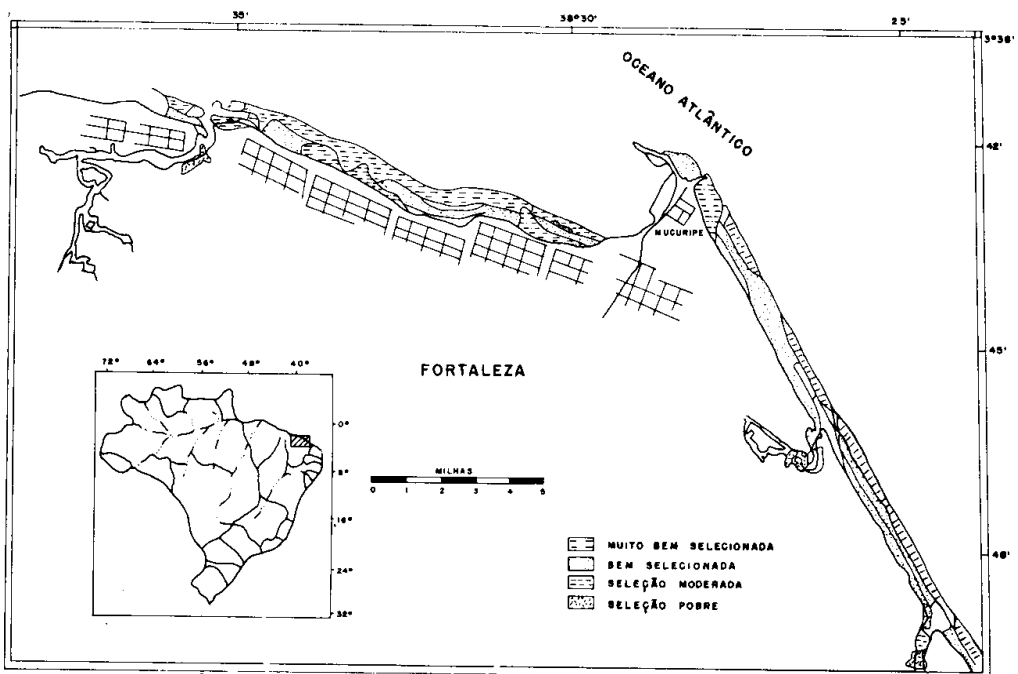


Figura 8 — Distribuição dos valores de uniformidade dos sedimentos nas praias de Fortaleza.



turbulência e gravidade específica do agente transportador.

A seleção progressiva produz uma diminuição progressiva na granulometria dos sedimentos. Isto pode ser comprovado comparando-se as figuras 6 e 8, razão por que é sempre conveniente fazer as amostragens na direção do agente transportador, ao invés de aleatoriamente. Há, portanto, mudança progressiva na granulometria, assim como na forma e na composição mineral dos sedimentos. Duas causas para isto são discutidas: o decréscimo progressivo na competência do agente transportador e queda ocasional das partículas grandes devido a flutuação na competência. No caso da praia do Futuro, a seleção progressiva é devida à última causa, já que as correntes litorâneas têm tendência a aumentar de velocidade até formar as chamadas correntes de concentração. Flutuações em compe-

tência também devem resultar em um decréscimo progressivo no valor médio, e isto está comprovado na figura 6. Com tais flutuações, as partículas maiores só serão movidas ocasionalmente, ao passo que as menores podem ser carreadas até mesmo quando o agente transportador está em competência mínima. Assim, as partículas maiores tendem a ficar para trás, dando lugar ao aparecimento da seleção progressiva.

Os sedimentos situados atualmente em torno do molho do porto, com granulação muito fina e valores de uniformidade muito bem selecionados, possuem também grãos de esfericidade bastante baixa para a fração que representam. Esta seleção não é local, e sim progressiva, devido à forma das partículas e ao fato de que as mesmas se situam a jusante do transporte (figura 9). Quando o transporte é em suspensão (e neste

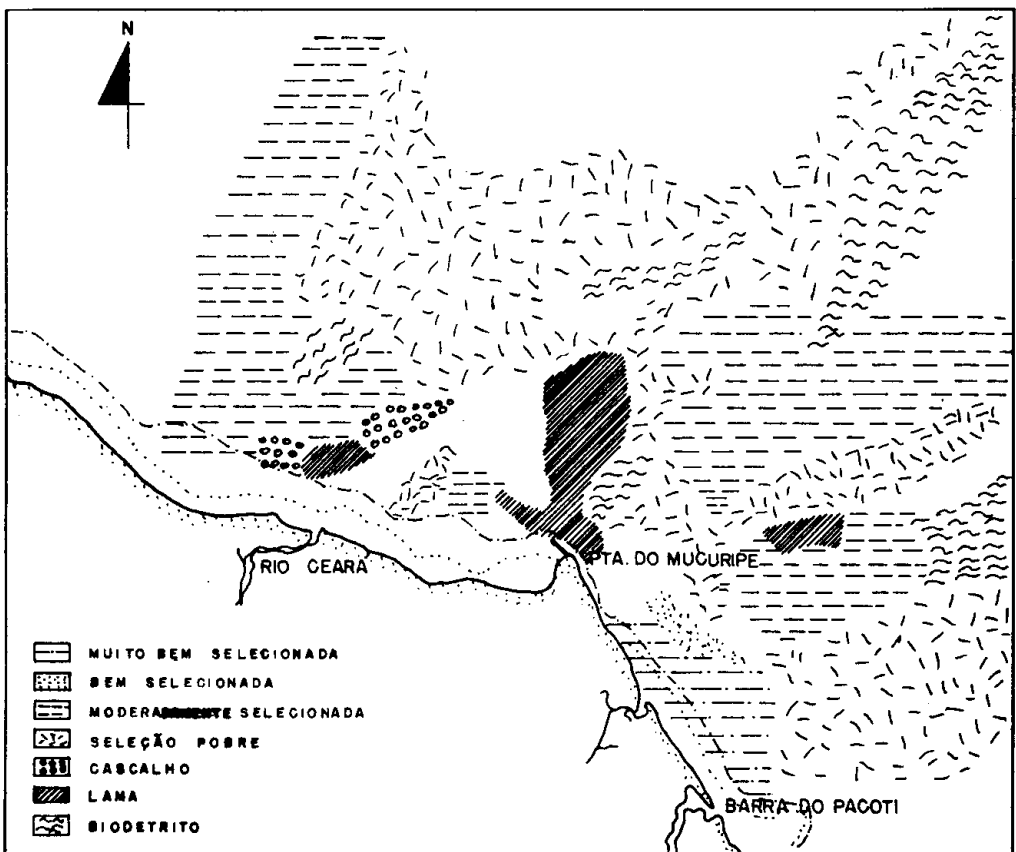


Figura 9 — Situação real da distribuição dos sedimentos na área do Porto do Mucuripe.

caso o é, porque não há mais caminharmento das areias devido ao espigão de retenção), grãos de esfericidade baixa também vão se concentrar corrente abaixo e no lugar de deposição final.

Em algumas áreas da praia dos Arpoadores e Goiabeiras os sedimentos apresentam-se bem selecionados. Os grãos dos sedimentos são bem arredondados, provenientes de retrabalhamento do Grupo Barreiras, mostrando inclusive fragmentos de rochas sedimentares, bem esféricos. Os fragmentos esféricos, rolam mais rápido que os achatados e distanciando-se destes selecionam-se melhor. Neste local, portanto, predomina o transporte por rolamento.

Ao largo de Fortaleza a seleção local é comum perto dos bancos de algas e biodetritos, onde os grãos se apresentam de moderados a pobremente selecionados.

A uniformidade dos grãos de acordo com o tamanho, forma e gravidade específica, também tende a produzir variações na composição mineral dos sedimentos. Parece que, à medida que a sele-

ção vai aumentando em direção aos sedimentos mais finos, há uma concentração maior em minerais pesados de grãos gradativamente menores. A seleção progressiva de acordo com a gravidade específica pode levar a efeitos opostos. Minerais como magnetita e ilmenita, por exemplo, são menores do que os principais constituintes na rocha mãe e também mais pesados. Seleção progressiva de acordo com o tamanho leva obrigatoriamente a um decréscimo progressivo na ocorrência destes minerais.

Existem áreas no porto do Mucuripe com quantidades apreciáveis de hornblenda dominante entre os minerais pesados. Isto, de alguma forma deve estar relacionado com a afirmação de Pettijohn 8 Ridge, 1933 (*in* Russel, 1939), que as areias transportadas ao longo de praias mostraram um aumento progressivo dos minerais pesados de baixa esfericidade, tais como hornblenda e hypersteno, e um decréscimo correspondente na acumulação dos minerais mais pesados e mais equidimensionais (granada, magnetita e ilmenita).

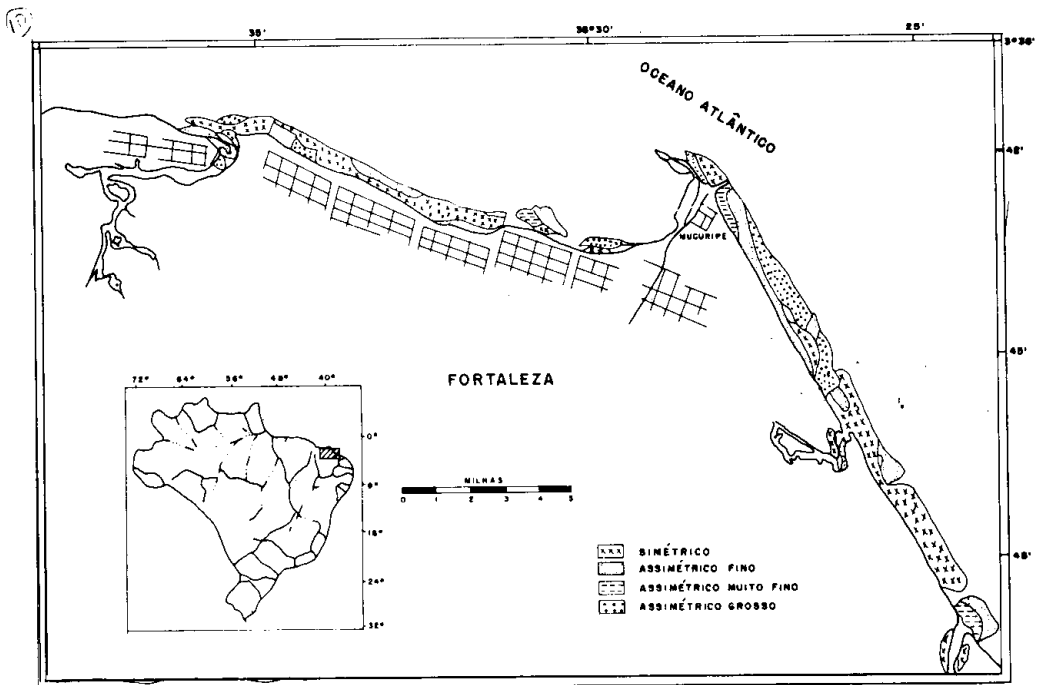


Figura 10 — Valores de assimetria distribuídos ao longo das praias de Fortaleza.

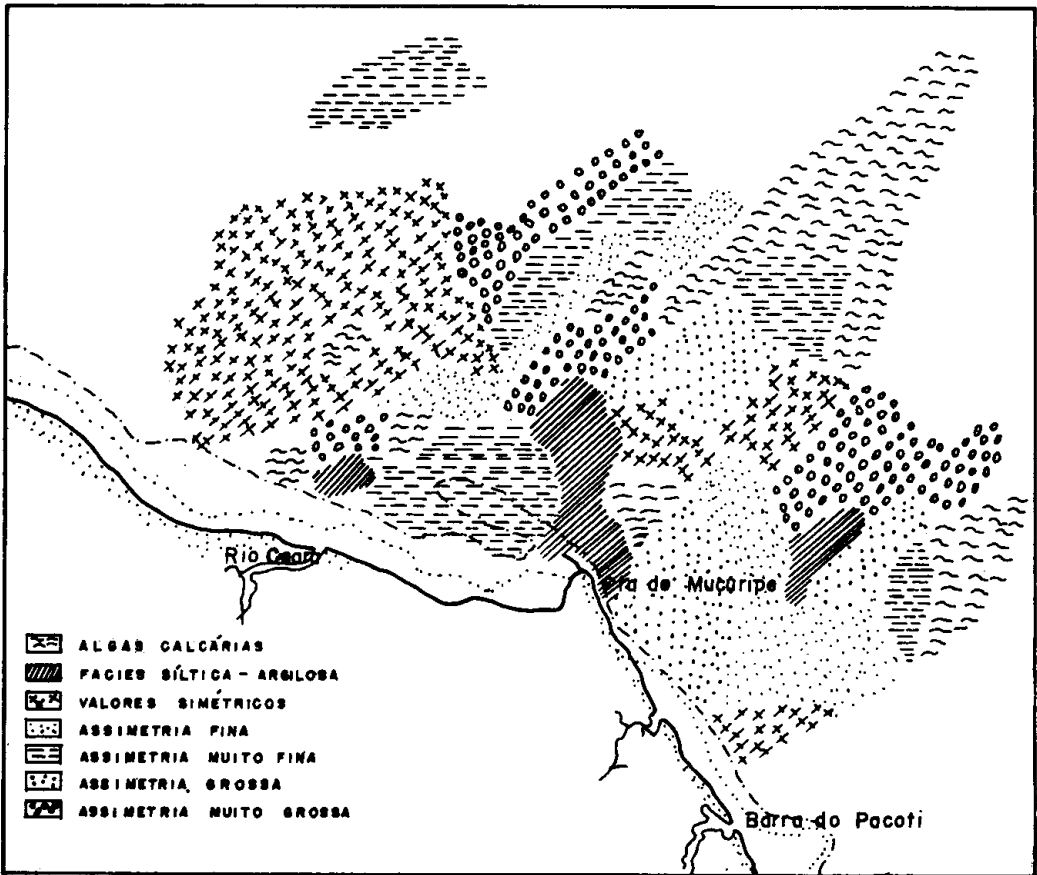


Figura 11 — Valores de assimetria distribuídos ao largo de Fortaleza.

### c) Medida de assimetria

Esta medida marca exatamente o valor da mediana em relação ao valor médio. O resultado com valor positivo indica que o sedimento tem um acúmulo em excesso na fração fina; se for negativo, significa que a assimetria está relacionada ao excesso de fração grossa.

Uma das fórmulas usadas é  $SK_q \phi = (\phi_{25} + \phi_{75} - 2Md \phi) / 2$  mas apresenta a desvantagem de medir a assimetria gráfica  $SKG = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}) / (\phi_{84} - \phi_{16})$ , cujo valor cobre 68% da curva. Neste trabalho foi usada a fórmula de Folk (inclusive Graphic Skewness) que cobre 90% da curva e tem a seguinte expressão:

$$SK_1 = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

Quanto mais o valor da assimetria se distancia de zero e, dependendo de ter sinal positivo ou negativo, maior o excesso em sedimentos finos ou grossos, respectivamente.

A figura 10 mostra os valores de assimetria distribuídos ao longo das praias de Fortaleza. Na praia do Futuro predominam os sedimentos simétricos ou assimétricos finos nas áreas de maré alta e dunas, ao passo que na área de rebenetação os sedimentos são assimétricos grosseiros. As frações assimétricas muito finas depositam-se a barlar dos espigões de retenção, o que parece correlacionar-se aos dados do valor médio e coeficiente de seleção discutidos anteriormente. Nas praias a oeste, há também predominância das amostras simétricas até mesmo em áreas de baixa-mar. No leito do rio Ceará há uma tendência para

sedimentos fino ao longo do seu curso, adaptando-se com isso, aos outros parâmetros antes discutidos.

A distribuição da assimetria ao largo de Fortaleza mostra que os valores simétricos encontram-se a jusante da direção geral do movimento das águas locais (figura 11).

Hails (1967) afirma que areias de dunas são assimétricas positivas, e praias e sedimentos holocênicos são assimétricos negativos, fato confirmado por Folk (1957) e Friedman (1961). Areias de dunas são bem selecionadas e, como as barreiras pleistocênicas, são fortemente positivas. Apesar de Hails (*op cit.*) enfatizar o uso desses parâmetros para a distinção de ambientes, neste trabalho não

foi possível utilizá-los nem mesmo para definir ambientes de baixios de marés ou de praias. Os valores, em sua maioria, foram simétricos na própria praia, e a assimetria negativa característica de praia comentada pelos autores acima citados só aparece na linha de maré baixa. Pode-se supor que a Praia do Futuro tinha extensão maior até onde hoje situam-se as curvas batimétricas mais profundas, mas é prematuro afirmar isto baseado apenas na assimetria negativa exposta na figura 10. O resultado das observações neste parâmetro parece indicar, no entanto, que as ações de retrabalhamento são ativas somente parte do tempo (tabelas III, IV e V). A alternância de sinais apenas notifica diferenças locais e ocasionais.

TABELA V

Parâmetros estatísticos — mediana (Md), valor médio (Mz), desvio padrão (Mi), assimetria (SKi) e curtose (Kg), medidos na unidade  $\phi$ , e texturais — cascalho (CASC.), areia (AR) e silte + argila (S + Ag), expressos em porcentagem, dos sedimentos da Praia Formosa e enseada do Mucuripe.

N.º da amostra	Md	Mz	Mi	SKi	Kg	CASC.	AR	S + Ag
39 . B	0,75	0,73	0,97	-0,025	—	21,79	77,59	0,62
39 . P	1,60	1,56	0,25	-0,05	1,22	0,14	99,72	0,14
39 . D	1,75	2,10	0,87	0,52	0,02	—	99,01	0,99
40 . B	—	—	—	—	—	73,18	26,17	0,73
40 . P	1,30	1,39	0,31	0,135	2,26	1,31	98,34	0,35
40 . D	—	—	—	—	—	—	—	—
41 . B	1,80	1,76	0,55	-0,16	0,91	0,27	98,99	0,74
41 . P	1,50	1,91	0,28	0,07	2,16	—	99,17	0,83
41 . D	1,39	1,42	0,255	0,055	2,45	0,04	99,63	0,33
42 . B	3,22	3,20	0,15	-0,02	3,35	—	99,22	0,78
42 . P	3,15	2,97	0,41	-0,26	1,12	—	99,51	0,49
42 . D	2,10	2,12	0,34	0,04	1,18	0,02	99,90	0,08
43 . B	1,70	2,05	1,20	0,53	0,62	0,57	98,81	0,62
43 . P	2,09	2,02	0,39	-0,095	1,49	—	99,65	0,35
43 . D	2,09	2,07	0,29	-0,25	1,84	0,01	99,65	0,34
44 . B	2,03	1,96	0,27	-0,10	—	11,2	88,05	0,75
44 . P	1,33	1,36	0,31	0,055	1,98	0,11	99,56	0,33
44 . D	1,78	1,74	0,30	-0,05	0,97	0,05	99,83	0,17
45 . B	3,11	3,24	0,53	0,21	2,98	0,23	99,24	0,53
45 . P	1,80	2,10	0,85	0,37	0,60	—	99,20	0,80
45 . D	2,00	2,25	0,86	0,40	0,66	—	99,68	0,32
46 . B	1,85	2,00	0,67	0,225	0,83	0,05	98,10	1,85
46 . P	1,43	1,30	0,045	-0,195	10,09	—	99,71	0,29
46 . D	1,30	1,35	0,22	0,075	—	—	99,84	0,16
47 . B	3,73	3,59	0,33	-0,25	2,08	0,95	98,36	0,69
47 . P	2,80	2,53	0,88	-0,40	0,62	—	99,05	0,95
47 . D	3,04	2,81	0,32	-0,35	1,10	—	99,15	0,85

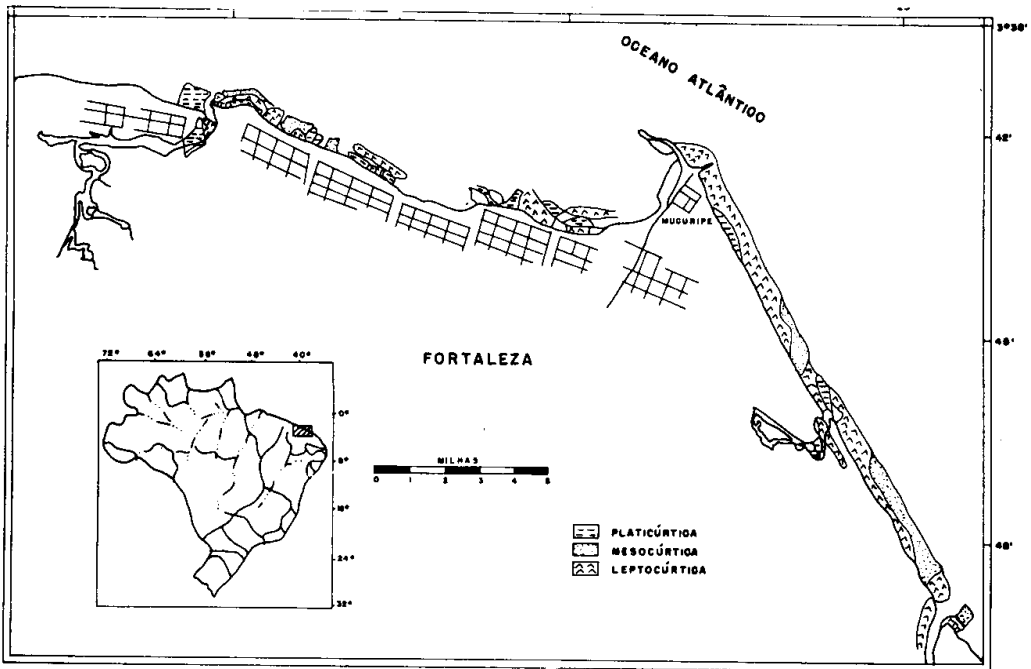


Figura 12 — Valores de curtose distribuídos ao longo das praias de Fortaleza.

#### d) Curtose

Este é um parâmetro muito útil na determinação da concentração da uniformidade dos grãos dos sedimentos, ou seja, mede a razão entre a seleção das pontas da curva e a porção central.

A medida de curtose ( $K_g$ ) usada neste trabalho é obtida pela curva gráfica, segundo a fórmula:

$$K_g = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44 (\phi_{75} - \phi_{25})}$$

que responde a seguinte pergunta: para uma dada distribuição entre os pontos  $\phi_{25}$  e  $\phi_{75}$ , qual é a deficiência ou excesso da distribuição  $\phi_{95}$  a  $\phi_5$ ?

Os valores de curtose distribuídos ao longo das praias e ao largo de Fortaleza (figuras 12 e 13) associam-se inteiramente aos valores dos coeficientes de seleção. O ponto mais alto de valores leptocúrticos é exatamente onde há maior concentração em uma só classe modal, perto do espigão de retenção e na faixa próxima à extremidade do molhe do Titã. Em ambos está representada a boa seleção dos grãos dos sedimentos exatamente nas

partes centrais da curva. Nas amostras ao largo, predominam os valores leptocúrticos. Os valores mesocúrticos em larga escala que ocorrem nas praias podem indicar as áreas de turbulência pelo vento e pelas ondas.

#### TIPOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

A hidrodinâmica das águas costeiras, associada às características texturais dos sedimentos, leva a admitir que os tipos predominantes de transporte de sedimentos na costa de Fortaleza são o transporte litorâneo e o transporte frontal, sendo o primeiro muito mais intenso que o segundo.

O transporte litorâneo é o transporte paralelo à costa, realizado pelas ondas na zona de rebentação, devido à direção oblíqua de incidência sobre as praias. O transporte frontal é devido à incidência perpendicular das ondas sobre as praias, levando sedimentos do largo para a praia e vice-versa.

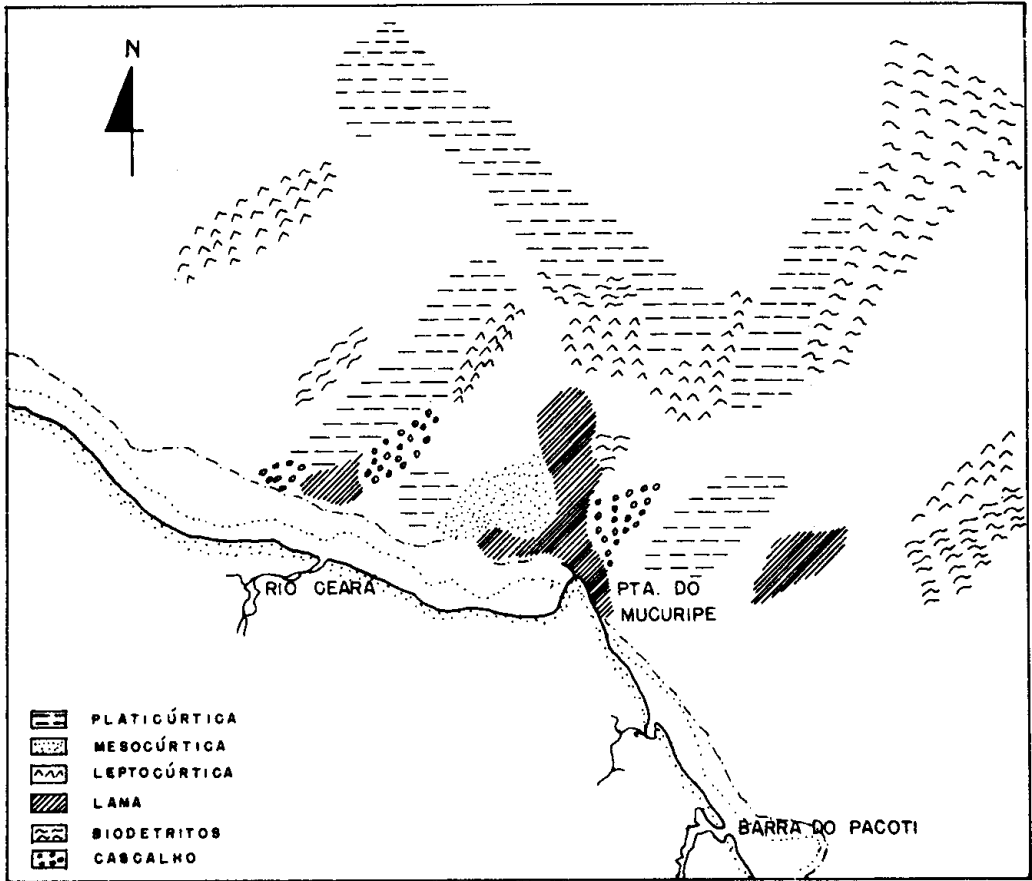


Figura 13 — Distribuição dos valores de curtose ao largo de Fortaleza.

Para estes dois tipos de transporte de sedimentos, como vimos, as ondas desempenham papel fundamental de acordo com o seu ângulo de incidência sobre a praia.

Quando as cristas das ondas são paralelas à linha da costa, dá-se o ataque frontal, e o acúmulo das águas que atravessam esta linha provoca uma carga contrária com o retorno de águas para o largo, a fim de manter o equilíbrio do volume d'água que passa em ambos os sentidos. Isto é observado principalmente nos meses de janeiro e fevereiro nas praias de Meireles e Iracema. Quanto mais forte o ataque, maior possibilidade de retorno intenso das águas carreando material, provocando erosão e dando lugar ao perfil de emagrecimento (perfil de inverno).

Quando as cristas das ondas têm direção oblíqua à linha de costa, o movimento resultante é paralelo à costa, o transporte do sedimento é em dente de serra, e as águas, apesar de permanecerem acumuladas em movimento de deriva, terão que retornar ao largo de algum modo, já que não poderão ficar permanentemente acumuladas junto à costa. A presença de barras submersas, embocadura de rios, ou mesmo a variação saliente das curvas batimétricas, provocam o retorno das águas sob forma de correntes de concentração (rip currents). O valor máximo de velocidade do transporte litorâneo acontece exatamente no local de formação das correntes de concentração e, portanto, quanto mais espaçadas, maiores valores de velocidade são atingidos pelas correntes litorâneas.

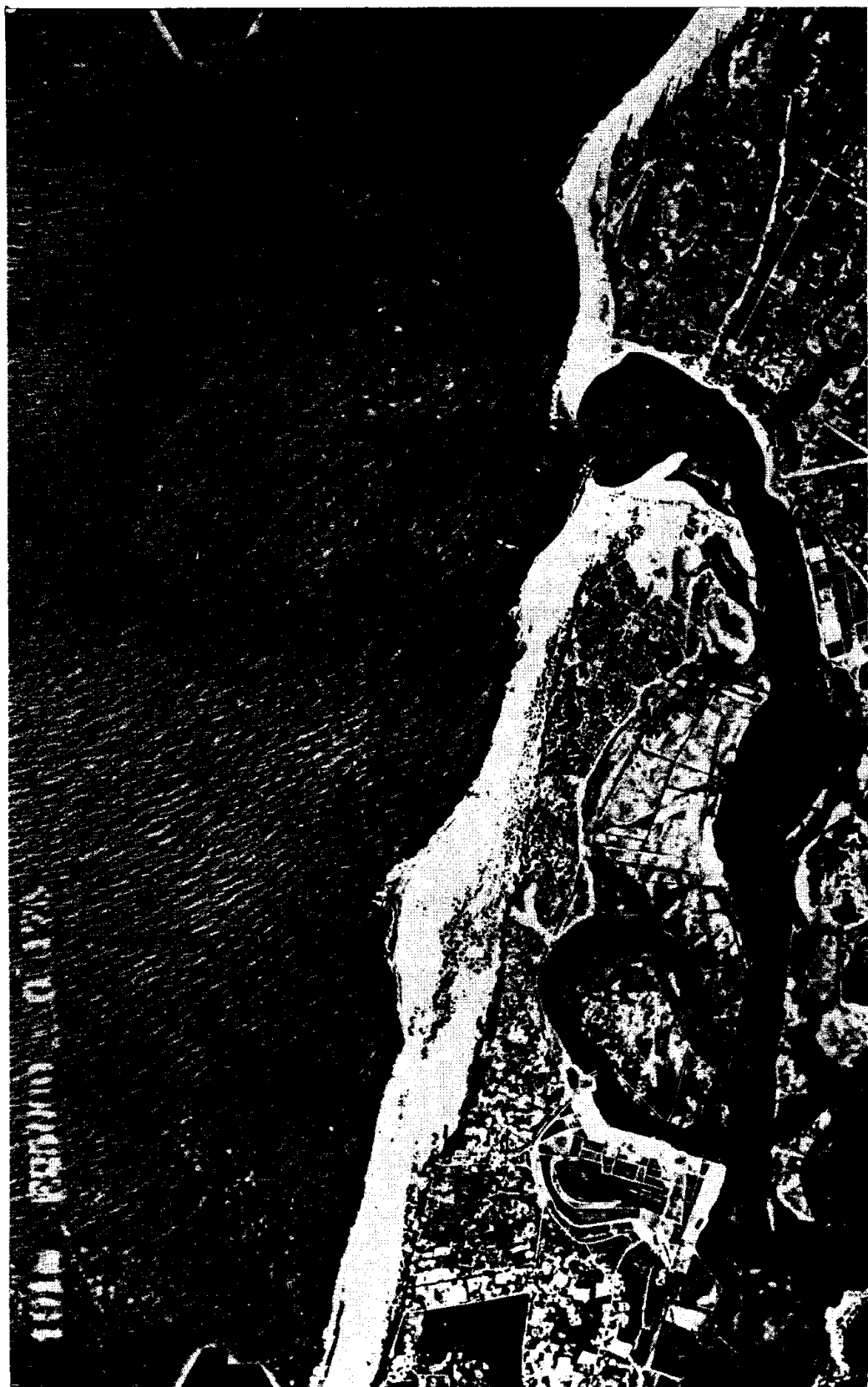


Figura 14 — Fotografia aérea tirada antes de 1972, quando o caminhamento das areias tendia a fechar a embocadura, com incidência oblíqua de ondas provocando o movimento longitudinal.

Além dos tipos de transporte acima comentados, ocorrem no município de Fortaleza movimento de difração de ondas em torno do molhe do Mucuripe, e as migrações de embocaduras de rios a seguir discutidas.

## MIGRAÇÃO DE EMOCADURAS

### *Rio Ceará*

A migração de embocaduras de rios é devida essencialmente ao transporte litorâneo dos sedimentos, que exerce grande influência sobre a conformação, estabilidade e topografia geral da costa. Este transporte se processa na zona situada entre a rebentação e a linha de costa, e na zona de espraiamento situada acima desta linha. Esta última zona, evidentemente, sofre ação dos ventos que, em Fortaleza, atuam ajudando diretamente o transporte de sedimentos e migração de embocaduras.

A embocadura do rio Ceará mostra o comportamento deste transporte litorâneo procurando manter a continuidade da costa, tendendo a fechar a embocadu-

ra. Isto está representado na figura 14, fotografia aérea tirada antes de 1972, quando o movimento das areias continuava fechando a embocadura. Nota-se perfeitamente a incidência oblíqua das ondas provocando o movimento longitudinal, e o comportamento do transporte litorâneo que procura manter a continuidade da costa, em contraposição ao escoamento fluvial que procura afastar para o largo os sedimentos transportados pelas ondas. Esta situação foi modificada pela implantação de molhes no litoral oeste da cidade. Os sedimentos são retidos a barlar da embocadura devido ao efeito do espigão hidráulico formado pelo rio, mas uma parte destes sedimentos transpõe a embocadura ajudada pelas barras submersas que agem como ponte de ligação entre as duas margens do rio. Há, portanto, um visível desequilíbrio a sotamar da embocadura entre a capacidade de transporte e o volume de sedimentos que está sendo efetivamente transportado, ocasionando uma erosão a sotamar e o progressivo aumento da margem a barlar da embocadura. O escoamento fluvial favorece também a



Figura 15 — Comportamento da embocadura do Rio Ceará após a construção dos espigões de proteção à margem direita do rio.



erosão da margem a sotamar, resultando na migração dos sedimentos no sentido dominante do transporte litorâneo, causando a migração da embocadura.

A figura 15 mostra o comportamento da embocadura após a construção dos espigões de proteção à margem direita (oeste) do rio. Devido à presença destes espigões, a migração da embocadura foi contida e a que persiste ainda no sentido de sudeste para noroeste é em pequena escala. A antiga barra apresentada na figura anterior foi rompida pelo escoamento do rio, que passou a se comportar como canal bem mais estreito. Começou a haver erosão na margem direita interna do rio e sedimentação na margem esquerda, ou seja, um comportamento inteiramente contrário ao que ocorria antes. A migração dos sedimentos para a margem esquerda se deu pela ação do transporte frontal ajudado pela ação das marés. Em frente à embocadura, mas ao largo desta, formou-se uma seqüência de barras que atuam como ponte que mantém o transporte litorâneo porém em pequena escala. Comparando-se ainda as figuras 14 e 15, observa-se que o escoamento do rio foi facilitado depois da construção do molhe, o que proporcionou o desaparecimento do braço represado no ponto A, hoje já soterrado.

O canal que comporta o atual leito do rio na embocadura age como espigão hidráulico espalhando os sedimentos para o largo. Os sedimentos que conseguem o transpasse acumulam-se na margem esquerda interna do estuário. As praias à esquerda do estuário sofrem, contínua erosão pelo ataque frontal das ondas (figura 16).

#### *Rio Cocó*

A ação do transporte dominante na embocadura do Rio Cocó é, também de sudeste para noroeste, e mostra que o rio está procurando um novo caminho de abertura para o mar. O "spit" de sedimentos que aparece na margem esquerda é o testemunho de migração antiga da

embocadura que foi fechada pela ação do transporte litorâneo. O rio tentou romper e abrir um novo caminho e conseguiu, embora o canal de acesso ao mar continue ainda bastante estreito. Isto, associado à migração intensa das dunas, dá lugar ao aparecimento do grande meandro formado nas proximidades da embocadura. O atual processo de migração é no mesmo sentido, de sudeste para noroeste, mas com o canal de acesso ao mar bastante alargado, estando por conseguinte em fase inicial de formação (figura 17).

#### *Rio Pacoti*

A figura 18 sugere que a foz do rio Pacoti tem sido sujeita a intensos processos de migração de embocadura, tornando mais longo o seu curso e menor sua vazão, com o represamento das águas. O escoamento fluvial e o transporte litorâneo condicionaram a formação de barras em frente à embocadura, o que facilita a migração.

Comparando-se as figuras 18 e 19, pode-se observar que a embocadura do rio estava anteriormente bem mais a noroeste (esquerda) da atual, o que se evidencia a exposição de um braço morto do rio e um antigo "spit" já fixado pela vegetação costeira. Uma quantidade grande de barras expostas em maré baixa formou-se ao largo da embocadura, o que irá facilitar a deposição dos sedimentos ao longo do "spit" da margem direita do rio.

## CONCLUSÕES

1 — O transporte predominante dos sedimentos no litoral do município de Fortaleza é o litorâneo com direção noroeste.

2 — O transporte litorâneo é suplantado pelo transporte frontal somente na praia das Goiabeiras e adjacências, processando-se o movimento das areias sob os recifes submersos.



Figura 16 — Erosão nas praias situadas à margem esquerda da embocadura do Rio Ceará.



Figura 17 — Ação do transporte dominante na embocadura do Rio Cocó, mostrando que este rio está procurando um novo caminho de abertura para o mar.

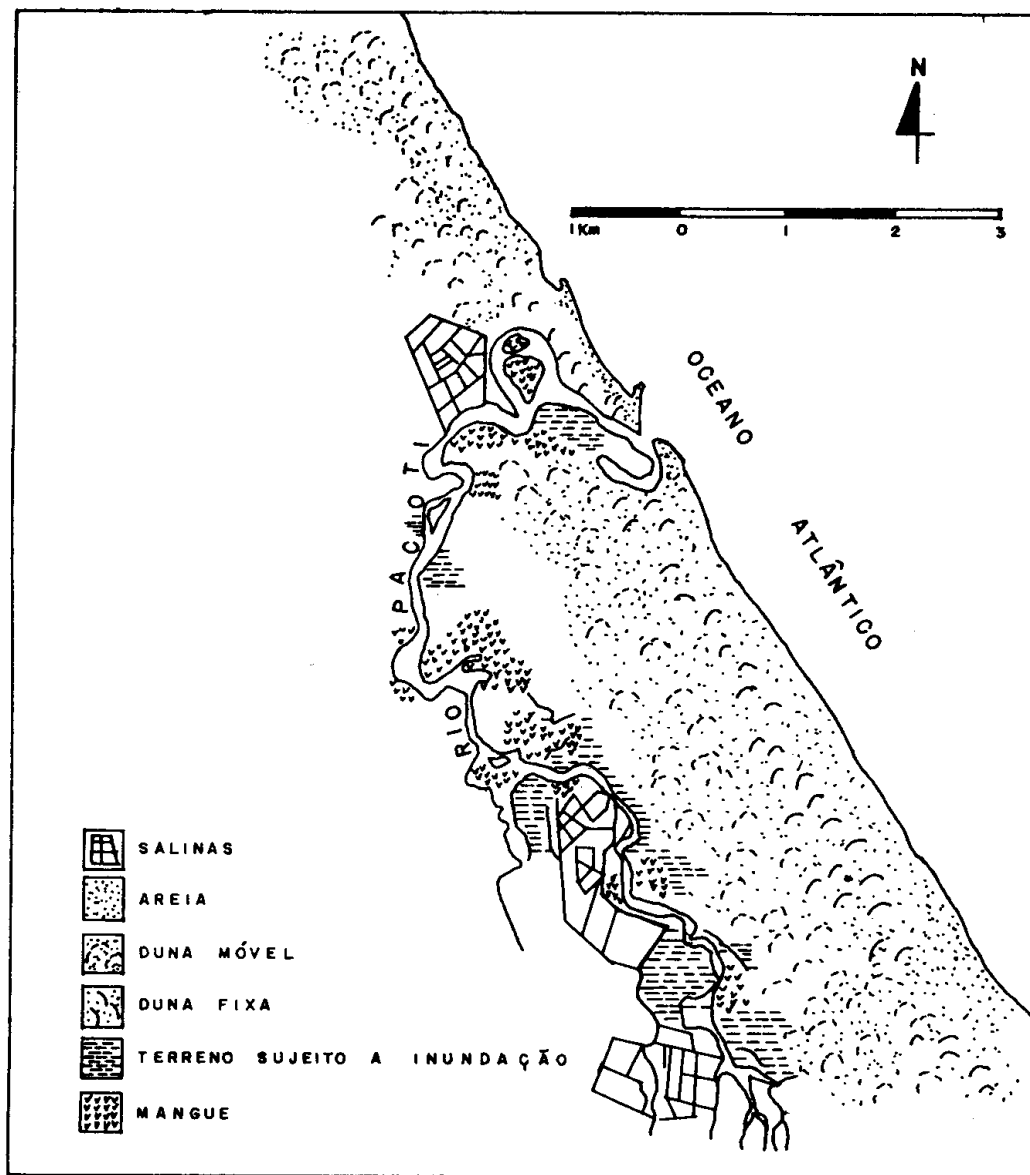


Figura 18 — Processos de migração de embocadura no Rio Pacoti, que tornaram mais longo o seu curso e menor sua vazão com o represamento das águas.

3 — O transporte frontal é também muito ativo nos meses de janeiro e fevereiro, quando as ondas incidentes de nordeste causam ressacas, motivo de erosão na praia dos Diários-Iracema.

4 — O transporte em suspensão não foi avaliado quantitativamente, mas as observações visuais confirmam as direções das correntes litorâneas.

5 — No período de verão não há estratificação halina e o material em suspensão independe da salinidade, estando ligado apenas ao posicionamento dos espigões e à contribuição fluvial.

6 — A construção de espigões ao longo das praias barrou o transporte litorâneo, e somente a praia dos Arpoadores está sendo alimentada. Esta alimentação



Figura 19 — Antigo *spit* já fixado pela vegetação costeira na embocadura do Rio Pacoti.

é proveniente do transporte eólico resultante de dunas bordejantes, e não do transporte litorâneo.

7 — Há um constante retrabalhamento dos sedimentos nas praias e uma tendência a acumulação dos mesmos a barlamar dos espigões.

8 — A variação dos ventos de SE para NE é sazonal, originada pelo deslocamento do equador térmico para o sul do equador geográfico. Isto implica também na mudança de direção dos movimentos ondulatórios, contribuindo para a presença do fenômeno das resacas.

9 — A variação da amplitude da maré em 6 anos indica que o perfil de praia foi modificado pela erosão atuante, tornando-se o gradiente mais suave, dando lugar à predominância da rebentação progressiva.

10 — A ocorrência de valores bimodais nos sedimentos das praias significa a ação simultânea de dois agentes transportadores, no caso, as ondas e os ventos.

11 — O valor médio dos grãos dos sedimentos está na dependência direta dos níveis de energia. Há sempre concentração de sedimentos mais grossos na zona de rebentação.

12 — A seleção progressiva das areias na praia do Futuro revela o sentido do transporte litorâneo, com os valores correspondentes a muito bem selecionados, a barlamar do molhe de retenção.

13 — Há uma associação perfeita entre os valores de curtose e seleção dos sedimentos. O ponto mais alto de valores leptocúrticos é exatamente onde há maior concentração em uma só classe modal.

14 — Os valores mesocúrticos que predominam nas praias podem indicar as áreas de turbulência pelos ventos e pelas ondas.

15 — A praia do Futuro não atingiu o equilíbrio hidrodinâmico-sedimentológico, e a tendência é acumular areia cada vez mais.

16 — A migração da embocadura do rio Ceará que se fazia regularmente, ou seja, seguindo os processos clássicos de sedimentação em embocaduras, mudou totalmente após a construção do quebra-mar na sua margem leste. Um novo canal de escoamento do rio foi formado. Uma barra submersa formou-se ao largo servindo, no momento, como ponte para a continuidade parcial do transporte litorâneo atual.

As correntes de maré e o escoamento do rio forçaram a passagem deste novo canal e a restinga formada pela migração antiga daquela embocadura deslocou-se indo sedimentar-se na margem interna do estuário. Esta situação foi criada pelo transporte dos sedimentos que faziam parte do "spit" existente antes do quebra-mar.

Com a edificação do quebra-mar e conseqüente ataque frontal das ondas na praia dos Dois Coqueiros, houve a remoção da capa arenosa que recobria um nível de rochas de praia, produzindo subsequentemente forte erosão. Com a formação de barras submersas, estes efeitos de erosão tenderão a diminuir gradativamente.

17 — Vários ciclos de migração foram determinados na embocadura do rio Cocó. Como as praias adjacentes estão sujeitas ao intenso movimento litorâneo de sedimentos, os ciclos continuarão a se processar.

18 — O rio Pacoti sofreu intensos ciclos de migração na sua embocadura, justamente por ser o rio situado mais a montante do transporte litorâneo, não havendo nenhum obstáculo natural ou artificial que possa impedir, pelo menos parcialmente, este transporte. No momento, está em fase inicial uma nova migração, e duas restingas coexistem em margens opostas. Uma delas a de oeste, abriga um braço morto do rio, e foi rapidamente colonizada pela vegetação.

## AGRADECIMENTO

Agradecemos aos estagiários da Divisão de Oceanografia Abiótica do Laboratório de Ciências do Mar, pelo processa-

mento mecânico de análise granulométrica dos sedimentos estudados neste trabalho.

## SUMMARY

*English title:* Aspects of the sediment transport on the littoral of Fortaleza, Ceará State, Brazil.

Fortaleza, the capital of Ceará State, Northeastern Brazil, lies between latitudes 3°38'S and 3°49'S and longitudes 38°20'W and 38°39'W on the fringe of the Atlantic Ocean. Its littoral has undergone a strong pattern of sedimentation and erosion as a consequence of the presence of dunes, trade winds and geomorphological and hydrodynamic framework.

This work defines the textural aspects of the sediments, the principal types of transport and the migration of the mouth of three short-course rivers, which are the boundaries of the studied area.

The analysis of the above mentioned data led us to conclude that:

The principal kind of sediment transport is longitudinal westward; in some places the frontal action of waves promotes erosion and transport seaward. The presence of break-waters along the coast obstacularized the transport of sediments, causing their accumulation at its inside part. There is a fundamental modification on the migration of Ceará River's mouth since the building of a break-water on its eastern margin. This was the source of all damage now in process as erosion in the western side of the city. Some migration cycles of sediment transport have been determined at the mouth of Cocó and Pacoti Rivers. The statistical parameters clearly correlate the direction and transport of sediments.

## BIBLIOGRAFIA

Duane, D. B. — 1967 — Significance of skewness in recent sediments western Pamlico sound, North Carolina. *Jour. Sedim. Petr.*, Washington, 34 : 864 — 874, 5 figs.

Folk, R. L. — 1957 — *Petrology of sedimentary rocks* (xerox das páginas 25 a 49).

Folk, R. L. & W. C. Ward — 1957 — Brazos river bar. A study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sedim. Petr.*, Washington, 27 : 3 — 27.

Friedman, G. M. — 1961 — Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *Jour. Sedim. Petr.*, Washington, 31 : 514 — 529, illus.

Friedman, G. M. — 1962 — Sorting, sorting coefficient and the lognormality of the grain size distribution of sandstone. *Jour. Geology*, 70 : 737 — 753, illus.

Hails, J. R. — 1967 — Significance of statistical parameters for distinguishing sedimentary

environment in New South Wales, Australia. *Jour. Sedim. Petr.*, Washington, 37 : 1059 — 1069, 9 figs.

Mason, C. G. & R. L. Folk — 1958 — Differentiation of beach, dune and aeolian flat environment by size analysis, Mustang Island, Texas. *Jour. Sedim. Petr.*, Washington, 28 : 211 — 226, illus.

Occhipinti, A. G. — 1976 — *Sistema de coleta, transporte e disposição final dos esgotos de Fortaleza*. Relatório R.2 — 12 capítulos + anexos, Fortaleza.

Russel, R. D. — 1939 — Effects of transportation of sedimentary particles. In : *Recent Marine Sediments*, Am Assoc. Petroleum Geologist, pp. 32 — 47, Tulsa.