

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA E CARACTERIZAÇÃO DA PLATAFORMA
CONTINENTAL INTERNA ADJACENTE À CIDADE DO RECIFE – PE**

MARIA DAS NEVES GREGÓRIO

**RECIFE
Julho de 2009**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

**EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA E CARACTERIZAÇÃO DA PLATAFORMA
CONTINENTAL INTERNA ADJACENTE À CIDADE DO RECIFE – PE**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor pelo programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Tereza Cristina M. de Araújo.

RECIFE
Julho de 2009

G821e

Gregório, Maria das Neves

Evolução da linha de costa e caracterização da plataforma continental interna adjacente à Cidade do Recife – PE / Maria das Neves Gregório. – Recife: O Autor, 2009.

xvii, 173 f.; il., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2009.

Inclui Referências Bibliográficas e Anexo.

1. Oceanografia. 2. Sedimentos. 3. Morfologia. 4. Linha de Costa. 5. Plataforma Continental. 6. Datação. I. Título.

551.46

CDD (22.ed.)

**UFPE
BCTG/2009-178**

**EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA E CARACTERIZAÇÃO DA
PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA ADJACENTE À CIDADE DO
RECIFE – PE**

MARIA DAS NEVES GREGÓRIO

Tese defendida e aprovada pela Banca Examinadora em 13. 07. 2009

Examinadores



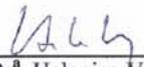
Prof.^a. Dr.^a. Tereza C. Medeiros de Araújo
Dept. de Oceanografia – UFPE



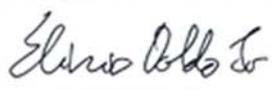
Prof.^a. Dr.^a. Carmen Medeiros Limongi
Dept. de Oceanografia – UFPE



Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso
Dept. de Geologia – UFPE



Prof.^a. Dr.^a. Helenice Vital
Dept. de Geologia – UFRN



Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr.
Centro de Estudos Costeiros e Oceânicos - UFRGS

“Na canção da correnteza o rio ressoa na
alegre certeza, de que em breve será oceano.”

Rabindranat Pagore

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, por todas as oportunidades a mim concedidas.

A todos, que de alguma forma fizeram parte de uma grande equipe para a investigação e realização deste trabalho.

A minha família, que sem eles, não saberia aproveitar essa grande oportunidade, pelo apoio em todos os sentidos, principalmente a minha mãe Maria Francisca Gregório, minha irmã Maria de Fátima Gregório Ribeiro, seu esposo Paulo Roberto e ao meu irmão Francisco Heriberto, pelo apoio a minha ausência durante a minha estada na Alemanha.

À Prof^a. Dr^a. Tereza C. M. de Araújo pelos momentos de sabedoria e por sempre apoiar as minhas idéias.

A todos os professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Oceanografia da UFPE, principalmente a seu Hermes Ferreira, pelas viagens a campo.

Ao prof. Dr. Karl Stattegger e ao Dr. Maximiliano Michelli, do Geologisch-Paläontologisches Institut, da Christian-Albrechts-Universität zu Kiel – Alemanha.

A Prof. Dr^o Valdir Manso pelo empréstimo dos seus trabalhos.

Aos amigos do Laboratório de Oceanografia Geológica, Antônio Vicente, Thiago Figueiredo, Valdir, Mirella, Filipe, Daniele, Patrícia, Lucas e Flávia pela colaboração nos trabalhos de campo. Aos amigos Héliida Karla e Icleiber Nascimento.

Aos amigos Dr. César Peixoto da UFAL, Dr. Jaime Francisco Mendonça, ao mestrando Flávio Antão e Rafael Mendonça do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE.

Ao prof. Dr. Valdomiro S. Souza Jr. e ao Dr. Milton César C. Campos do Dept. Agronomia – UFRPE, pela colaboração nas análises dos sedimentos finos.

Ao amigo Roberto Souza pelas aulas de ArcGis.

À Diretora Magali Cavalcanti e aos meus amigos da Esc. Gov. Barbosa Lima, especialmente aos profs. Demisson Fernando de Vasconcelos, Maria da Paz dos Santos, Flávia Andrade e Cleudson V. Alves de Souza.

A Alba Medeiros, do Setor de Recursos Humanos do Dept. Pessoal do Estado de PE.

A FACEPE-CAPES pela Bolsa de Doutorado e a CAPES-DAAD pela Bolsa Sanduíche, na Alemanha.

Ao projeto MAI (FINEP/FADE/UFPE), pelo financiamento de parte dos trabalhos de campo.

EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA E CARACTERIZAÇÃO DA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA ADJACENTE À CIDADE DO RECIFE – PE

RESUMO

As praias da Boa Viagem e do Pina, localizadas na cidade do Recife-PE, são praias urbanas de grande importância econômica local e regional. Apresentam uma extensão de 8 km, e desde a última década apresentam problemas de erosão marinha. Este trabalho tem como objetivo reconstruir a evolução holocênica da zona costeira e da plataforma continental interna, bem como avaliar a implicação desta evolução na erosão da linha de costa. Esta reconstrução foi realizada através da análise da variabilidade do perfil do ambiente praiial, da determinação da morfologia (topografia e batimetria) da plataforma continental interna, da evolução espaço temporal da linha de costa, dos parâmetros sedimentológicos, bem como da análise e datação dos *beachrocks*. Os perfis praiiais apresentaram suas variações morfológicas em diferentes períodos sazonais, e as maiores variações foram observadas nos perfis ao norte e ao sul da área de estudo (perfis 1, 4A, 4B e 5). Os perfis 2 e 3 apresentaram balanço sedimentar positivo (+2.18 m³/m e +3.8 m³/m), e estão localizados na parte central da área de estudo. Em relação à evolução da linha de costa, o setor norte mostrou as maiores taxas de progradação, e esta vai diminuindo em direção ao centro da área. Na região norte e sul, são encontradas as maiores taxas de retração, de -1.84 e -1.61. Nos sedimentos do ambiente praiial e da plataforma continental interna, as maiores diferenças foram observadas no tamanho médio do grão, na assimetria e na curtose. Predominam areias finas, e na plataforma continental foi encontrada areia mais grossa em direção *offshore*. Os perfis topobatimétricos apresentaram uma morfologia acidentada, com a presença de um canal e um corpo contínuo de *beachrock*. O canal tem em média 6.40 m de profundidade e 437 m. de largura, e o *beachrock*, 1285 m de largura. O *beachrock* está servindo de barreira ao longo da área, impedindo a transferência dos sedimentos em direção à praia. O mais provável é que os sedimentos observados antes do *beachrock* (*onshore*) correspondam a sedimentos relíquias. No canal, a presença de areia muito fina, indica que o ambiente não tem energia suficiente para mover este tamanho de grão, como também, não tem energia suficiente para mover a areia muito grossa da parte externa do *beachrock*, e transportá-la para dentro do canal. Ao sul, o canal e o *beachrock* apresentam-se mais distante em relação à linha de costa, o que pode significar que o processo erosivo atua na área há muito tempo. O cimento observado nos

beachrocks próximo à praia é constituído de Mg calcita (High-Magnesium calcite), originado no ambiente marinho. As idades destas feições variam entre 4482-6525 cal anos AP, o que confirma sua formação durante o período do Holoceno Médio, e representam um nível do mar mais alto do que o atual. A formação dos *beachrocks* causa impactos diretos na evolução da costa, incluindo a redução do volume de sedimentos e mudança na morfologia costeira. A associação dos *beachrocks* com a retração da costa sugere que a maior parte da linha de costa está recuando para o interior do continente. A urbanização da praia da Boa Viagem deve ter contribuído para a aceleração do processo erosivo, com a ocupação do ambiente praial em alguns setores da orla. Entretanto, deve-se levar em consideração, que grande parte dessa urbanização se deu após a década de 70, período no qual, no setor sul, a linha de costa já se encontrava em retração. Esta vem sendo atenuada pela construção da obra de contenção, na década de 90. Outros fatores também devem ter contribuído para o índice de erosão na área, tais como, a falta de suprimento de sedimentos, já que a plataforma do nordeste brasileiro recebe sedimentos quase que exclusivamente do retrabalhamento *in situ*, ou seja, de depósitos relíquias.

Palavras Chaves: Sedimentos, morfologia, linha de costa, plataforma continental, datação

THE COASTAL LINE EVOLUTION AND THE CHARACTERIZATION OF THE INNER CONTINENTAL SHELF ADJACENT OF RECIFE (PE) BRAZIL

ABSTRACT

The beaches of Boa Viagem and Pina, located in the city of Recife-PE, are urban beaches of great local and regional economical importance. With an extension of 8 km, they have presented, since the last decade, problems of marine erosion. The objective of this study is to reconstruct the Holocene evolution of the coastal zone and internal continental platform, as well as to evaluate the implications of this evolution on erosion of the coast line. This reconstruction was done through the analysis of the variability of the beach environment profile; determination of the morphology (topography and bathymetry) of the internal continental platform; time space evolution of the coast line; sedimentological parameters, as well as analysis and dating of the beachrocks. The beach profiles presented their morphological variations in different seasonal periods, and the variations were observed in the profiles to the North and to the South of the area of study (profiles 1, 4A, 4B and 5). Profiles 2 and 3 present a positive sedimentary budget (+2.18 m³/m and +3.8 m³/m), and are located in the central part of the study area. In relation to the evolution of the coast line, the northern section showed the highest rates of progradation, and this diminishes in the direction of the center of the area. The highest rates of retraction are found in the north and south region of -1.84 and -1.61. In the sediments of the beach environment and internal continental platform, the differences were observed in the mean size of the grain, in the asymmetry and kurtosis. Fine sands are predominant and in the continental platform coarser grained sands were found in the offshore direction. The bathymetrical profiles presented uneven morphology, with the presence of a channel and a corpus continuo of beachrock. The channel has a medium depth of 6.40 m and width of 437 m and beachrock with a 1285 m width. The beachrock presently serves as a barrier along the area, preventing the transfer of sediment in the direction of the beach. It is most likely that the observed sediments prior to the beachrock (*onshore*) correspond to remnant sediments. In the channel the presence of very fine sand indicates that the environment does not have sufficient energy to move this size of grain. It also doesn't have sufficient energy to move coarse grain in the external part of the beachrock, and transport it inside the canal. To the south the channel and the beachrock present themselves more distant in relation to the coast line, which can mean that the erosive process has been

acting in the area for a long time. The cement observed in the *beachrocks* near the beach, is constituted of Mg calcite (High-Magnesium calcite), originated in the marine environment. The ages of these features vary from 4482-6525 cal years AP, which confirms its formation during the Middle Holocene, and represents a higher sea level than the present. The formation of *beachrocks* causes direct impact in the evolution of the coast, including the reduction in the volume of sediments and changes in the coastal morphology. The association of *beachrocks* and coast retraction suggests that the largest part of the coast line is receding to the interior of the continent. The urbanization of the Boa Viagem beach must have contributed to the acceleration of the erosive process, with the occupation of the beach environment in some of the sections of the coast. But we should consider that great part of the urbanization took place after the 1970's, a period in which, in the southern section, the coast line was already in retraction. This has been attenuated by the construction of contention structures in the 1990's. Other factors have also contributed to the rate of erosion in the area, such as, lack of sediment budget, given that the platform of the Brazilian northeast receives sediments almost exclusively from reworked *in situ*, that is, from relicts deposits.

Key words: Sediments, morphology, coast line, continental shelf, dating.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABELAS	XVI
LISTA DE FOTOGRAFIAS	XVII
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
Apresentação	1
Objetivo Geral	3
Objetivos Específicos	3
Justificativa	4
Erosão em Boa Viagem	5
Apresentação da Tese	9
CAPÍTULO 2 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	10
Plataforma Continental	10
O Período Quaternário (Pleistoceno – Holoceno)	11
Variações do Nível do Mar	12
Métodos de Datação	13
Radiocarbono	14
CAPÍTULO 3 - ÁREA DE ESTUDO	16
Localização	16
Geologia e Geomorfologia	17
Clima	24
Hidrodinâmica	24

CAPÍTULO 4 - INTERANNUAL MORPHOLOGICAL CHANGES OF BOA VIAGEM BEACH- NORTHEAST COAST OF BRAZIL	28
Abstract	28
Introduction	29
Study Area	30
Methods	32
Beach Environment	32
Morphology	33
Sedimentary Volume	38
Discussion	45
Conclusions	48
Acknowledgments	49
References	50
CAPÍTULO 5 - EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA LINHA DE COSTA DA CIDADE DO RECIFE, NORDESTE DO BRASIL	55
Resumo	55
Introdução	55
Métodos	59
Linha de Costa	59
Discussão	68
Conclusões	73
Agradecimentos	74
Referências	75
CAPÍTULO 6 - RELAÇÕES ENTRE PADRÕES SEDIMENTOLÓGICOS E MORFOLÓGICOS DO AMBIENTE PRAIAL E DA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA DO MUNICÍPIO DO RECIFE - PE	80
Resumo	80
Introdução	80
Métodos	82
Sedimentos	89
Topografia e Batimetria	103
Discussão	112
Conclusões	118

Agradecimentos	120
Referências	121
CAPÍTULO 7 - ESTUDOS DOS <i>BEACHROCKS</i> DA COSTA DO NE DO BRASIL	124
Resumo	124
Introdução	124
Métodos	128
<i>Beachrocks:</i>	129
Sedimentos	135
Idade dos <i>Beachrocks</i>	136
Discussão	137
Conclusões	142
Agradecimentos	143
Referências	144
CAPÍTULO 8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	149
REFERÊNCIAS	156
ANEXO 1	162

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 3

- Figura 1 Localização da área de estudo 16
- Figura 2 Mapa geológico da cidade do Recife (Fonte: Alheiros *et al.*, 1995) 20

CAPÍTULO 4

- Figura 1 Location of the study area and monitored profiles. 30
- Figura 2 Monthly averages for the Recife station: A – rainfall precipitation (mm). B – Velocity ($m.s^{-1}$) and direction of winds. 31
- Figura 3 Morphological variations in profiles: A – profile 1. B – profile 2. C – profile 3. D – profile 4^a. E – profile 4B. F – profile 5, with representation of the most significant months. 35
- Figura 4 Volumetric variations in profile 1. 38
- Figura 5 Volumetric variations in profile 2. 39
- Figura 6 Volumetric variations in profile 3. 40
- Figura 7 Volumetric variations in profile 4A. 41
- Figura 8 Volumetric variations in profile 4B. 42
- Figura 9 Volumetric variations in profile 5. 43
- Figura 10 Histograms: A – Profile 1. B - profile 2. C- profile 3. D - profile 4A. E - profile 4B. F - profile 5. 44
- Figura 11 A – Correlation between profiles 2 and 1. B – between profiles 3 and 2. C – between profiles 4A and 3. D – between profiles 4B e 3. E – between profiles 5 and 4B. F – between profiles 5 and 4B. 45

CAPÍTULO 5

- Figura 1 Localização da área de estudo. 58
- Figura 2 Linhas de costa para os anos de 1960, 1981, 1997 e 2008 nos Setores A, B, C e D. 61
- Figura 3 Linhas de Costa para os anos de 1960, 1981, 1997 e 2008, no Setor A. 62
- Figura 4 Linhas de Costa para os anos de 1960, 1981, 1997 e 2008 no Setor B. 64

Figura 5	Linhas de Costa para os anos de 1961, 1981, 1997 e 2007 no Setor C.	66
Figura 6	Linhas de Costa para os anos de 1960, 1981, 1997 e 2008 no Setor D.	67
CAPÍTULO 6		
Figura 1	Localização da área de estudo.	82
Figura 2	Localização das amostras das regiões da pós-praia (PP), face da praia (P).	84
Figura 3	Localização das amostras da plataforma continental interna.	85
Figura 4	Distribuição dos perfis topobatimétricos.	88
Figura 5	Histogramas do tamanho médio dos grãos das regiões: A - pós-praia; B - face da Praia; C – plataforma continental interna.	89
Figura 6	Distribuição dos valores do tamanho médio do grão na região da pós-praia, face da praia e plataforma continental interna.	90
Figura 7	Histograma dos valores de seleção dos grãos das regiões: A - pós-praia; B - face da praia; C – plataforma continental interna.	95
Figura 8	Distribuição dos valores de selecionamento dos grãos das regiões da pós-praia, face da praia e plataforma continental interna.	96
Figura 9	Valores de assimetria dos sedimentos das regiões: A pós-praia; B - face da praia; C - plataforma continental.	97
Figura 10	Distribuição dos valores de assimetria dos grãos da pós-praia, face da praia e plataforma continental interna.	98
Figura 11	Valores de curtose dos sedimentos das regiões: A - da pós-praia, B - face da praia, C - plataforma continental interna.	99
Figura 12	Distribuição dos valores de curtose das regiões pós-praia, face da praia e plataforma continental interna.	100
Figura 13	Valores no teor de carbonato das regiões: A - da pós-praia, B - face da praia, C - plataforma continental interna.	101
Figura 14	Distribuição dos valores de carbonato de cálcio das regiões da pós-praia, face da praia e plataforma continental interna.	102
Figura 15	Modelo digital do terreno, litoral da cidade do Recife.	104
Figura 16	Perfis batimétricos 1 e 4 no Setor A, e localização das amostras de sedimentos.	105
Figura 17	Perfis batimétricos e topográficos 9 e 12 no Setor A, e localização das amostras de sedimentos.	106

Figura 18	Perfis batimétricos e topográficos 17 e 24 no Setor B, e localização das amostras de sedimentos.	107
Figura 19	Perfis batimétricos e topográficos 25 e 27 localizados no Setor B, e localização das amostras de sedimentos.	108
Figura 20	Perfis batimétricos e topográficos 30 e 35 no Setor C, e localização das amostras de sedimentos.	110
Figura 21	Perfis batimétricos e topográficos 38 e 40 localizados no Setor C da plataforma continental interna.	111

CAPÍTULO 7

Figura 1	Localização da área de estudo e pontos de coletas.	127
Figura 2	A; 1 - cimento micrita, B: 1 – cimento Mg calcita esparítica em torno dos grãos de quartzo; C: 1 - grãos de quartzo subarredondados; D - grãos de quartzo maiores; F - grão bioclástico, e grãos de quartzo subangulosos; G - grão de quartzo com cimento micrita envelope e franja de cristal isópaca.	132
Figura 3	A: 1 - foraminífero, 2 - cimento micrita; B: 1 - alga calcária, 2 - grão de quartzo, com franja de cristal isópaca; C: 1 - grão bioclástico e franja de cristal isópaca; D: 1 - grão de bioclástico e franja de cristal isópaca; E: 1 - fragmento de rocha, F: 1 - fragmento de feldspato, 2 - grão de quartzo e franja de cristal isópaca.	133

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 4

Tabela 1	Table 1. Statistical results for the volumetric variation of profiles	43
Tabela 2	Table 2. Results of Pearson's correlation between profiles	44

CAPÍTULO 5

Tabela 1	Resultados das taxas de evolução da linha de costa dos setores A, B, C e D, para os anos de 1960, 1974, 1981, 1997 e 2008	60
Tabela 2	Resultados estatísticos das distâncias nos transectos nos setores A, B, C e D, para os anos de 1960, 1974, 1981, 1997 e 2008	63
Tabela 3	Correlação de Spearman, entre os setores A, B, C e D	68

CAPÍTULO 6

Tabela 1	Características dos sedimentos na pós-praia	89
Tabela 2	Características dos sedimentos da face da praia	91
Tabela 3	Características dos sedimentos da plataforma continental interna	93
	Características dos sedimentos da plataforma continental interna	94
Tabela 4	Amostras constituídas de silte grosso e areia muito fina	94

CAPÍTULO 7

Tabela 1	Localização e altura das amostras dos <i>beachrocks</i>	130
Tabela 2	MgCO ₃ mol% e $\delta^{13}\text{C}$ da praia da Boa Viagem	134
Tabela 3	Localização e composição dos sedimentos inconsolidados próximos aos <i>beachrocks</i>	135
Tabela 4	Idades das amostras dos <i>beachrocks</i> das praias do Pina e da Boa Viagem	137

LISTA DE FOTOGRAFIAS

CAPÍTULO 1

Foto 1	As praias do Pina e da Boa Viagem, apresentam ao norte um ambiente praias desenvolvido.	7
Foto 2	Obra de contenção do tipo enrocamento aderente, ao sul da praia da Boa Viagem (CPRH, 2006).	7
Foto 3	Expansão do processo erosivo ao norte da Praça de Boa Viagem (CPRH, 2006).	8
Foto 4	Expansão do processo erosivo ao norte da Praça de Boa Viagem (Foto do autor, 2008).	8
Foto 5	Manutenção da obra de contenção, na praia da Boa Viagem, 2008 (Foto do autor, 2008).	9

CAPÍTULO 3

Foto 1	Vista área dos recifes de arenito, em frente ao Hotel Recife Palace, no nº 4070 da Avenida Boa Viagem (Foto do autor, 2004).	23
Foto 2	Recifes de arenitos ou <i>beachrocks</i> , em frente ao Hotel Internacional Palace, no nº 3722 da Avenida Boa Viagem (Foto do autor, 2004).	23

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

APRESENTAÇÃO

As zonas costeiras representam um sistema economicamente produtivo, e se caracterizam pela complexidade das atividades que abrigam, bem como pela sensibilidade de seus ecossistemas. Dentre as atividades humanas, pode-se citar a pesca comercial e recreativa, a maricultura, o transporte marítimo, os esportes aquáticos ou terminais portuários, as indústrias de pesca e o turismo.

Os ecossistemas costeiros são sistemas “naturais e/ou artificiais limitados por um espaço físico, onde interagem fatores terrestres e oceanográficos, sendo estes, bióticos (biológicos), abióticos (físicos, químicos, geológicos), caracterizando determinadas estruturas e funções”. Essa interação varia de acordo com a extensão das bacias hidrográficas, coletoras de sedimentos, e com as condições oceanográficas que regulam a influência dos oceanos nesses ecossistemas. Portanto, incluem-se na definição de zona costeira, as áreas contidas nas bacias hidrográficas que a afetam, e a extensão marinha até a quebra da plataforma continental ou até a Zona Economicamente Ativa (CNIO, 1998).

As praias são ambientes costeiros utilizadas para recreação popular, pesca e comércio. O crescimento da população nesta região resulta na exploração e degradação destes ambientes (Pereira *et al.*, 2003). As praias, além de ser uma importante fonte de renda, e têm como principal função a proteção da costa. Mas, quando esta função é alterada por ação natural ou antrópica, representa um grande desafio para a manutenção do equilíbrio da praia, e assim, conter a erosão marinha.

Os processos costeiros correspondem à ação dos agentes que provocam erosão, transporte e deposição dos sedimentos, e levam a constantes modificações na configuração da costa (Muehe, 2003). Entre as causas naturais de erosão que afetam os ecossistemas costeiros, está o aumento relativo nível do mar, e este dependerá de alguns fatores, como por exemplo, os períodos glaciais, a fusão do gelo em épocas de climas quentes, e a elevação da superfície da terra resultante do ajustamento isostático (Weyl, 1970). Dados estimativos realizados por Gornitz (1992) constataam que, de acordo com a média global durante os últimos cem anos, o nível do mar apresenta uma subida de apenas 1,0 - 2,0 mm por ano.

Com relação às mudanças das zonas costeiras causadas por interferência antrópica estão: a construção de represas, que retêm o deslocamento dos sedimentos, a exploração de dunas frontais, a ocupação da região da pós-praia, aterros e construções de portos que aceleram o processo de erosão.

Na linha de costa do Brasil, vários lugares apresentam evidências de erosão marinha, como por exemplo, em Canavieiras, na praia do Atalaia no Sul da Bahia; no delta do rio Paraíba do Sul, também são encontrados sinais de instabilidade no sistema de cordões litorâneos entre o Rio de Janeiro e Cabo Frio; em Santa Catarina, o afloramento de turfas na praia de Moçambique é um indicador de retrogradação da linha de costa; e em Pernambuco, há evidências entre o Cabo de Santo Agostinho e a Ilha de Itamaracá (Muehe, 1998). No Estado de Pernambuco, nos municípios de Itamaracá (praia do Pilar), Paulista (Maria Farinha), Olinda (praias do Janga, e Casa Caiada), Recife (Boa Viagem), Jaboatão dos Guararapes (praias de Piedade, Candeias e Barras das Jangadas), Cabo (praias de Gaibu, Suape), há registros de erosão marinha, variando de moderada a severa (Manso *et al.*, 1995).

A costa tem sido ao longo do tempo, objeto de progressiva degradação. Trabalhos realizados no porto do Recife, localizado cerca de 10 km ao sul da cidade de Olinda, resultou numa severa erosão costeira na cidade de Olinda, onde foram construídos quebra mares e espigões para conter o avanço do mar. O problema mais sério fica em Bairro Novo, onde espigões foram construídos desde a década de 50, e não conseguem mais conter a ação das ondas (Pereira *et al.*, 2003).

Obras de contenção de erosão marinha, no sentido *offshore*, têm sido utilizadas para controle do avanço da linha de costa em muitas partes do mundo. O monitoramento da costa por longo período em locais com estruturas de contenção mostra que, freqüentemente há efeitos adversos no ambiente, bem como em áreas adjacentes da costa (Hamm *et al.*, 2002). Na Inglaterra (oeste de Anglia), desde o ano de 1996 perfis de praia têm sido medidos, em áreas mais afetadas pela presença de obras de contenção da energia das ondas (Thomalla *et al.*, 2003). Este estudo mostrou, também, efeitos adversos ao ambiente.

Há cinco anos, o Laboratório de Geofísica e Geologia Marinha da Universidade Federal de Pernambuco constatou que 1/3 dos 187 km da costa pernambucana estavam ameaçadas pelo avanço do mar. Nas praias de Candeias, no município de Jaboatão dos Guararapes, estão sendo construídos recifes artificiais e a colocação de sedimentos para a realimentação da praia, e o trecho localizado entre a Praça de Boa Viagem e a praia de Piedade apresenta obras de contenção marinha (Gregório, 2004).

O método tradicional de proteção costeira tem sido a construção de estruturas rígidas como os *groins*, quebra-mares, *seawalls* e outros. Às vezes eles são destruídos, e todos requerem um constante processo de manutenção. Esta construção requer um alto custo e alguns dos métodos de proteção, apenas deslocam o problema para outro local. Na praia da Boa Viagem há estrutura rígida, do tipo enrocamento, que protege cerca de 2 km (Souza, 2004). A prefeitura também construiu uma avenida à beira mar no primeiro semestre de 2004, no bairro de Brasília Teimosa, com um muro de arrimo em cima dos recifes, protegido por matacões de granitos, onde antes existiam construções populacionais de baixa renda, do tipo palafitas.

OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral reconstruir a evolução holocênica da zona costeira e da plataforma continental interna adjacente à cidade do Recife – PE, e avaliar a implicação desta evolução na erosão da linha de costa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- O estudo da variabilidade do perfil do ambiente praial, para a verificação do estado erosivo e/ou deposicional das praias do Pina e da Boa Viagem.
- Determinar a evolução multi-temporal e espacial da linha de costa, ao longo de 48 anos, através do cálculo da variação da progradação e retração da linha de costa dos anos de 1960, 1974, 1981, 1997 e 2008.
- Analisar e comparar as características dos sedimentos e a morfologia, nas relações entre o ambiente praial (pós-praia e face da praia) e a plataforma continental interna, bem como a influência dessa morfologia na distribuição e características dos sedimentos.
- Analisar as amostras dos *beachrocks*, bem como datações dos mesmos e sedimentos do ambiente praial e os da plataforma continental interna, a fim de obter uma relação entre os respectivos ambientes e a formação dos *beachrocks*.

JUSTIFICATIVA

Entre a linha de costa e a plataforma continental interna propriamente dita, se estende uma zona de transição, cujo gradiente batimétrico aumenta em direção à costa, e engloba a faixa de variação topográfica do perfil de praia submarino (Muhe, 2001). A plataforma continental interna é formada por um delicado equilíbrio de grande importância econômica e ambiental, constituindo uma fonte de sedimentos para a manutenção das praias. Entender este equilíbrio é de fundamental importância para o gerenciamento das zonas costeiras.

Segundo Guerra e Manso, (2004), os *beachrocks* representam uma característica do litoral Pernambucano, e correspondem à areia de praia cimentada, compostos do mesmo sedimento que forma a areia de praia circunvizinha. As relações da praia e da pós-praia, com os *beachrocks*, são muito importantes, em razão destas zonas funcionarem como fonte dos sedimentos que serão cimentados e dos que serão incorporados aos já formados, além de poderem auxiliar na compreensão da evolução da costa.

Os *beachrocks* são considerados bons indicadores de variação do nível do mar, pois se formam na linha d'água (Badyukov, 1986 apud Hopley, 1986). A presença de *beachrocks* ao longo da costa representa um período de estabilidade do nível do mar. Segundo Angulo *et al.*, (2003), os materiais datados através do método do ^{14}C são diversos, tais como conchas de moluscos, tubos de vermitídeos, algas calcárias, brizoários, e são uma ferramenta fundamental na determinação de paleoníveis marinhos.

As praias da Boa Viagem e do Pina são praias urbanas de extrema importância econômica local e regional, já que ambas abrigam uma rede de hotéis, dando também oportunidade para o desenvolvimento da economia informal. Estas, além de fornecerem proteção ao litoral sul da cidade de Recife, são um ambiente turístico, representando o principal cartão postal da nossa cidade, sendo utilizadas para lazer, competição esportiva e atividades culturais. Entretanto, da última década até o presente momento, vêm apresentando problemas ambientais, como o processo de erosão marinha, principalmente no trecho entre a Praça de Boa Viagem e o limite sul (Foto1) com a Praia de Piedade (Jaboatão dos Guararapes). Este processo de erosão foi estudado durante um ano, para apresentação da dissertação de mestrado, sob o título “Sedimentologia e Morfologia das Praias do Pina e da Boa Viagem”, Gregório (2004). Como resultado, foi constatada uma tendência erosiva em vários pontos analisados: próximo ao norte da Praça de Boa Viagem (perfil 04), ao sul do enrocamento (perfil 05), no extremo sul da área e no extremo norte da área, na praia do Pina

(perfil 01). Portanto, vê-se necessário dar continuidade ao trabalho que estava sendo realizado, pois o referido ambiente sofrerá intervenções por parte da Prefeitura da Cidade do Recife, no trecho entre a Praça de Boa Viagem e limite sul da cidade. Também, já existem modificações ao norte da área de estudo, com a retirada das palafitas na parte praial do Bairro de Brasília Teimosa, e a construção de uma avenida sobre o mesmo ambiente, que foi realizada no 1º semestre de 2004. A necessidade do conhecimento da plataforma interna é justificada, pelo fato de que é nesta faixa que ocorre o fechamento do perfil praial.

EROSÃO EM BOA VIAGEM

As praias são ambientes muito dinâmicos e sensíveis, que expressão muitas funções, entre elas, proteção para os ecossistemas costeiros e as atividades urbanas, recreação, turismo e habitat para várias espécies animais e vegetais (Souza *et al.*, 2005). A erosão costeira é um processo que ocorre ao longo da linha de costa, atingindo promontórios, costões arenosos, falésias e praias (erosão praial). A erosão praial é um dos processos mais importantes dos fenômenos costeiros, que se transformou em um processo emergencial na maioria das áreas costeiras do mundo, e os fatores que atuam na erosão de praia são os efeitos dos impactos humanos, através da construção de estruturas artificiais, perda de sedimentos costa afora, e redução do suprimento sedimentar originário do fundo oceânico adjacente (Suguio *et al.*, 2005).

Para Souza *et al.*, (2005), áreas com problemas de erosão costeira, apresentam problemas como: retrogradação da linha de costa nas últimas décadas; diminuição da largura da praia, em toda a sua extensão ou mais acentuadas em determinados locais; exumação e erosão de depósitos paleolagunares da costa, arenitos de praias ou terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, construção ou destruição de estruturas artificiais, erguidas sobre depósitos marinhos ou eólicos holocênicos, entre outros.

O litoral da cidade do Recife, onde se localizam as praias do Pina e da Boa Viagem, apresenta ao norte um ambiente praial desenvolvido, constituído pela região de dunas frontais, pós-praia e a face da praia desenvolvida. Entretanto, este ambiente estreita-se em direção ao sul, o qual não apresenta a região de dunas frontais, e com obras de contenção tipo enrocamento, para conter o processo erosivo, na pós-praia e face da praia (Foto 1). O litoral apresenta-se bastante urbanizado, o qual nas últimas décadas vem sofrendo um grande processo de erosão marinha, principalmente na região sul.

Segundo Silva *et al.*, (2006), na década de 70, a praia da Boa Viagem, sofreu uma grande exploração turística. E esta exploração acelerou o processo de urbanização. Sem planejamento adequado, a orla da Boa Viagem passou a ser explorada não só pela atividade turística, mas também pela atividade imobiliária, resultando na perda das características ambientais. A construção da Avenida Boa Viagem se deu em 1925, mas sua expansão ocorreu a partir do final da década de 70, com a instalação de áreas de estacionamento (Herrera, 1992).

Segundo Manso *et al.*, (2006), no mês de agosto de 1994, intensificou-se na praia da Boa Viagem um processo erosivo, devido às fortes ressacas, decorrentes dos ventos fortes o que gerou ondas maiores durante a maré de sizígia. Os mesmo autores constataram também que o processo erosivo persistia, há pelo menos, 20 anos, e que o recuo da linha de costa foi verificado desde 1974. Durante o ano de 1995, diante do processo erosivo instalado na parte sul do litoral do Recife, foi realizado um estudo sobre a erosão marinha (Manso *et al.*, 1995). Deste estudo, resultou, a implantação da obra do tipo enrocamento aderente, ao sul da praia da Boa Viagem (Foto 2). Outros estudos foram realizados no ambiente, sobre erosão costeira, como por ex: Castro e Alheiros (1994), Duarte (2002), EMLURB (EIA - 2003), EMLURB (RIMA - 2003), Gregório (2004), Manso *et al.*, (2006), Gregório e Araújo (2008).

Segundo Alheiros (1995a), desde o século passado são registrados recuos da linha de costa nas praias ao norte do Recife, que se agravaram com a construção do Porto do Recife. E depois da construção das obras de contenção, o foco de erosão foi transferido mais para o norte. A mesma autora relata que o problema passou a afetar, também, o litoral sul de Pernambuco, em faixa de áreas com grande densidade populacional, como nas praias do município de Jaboatão dos Guararapes, e faixas da praia da Boa Viagem, em Recife.

Durante o mês de agosto de 2004, ocorreu uma expansão em direção ao norte do enrocamento (Foto 3), indo além da Praça de Boa Viagem. Antes de se instalar o processo erosivo na direção norte, houve por parte da Prefeitura da cidade do Recife a colocação de sacos de areias, durante o ano de 2003 (Gregório, 2004, Gregório e Araújo, 2008). Atualmente a Prefeitura do Recife tem um custo anual de 1.5 milhões (comunicação verbal, Alves Souza, 2009) para uma constante manutenção (Foto 4), e remobilização dos blocos de granitos.



Foto 1 – As praias do Pina e da Boa Viagem, apresentam ao norte um ambiente praias desenvolvido (CPRH, 2006).



Foto 2 - Obra de contenção do tipo enrocamento aderente, ao sul da praia da Boa Viagem (CPRH, 2006).



Foto 3 - Expansão do processo erosivo ao norte da Praça de Boa Viagem (CPRH, 2006).



Foto 4 - Expansão do processo erosivo ao norte da Praça de Boa Viagem (Foto do autor, 2008).



Foto 5 – Manutenção da obra de contenção, na praia da Boa Viagem, (Foto do autor, 2008).

APRESENTAÇÃO DA TESE

#Os temas foram analisados e discutidos por capítulos. Os capítulos apresentam para cada tema específico, uma introdução, metodologia, análise do tema abordado e conclusões, bem como, as referências citadas, exceto os capítulos 1 e 2, cujas referências estão localizadas no final do trabalho. A Introdução no Capítulo 1. Capítulo 2, Considerações Gerais. Capítulo 3, Área de Estudo. Capítulo 4, as análises dos perfis topográficos. Este capítulo corresponde ao paper publicado na Revista Boletim Paranaense de Geologia (in press, no qual foram incluído os resultados de Gregório, 2004). A evolução da linha de costa encontra-se no Capítulo 5. No Capítulo 6 é analisada a interação entre os sedimentos do ambiente praiial, da plataforma continental interna e suas relações com a morfologia. Os estudos sobre os *beachrocks* estão no Capítulo 7 e a integração entre os temas estudados e as conclusões foram abordadas no Capítulo 8.

CAPÍTULO 2 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

PLATAFORMA CONTINENTAL

A plataforma continental corresponde à parte submersa do continente, representando 7,8% da superfície da terra (Araújo *et al.*, 2004). A sua evolução está ligada ao continente através da zona costeira, região na qual se realiza o intercâmbio entre os domínios continentais e marinhos. Assim sendo, a estrutura geológica, o aporte sedimentar e o clima caracterizam o tipo de costa (Manso *et al.*, 2004).

De acordo com Shepard (1973), as plataformas continentais apresentam as seguintes dimensões: a largura média é de 75 km, podendo chegar a 350 m na Antártida; sua inclinação média é de 00°07' (gradiente de 1: 500); a profundidade média é de 130 metros, com uma variação de menos de 35 até 240 metros; e a porção mais interna apresenta uma profundidade média de 60 metros.

Os principais domínios da plataforma continental são: litoral, plataforma interna, plataforma externa, e borda da plataforma (Zembruscki *et al.*, 1972). A quebra da plataforma se caracteriza por uma mudança acentuada na declividade do relevo, e marca o limite externo da plataforma continental. Estes domínios se caracterizam com base na profundidade e o nível energético que existe nelas, o qual determina por sua vez, os tipos de processos que predominam na atualidade (Maldonado e Zamarreno, 1983).

A plataforma continental interna se caracteriza pela intensificação dos processos morfodinâmicos, dissipação de energia das ondas e intensa troca de sedimentos entre a praia e a zona submarina. Sua profundidade limite varia em função do clima de ondas, situando-se comumente entre as isóbatas de 10 e 20 m (Muehe, 2001). Os fenômenos erosivos e de sedimentação marinha concentram-se na faixa de antepraia. Desta forma a morfologia, bem como a cobertura sedimentar das plataformas continentais, são relíquias dos ambientes sedimentares instalados em períodos de nível do mar baixo com um passado geológico recente (Manso *et al.*, 2004).

O PERÍODO QUATERNÁRIO (PLEISTOCENO, HOLOCENO)

A Era Cenozóica compreende os Períodos Terciário e Quaternário. O Terciário tem cerca de 63 milhões de anos, e representa a maior parte do Cenozóico, compreendendo o Paleógeno e o Neógeno. O Paleógeno divide-se em duas épocas: Paleoceno, Eoceno e Oligoceno. O Período Neógeno inclui as épocas Mioceno e Plioceno.

O Período Quaternário compreende duas épocas de duração: o Pleistoceno, com um período de 1,6 milhões de anos, e o Holoceno que inclui os últimos 10 mil anos. O Quaternário corresponde a um período com grandes variedades climáticas, e apresenta longos períodos glaciais (temperaturas muito baixa), intercalados por períodos interglaciais (temperaturas altas). Durante o Quaternário as glaciações, com cerca de 100 mil anos, se alternaram com fases de temperaturas mais quentes e de menor duração, com cerca de 20 mil anos; a mais recente começou há 100 mil anos e terminou há 12 mil anos atrás. O Quaternário é conhecido como a grande Idade do Gelo. Estudos realizados em sedimentos de fundo dos oceanos e de isótopos de oxigênio mostraram a existência de pelo menos 16 glaciações Suguio (1999).

O Holoceno corresponde ao intervalo mais bem conhecido, e o seu limite ficou estabelecido pela União Internacional de Ciências Geológicas, em $10 \text{ mil} \pm 250$ anos. A fixação do limite radiocarbono dá a possibilidade de correlação entre regiões distantes, e permite deduções de conceitos gerais sobre o Quaternário tardio (Salgado, 1998).

Segundo Suguio (1999), o Quaternário é definido bioestratigraficamente pelos conteúdos faunísticos e florísticos de formas predominantemente viventes, sendo também definido pelo surgimento do homem sobre a terra. A maioria dos animais e vegetais de seres viventes permite a possibilidade de aplicar os conhecimentos ecológicos desses seres, na reconstituição paleoambiental do Quaternário. Outra característica é que os depósitos quaternários registram freqüentemente grandes mudanças paleoambientais, ligadas principalmente aos paleoclimas e as pelecólicas de costa com importantes reflexos na biosfera.

A evolução da espécie humana e sua sobrevivência dependeram e dependerão da compreensão da natureza, que só pode ser atingida pelo conhecimento da sua estrutura e dos seus estágios evolutivos. A estrutura da natureza é um sistema complexo e dinâmico, a coexistência e a relação entre os seres animados e inanimados ocorre através de diferentes fenômenos; uma modificação parcial afeta todo conjunto. Mudanças na natureza ocorrem em escalas temporais e espaciais, em dezenas, centenas ou milhares de anos, e não é percebido

sem um estudo mais profundo, sendo necessário recorrer ao auxílio de equipamentos de precisão. O estudo do Quaternário é capaz de estabelecer um elo entre o passado geologicamente pouco remoto e o presente, e criar situações favoráveis, fornecer subsídios indispensáveis ao desenvolvimento sustentável, e um relacionamento mais harmônico do homem com a natureza (Suguio, 1999).

VARIAÇÕES DO NÍVEL DO MAR

Vários tipos de indicadores têm sido usados para reconstruir a história de nível do mar. Ao longo de quase todo o litoral brasileiro, depósitos de mangues e lagunas situados acima do nível do mar presente são evidências inquestionáveis de nível do mar mais alto. Indicadores biológicos de antigo nível incluindo vermítideos, gastrópodes, ostras, algas, algas coralinas, organismos sésseis tem uma distribuição vertical controlada pelo nível médio do mar. Indicadores arqueológicos presentes ao longo zona de linha de costa brasileira, como os sambaquis, são usados como referência na história acerca de níveis do mar passados (Martin, 2003).

Segundo Suguio (1999) evidências de níveis relativos do mar acima do nível atual, são representadas por indicadores geológicos: depósitos sedimentares, como terraços de construção marinha, situados acima do nível atual do mar; terraços de abrasão marinha, que representam superfícies erosivas sustentados por rochas mais antigas de embasamento, que podem ser sedimentares ou cristalinos; rochas praias ou *beachrocks*.

Nos últimos 6.500 anos são conhecidas várias evidências geológicas, biológicas e pré-históricas na porção central da costa brasileira de nível mais alto do que o atual durante o Holoceno. Terraços holocênicos situados entre 4 e 5 m acima do nível atual nas porções internas, exibem suave declividade rumo ao oceano, sugerindo assim, que sua construção se passou durante o rebaixamento do nível do mar (Suguio, 1999).

Segundo Suguio (1999) evidências de níveis relativos do mar mais baixo que o atual: são plataformas dissecadas por muitos paleovales escavados por antigos leitos fluviais, como as encontradas entre Torre e Chuí no Estado do Rio Grande do Sul que resultaram dos últimos eventos de transgressão e regressão posteriormente ao UMG (Último Glacial Máximo)

Na costa leste do Brasil, ocorrem numerosas planícies arenosas de cordões litorâneos, nas quais a progradação de linha de costa foi favorecida por um abaixamento de cerca de 5 m do nível relativo do mar, durante os últimos 5.000 anos (Dominguez *et al.*, 1987). Segundo

Dominguez e Bittencourt (1994), é possível identificar nessas planícies diversos sistemas de cordões litorâneos separados uns dos outros por linhas de truncamento de caráter erosivo, e que podem representar: pequenas elevações do nível do mar; mudanças na posição de desembocaduras dos rios, e mudança no sentido da deriva litorânea.

As rochas praias ou *beachrocks* são constituídas de sedimentos arenosos e ou cascalhos de antigas praias, geralmente cimentadas por CaCO_3 (Suguió, 1999). De acordo com Martin *et al.*, (1976), para que os *beachrocks* sejam avaliados como um indicador de nível marinho, deve ser levado em consideração à natureza e a sua estrutura. Quando a superfície dos *beachrocks* é praticamente horizontal e apresenta estratificações cruzada muito evidente, supõe-se que a sedimentação tenha se processado na zona do estirâncio e que o nível do mar estaria mais alto do atual; se a superfície é inclinada rumo ao mar e apresenta estratificações plano-paralelas, diz-se que a sedimentação ocorreu na parte inferior da pós-praia e que o nível do mar estaria próximo do atual (Guerra e Manso, 2004).

A formação dos *beachrocks* pode ser atribuída à recente variação do nível do mar, durante o Holoceno (Mabesoone, 1964 apud Chaves, 1996). E que este fato pode estar relacionado à formação dos *beachrocks* do Estado de Pernambuco com um evento recente de transgressão marinha (Chaves, 1996). Segundo Morais (1967/9), o *beachrock* corresponde à parte submarina da praia, rica em calcário, que pelas diversas etapas de regressão marinha se consolidou, e se formaram nas vizinhanças do lençol freático, a temperatura suficientemente alta para permitir a precipitação do carbonato de cálcio.

MÉTODOS DE DATAÇÃO

A técnica de datação relativa estabelece seqüência temporal de eventos, representadas por registros situados num contexto espacial definido, sem expressar as idades em números de anos. A datação relativa consiste entre outros, em estudos paleontológicos, geomorfológicos, arqueológicos. A datação absoluta corresponde à técnica de datação expressa em números de anos, e variam com seu alcance máximo e mínimo de anos. A datação absoluta é chamada de geocronologia, e possui vários métodos, entre eles estão: dendrocronologia, varvecronologia, termoluminescência (TL), paleomagnetismo, radiocarbono. O método radiocarbono é utilizado no Quaternário Superior, e chega a medir 70.000 anos atrás (Salgado, 1998).

RADIOCARBONO

Há mais de 50 anos foi descoberta a técnica de datação pelo carbono 14, por Willard F. Libby (Ganhador do premio Nobel de Química em 1960), cientista que em 1949 publicou um artigo na revista Science sobre a datação com radiocarbono. Três anos depois, ele registrara em seu livro “Radiocarbon Dating” baseada no carbono 14 – elemento essencial na composição dos organismos vivos.

Quando a alta atmosfera é bombardeada por radiação cósmica, o nitrogênio atmosférico, ou nitrogênio 14, é quebrado por reação com nêutrons da radiação cósmica, em isótopos instáveis de carbono. Partindo do pré-suposto que a quantidade de carbono-14 manteve-se constante nos últimos 20.000 anos (Chemello, 2004), o teor de carbono 14 também é constante nos vegetais e animais, enquanto vivos. O radiocarbono é absorvido pelos oceanos e entra na alimentação quando é absorvido pelo processo de fotossíntese, posteriormente absorvido pelas células e ossos de carbonáticos dos animais por metabolismo (http://www.ansto.gov.au/nugeo/ams/ams_Radiocarbon-dating.htm).

O ciclo do radiocarbono termina com a morte do animal e seu percentual ^{14}C começa a decrescer. Após 5.730 anos, a radioatividade cairá para a metade. Medindo a radioatividade residual do fóssil, pode-se calcular a sua idade. Porém, são necessários contadores de grande precisão, isolados da influência dos raios cósmicos que chegam constantemente à superfície da terra. (Chemello, 2004).

Na estratosfera inferior, os nêutrons produzidos pelo impacto dos átomos no ar com os raios cósmicos combinam-se com os átomos de ^{14}N desta forma:

$^{14}\text{N} + n \rightarrow ^{14}\text{C} + p$ (n = nêutrons e p = prótons); a formação do átomo ^{14}C na superfície da terra ocorre à razão de dois átomos por segundo, e desintegra-se com emissão dos raios β com meia vida de 5.730 anos, através da reação: $^{14}\text{C} \rightarrow \beta^- + ^{14}\text{N}$ (Sugio,1999).

Para que o método funcione, é necessário que a reserva de carbono na biosfera esteja em equilíbrio, que o influxo dos raios cósmico tenham sido constantes, não tenha havido perturbação na dinâmica da reserva de carbono, e que a concentração do ^{14}C na atmosfera tenha sido constante nos últimos 75.000. Devido às explosões atômicas que modificaram o equilíbrio de ^{14}C na atmosfera, as idades radiocarbônicas se referem aos números de anos antes do presente (A.P.) em que o presente é 1950 (Salgado, 1998).

Recentemente, o desenvolvimento de pesquisas CO_2 , permite que pequenas amostras (100 microgramas) de conchas possam ser datadas. Entretanto, pequenas amostras dariam

baixa precisão, devido a pequeno número de átomos a ser detectado, e por efeitos de contaminação de laboratório. O erro é relativamente grande para pequenas amostras e tem o exponencial acrescido na idade da amostra. Por causa desses erros sistemáticos, os erros são cancelados ou reduzidos através de medidas de compensação isotópica ou comparação direta com o padrão idêntico, que são freqüentemente checados (Hedges, 1991).

CAPÍTULO 3 - ÁREA DE ESTUDO

LOCALIZAÇÃO

O município do Recife está situado no Setor Médio da Costa de Pernambuco. O litoral da cidade do Recife compreende os bairros de Brasília Teimosa, Pina e Boa Viagem, e apresenta uma população de 100 mil habitantes. As praias do Pina e da Boa Viagem apresentam uma área de 57.4 hectares, com uma extensão de 8 km, (PCR, 2000). A área de estudo se encontra entre as coordenadas planas 9105000 – 9098000 N e 289000 – 293000 E (Figura 1). A área limita-se ao norte com o Bairro de Brasília Teimosa (Bacia do Pina); ao sul com a praia de Piedade (Jaboatão dos Guararapes); a leste com o Oceano Atlântico, a oeste com o Parque dos Manguezais, canal do Rio Jordão, e o Canal do Setúbal.

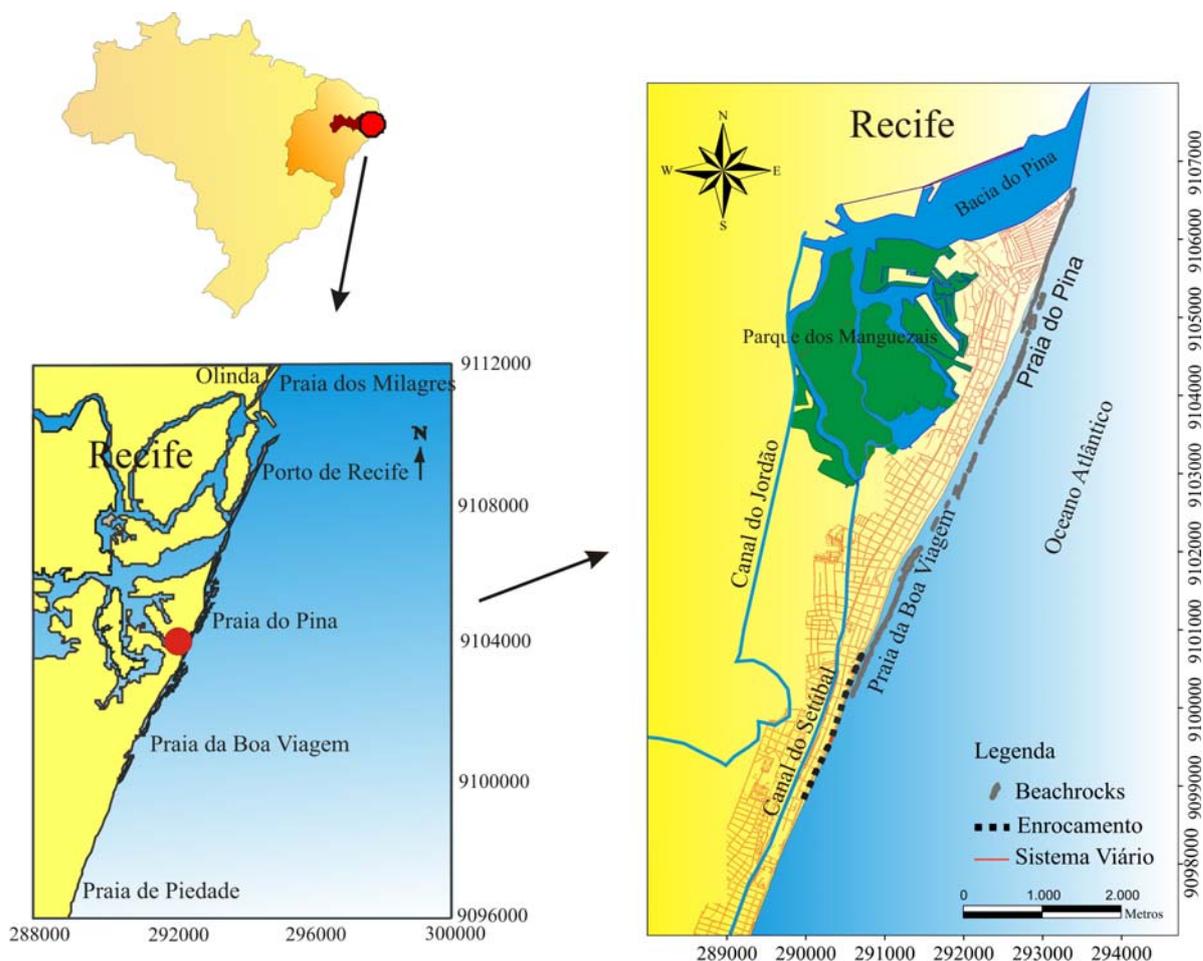


Figura 1 - Localização da Área de Estudo.

GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A costa Nordeste oriental está dividida em três macrocompartimentos: Costa dos Tabuleiros Norte, que se estende do Cabo do Calcanhar a Porto de Pedras, incluindo parte do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e parte de Alagoas; Costa dos Tabuleiros Centro, que se estende do Porto de Pedras à foz do rio São Francisco; e a Costa dos Tabuleiros Sul, que estende da foz do São Francisco a Salvador (Muehe, 2001).

O Estado de Pernambuco possui uma faixa costeira de 187 km, e está inserida no macrocompartimento, Costa dos Tabuleiros Norte, que compreende parte das Bacias Sedimentares Pernambuco-Paraíba e Cabo, separadas pelo Lineamento Pernambuco, que corta a cidade do Recife. Estas bacias são preenchidas por sedimentação mesocenozóico, representadas pelas formações Cabo, Beberibe e Gramame, de idades cretáceas, e pela Formação Barreiras do Terciário (Alheiros *et al.*, 1995b).

Segundo Coutinho *et al.*, (1997), a costa de Pernambuco divide-se em três setores: Setor Norte, situado entre Olinda e o Estado da Paraíba, onde o desenvolvimento da Formação Barreiras é responsável por uma planície estreita e pouco recortada. Setor Médio, situado entre Olinda e o Cabo de Santo Agostinho, caracterizado pela sedimentação Quaternária com maior extensão da planície costeira, principalmente no grande anfiteatro onde se situa a cidade do Recife e as restingas de Barras das Jangadas, Candeias e Brasília Teimosa. O Setor Sul, entre Cabo de Santo Agostinho e o extremo sul do Estado, caracterizado pelos sedimentos cretáceos das Formações Cabo e Estivas e as vulcânicas da Formação Ipojuca.

O setor médio da costa pernambucana apresenta terraços marinhos pleistocênicos (7 a 11 m de altitude) elaborados na penúltima transgressão marinha, e holocênicos (1 a 5 m de altitude) elaborados na última transgressão marinha. Além de depósitos de pântanos associados ao afogamento da região costeira na última transgressão; bancos de arenito que afloram em alguns trechos na face da praia ligados a níveis marinhos mais elevados; e recifes de corais de idade holocênica que se instalaram sobre os bancos de arenito submersos (Dominguez *et al.*, 1990).

A cidade do Recife apresenta quatro conjuntos de unidades geológicas, assim denominadas: Embasamento Cristalino de Idade Pré-cambriana, Bacias Sedimentares Cretáceas, Sedimentos Terciários e Sedimentos Quaternários (Alheiros *et al.*, 1995b). As rochas sedimentares são formadas pela Bacia Pernambuco-Paraíba (Barbosa *et al.*, (2003). A Bacia de Pernambuco-Paraíba é constituída por duas sub-bacias, de Pernambuco (abreviada

por SBPE e também conhecida como Bacia do Cabo, a sul) e da Paraíba (SBPB, a norte). O limite dessas sub-bacias é posicionado ao longo do extremo leste do Lineamento Pernambuco, com base na assinatura gravimétrica em offshore e nas diferenças nas colunas estratigráficas das porções emersas das mesmas (Córdoba *et al.*, 2007). Os sedimentos de cobertura são constituídos pela Formação Barreiras e sedimentos inconsolidados do Quaternário.

As praias do Pina e da Boa Viagem situam-se no ambiente litorâneo da cidade do Recife (PCR, 2000), no Setor Médio do Estado de Pernambuco. Nos bairros de Boa Viagem, Pina e Brasília Teimosa ocorrem terraços marinhos holocênicos, limitados pelas áreas de manguezais, pelo canal do Setúbal e pela linha de costa, constituídos por areias quartzosas clara.

Bacia Paraíba

A Bacia Paraíba denominada de Pernambuco-Paraíba é constituída por estratos cretáceos, terciários e quaternários, abrange a faixa costeira do sul de Recife ao norte da cidade de João Pessoa (Barbosa *et al.*, 2003). A faixa sedimentar que forma a bacia Paraíba possui uma largura média de 25 km, e uma espessura máxima em torno de 400 m e suas camadas são sub-horizontais, mergulhando em direção a costa com inclinação que varia entre 5 e 25m/km (Mabesoone, 1991). A sedimentação da bacia foi dividida em três fases: a) continental, b) transicional, c) marinha. O evento mais recente corresponde à cobertura da bacia por sedimentação clástica da Formação Barreira.

Bacia Pernambuco (Cabo)

A bacia Pernambuco se limita com a bacia Paraíba através do Lineamento Pernambuco que corta a cidade do Recife. Os municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes estão inseridos na bacia Pernambuco. A bacia Pernambuco foi formada durante o Mesozóico com a separação das placas africana e a sul americana.

Sedimentação Quaternária

Na costa pernambucana, a sedimentação quaternária é constituída por terraços marinho inferior e superior (Figura 1). Os terraços marinhos superior apresentam-se com altitude de 7 a 11 m acima da preamar atual, com alguns afloramentos de antigas cristas de cordões

arenosos litorâneos, como na região entre a Lagoa Olho D'água e Boa Viagem, elaborados na penúltima transgressão marinha (Pleistoceno). Os terraços marinhos inferior, com 1 a 5 m de altitude, foram elaborados na última transgressão marinha (Holoceno). Neste setor encontram-se ainda, depósitos de pântanos associados ao afogamento da região costeira na última transgressão; bancos de arenito que afloram em alguns trechos na face da praia, ligados a níveis marinhos mais elevados; e recifes de corais de idade holocênica que se instalaram sobre os bancos de arenito submersos (Dominguez *et al.*, 1990).

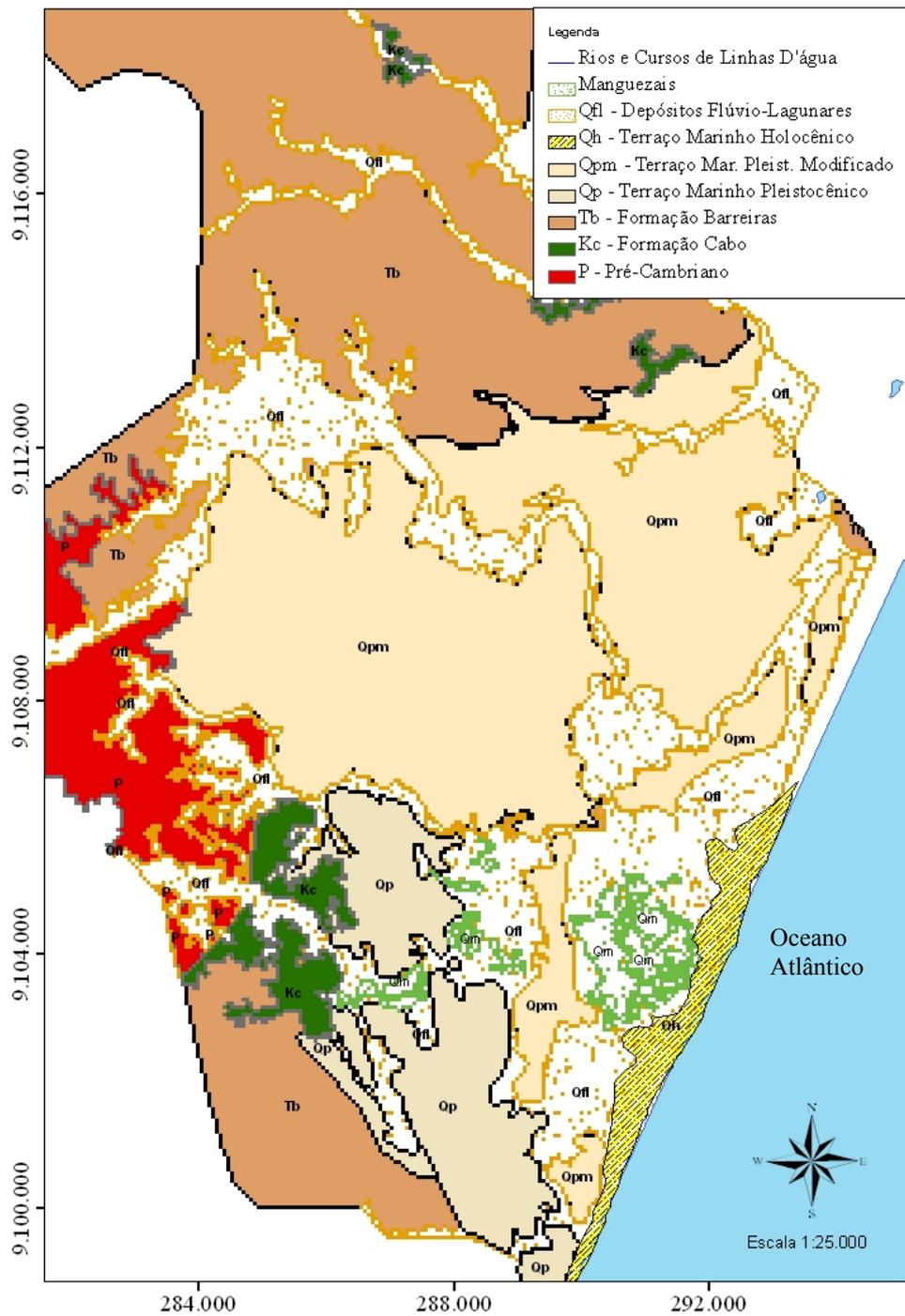


Figura 2 - Mapa geológico da cidade do Recife (Fonte: Alheiros *et al.*, 1995b).

Plataforma Continental de Pernambuco

A plataforma continental de Pernambuco está inserida na margem continental nordeste-leste do Brasil, que vai da Baía de São Marcos ao Cabo de São Tomé (Zembruski *et al.*, 1972). Caracteriza-se pela reduzida largura, pouca profundidade, declive suave, a profundidade da quebra da plataforma entre 50 a 60 m, águas relativamente quentes, elevada salinidade e por apresentar-se, quase inteiramente, coberta por sedimentos carbonáticos biogênicos (Manso *et al.*, 2004).

Considerando os vários aspectos da morfologia e da distribuição dos diversos tipos de sedimentos da plataforma continental do Nordeste, Coutinho (1976) sugeriu dividi-la em três segmentos: a) Plataforma interna – limitada pela isóbata de 20 metros, apresenta um relevo suave e algumas irregularidades, devido à presença de recifes, canais, e ondulações, coberta por areia terrígena, cascalho e lama, b) Plataforma média - de 20 a 40 m, com relevo bem mais irregular, recoberto por sedimentos grossos de origem biogênica, c) Plataforma externa - localiza-se a partir de 40 m, coberta com areia biodetríticas, cascalhos e lamas cinza azuladas. De 20 a 30 m a morfologia do fundo é pouco recortada é um pouco mais movimentada, principalmente a norte da cidade do Recife, mostrando canais representativos de paleovales, formados a partir da dissecação da plataforma quando exposta em épocas pretéritas.

A plataforma em frente à cidade do Recife é estreita e pouco recortada, com uma largura de 18 a 20 milhas, relativamente plana, com um declive abrupto entre 60 e 80 m de profundidade (Kempf, 1967/9). Perfis batimétricos da plataforma interna em frente à cidade do Recife, apresentam um relevo de amplitude vertical de 4 m, correspondendo à presença de uma linha de recife, totalmente submersa (Araújo *et al.*, 2004).

A plataforma continental do Recife está dividida em três partes: 1 - zona costeira com recifes, 2 - a área com fundo pouco recortado entre as isobátas de 10 e 40 m; 3 - área mais irregular abaixo das de 40 m e a parte superior do talude. A natureza do fundo é composta por faixas, constituídas por domínios de lama, recifes, recifes recobertos por areia carbonática, e faixas de areia carbonática (Souza *et al.*, 2003). Apresenta um estreito canal entre o recife a praia, onde o material fino é trazido pelos rios através do estuário Barras das Jangadas e transportado para o norte, composto por lama e areia carbonática (Kempf, *et al.*, 1967/9).

Beachrocks

Os recifes, bancos de arenitos ou *beachrocks* (Fotos 4 e 5), são feições lineares que se estendem, às vezes, continuamente, por cerca de 10 km, apresentando uma largura média de 20 - 60 m, e 3 a 4 m de espessura, Afloram na baixamar ou mesmo acima do nível médio do mar, e se dispõem paralelamente à linha de costa (Dominguez *et al.*, 1990). Segundo Mabesoone (1964), os bancos de arenitos são constituídos de 20% a 80% de areias de quartzo, e o restante constituído de fragmentos carbonáticos, principalmente de moluscos e algas. Para Morais (1967/9), trata-se da parte submarina da praia, muito rica em calcário, que pelas diversas etapas de regressão marinha se consolidou, e se formaram na vizinhança do lençol freático, a temperaturas suficientemente altas para permitir a precipitação do carbonato de cálcio como cimento. Segundo Delibrias e Laborel (1971) os recifes têm uma idade de 5.900 mais ou menos 300 A.P. Segundo Manso *et al.*, (1995), os recifes protegem a costa do efeito da energia das ondas, mas podem gerar processos erosivos nas suas extremidades.

Recifes de Corais

Os recifes de corais são corpos alongados descontínuos, com eixo paralelo à linha de praia entre 1 km e 4 km de comprimento, nos mais próximos à praia, e os que estão submersos chegam a 10 km de comprimento, com idade entre 6.500 e 6.000 A.P. Em Pernambuco, a fauna de corais responsáveis pela construção dessas feições é pobre em número de espécies. Das 18 espécies brasileiras, apenas 09 são encontradas na costa de Pernambuco (Laborel, 1969). A localização e a morfologia desses recifes de corais provavelmente estão associadas com SOS recifes de arenitos "*beachrocks*", que servem de substrato para o seu desenvolvimento (Laborel, 1967).



Palace, na Avenida Boa Viagem (Foto do autor, 2004).

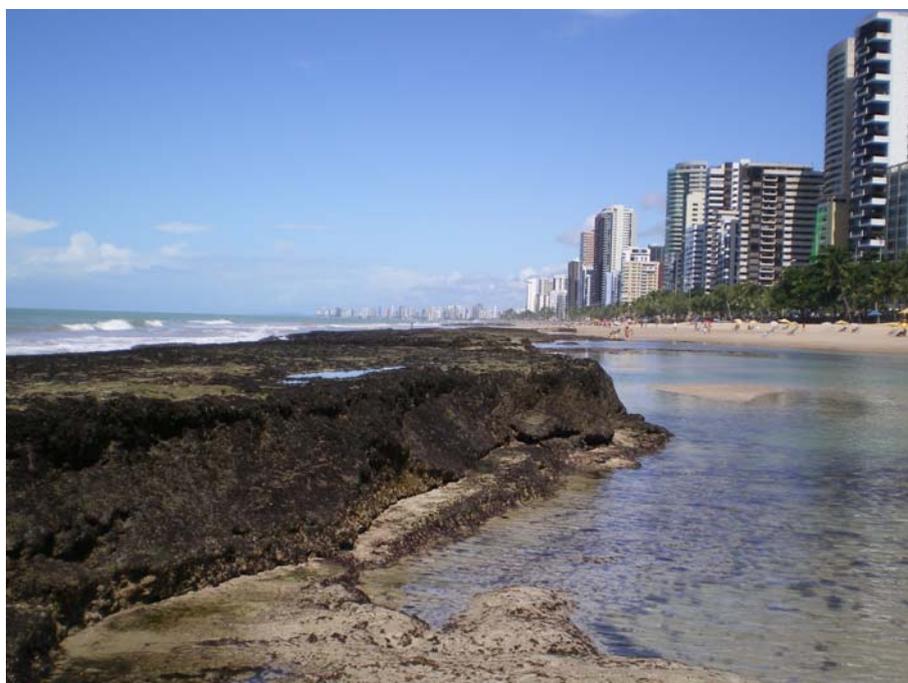


Foto 2 - Recifes de arenito próximo ao Ed. Holliday ao Hotel, na Av. Boa Viagem (Foto do autor, 2008).

CLIMA

A cidade do Recife apresenta um clima, segundo a classificação de Köppen, quente e úmido (As'), com temperatura média de 26°C, com pluviosidade média de 1.720mm (IBGE, 1997). O ritmo sazonal da costa do Nordeste brasileiro é definido pelo regime de chuvas: um período de chuva, com pluviosidade superior a 100 mm, e um período seco, que apresenta precipitações inferiores a 100 mm (Andrade, 1997).

Para o período de estudo, segundo os dados fornecidos pelo INMET, Instituto Nacional de Meteorologia, para a estação Recife (centro), durante os anos de 2002, 2003 e 2004 as maiores precipitações ocorreram nos meses de março e junho; para o ano 2005 entre os meses de abril a julho. As menores precipitações ocorreram nos meses de novembro a dezembro, de 2002 e 2005. Para as médias mensais de vento, as maiores velocidades foram observadas nos meses de agosto e setembro de 2002 e a menor velocidade no mês de maio de 2004. A direção dos ventos apresenta uma predominância de direção sudeste, observando-se maior variância entre SE/E durante o período seco, e SE/S durante o período chuvoso.

HIDRODINÂMICA

Ondas

Os ventos são o principal formador das ondas, e estas representam um dos mais importantes agentes marinhos que governa o desenvolvimento da linha de costa, e a dinâmica do ambiente praial no processo de erosão e acumulação dos sedimentos.

O clima de ondas pode ser deduzido pelo conhecimento dos mecanismos responsáveis que geram as ondas no Atlântico Sul, que pode compreender: as áreas de tempestades nas altas latitudes A costa leste-nordeste do Brasil que é controlada pelo anticiclone estacionário Atlântico Sul. Os ventos que alcançam a costa leste e o nordeste do Brasil vêm de duas maiores direções: a) E-SE, b) NE. A região onde há mudança de direção de vento é conhecida como Zona de Divergência (DZ). Está localizada em torno de 15 graus sul, entretanto há varias posições durante o ano.

Em consequência da circulação atmosférica e do desenho da costa brasileira, pode-se descrever o clima de ondas que atingem o litoral brasileiro por setores. Na costa sul e sudeste, entre Chuí (RS) e Cabo Frio (RJ), as ondas são forçadas pelos ventos alísios, porém para este setor do litoral, as ondas incidentes com maior capacidade de transporte sedimentar costeiro e são associadas aos sistemas frontais. No setor compreendido entre Cabo Frio e a costa de Pernambuco, as ondas mais efetivas no transporte sedimentar é pelos ventos alísios, do quadrante nordeste e leste, com período médio de 5 a 10 s e altura entre 1 e 2 m. Eventualmente nos meses de junho e setembro, as ondas originadas por frentes mais ao sul atingem esta parte do litoral brasileiro. No trecho entre Pernambuco e o Cabo do Calcanhar (RN) incidem somente ondas provenientes dos ventos alísios, sem atuação de ondas oriundas da ação de frentes (Tessler e Goya, 2005).

Para o ambiente em estudo, em 1995 foi medida a altura significativa das ondas na praia da Boa Viagem, por Manso *et al.* (1995), sendo observada na zona de arrebentação, uma variação de 0,2 a 1,4 m, com predominância de 0,6 a 0,8 m. O período oscilou entre 4 e 12 s, com uma concentração de 6 e 8 s.

As ondas observadas ao largo de Boa Viagem para o ano de 2002, apresentam alturas médias de 0,6 a 1,0 m e período de 5,0 a 9,8 s e altura significativa de 1,0 a 1,5, período significativo de 5,6 a 9,8 s e altura máxima de 1,5 a 2,3 m e $H_{1/10}$ de 1,3 a 2,1 m (Rollnic, 2002). O clima de ondas ao largo das praias da Boa Viagem, Piedade e Candeias são semelhante para os meses de janeiro, março, e julho, mas apresentam maiores alturas e menores períodos no mês de setembro. O maior transporte de energia das ondas ocorre durante os períodos de equinócios de primavera e de verão. Predomina a arrebentação do tipo derramante, porém nos meses de ventos (julho) e marés mais intensas (setembro), ocorre arrebentação do tipo mergulhante (Rollnic, 2002).

Correntes

Parte da energia dissipada pelas ondas incidentes na zona de surfe é transferida para a geração de correntes costeiras, tanto longitudinais (*longshore currents*) como transversais (correntes de retorno, *rip currents* ou *rips*). Estas correntes representam importantes agentes transportadores de sedimentos na zona de surfe (Hoefel, 1998).

Estudos em Suape (1992) mostram apenas uma tendência sazonal, no sentido N-S, em época de verão, e S-N nos meses de inverno. Resultados obtidos por Bragard (1992, apud Coutinho *et al.*, 1997) para a praia da Boa Viagem, no período de inverno, indicaram que a

capacidade de transporte resultante está em torno de $70.000 \text{ m}^3\cdot\text{ano}^{-1}$ de sedimentos, no sentido S-N. No período do verão, foi encontrado um transporte da ordem de $15.000 \text{ m}^3/\text{ano}$, no sentido N-S para a mesma praia (Manso, 1995).

Quanto às correntes litorâneas, Manso *et al.*, (1995) apresentam os resultados obtidos para a praia de Boa Viagem, onde preferencialmente há uma ausência das correntes litorâneas (em torno de 53% dos dados totais). Esta tendência é favorecida pela concentração dos dados de direção dos ventos, próximos a e perpendiculares à costa (115° Az), bem como pela tendência frontal da incidência das ondas na área. Quando ocorrem, as correntes apresentam-se preferencialmente, no sentido N-S (77%).

Estudos de correntometria realizados nos largos das praias da Boa Viagem e Piedade, utilizando os quatro estágios de maré, o transporte líquido à superfície é para o sul, mas costa-a-fora, defronte da foz do rio Jaboatão, com o valor de até $48,8 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. O transporte maior se dá próximo à costa. A camada intermediária, apresenta um transporte costa-a-fora em toda área de $5,8$ a $31,6 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. O transporte de fundo é menos intenso, variando de $7,2$ a $21,9 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ e é em direção à costa, exceto próximo à foz do rio Jaboatão, onde se direciona para o mar (Rollnic, 2002).

Segundo Rollnic (2008), na região de Boa Viagem há predominância das correntes, na direção de sul para norte, e contra a costa, nas camadas ao fundo e superficial durante o período chuvoso. Durante o período de estiagem, há predominância na direção de norte para sul e costa-a-fora, nas camadas de fundo e superficial.

Pequenas mudanças no regime de ondas afetam o ângulo de incidência e a direção do transporte a *longshor*, e tem importante implicação no estoque sedimentar ao longo da zona costeira, ativando ou acelerando o processo erosional. A direção do transporte ao longo da linha de costa é função do ângulo de incidência e altura das ondas e o transporte ao longo da linha de costa tem um papel importante no estoque de sedimentos da costa brasileira, (MARTIN *et al.*, 1998). No Atlântico Sul (MARTIN *et al.*, 1987; DOMINGUEZ *et al.*, 1992; MARTIN *et al.*, 1998; BITTENCOURT *et al.*, 2005; TESSLER E GOYA, 2005), onde está localizada a área em estudo, tem as ondas geradas pelos ventos com a direção E-SE. Entre o limite dos estados de Alagoas-Pernambuco e a cidade de Touros (Rio Grande do Norte) a costa tem mais ou menos a direção norte-sul, onde o ângulo de incidência é pequeno e como resultado não tem um bom transporte de sedimentos (MARTIN *et al.* 1998; BITTENCOURT *et al.*, 2005), as ondas se aproximam paralelo a linha de costa e uma pequena mudança no ângulo de incidência das ondas produz a mudança de direção das correntes.

Marés

As variações de altura de maré foram classificadas por Davies (1964, apud Hoefel, 1998), como sendo micro (< 2 m), meso (2 – 4), e macro (> 4 m). A amplitude das marés é um elemento modelador da linha de costa, em função da velocidade das correntes a ela associadas. Estas correntes de marés são significativas no transporte sedimentar costeiros especialmente onde a variação da maré é expressiva. As macros marés ocorrem apenas nos estados do Maranhão, Pará e Amapá, nestes locais as marés têm capacidade de modificar a morfologia da linha de costa, sua amplitude é superior a 4 m. Do estado de Alagoas ao sul do Brasil ocorre micro maré, e no restante do litoral brasileiro, ocorrem as mesomarés, com amplitudes entre 2 a 4 m (Tessler e Goya, 2005).

As marés que atuam em Pernambuco são do tipo mesomaré, dominadas por ondas, e sob ação constante dos ventos alísios (Martins, 1997). As marés do litoral pernambucano são do tipo semidiurna, com período médio de 12.42 horas, apresentando duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar; os valores representativos da altura da maré são de 2.4 m para sizígia máxima; 2.1 para sizígia mínima (Coutinho *et al.*, 1997).

CAPÍTULO 4 - INTERANNUAL MORPHOLOGICAL CHANGES OF BOA VIAGEM BEACH- NORTHEAST COAST OF BRAZIL *

MARIA DAS NEVES GREGÓRIO^{1,2}, TEREZA C. MEDEIROS DE ARAÚJO²

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia – UFPE

e-mail: nevesgregorio@hotmail.com

² Laboratório de Oceanografia Geológica - Departamento de Oceanografia – UFPE

e-mail: tcma@ufpe.br

ABSTRACT

Boa Viagem and Pina are urban beaches with great economical importance both locally and regionally providing protection for the southern coast of Recife, Pernambuco – Brazil. The objective of this paper is to study the interannual morphological changes which occur on these beaches in order to gather information on the erosion processes. For this purpose 6 topographical profiles were monitored, monthly, from August 2002 to December 2005, during spring tide. To establish the position of each profile it was considered if the beach was protected by reefs, or not, and if there were coastal protection structures. The largest morphological variation was observed in profiles located to the extreme South and North of the area of study (profiles 1 and 5), as well as the profiles located immediately to the North of the coastal protection features (profiles 4A and 4B). Profiles located in the middle of the study area showed stability. As for sedimentary budget the following variations were observed: negative sedimentary budget in profiles P1 (-4.0 m³/m), P4A (-22.0 m³/m), P4B (-7.0 m³/m) and P5 (-1.0 m³/m); positive sedimentary budget in profiles P2 (+2.0 m³/m) and P3 (+4.0 m³/m). Profiles 2 and 3 presented a more consistent budget than those of the profiles located at the extremities of the area (profiles 1, 4A, 4B and 5). The profiles did not present morphologic variations in the beach environment like those mentioned in conventional literature. Profiles 2-1, 3-2 e 4A-3 do not present a linear relation between rates of sedimentary budget. However a positive linear relation between profiles 4B-3 and 5-4B was observed. Variations of accretion and erosion found in this study may be related to seasonal variations in the direction of currents along the coast.

Keywords: beach profile, sedimentary volume, morphology, coastal erosion, Brazil.

* In press, Boletim Paranaense de Geociências, V. 62, 2008.

INTRODUCTION

Changes in the beach environment can be measured, among others, through conventional topographic methods, such as level or theodolite (Bird, 1996). These methods can evaluate the sedimentary volume of a beach as well as monitor the advance or recession of the coastal line along a given time line (Larson & Kraus, 1994; Clark & Eliot, 1988; Lacey & Peck, 1998; Swales, 2002; Anfuso & Del Rio, 2003). Coastal monitoring for long periods of time in places with contention structures permits evaluation of environment (Hamm *et al.*, 2002; Thomalla & Vincent, 2003) and quantification of spatial and time distribution of erosion and accretion in the beach environment (Anfuso & Del Rio, 2003).

In Brazil studies related to erosion and accretion processes in the beach environment, as for example: Bittencourt *et al.*, (1987), Muehe & Correa (1989), Calliari & Klein (1993), Bessa Júnior & Angulo (2003), were done in areas of medium latitudes, leaving a shortage of information in tropical areas. For these we find only studies by Krause & Soares (2004) in the Northern region of Brazil; Duarte (2002); Lima *et al.*, (2004), Manso *et al.*, (1995), Pontes & Araújo (2006) in Northeastern Brazil.

In Pernambuco, between the Cape of Santo Agostinho and the Island of Itamaracá there are signs of erosion that varies from moderate to severe, although there still isn't a precise diagnosis for the comprehension of local and regional causes (Manso *et al.*, 1995, Muehe, 1998). The construction and extension of the port of Recife resulted in severe coastal erosion in the city of Olinda (Pereira *et al.*, 2003).

Boa Viagem and Pina are urban beaches with great economical importance, both locally and regionally, providing protection for the southern coast of Recife, Pernambuco – Brazil. Yet since the last decade it presents environmental problems, such as marine erosion processes, mainly in the portion located between the Plaza of Boa Viagem and Piedade beach, south area. The objective of this paper is to study the variability of the beach environment profile (Figure 1), to verify the erosive and/or accretion states and correlations.

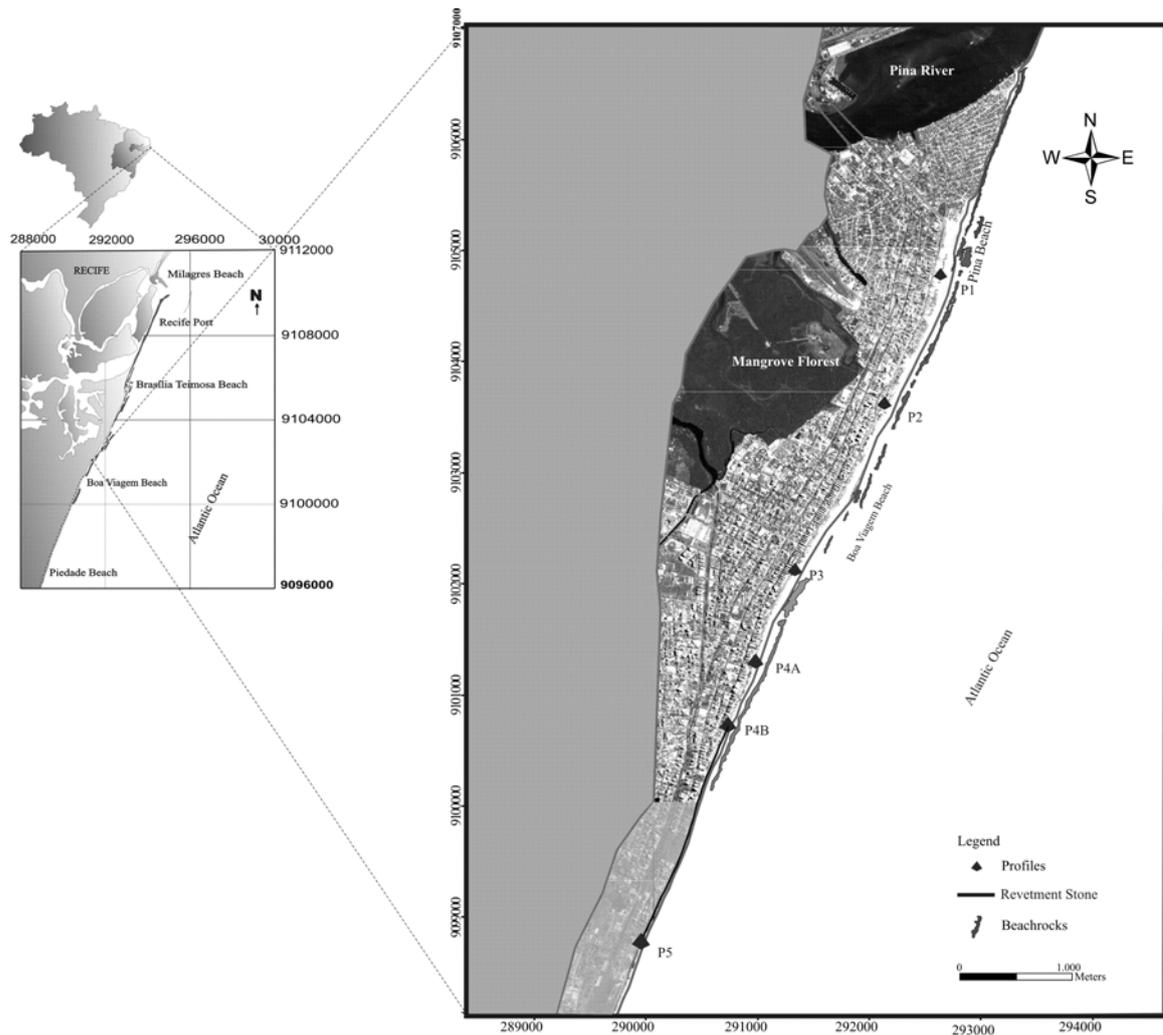


Figure 1. Location of the study area and monitored profiles.

STUDY AREA

Pernambuco possesses a coastline of 187 km, located in the Brazilian Northeast. The city of Recife is situated on the coast of Pernambuco, with characteristics of Quaternary sedimentation (Coutinho *et al.*, 1997), presenting Pleistocene and Holocene marine platforms, marsh deposits, sandstone banks and coral reefs (Dominguez *et al.*, 1990). Coutinho (1964 apud Muehe, 2001) comments on the absence of deltas in the Pernambuco coast, due to reduced fluvial sediment contribution.

A relief with vertical amplitude of 4 m can be observed in the bathymetric profiles of the internal platform located in front of the city of Recife. This is apparently due to the presence of a line of submerged reefs. In a strait channel among the coastal reefs a fine

material (mud and silt) can be found brought in by rivers through the estuary of Barra das Jangadas, which is then transported to the North (Kempf *et al.*, 1967/9; Araújo *et al.*, 2004). The seasonal rhythm of the Brazilian Northeast coast is defined by the regime of rains. A raining season, with rainfall superior to 100 mm, and a dry period, that presents precipitations inferior to 100 mm (Andrade, 1997). According to data furnished by INMET - Instituto Nacional de Meteorologia for the Recife station (Figure 2) during the years of 2002, 2003 and 2004 the highest precipitations occurred in the months of March and June; for the year 2005 between the months of April and July. The lowest precipitations occurred in the months of November and December, 2002 and 2005. For the monthly averages of wind, the highest speeds were observed in the months of August and September of 2002 and the lowest speed in the month of May 2004 (Figure 2). The direction of the winds is predominately in the southeast direction, and a larger variation between SE/E during the dry season and SE/S is observed during the raining season.

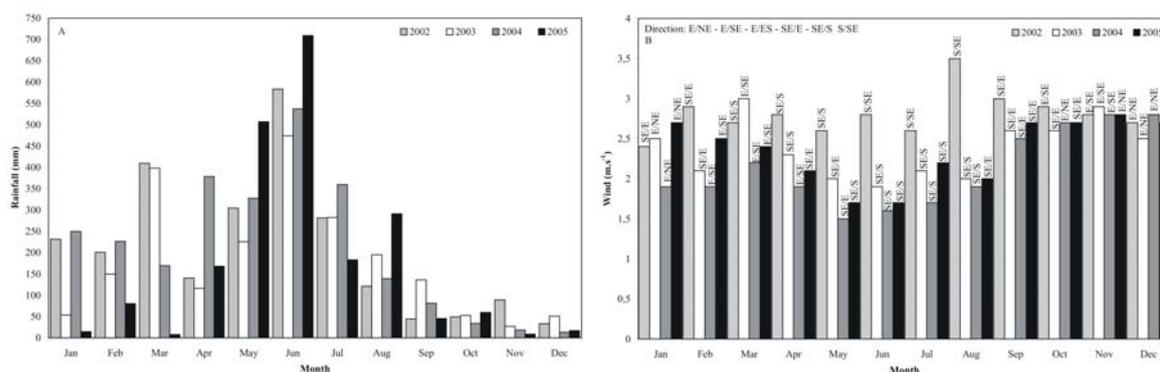


Figure 2. Monthly averages for the Recife station (center): A – rainfall precipitation (mm). B – Velocity ($m.s^{-1}$) and direction of winds.

Sediment on the beaches of Boa Viagem and Pina are sand, being 80% grains of quartz and 20% bioclastic fragments. In the rainy season they are constituted of medium sand in the central part, fine sand in the extremities, and very fine sand in the northern part of the study area. In the dry season the sediments are predominately constituted of fine sand (Gregório *et al.*, 2004).

METHODS

Monthly surveys were done in 5 topographic profiles throughout the beach arc in the stretches between Pina beach and limits of the Boa Viagem beach (Recife) and Piedade (city of Jaboatão dos Guararapes), during the period from August 2002 to December 2005 (Figure 1). Profiles are spaced approximately 1.5 km from each other and distributed from North to South. Due to tropical storms in March 2004, profile 4A was transferred to profile 4B. Field work was always done during the lower sea level of spring tide. To establish each profile it was considered if the beach was protected by reefs and / or was open, and if there was the presence of coastal protection structures, as well as indicators of erosion and accretion. For topographic leveling the adopted method was “Stadia” (Birkemeier, 1981) that presents an estimated error between 10 and 20 cm and allows monitoring of the sub aquatic profile (Tozzi & Calliari, 1999). However, due to the occurrence of shark attacks, the profiles in this study had to be limited, in the submerged portion, to a maximum depth of 20 cm.

The profiles were analyzed according to their temporal location, in the raining season (March to August) and dry season (September through February), only to better comprehend the erosive process and accretion in different seasonal periods since wave data was not analyzed. With the aid of specific programs the volume of sand was calculated in each profile, being expressed by linear meter (m^3/m). The statistical rate of the data on sedimentary volume and the correlation rate between the profiles according to its distribution were calculated.

BEACH ENVIRONMENT

Sections of the beach environment are divided, according to Reading & Collinson (1976), in frontal dunes, backshore, beach or foreshore and shoreface. The frontal dunes are limited with the backshore in the inferior portion of the berm scarp. The backshore is located above the line of high tide, undergoing the action of waves during storms; its width is associated to the mean inclination of the beach. Beach or foreshore is the portion located between the superior limit of high tide and the inferior limit of low tide. The shoreface is always the submerged part of the profile, and is delimited with the beach at the level of low tide level, extending into the sea until there is no more sediment remobilization.

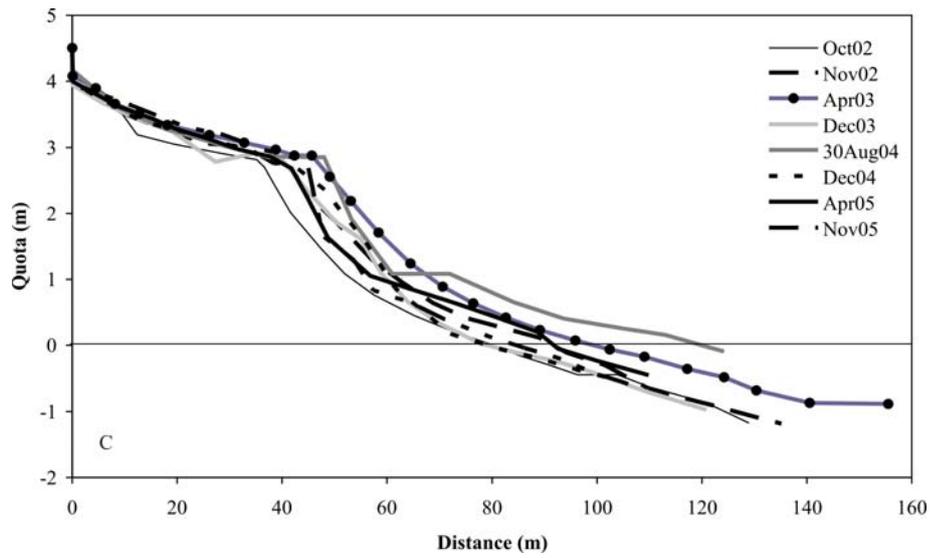
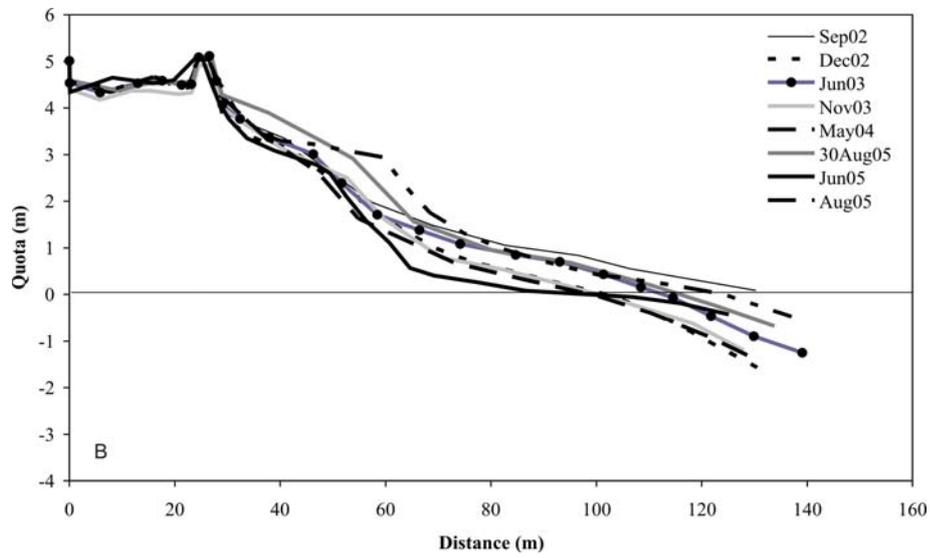
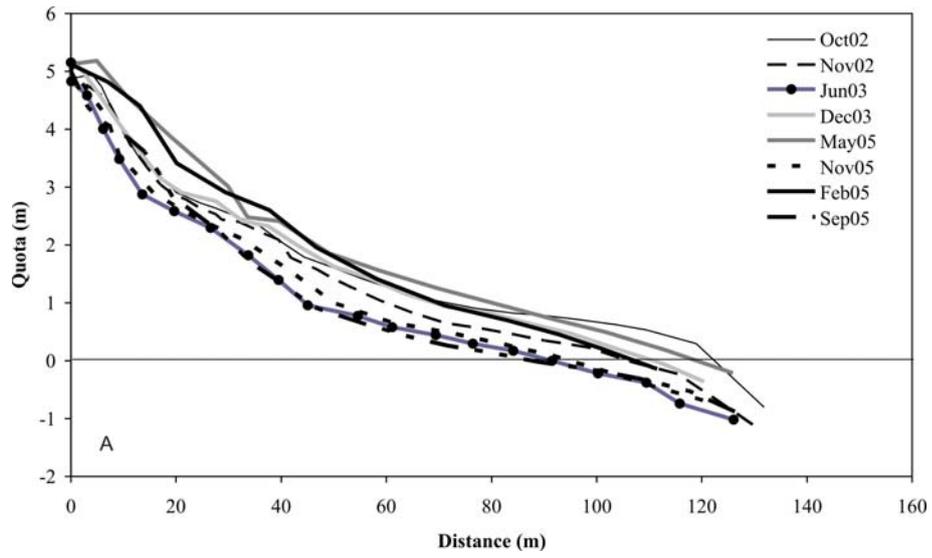
The northern portion of the study area is represented by the Pina beach and northern section of Boa Viagem beach. Portions observed on the beach environment: frontal dunes, backshore and foreshore, and shoreface, these being better developed in the extreme north of the area. In the central portion frontal dunes are not observed. Presents, to the South, marine erosion contentions structures. According to the division of a beach environment, analysis was done of the morphologic and volumetric variations on the 5 profiles, located in the beaches of Pina and Boa Viagem.

MORPHOLOGY

Profile 1 is located on the Pina beach, situated in a sheltered beach area, with a line of reefs that are not totally uncovered (Figure 1). Possesses a medium extension of 130 m (Figure 3A), and the fore dune possesses an average 10 m in width and 1.2 m in height. The backshore and foreshore present an average extension of 30.6 and 78.5 respectively, and the shoreface an average extension of 19.4 m. In the period between October 2002 and December 2002, the profile showed a higher morphological variation in the lower region of the foreshore and in the shoreface area, with sedimentary loss in these regions during the month of November. During the year 2003, there was sediment loss in the entire beach environment in the month of June, and sediment accretion during the month of December.

During the year 2004, in the month of May, this profile had sediment accretion throughout the entire beach environment, and loss in the same environment during the month of November. The year 2005 presented a larger sediment accretion in the month of February, and bigger loss during the month of September. During the monitoring period this profile presented morphological variation in all of its compartments.

Profile 2 located in the northern portion of the Boa Viagem beach, is in an area of open beach (Figure 1), and presents a well preserved beach environment, with a region of vegetated dunes, and a well developed backshore and foreshore region (Figure 3B). Possesses an average extension of 130 m and the distance from the starting point of the profile to the basis of the vegetated dunes is 22.72 m. The backshore region has an average 20.30 m, the foreshore and the shoreface area 60 m and 24.20 respectively.



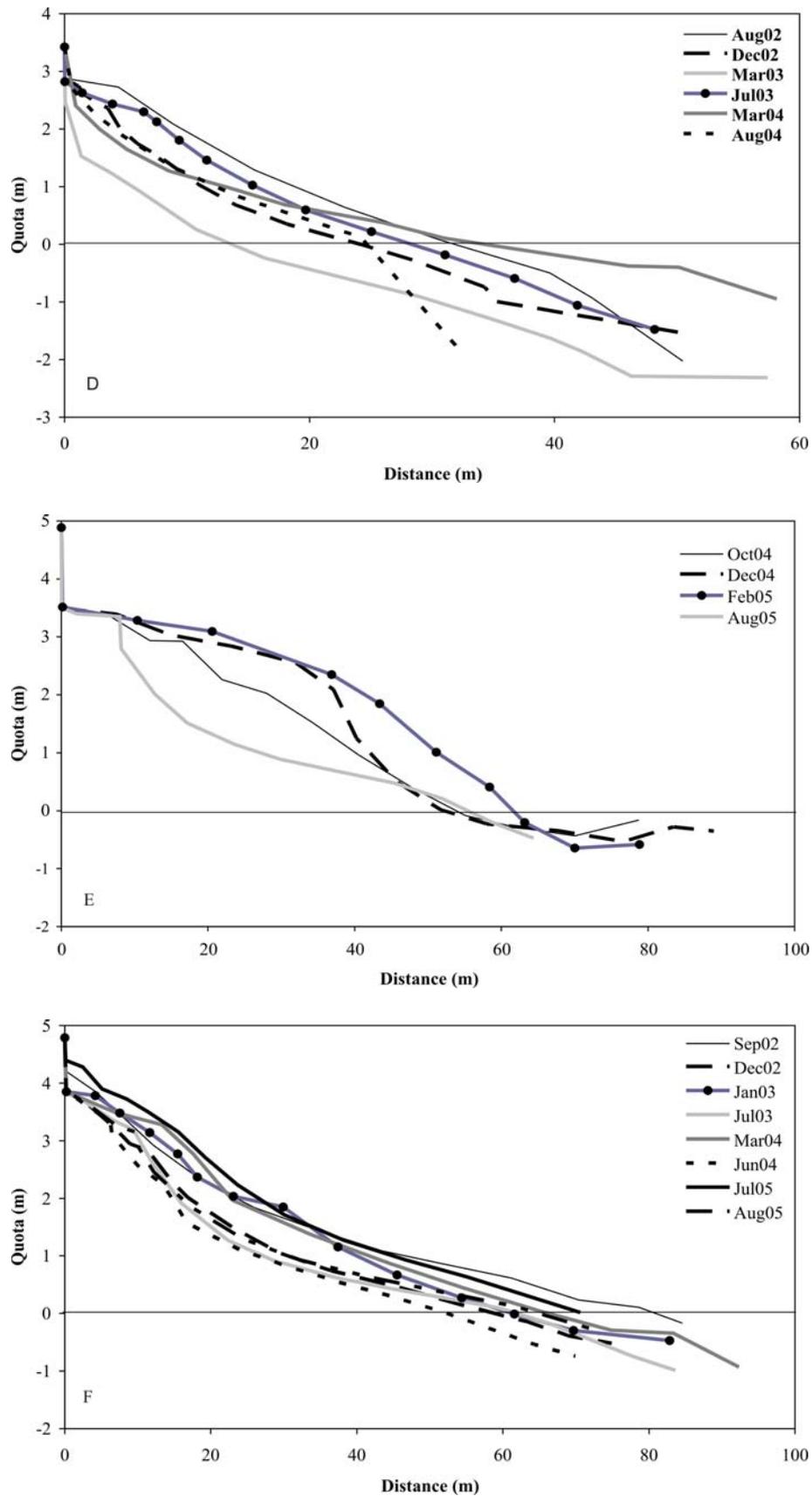


Figure 3. Morphological variations in profiles: A - profile 1. B - profile 2. C – Profile 3. D – profile 4A. E - profile 4B. F - profile 5, with representation of the most significant months.

Between the months of August and December 2002, the profile had sediment accretion in the foreshore region during the months of September, and loss in the shoreface region in the month of December. In 2003, during the month of June there was sediment accretion in the lower foreshore region and loss in the month of November in the shoreface region. For the year 2004, in the month of March, sediment accretion occurred in the foreshore and shoreface regions with loss in the month of May throughout the entire beach environment, with the exception of the dune region. In 2005 the biggest sedimentary loss occurred in the month of June in the foreshore and shoreface regions, with sediment accretion during the month of August for both environments. The biggest morphological variations observed in this profile occurred in the foreshore and shoreface regions, being the backshore a steady area.

Profile 3 is located in the center-north part of the Boa Viagem beach, not presenting frontal dunes (Figure 1) and is located in a sheltered area (between two lines of reefs). Possesses a developed backshore and foreshore regions (Figure 3C), with mean width of 50.13 m and 52.93 m respectively and shoreface of 38.17 m. For the period of September through December 2002, in the month of October, the profile presented bigger sedimentary loss in the entire beach environment and accretion in the lower region of the backshore, foreshore and shoreface in the month of November.

For the year 2003 the profile had sediment accretion in the entire beach environment during the month of April and, in the month of December, sedimentary loss in the region of the lower foreshore. During the year 2004 at the end of the month of August there was sediment accretion in the higher and lower foreshore region and in the area of the shoreface. However the loss of sediments was observed in these same areas during the month of December. In 2005, the biggest loss of sediments occurred in the month of September, in the backshore region with sediment accretion in the foreshore region during the month of December. The biggest morphological variations in profile 3 were observed in the foreshore and backshore regions.

Profile 4A, to the North of the coastal protection feature present in the beach of Boa Viagem (Figure 1), is located in an area protected by reefs, and the backshore region is practically non existent. Possesses an average extension of 50 m and an average foreshore width of 33.61 m, and the shoreface has a mean rate of 18.36 m (Figure 3D). In the period of August through December 2002 presented sedimentary loss in the entire beach environment being more accentuated in the month of November.

The year 2003 presented a great erosive process, being necessary intervention on the part of Recife's City Hall, with the placement of sacks of sand in the backshore area, in the

months of January through March. In the month of March the profile lost sediments in the entire beach environment, with sedimentary accretion in the backshore and superior foreshore region in the month of July. In 2004 sediment accretion in the foreshore and shoreface regions were in the month of March, and in the month of August there was loss in the entire beach environment. Due to tropical storms that occurred in the month of August 2004, the starting point of the profile was lost, and this profile was transferred north to Profile 4B.

Profile 4B is located in an area protected by reefs (Figure 1), to the North of the coastal protection feature, 300m away from Profile 4A. The region doesn't present frontal dunes, but presents a wide foreshore region (Figure 3E). Possesses a mean backshore width of 20.6 m; a foreshore with 40.72 m and an area of shoreface of 22.9 m. In relation to the period ranging from August to December 2004, in the month of October there was sedimentary accretion in the superior foreshore region and in the month of December loss in the lower foreshore region and shoreface. For 2005, there was sediment accretion in the month of February in the backshore and foreshore regions, and in the month of August loss in the backshore and superior foreshore regions. The largest morphological variations observed in this profile occurred between the foreshore and backshore regions.

Profile 5 is located south of the limit of the coastal protection feature (Figure 1). It is located in an open area, with the backshore region little developed and with wide foreshore (Figure 3F). Presents an average extension of 70 m, the backshore region has an average width of 15.47 m, the regions of foreshore and shoreface of 55.57 and 20.59 m respectively. For the year 2002 between August and December, the profile had sediment accretion in the regions of foreshore and shoreface in the month of September, and lost sediments in the same regions during the month of December.

For the year 2003, the profile had sedimentary accretion in the entire beach environment during the month of January and loss in the regions of foreshore and shoreface in the month of July. In relation to 2004, the month of June presented sedimentary loss in the entire beach environment and in the month of October there was accretion in the shoreface region. In the month of February of 2005 sediment accretion in the foreshore region, but lost these sediments in the month of August and accretion in the shoreface region. The highest morphological variations were observed in the foreshore and shoreface regions during the monitoring period.

SEDIMENTARY VOLUME

The results of the rates in the sedimentary volume of all the profiles for the period of August 2002 to December 2005 are represented graphically on Figures 4, 5, 6, 7, 8, e 9. The analysis of these results permitted the observation of the behavior of the sand budget in the profile in a given time line as well as between profiles.

Profile 1 presented a negative sedimentary budget of 4.0 m³/m (Figure 4). The highest volume was observed in the month of May 2004 (217 m³/m) and the lowest in the month of September (115 m³/m). This profile did not present recovery in its sedimentary volume for the whole monitored period. Positive sedimentary budget was only observed in two months (May 2004 and February 2005).

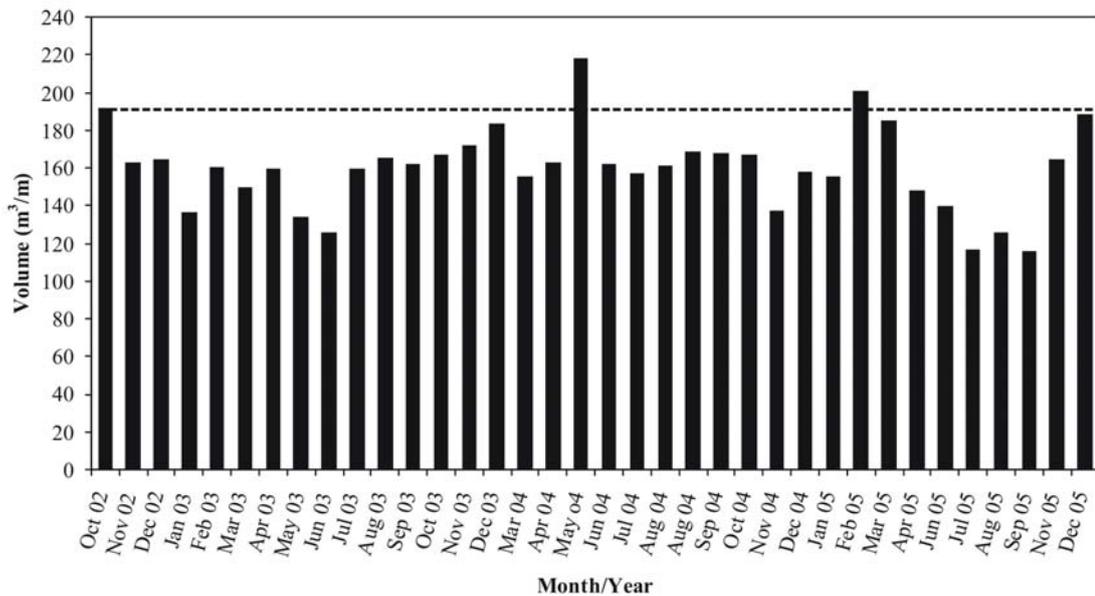


Figure 4. Volumetric variations in profile 1.

During the monitored period, profile 2 presented a positive sedimentary budget, in the order of 2.0 m³/m. The highest rate in the sedimentary volume was observed in the month of August 2005 (Figure 5), in the order of 293 m³/m, while the lowest rate also observed during the year of 2005, was in the month of June (224 m³/m). This profile didn't present great deficit of sediments for the whole monitored period (Figure 5), and the positive rates represented the majority of the months monitored.

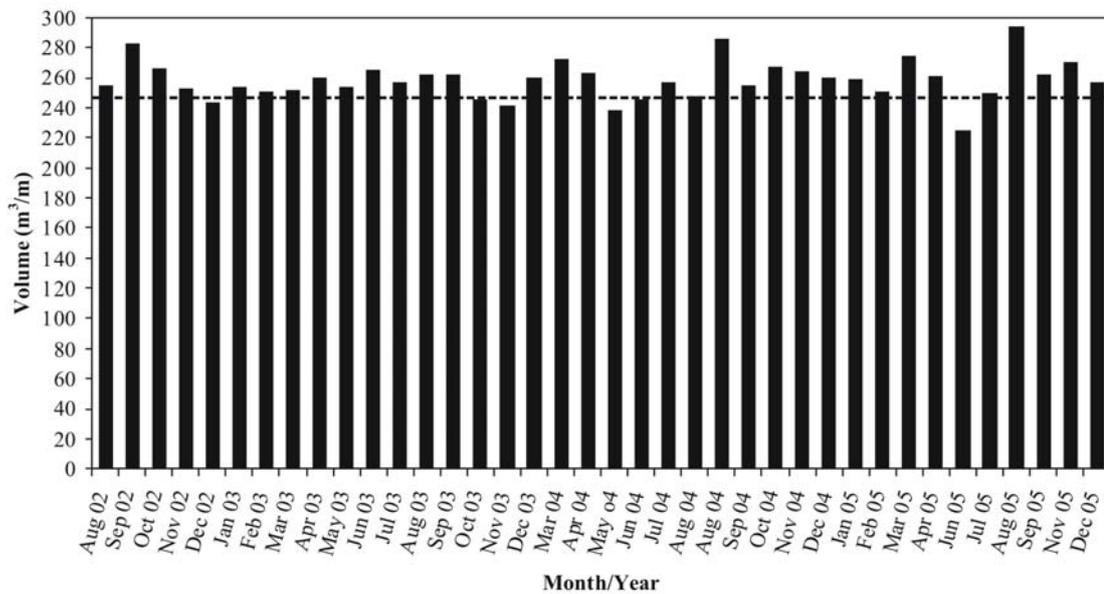


Figure 5. Volumetric variations in profile 2.

For the period between September 2002 and December 2005 profile 3 presented a positive sedimentary budget of 4.0 m³/m (Figure 6). The month of August 2004 presented the highest sedimentary volume, 257 m³/m, and the month of October 2002 the lowest rate (201 m³/m). In relation to the sedimentary budget, as observed for Profile 2, this profile also did not present great sediment deficit for the entire monitored period. The positive rates represented the majority of the months that were monitored.

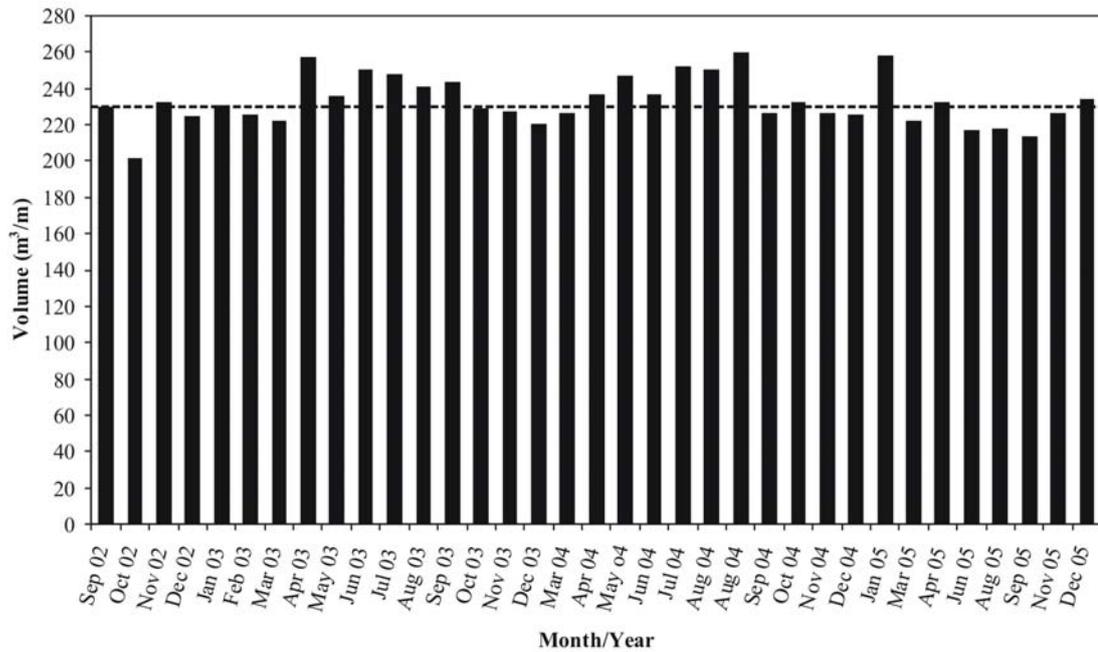


Figure 6. Volumetric variations in profile 3.

Between August 2002 and August 2004 a negative sedimentary budget was observed in profile 4A, in the order of $22.0 \text{ m}^3/\text{m}$ (Figure 7). The month of August 2002 corresponds to the month of highest sedimentary volume, in the order of $65 \text{ m}^3/\text{m}$. The lowest rate was observed during the month of March 2003 ($21 \text{ m}^3/\text{m}$). For the entire monitored period, this profile presented a great deficit of sediments, being more acute in the month of March 2003.

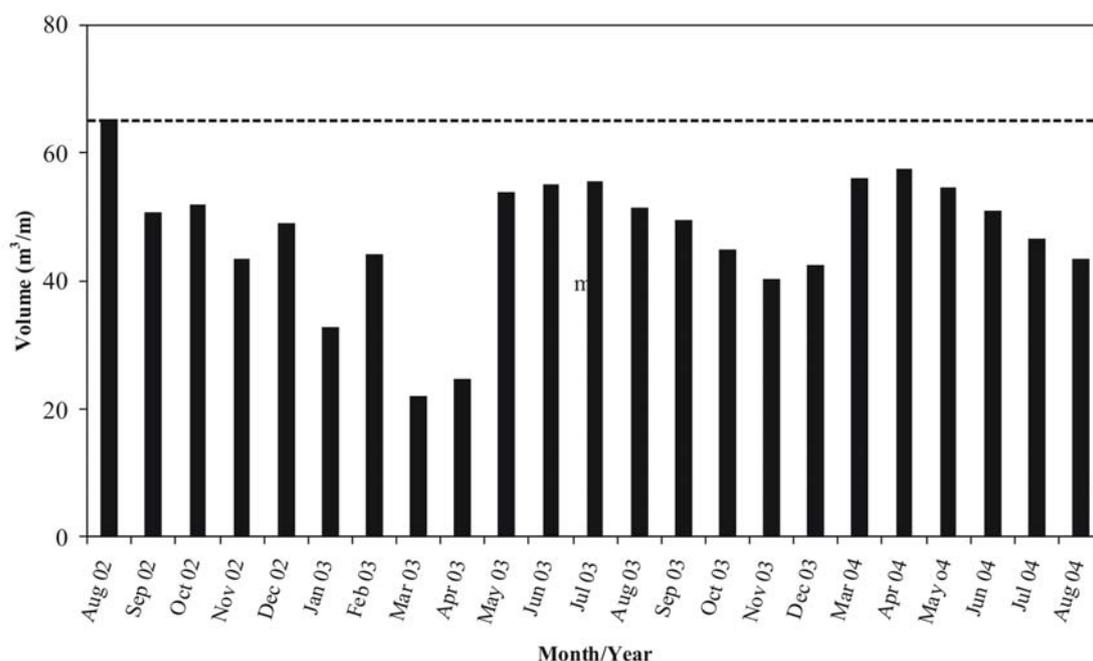


Figure 7. Volumetric variations in profile 4A.

For the period between August 2004 and December 2005, profile 4B presented a negative sedimentary balance, in the order of $7.0 \text{ m}^3/\text{m}$ (Figure 8). The highest volume observed was during the month of February 2005 ($148 \text{ m}^3/\text{m}$), and the lowest rate in the month of August 2005 ($81 \text{ m}^3/\text{m}$). The highest rate in sedimentary volume was observed in the months of March 2004, January, February, and November 2005. The lowest rates were in the months of August and September 2005.

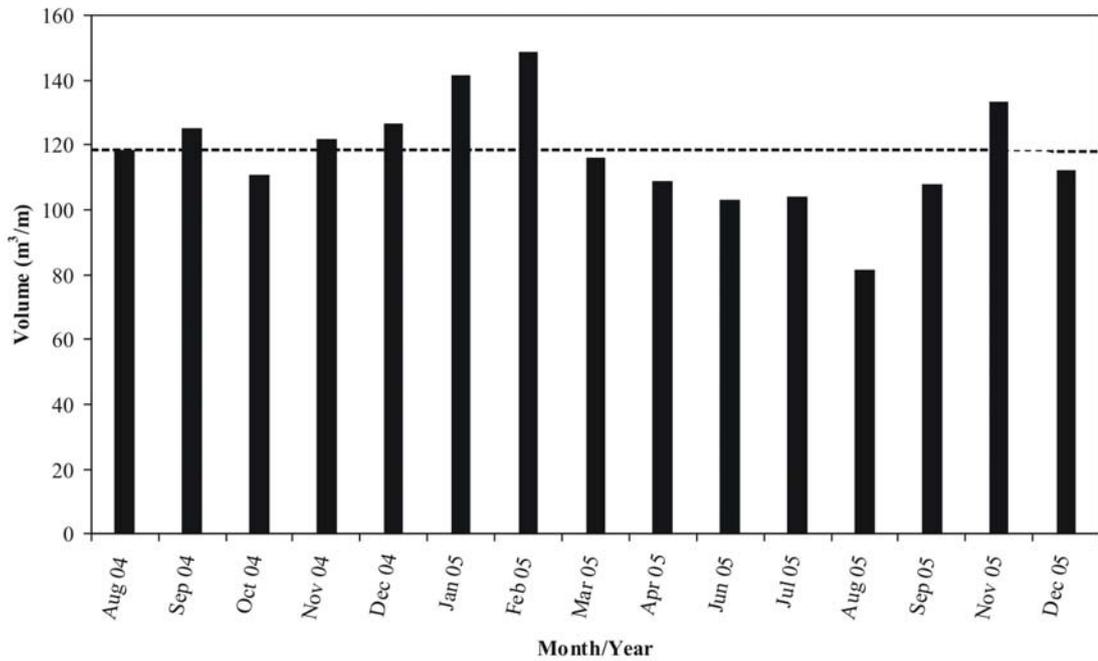


Figure 8. Volumetric variations in profile 4B.

During the period ranging from August 2002 to December 2005, profile 5 presented a positive sedimentary budget of 1.0 m³/m (Figure 9). The highest sedimentary volume (68 m³/m) was observed in the month of September 2002 and the lowest rate in the month of June 2004 (39 m³/m). Profile 5 presented the highest rates of sedimentary volume in the months of October 2002, January 2003 and March 2004. The lowest rates were observed during the months of December 2002, February 2003 and in the period from March to August 2004. As observed in profile 1, the negative rates also represent the majority of monitored months.

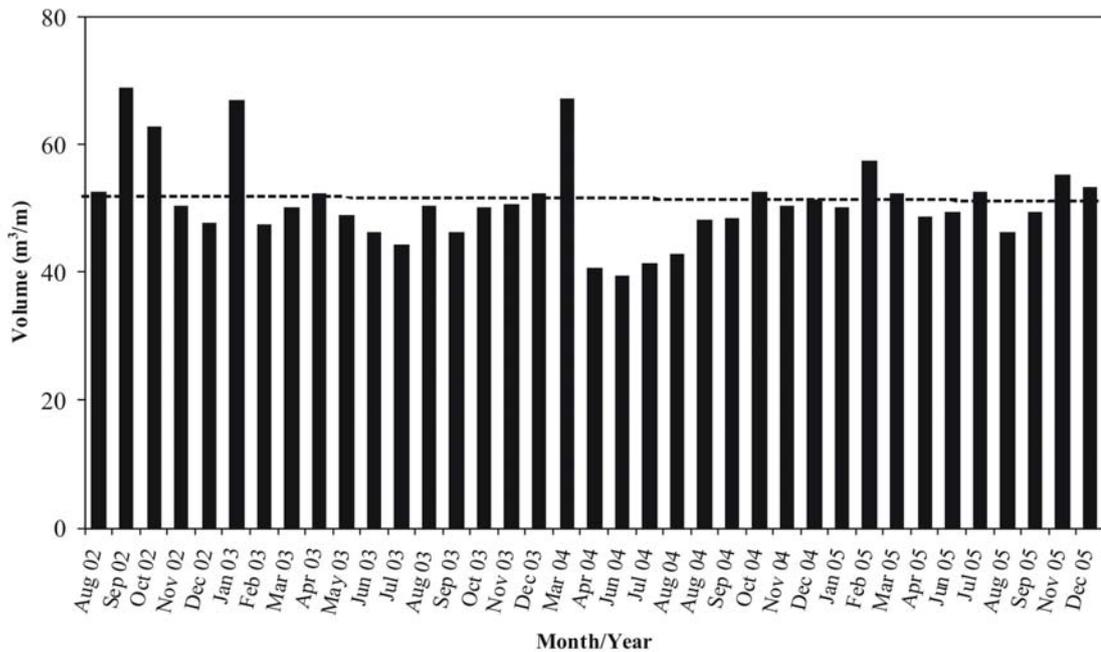


Figure 9. Volumetric variations in profile 5.

To better understand the volumetric variation observed through the time line, a statistical treatment was given to the data of sedimentary volume. The statistical results of the profiles are represented on Table 1 and in Figures 10 and 11.

Table 1. Statistical results for the volumetric variation of profiles

	P 1	P 2	P 3	P 4A	P 4B	P 5
Mean	159.02	257.5	232.25	46.56	116.66	50.45
Median	161	257	230	49	115	50
Mode	161.00	Multiple	226	Multiple	Multiple	52
Maximum	217	293	259	65	148	68
Minimum	115	224	201	21	81	39
Variance	483	171.6	180.02	104.16	276.38	44.47
Std. Dev.	21.97	13.09	13.41	10.2	16.62	6.66
Coef. Var.	13.64	5.08	5.77	21.52	14.24	13.2

It was observed that the rates between the mean and medium sedimentary volume of the profiles are close to one another, presenting a symmetrical distribution (Table 1 and Figure 10). Except that in profile 4 A, this rates presents a bigger difference, as well as between the maximum (65) and minimum (21) rate. However it is also observed that in relation to the degree of dispersion of the rates in relation to its average, just profile 5 presented (Table 1 and Figure 10) a lower rate of standard deviation (6.66) and a smaller rate of the variance (44). The smallest coefficients variation were only in profiles 2 (5.08) and 3 (6.4). The other

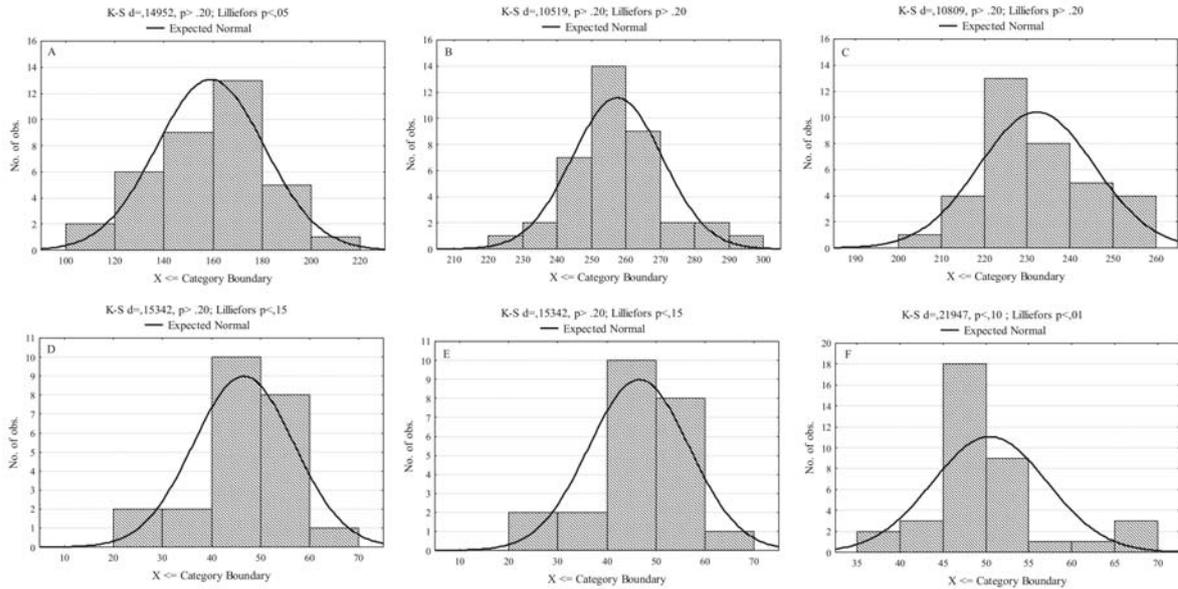


Figure 10. Histograms: A – Profile 1. B - profile 2. C- profile 3. D - profile 4A. E – profile 4B. F - profile 5.

The results from Pearson’s correlation (Table 2 and Figure 11) between the profiles from South to North, reveals that between profiles 2 and 1 there is an absence of linear relation (-0.14) in its sedimentary volume rates (Table 2 and Figure 11A). There is also an absence of relationship between profiles 3-2 and 4A-3, presenting rates of 0.06 (Table 3 and Figure 11B).

Table 2. Results of Pearson’s correlation between profiles

Profile	P 1	P 2	P 3	P 4A	P 4B
P 1					
P 2	-0.14				
P 3		0.06			
P 4A			0.06		
P 4B			0.51		
P 5				0.09	0.61

A weak positive correlation was observed between profiles 4B and 3 (Table 2 and Figure 11D) with a rate of 0.51, that is, as the rate of the volume of the profile 4B increases or decreases, the rate in profile 3 also increases or decreases. This was observed in the year of 2005, for the months of January, March, June, November and December.

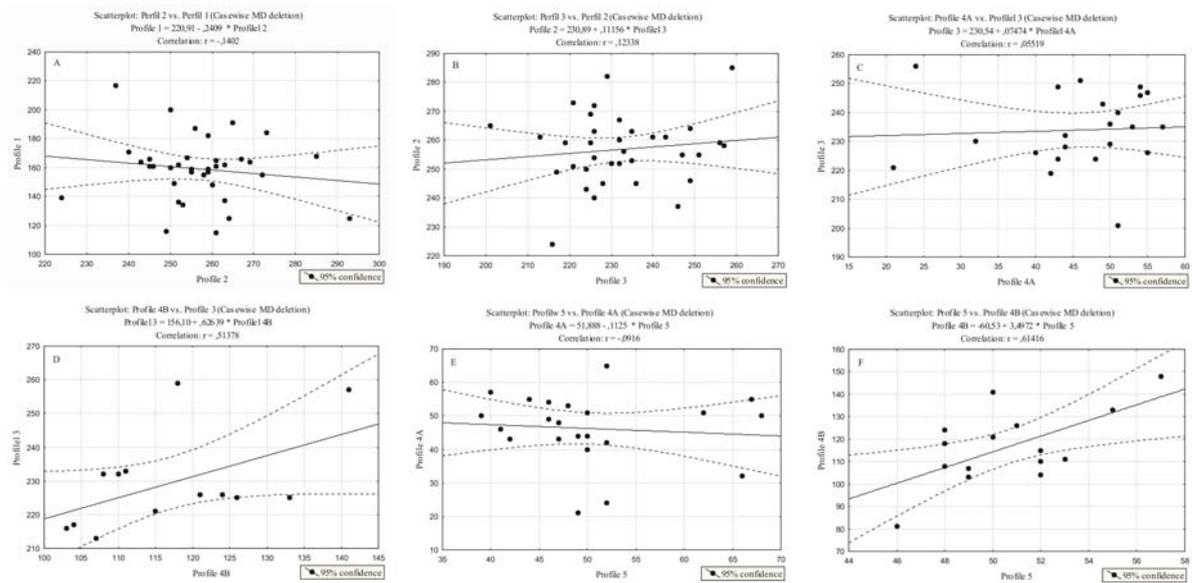


Figure 11. A - Correlation between profiles 2 and 1. B – between profiles 3 and 2. C - between profiles 4A and 3. D – between profiles 4B e 3. E - between profiles 5 and B. F – between profiles 5 and 4B.

On profiles 5 and 4A linear relation between rates (-0.09) was not observed. However there is a positive relation between profiles 5 and 4B with a rate of 0.61 (Table 2 and Figures 11E and 11F). As profile 5 increases or decreases its rate in the sedimentary volume, the same process occurs in the rates of profile 4B, for the month of December 2004; and in the year 2005 between the months of March, April, July, August, November and December. However only the months of March, November and December 2005 coincide with the months between profiles 4B-3 and 5-4B.

DISCUSSION

Studies by Wright & Short (1984), Aubrey & Ross (1985), Wright *et al.*, (1985), Bird (1996), Masselink & Pattiaratchi (2001), among others, presented that the results of the profile of a beach corresponds to an adjustment to seasonal cycles, with erosion occurring in more energetic conditions during the winter, and accretion in conditions of a calmer sea during winter.

However, this adjustment seems not to occur in the area of study. For example, profile 1, located to the North of the area of study, presented great morphological variations in the entire beach environment. Yet the period in which these variations occur corresponds to different times of the year. On the other hand a larger occurrence of sedimentary deficit was observed during the dry season, with only a low rate observed in the rainy season. For the months with greater deposition of sediment it was observed 50% for both periods, rainy and dry, respectively.

The biggest morphological variation of profile 2 occurred in the backshore and superior foreshore regions and between inferior foreshore and shoreface region. The occurrence of the smallest sedimentary deficit was observed in the rainy season as well as in the dry season, whereas sedimentary accretion occurred mainly during the rainy season. Profile 3 presented the biggest changes between the foreshore and the shoreface region and as in the previous profiles the accretion or sedimentary deficit also occurred in different periods. The rates with lowest volume are found during the dry season and the highest rates were mainly observed during the rainy season, contrary to what is found in current literature.

Profiles 4A and 4B present morphological variations in the entire beach environment and sedimentary deficit for the whole period. Also, like the other profiles, they present rates of highest and lowest sedimentary volumes in both periods, rainy and dry. Profile 5, located to the South of the coastal protection feature has its largest morphological changes throughout the entire beach environment and had the highest and lowest rates of sedimentary volume in the rainy and dry season, as was already observed for profiles 1, 4A and 4B. However the occurrence of a smaller rate was observed during the raining period.

In relation to the statistical parameters for analysis of the results on sediment balance it was observed that profiles 1, 3 and 4B presented a higher standard deviation in relation to its averages, and the lowest rate was observed in profile 5. However the profiles that presented the lowest coefficient variation were profiles 2 and 3; the coefficient variation is a relative measurement that indicates the percentage relationship between the standard deviation and the mean data. Profiles 2, 4A and 4B had multiple modes, that is, presented more than one rate with similar results and profiles 1, 3 and 5 is unimodal. Pearson's correlation was done between profiles from south to north for according to Coutinho *et al.*, (1997) and Bittencourt *et al.*, (2005), this is the direction of the coastal current, showing that profiles 2-1, 3-2, e 4A-3 do not have a linear relation. This means that when a profile increases or decreases its rate the

same process occurs in the following profile. However this only coincides in the months of March, November and December 2005, between profiles 4B-3 and profiles 5-4B.

According to Rollnic e Medeiros (2004), the liquid transport to the surface on the beaches of Boa Viagem and Piedade (located near the southern part of the area of study) is southbound. In the intermediary layer the transport is offshore (5.8 to 31.6 cm.s^{-1}); bed load transport is less intense, even with the increase in velocity, varying from 7.2 to 21.9 cm.s^{-1} in the direction of the coast, except near the mouth of the Jaboatão River (to the South of the area of study), which is in the direction of the sea. The offshore transport of the intermediary layer could explain the absence of correlation between the profiles.

The direction of the transport along the coastline is related to the angle of incidence and wave heights has an important part in the sediment budget of the Brazilian coast, (Martin *et al.*, 1998). According to literature the South Atlantic (Martin *et al.*, 1987; Dominguez *et al.*, 1992; Martin *et al.*, 1998; Bittencourt *et al.*, 2005; Tessler & Goya, 2005), has waves generated by winds in the E-SE direction. Between the boundaries of the states of Alagoas-Pernambuco and the city of Touros (in the state of Rio Grande do Norte) the coast has more or less a north-south direction, where the angle of incidence is small and as a result doesn't have good sediment transport (Martin *et al.*, 1998; Bittencourt *et al.*, 2005). The waves approach the coastline in parallel and a small change in the angle of incidence of the waves produces a change in the direction of the currents. And where there is convergence of cells the sedimentary budget is positive, in contrary directions the sedimentary balance is negative (Martin *et al.*, 1998).

Between the states of Alagoas (Miai) and Rio Grande do Norte (Genipabu), the Holocene plains are poorly developed or absent, and the sedimentary deficit is perceived by the presence of exhumed beachrock (Bittencourt *et al.*, 2005), being these exhumed under the face of the beach by retraction of the coastline (Semeniuk & Searle, 1987; Bittencourt *et al.*, 2005). According to Komar (1998), the coastal sedimentary supply is applied using the mass conservation principle, where the ratio is measured between the time and quantity of sand subtracted from the system.

In the study area, along its 8 km of extension, there is the presence of *beachrocks*, which present the following situations: open beaches, sheltered beaches and/or sheltered by *beachrocks*. In the case of profile 1, where the existent beachrock line is not totally uncovered during low tide, also presents a line of beachrocks in the foreshore of the beach, which is exhumed during some months of the year, independent of the rainy or dry season. Profiles 2

and 3, located in the middle section of the study area are located in open areas and semi open areas respectively, and are the ones that present a larger balance and a positive sedimentary budget, this way not demonstrating a relation between accretion or erosive process with the presence of beachrocks for coast protection. As for profiles 4A and 4B, located in sheltered areas, they presented higher sediment loss, even with the beachrock protection.

During the survey period, the profiles did not present likeness to models and studies in morphological and volumetric changes in existing literature, for the cited beaches, as for example the studies of Larson & Kraus (1994), Morton *et al.*, (1995), Lee *et al.*, (1998), Gornitz *et al.*, (2002), Allan & Komar (2006), Short (2006), Wright & Short (1984), Wright *et al.*, (1985), Short (2003), Masselink & Pattiaratchi (2001), Eliot *et al.*, (2006), Short (2006). The seasonal cycles of the beaches are attributed to variations in the levels of wave energy (Komar, 1998), but not all beaches are characterized by seasonal variations of incident waves, some beaches are narrower in the summer and wider in the winter (Masselink & Pattiaratchi, 2001).

Along the coastline of Perth (Australia) the variations are not caused only by the level of wave energy, but reflect seasonal variations caused by changes in the direction of the current along the coast (Masselink & Pattiaratchi, 2001). In the Brazilian coast this situation is also observed in the Armação Beach (in the region of the city of Salvador, Bahia) by Dominguez *et al.*, (1992), Martin *et al.*, (1998), Bittencourt *et al.*, (2005); in the coast of the state of Rio Grande do Sul by Esteves *et al.*, (2002); in the coast of the state of Rio Grande do Norte by Chaves (2006), where coastal erosion seems to be the consequence of the lack of sedimentary supply throughout the coastline, as well as the bed load morphology in the erosive and depositional process through the effects of wave refraction.

The variations of deposition or erosive processes found in this study could, probably, be related to seasonal variations of the currents throughout the coastline.

CONCLUSIONS

The biggest morphological variations were observed in the profiles located to the North and South of the study area (profile 1 and 5), as well as to the north of the revetment stone (profiles 4A and 4B). These profiles present variations in the entire beach environment. Profiles 2 and 3, located in the center part of the area of study presented its biggest

morphological variations between the foreshore and shoreface regions, and presented themselves more balanced than the profiles that were found in the extremes of the study area.

The profiles do not demonstrate a relation between deposition or erosive process with the presence of beachrock for coastal protection, since Profiles 4A and 4B are found in protected areas and profiles 2 and 3 are located in open areas and semi opened areas, respectively, are the ones that present greater balance and positive sedimentary budget.

The profiles did not present morphologic variations according to the variation in the beach environment mentioned in conventional literature. They presented variations in different seasonal periods, but according to studies in the coastal zone of Brazil, and in Australia, some beaches do not follow the seasonal rhythm, and that variations are not only caused by the level in wave energy, but reflect the seasonal changes caused by the change in the direction of the current along the coast. The study area is also located in a region where there is evidence of sedimentary deficit, manifested by the presence of exhumed beachrock.

Profile 4A presented a negative sedimentary balance for the entire survey, being extinct after the last tropical storm that occurred in the month of August 2004. Profile 4B also presented a negative sedimentary budget, with great variation in its morphology in the entire beach environment. Profiles 2-1, 3-2, 4A-3 didn't present a linear relation between its sedimentary volume rates. However a positive linear relation was observed between profiles 4B-3, 5-4B. This means that when a profile increases or decreases its rate, the same process occurs in the following profile.

Probably the erosion found in the study area is related to the same process that occurs in other areas of the Brazilian coast, like the one found in the beaches of Salvador, Rio Grande do Norte and in southern Brazil. However, for such an affirmative it is necessary a more profound study on the direction of currents and sub cellules of the environment.

ACKNOWLEDGMENTS

Acknowledgments to fellow undergraduate students and friends from Geology, Bruno, Júlio, Amaral, Flávia, to my friend Iceiber, Mirela and to PhD student in Geology Antonio Ferreira from the UFPE, for his collaboration in field work. To Maximiliano Michelli, from the University of Kiel for his good suggestions and to FACEPE and CAPES for the scholarship.

REFERENCES

- ALLAN, J. C. & KOMAR, P. D., 2006. **Climate controls on US West coast erosion processes.** *Journal of Coastal Research, Florida*, 22 (3): 511-529.
- ANDRADE, G. O., 1997. **Alguns aspectos do quadro natural do Nordeste.** Recife, Ministério do Interior, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, Recife, p. 9-19.
- ANFUSO, G. & DEL RIO L., 2003. **Cuantificación de las variaciones volumétricas y evolución del litoral entre Chipona y Rota (Cádiz) durante el periodo 1996 – 1998.** *Revista C&G*, 17:17 – 27.
- ARAÚJO, T. C. M.; SEOANE, J. C. S.; COUTINHO, P. N., 2004. **Geomorfologia da Plataforma continental de Pernambuco.** In: Leça E. E., Neumann-Leitão, S. e Costa M.F. (Eds.) *Oceanografia – Um cenário tropical*, Recife, Ed. Bagaço, 39-57.
- AUBREY, D. G. & ROSS, R. M., 1985. **The quantitative description of beach cycles.** *Marine Geology*, 69:155-170.
- BESSA JÚNIOR, O. & ANGULO, R. J., 2003. **Volumetric variations on the beaches of the South Seashore of Parana State in Brazil.** *Journal of Coastal Research*, Itajaí, SI(35):202-208.
- BIRD, E. C. F., 1996. **Beach management.** Chichester, John Wiley & Sons Ltda, 281p.
- BIRKEMEIER, W. A., 1981. **Fast Accurate Two-person beach survey.** *Coastal Engineering Technical Aid 81-11.*, Mississipi, U. S. Army Engineer Waterways Experimental Station. Coastal Engineering Research Center, 22p.
- BITENCOURT, A. C. S. P.; FARIAS, F. F.; ZANINI JR., A., 1987. **Reflexo das variações morfodinâmicas praias nas características texturais dos sedimentos da praia da Armação, Salvador, BA.** *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 17(3):276-282.
- BITENCOURT, A. C. S.; DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; SILVA, I. R., 2005. **Longshore transport on the northeastern Brazilian coast and implications to the locations of large scale accumulative and erosive zones: An overview.** *Marine Geology*, 219: 219 – 234.
- CALLIARI, L. J. & KLEIN, A. H. F., 1993. **Características morfodinâmicas e sedimentológicas das Praias Oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS.** *Pesquisas*, Porto Alegre, 20: 48-56.

- CHAVES, M. S.; VITAL, H.; SILVEIRA, I. M., 2006. **Beach morphodynamic of the serra oil field, northeastern Brazil**. *Journal of Coastal Research*, 39:594-597.
- CLARK, D. J. & ELIOT, I. G., 1988. **Low frequency changes of sediment volume on the beachface at Warilla Beach, New South Wales**. *Marine Geology*, Amsterdam, 79:189-211.
- COUTINHO, P. N.; LIMA, A. T. O.; QUEIROZ, C. M.; FREIRE, G. S. S.; ALMEIDA, L. E. S. B.; MAIA, L. P.; MANSO, V. A. V.; BORBA, A. L. S.; MARTINS, M. H. A.; DUARTE, R. X., 1997. **Estudos da erosão marinha nas praias de Piedade e de Candeias e no estuário de Barras das Jangadas**. Município de Jaboatão dos Guararapes – PE. Relatório Técnico 154p.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; LEÃO, Z. M. A. N.; AZEVEDO, A. E. G., 1990. **Geologia do quaternário costeiro do Estado de Pernambuco**. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 20: 208-215.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S.; MARTIN, L., 1992. **Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate**. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, 80: 213-232.
- DUARTE, R. X., 2002. **Caracterização morfo-sedimentológica e evolução de curto e médio prazo das praias do Pina, Boa Viagem e Piedade, Recife, Recife/Jaboatão dos Guararapes – PE**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-graduação em Geociências, Recife, 141p.
- ELIOT, M. J.; TRAVERS, A.; ELIOT, I., 2006. **Morphology of a low beach, Como Beach, western Australia**. *Journal of Coastal Research*, Florida, 22 (1): 63-77.
- ESTEVES, L. S.; TOLDO JR., E. E.; DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J., 2002. **Long-and short-term coastal erosion in southern Brazil**. *Journal of Coastal Research*, 36:273-282.
- GORNITZ, V.; COUCH, S.; HARTIG, E. K., 2002. **Impacts of sea level rise in the New York City metropolitan area**. *Global and Planetary Change*, 32: 61-68.
- GREGÓRIO, M. N.; ARAÚJO, T. C. M.; VALENÇA, L. M. M., 2004. **Variação sedimentar das praias do Pina e Boa Viagem, Recife (PE) – Brasil**. *Tropical Oceanography*, Recife: v. 32, n. 1, p. 39-52.
- HAMM, L.; CAPOBIANCO, M.; DETTE, H. H.; LECHUGA, A.; SPANHOFF, R.; STIVE, M. J. F. A., 2002. **Summary of European experience with shore nourishment**. *Coastal Engineering*, 47: 237 – 264.
- KEMPF, M.; MABESSONE, M. J.; TINOCO, I. M., 1967/69. **Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil)**. *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, Recife, 1:125-148.

- KOMAR, P. D., 1988. **Beach Processes and Sedimentation**. 2nd ed. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice-Hall, 544 p.
- KRAUSE, G. & SOARES, C., 2004. **Analysis of beach morphodynamics on the Bragantian mangrove peninsula (Pará, North Brazil) as prerequisite for coastal zone and management recommendations**. *Geomorphology*, Amsterdam, 60:225-239.
- LACEY, E. M. & PECK, J. A., 1998. **Long term beach profile variations along the South Shore of Rhode Island USA**. *Journal of Coastal Research*, Lawrence, 14(4):1255-1264.
- LARSON, M. & KRAUS, N. C., 1994. **Temporal and spatial scales of beach profile change, Durck, North Carolina**. *Marine Geology*, Amsterdam, 117:75-94.
- LEE, G.; NICOLLS, R. J.; BIRKEMEIER, W., 1998. **Storm-driven variability of beach-nearshore profile at Durck, north Carolina, USA, 1981 – 1991**. *Marine Geology*, 148: 163-177.
- LIMA, Z. M. Z.; VITAL, H.; TABOSA, W. F., 2006. **Morphodynamic variability of the Galinhos spit, Northeastern Brazil**. *Journal of Coastal Research*, Lawrence, SI(39):123-27.
- MANSO, V. A. V.; COUTINHO, P. N.; LIMA, A. T. O.; MEDEIROS, A. B.; ALMEIDA, L. E. S. B.; BORBA, A. L. S.; LIRA, A. R. A.; PEDROSA, F. J. A.; CHAVES, N. S.; DUARTE, R. X.; IVO, P. S., 1995. **Estudos da erosão marinha na praia da Boa Viagem**. Recife, Convênio ENLURB/FADE/LGGM – UFPE. Recife, 98 p. (Relatório Técnico).
- MARTINS, M. H. A., 1997. **Caracterização morfológica e vulnerabilidade do litoral da Ilha de Itamaracá – PE**. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-Graduação em Geociências. Recife, Dissertação de Mestrado, 104p.
- MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S., 1998. **Climatic control of coastal erosion during a sea-level fall episode**. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, Rio de Janeiro, 70: 249-266.
- MASSELINK, G. & PATTIARATCHI, C. B., 2001. **Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, western Australia**. *Marine Geology*, 172: 243-263.
- MORTON, R. A.; GILBEAUT, J. C.; PAINE, J. G., 1995. **Meso-scale transfer of sand during and after storms: implications for prediction of shoreline movement**. *Marine Geology*, 126: 161-179.
- MUEHE, D. & CORREA, C. H. T., 1989. **Dinâmica de praia e transporte de sedimentos na restinga da Maçambaba, RJ**. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 19(3):387-392.

- MUEHE, D., 1998. **Geomorfologia costeira**. In: Guerra, A. J. T. & Cunha, S. B. (Eds.) *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 253-306.
- MUEHE, D., 2001. **O Litoral Brasileiro e sua compartimentação**. In: Guerra, A. (Ed.) *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 273-337.
- PEREIRA, L. C. C.; JIMENÉZ, J.; MEDEIROS, C., 2003. **Environmental Degradation of the Littoral of Casa Caiada and Rio Doce, Olinda (PE), Brazil**. *Journal of Coastal Research*, Itajaí, SI(35):502-205.
- PONTES, P. M. & ARAÚJO, T. C. M., 2006. **Monitoramento morfológico das praias do Estado de Pernambuco – Brasil. análise temporal e espacial**. *Tropical Oceanography (Revista Online)*, Recife, v. 34, n. 1, 1 – 11.
- READING, H. G. & COLLINSON, J. D., 1976. **Clastic coast**. In: Reading, H. g. (Ed.). *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. 3ª Ed. Oxford: Blackwell Science.
- ROLLNIC, M. & MEDEIROS, C., 2004. **Circulation of the coastal waters off Boa Viagem, Piedade and Candeias Beaches-PE, Brazil**. *Journal of Coastal Research*. (Accepted but still unpublished).
- SEMENIUK, V. & SEARLE, D. J., 1987. **Beach Rock Ridges/Bands along a high-energy coast in southwestern Australia – their significance and use in coast history**. *Journal of Coastal Research*, Charlottesville, 3:331-342.
- SHORT, A. D., 2003. **Australia Beach systems – the morphodynamics of wave through tide dominated beach-dune systems**. *Journal of Coastal Research*, Itajaí, SI(35):07-20.
- SHORT, A. D., 2006. **Australian beach systems – nature and distribution**. *Journal of Coastal Research*, Florida, 22 (1):11-27.
- SWALES, A., 2002. **Geostatistical estimation of short-term changes in beach morphology and sand budget**. *Journal of Coastal Research*, Folrida, ISSN 0749-0208. 11-27.
- TESSLER, M. G. & GOYA, S. C., 2005. **Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro**. *Revista do Departamento de Geografia*, 17:11-23.
- THOMALLA, F. & VINCENT, C. E., 2003. **Beach response to shore-parallel breakwaters at Sea Palling, Norfolk, UK**. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 56:203-212.
- TOZZI, H. A. M. & CALLIARI, L. J., 1999. **Morfodinâmica da Praia do Cassino, RS**. *Pesquisas*, Porto Alegre, 1(26):1-25.

WRIGHT, L. D. & SHORT, A. D., 1984. **Morphodynamic variability of surf zone and beaches: a synthesis.** Marine Geology, Amsterdam, 56:93-118.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D.; GREN, M. O., 1985. **Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: an empirical predictive model.** Marine Geology, Amsterdam, 62:339-364.

CAPÍTULO 5 - EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA LINHA DE COSTA DA CIDADE DO RECIFE, NORDESTE DO BRASIL

RESUMO

O estudo teve como objetivo analisar a evolução espacial e temporal da linha de costa em um intervalo de 48 anos, das praias do Pina e da Boa Viagem (Recife, PE). A área em estudo tem uma extensão de 8 km e desde a última década apresenta problemas de erosão marinha. O estudo multi-temporal foi baseado na análise de fotografias aéreas (1960, 1974, 1981, 1997, na escala 1: 6000), e da linha de costa de 2008, realizada com equipamentos GPS geodésicos. Com objetivo de determinar, ao longo de 48 anos a evolução da linha de costa, através do cálculo da variação de progradação e retração, a área foi dividida em 4 setores (A, B, C e D), de norte para sul. O setor A revela taxas de retração, no valor de -1.84 m/14 anos (1960-1974); -0.76 m/21 anos (1960-1981); -0.07 m/37 anos (1960-1997); -0.26 m/48 anos (1960-2008). O grupo com os maiores valores nas taxas de retração se encontra no Setor C, a partir de 1974, -0.87 m/21anos (1960-1981), -0.56 m/37 anos (1960-1997), -0.44 m/48 anos (1960-2008). O Setor B também só apresentou progradação no período de 1960-1974 (2.50 m/14 anos). O setor D, apresentou retração para todos os períodos, sendo a maior no período de 1960-1974 (-1.61 m/14 anos). Para as distâncias observadas, o setor A, apresentou os maiores valores de variância 3.01 (1960-1974), e 1.02 (1960-1981). Não foi observada uma relação linear para a maioria dos períodos analisados, sendo que os valores observados são em sua maioria negativos e em períodos diferentes. A área apresenta retração ao longo dos 48 anos analisados de norte para sul, configurando a mudança de linha de costa na mesma direção, exceto entre 1960-1974, nos Setores B e C..

PALAVRAS CHAVES: linha de costa, análise multi-temporal, retração.

INTRODUÇÃO

A ação das ondas e das correntes litorâneas comanda os processos de erosão e de deposição ao longo da costa. Dependendo de sua intensidade, da taxa de suprimento de areia e da declividade da zona costeira, pode levar a acumulação de grandes corpos clásticos arenosos, desenvolvidos abaixo e acima do nível da água, sendo denominados de áreas litorâneas (Villwock, *et al.*, 2005).

A dinâmica sedimentar atual responde pelas variações da linha de costa, quer sejam de caráter momentâneo, quer sejam uma tendência sedimentar de um segmento costeiro. Esta dinâmica é regida principalmente por condicionantes oceanográficos: o clima de ondas, o regime de marés e a deriva litorânea. A deriva litorânea é o processo mais significativo de transporte de sedimentos ao longo das costas arenosas e qualquer modificação introduzida

pelo homem afeta o equilíbrio de estoque natural de areia das praias, nas taxas de erosão e deposição. Como por exemplo: molhes, portos, aterros e drenagens têm sido responsáveis por erosão de muitos trechos da costa brasileira (Villwock, *et al.*, 2005).

Mais que 70% da linha de costa do mundo apresentam retração e menos de 10% têm progradado (Bird, 1996). Estudos sobre deslocamento de linha de costa têm sido realizados em várias partes do mundo, como por exemplo: na Espanha, Muñoz-Perez *et al.*, (2001); em Portugal, Teixeira e Pinto (2002), Souza (2004), Oliveira (2005), Ferreira *et al.*, (2006); Sul do Mar Báltico (Schwarzer e Schrottke, 1999); na Flórida, Miller e Dean (2004).

Dos estudos realizados no Brasil, encontra-se: no Rio Grande do Sul, Baitelli *et al.*, (1999), Esteves *et al.*, (2002), Toldo Jr. *et al.*, (2005); no Rio Grande do Norte, Lima *et al.*, (2001); Grigio (2003); Lima (2004), Chaves (2005); no Ceará, cidade de Fortaleza, Bezerra *et al.*, (2003); no estado de Pernambuco: na cidade do Recife, Duarte (2002), Itamaracá, Mendonça (2005), Olinda, Pedrosa (2006), e Jaboatão dos Guararapes, Santos (2008).

A conservação e a manutenção das praias, envolvendo limpeza, balneabilidade e principalmente os problemas decorrentes de sua erosão, mereceram destaque na Conferência Mundial das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, no Rio de Janeiro, constando como prioridade na Agenda 21. Países como Estados Unidos, Alemanha, Espanha, Japão têm investido milhões para recuperação e manutenção de suas praias. No Brasil, os investimentos são realizados de forma pontual, com investimentos municipais e particulares. Porém, a conservação das praias brasileiras tem sido inserida no contexto do Plano Nacional Brasileiro, PNGC (Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1998), para atender aos preceitos da Agenda 21 (Souza *et al.*, 2005).

A configuração, do litoral brasileiro, tanto em relação a sua posição geográfica quanto à orientação da linha de costa, resultou, em grande parte, da origem das bacias sedimentares e do Oceano Atlântico (Tessler e Goya, 2005). O crescimento do turismo e a intensa ocupação das áreas urbanas e as suas conseqüências estão associadas aos riscos das propriedades (Teixeira e Pinto, 2002). O principal foco das zonas costeiras é seu valor econômico, devido ao grande número de atividades sócio-econômicas e seus impactos concentrados nestas zonas (Schwarzer e Schrottke, 1999). O manejo de praias erodidas é necessário para a compreensão das causas da erosão, antes de buscar as soluções (Bird, 1996).

Na linha de costa do Brasil vários lugares apresentam evidências de erosão marinha. Em Pernambuco, entre o Cabo de Santo Agostinho e a Ilha de Itamaracá (Muehe, 1998), apresenta erosão que varia de moderada a severa (Manso *et al.*, 1995). A área em estudo compreende as

praias do Pina e da Boa Viagem, localizadas na cidade de Recife-PE, que apresentam problemas de erosão há mais de uma década. Compreendem uma área de 57,48 hectares, com uma extensão de 8 km, entre as coordenadas planas 9106000 – 9097000 N e 294000 – 287000 E (Figura 1).

Segundo Silva *et al.*, (2006), na década de 70, a praia da Boa Viagem foi palco da exploração turística que acelerou seu processo de urbanização. Sem planejamento adequado, à orla da Boa Viagem passou a ser explorada não só pela atividade turística, mas também pela atividade imobiliária, resultando na perda das características ambientais.

O objetivo do estudo foi determinar a evolução multi-temporal e espacial da linha de costa, ao longo de 48 anos, através do cálculo da variação de sua progradação e retrogradação. O fator importante para tal objetivo consta da necessidade de monitoramento da posição da linha de costa das praias do Pina e da Boa Viagem, devido ao processo erosivo atuante na área. Atualmente conta com uma obra de contenção localizada ao sul da área, iniciada em 1995 e prolongada para o norte durante o ano de 2004. Além disso, são praias urbanizadas de grande valor econômico para a região, além do papel que apresentam para o turismo da região, sua beleza cênica.

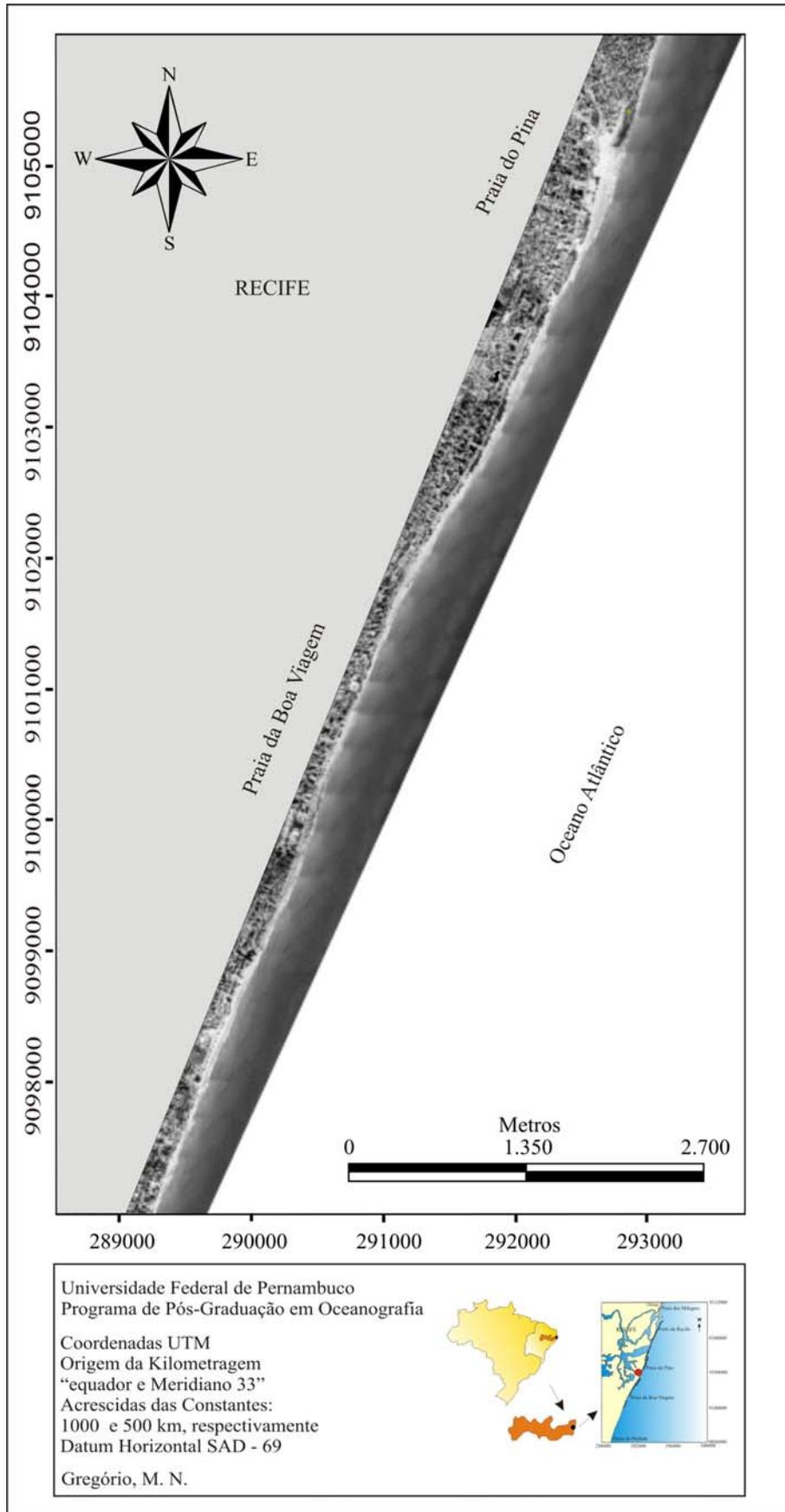


Figura 1 - Localização da área de estudo.

MÉTODOS

Para determinar a evolução da linha de costa, foram utilizadas fotografias aéreas dos anos de 1960, 1974, 1981, 1997 e a linha de costa 2008, totalizando um estudo de 48 anos. As fotografias aéreas do ano de 1960 foram obtidas junto ao Departamento de Oceanografia (Universidade Federal de Pernambuco), em formato impresso, na escala 1:6000, sendo posteriormente processadas para o formato digital. As fotografias aéreas dos anos de 1974, 1981, 1997, foram obtidas junto a Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife (FIDEM), em formato digital, na escala 1:6000. A linha de costa de 2008 foi realizada com equipamentos geodésicos no modo relativo cinemático (Mendonça, 2005) e cedida pelo projeto MAI (Monitoramento Ambiental Integrado).

Todas as imagens foram geoprocessadas através do *software AutoCad*, sobre um mapa com a escala de 1:1000, geo-referenciado no sistema UTM (Universal Transversal Mercator) e Datum SAD-69 (South American Datum - SAD-69), que serviu como base cartográfica. Sendo definido como linha de costa, a linha da última maré, identificada através da linha de deixa, esta foi utilizada como base, para o delineamento da linha de costa e para a comparação entre as variações ocorridas. Uma linha de costa foi traçada para cada ano, e depois utilizada a variação da distância entre a linha base (1960) e os anos de 1974, 1981, 1997 e 2008 (Figura 2).

O cálculo das taxas de evolução da linha de costa de progradação e retração, foi realizado de modo automático na extensão DSAS (*software ArcGIS 9.1*), através das distancias dos transectos entre a linha base (1960) e os demais anos, com intervalo de 5 m. As variações das distâncias, em metros, foram calculadas pela multiplicação da variação das taxas pelos números de anos em relação à linha base. A fim de uma melhor compreensão, os dados foram agrupados em um programa estatístico e calculada a média, mediana, variância, desvio padrão, e a correlação linear de Pearson

LINHA DE COSTA

Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos na variação da linha de costa, durante os 48 anos, a área de estudo foi dividida em 4 setores, em função do afastamento e da aproximação das linhas de costa. O Setor A, está localizado na praia do Pina e parte norte da praia da Boa Viagem, indo do norte da praia do Pina a Rua Henrique Captulino; o Setor B,

da Rua Henrique Captulino a Casa da Aeronáutica, número 4224 da Av. Boa Viagem; o Setor C, da Casa da Aeronáutica ao norte do Parque Dona Lindu, o Setor D ao norte do Parque Dona Lindu ao limite do município do Jaboatão dos Guararapes (Figura 2).

As variações das médias, mediana, variância e desvio padrão das taxas dos transectos, encontram-se agrupadas na Tabela 1. A representação gráfica das variações entre a linha base (1960) e os demais anos (1974, 1981, 1997 e 2008), encontra-se nas Figuras 2, 3, 4, 5, e 7.

Tabela 1 – Resultados das taxas de evolução da linha de costa dos setores A, B, C e D, para os anos de 1960, 1974, 1981, 1997 e 2008

Setores	Média (m/ano)	Mediana (m/ano)	Mínimo (m/ano)	Máximo (m/ano)	Variância	Desv. Pad.	
Setor A	1960-1974	-1.84	-1.94	-5.24	1.51	3.01	1.74
	1960-1981	-0.76	-0.81	-2.80	0.97	1.04	1.02
	1960-1997	-0.07	-0.11	-1.00	1.15	0.26	0.51
	1960-2008	-0.26	-0.28	-1.07	0.90	0.19	0.44
Setor B	1960-1974	2.50	2.59	1.10	3.53	0.50	0.70
	1960-1981	-0.62	-0.71	-2.02	0.49	0.40	0.63
	1960-1997	0.03	0.04	-0.38	0.42	0.03	0.17
	1960-2008	-0.04	-0.07	-0.30	0.37	0.03	0.18
Setor C	1960-1974	0.42	0.19	-0.79	2.30	0.75	0.86
	1960-1981	-0.87	-0.95	-1.62	-0.21	0.16	0.40
	1960-1997	-0.56	-0.64	-0.95	0.06	0.05	0.23
	1960-2008	-0.44	-0.44	-0.76	-0.13	0.02	0.15
Setor D	1960-1974	-1.61	-1.59	-2.43	-0.56	0.26	0.51
	1960-1981	-1.13	-1.06	-1.94	-0.41	0.17	0.41
	1960-1997	-0.19	-0.02	-1.12	0.30	0.19	0.43
	1960-2008	-0.19	-0.15	-0.61	0.09	0.05	0.21

O setor A apresentou o maior valor médio nas taxas de retração da linha de costa, no extremo norte da área, entre 1960-1974, todos os valores médios das taxas de evolução da linha de costa deste setor foram negativos, porém com valores negativos menores, em relação ao período 1960-1974. As médias das variações (Tabela 1, Figuras 2 e 3) foram observadas nos valores de -1.84 m/14 anos (1960-1974), -0.76 m/21 anos (1960-1981), -0.07 m/37 anos (1960-1997), -0.26 m/48 anos (1960-2008). As maiores das taxas de retração (valores negativos) foram observadas no Setor A, nos valores de -5.24 m/14 anos (1960-1974), -2.80 m/21 anos (1960-1981), -1.00 m/37 anos (1960-1997) e -1.07 m/48 anos (1960-2008). Porém, foram observados valores máximos positivos nas taxas de evolução (progradação) entre 1960-1974 (1.51 m/14 anos) e 1960-1997 (1.15 m/37 anos), Tabelas 1 e 2 e Figuras 2 e 3.

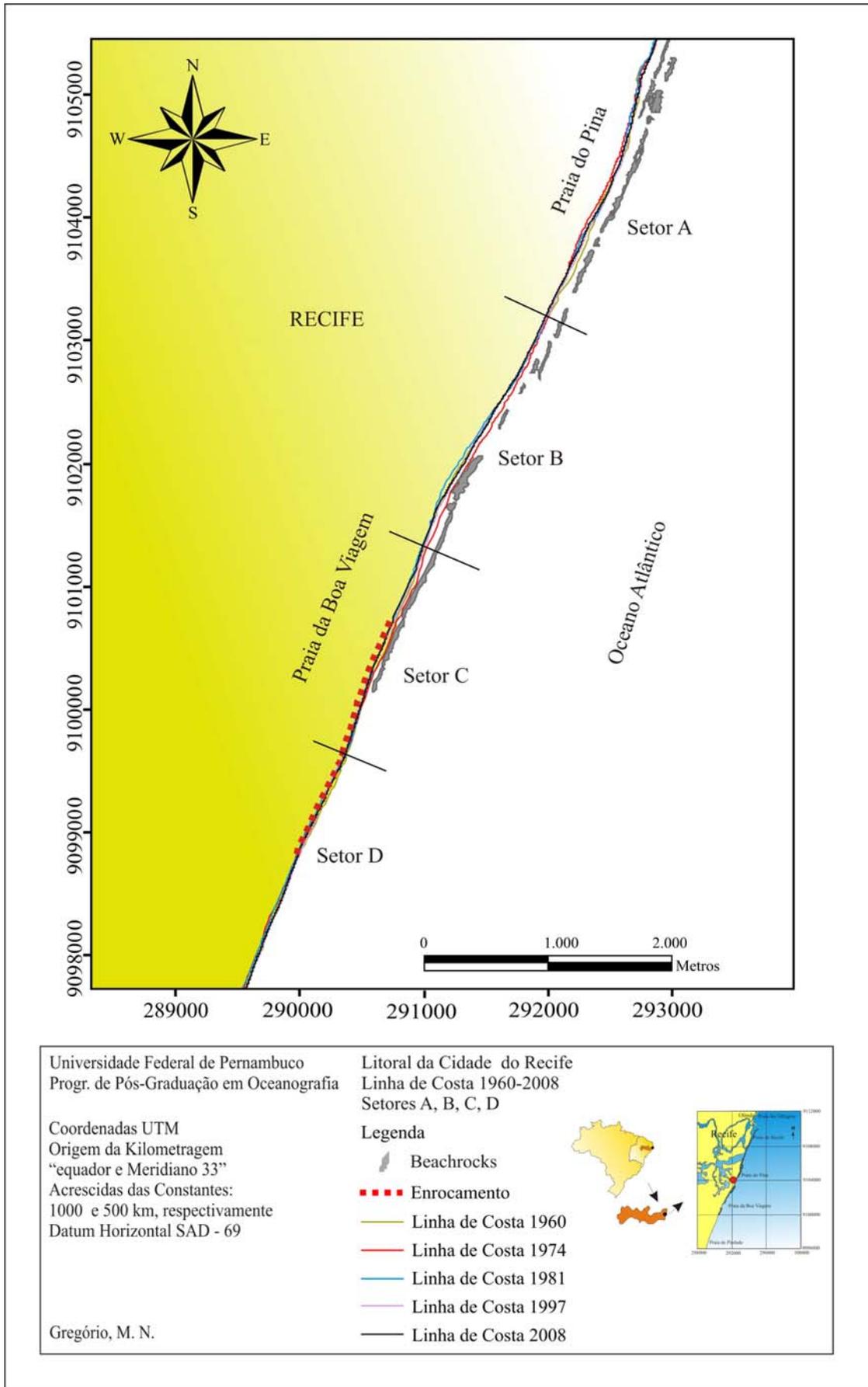


Figura 2 – Linhas de costa para os anos de 1960, 1981, 1997 e 2008, nos Setores A, B, C e D.

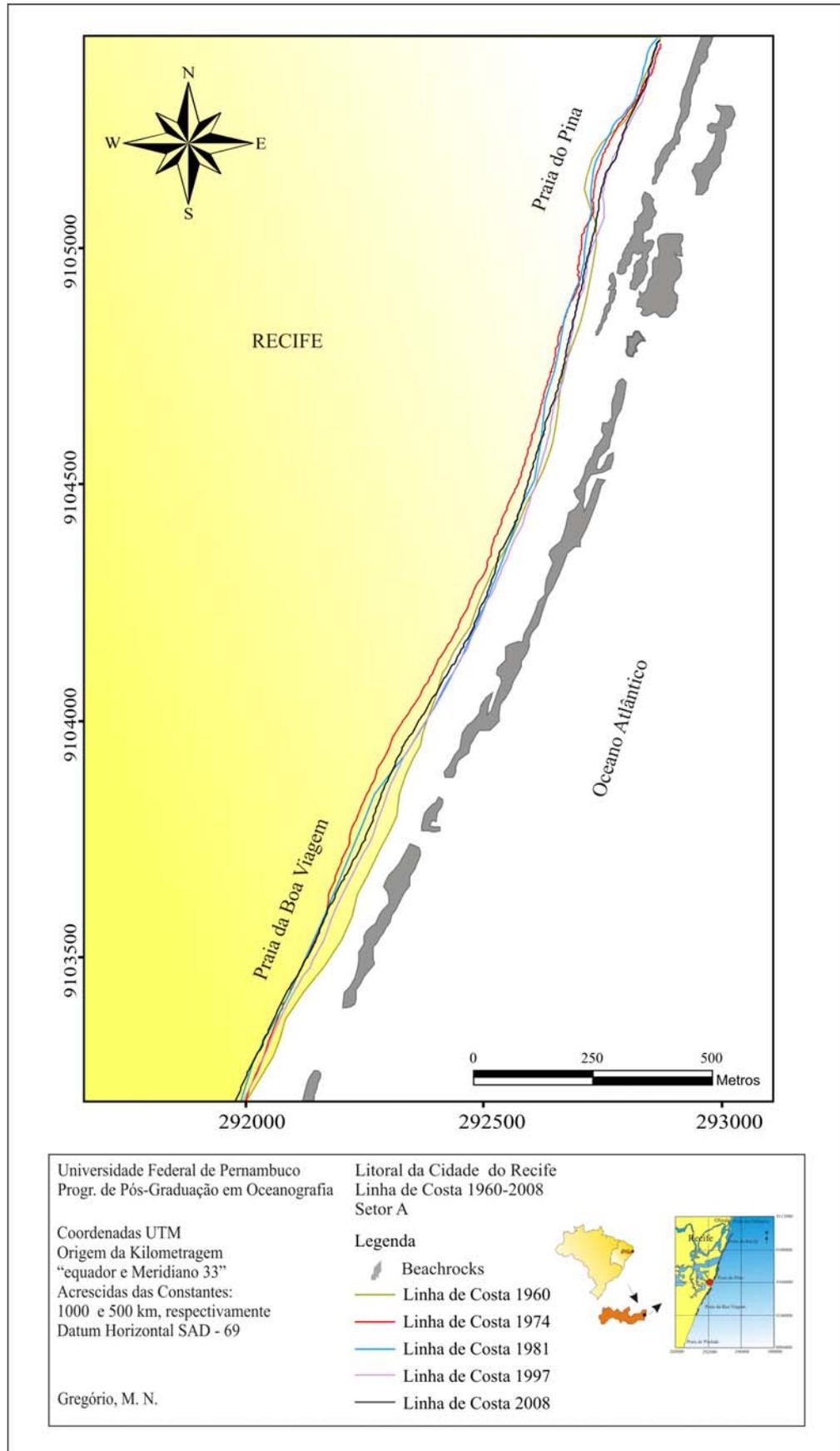


Figura 3 - Linhas de Costa para os anos de 1960, 1981, 1997 e 2008, no Setor A.

Os maiores valores nas distâncias dos transectos (Tabela 2) observados no Setor A, em relação à progradação foram entre os anos de 1960-1997 (42.55 m) e 1960-2008 (43.20 m). Porém as médias de suas distâncias foram negativas para todos os anos.

Tabela 2 – Resultados estatísticos das distâncias nos transectos nos setores A, B, C e D, para os anos de 1960, 1974, 1981, 1997 e 2008

	Setores	Média (m)	Mediana (m)	Mínimo (m)	Máximo (m)	Variância	Desv. Pad.
Setor A	1960-1974	-25.73	-27.16	-73.36	21.14	590.93	24.31
	1960-1981	-15.98	-17.01	-58.80	20.37	460.60	21.46
	1960-1997	-2.77	-4.07	-37.00	42.55	351.58	18.75
	1960-2008	-12.56	-13.44	-51.36	43.20	445.03	21.10
Setor B	1960-1974	34.99	36.26	15.40	49.42	97.27	9.86
	1960-1981	-13.11	-14.91	-42.42	10.29	174.46	13.21
	1960-1997	1.08	1.48	-14.06	15.54	41.16	6.42
	1960-2008	-1.78	-3.36	-14.40	17.76	73.99	8.60
Setor C	1960-1974	5.88	2.66	-11.06	32.20	146.29	12.09
	1960-1981	-18.30	-19.95	-34.02	-4.41	70.93	8.42
	1960-1997	-20.57	-23.68	-35.15	2.22	71.32	8.45
	1960-2008	-21.07	-21.12	-36.48	-6.24	54.33	7.37
Setor D	1960-1974	-22.48	-22.26	-34.02	-7.84	51.47	7.17
	1960-1981	-24.50	-23.10	-40.74	-8.61	88.20	9.39
	1960-1997	-6.96	-0.74	-41.44	11.10	255.33	15.98
	1960-2008	-9.35	-7.20	-29.28	4.32	104.50	10.22

O Setor B (Tabela 1) apresentou valor médio positivo na taxa de evolução (progradação) da linha de costa, para o período entre 1960-1974 (2.50 m/14 anos), bem como o maior avanço na distância dos transectos (49.42 m) e a maior média (34.98 m), para o mesmo período. A partir do ano de 1981 (Tabela 1, 2 e Figura 4) foi observada uma retração contínua. A maior taxa de retração está entre os anos 1960-1981 (-0.62 m/21 anos), ocorrendo um novo aumento no valor desta taxa durante o ano de 2008. No Setor B, entre os anos de 1960-1974 se observa uma larga faixa de praia, que vai se estreitando em direção ao Setor C para os demais anos (Figuras 2 e 4).

Os valores nas taxas de retração da linha de costa no Setor C, também apresentaram uma retração contínua, a partir de 1974 (Tabelas 1 e Figuras 2 e 5). O maior valor observado desta taxa ocorreu entre 1974-1981 (-0.87 m/21 anos). Houve um recuo contínuo da linha de costa neste setor, com exceção do ano 2008, que apresentou um recuo menor em relação aos períodos anteriores. O maior avanço nas linhas dos transectos foi observado entre 1960-1974 (32.20 m).

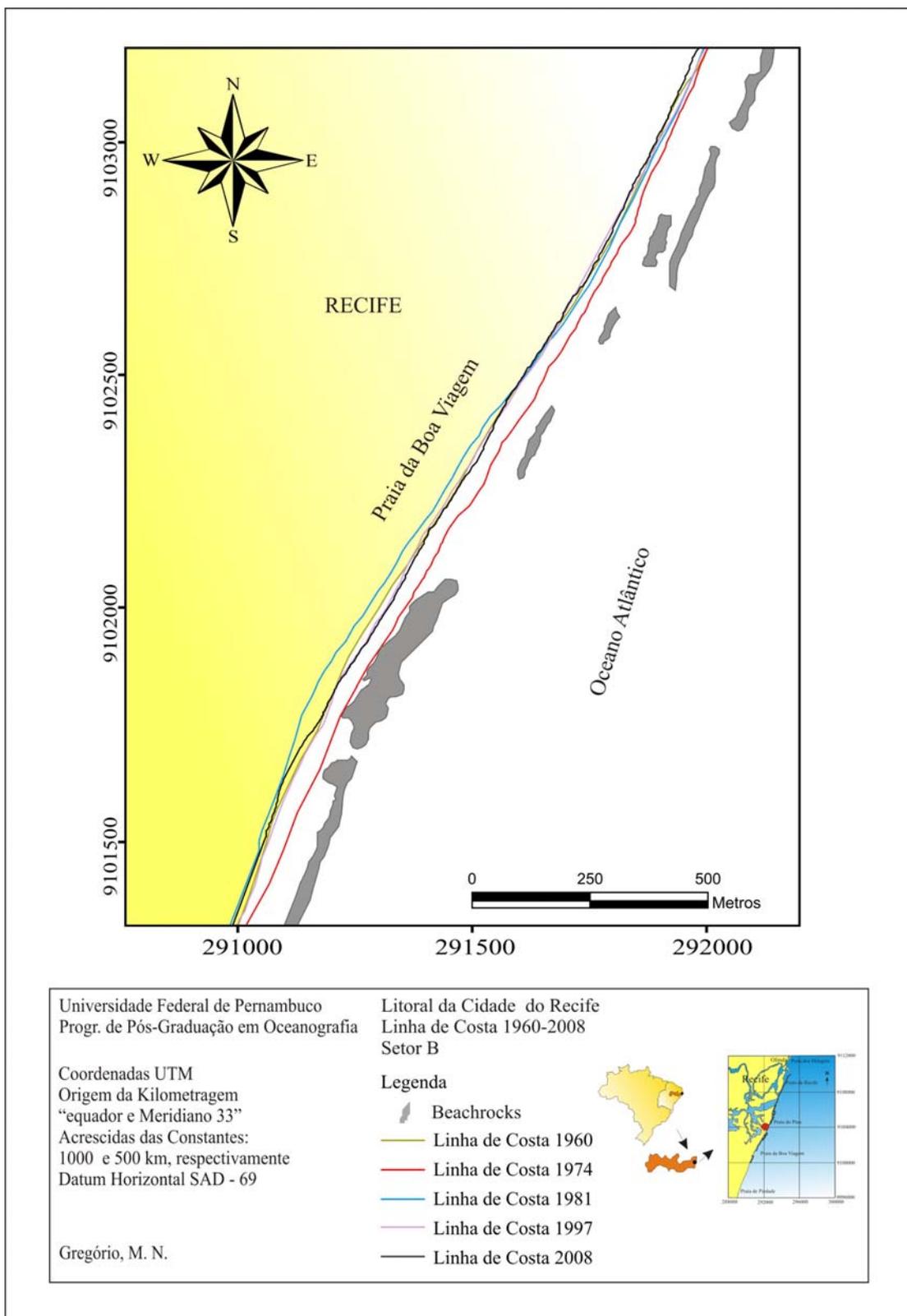


Figura 4 - Linhas de Costa para os anos de 1960, 1981, 1997 e 2008, no Setor B.

O Setor D também apresentou médias negativas (Tabela 1, Figuras 2 e 6) nas taxas de evolução da linha de costa, para todos os períodos, sendo estas maiores entre os anos de 1960-1974 (-22.48 m/14 anos) e 1960-1981 (-24 m/21 anos). Os valores menores foram observados a partir de 1997. Para as distâncias dos transectos (Tabela 2), este setor apresentou o maior valor para a progradação durante o período 1960-1997, no valor de 11.10 m. Porém, este diminuiu durante o ano de 2008, para o valor de 4.32 m.

Foram observados que os maiores valores de variância e desvio padrão das médias, nas taxas de evolução da linha de costa, se encontram no Setor A e C (Tabela 1). Os Setores A e C apresentaram a variância entre os anos 1960-1974 o valor de 3.01 e 0.75 respectivamente, e o valor de 1.04 entre 1960-1981 para o Setor A. Para o mesmo período entre 1960-1974 os setores A e C apresentaram valores de desvio padrão no valor de 1.74 e 0.86 respectivamente, e entre 1960-1981 o valor de 1.02 para o Setor A.

O Setor A também apresentou os maiores valores de variância e desvio padrão (Tabela 2) nas distâncias dos transectos para todos os períodos observados. Sendo o maior valor de 590.93, entre 1960-1974 para variância e o valor de 24.31 de desvio padrão, para o mesmo período.

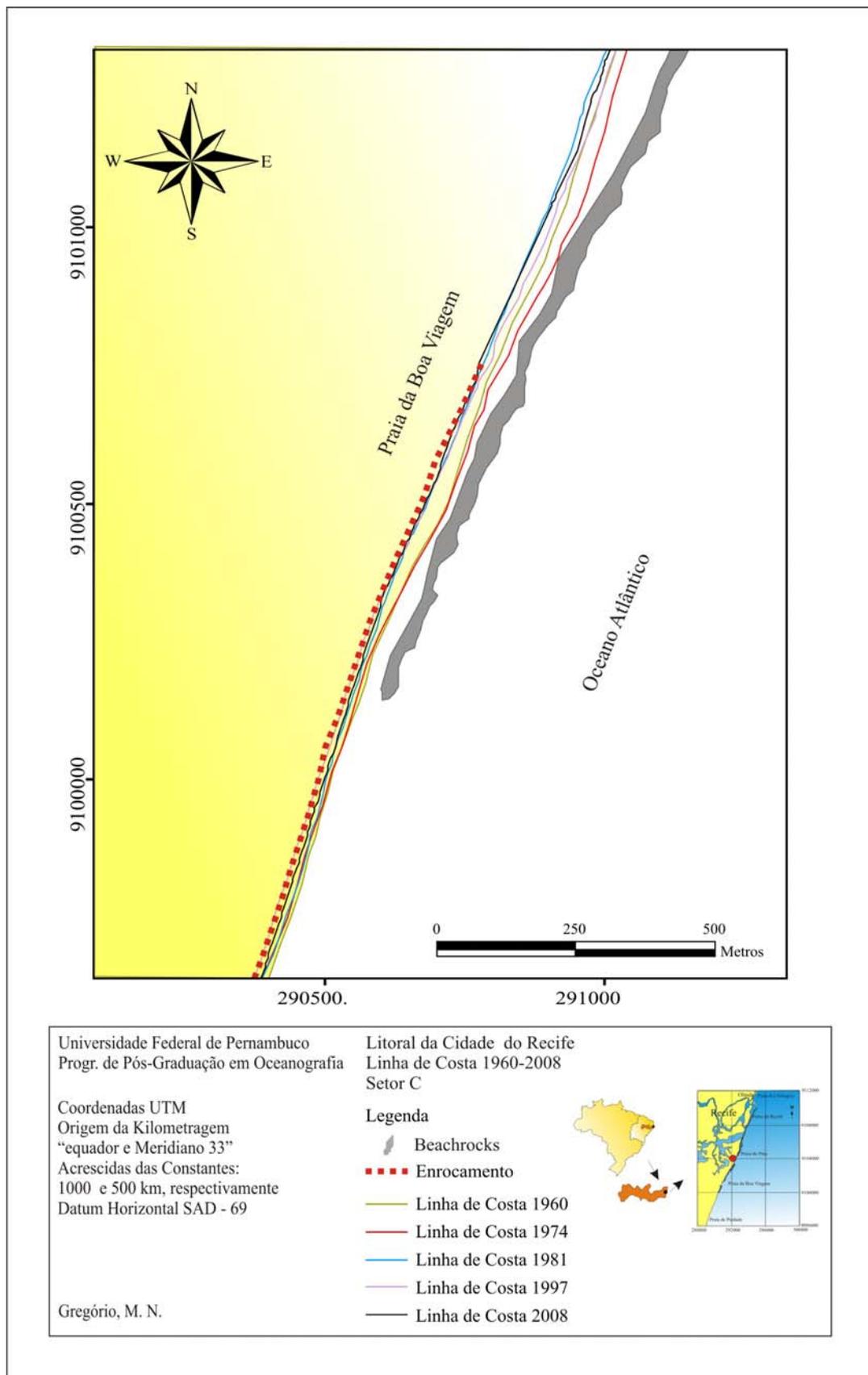


Figura 5 - Linhas de Costa para os anos de 1961, 1981, 1997 e 2007; no Setor C.

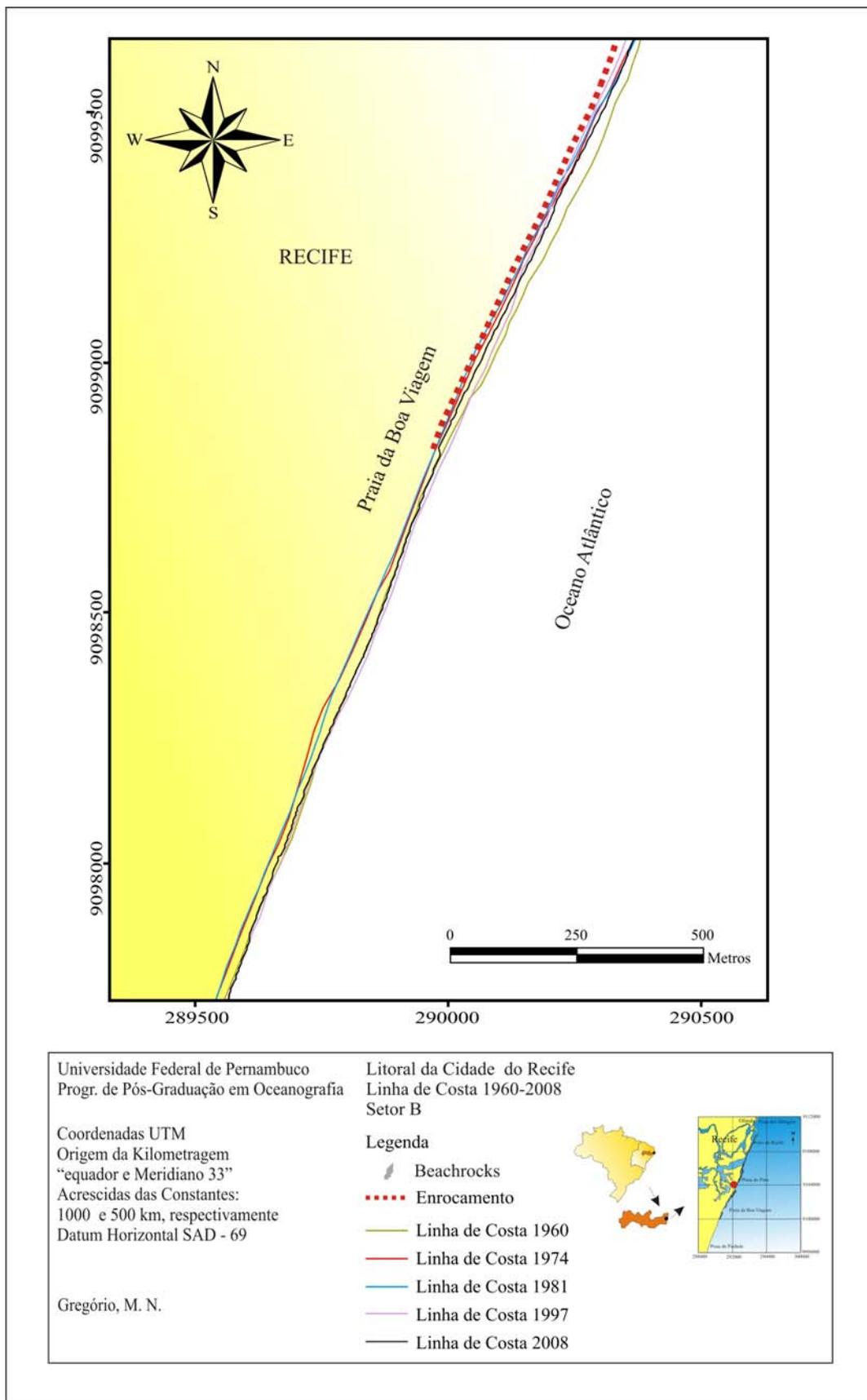


Figura 6 - Linhas de Costa para os anos de 1960, 1981, 1997 e 2008 no Setor D.

Os valores entre a média e a mediana nas distâncias dos transectos, apresentaram valores aproximados. Entretanto, foi observado que, em relação ao grau de dispersão, que corresponde aos valores nas distâncias, em relação a sua média, no Setor A (Tabela 2) são altos. Os resultados do coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 3) entre os setores de um mesmo período, no sentido da predominância da corrente litorânea, de sul para o norte, segundo Coutinho *et. al.* (1997), mostraram que, entre a maioria dos anos observados, não houve uma relação linear. Porém, se observa uma relação linear negativa entre os setores B e A (Tabela 3), para os períodos de: 1960-1974 (-0.66); entre C e B para o mesmo período (-0.85), entre D e C (-0.79) para o período de 1960-1997. E apenas duas relações lineares positivas entre os setores D e C, sendo estas para o período 1960-1981 (0.62) e 1960-2008 (0.67).

Tabela 3. Correlação de Pearson, entre os setores A, B, C e D

Setores	1960-1974			1960-1981			1960-1997			1960-2008		
	Setor A	Setor B	Setor C	Setor A	Setor B	Setor C	Setor A	Setor B	Setor C	Setor A	Setor B	Setor C
Setor B	1960-1974	-0.66										
	1960-1981			-0.37								
	1960-1997						-0.29					
	1960-2008									0.04		
Setor C	1960-1974	-0.85										
	1960-1981				-0.73							
	1960-1997						-0.29					
	1960-2008									0.11		
Setor D	1960-1974		-0.32									
	1960-1981				0.62							
	1960-1997							-0.79				
	1960-2008										0.67	

DISCUSSÃO

A mudança da linha de costa, a longo prazo, está relacionada à variabilidade do nível do mar que resulta no reajustamento do perfil transversal com o novo nível da água (Miller e Dean, 2004). Os sedimentos que se encontram junto à costa, estão em constante movimentação, procurando sua posição de equilíbrio em função da dinâmica. A troca de estoques de areia entre a porção emersa e submersa do perfil praial, ocorre principalmente durante os ventos de tempestade, erodindo a face e berma e depositando na forma de bancos submersos. Ocorre processo inverso entre as tempestades (Menezes, 2008).

A cidade do Recife apresenta problemas de erosão costeira, em sua parte sul, com obras de contenção do tipo enrocamento, a qual foi expandida para direção norte no mês de agosto de 2004. Em estudos realizados por Gregório (2004) de perfis morfológicos nas praias do Pina e da Boa Viagem, durante o ano de 2002 a 2003, observou-se que o perfil localizado próximo a Praça da Boa Viagem, ao norte do enrocamento apresentou uma grande variação em seu volume sedimentar, com uma tendência erosiva e perfis em equilíbrio, localizados mais na área central (posição norte da praia da Boa Viagem), Setor B no presente estudo.

Nos Setores C e D, a obra de enrocamento, construída durante o ano de 1995, provavelmente tem mantido a linha de costa com um menor recuo, pois este setor apresentou uma diminuição no recuo da linha de costa para os anos analisados a partir de 1997. Duarte (2002), realizou um estudo de deslocamento da linha de costa nas praias do Pina e da Boa Viagem, nos anos de 1974, 1997 e 1983, e dividiu a área em 4 setores na direção norte para sul; constatou que no Setor 1, onde encontra-se inserido o Setor A, havia uma tendência geral a progradação, e que mais ao sul da área, no setor 3, apresentava uma estreita faixa de praia.

Pedrosa (2006) analisou a variação de linha de costa da cidade de Olinda, localizada ao norte da cidade do Recife, entre 1915-2004, e verificou que houve um recuo significativo de linha de costa, principalmente no período entre 1915 e 1970, com o destaque para a parte sul da cidade. Na análise, o referido autor constatou aproximadamente 395.000 m², entre 1915 e 2004, das praias do litoral do município de Olinda. Segundo Muhe e Neves (1995), o processo erosivo observado deve-se a uma combinação de vários fatores: o déficit de sedimentos fluviais devido à construção de barragens, presença de *beachrocks* obstruindo o transporte de sedimentos provenientes da plataforma interna e ao longo da costa, e obras costeiras construídas em 1915. Porém, Pedrosa (2006) acrescenta outros fatores, como a existência de recifes muito próximos à linha de costa, a variabilidade batimétrica, além dos trechos onde as ondas incidem com ângulos no sentido contrário, bem como a redução das áreas de manguezais entre 1915 e 2004. No presente estudo, as áreas submersas adjacentes as praias do Pina e da Boa Viagem, também apresentam uma linha de *beachrocks* próximos à linha de costa, emersos durante a baixa mar, e uma segunda linha, provavelmente de *beachrocks*, totalmente submerso.

Segundo Toldo Jr. (comunicação verbal, 2008), as causas da erosão na Região Metropolitana do Recife, estariam ligadas a fatores como: a construção do Porto de Suape, de barragens nos rios e aterros localizados ao sul da Região Metropolitana do Recife, e a exploração da água subterrânea. A perda de suprimento sedimentar (Suguio *et al.*, 2005) é o principal fator da erosão no litoral, e que precisaria serem investigados fatores tais como:

temperatura da atmosfera e da água do mar, clima de ondas, descargas dos rios e monitoramento do nível do mar (Dias, comunicação verbal, 2008).

Na Região Metropolitana do Recife, as barragens localizadas na rede hidrográfica dos municípios de Ipojuca, Cabo de Santo Agostinho e Jaboatão dos Guararapes, localizados a sul da área de estudo, e a ampliação ou construções de sistemas de fornecimentos de água para a cidade do Recife, com maior capacidade, ocorreram entre os anos de 1982 e 2001. A barragem de Gurjaú (Cabo) a mais antiga (1918, COMPESA – 1999), Porém, sua capacidade atual é de 3.2000 m³. A Barragem Duas Unas, localizada no município de Jaboatão dos Guararapes, teve sua construção em 1982, com a capacidade de 23.549 m³. O diagnóstico Ambiental Integrado sobre a construção da Barragem do Pirapama (município do Cabo) ocorreu no ano de 1999 e sua construção em 2001 (CPRH, 2007), com a capacidade de 60.937 m³.

No presente estudo, provavelmente a construção de barragem, que exerceu maior influência no suprimento de sedimentos da Região Metropolitana do Recife antes do ano de 1960, é a barragem de Gurjaú. A barragem do Pirapama teria sua influência depois do ano de 2001. Todavia, processos erosivos instalados nos Setores C e D, foram percebidos a partir da década de 70 e 60, respectivamente. Sendo que, antes da década de 60 foram construídos apenas pequenos sistemas de abastecimento de água.

Neste estudo, as médias das taxas de progradação foram observadas nos Setores B e C, apenas para o período entre 1960-1974. E no Setor B uma pequena taxa de progradação entre 1960-1997, sendo nos demais setores, valores negativos para todos os períodos estudados. Inclusive o Setor A, onde nos dias presentes se observa uma maior faixa de praia, apresentou valores de retração, sendo os maiores observados nos anos de 1974 e 1981. E para os anos de 1997 e 2008, um menor valor negativo.

No Setor C a partir de 1974 foi observada uma contínua perda de sedimentos, onde se encontra a obra de contenção, do tipo enrocamento aderente, realizada em 1995. Porém, a obra foi expandida para o norte durante a ressaca ocorrida no mês de agosto de 2004. Atualmente foram colocados sacos de areia mais ao norte, no mês de setembro de 2008. Esta obra vem sendo mantida com constante manutenção e remobilização dos blocos de granitos, por parte da Prefeitura da Cidade do Recife, com um custo anual em torno de 1.5 milhões (Alves de Souza, 2009, comunicação verbal, EMLURB). Para o setor D, foi observado que os valores das taxas de retração apresentaram certa estabilização a partir de 1997, provavelmente devido a construção da obra de contenção.

Os maiores valores de variância nas médias das taxas da evolução da linha de costa foram observados no Setor A (ao norte da área de estudo). E os menores nos Setores B e C (ao centro da área de estudo). A maior média das distâncias nos transectos, foi encontrada no Setor B, entre 1960-1974 (34.99 m). Os maiores valores de variância e desvio padrão no Setor A, principalmente no período entre 1960-1974. Os maiores valores negativos nas médias das distâncias dos transectos se encontram nos Setores A, C e D, principalmente para o ano de 1974, no Setor A (-25.73) e os demais valores a partir de 1981 nos outros setores.

Segundo Rollnic (2002), nas praias da Boa Viagem e Piedade, localizado ao sul da área de estudo, o transporte líquido à superfície é para o sul; na camada intermediária o transporte é costa-a-fora (5.8 a 31.6 cm.s¹); o transporte de fundo é menos intenso, mesmo com o aumento de velocidade, variando de 7.2 a 21.9 cm.s¹ em direção à costa, exceto próximo à foz do rio Jaboatão, que é em direção ao mar.

A altura das ondas, ângulo de incidência e o transporte de sedimentos, têm um importante papel no estoque de sedimentos da costa do Brasil (Martin *et al.*, 1998). Entre os limites dos estados de Alagoas-Pernambuco e a cidade de Touros (Rio Grande do Norte) a costa tem mais ou menos a direção norte-sul, onde o ângulo de incidência é pequeno e, como resultado, não tem um bom transporte de sedimentos (Martin *et al.*, 1998; Bittencourt *et al.*, 2005).

Na área em estudo, a ausência de um bom transporte de sedimentos, explicaria a falta de uma relação na troca de sedimentos entre a maioria dos períodos observados. Esta relação é apenas observada entre os setores B e A, C e B, D e C, mas apenas para alguns períodos, sendo estes valores a maior parte negativo. Segundo Toldo Jr. (comunicação verbal, 2008), essa ausência de relação é explicada pelo fato do ambiente estudado ser um sistema aberto, onde vários fatores hidrodinâmicos influenciam no sistema de transportes dos sedimentos.

Sobre a evolução da linha de costa em Portugal, (Troço Costeiro Forte Novo – Garrão/Algarve), Oliveira (2005) considera que existem claras evidências que toda a linha de costa se encontra em retrocesso desde o Holoceno. Vestígios de sedimentos argilosos e de matéria orgânica encontrada na plataforma a profundidades entre 2 a 12 m (Teixeira e Pinto, 2002), e afloramentos de arenitos consolidados com escarpas de alturas variáveis, dispostas paralelamente à linha de costa atual, nas profundidades entre -12 m e -15 m, foram definidos como possíveis falésias existentes no Holoceno. No entanto, o recuo generalizado e sistemático do Garrão (Algarve), sobretudo após a década de 70, com a construção de

algumas estruturas rígidas para proteger a vila da erosão, como molhes, apenas transferiram os problemas, de uma forma agravada, para sotamar (Oliveira, 2005).

Independentemente do tipo de costa, grande parte das evidentes situações de erosão no litoral português deve-se as ações antrópicas. O elevado número de estruturas de engenharia pesada, perpendiculares (esporões, molhes) à linha de costa, apenas solucionam os problemas localmente, sendo geralmente a erosão acentuada a sotamar das mesmas; bem como a ocorrência de intensos períodos de precipitação, que favorecem uma acentuada erosão sub-aérea (Oliveira, 2005).

A construção de um molhe no ponto de difração das ondas, ao sul da Enseada de Camboriú (Santa Catarina) causou um impacto na posição da linha de costa, o que poderá no futuro representar problemas erosivos, devido à reorientação da linha de costa para buscar o perfil de equilíbrio (Menezes, 2008). Ligeiras rotações da linha de costa podem provocar alterações significativas na capacidade de transporte de sedimentos a *longshore* (Oliveira, 2005).

A erosão da área em estudo, provavelmente está associada a vários fatores ligados ao desenvolvimento e a urbanização da área, e a falta de suprimentos de sedimentos, que em conjunto deve ter contribuído para aceleração do processo erosivo. Porém, deve-se levar em consideração que, o processo erosivo instalado nos Setores A e D, foram observados já a partir da década de 60, e no Setor B e C a partir do ano de 1974. É claramente percebido que nos setores onde se localiza a linha de *beachrock* emerso durante a maré baixa, com uma linha mais contínua, há uma maior tendência a retração da costa em relação aos locais, onde existe abertura desta feição.

Obras de desenvolvimento econômico de grande porte, como a instalação do Complexo Industrial Portuário de Suape, localizado ao sul Região Metropolitana da Cidade do Recife, teve o seu Plano Diretor desenvolvido pelo Governo do Estado de Pernambuco entre os anos de 1973 e 1975 (http://www.suape.pe.gov.br/complexo_histórioc.asp) e criado, através da Lei N° 7.763/78. Em 1983, o decreto Lei N° 8.447/83, aprovou as normas de uso do solo. Durante o ano de 1984, foi construído um molhe de pedra para proteger a entrada interna do porto e no mesmo ano, se deu o início à operação do Porto de Suape (<http://www.portogente.com.br>).

Segundo Figueiredo (2008), as primeiras e segundas etapas realizadas no Porto interno do Porto de Suape, com a dragagem de mais de 1 milhão e 300 mil m³ de sedimentos, estendendo o canal de navegação em mais 450 m, ocorreram entre 1999 e 2001. A foz do rio Jaboatão localizado ao Sul da Região Metropolitana do Recife, corresponde a uma área mais

próxima as praias em estudo, o qual a sua urbanização e a construção de obras de contenção deve ter influenciado na redução e transportes dos sedimentos, porém segundo Santos (2008), na foz do Rio Jaboatão, ocorreu uma retração de aproximadamente de 163 m, entre as linhas de costa no período de 1974-1977, e alternâncias da linha de costa com marcadas tendências a retração, e no início da década de 70 já existiam estruturas de obras de contenção para conter o ataque das ondas. Deve-se, portanto, levar em consideração entre as causas da erosão, além dos impactos antrópicos e falta de suprimento de sedimentos, outras causas naturais, como por ex: mudanças nos padrões das correntes litorâneas, e uma possível elevação do nível relativo do mar.

CONCLUSÕES

O Setor A, localizado na praia do Pina, apresentou uma retração da linha de costa a partir de 1960-1974, apesar de atualmente apresentar uma ampla faixa de praia em relação aos setores localizados ao sul da área de estudo, sendo esta taxa de retração, menor nos períodos seguintes.

A parte norte do setor B apresentou uma larga faixa de praia, se estreitando em direção ao Setor C entre os anos de 1960 e 1974, com a progradação da linha de costa neste período. E a partir de 1974 até 2008, foram observadas pequenas variações na evolução da linha de costa, com uma pequena progradação durante o período de 1960-1997 e um novo aumento de retração entre 1997 a 2008. Porém no Setor B, foram observados os menores valores de médias na taxa de retração, para o período 1960-2008.

No Setor C, onde se encontra a obra de contenção do tipo enrocamento, houve um aumento progressivo no recuo da linha de costa nos anos de 1974 a 1997. Porém, foi percebida uma diminuição na taxa de retração para o ano de 2008. Provavelmente este processo está ligado à construção da obra realizada durante o ano de 1995. O Setor D apresentou valores negativos nas taxas de evolução da linha de costa para todos os períodos analisados, e como o setor anterior foi observado uma diminuição a partir de 1997, provavelmente pela mesma razão do Setor C.

O estudo não apresenta uma relação direta entre o deslocamento da linha de costa e a presença dos *beachrock* emerso durante a maré baixa, pois nos setores onde se localiza a linha de *beachrock*, emerso durante a maré baixa, podem apresentar processos erosivos ou não. Porém, onde há uma linha mais contínua de *beachrock*, há uma maior propensão a

retração da linha de costa em relação aos locais, onde existe abertura desta feição. Estas aberturas nas linhas dos *beachrock* apresentam uma tendência à deposição, mas este processo não representa toda a área estudada, principalmente no Setor D.

Os setores A e D apresentaram os maiores valores de variância e desvios padrão nas distancias dos transectos. Porém nas taxas de evolução da linha de costa, os maiores valores foram observados nos setores A e C. A maioria dos períodos observados não apresentaram uma relação linear, sendo que estas foram constatada entre os setores B e A, C e B, D e C, mas em períodos diferentes e a maioria com valores negativos.

A urbanização ao sul da área de estudo, na foz do rio Jaboatão (Município Do Jaboatão dos Guararapes), pode ter influenciado na redução e transporte dos sedimentos, porém o ambiente anteriormente citado, já apresentava indícios de processos erosivos no início da década de 70, com estruturas de obras de contenção.

A erosão da área de estudo, provavelmente, está associada a vários fatores, com uma contribuição na aceleração do processo erosivo, fatores estes ligados ao desenvolvimento e à urbanização, bem como a falta de suprimentos de sedimentos. Porém, deve-se levar em consideração que, o processo erosivo instalado nos Setores A e D, foram observados entre os anos de 1960 e 1974, e nos Setores B e C a partir de 1974. Porém, fatores ligados ao desenvolvimento econômico de grande escala, como a construção do Complexo Industrial Portuário de Suape, localizado ao sul da Região Metropolitana da Cidade do Recife, ocorreu após o ano de 1978. Além dos impactos antrópicos que causam ou aceleram o processo erosivo, e a falta de suprimentos de sedimentos, deve-se ser levado em consideração entre as causas naturais, outros processos, como uma possível mudança nos padrões das correntes litorâneas e uma elevação do nível relativo do mar.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FACEPE-CAPES pela bolsa de doutorado da primeira autora, ao Projeto MAI/FINEP (Monitoramento Ambiental Integrado) pela linha de costa de 2008, a colaboração ao professor Dr. Jaime Bezerra Mendonça, do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, e ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco pela disponibilidade das fotografias aéreas de 1960.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, T. C. M.; SEOANE, J. C. S.; COUTINHO, P. N., 2004. **Geomorfologia da Plataforma continental de Pernambuco**. In: Leça E. E., Neumann-Leitão, S. e Costa M.F. (Eds.) *Oceanografia – Um cenário tropical*, Recife, Ed. Bagaço, 39 - 57.
- BAITELLI, R.; ALMEIDA, L. E. S. B.; TOLDO Jr., E. E.; BAROOS, C. E.; MARTINS, L. R.; NICOLODI, J. L., 1999. **Retreat of the Rio Grande do Sul coastal zone, Brazil**. In: CHARLES H. FLETCHER, C. H.; COLIN V. MURRAY-WALLACE, C. V.; PLASSCHE, O. V., *The Non-Steady State of the inner Shelf and Shoreline: Coastal Change on the Time Scale of Decades to Millennia. Coastal Environmental Change During Sea-Level Highstands: A Global Synthesis With Implications for Management of Future Coastal Change*. 230p.
- BEZERRA, M. O; PINHEIRO; L.; MORAIS, J. O., 2003. **Shoreline Change of the Mucuripe Harbour Zones (Fortaleza-Ceará, Northeast of Brazil) 1972 - 2003**. *Journal of Coastal Research*, 50: 1163 - 1167.
- BIRD, E. C. F., 1996. **Beach management**. Chichester, John Wiley & Sons Ltda, 281p
- BITTENCOURT, A. C. S.; DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; SILVA, I. R., 2005. **Longshore transport on the northeastern Brazilian coast and implications to the locations of large scale accumulative and erosive zones: An overview**. *Marine Geology*, 219: 219 - 234.
- CHAVES, M. S. 2005. **Dinâmica costeira dos campos petrolíferos Macau/Serra, Litoral, Setentrional do estado do Rio Grande do Norte**. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra – Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Natal, 117p.
- COUTINHO, P. N.; LIMA, A.T. O.; LIMA, A. T. O.; QUEIROZ, C. M.; FREIRE, G. S. S.; ALMEIDA, L. E. S. B.; MAIA, L. P.; MANSO, V. A. V.; BORBA, A. L. S.; MARTINS, M. H. A.; DUARTE, R. X., 1997. **Estudos da erosão marinha nas praias de Piedade e de Candeias e no estuário de Barras das Jangadas. Município de Jaboatão dos Guararapes – PE**. Relatório Técnico. Recife, 154p.
- COMPESA, 1985. Companhia Pernambucana de Saneamento. **Plano diretor de abastecimento de água, Região Metropolitana do Recife – Propostas de ações de Curto Prazo**. Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Saneamento e Meio Ambiente. 72.
- CPRH - Agência Estadual Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 1999. **Diagnóstico Ambiental Integrado da Bacia do Pirapama, Governo do Estado de Pernambuco**, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Recife, 271p.

- CPRH - Agência Estadual Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2007. **Fichas Técnicas dos açudes** - Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Recursos Hídricos.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; LEÃO, Z. M. A. N.; AZEVEDO, A. E. G., 1990. **Geologia do quaternário costeiro do Estado de Pernambuco**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 20: 208 - 215.
- DUARTE, R. X., 2002. **Caracterização morfo-sedimentológica e evolução de curto e médio prazo das praias do Pina, Boa Viagem e Piedade, Recife, Recife/Jaboatão dos Guararapes – PE**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-Graduação em Geociências, Recife, 64p.
- ESTEVES, L. S.; TOLDO JR., E. E.; DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J., 2002. **Long- and Short-Term Coastal Erosion in Southern Brazil**. Journal of Coastal Research, 36: 273 - 282.
- FERREIRA, O.; GARCIA, T.; MATIASB, A.; TABORDAC, R.; ALVEIRINHO DIAS, J., 2006. **An integrated method for the determination of set-back lines for coastal erosion hazards on sandy shores**. Continental Shelf Research. 26: 1030 - 1044.
- FIGUEIREDO, T. S.; 2008. **Mapeamento Batimétrico e Sonográfico da Plataforma Continental Interna Adjacente ao Complexo Industrial e Portuário de Suape, Pernambuco, Brasil**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em oceanografia – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 91p.
- GREGÓRIO, M. N., 2004. **Sedimentologia e morfologia das praias do Pina e da Boa Viagem, Recife (PE) - Brasil**. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-Graduação em Oceanografia, Dissertação de Mestrado. Recife, 98p.
- GRIGIO, A. M., 2003. **Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Ciências Exatas e da Terra Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. 233p.
- Histórico das Datas do Porto de Suape. Disponível em. <http://www.portogente.com.br>, acessado em 03 de junho de 2009.
- Histórico de Suape. Disponível em: http://www.suape.pe.gov.br/complexo_hostorico.asp, acessado em 03 de junho de 2009.
- KEMPF, M.; MABESSONE, M. J.; TINOCO, I. M., 1967/69. **Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil)**. Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1:125–148.

- LIMA, Z. M. C.; ALVES, A. L.; AMARO, V. E.; VITAL, H., 2001. Evolução da linha de costa do esporão de Galinhos (NE Brasil) utilizando fotografias aéreas e imagens Landsat. *Pesquisas em Geociências*. 28: 497 - 507.
- LIMA, Z. M. C., 2004. **Caracterização da dinâmica ambiental da região costeira do município de galinhos, litoral setentrional do Rio Grande do Norte. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Centro De Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.** Natal, 144p.
- MANSO, V. A. V.; COUTINHO, P. N.; LIMA, A.T. O.; MEDEIROS, A. B.; ALMEIDA, L. E. S. B.; BORBA, A. L. S.; LIRA, A. R. A.; PEDROSA, F. J. A.; CHAVES, N. S.; DUARTE, R. X.; IVO, P. S., 1995. **Estudos da erosão marinha na praia da Boa Viagem. Recife.** Relatório Técnico, Convênio ENLURB/FADE/LGGM – UFPE. Recife, 98 p.
- MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S., 1998. **Climatic control of coastal erosion during a sea-level fall episode.** *An. Acad. Bras. Ciênc.*, Rio de Janeiro, 70: 249 - 266.
- MENDONÇA, F. J. B., 2005. **Posicionamento de alta resolução – adequação e aplicação à morfologia costeira.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco - Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 94p.
- MENEZES, J. T., 2008. **Balanco de sedimentos arenosos da Enseada de Balneário Camboriú-SC.** Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, 149p.
- MILLER, J. K.; DEAN, R. G., 2004. **A simple new shoreline change model.** *Coastal Engineering*, 51: 531 - 556.
- MUEHE, D.; NEVES, C. F., 1995. **Potential impact of sea-level rise on the metropolitan region of Recife, Brazil.** *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 14, 116-131
- MUEHE, D., 1998. **Geomorfologia costeira.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Eds.). *Geomorfologia do Brasil.* Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 253 - 306.
- MUÑOZ-PEREZ, J. J.; ROMAN-BLANCO, B. L. S.; GUTIERREZ-MAS, J. M.; MORENO, L.; CUENA, G. J., 2001. **Cost of beach maintenance in the Gulf of Cadiz (SW Spain).** *Coastal Engineering*, 42: 43 - 153.
- OLIVEIRA, S. C., 2005. **Evolução recente da linha de costa no troço costeiro Forte Novo – Garrão (Algarve).** Dissertação de Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra. Universidade-de-Ciencias/Universidade-de-Lisboa, Lisboa, 115p.

- PEDROSA, F. A., 2007. **Aspectos da evolução da linha de costa e da paisagem litorânea do Município de Olinda entre 1915 e 2004: evidências do tecnógeno em Pernambuco.** Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-Graduação em Geociências, Tese de Doutorado, 175p.
- PEREIRA, L. C. C.; JIMENÉZ, J.; MEDEIROS, C., 2003. **Environmental Degradation of the Littoral of Casa Caiada and Rio Doce, Olinda (PE), Brazil.** Journal of Coastal Research. Itajaí, 35:502 - 205.
- ROLLNIC, M., 2002. **Hidrologia, clima de onda e transporte advectivo na zona costeira de Boa Viagem, Piedade, Candeias – PE.** Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências. Departamento de Oceanografia, Pós-Graduação em Oceanografia, Dissertação de Mestrado. 111p.
- SANTOS, U. S. T., 2008. **Avaliação geoambiental das praias do Município dos Guararapes, região metropolitana do Recife.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco - Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 111 p.
- SCHWARZER, K. SCHROTTKE, K., 1999. **Shoreline displacement along the Southern Baltic Sea coastline due to sea-level changes and human impact.** In: CHARLES H. FLETCHER, C. H.; COLIN V. MURRAY-WALLACE, C. V.; PLASSCHE, O. V., The Non-Steady State of the inner Shelf and Shoreline: Coastal Change on the Time Scale of Decades to Millennia. Coastal Environmental Change During Sea-Level Highstands: A Global Synthesis with Implications for Management of Future Coastal Change. 230p.
- SILVA A. J. S.; BARBOSA, S. C. T.; LEAL, M. V.; LINS, A. R.; COSTA, M. F., 2006. **Ocupação da praia da Boa Viagem Recife/PE) ao longo de dois dias de verão: um estudo preliminar.** Pan-American Journal of Aquatic Sciences. 1 (2): 91 - 98 .
- SOUSA, C. M. F., 2004. **A integração do sistema gps/ins para a monitorização da linha de costa do litoral do Algarve.** Dissertação de Mestrado, Mestre em Ciências e Engenharia da Terra. Lisboa - Portugal, 84p.
- SOUZA, C. R. G.; FILHO, P. W. M. S.; ESTEVES, L. S.; VITAL; H., DILLENBURG, S. R.; PATCHINEELAM, S. M.; ADDAD, J. E., 2005. **Praias arenosas e erosão costeira.** In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E., 2005 (eds), Associação Brasileira do Quaternário - Quaternário do Brasil. Halos, Editora, Ribeirão Preto, 130 - 152.
- SUGUIO, K.; ANGULO, J. R., CARVALHO, A. M., CORRÊA, I. C. S., TOMAZZELLI, L. J. WILLWOCK, J. A., VITAL, H., 2005. **paleoníveis do mar e paleolinhas de costa.** In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E., 2005 (eds), Associação Brasileira do Quaternário - Quaternário do Brasil. Halos, Editora, Ribeirão Preto, 114 - 129.

- TEIXEIRA, S. B.; PINTO, C. A., 2002. **Submarine Evidences of Holocene Shoreline Migration on Quarteira Coast (Southern Algarve-Portugal)**. Littoral 2002, The Changing Coast. EUROCOAST / EUCC, Porto – Portugal. Ed. EUROCOAST - 8558-09-0. 411 - 416p.
- TESSLER, M. G.; GOYA, S. C., 2005. **Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro**. Revista do Departamento de Geografia, 17: 11 - 23.
- TOLDO Jr: E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B. NICOLODI, J. L.; MARTINS, L. R., 2005. **Retração e progradação da zona costeira do estado do Rio Grande do Sul**. Gravel, 3: 33 - 38.
- VILLWOCK, J. A. LESSA, G. C.; SUGUIO, K.; ANGULO, R. J.; DILLENBURG, S. R., 2005. **Geologia e geomorfologia de regiões costeiras**. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E., 2005 (eds), Associação Brasileira do Quaternário - Quaternário do Brasil. Halos, Editora, Ribeirão Preto, 94 - 113.

CAPÍTULO 6 - RELAÇÕES ENTRE PADRÕES SEDIMENTOLÓGICOS E MORFOLÓGICOS DO AMBIENTE PRAIAL E DA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA DO MUNICÍPIO DO RECIFE - PE

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar as características sedimentológicas e correlações entre o ambiente praial e a plataforma continental interna, bem como a morfologia do litoral da cidade do Recife (NE – Brasil). Este ambiente, nas últimas décadas vem sofrendo um processo de erosão marinha. As amostras do ambiente praial se distribuem de norte para sul. As amostras da plataforma, e os perfis topobatimétricos estão distribuídos no sentido *offshore* e de norte para sul. Os sedimentos da praia foram coletados manualmente e os da plataforma com uma draga pontual. Para os perfis topográficos, o ponto inicial na linha d'água foi gerado com técnica de posicionamento estático rápido, e os pontos dos perfis de praia foram obtidos com técnica de posicionamento relativo dinâmico. Os dados batimétricos foram cedidos pelo Projeto MAI. Os dados topográficos e batimétricos foram interpolados no programa ArcGis 9.1. Dos sedimentos, foram analisados os parâmetros estatísticos, a morfoscopia e o teor de carbonato. Os sedimentos do ambiente praial variaram de areia fina a média e apresentaram uma predominância de aproximadamente simétricos, moderadamente selecionados e mesocúrticos. Os sedimentos da plataforma variaram de areia muito fina a muito grossa, moderadamente selecionadas a bem selecionadas, e apresentaram maior variação de assimetria e curtose. Os perfis topobatimétrico, apresentaram uma morfologia acidentada, com, a presença de um canal e uma linha de *beachrock* submersa. O canal tem em média 6.40 m de profundidade e 437.15 m. de largura, o *beachrock* 1285.36 m de largura. Os perfis localizados ao sul, o ambiente praial é pouco desenvolvido e a região da pós-praia aparece apenas após a obra de contenção, apresentando porém um déficit de sedimentos. O estudo apresentou diferentes características nos sedimentos entre o ambiente praial e o da plataforma continental interna.

Palavras Chaves: Sedimentos; morfologia, plataforma; Recife.

INTRODUÇÃO

A importância da aplicabilidade da sedimentologia marinha é a correlação dos sedimentos submarinos recentes com os sedimentos situados sobre os continentes adjacentes originados em vários ambientes. Com as pesquisas sedimentológicas pode-se estabelecer relações entre os sedimentos e os ambientes atuais de sedimentação (Suguio, 2003).

A mineralogia dos sedimentos reflete a interação de vários fatores, tais como geologia, relevo, clima e intemperismo, além da história deposicional dos sedimentos. O caráter imaturo

e submaturo das frações leves e pesadas, indicam um intemperismo relativamente breve (Mabesoone e Coutinho, 1970).

O litoral da cidade do Recife se localiza na costa do Nordeste Brasileiro (Figura 1). Apresenta-se bastante urbanizado, e nas últimas décadas vem sofrendo um grande processo de erosão marinha, principalmente em sua parte sul.

Vários estudos foram realizados em décadas passadas sobre o ambiente em estudo, como por exemplo, Mabesoone, 1968; Coutinho e Kempf, 1972; França *et al.*, 1976; Coutinho e Morais, 1970; Mabesoone e Coutinho, 1970; Mabesoone *et al.*, 1972; Kowsmann *et al.*, 1976; Kempf, 1967/9; Kempf *et al.*, 1967/9a,b; Mabesoone e Alheiros, 1998; Gregório *et al.*, 2004, Araújo *et al.*, (2004), Manso *et al.*, (2004) e Rollnic (2008). Porém, em nenhum deles foi feita uma relação entre os sedimentos e a morfologia do ambiente praiar e da plataforma continental interna.

O litoral da cidade do Recife é formado pelas praias do Pina e da Boa Viagem (Figura 1). Ao norte o ambiente praiar é constituído pela região de dunas frontais, pós-praia e a face da praia é bem desenvolvida. Este ambiente estreita-se em direção ao sul, o qual não apresenta a região de dunas frontais, pois há obras de contenção marinha.

A evolução da plataforma está ligada ao continente através da zona costeira, região na qual se realiza o intercâmbio entre os domínios continentais e marinhos (Manso *et al.*, 2004). Segundo Muehe (2001), a plataforma continental interna, se caracteriza pela intensificação dos processos morfodinâmicos, dissipação de energia das ondas e intensa troca de sedimentos entre a praia e a zona submarina. A plataforma continental de Pernambuco apresenta-se com reduzida largura, pouca profundidade, declive suave, e, quase inteiramente, coberta por sedimentos carbonáticos biogênicos (Araújo *et al.*, 2004; Manso *et al.*, 2004).

A plataforma em frente à cidade do Recife é estreita e pouco recortada, relativamente plana, com um declive abrupto entre 60 e 80 m de profundidade (Kempf, 1967/9). Em perfis batimétricos da plataforma interna, em frente à cidade do Recife se observa um relevo de amplitude vertical de 4 m, correspondendo à presença de uma linha de recife totalmente submersa (Araújo *et al.*, 2004).

Este estudo tem como objetivo analisar e comparar as características dos sedimentos e a morfologia, nas relações entre o ambiente praiar (pós-praia e face da praia) e a plataforma continental interna adjacente a cidade do Recife, bem como a influencia dessa morfologia na distribuição e características dos sedimentos.

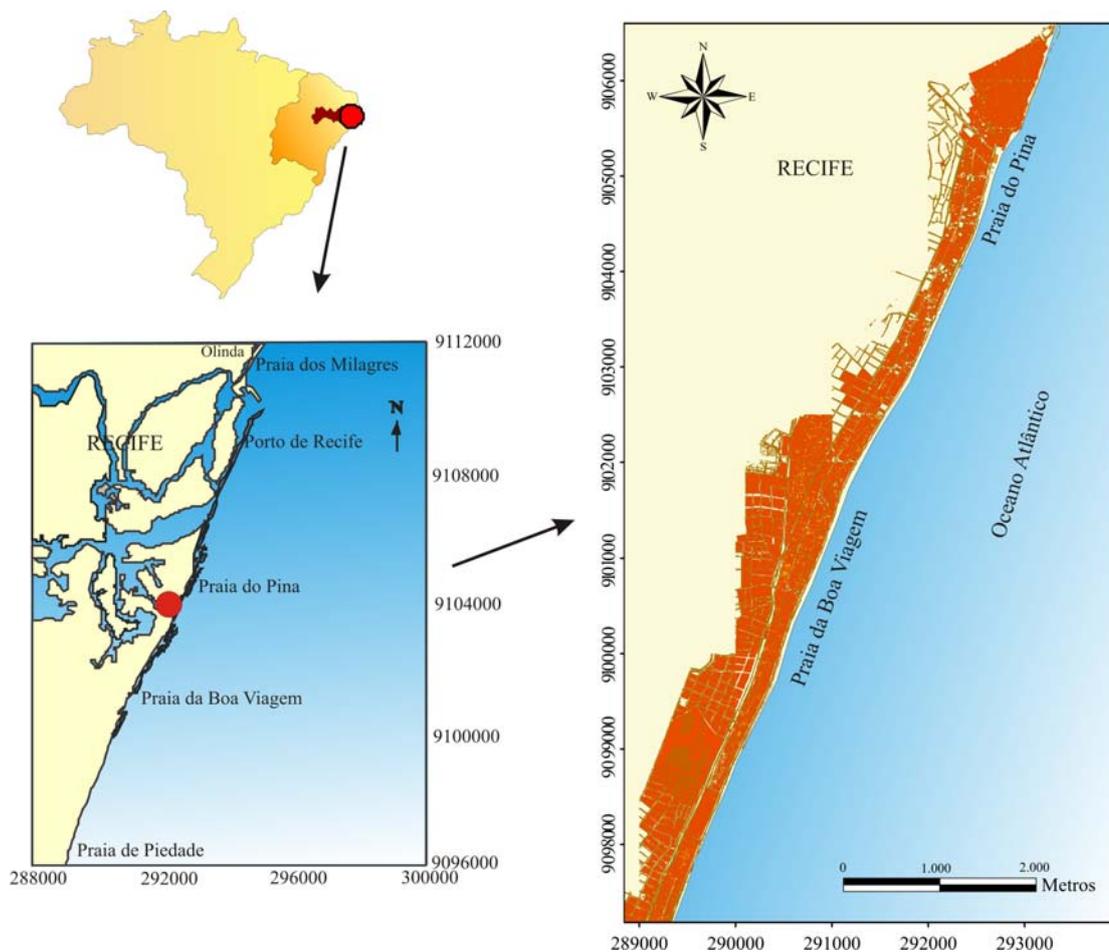


Figura 1. Localização da área de estudo.

MÉTODOS

Sedimentos

Os pontos de coletas dos sedimentos no ambiente praiar, na região da pós-praia e face da praia (Figura 2), encontram-se distribuídos de norte para sul. Os sedimentos coletados na região da pós-praia totalizam 20 amostras, (PP0 a PP33), porém a obra de contenção está contida neste ambiente, não apresentando a região da pós-praia (Figura 2), e os sedimentos da face da praia (Figura 2) totalizam 34 amostras (P0 a P34). As amostras da pós-praia e face da praia foram coletadas manualmente, na camada superficial dos sedimentos.

Os sedimentos da plataforma continental interna estão distribuídos na direção *offshore*, de norte para sul, totalizando 81 amostras (Figura 3). Para coleta destes sedimentos foi

utilizada uma draga pontual, do tipo "Van Veen", usando uma embarcação de pequeno calado, permitindo que os pontos de coleta chegassem o mais próximo possível da linha de costa.

Todos os sedimentos foram analisados no LABOGEO (Laboratório de Oceanografia Geológica - UFPE), segundo a metodologia de Suguio (1973). Na análise granulométrica, foi utilizada 100grs de cada amostra, pesado em balança de precisão (duas casas decimais), onde primeiramente se fez o peneiramento úmido, para separação da fração lamosa e eliminação de sais solúveis, utilizando-se peneiras de 2,0 e 0,62 mm de abertura. O material foi levado à estufa a temperatura de 60°C para secagem, no período médio de 48 horas. Posteriormente foi feito o peneiramento seco na fração areia, utilizando-se o intervalo de peneiras de $\frac{1}{2}\Phi$. As diversas frações foram pesadas para o tratamento posterior dos dados.

Os sedimentos foram classificados segundo Folk e Ward (1956, *apud* Muehe, 1996), através dos parâmetros estatísticos (média, desvio padrão, assimetria e curtose), e analisados segundo o Software SYSGRAM desenvolvido por Camargo's Corp. (1999). Os resultados obtidos foram convertidos em informações estatísticas descritivas e posteriormente construídos gráficos e mapas. As características morfoscópicas (arredondamento, esfericidade), a textura superficial e a composição, foram determinadas com o auxílio da lupa binocular. O arredondamento e esfericidade foram classificados segundo a Tabela de Krumbein e Sloss (Powers, 1953 *apud* Scholle, 1979).

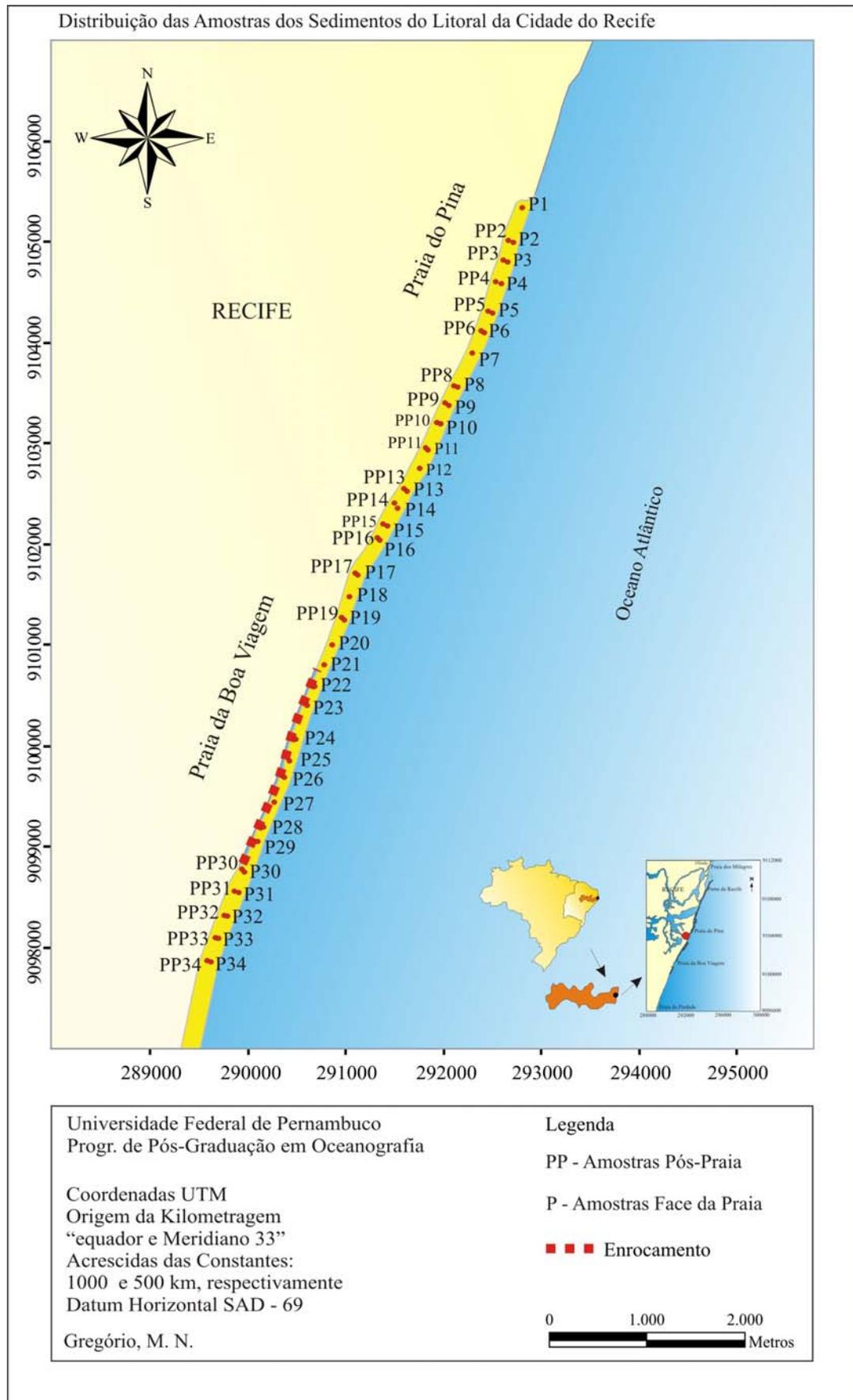


Figura 2 - Localização das amostras de sedimentos na pós-praia (PP) e face da praia (P).

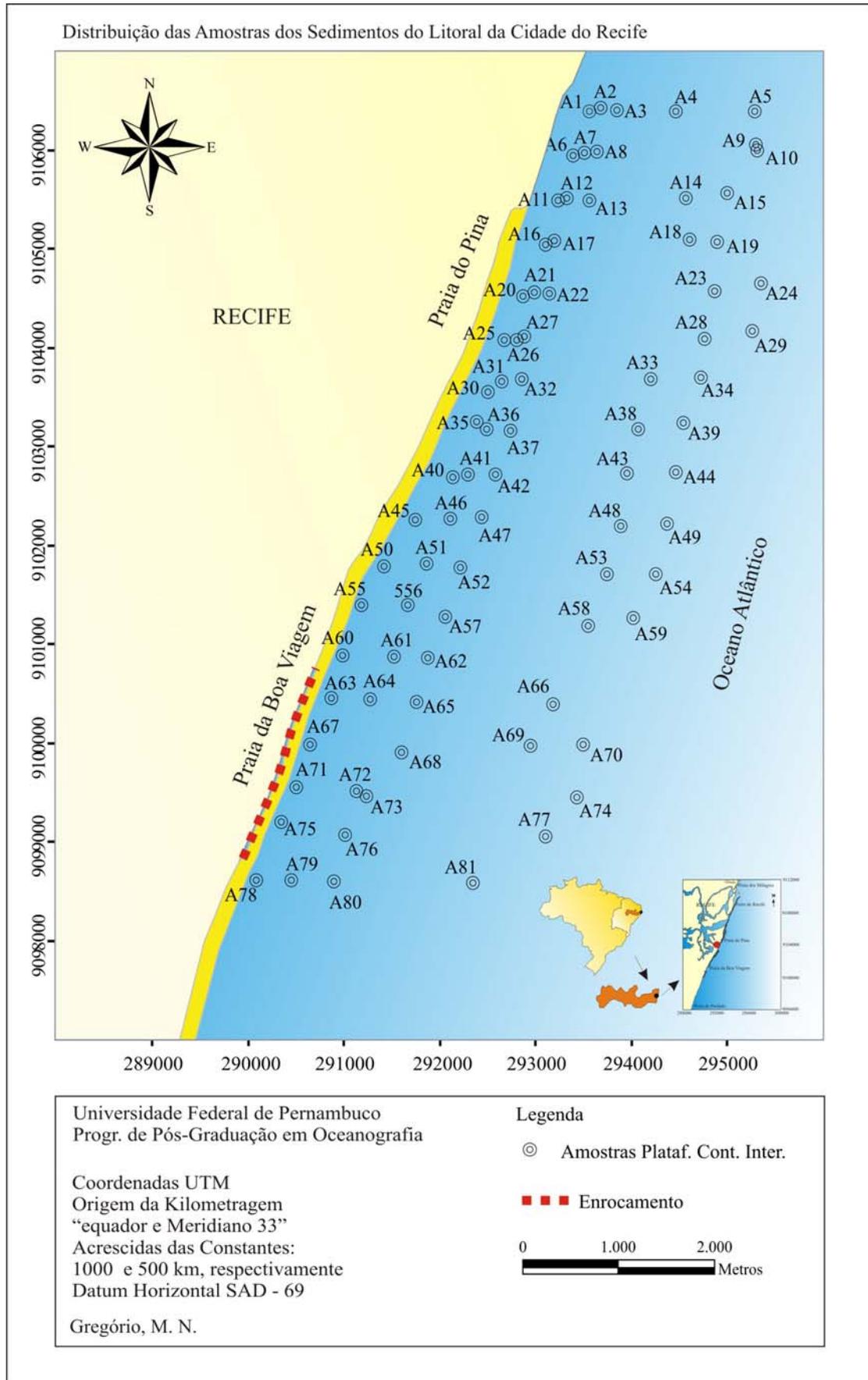


Figura 3 - Localização das amostras de sedimentos na plataforma continental interna.

O teor de carbonato de cálcio dos sedimentos foi determinado, através do método descrito por Loring e Rantala (1992), o qual consiste no ataque de HCl a 40% a frio, para eliminação do CaCO₃ (carbonato de cálcio). Desta forma, uma alíquota seca de 10 gramas de cada amostra, foi atacada com uma solução de ácido clorídrico. A alíquota foi lavada com água destilada e levada à estufa de secagem a 60°C, em média de 72 horas. Depois de seco, o material foi novamente pesado em balança de precisão (duas casas decimais). O valor do teor de CaCO₃, foi determinado pela diferença de peso entre o total da alíquota utilizada e o valor do peso de grãos de quartzo, sendo depois calculado o percentual do CaCO₃.

Para as amostras de sedimentos que apresentaram um teor mais elevado de lama (16%), foi realizada a análise granulométrica da fração menor que 0.63 mm para quantificação de silte e argila. Esta análise foi realizada no Laboratório de Física do Solo (Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE), pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 10 minutos, seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Foi realizada a “limpeza” do material, visando eliminar a matéria orgânica e os óxidos de ferro, com vistas a melhorar a resolução dos difratogramas. Esses tratamentos prévios foram executados, submetendo-se a fração argila à ação de água oxigenada e ditionito-citrato-bicarbonato, para remoção dos revestimentos orgânicos ou oxiferruginosos, respectivamente. As análises de raios X, foi realizada no mesmo departamento, utilizando-se de um difratômetro Philips PW 1130 provido de monocromador de grafite e ânodo de cobre, sendo o tubo de raios X operado com tensão de 45 KV e corrente de 40 mA. As amostras de argilas orientadas foram analisadas entre 3 a 35 °2θ em varredura passo-a-passo de 0,02 °2θ de 0,02 s⁻¹.

Perfis Topobatimétricos

a) Topografia do Ambiente Praial

Os perfis topográficos foram realizados em cooperação com o Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, através do Professor Dr. Francisco Jaime Mendonça e o Professor Dr. César Peixoto Rocha da Universidade do estado de Alagoas. A metodologia aplicada foi segundo Rocha *et al.*, (2008), o qual consiste na técnica de posicionamento relativo à estação SAT 93110 que representa um dos vértices da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), distante cerca de 8 km da área de

estudo. O ponto inicial na linha d'água foi gerado com técnica de posicionamento estático rápido, e os pontos dos perfis de praia foram obtidos com técnica de posicionamento relativo dinâmico, ambos com taxa de gravação de 2s, para garantir a obtenção de pelo menos um ponto coordenado por metro linear de perfil, em função da velocidade do deslocamento (caminhada). Durante a coleta dos dados na área de estudos, o receptor *GPS* foi brevemente estacionado na linha d'água (método estático rápido), em local sem ondas, e, em seguida, transportado sobre toda a área de estudo em ziguezague, no intervalo [linha d'água; linha do runup], ultrapassando-se um pouco o limite superior, para garantir que cada perfil contemple um ponto da linha de costa. Os dados foram coletados nas coordenadas UTM, no Datum WG84, em laboratório foram processados no programa *Turbo Survey Software 27.00*, e depois transformados para o Datum SAD69. Foi corrigida a maré de cada ponto, utilizando a tabua de maré do DHN, Porto do Recife.

b) Batimetria da Plataforma Continental Interna

Os dados batimétricos utilizados neste trabalho foram cedidos pelo Projeto MAI (Monitoramento Ambiental Integrado), os quais foram coletados durante os meses de dezembro de 2006 a janeiro de 2007. Neste trabalho foram utilizados 41 perfis batimétricos perpendiculares à linha de costa (Figura 4), espaçado 200 m entre si, com uma extensão média de 4 km e uma profundidade média final de 15 m, ao longo da plataforma continental interna. Para coleta dos perfis foi utilizado, uma ecossonda Garmin GPSMap 298, acoplada a embarcação Mattang, e o software Garmin MapSource, programado para operar em uma frequência de 200 KHz, sendo os registros armazenados a cada três segundos no sistema de coordenadas UTM e no Datum WGS 84. Os registros armazenados foram diariamente descarregados em laboratório, onde posteriormente foram realizadas as correções de altura de transdutor e de maré, sendo os resultados referenciados em função do zero hidrográfico do Porto do Recife. Posteriormente o Datum WGS 84, foi convertido para o Datum SAD 69.

Os dados batimétricos foram posteriormente inseridos no programa ArcGis 9.1 e selecionados os pontos referentes a área de estudo, totalizando 16.153 pontos. No mesmo programa, os dados topográficos e batimétricos foram interpolados, totalizando 20.697 pontos. A interpolação foi realizada, através de um valor médio, da distância e da profundidade entre os dois ambientes. Os resultados foram inseridos em programas específicos, para a realização dos gráficos, bem como para gerar o modelo digital do terreno.

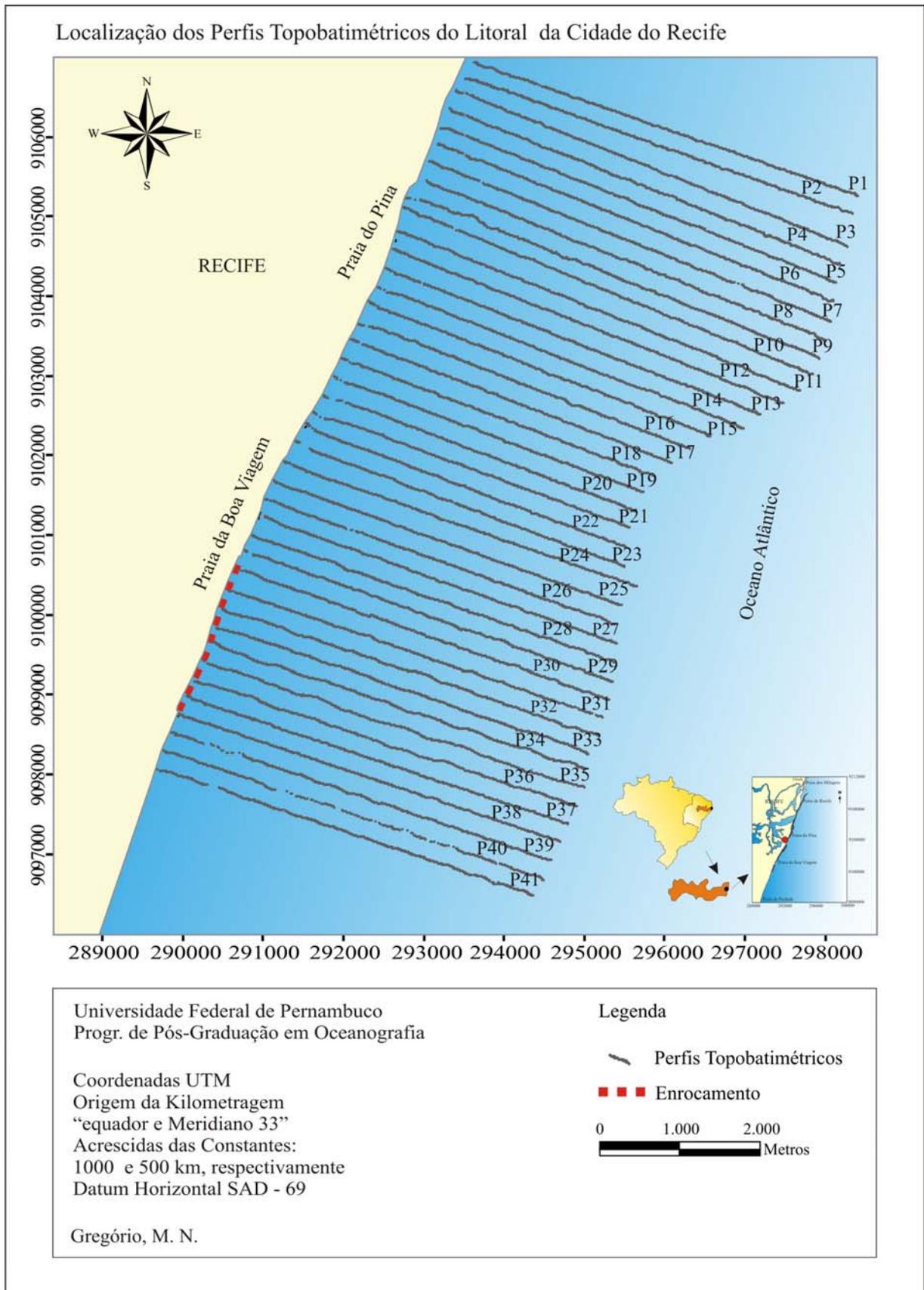


Figura 4 – Distribuição dos perfis topobatimétricos.

SEDIMENTOS

Média

Os resultados do tamanho médio do grão na região da pós-praia se encontram representados na Tabela 1, e Figuras 5 e 6. O tamanho médio do grão apresentou uma variação de areia fina a média e a areia média é o sedimento dominante, sendo observada em quase toda região da pós-praia (Figuras 5 e 6). Areia fina foi observada ao norte da área, e em apenas uma amostra, próxima à parte central.

Tabela 1 – Características dos sedimentos da pós-praia

ID	E	N	Média	Seleção	Assimetria	Curtose	Quar. %	Carb. %
PP1	292672	9105026	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	81.3	18.7
PP2	292619	9104826	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	82.7	17.3
PP3	292549	9104614	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	84.2	15.8
PP4	292465	9104320	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	86.6	13.4
PP5	292389	9104122	Areia fina	Bem selec.	Aprox. simétrica	Leptocúrtica	81.9	18.1
PP7	292107	9103576	Areia média	Bem selec.	Aprox. simétrica	Platicúrtica	91.4	0.86
PP8	292017	9103402	Areia média	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	88.5	11.5
PP9	291935	9103208	Areia média	Moder. Selec.	Positiva	Mesocúrtica	93.4	0.66
PP10	291813	9102952	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	94.9	0.51
PP11	291495	9102404	Areia média	Bem selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	93	0.70
PP12	291593	9102548	Areia média	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	94.3	0.57
PP13	291495	9402404	Areia média	Bem selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	82	18.0
PP14	291378	9102196	Areia média	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	87.8	12.2
PP15	291375	9102196	Areia média	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	94.6	0.60
PP16	291084	9101708	Areia média	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	95.1	0.49
PP18	290910	9101270	Areia média	Moder. Selec.	Negativa	Leptocúrtica	92.8	0.72
PP29	289899	9098754	Areia média	Bem selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	95.1	0.49
PP30	289825	9098538	Areia média	Bem selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	93	0.7
PP32	289632	9098080	Areia média	Bem selec.	Positiva	Mesocúrtica	96.9	0.31
PP33	289542	9097850	Areia média	Bem selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	94.8	5.2

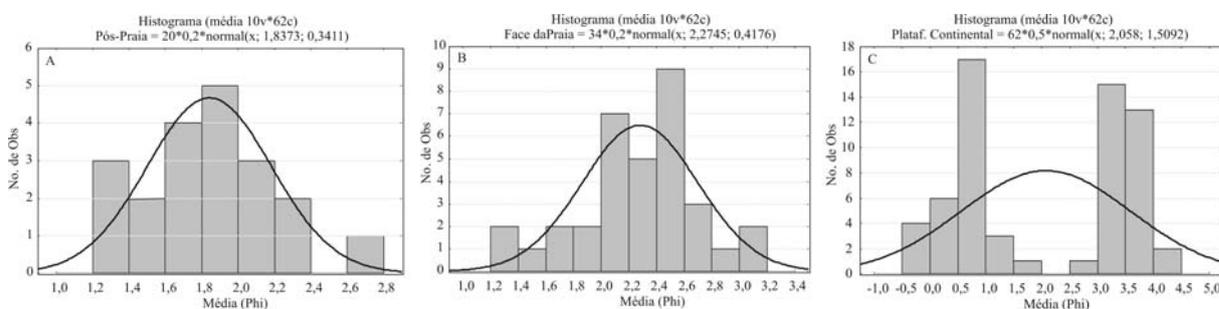


Figura 5 – Histogramas do tamanho médio dos grãos das regiões: A - pós-praia; B - face da Praia; C – plataforma continental interna.

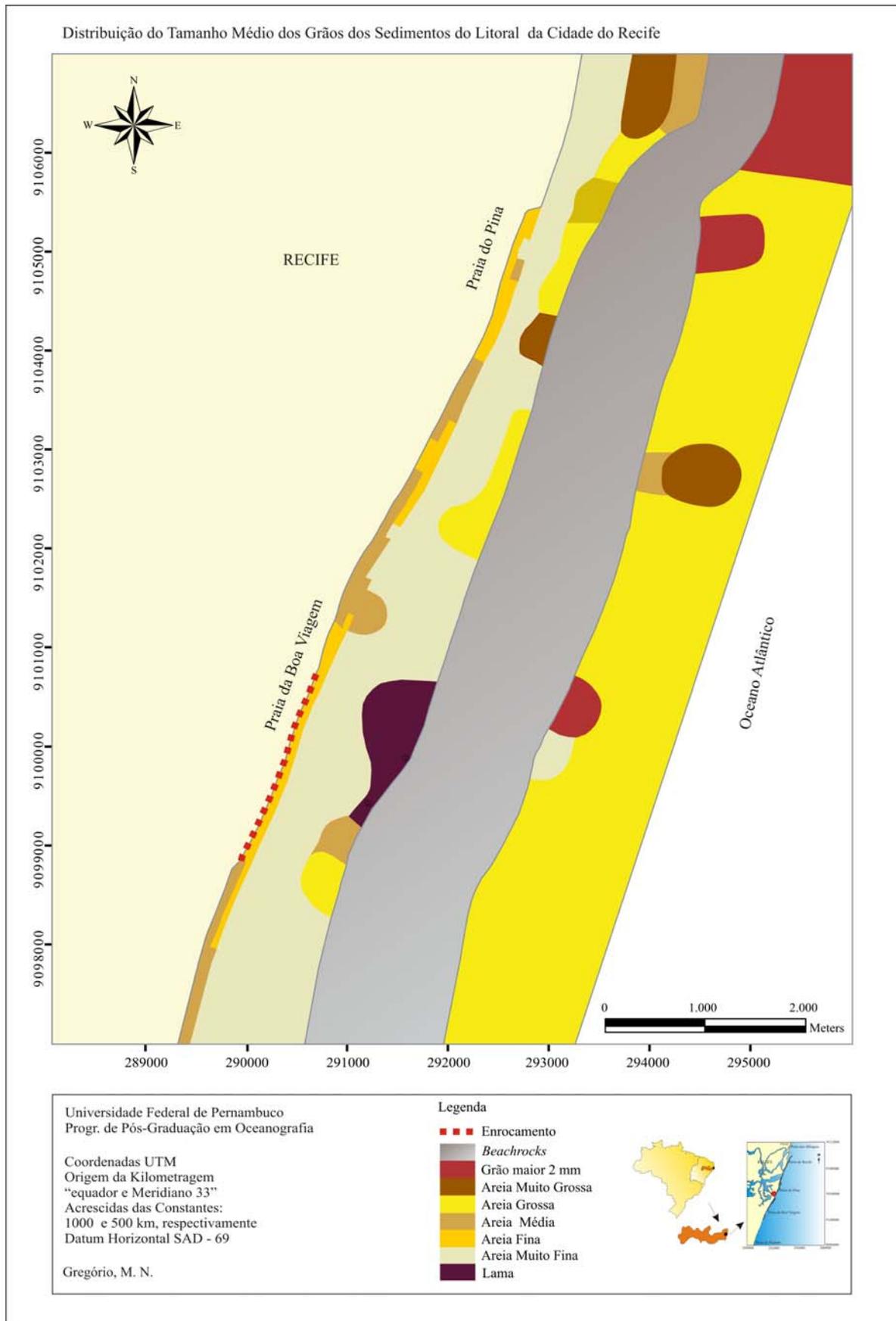


Figura 6 - Distribuição dos valores do tamanho médio do grão na região da pós-praia, face da praia e plataforma continental interna.

Os resultados das características dos sedimentos da face da praia encontram-se na Tabela 2, Figuras 5 e 6. Nesta região o tamanho médio do grão variou de areia muito fina á areia média. Porém a areia fina constitui a maioria dos sedimentos.

Tabela 2 –Características dos sedimentos da face da praia

ID	E	N	Média	Seleção	Assimetria	Curtose	Quar. %	Carb. %
P0	292810	9105362	Areia fina	Moder. Selec.	Negativa	Mesocúrtica	41.1	58.9
P1	292727	9105004	Areia muito fina	Moder. Selec.	Negativa	Leptocúrtica	47.7	52.3
P2	292670	9104810	Areia média	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Muito leptoc.	55.3	44.7
P3	292603	9104591	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	84.0	16.0
P4	292510	9104298	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	78.5	21.5
P5	292423	9104107	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	83.5	16.5
P6	292301	9103901	Areia fina	Moder. Selec.	Positiva	Mesocúrtica	80.4	19.6
P7	292137	9103566	Areia média	Moder. Selec.	Positiva	Platicúrtica	85.5	14.5
P8	292052	9103382	Areia média	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	82.4	17.6
P9	291970	9103198	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Leptocúrtica	84.3	15.7
P10	291841	9102938	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Leptocúrtica	88.7	11.3
P11	291723	9102776	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	63.4	36.6
P12	291627	9102524	Areia fina	Moder. Selec.	Positiva	Mesocúrtica	77.3	22.7
P13	291524	9102306	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Platicúrtica	67.5	32.5
P14	291422	9102174	Areia muito fina	Moder. Selec.	Muito negativa	Muito leptoc.	91.8	0.82
P15	291256	9101928	Areia média	Bem selec.	Negativa	Mesocúrtica	91.3	0.86
P16	291111	9101690	Areia média	Bem selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	77.5	22.5
P17	291031	9101470	Areia média	Moder. Selec.	Positiva	Muito leptoc.	81.8	18.2
P18	290908	9101078	Areia fina	Moder. Selec.	Negativa	Muito leptoc.	77.4	22.6
P19*	290856	9100990	Areia fina	Moder. Selec.	Positiva	Mesocúrtica	81.9	18.1
P20*	290757	9100796	Areia fina	Bem selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	77.8	22.2
P21*	290660	9100576	Areia fina	Moder. Selec.	Negativa	Mesocúrtica	55.9	44.1
P22*	290574	9100394	Areia fina	Bem selec.	Aprox. simétrica	Platicúrtica	68.0	32.0
P23*	290474	9100055	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	68.7	31.3
P24*	290413	9099837	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	55.6	44.4
P25*	290334	9099678	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	61.2	38.8
P26*	290249	9099426	Areia fina	Moder. Selec.	Negativa	Mesocúrtica	88.9	11.1
P27*	290130	9099182	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	80.4	19.6
P28*	290106	9099014	Areia fina	Moder. Selec.	Positiva	Mesocúrtica	90.0	10.0
P29*	289929	9098746	Areia fina	Moder. Selec.	Positiva	Leptocúrtica	85.9	14.1
P30	289855	9098527	Areia fina	Moder. Selec.	Positiva	Mesocúrtica	85.5	14.5
P31	289758	9098287	Areia fina	Moder. Selec.	Positiva	Mesocúrtica	77.7	22.3
P32	289665	9098068	Areia fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	91.6	0.84
P33	289578	9097837	Areia média	Moder. Selec.	Positiva	Mesocúrtica	88.9	11.1

* Enrocamento

Os resultados das características dos sedimentos da plataforma continental interna, encontram-se na Tabela 3, Figuras 5 e 6. Na plataforma continental interna ocorre a presença de uma linha de *beachrock* (Ferreira Jr., 2009), no sentido *longshore* da área de estudo. Este se localiza entre o primeiro grupo de amostras, em direção *onshore* e o segundo grupo de sedimentos, mais afastado da linha de costa, como observado na Figura 3. O *beachrock* separa e influencia as características dos sedimentos, que se localizam antes e depois do mesmo. Os sedimentos que se localizam antes do *beachrock* se encontram a uma profundidade entre 2.2 a

13.6 m. Os sedimentos observados depois do *beachrock* se encontram a uma profundidade entre 9.5 à 14.6 m, na direção *offshore*.

O tamanho médio dos grãos que compõe os sedimentos da plataforma continental interna apresentou uma classificação de areia muito fina à areia muito grossa (Tabela 3, Figuras 5 e 6). Foram observados valores do tamanho médio do grão em dois grupos distintos: um de areia muito fina, e outro de areia grossa a muito grossa (Figuras 5 e 6). Foram observadas, ainda, manchas isoladas de sedimentos constituídos de grãos com valores superiores a 2 mm.

Os sedimentos da plataforma continental interna apresentaram características sedimentológicas distintas, em relação à presença da linha de *beachrock* (Figura 6). Os sedimentos que se localizam mais próximo à região da praia, e antes do *beachrock*, ou seja, na direção *onshore*, variaram de areia muito fina a areia muito grossa, entretanto há predominância de areia muito fina (Figura 6). Observa-se, também, que areia grossa a muito grossa, se localiza nas profundidades mais próximas ao início do *beachrock*, ou seja, a uma profundidade média de 7.31 m.

Ao sul da área de estudo, antes do *beachrock*, são encontradas manchas de sedimentos de lamosos, constituídos de fração silte grosso (Figura 6). Porém, foi observada a presença da fração silte ao longo de todo ambiente, demonstrando assim uma variação granodecrescente, da região da pós-praia em direção *offshore*, até o *beachrock*. Essas (Tabela 4) amostras se encontram distribuídas ao longo da área. Nos resultados de raios X da fração argila, mostram que estas são constituídas de argilamineral caulinita, formada no interior do continente, nos sedimentos originados de feldspato.

Os sedimentos localizados logo após o *beachrock*, direção *offshore*, variou de areia média a areia muito grossa, além de apresentarem sedimentos com o tamanho do grão maior do que 2 mm. Porém, predomina em sua maior parte, areia grossa (Figura 6).

Tabela 3 – Características dos sedimentos da plataforma continental interna

ID	E	N	Prof. (m)	Média	Seleção	Assimetria	Curtose	Quar. %	Carb. %
A1	293538	9106366	5.6	Areia muito fina	Moder. Selec.	Muito negativa	Muito leptoc.	64.4	35.6
A2	293656	9106399	6.9	Areia muito fina	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Platicúrtica	79.0	21.0
A3	293816	9106379	7.5	Areia m. grossa	Moder. Selec.	Muito positiva	Platicúrtica	74.2	25.8
A4	294442	9106367	8.9	Areia média	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	52.9	47.1
A5*	295263	9106364	11.5						
A6	293369	9105919	4.1	Areia muito fina	Bem selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	67.8	32.2
A7	293483	9105941	6.7	Areia muito fina	Pobrem. Selec.	Muito negativa	Platicúrtica	61.9	38.1
A8	293618	9105963	6.6	Areia grossa	Moder. Selec.	Muito positiva	Muito platic.	93.9	6.1
A9*	295283	9106005	11.8						
A10*	295285	9105974	12.0						
A11	293208	9105455	5.6	Areia muito fina	Moder. Selec.	Negativa	Muito leptoc.	56.8	43.2
A12	293298	9105481	6.4	Areia fina	Pobrem. Selec.	Muito negativa	Muito platic.	67.4	32.6
A13**	293530	9105459	7.1						
A14	294541	9105482	9.5	Areia grossa	Moder. Selec.	Negativa	Mesocúrtica	55.0	45.0
A15	294969	9105534	10.5	Areia grossa	Moder. Selec.	Muito positiva	Platicúrtica	42.6	57.4
A16	293076	9105020	5.6	Areia muito fina	Bem selec.	Aprox. simétrica	Muito leptoc.	50.2	49.8
A17	293175	9105054	6.7	Areia grossa	Moder. Selec.	Negativa	Platicúrtica	29.5	70.5
A18*	294584	9105071	10.5						
A19*	294867	9105043	11.4						
A20	290621	9099963	2.5	Areia muito fina	Moder. Selec.	Negativa	Muito leptoc.	53.6	46.4
A21	292956	9104537	5.5	Areia grossa	Pobrem. Selec.	Muito positiva	Mesocúrtica	91.6	8.4
A22	293115	9104514	6.4	Areia grossa	Pobrem. Selec.	Muito positiva	Platicúrtica	90.7	9.3
A23	294846	9104550	12.9	Areia grossa	Pobrem. Selec.	Negativa	Muito platic.	45.8	54.2
A24	295326	9104630	12.4	Areia grossa	Moder. Selec.	Muito positiva	Muito platic.	43.7	56.3
A25	292651	9104057	5.0	Areia muito fina	Bem selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	55.1	44.9
A26**	292774	9104057	7.4					74.5	25.5
A27	292861	9104085	7.5	Areia m. grossa	Moder. Selec.	Muito positiva	Extrem. leptoc.	92.8	7.2
A28	294740	9104067	12.4	Areia grossa	Moder. Selec.	Positiva	Platicúrtica	52.3	47.7
A29	295228	9104142	13.5	Areia grossa	Pobrem. Selec.	Aprox. simétrica	Platicúrtica	60.1	39.9
A30	292477	9103524	5.9	Areia muito fina	Bem selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	68.0	32.0
A31	292620	9103631	6.8	Areia muito fina	Pobrem. Selec.	Muito negativa	Leptocúrtica	64.3	35.7
A32	292825	9103654	7.4	Areia muito fina	Pobrem. Selec.	Muito negativa	Leptocúrtica	28.6	71.4
A33	294168	9103659	11.5	Areia grossa	Moder. Selec.	Positiva	Leptocúrtica	34.6	65.4
A34	294697	9103666	13.6	Areia grossa	Moder. Selec.	Positiva	Platicúrtica	65.1	34.9
A35	292359	9103225	6.5	Areia muito fina	Bem selec.	Negativa	Leptocúrtica	65.5	34.5
A36**	292459	9103148	7.6						
A37**	292706	9103141	7.4						
A38	294048	9103145	11.5	Areia grossa	Moder. Selec.	Negativa	Muito leptoc.	83.4	16.6
A39**	294512	9103210	12.6					28.8	71.2
A40	292103	9102662	6.0	Areia muito fina	Bem selec.	Aprox. simétrica	Leptocúrtica	60.9	39.1
A41	292266	9102696	7.4	Areia muito fina	Moder. Selec.	Negativa	Leptocúrtica	2.8	97.2
A42	292559	9102688	7.4	Areia grossa	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Platicúrtica	61.0	39.0
A43	293927	9102705	11.4	Areia média	Moder. Selec.	Positiva	Leptocúrtica	73.0	27.0
A44	294438	9102718	13.4	Areia m. grossa	Bem selec.	Aprox. simétrica	Muito leptoc.	38.3	61.7
A45	291722	9102229	3.5	Areia muito fina	Bem selec.	Aprox. simétrica	Platicúrtica	45.0	55.0
A46	292087	9102245	7.8	Areia grossa	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Leptocúrtica	61.2	38.8
A47**	292405	9102266	7.9					61.0	39.0
A48	293861	9102164	11.5	Areia grossa	Moder. Selec.	Positiva	Leptocúrtica	71.4	28.6
A49	294347	9102199	13.5	Areia grossa	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Muito platic.	42.9	57.1
A50	291385	9101766	2.2	Areia muito fina	Bem selec.	Positiva	Mesocúrtica	47.5	52.5
A51**	291830	9101793	7.5					66.1	33.9
A52**	292182	9101742	7.9						
A53	293711	9101684	12.0	Areia muito fina	Bem selec.	Aprox. simétrica	Leptocúrtica	53.8	46.2
A54**	294233	9101688	13.7						
A55	291154	9101364	2.5	Areia média	Bem selec.	Aprox. simétrica	Leptocúrtica	52.5	47.5
A56**	291641	9101365	7.4					57.8	42.2
A57	292031	9101252	7.9	Areia muito fina	Moder. Selec.	Muito negativa	Mesocúrtica	78.7	21.3
A58	293518	9101160	12.4	Areia grossa	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Leptocúrtica	55.3	44.7
A59	293997	9101233	13.6	Areia grossa	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Leptocúrtica	52.8	47.2

ID	E	N	Prof. (m)		Seleção	Assimetria	Curtose	Quar. %	Carb. %
A60	290965	9100861	3.1	Areia muito fina	Bem selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	36.2	63.8
A61	291492	9100853	7.5	Areia muito fina	Moder. Selec.	Muito negativa	Leptocúrtica	56.8	43.2
A62	291848	9100839	8.1	Areia muito fina	Moder. Selec.	Muito negativa	Mesocúrtica	76.9	23.1
A63	290847	9100434	5.8	Areia muito fina	Bem selec.	Aprox. simétrica	Leptocúrtica	45.1	54.9
A64**	291242	9100421	6.9					36.3	63.7
A65**	291726	9100396	8.0						
A66*	293161	9100367	12.6						
A67	292836	9104498	5.0	Areia muito fina	Moder. Selec.	Negativa	Muito leptoc.	94.1	5.9
A68	291570	9099886	7.4	Silte grosso	Bem selec.	Muito negativa	Muito leptoc.	67.4	32.6
A69	292922	9099940	11.1	Areia muito fina	Pobrem. Selec.	Muito negativa	Extrem. Leptoc.	66.9	33.1
A70	293465	9099953	14.9	Areia grossa	Pobrem. Selec.	Positiva	Leptocúrtica	61.5	38.5
A71	290480	9099532	5.3	Areia muito fina	Bem selec.	Negativa	Leptocúrtica	52.0	48.0
A72	291109	9099493	7.0	Areia muito fina	Moder. Selec.	Negativa	Mesocúrtica	48.9	51.1
A73	291206	9099440	7.3	Silte grosso	Bem selecionado	Muito negativa	Muito leptoc.	57.6	42.4
A74	293397	9099420	14.6	Areia grossa	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Platicúrtica	66.7	33.3
A75	290324	9099176	6.4	Areia muito fina	Bem selec.	Aprox. simétrica	Leptocúrtica	56.2	43.8
A76	290983	9099042	6.3	Areia média	Pobrem. Selec.	Muito positiva	Muito platic.	45.6	54.4
A77	293074	9099031	14.7	Areia grossa	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Platicúrtica	69.2	30.8
A78	290051	9098588	5.4	Areia muito fina	Bem selec.	Negativa	Mesocúrtica	60.5	39.5
A79**	290423	9098580	6.5						
A80	290869	9098568	6.8	Areia m. grossa	Moder. Selec.	Positiva	Extrem. Leptoc.	84.2	15.8
A81	292323	9098563	11.4	Areia grossa	Moder. Selec.	Aprox. simétrica	Mesocúrtica	63.8	36.2

* Amostras com grãos maiores de 2 mm.

** amostras com sedimentos insuficientes para análise granulométrica.

Tabela 4 – Amostras constituídas de silte grosso e areia muito fina

ID	E	N	Prof. (m)	Media (Phi)	Classificação	Seleção	Quar. %	Carb. %	Silte %	Argila %	Areia %
A6	293369	9105919	4.1	3,56	Areia m. fina	Bem selec.	67.8	32.2	17	21	62
A31	292620	9103631	6.8	3,61	Areia m. fina	Pob. selec.	64.3	35.7	11	20	69
A32	292825	9103654	7.4	3,16	Areia m. fina	Pob. selec.	28.6	71.4	24	22	54
A35	292359	9103225	6.5	3,64	Areia m. fina	Bem selec.	65.5	34.5	7	6	87
A57	292031	9101252	7.9	3,83	Areia m. fina	Mod. selec.	78.7	21.3	12	15	73
A61	291492	9100853	7.5	3,84	Areia m. fina	Mod. selec.	56.8	43.2	29	24	47
A62	291848	9100839	8.1	3,72	Areia m. fina	Mod. selec.	76.9	23.1	12	13	75
A68	291570	9099886	7.4	4,05	Silte grosso	Bem selec.	67.4	32.6	26	17	57
A73	291206	9099440	7.3	4,20	Silte grosso	Bem selec.	57.6	42.4	22	15	63
A79	290423	9098580	6.5				60.5	39.5	25	13	62

Selecionamento

Nas três regiões (pós-praia, face da praia e plataforma continental interna) os sedimentos apresentam uma variação nos valores de seleção, em torno da média (Figura 7), não apresentando grande discrepância de valores em cada ambiente. Quanto à distribuição dos valores de seleção em relação à profundidade, estes apresentam valores maiores (entre 1,00 a 2,00 phi, pobremente selecionado) em direção *offshore* (Figuras 7 e 8).

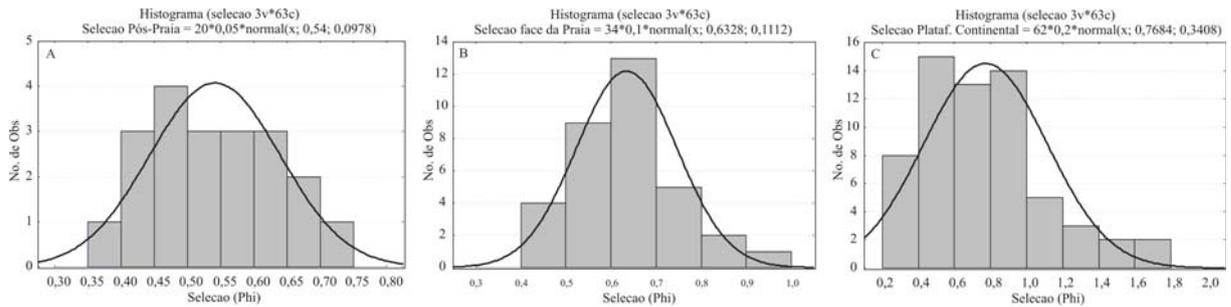


Figura 7 – Histograma dos valores de seleção dos grãos das regiões: A - pós-praia; B - face da praia; C – plataforma continental interna.

Os sedimentos da pós-praia foram classificados de bem selecionados a moderadamente selecionados, com uma predominância de sedimentos moderadamente selecionados (Tabela 1 e Figuras 7 e 8). A maior parte dos sedimentos bem selecionados da região da pós-praia se encontra ao sul da área. Na face da praia os grãos se classificam também de moderadamente a bem selecionados, porém apresentando apenas duas amostras bem selecionadas, ambas próximas à parte central da área (Tabela 2 e Figuras 7 e 8).

A plataforma continental interna apresentou uma variação de grãos pobremente selecionados à bem selecionados, mas também predominam grãos moderadamente selecionados (Tabela 3, Figuras 7 e 8). Os sedimentos bem selecionados predominam antes do *beachrock*. Os moderadamente selecionados se localizam antes e depois do substrato, mas a sua maior frequência é após o substrato. Os sedimentos pobremente selecionados aparecem como manchas isoladas nas áreas antes e depois do *beachrock*. Sendo que, na área anterior ao substrato, os sedimentos pobremente selecionados se encontram próximo a ele, e correspondem a sedimentos tanto constituídos por areia grossa, como também por areia muito fina. Entretanto, os sedimentos que formam a areia muito fina são constituídos em sua maioria por grãos bem selecionados. Já os grãos que variam de areia muito grossa a areia média, tem uma predominância de grãos moderadamente selecionados, localizados antes e depois do *beachrock*.

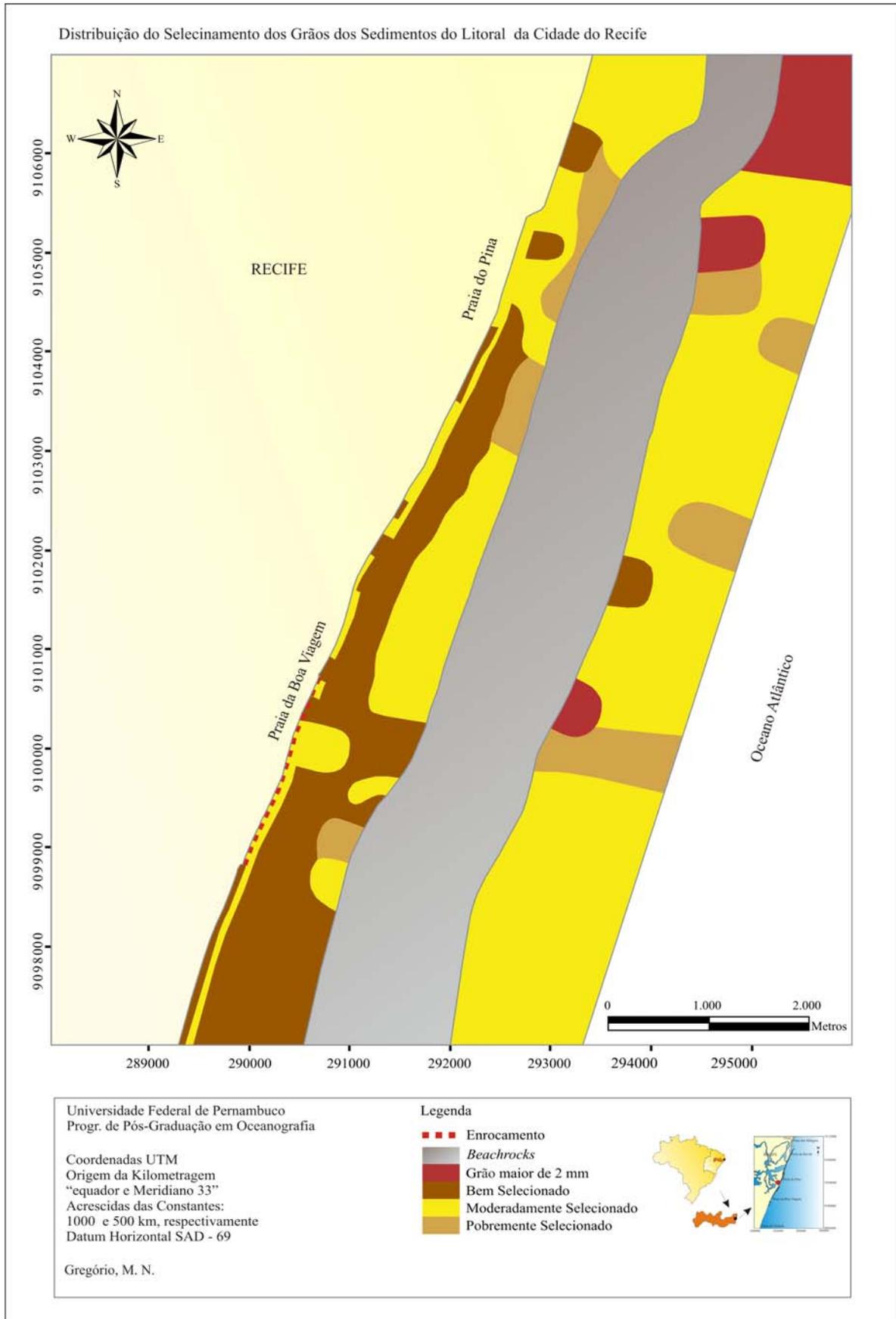


Figura 8 – Distribuição dos valores de seleccionamento dos grãos das regiões da pós-praia, face da praia e plataforma continental interna.

Assimetria

Os sedimentos da região da pós-praia foram classificados de assimetria negativa á assimetria positiva (Tabela 1, Figuras 9 e 10), predominando os valores aproximadamente simétricos. A assimetria desta região apresentou uma maior concentração de valores de assimetria acima da mediana e um único valor muito abaixo (Figura 9).

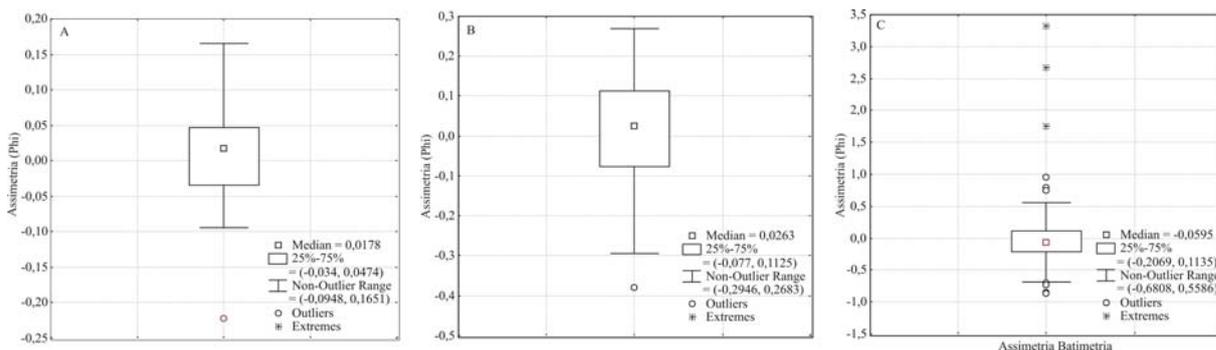


Figura 9 – Valores de assimetria dos sedimentos das regiões: A pós-praia; B - face da praia; C - plataforma continental.

A assimetria da face da praia apresentou uma variação de assimetria negativa a positiva (Tabela 2, Figuras 9 e 10). Foi observada nestes sedimentos uma maior ocorrência de valores aproximadamente simétricos, distribuídos ao longo de toda área. Valores negativos e positivos também ocorrem ao longo da área, porém os valores de assimetria positiva predominam ao sul.

Na plataforma continental interna, o valor de assimetria variou de muito negativa a muito positiva (Tabela 3, Figuras 9 e 10). Nesta região, também predominaram valores aproximadamente simétricos. Entretanto, foi observada uma maior variedade de valores de assimetria, em relação às regiões da pós-praia e face da praia, apresentando valores maiores de assimetria negativa e positiva (Figura 8). A maior ocorrência de valores aproximadamente simétricos, antes do *beachrock* se localiza mais próximos ao ambiente da praia e a variação dos outros valores de assimetria, se localiza mais próximos ao *beachrock*.

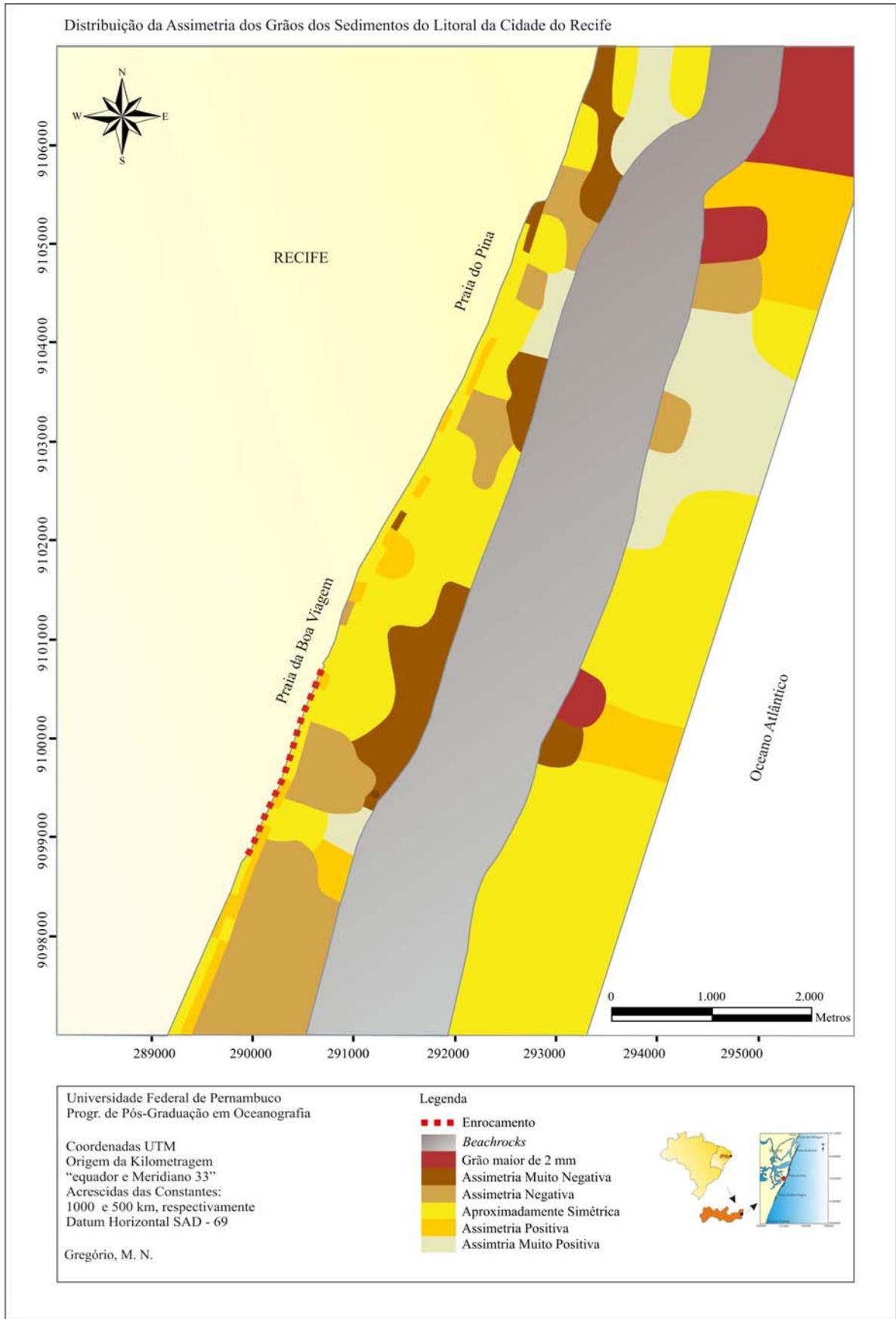


Figura 10 – Distribuição dos valores de assimetria dos grãos da pós-praia, face da praia e plataforma continental interna.

Curtose

Os valores de curtose da região da pós-praia variaram de platicúrtica a leptocúrtica (Tabela 1, Figuras 11 e 12), sendo os sedimentos em sua maioria constituídos de valores mesocúrticos, que se distribuem ao longo da área. Foi observada apenas uma amostra platicúrtica e duas leptocúrtica.

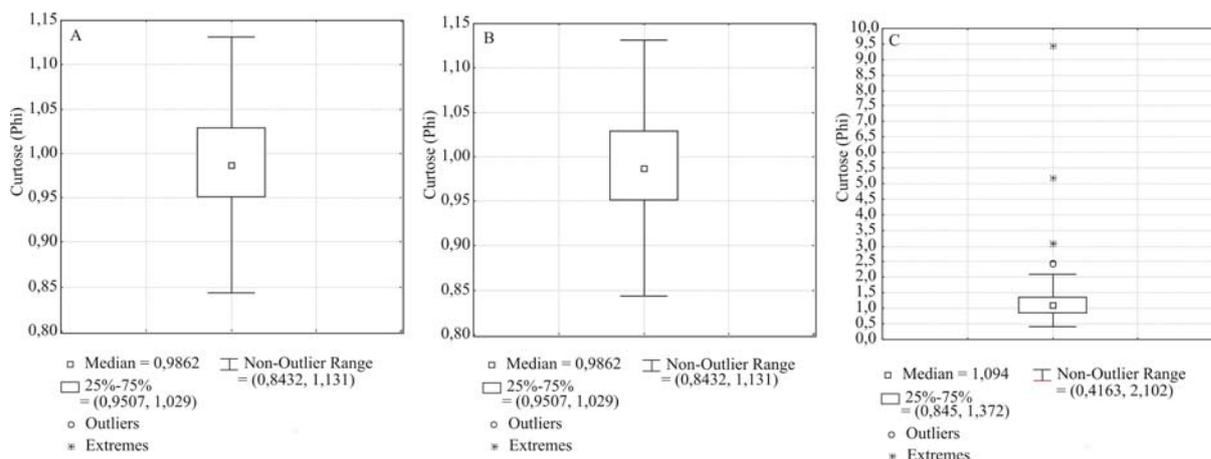


Figura 11 - Valores de curtose dos sedimentos das regiões: A - da pós-praia, B - face da praia, C - plataforma continental interna.

Nos sedimentos da face da praia, os valores que predominam são também mesocúrticos, distribuídos ao longo de toda área. Porém, esta região apresentou uma maior variação nos valores de curtose, de platicúrtica a muito leptocúrtica (Tabela 2, Figuras 10, 11 e Anexo 4). Valores muito leptocúrticos se encontram apenas ao norte e ao centro da área de estudo. A região da plataforma continental interna apresentou uma variação ainda maior para curtose, em relação às regiões da pós-praia e face de praia (Figuras 11 e 12). Esta apresentou uma variação de muito platicúrtica à extremamente leptocúrtica, com valores muito baixos ou altos de curtose.

A plataforma continental interna apresentou uma predominância de valores leptocúrticos (Tabela 3, Figuras 11 e 12). Entretanto, em relação a presença do *beachrock* foi observada maior quantidade de valores mesocúrticos antes do substrato. Os valores mais baixos e altos de curtose (muito platicúrtica, muito leptocúrtica e extremamente leptocúrtica) foram encontrados ao norte e ao sul da área. A variação dos valores de curtose de platicúrtica a leptocúrtica se distribui por toda área.

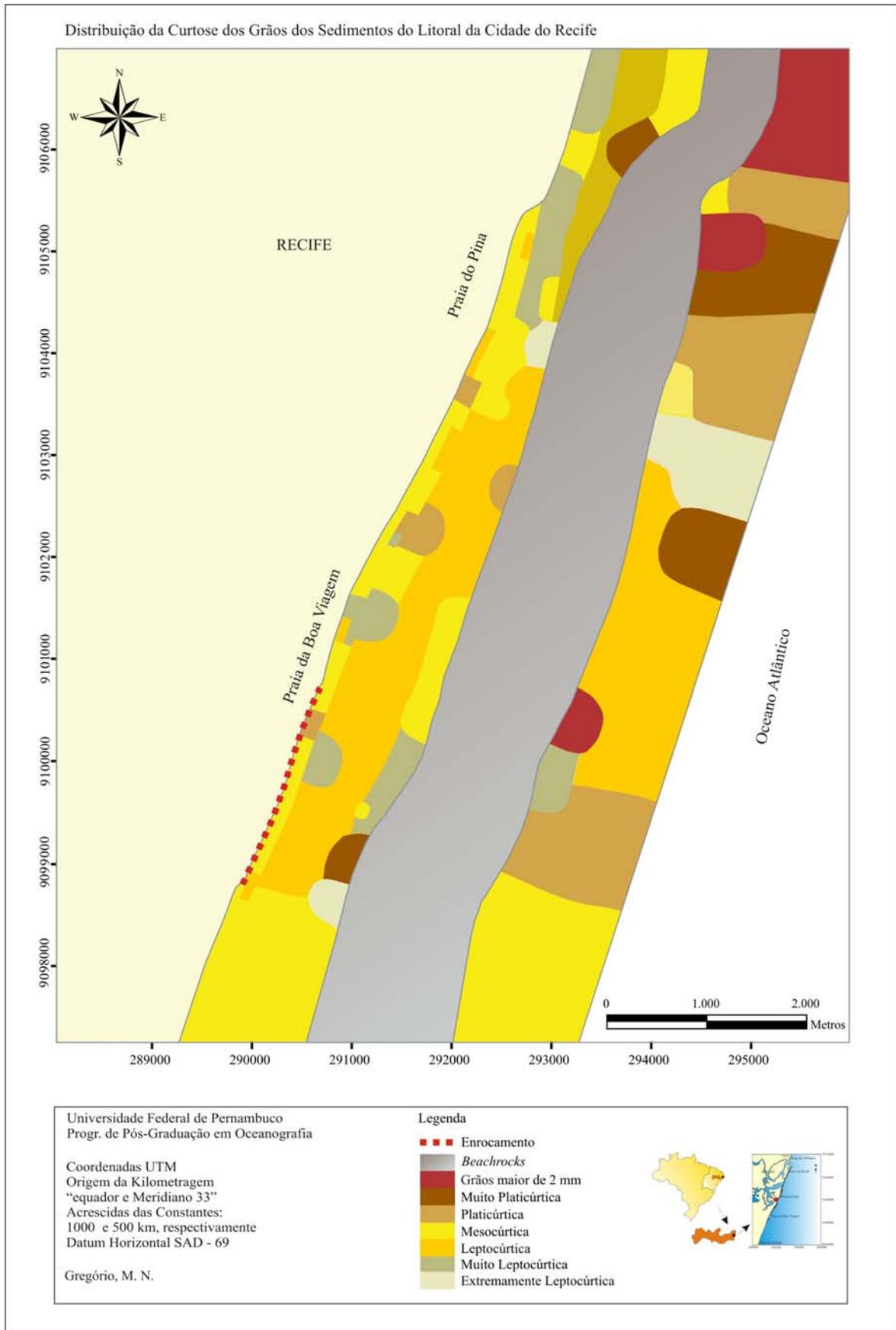


Figura 12 – Distribuição dos valores de curtose das regiões pós-praia, face da praia e plataforma continental interna.

Morfoscopia e Teor de Carbonato

Os sedimentos da região da pós-praia apresentaram uma variação de grãos subangulosos a arredondados, com uma predominância de grãos subarredondados em quase toda área de estudo, com alta esfericidade e brilhantes. Os grãos subangulosos aparecem ao norte e os grãos arredondados ao sul da área. Os fragmentos bioclásticos são constituídos por fragmentos de conchas, espinhos de equinodermos, algas calcárias.

Na face da praia, os grãos de quartzo também variaram de subangulosos a arredondados, com predomínio de grãos subarredondados, distribuídos em quase toda área, com alta esfericidade e brilhantes. Os grãos subangulosos e os arredondados aparecem ao centro e ao sul da área de estudo. Os grãos bioclásticos são formados por foraminíferos, fragmentos de conchas, espinhos de equinodermos, algas calcárias, gastrópodes, tubos de poliquetas.

Na plataforma continental interna, os grãos de quartzo variaram de arredondados a bem arredondados, predominando grãos subarredondados, com alta esfericidade e brilhantes. Os grãos bioclásticos são formados por fragmentos de alga calcárias, halimeda, esponjas, alga coralínea, gastrópode, foraminíferos, bivalvia.

Os valores do teor de carbonato aumentam em direção *offshore*, com a diminuição da quantidade de quartzo (Figuras 13 e 14). Na pós-praia o teor de CaCO_3 variou entre 0.31 a 18.7% e, para o quartzo de 81.3 a 96.96% (Tabela 2). Na face da praia, o teor de carbonato variou de 0.82 a 58.9 e, para quartzo, entre 41 e 91.8% (Tabela 3). Na região da plataforma continental interna, entre 5.9% a 97.2%, e o valor de quartzo entre de 36 a 94.1% (Tabela 4).

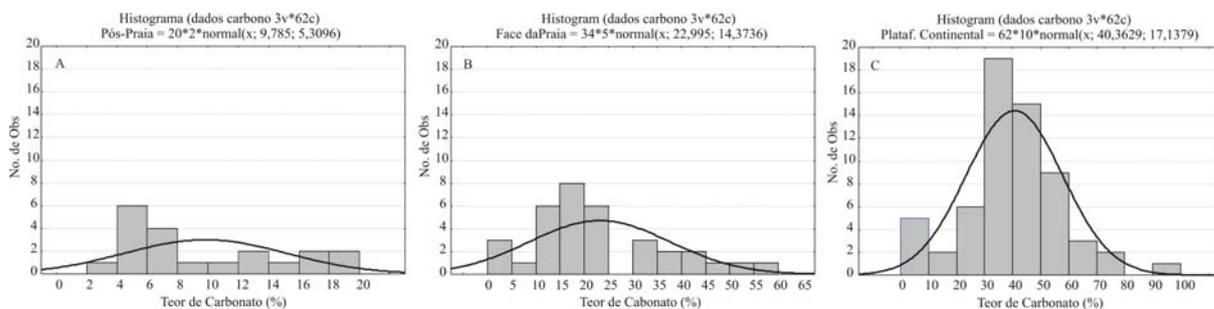


Figura 13 - Valores no teor de carbonato das regiões: A - da pós-praia, B - face da praia, C - plataforma continental interna.

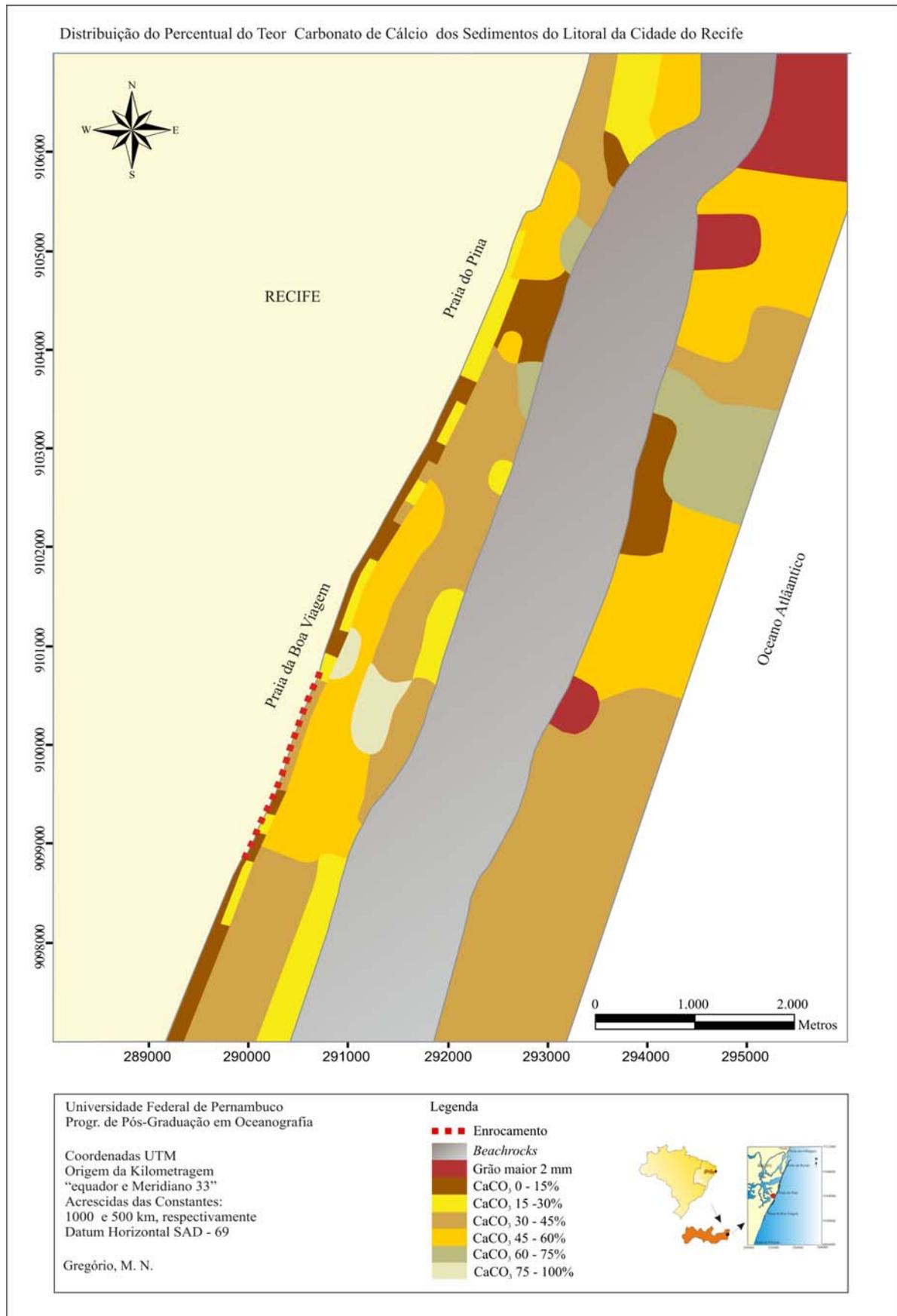


Figura 14 - Distribuição dos valores de carbonato de cálcio das regiões da pós-praia, face da praia e plataforma continental interna.

Na região da pós-praia, os valores mais altos de teor de CaCO_3 , foram observados ao norte da área, e apenas uma amostra ao centro, no valor de 18.0 (Tabela 1 e Figura 14). Os valores mais altos no teor de carbonato na face da praia foram encontrados no extremo norte da área, e no enrocamento (Tabela 2 e Figura 14). A plataforma continental interna apresentou os valores mais altos no teor de carbonato (Tabela 3), estes valores estão distribuídos por toda a área (Figura 14). Alguns valores mais baixos do teor de carbonato foram observados ao norte da área e antes do *beachrock* (Figura 14). Apresentou assim, um aumento no valor no teor de carbonato de cálcio, em direção *offshore*.

TOPOGRAFIA E BATIMETRIA

Os perfis topográficos do ambiente praiar e os perfis batimétricos (topobatimétricos) da plataforma continental interna, estão representados nas Figuras 15 a 21 e Anexo 1. A partir dos resultados observados, e para uma melhor compreensão, os resultados foram agrupados por setores, distribuídos de norte para sul, em Setor A, B, e C. Correspondem, respectivamente, ao norte, centro e sul da área de estudo.

A plataforma continental interna do litoral da cidade do Recife possui uma morfologia bastante variada, bem como, a presença de um canal e de uma linha de *beachrock* (Ferreira Jr., 2009), que torna a sua topografia acidentada e irregular (Figuras 15 a 21 e Anexo 1). O *beachrock* também apresenta irregularidades dentro da própria feição, dissecados por processos erosivos. O canal e o *beachrock* possuem uma inclinação suave, em direção *offshore*, sendo esta maior após o *beachrock*, com uma diferença média de nível de 3.95 m. Ambas as feições, aparentemente, acompanham a linha de costa atual no sentido *longshore* (NE/SO).

A partir de uma distancia da linha de costa, ou seja, da linha de deixa, o término dos perfis apresentaram um comprimento médio de 4402 m a uma profundidade média final de 16 m. A altura máxima dos perfis topobatimétricos no sentido *onshore* foi de 4.30 m, observado no perfil 22. E a profundidade máxima foi encontrada no perfil 10, na isobáta de 19 m.

No canal observado entre a linha de *beachrocks*, exposto durante a maré baixa, e a linha do *beachrok*, e a segunda linha de *beachrock* submersa, apresenta uma distância média em relação à linha de costa em torno de 230 m, profundidade média na isobáta de 6.40 m, e uma largura média de 437 m. *beachrock* submerso possui uma largura em média de 1285.30 m em sua base (Figuras 15 a 21 e Anexo 1). O início da base do *beachrock* se encontra a uma

distancia média em relação à linha de costa, em torno de 395.40 m. Apresenta, no início de sua base, uma profundidade média de 7.30 m, e o final no valor de 11.30 m. Em seu topo, a profundidade média encontrada é na ordem de 3 a 6.10 m, respectivamente início e final em direção *offshore* (Figuras 15 a 21 e Anexo 1).

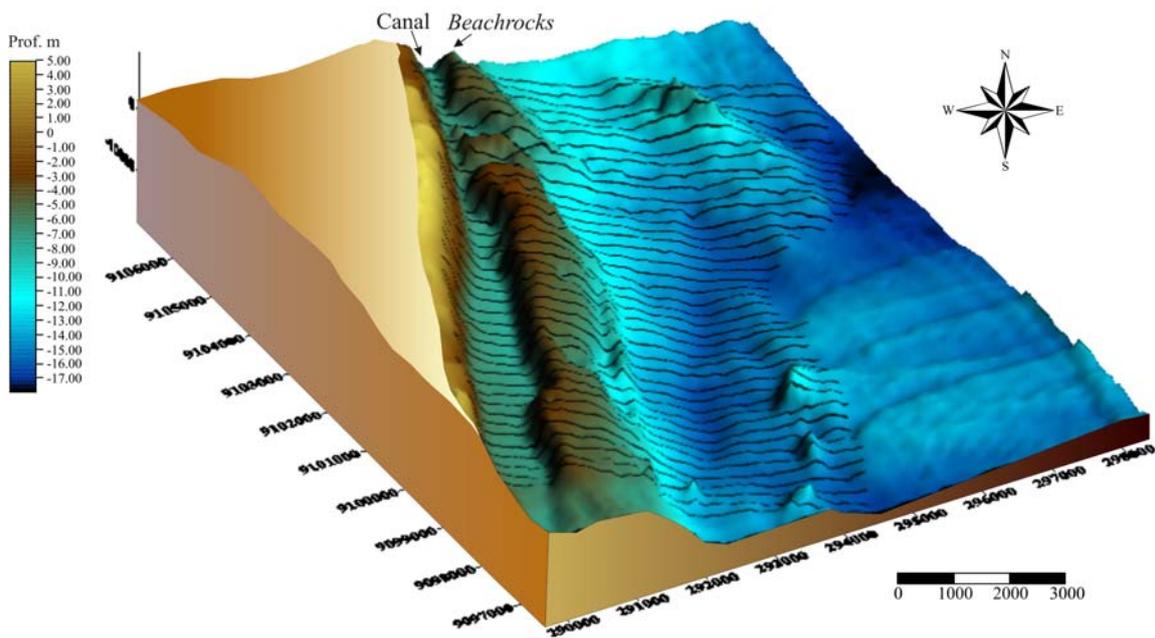


Figura 15 – Modelo digital do terreno, litoral da cidade do Recife.

Os perfis de 1 a 15 estão localizados no Setor A, ao norte da área de estudo, entretanto, os primeiros 8 perfis se encontram totalmente submersos, começando a partir da isobáta de 1.720 m. A partir do perfil 9, se desenvolve o ambiente praiá. (Figuras 15, 16 e Anexos 1). Neste setor, a distância média do canal e do *beachrock*, em relação à linha de costa, se encontra a 224 e 397.60 m, respectivamente. O canal e o *beachrock* apresentam uma largura média de 173.50 e 1092 m. A profundidade média destas feições é de 6 m, para o canal, e entre 7 m e 10 m, para o *beachrock* se encontrar em torno de 3.20 e 6 m de profundidade.

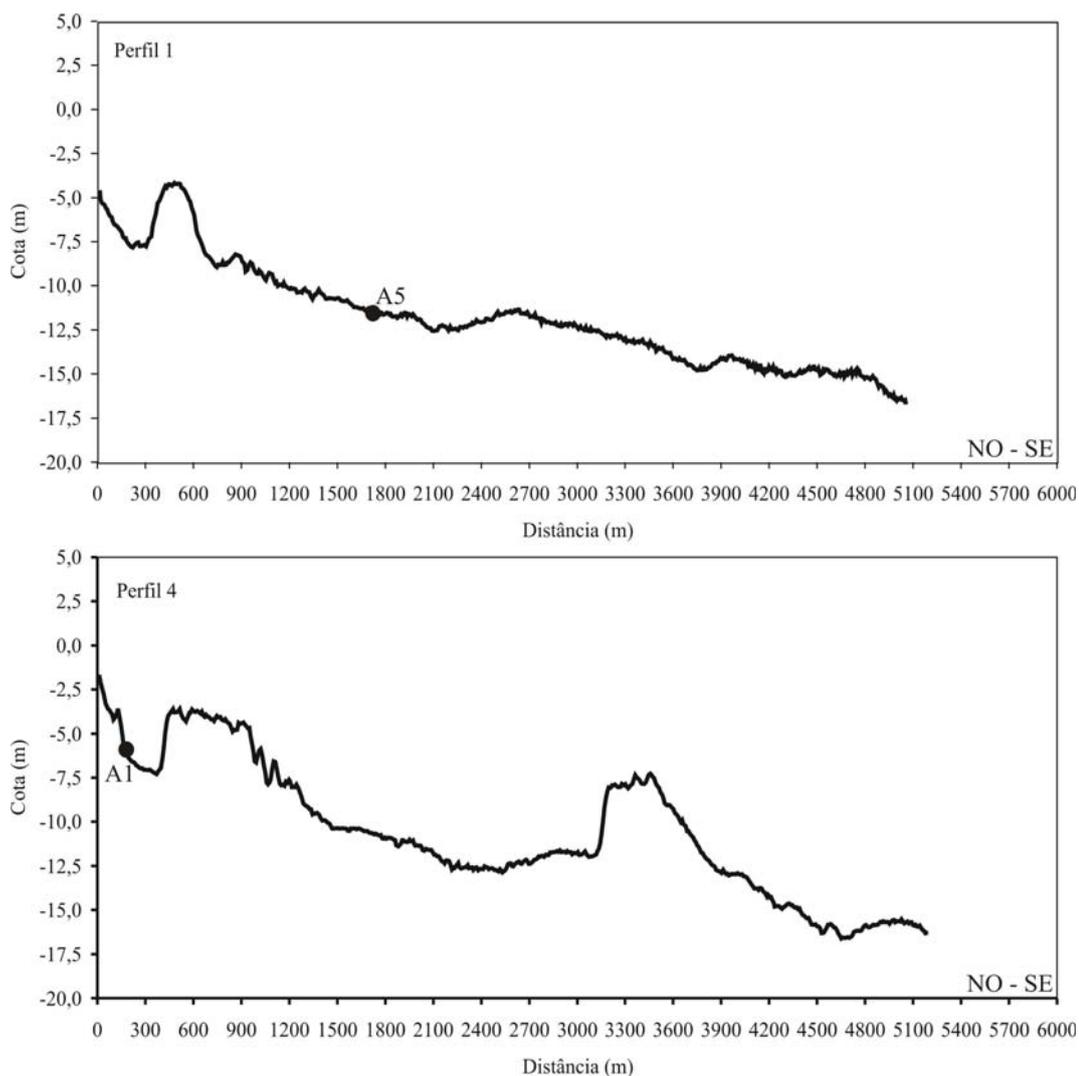


Figura 16 - Perfis batimétricos 1 e 4, no Setor A, e localização das amostras de sedimentos.

No Setor A, os perfis 1, 9 e 12, se encontram aplainado depois do *beachrock* e levemente inclinados em direção *offshore* (Figuras 16, 17 e Anexo 1). Porém, se observa nos perfis, uma superfície dissecada pela erosão, no topo do *beachrock*. Provavelmente esteve exposta a processos erosivos em épocas pretéritas. A partir do perfil 2 até o perfil 11, encontra-se uma terceira linha de substrato consolidado, com uma profundidade média no valor da isobáta de 13 m (Anexo1).

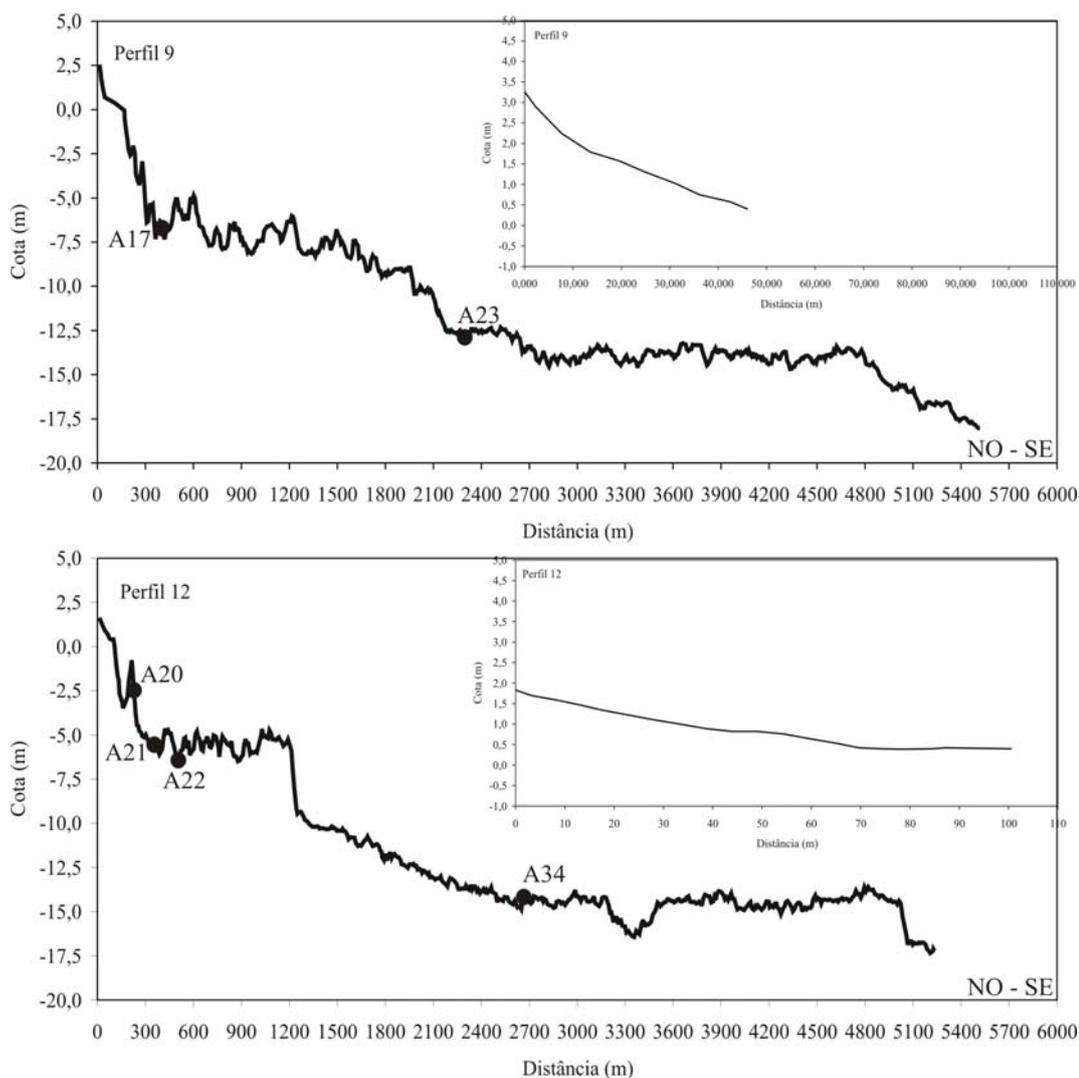


Figura 17 - Perfis batimétricos e topográficos 9 e 12 , no Setor A, e localização das amostras de sedimentos.

Os perfis localizados mais ao norte do Setor A (Figura 3) apresentam na morfologia do ambiente praiar uma superfície mais plana, como por exemplo, os perfis 9 e 12 (Figura 17). O perfil 12 possui a maior extensão do ambiente praiar de toda área de estudo (100.60 m). Os perfis localizados mais a sul do Setor A se caracterizam por uma morfologia com uma berma pronunciada (Anexo1).

No Setor A, os sedimentos são constituídos em sua maioria por areia muito fina, antes do *beachrock*. Quando se observa areia média ou grossa antes do *beachrock* (Figura 6), estas estão na base desta feição, ou há ausência do canal, devido à superfície erosiva do *beachrock*, como por exemplo, nos perfis 9 e 12 (Figura 17 e Anexo 1). Na região externa ao *beachrock*, se observa a predominância de areia grossa. Neste setor, as amostras de sedimentos de 1 a 5,

das regiões da pós-praia e face da praia (Tabelas 1 e 2), são constituídas por areia fina (Figura 6).

No Setor B se localizam os perfis de 16 a 28, na parte central da área de estudo (Figura 4 e Anexo 1). Estes perfis apresentaram um comprimento médio de 3979.80 m, a uma profundidade média de 15.70 m (Figuras 18, 19 e Anexo 1). O canal e o *beachrock*, deste setor, apresentaram uma distancia média em relação à linha de costa de 346.50 e 765.80 m respectivamente. A largura é de 419.30 m para o canal, e de 1455.70 m para o *beachrock* (Figuras 1, 19 e Anexo 1). A profundidade média do canal se localiza a 7.30 m, a base *beachrock* em torno de 8.10 a 12.90, e de 2.93 a 6.70 m, para o inicio e final do topo.

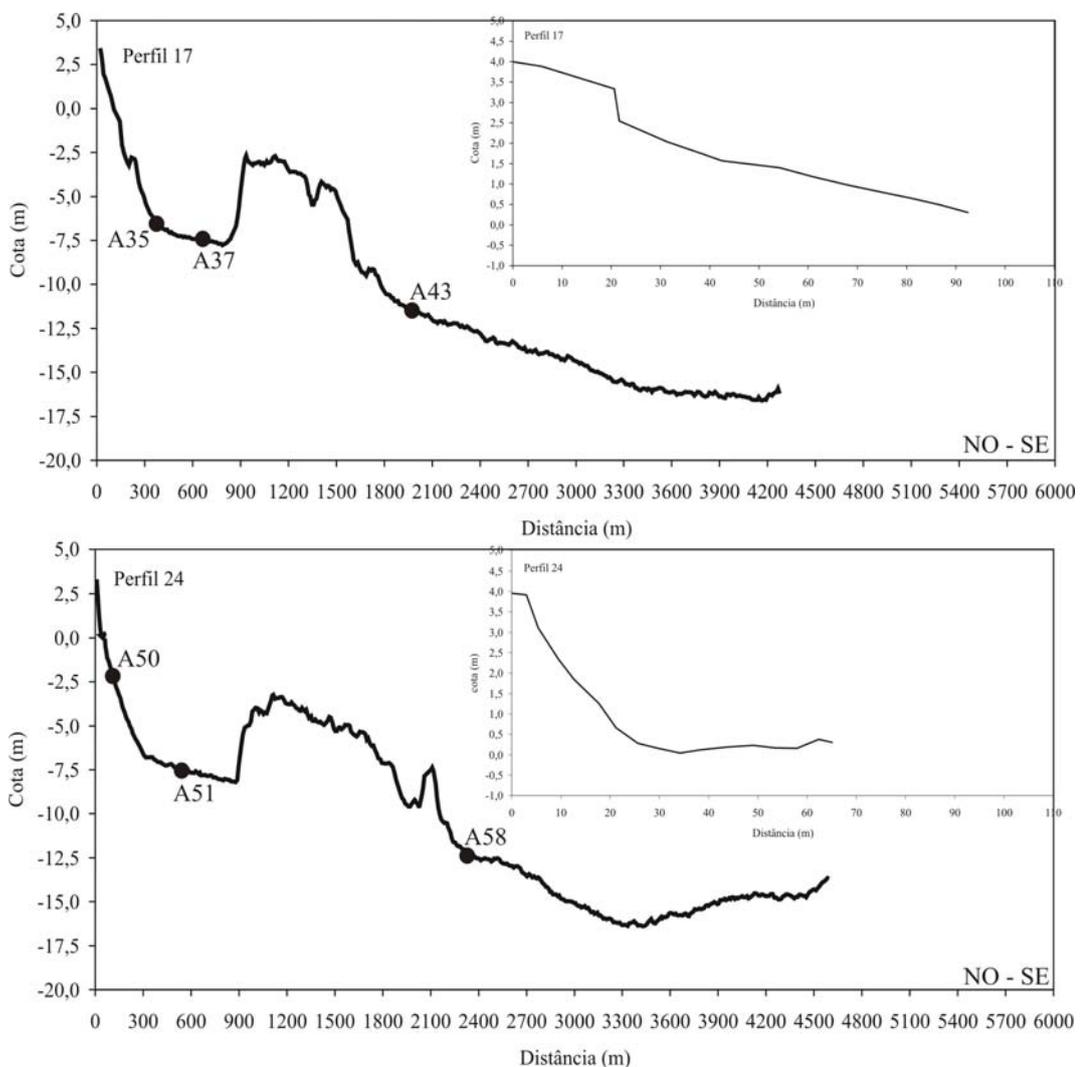


Figura 18 - Perfis batimétricos e topográficos 17 e 24 localizados no Setor B, e localização das amostras de sedimentos.

Neste Setor também se observa nos perfis uma superfície bastante irregular, bem com superfícies dissecadas por processos erosivos (Figuras 18 e 19). Provavelmente, estas estavam expostas em épocas pretéritas, em níveis de mar mais baixo do que o atual. Estas feições se localizam principalmente mais ao sul do setor, nos perfis 26 e 27 (Figura 19 e Anexo 1). No setor B, a largura do canal e do *beachrock* apresentou uma extensão maior do que o setor anterior.

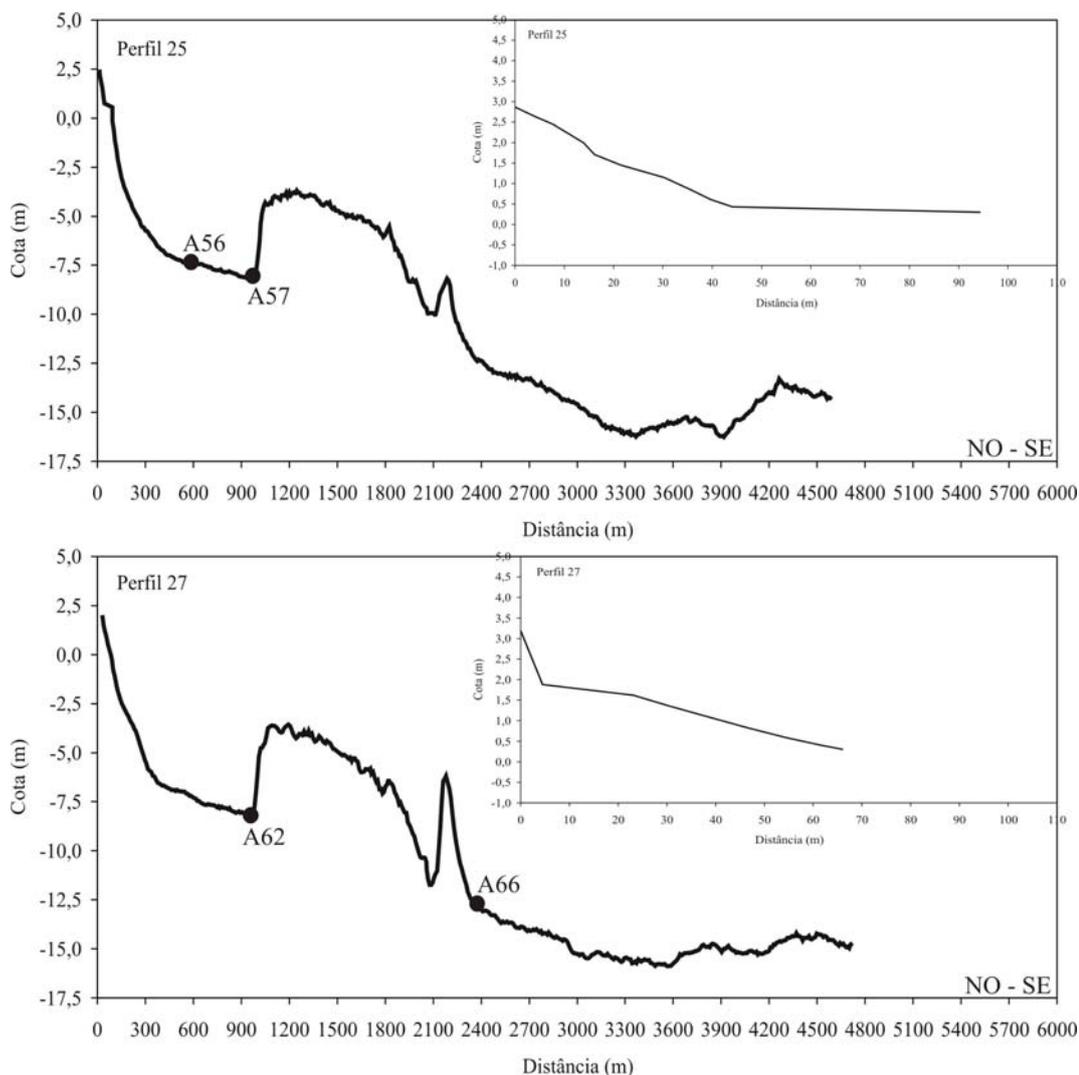


Figura 19 - Perfis batimétricos e topográficos 25 e 27 localizados no Setor B, e localização das amostras de sedimentos.

Nos perfis que se localizam mais ao norte do Setor B, o ambiente praial é mais desenvolvido, e apresenta uma berma mais pronunciada, do que os perfis que se localizam mais ao sul deste setor (Figuras 18, 19 e Anexo). O perfil 25 apresenta a maior extensão do ambiente praial, com 94.40 m de comprimento (Figura 19). A maioria dos perfis do ambiente praial deste setor apresenta uma morfologia mais convexa, principalmente os perfis 24 e 26 (Figura 18 e Anexo 1).

Os sedimentos dos perfis do Setor B, o tamanho médio do grão também se distribui em função da presença do *beachrock* (Figura 6). Antes desta feição, são observadas areia muito fina, e areias grossas ou médias, próximas à sua base. Após o *beachrock*, há predominância de areia grossa (Anexo 1). As amostras de sedimentos de 6 a 18 do ambiente praial se localizam neste setor. Na região da pós-praia, predomina areia média, e na face da praia, os sedimentos variam de areia média a muito fina (Figura 6), predominando os sedimentos de areia fina. Entretanto, este setor, é o que apresenta uma maior quantidade de amostras de sedimentos constituídos por areia média, no ambiente praial, de toda área de estudo.

Os perfis 29 a 41 se localizam no Setor C, ao sul da área de estudo (Figura 4 e Anexo 1), e abrange a obra de contenção, do tipo enrocamento aderente. Neste setor, os perfis apresentam um comprimento e uma profundidade média de 4816.10 m e 15.30 m respectivamente (Figuras 20, 21 e Anexo 1). O canal está distante da linha de costa em média de 189 m e o *beachrock* a 920.70 m (Figuras 20, 21 e Anexos 1). Estas feições apresentam uma largura de 731.70 m, para o canal e 1391.70 m, para o *beachrock*. O canal se encontra a uma profundidade média de 7.20 m, e o *beachrock* entre as isobátas de 7.60 e 13 m, com os valores de 2.90 e 7.70 m, para o início e final do topo do *beachrock*.

Como já observado nos setores anteriores, neste setor, a morfologia dos perfis é também bastante irregular, e com as superfícies dissecadas por processos erosivos (Figuras 20 e 21 e Anexo 1). Porém, alguns perfis apresentam o *beachrock* mais rebaixado do que nos setores anteriores. Estes se localizam mais ao norte do setor (perfis 28, 29 e 30) e ao sul (perfis 39 e 41), (Anexo 1). A largura do canal e do *beachrock* é maior, como também as suas respectivas distâncias em relação à linha de costa (Figuras 20, 21 e Anexo 1). Nos perfis 29 a 32, se observa um rebaixamento do relevo, um pouco mais profundo após o *beachrock* do que os demais setores, e há a presença de uma terceira linha de substrato consolidado, a uma profundidade de 15.50 m.

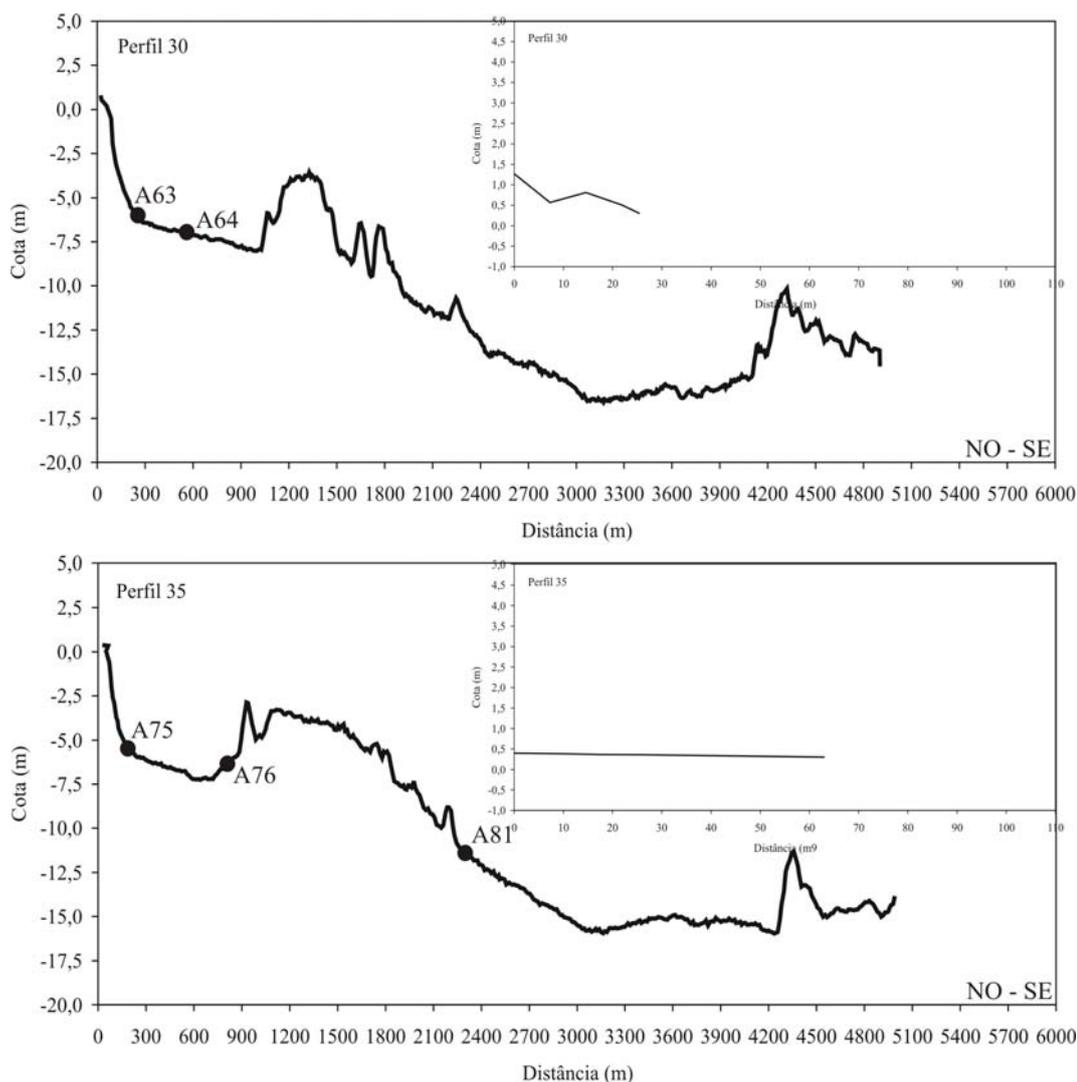


Figura 20 - Perfis batimétricos e topográficos 30 e 35 (Setor C), e localização das amostras de sedimentos.

O ambiente praiado no setor C apresenta um grupo de perfis menos extenso, em relação aos outros setores já analisados. Possui sua maior extensão no perfil 35 (Figura 20), com 63 m de comprimento. Entretanto apresenta perfis com extensão entre 20 e 25 m (Anexos 13 a 16). A morfologia dos perfis é mais retilínea, sem nenhuma feição muito expressiva. Apenas os perfis 38 a 41, localizados ao sul do enrocamento apresentam uma feição mais acentuada (Figura 21 e Anexo 1).

As amostras de sedimentos da plataforma deste setor são constituídas de silte grosso a areia muito grossa. E como nos demais perfis, se distribuem segundo a presença do *beachrock* (Figura 6). Ou seja, os sedimentos que variam de silte grosso a areia muito fina se localizam antes do *beachrock*, e a areia média a muito grossa, próximo ao *beachrock* ou após este.

Exceto a amostra A68, de areia muito fina, que se encontra em uma reentrância do *beachrock*, localizada no perfil 29 (Anexos 1).

Os perfis deste setor, localizados em frente ao enrocamento, foram realizados, até a base desta obra. Os perfis não apresentam a região da pós-praia, e esta feição, é apenas encontrada após o enrocamento, constituída por sedimentos de areia média (Tabela 1 e Figura 6). Na face da praia os sedimentos são constituídos de areia fina a média (Tabela 2 e Figura 6), com predominância de areia fina.

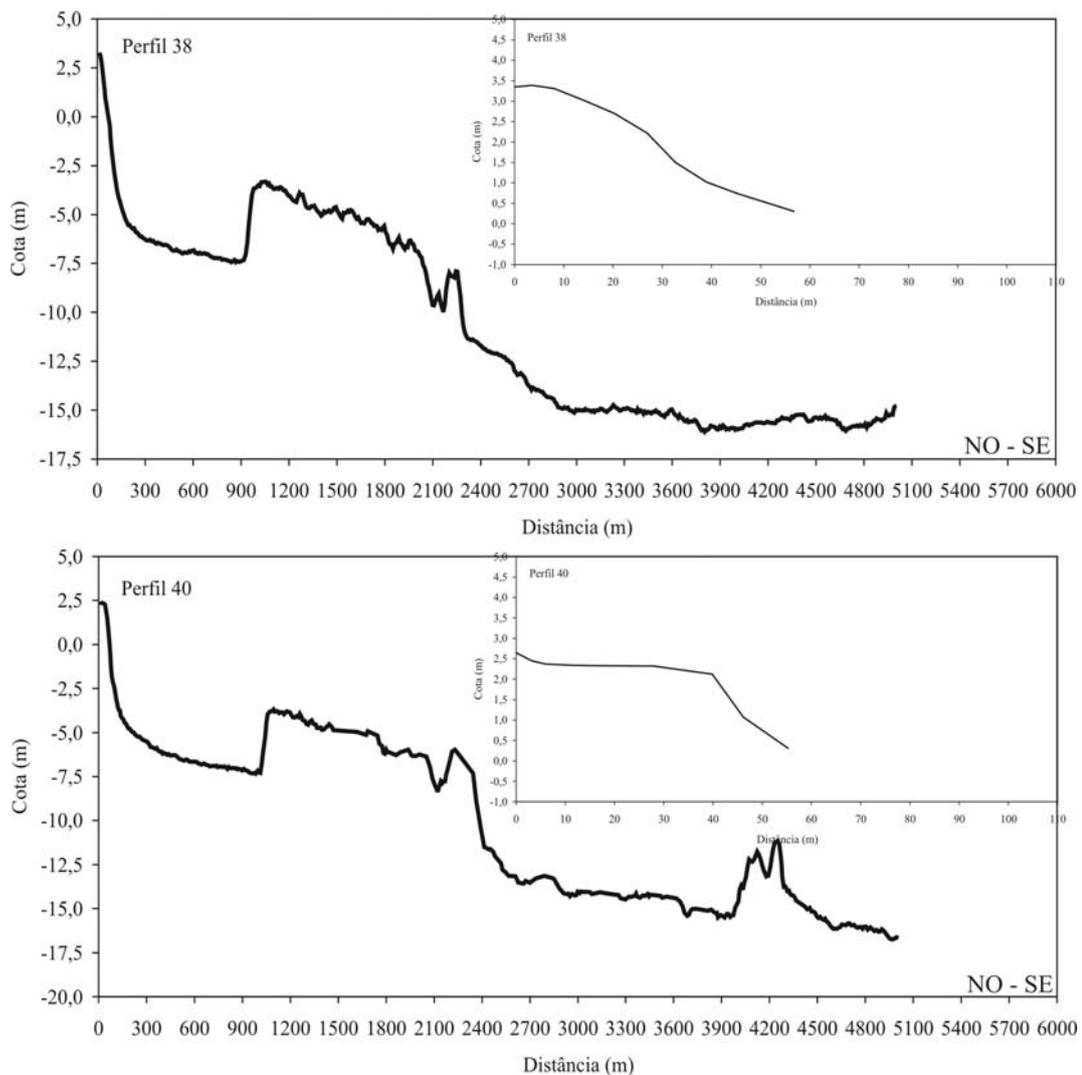


Figura 21 - Perfis batimétricos e topográficos 38 e 40 localizados no Setor C.

DISCUSSÃO

Nas regiões correspondentes a pós-praia e face da praia, os sedimentos são formados pela fração areia, com um valor superior a 80% de quartzo. Estas apresentaram uma variação de areia média a fina, moderadamente selecionadas. A predominância de areia fina na face da praia, foi observada por Gregório *et al.*, (2004) durante o período chuvoso e seco, bem como, os sedimentos moderadamente selecionados. Ambientes que apresentam sedimentos moderadamente selecionados indicam que o ambiente não apresentou energia suficiente para promover um bom selecionamento. Este mesmo fator implica na predominância de areia fina na face da praia, indicando que o sedimento fino não foi removido.

Na região da plataforma continental interna, os sedimentos apresentaram características distintas, em relação ao tamanho médio do grão e selecionamento, em função da presença do *beachrock*. Esta feição não permite uma interação entre as características dos sedimentos, servindo como um divisor entre os tamanhos dos grãos. O tamanho médio do grão na plataforma continental interna mostrou uma variação de areia muito fina a muito grossa, e de grãos pobremente selecionados a grãos bem selecionados. Os grãos de areia muito fina e bem selecionados predominaram na região antes do *beachrock*. Depois do *beachrock*, os grãos variaram de areia grossa a muito grossa, e são moderadamente selecionados.

A fração lama, neste estudo, encontra-se em forma de mancha, localizada ao sul da área e antes do *beachrock*. As amostras de silte grosso e areia muito fina apresentam em média, a fração silte em torno de 18.5% e a fração argila no valor de 16.6%. A fração argila é composta em sua maioria por argilamineral caulinita. A presença da fração silte e argila correspondem à ambientes de baixa energia.

O clima pode controlar a mineralogia das argilas. Ao longo da costa úmida entre Maceió (Alagoas) e Macau (Rio Grande do Norte), o intemperismo químico parece ter sido suficientemente intenso para a remoção completa da montmorilonita e illita, com a produção subsequente de sedimentos ricos em caulinita. O intemperismo químico é menor nas áreas áridas onde as argilas são essencialmente ilíticas. O intemperismo químico intenso se restringe a zona costeira úmida ao sul da cidade de Natal (Rio Grande do Norte). Nesta mesma faixa, a topografia curta contribuiu para o encurtamento no período de exposição (Mabesoone e Coutinho, 1970). Durante os períodos de rebaixamento do nível do mar, houve a predominância de um clima menos úmido na costa, como sugere o menor teor de caulinita

das lamas encontradas, no Platô de Pernambuco, comparado aos teores encontrados de lama na plataforma (Mabesoone e Coutinho, 1970).

O conteúdo de lama da plataforma interna, e em alguns pontos da plataforma média do nordeste, geralmente não atinge 2.5%, chegando a 5.15% na faixa externa, com valores crescentes no talude. As lamas preenchem, ainda, depressões topográficas da plataforma média. A fração lama dos sedimentos da plataforma tende a ser mais rica em argila que em silte, particularmente a noroeste do rio Jaguaribe (França *et al.*, 1976).

Segundo Russell (1939 apud Suguio, 1973), a seleção do grão, pode se processar pela ação de três tipos de mecanismos diferentes: seleção local (durante a deposição), seleção progressiva (durante o transporte), ou as duas ao mesmo tempo. Neste estudo, a presença de areia muito fina, bem como a fração lama, antes do *beachrock*, corresponde a um ambiente de baixa energia, porém o suficiente para promover um bom selecionamento. Estudos realizados, na área por Kempf *et al.*, 1967/9a,b; Coutinho e Morais (1970), a maior ocorrência da lama, encontra-se no fundo do canal, existente entre a linha de recife e a praia, onde o material fino trazido pelos rios através do estuário da Barra das Jangadas, é transportado para norte. Esta lama é constituída de argila terrígenas, com certa quantidade de areia fina quartzosa e biodetrítica.

A assimetria é uma medida da tendência dos dados de se dispersarem de um ou outro lado da média (Suguio, 1973). As curvas simétricas são representadas, quando os sedimentos são constituídos por material fino e grosso, em proporções iguais. Os resultados mostraram que, nos ambientes da pós-praia e face da praia, predominaram os sedimentos com grãos aproximadamente simétricos. Porém, a região da face da praia apresentou uma maior variedade de assimetria, com grão de assimetria positiva localizados ao sul da área, onde também são observados grãos bem selecionados. A assimetria é o parâmetro granulométrico que melhor caracteriza o ambiente, principalmente ao nível energético do mesmo (Mabesoone, 1968). Geralmente as praias apresentam uma assimetria negativa, devido os grãos finos ser removidos pelo vento (Duane, 1964). Assimetria positiva corresponde à acumulação de sedimentos finos em áreas protegidas, como lagunas e dunas de deposição eólica (Lira, 1997). Em estudos realizados por Gregório *et al.*, (2004) nos sedimentos na face da praia do Pina e da Boa Viagem, foi observado uma maior ocorrência de grãos aproximadamente simétricos, com uma maior representatividade no período chuvoso. No atual estudo as praias do Pina e da Boa Viagem também não apresentaram um padrão de distribuição para as praias, sendo esta distribuição na maioria das praias, geralmente serem assimetria negativa.

Na plataforma continental interna, também predominaram valores aproximadamente simétricos. Porém, foi observada uma maior variação de assimetria em relação aos ambientes citados anteriormente. Entretanto, a maioria dos valores aproximadamente simétricos, ocorreu próximo ao ambiente praial, e os demais valores após a linha de *beachrock* submerso, com valores muito positivo e muito negativo (Figura 7).

Segundo Lima Santos (1998), os valores de curtose estão relacionados às condições de movimentação no ambiente sedimentar. As amostras que apresentam distribuições leptocúrtica e muito leptocúrtica são de ambientes de maior movimentação; platicúrtica e muito platicúrtica são de ambientes de baixa movimentação; e distribuições mesocúrticas, de movimentação intermediária. Neste estudo, nas regiões da pós-praia e face da praia, predomina os grãos com valores mesocúrticos, o que não ocorre na plataforma continental interna. Este apresentou uma maior variedade nos valores de curtose (Figura 8), com a ocorrência de valores extremos de curtose, muito platicúrtica e extremamente leptocúrtica.

Como nas demais características dos sedimentos já citadas, a curtose também apresentou uma variação em relação à presença do *beachrock*. Antes desta feição, há uma predominância de valores mesocúrticos e, após este, ocorre uma maior variação. Valores, muito alto e muito baixo de curtose, muito platicúrtica, muito leptocúrtica e extremamente leptocúrtica, ocorreram ao norte e próximo ao sul da área. Então poderíamos deduzir que, uma movimentação maior destes sedimentos ocorre mais próxima ao sul da área de estudo, representando um ambiente de maior energia, após o *beachrock*.

Os componentes bioclásticos são compostos por foraminíferos, fragmentos de conchas, espinhos de equinodermos, gastrópodes, e tubos de poliquetas. Entretanto os bioclásticos na região da pós-praia, em relação à face da praia estão em menor quantidade. Na plataforma os componentes biológicos, são formados por fragmentos de algas calcárias, Halimedas, esponjas algas coralíneas, gastrópodes, foraminíferos, bivalvia, e são em maior quantidade do que as feições anteriores.

A morfometria compreende o estudo da forma (esfericidade e arredondamento) das partículas sedimentares (Mabesoone, 1968). Esses parâmetros dependem do transporte, bem como do rigor do transporte. De acordo com Ponzi (1995), o fator da forma, controla parcialmente o comportamento dos seixos durante o transporte e a deposição; a angulosidade e o arredondamento refletem a distância e o rigor do transporte. A área em estudo apresentou uma predominância de grãos subarredondados, brilhantes e com alta esfericidade. Entretanto na pós-praia, os grãos subangulosos aparecem ao norte e os arredondados ao sul. Na face da

praia, os subarredondados se distribuem por quase toda área. O uso do arredondamento como índice de maturidade foi sugerido por Pettijhon (1970), principalmente nos sedimentos inconsolidados. O grau de maturidade, com índices mais altos resulta de grãos arredondados e esféricos. A textura superficial fosca ou polida é expressa pela presença ou ausência de brilho. Os grãos que apresentam superfícies polidas indicam superfícies homogêneas e lisas, e reflete o máximo de luz incidente, os de superfícies foscas é resultado da difusão da luz (Mabesoone, 1968).

Quanto ao teor de carbonato de cálcio, este variou de forma bem clara em relação à profundidade. O ambiente praiar apresenta um baixo teor de carbonato, e este valor aumenta em direção à plataforma continental. Na face da praia, os menores valores de teor de carbonato predominam ao norte e ao sul da área, provavelmente onde há menor, influencia da plataforma. Segundo França *et al.*, (1976), na plataforma da costa do Nordeste Brasileiro, os sedimentos possuem mais de 75% de carbonato biogênico (CaCO_3), e o limite entre esses sedimentos e as areias terrígenas da plataforma continental interna, geralmente é abrupto, exceto nas proximidades do Rio São Francisco.

Kempf *et al.*, (1967/9b) dividiu a plataforma continental de Pernambuco em zona costeira, com áreas de fundo pouco recortado, entre as isobátas de 10 a 40 m, e área mais irregular, abaixo de 40 m. Na isobáta acima de 10 m, aparecem os recifes de arenitos, que ora afloram na praia e ora florescem na maré baixa, que causa uma topografia irregular com uma diferença de 7 m.

Neste estudo, em relação à plataforma continental interna, o relevo apresenta-se bastante irregular, apresentando uma mudança abrupta entre a região superior do perfil praiar e a região em direção *offshore*, com a presença de um canal com profundidade em torno da média citada pelo autor acima. Como também, há presença de uma linha de *beachrock* submerso, aparentemente paralelo à linha de costa, que dá à morfologia do perfil, uma irregularidade constante em toda área de estudo. Entretanto, essa irregularidade, apesar de ser, constante, tem uma variação de norte para sul, quanto à largura do canal, e a distancia, profundidade e largura do *beachrock*.

Nos perfis observados ao norte da área, Setor A, o canal se apresenta mais próximo a costa e menos largo do que nos Setores B e C. O canal apresenta uma diferença de distancia em relação à linha de costa para o setor B de 122.30 m e a média de 245.80 m de largura. O *beachrock* está em média mais distante 368.20 m, e 364 m mais largo. No Setor C, há uma aproximação do canal, em relação ao setor B, para a linha de costa. Mas, este apresenta uma largura maior ainda, com o valor médio de quase 50% a mais (312 m, superior ao setor

anterior). A distância do *beachrock* continua maior, em um valor médio de 154 m. Entretanto, há uma pequena diminuição em sua largura média, em relação ao Setor B. A profundidade do canal e do *beachrock*, topo e base, não apresentam grandes diferenças. Estas diferenças são percebidas nos perfis que se encontram mais erodidos, e provavelmente dissecados, em nível marinho mais baixo do que o atual.

Os recifes de arenitos são feições morfológicas observadas em toda costa do litoral do estado de Pernambuco (Kempf *et al.*, 1967/9a). Estes recifes de arenitos afloram na praia, ou aparecem durante a maré baixa, ou são totalmente submersos. E entre os recifes, se encontram canais, e dentro dos próprios recifes, também pode haver passagem de maior profundidade (Araújo, *et al.*, 2004). Michelli (2002) mapeou feições correlatas a arenitos submersos nas isobátas de 20 e 40 m, na plataforma continental sul de Pernambuco, sendo 4 feições submersas para a isobáta de 20 m, e 7 para a isobáta de 40 m. Para os dois primeiros arenitos, foi observado à partir da linha de costa, sedimentos finos, indicando uma baixa circulação entre eles, ocasionando a sua deposição. A segunda ocorrência, entre os arenitos existe um canal coberto por lama carbonáticas, em torno da isobáta de 30 m e 940 m de largura. A presença desses arenitos indica pontos de estabilidade do mar, e o canal pode, provavelmente, está relacionado ao antigo curso do rio Formoso, durante algum processo regressivo marinho.

Na plataforma continental, em geral há diminuição do tamanho médio do grão em função da profundidade. Com o aumento da distancia da praia, é uma tendência, na distribuição dos sedimentos na zona submarina rasa, se tornarem mais finos (Muehe e Ignarra, 1984). A distribuição granulométrica do tamanho médio do grão, neste estudo não segue o padrão de distribuição encontrado na maioria das plataformas continentais interna. Geralmente, este se distribui em valor inverso com a profundidade, ou seja, quanto maior a profundidade, menor seria o tamanho médio do grão. O estudo apresentou na parte superior do perfil (ambiente praias), uma predominância de areia média, seguida de areia fina, e na área do canal, areia muito fina. Após o *beachrock*, há areia grossa a muito grossa (Figura 6). A relação ao tamanho médio do grão, e a profundidade demonstram claramente que não há transferência de sedimentos entre a área antes e após o *beachrock*, havendo uma lacuna nas características dos sedimentos entre os ambientes interno e externo ao *beachrock*.

A linha de *beachrock* submerso está servindo de barreira ao longo de toda área, e impede a transferência destes sedimentos. Quando aparece areia grossa antes do *beachrock*, estes sedimentos estão relacionados a perfis com elevado processo erosivo no *beachrock*, são mais aplainados, ou sedimentos finos, que se encontram nas reentrâncias existentes dentro desta feição.

Situação semelhante foi analisada por Muehe e Ignarra (1984), na praia do Itaipuaçu, no estado do Rio de Janeiro, onde a presença de um arenito na extremidade ocidental da praia é, possivelmente o principal responsável pela ocorrência dos padrões texturais encontrados. Segundo estes autores, a textura e o gradiente de fundo na zona submarina rasa, isto é, da linha de praia até um pouco além da arrebentação (*upper shoreface*), é variável no tempo, e de dois mecanismos de sentido oposto. Um fluxo de areia em suspensão, em direção ao oceano, transportado pelas correntes de saídas (*rip current*) induzidas pelo acúmulo de água entre a zona de arrebentação e a praia. O outro é o arrasto de areia de fundo, em direção à praia. E, devido a presença do arenito, há interrupção do aporte de sedimentos da plataforma continental interna em direção à costa.

No estudo citado acima, entre o arenito e a praia, a turbulência é maior e há a possibilidade de que frações arenosas finas sejam colocadas em suspensão e transportadas por cima do arenito, em direção ao mar aberto, vindo a precipitar logo após o arenito com a diminuição da turbulência. Segundo os autores, há uma tendência típica na distribuição dos sedimentos da zona submarina rasa, porém, devido a influencia do arenito no fluxo de sedimentos perpendicular à praia, há uma mudança brusca na ocorrência de areias mais finas próximo ao flanco externo do arenito.

Na área em estudo provavelmente, não ocorre turbulência a este nível, porque removeria os sedimentos muito finos do canal, ou haveria a transferência de sedimentos entre a parte superior do perfil e parte mais externa, isto é evidenciado pela ausência de areia fina no flanco externo do substrato. O mais provável, é que os sedimentos observados antes do *beachrock* correspondam a sedimentos relíquias. Segundo Manso *et al.*, (2004), os fenômenos erosivos e de sedimentação marinha, se concentram na faixa da antepraia, bem como a cobertura sedimentar da maioria das plataformas continentais são relíquias dos ambientes sedimentares de períodos de nível de mar mais baixo.

Segundo Rollnic (2008), na região de Boa Viagem há predominância das correntes, na direção de sul para norte, e contra a costa, nas camadas ao fundo e superficial durante o período chuvoso. Durante o período de estiagem, há predominância na direção de norte para sul e costa-a-fora, nas camadas de fundo e superficial.

O mesmo autor realizou simulação numérica e concluiu que, ao longo de um ciclo de maré, tanto na maré de sizígia como na maré de quadratura, há uma intensificação das correntes próxima à costa, durante o período chuvoso e seco, e que a área central e sul da praia da Boa Viagem está sujeita a um alto potencial de transporte. Na mesma área, onde há problemas de erosão costeira. Além destes resultados, o referido autor observou que, a fração

areia fina, teria 90% de probabilidade de ser transportada; a areia média teria de 80 a 90%; e a areia grossa (80%), bem como areia muito grossa (60%).

Levando-se em conta os resultados realizados por Rollnic (2008), em relação à simulação da probabilidade do potencial de transporte de fundo, o referido autor, provavelmente, não levou em consideração as características dos sedimentos da área. Se realmente a corrente de fundo pudesse transportar os sedimentos de areia fina a muito grossa no percentual de probabilidade encontrado, a realidade das características dos sedimentos não seriam as encontradas neste estudo. Foi observada uma predominância de areia muito fina no canal, e de areia muito grossa, na área externa ao *beachrock*. A presença de areia muito fina indica que o ambiente não tem energia suficiente para mover este tamanho de grão, como também não tem energia suficiente para mover a areia muito grossa da parte externa do *beachrock*, e transportá-la para dentro do canal.

O que provavelmente ocorre, em relação à área de estudo, é a dispersão dos sedimentos, devido a mudança de direção das correntes em relação à sazonalidade. Segundo Masselink e Pattiaratchi (2001), variações sazonais devido à mudança na direção da corrente ao longo da costa modificam o ambiente litorâneo. A direção, o transporte de sedimentos e o ângulo de incidência das ondas são importantes na distribuição dos sedimentos da costa brasileira (Martin *et al.*, 1998). Além disso, outros fatores devem contribuir para o índice de erosão na área, tal como, mudanças no padrão relativo do nível do mar; bem como a falta de suprimento de sedimentos, já que a plataforma do nordeste brasileiro recebe sedimentos quase que exclusivamente do retrabalhamento *in situ*, de depósitos pretéritos, ou seja, relíquias (Vital *et al.*, 2005).

CONCLUSÕES

Os sedimentos das regiões da pós-praia e face da praia apresentaram uma predominância de areia média e fina respectivamente, com um alto percentual de grãos de quartzo, moderadamente selecionados, aproximadamente simétricos, mesocúrticos, subarredondados, brilhantes e com baixo teor de CaCO₃.

A distribuição do tamanho médio do grão, e a seleção dos sedimentos da plataforma continental, mostraram diferenças em suas características em relação ao ambiente das regiões da pós-praia e face da praia. O tamanho médio do grão mostrou uma variação de areia muito fina a muito grossa e de pobremente selecionados a bem selecionados. Os grãos de areia

muito fina e bem selecionada predominaram na região antes do *beachrock*. Depois do *beachrock*, os grãos variaram de areia grossa a muito grossa, e moderadamente selecionados.

A fração lama foi observada como mancha isolada antes da linha de *beachrock* submerso. Amostras de silte grosso e areia muito fina, com um conteúdo maior de lama, distribuídas ao longo da área, apresentam em média a fração silte em torno de 18.5% e a fração argila em torno de 16.6%. A fração argila é composta em sua maioria por caulinita, originada do feldspato no ambiente continental.

Os sedimentos da plataforma continental interna apresentaram uma maior variação de assimetria. Os valores aproximadamente simétricos ocorrem próximo ao ambiente praiial, e os demais valores, apresentaram sua maior ocorrência após a linha de *beachrock* submerso, com valores muito positivo e muito negativo. Há uma maior variedade nos valores de curtose, com uma maior ocorrência de valores extremos de curtose, muito platicúrtica e extremamente leptocúrtica.

Os componentes bioclásticos são compostos por foraminíferos, fragmentos de conchas, espinhos de equinodermos, gastrópodes, tubos de poliquetas. Entretanto estes estão em menor proporção na região da pós-praia. Na plataforma continental, os componentes biodetríticos, são formados por fragmentos de algas calcárias, halimedes, esponjas algas coralíneas, gastrópodes, foraminíferos e bivalvia.

Percebe-se claramente, a influência que a linha de *beachrock* submerso exerce sobre a transferência de sedimentos entre o ambiente praiial e a plataforma continental interna. Como também, a influência deste *beachrock* nos sedimentos que se encontram antes e após o mesmo. Isso demonstra que o ambiente em estudo, antes e após o *beachrock*, sendo este um divisor entre as características dos sedimentos. Portanto o ambiente não apresenta energia suficiente para transferência dos grãos mais grossos em direção a parte mais interna da plataforma, e também para o ambiente praiial. Provavelmente, isto significa que os sedimentos observados no ambiente praiial correspondam a sedimentos relíquias. Os sedimentos não apresentam uma grande variação nas suas características sedimentológicas de norte para sul, sendo sua variedade maior no sentido *offshore*.

Os perfis topobatimétricos apresentaram um comprimento médio de 4402 m, com uma profundidade média de 16 m. A altura máxima dos perfis no sentido *onshore* foi de 4.30 m e a profundidade máxima, na isobáta de 19 m. A morfologia é bastante irregular, com a presença de um canal entre a linha de *beachrocks* emerso durante a maré baixa e a linha de *beachrock* submerso. Esta segunda linha de *beachrock* aparentemente acompanha toda linha de costa. O

canal apresenta uma profundidade média de 6.40 m e uma largura média 437 m. O *beachrock* apresenta uma profundidade média 7.30 m, no início da base, no final o valor de 11.30 m, e uma largura média de 1285.50 m. Apesar da plataforma continental interna apresentar uma declividade suave em direção *offshore*, entre a linha de costa e o canal é observado uma grande declividade do relevo, entre o ambiente praial e esta feição.

O canal e o *beachrock* apresentam particularidades, quando comparado suas distancias em relação à linha de costa, no sentido de norte para sul. Estas feições se tornam mais largas à medida que se desloca para sul, principalmente na área onde se encontra a obra de contenção costeira, onde, provavelmente, há um grande déficit sedimentar.

A morfologia do *beachrock* apresenta vários trechos dissecados, o que indica que esta feição foi retrabalhada por processos erosivos durante um tempo muito longo, por processos hidrodinâmicos e geoquímicos, e também, estavam provavelmente acima do nível relativo do mar atual, e respondem por um período do nível do mar estabilizado durante a sua formação.

O ambiente praial também tem uma variação morfológica de norte para sul. Os perfis localizados mais ao norte apresentam ambientes mais desenvolvidos, e possuem uma inclinação mais suave. O setor B apresenta perfis mais convexos, enquanto o setor C, os perfis apresentam às menores extensões ao longo do seu arco praial, apresentando, porém um déficit de sedimentos.

AGRADECIMENTOS

A FACEPE-CAPES (Fundação de Amparo à Ciência e a Tecnologia do Estado de Pernambuco - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa de doutorado, e a todos do LABOGEO (Laboratório de Oceanografia Geológica), que contribuíram para a realização desta pesquisa. Ao professor Dr. Francisco Jaime Mendonça, ao professor Dr. César P. Rocha, o aluno de Mestrado em Engenharia Cartográfica, Flávio Antão, ao amigo e mestre Tiago Figueiredo, do LABOGEO, pela colaboração no levantamento topográfico. Ao professor Valdomiro S. Souza Junior e o doutorando Milton César C. Campos do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, da Universidade da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela ajuda na separação dos sedimentos finos. Ao Projeto MAI/FINEP pela batimetria e coleta de sedimentos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, T. C. M.; SEOANE, J. C. S.; COUTINHO, P. N., 2004. **Geomorfologia da Plataforma continental de Pernambuco**. In: Leça E. E., Neumann-Leitão, S. e Costa M.F. (Eds.) Oceanografia – Um cenário tropical, Recife, Ed. Bagaço, 39-57.
- COUTINHO; P. N.; MORAIS, J. O., 1970. **Distribucion de los sedimentos em la plataforma continental norte y nordeste del Brasil**. Arq. Ciências do Mar. 10 (1):79-90.
- COUTINHO, P. N.; KEMPF, M., 1972. **Plataforma continental do norte, nordeste e leste do Brasil: amostras de fundo coletadas pelo Noc Alte Saldanha em 1968**. Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia. 236-244.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 212p.
- DUANE, D., 1964. **Significance of skewness in recent sediments, western Pamlico Sound, North Carolina**. Journal of Sedimentary Petrology. 34(4):864-874.
- FRANÇA, M. C., COUTINHO, P. N.; SUMMERHAYES, C. P., 1976. **Sedimentos superficiais da margem continental nordeste brasileira**. Revista Brasileira de Geociências, 6:71-88.
- FERREIRA JR., 2009. **Mapeamento e estudo petrográficos de arenitos de praia: evidências de mudanças do nível do mar no Holoceno, na costa central de Pernambuco**. Exame de Qualificação, programa de Pós-Graduação em Geociências – Universidade Federal de Pernambuco. 85p.
- GREGÓRIO, M. N., ARAÚJO; T. M. C.; VALENÇA, L. M. M., 2004. **Variação sedimentar das praias do Pina e da Boa Viagem, Recife (PE) – Brasil**. Tropical Oceanography, 32(1):39-52.
- KEMPF, M., 1967/9. **A plataforma continental de Pernambuco (Brasil): nota preliminar sobre a natureza do fundo**. Trabalhos Oceanográficos – Universidade Federal de Pernambuco. 9/11:111-119.
- KEMPF, M.; COUTINHO, P. N.; MORAIS, J. O., 1967/9a. **Plataforma continental Norte e Nordeste do Brasil**. Trabalhos Oceanográficos – Universidade Federal de Pernambuco. 9/11:9-26.
- KEMPF, M., MABESOONE, J. N.; TINOCO, I. M., 1967/9b. **Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil): generalidades sobre o fundo**. Trabalhos Oceanográficos – Universidade Federal de Pernambuco. 9/11:125-149.

- KOWSMANN, R. O.; COSTA, M. P. A., 1976. **Estratigrafia sísmica do Platô de Pernambuco**. Revista Brasileira de Geociências. 6:95-101.
- LIMA SANTOS, R. C. A. **Estudos sedimentológicos e geoambiental no sistema Lagunar Mundaú - Alagoas**. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-Graduação em Geociências, Dissertação de Mestrado. Recife. 1998. 127p.
- LIRA, A. R. A., 1997. **Caracterização morfológica e vulnerabilidade do litoral entre as praias da Enseadinha e Maria Farinha, Paulista – PE**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Departamento de Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. 96p.
- LORING, G. H.; RANTALA, R. T. T., 1992. **Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter**. Earth Sei. 32:235-283.
- MABESOONE. J. M., 1968. **Sedimentologia**. Universidade Federal de Pernambuco – Recife, 473p.
- MABESOONE. J. M.; COUTINHO, P. N., 1970. **Littoral and shallow marine geology of northern and northeastern Brasil**. Trabalhos oceanográficos – Universidade Federal de Pernambuco. 12:1-214.
- MABESOONE. J. M.; KEMPF, M., COUTINHO, P. N., 1972. **Characterization of surface sediments on the northern and eastern brazilian shelf**. Trabalhos oceanográficos – Universidade Federal de Pernambuco. 13:41-48.
- MABESOONE. J. M.; ALHEIROS, M. M., 1998. **Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba**. Revista Brasileira de Geociências. 18 (4):476-482.
- MANSO, V. A. V. M.; VALENCA, L. M. M.; COUTINHO, P. N. GUERRA, N. C., 2004. **Sedimentologia da plataforma continental de Pernambuco**. In: LECA, E. E.; LEITAO, S. N.; COSTA, M. F., 2004. Oceanografia Um cenário tropical, Recife, Ed. Bagaço. 59-86.
- MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S., 1998. **Climatic control of coastal erosion during a sea-level fall episode**. An. Acad. Bras. Ciênc. 70: 249-266.
- MASSELINK, G.; PATTIARATCHI, C. B., 2001. **Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, western Australia**. Marine Geology, 172: 243-263.
- MICHELLI, M., 2002. **Mapeamento sonográfico de parte da plataforma continental sul de Pernambuco-Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia , Universidade Federal de Pernambuco. 78p

- MUEHE, D.; IGNARRA, S., 1984. **O arenito de praia de Itaipuaçu e sua influencia no fluxo de sedimentos**. Anais do I Simpósio de Geologia Regional. 57 – 69.
- MUEHE, D., 1996. **Geomorfologia costeira**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (eds) Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicação. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 253-306.
- MUEHE, D. O., 2001. Litoral Brasileiro e sua compartimentação. In: GUERRA, A. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro. 2 ed. Ed. Bertrand do Brasil, 2001. pp. 273 – 337
- PETTIJOHN, F. J., 1970. **Rocas sedimentary**. Editorial Universitária de Buenos Aires. Buenos Aires, 731p.
- PONZI, V. R., 1995. **Métodos de análises sedimentológicas de amostras marinhas. Representações de resultados através de gráficos e mapas**, UFPE. Instituto de Geociências, 35 p.
- ROCHA; C. P.; ARAÚJO, T. C. M.; MENDONÇA, F. J. B., 2008. **Aplicação de técnicas de posicionamento GPS tridimensional para localizar linhas de costa: estudo de caso na praia de Boa Viagem, Recife/PE, Brasil**. Gestão Costeira 8(2), 127-137.
- ROLLNIC, M. 2008. **Dinâmica das ondas e circulação no litoral da região metropolitana do Recife – implicações para o transporte de sedimentos e estabilidade da costa**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco. 124p.
- SCHOLLE, P. A., 1979. **Constituents, textures, cements, and porosities of sandstones and associate rocks**. U. S. Geological Survey, Published by The American Association of The American. Association of Petroleum Geologists Foundation. Tulsa, Oklahoma, U. S. A., 193 p.
- SUGUIO, K., 1973. **Introdução à sedimentologia**. Editora Edgard Blücher/EDUSP, São Paulo, 312 p.
- SUGUIO, K., 2003. **Geologia sedimentar**. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 400p
- VITAL, H.; ESTEVES, L. S.; ARAÚJO, T. C. M.; PATICHINEELAM, S. M., 2005. **Oceanografia geológica e geofísica da plataforma continental brasileira**. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E., 2005 (eds), Associação Brasileira do Quaternário - Quaternário do Brasil. Halos, Editora, Ribeirão Preto, 153-175.

CAPÍTULO 7 - FORMAÇÃO DOS *BEACHROCKS* NO LITORAL DA CIDADE DO RECIFE-PE

RESUMO

O *beachrock* é um indicador de mudança do nível relativo do mar. Os *beachrocks* são formados na região interdital, por rápida sedimentação da praia superior, e por evaporação da água do mar na região sedimentação interdital, durante a maré baixa, aumentando a concentração iônica, e conseqüentemente, a precipitação de CaCO_3 . *Beachrocks* são feições comuns no litoral pernambucano, principalmente em Recife. Este estudo teve como objetivo analisar a composição e o cimento das amostras dos *beachrocks* do litoral da cidade do Recife, bem como datações de fragmentos de conchas neles contidos. Para isso foram realizadas lâminas delgadas do topo e da base dos cinco pontos, e feitas datações através do método do ^{14}C , além de estudos sedimentológicos da praia e da plataforma continental interna. Os cimentos dos *beachrocks* são constituídos de HMC (High-Mg calcite), sendo do tipo micrita criptocristalino, franja de cristal isópaca de Mg calcita e Mg calcita esparítica. Os *beachrocks* são constituídos de areia fina a grossa, e seixos, com 80 a 90% de quartzo. Os componentes dos *beachrocks* apresentam semelhança com os sedimentos da plataforma continental interna. As idades da base e do topo das amostras são, para amostra 1, 6525-6067 cal anos AP; 3, 6025-5985 cal anos AP; 4, 5378-4482 cal anos AP. Na cidade do Recife (PE), as idades dos *beachrocks* refletem um nível relativo do mar mais alto do que o atual. Os *beachrocks* foram formados em ambiente marinho, durante o Holoceno Médio, e representam um nível relativo do mar mais alto do que o atual. Os *beachrocks* causam impactos diretos na evolução da costa, e sua associação com a retração da costa sugere que a maior parte da linha de costa está em retrogradação.

Palavras chaves: *Beachrocks*, datações, evolução da costa.

INTRODUÇÃO

Os *beachrocks* têm sido estudados intensamente em várias regiões do mundo. Como por exemplo: no Caribe, Russell e Rouge (1959); Russell e Rouge (1962); Mediterrâneo (Alexandersson, 1972); Logman (1980); Bahamas (Beier, 1985); Egito, El-Sayed (1998); Florida, Spurgeon (2003); Espanha, Calvet *et al.*, (2003).

Estudos dos *beachrocks* do Nordeste do Brasil foram realizados por: Mabeoone (1964), Morais (1967/9), Ferreira (1969), Mabeoone e Rolim (1973/4), Bigarella (1975), Oliveira (1978), Coutinho e Farias (1979), Assis (1990), Chaves (1996) Bezerra *et al.*, (1998), Chaves e Sial (1998), Chaves (2000), Bezerra *et al.* (2003), Barreto *et al.* (2004), Guerra e Manso (2004), Guerra *et al.* (2005), Barros *et al.* (2006), Vieira (2006), Barreto *et al.* (2008).

Os *beachrocks* são formados na região interdital, por rápida cimentação dos sedimentos da praia superior, e/ou por evaporação da água do mar na região interdital, durante a maré baixa, aumentando a concentração iônica e conseqüentemente a precipitação de CaCO_3 (Russell e Rouge, 1959; Stoddart e Cann, 1965; Scoffin e Stoddart, 1983). Em geral várias fases de diagêneses produzem diferentes cimentos (Scoffin e Stoddart, 1983; Neumeier, 1999; Kneale e Viles, 2000; Calvet *et al.*, 2003; Spurgeon 2003; Rey *et al.*, 2004). Mas também, o *beachrock* pode ocorrer na parte superior da zona subtidal (Alexanderson, El-Sayed, 1988; Spurgeon (2003) e inferior da zona supratidal. É comumente formado em poucos anos, sendo um importante indicador do nível do mar no passado (Russel, 1959; Spurgeon, 2003).

Alguns autores consideram os *beachrocks*, feições típicas das áreas tropicais e subtropicais, mas eles também podem ser encontrados em áreas de climas temperados (Calvet *et al.*, 2003; Rey *et al.*, 2004). Entretanto, as principais áreas de desenvolvimento dos *beachrocks* são as áreas tropicais e subtropicais, como por exemplo: Caribe (Russell e Rouge, 1959; Russell e Rouge, 1962); Egito (El-Sayed, 1988), Flórida (Spurgeon, 2003), Brasil (Morais, 1967/9). Na formação dos *beachrocks*, não é possível atribuir o tipo de cimentação a um processo específico (Alexanderson, 1972). Têm sido numerosas as hipóteses propostas para a cimentação. A maioria dos autores, aceita que a formação do cimento dos *beachrocks* está ligado aos processos físico-químicos, como a supersaturação do CaCO_3 através da precipitação, e a evaporação da água do mar (Alexanderson, 1972; Neumeier, 1999; Kneale e Viles, 2000; Rey *et al.*, 2004); a mistura da água doce e do mar; aos processos biológicos, criado por metabolismos microbial, e provavelmente vários processos intervêm na formação dos *beachrocks*, dependendo do contexto geológico (Alexanderson, 1972; Neumeier, 1999; Rey *et al.*, 2004).

A cimentação dos *beachrocks* também pode ser atribuída à percolação e à litificação em profundidade e as atividades metabólicas por algas e bactérias (Russell e Rouge, 1959; Alexandersson, 1972; Coutinho e Farias, 1979; Scoffin e Stoddart, 1983; Beier, 1985). Do ponto de vista geológico, o processo de litificação é rápido, na ordem de 10 a 15 anos, podendo ocorrer a presença de artefatos modernos (Russell e Rouge, 1959; Coutinho e Farias 1979; Scoffine e Stoddart, 1983; Beier, 1985; El-Sayed, 1988; James e Choquette, 1990). O *beachrock* é exposto, quando ocorre a retração da linha de costa (Russell e Rouge, 1959; Russell e Rouge, 1962; Stoddart e Cann, 1965; Coutinho e Farias, 1979; Semeniuk e Searle, 1987; Neumeier, 1999).

O *beachrock* é, em sua maioria, composto de fragmentos de conchas marinhas (moluscos, algas coralíneas, foraminíferos e equinóides) e detritos terrígenos, com quartzo e feldspato (El-Sayed, 1988). Segundo Dias, (1959), os *beachrocks* são corpos alongados paralelos a linha de costa, com 8 a 9 metros de comprimento e 2 a 4 m de largura, inclinados em direção ao mar. São comuns na costa do nordeste do Brasil. Um dos primeiros relatos aos *beachrocks* na cidade do Recife foi realizado pelo naturalista Charles Darwin, no ano de 1836. Os *beachrocks* da costa pernambucana (Chaves e Sial, 1998), apresentam superfície irregular com erosão diferencial e perfurações por organismos, tonalidade cinza e estratificação cruzada com baixo ângulo, e cimento carbonático (Barreto *et al.*, 2008). A estratificação cruzada é característica da parcial submersão da parte inferior da praia na maré baixa, e a estratificação paralela é relacionada à maré alta.

A determinação da idade dos *beachrocks* é importante, para a compreensão das praias, no tempo em que foram formados os *beachrocks* (Spurgeon, 2003), bem como, para a compreensão das condições físicas e químicas, que controlam a precipitação para interpretação do ambiente carbonato do *beachrock* (Meyers, 1987). Os *beachrocks* representam um estágio na evolução litorânea, onde em sua formação na praia ativa, teria ocorrido o recuo da linha de costa. A datação do ^{14}C é uma ferramenta fundamental na determinação de paleoníveis marinhos e na compreensão da evolução das barreiras do Pleistoceno superior e Holoceno (Angulo *et al.*, 2002). Na cidade do Recife (PE), os *beachrocks*, refletem um nível relativo do mar mais alto do que o atual, durante o Holoceno Médio (Barreto *et al.*, 2008). Os *beachrocks* servem como um excelente guia para a relação entre níveis da terra e o mar, e por se formarem rapidamente, é um indicador de mudança do nível do mar. Este estudo teve como objetivo analisar a composição e o cimento das amostras dos *beachrocks*, bem como datações dos mesmos e sedimentos do ambiente praiial e os da plataforma continental interna, a fim de obter uma relação entre os respectivos ambientes e a formação dos *beachrocks*.

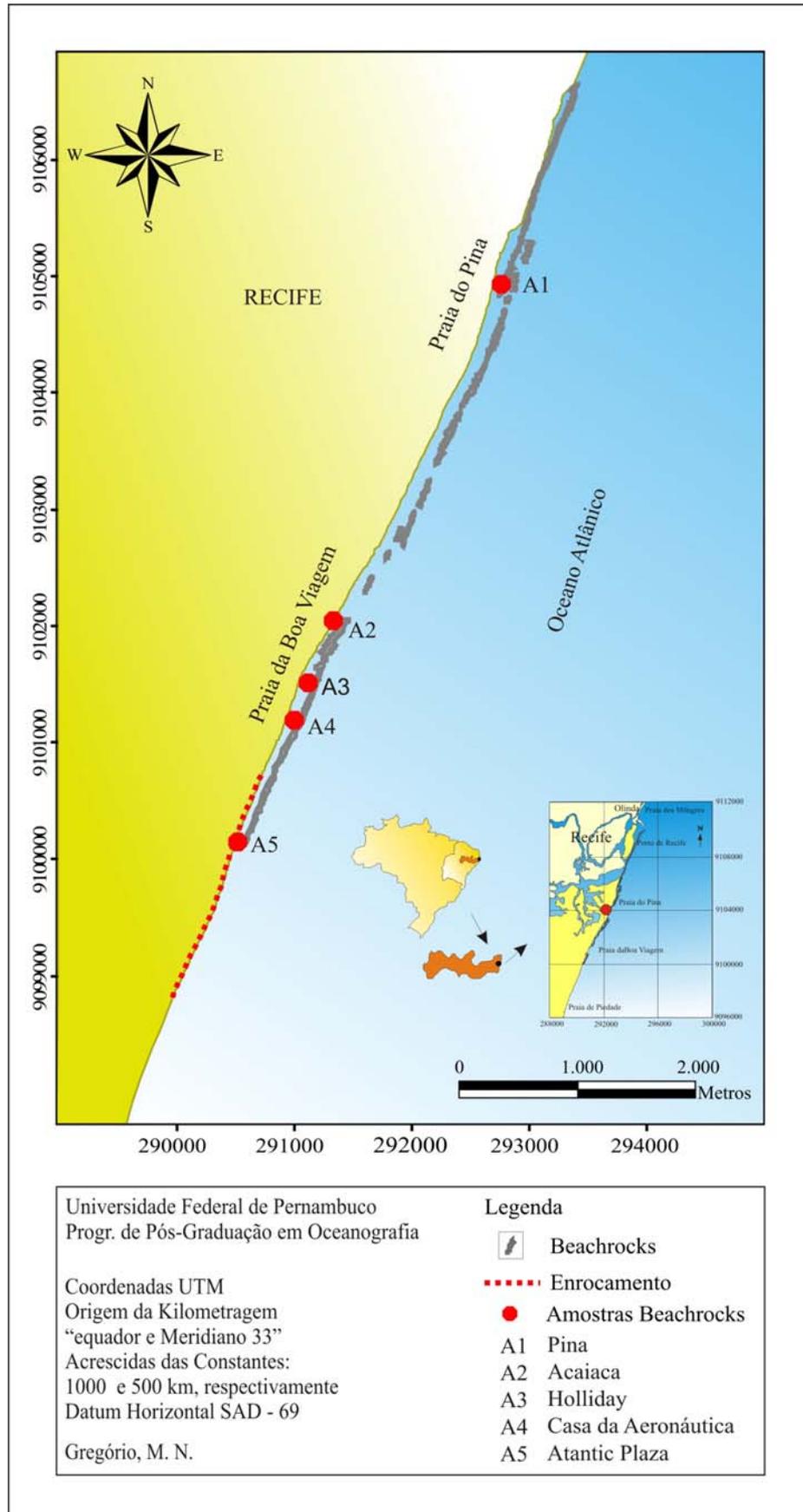


Figura 1 – Localização da área de estudo e pontos de coletas das amostras de beachrocks.

MÉTODOS

Foram coletadas amostras dos *beachrocks* emersos durante a maré baixa, nas praias do Pina e da Boa Viagem, totalizando 5 pontos de amostragens, distribuídos de norte para sul, conforme apresentado na Figura 1 e Tabela 1. O ponto de coleta da Amostra 1, se encontra localizado na praia do Pina; Amostra 2, na praia da Boa Viagem, próximo ao Ed. Acaiaca; o ponto 3, próximo ao Ed. Holliday; Amostra 4, em frente à casa da aeronáutica, na Avenida Boa Viagem, número 4224; a Amostra 5, próximo ao Hotel Atlantic Plaza. A posição da altura, das amostras foi ajustada ao nível médio do mar, utilizando-se da tábua de maré do DHN (Departamento de Hidrografia e Navegação), para o porto do Recife.

Foram realizadas coletas dos sedimentos, próximos aos pontos de coleta das amostras dos *beachrocks*, na face da praia, bem como na plataforma continental interna, para fins de comparação entre as características dos sedimentos destes ambientes e os componentes dos *beachrocks*. Os sedimentos foram trabalhados no LABOGEO (Laboratório de Oceanografia Geológica - UFPE).

Dos pontos de coletas das amostras dos *beachrocks*, foram confeccionadas 7 lâminas delgadas, no Geologisch-Paläontologisches Institut, da Christian-Albrechts-Universität zu Kiel - Alemanha. Das lâminas, foi analisado o cimento dos *beachrocks*, e as características sedimentológicas, através de um microscópio petrográfico, no mesmo instituto. Os resultados das análises das lâminas foram obtidos por método de comparação, segundo o Atlas of Sedimentary Rocks Under the Microscope (Adams *et al.*, 1984), Carbonate Sedimentology (Tucker e Wright, 1996), bem como da literatura citada no decorrer do trabalho. Foram ainda, utilizados os valores de calcita magnésiana ($MgCO_3$) e isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}C$) de trabalhos relacionados com a área, a fim de obter-se uma confirmação geoquímica para a formação do cimento.

Foram retiradas das amostras dos *beachrocks*, as conchas de moluscos, para determinar suas respectivas idades. Foram datadas as conchas, da base e do topo dos *beachrocks*, através do método ^{14}C , das seguintes amostras, 1 (Pina), 3 (Acaica), 4 (casa da aeronáutica). As idades foram determinadas através do método ^{14}C , usando o sistema AMS no Laboratório Leibniz da Universidade de Kiel, Alemanha. As amostras foram limpas com 30% de H_2O_2 , removidos a poeira e os detritos carbonáticos, bem como a matéria orgânica da superfície, e seca com H_2O . A segunda limpeza, com 15% H_2O_2 , o CO_2 foi liberado de cada amostra por mistura de 100% de ácido fosfórico a 90 °C.

A concentração do ^{14}C das amostras foi medida por comparação da coleta simultânea ^{14}C , ^{13}C , e ^{12}C de cada amostra, com o Acid Oxálico Padrão CO_2 e *pre-Eemian foraminifera*. A idade convencional do ^{14}C foi calculada de acordo com Stuiver and Polach (1997), e a correção do fracionamento de isótopo de $\delta^{13}\text{C}$ foi baseado na razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, medido por AMS-sistema. A calibração da idade foi realizada através do programa Calib 5.0.

BEACHROCKS

Composição e Cimento

A localização das amostras dos *beachrocks*, e suas respectivas alturas em relação ao nível médio do mar se encontram representados na Tabela 1. O *beachrock* localizado na praia do Pina (amostra 1), é constituído de 80% de grãos e 20% de cimento. Os grãos são constituídos por 90% de quartzo, 5% de feldspato e 5% de grãos bioclásticos. Os bioclásticos são compostos por fragmentos de conchas de bivalves, algas e fragmentos de ostras. Os grãos siliciclásticos são formados de areia fina a média, com 0.0253 mm e 0.4504 mm, para a base e topo respectivamente. Os grãos apresentam formas e tamanhos bem diferenciados, são moderadamente selecionados e variam de subangulosos a subarredondados na base do *beachrocks*. No topo, os grãos são bem selecionados e variam de subarredondados a arredondados. Ambas as camadas (topo e base) são formadas por grãos de baixa esfericidade. Em relação à maturidade mineralógica e textural, são considerados maduros.

Os tipos de cimentos encontrados são: 1) criptocristalino Mg calcita (criptocrystalline High-Mg Calcite - HMC) ou micrita. O cimento micrítico aparece em torno dos grãos ou preenchendo os poros. 2) microcristalino de Mg calcita (High-Mg calcite - HMC) – franjas de cristal isópaca em torno dos grãos. 3) mesocristalino Mg-calcita esparítica, aparece preenchendo o espaço entre os grãos de quartzo e bioclásticos. Porém, o cimento predominante é o criptocristalino, enquanto o cimento franja de cristal isópaca e Mg calcita esparítica, ocorrem em menor proporção. Em relação ao cimento, não foram constatadas diferenças entre o topo e a base do *beachrocks*. A variação observada no topo do *beachrock* se refere apenas ao arredondamento do grão. Enquanto na base varia de subarredondado a arredondado, no topo os grãos são subangulosos a subarredondados (Figuras 2 e 3).

Tabela 1 - Localização e altura das amostras dos *beachrocks*

Amostras	Localização	E	N	Altura das Amostras (m)
Amostra 1	Pina base	292731	9104920	0.1
Amostra 1	Pina topo	292731	9104920	0.89
Amostra 2	Acaica base	291375	9102033	-0.19
Amostra 2	Acaiaica topo	291375	9102033	0.83
Amostra 3	Holliday topo	291034	9101205	0.9
Amostra 4	Casa da Aeron. base	291032	9101157	-0.18
Amostra 4	Casa da Aeron. topo	291032	9101157	0.8
Amostra 5	Atlantic Plaza base	290536	9100131	-0.2
Amostra 5	Atlantic Plaza topo	290536	9100131	0.5

O *beachrock* localizado em frente ao Ed. Acaiaica (amostra 2) é constituído por 75% de grãos e 25% de cimento. Os grãos são formados por 90% de quartzo, 5% de feldspato e 5% de material bioclástico. Os grãos bioclásticos são formados por fragmentos de conchas de bivalves, algas vermelhas, e fragmentos braquiopódes. Os Grãos siliciclásticos são compostos de areia grossa, com um tamanho médio de 0.8131 mm para a base e 0.8598 mm para o topo, bem selecionados na base e moderadamente selecionados no topo. Em ambas as regiões, variaram de subangulosos a arredondados e são maduros mineralogicamente e texturalmente. O tipo de cimento corresponde aos mesmos observados na amostra anterior, cimento criptocristalino (HMC), na forma de micrita envelope em torno dos grãos e micrita preenchendo os poros; o microcristalino (HMC) - franja de cristal isópaca em torno dos grãos, e Mg calcita esparítica entre os grãos siliciclásticos e bioclásticos (Figuras 2 e 3).

O *beachrock* localizado próximo ao Ed. Holliday (amostra 3) é constituído por 75% de grãos e 25% de cimento. Os grãos são formados por 90% de quartzo, 5% de feldspato e 5% de bioclástico. O material bioclástico é formado por fragmentos de conchas de gastrópode, bivalves, algas vermelhas e braquiopódes. Os grãos siliciclásticos são constituídos de areia grossa, com o tamanho de 0.9945 mm. São pobremente selecionados, com baixa esfericidade e variaram de subangulosos a subarredondados. Quanto à maturidade mineralógica e textural, também são considerados maduros. O tipo de cimento segue à seqüência de: cimento criptocristalino (HMC) na forma de micrita envelope e micrita preenchendo os poros; cimento microcristalino (HMC) - franja de cristal isópaca em torno dos grãos e o cimento mesocristalino – Mg calcita esparítica, preenchendo o espaço entre os grãos de quartzo e bioclásticos (Figuras 2 e 3).

O *beachrock* localizado em frente à Casa da Aeronáutica (amostra 4) é constituído por 5% de grãos e 25% de cimento. Os grãos são constituídos por 85% de quartzo, 5% de feldspato, 5% de fragmentos de rochas e 5% de bioclástico. O material bioclástico é constituído por fragmentos de conchas de moluscos, bivalves e algas vermelhas. Os grãos siliciclásticos são constituídos por areia grossa, com um tamanho médio de 0.8716 mm para a base e 0.8034 mm para o topo. Os grãos siliciclásticos na base do *beachrocks*, são bem selecionados, com alta esfericidade, e variam de subarredondados a arredondados. Porém, o topo apresentou um material pobremente selecionado. Os grãos também são maduros texturalmente e mineralogicamente. O cimento observado é HMC, na forma de micrita envelope e micrita preenchendo os poros; cimento microcristalino (HMC) - franja de cristal isópaca em torno dos grãos; e o cimento mesocristalino - Mg calcita esparítica entre os grãos (Figuras 2 e 3).

O *beachrock* localizado em frente ao Ed. Atlantic Plaza, (amostra 5) é composto por 75% de grãos e 25% de cimento. Os grãos são constituídos por 85% de quartzo, 5% de fragmentos de rochas, 5% de feldspato e 5% de material bioclástico. O material bioclástico é formado por fragmentos de conchas de moluscos e algas calcárias. Os grãos siliciclásticos são constituídos por areia grossa, apresentando um tamanho médio de 0.7410 mm para a base, e 0.9262 mm para o topo. Os sedimentos também apresentam diferenças entre o topo e a base em relação ao selecionamento. Os grãos localizados na base são moderadamente selecionados, e na região do topo são bem selecionados. Em ambas as regiões, possuem alta esfericidade e variam de subarredondados a arredondados, com maturidade mineralógica e textural. O tipo de cimento observado é o criptocristalino (HMC), na forma de micrite envelope e micrite preenchendo os poros; cimento microcristalino (HMC) - franja de cristal isópaca em torno dos grãos, e o cimento mesocristalino - Mg calcita esparítica (Figuras 2 e 3).

Os *beachrocks* apresentaram, em geral, os grãos constituídos de areia média a grossa. Porém, se deve considerar, que os topos dos *beachrocks* localizados no Holliday (amostra 2) e em frente à casa da aeronáutica (amostra 4), além de apresentarem sedimentos com valores semelhantes aos demais tamanho médio do grão, apresentaram grãos de quartzos bem maiores do que os grãos observados nas demais amostras. Estes grãos variam entre 6.0667 e 9.6667 mm.

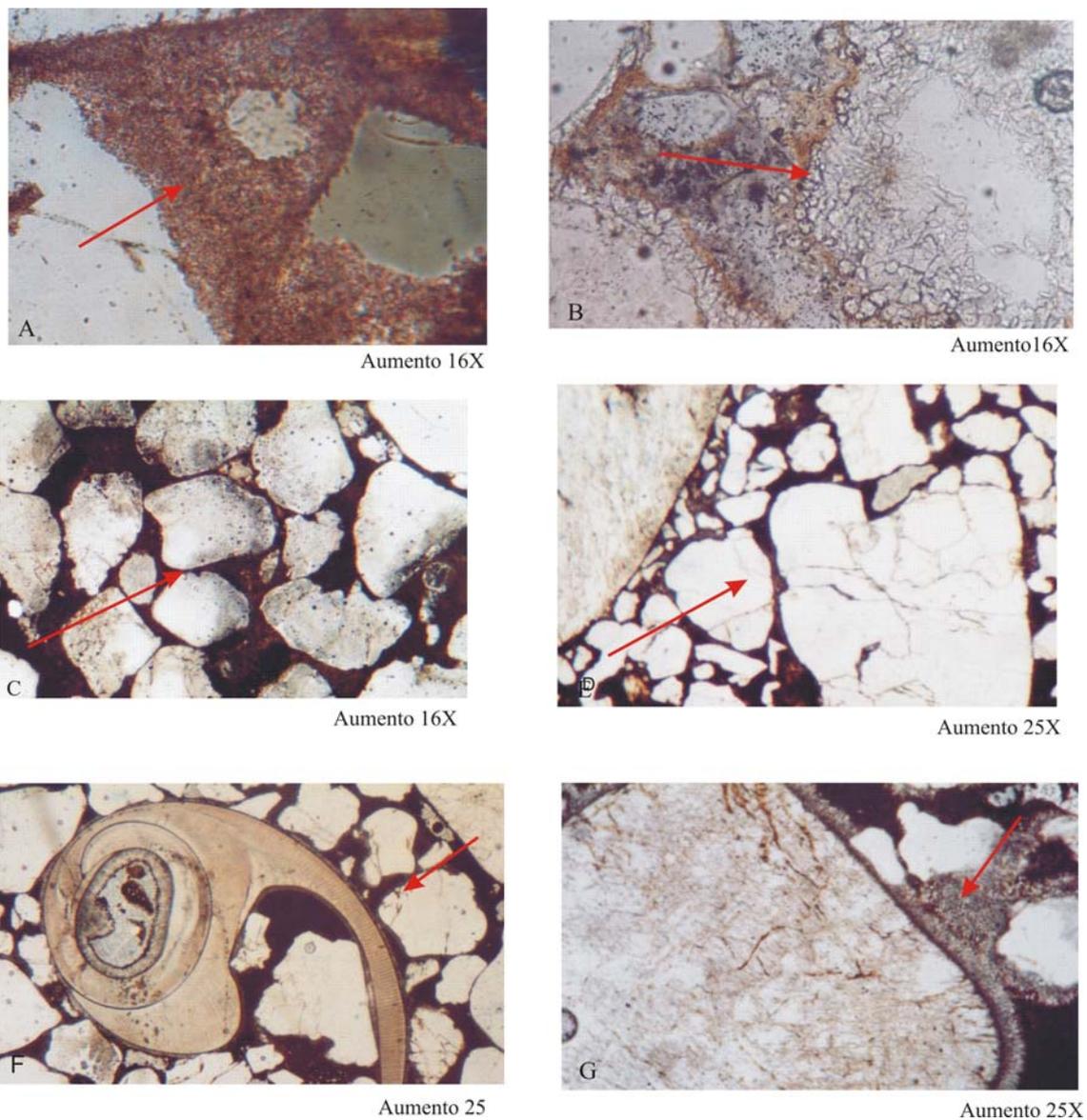
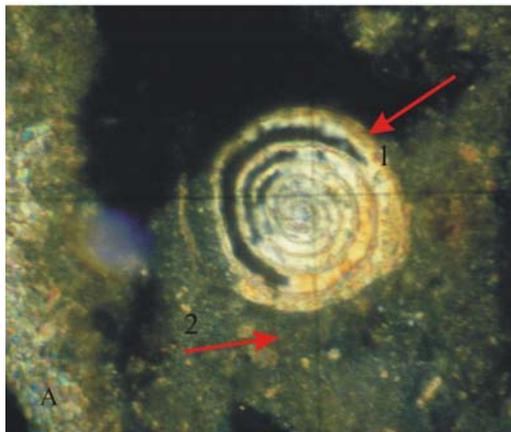
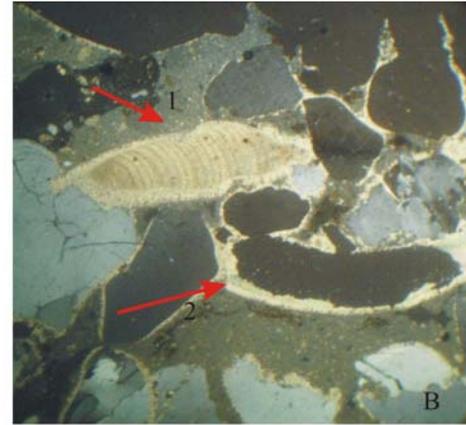


Figura 2 – A; 1 - cimento micrita, B: 1 – cimento Mg calcita esparítica em torno dos grãos de quartzo; C: 1 - grãos de quartzo subarredondados; D - grãos de quartzo maiores; E - grão bioclástico, e grãos de quartzo subangulosos; F - grão de quartzo com cimento micrita envelope e franja de cristal isópaca. G - grão de quartzo com cimento micrita envelope e franja de cristal isópaca.



Aumento 10X



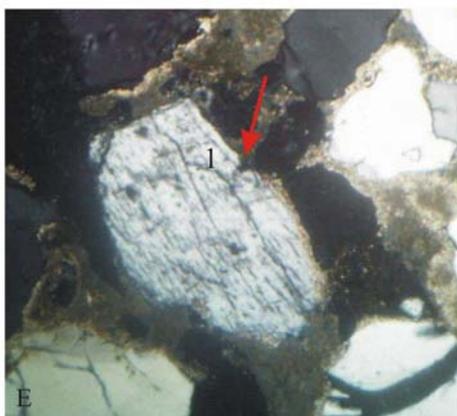
Aumento 10X



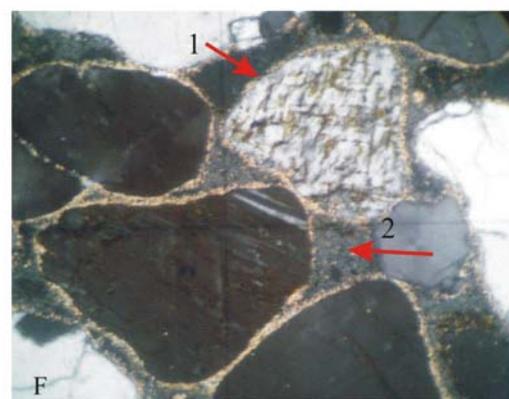
Aumento 10X



Aumento 10X



Aumento 10X



Aumento 10X

Figura 3 – A: 1 - foraminífero, 2 - cimento micrita; B: 1 - alga calcária, 2 - grão de quartzo, com franja de cristal isópaca; C: 1 - grão bioclástico e franja de cristal isópaca; D: 1 - grão de bioclástico e franja de cristal isópaca; E: 1 - fragmento de rocha, F: 1 - fragmento de feldspato, 2 - grão de quartzo e franja de cristal isópaca.

Teor de MgCO₃ mol% (calcita magnesiana) e δ¹³C PDB (isótopos estáveis de C)

Para uma confirmação geoquímica do ambiente, onde o cimento foi formado, utilizou-se de dados de outras pesquisas na área de estudo e do litoral de Pernambuco. Segundo Laporte (1996) e Lowe e Walker (1997), a composição isotópica dos sedimentos marinhos é de grande importância no estudo do Quaternário. O carbono ocorre na natureza na forma de ¹²C, ¹³C, ¹⁴C. A razão ¹³C/¹²C varia de acordo com o ambiente, sendo maior em plantas marinhas do que em terrestres e em conchas do mar do que na água doce. Isótopos de carbonos podem identificar se a sedimentação ocorreu em ambientes marinhos ou em água doce. Se a litificação é confirmada pela presença de fósseis marinhos, mas a relação isotópica não confere, pode-se concluir que os sedimentos foram expostos ao ar e percolado por água doce.

Resultados baseados em análises isotópicas tem sido uma importante ferramenta para avaliar algumas questões na história das rochas sedimentares, tais como idades e controles físico-químicos (Guerra e Manso, 2004). Em pesquisas anteriores, foram observados o teor de MgCO₃ mol% e δ¹³C, (Tabela 2), referente ao litoral da cidade do Recife, bem como para o litoral do estado de Pernambuco. Valores de MgCO₃ mol% e δ¹³C PDB foram observados por Suhayda *et al.*, (1997), na praia da Boa Viagem (Tabela 2), e estes variaram entre 15.6 a 20 MgCO₃ mol% e 3.36 a 3.62 respectivamente. Outros valores de MgCO₃ mol% e δ¹³C PDB, também foram observados para a costa de Pernambuco, como por exemplo, na praia de Piedade, localizada ao sul da cidade do Recife, com valor de 18 de MgCO₃ mol% (Coutinho e Farias, 1979). Assis (1990) encontrou valores entre 18 e 20 MgCO₃ mol%; +2.84 e +3.00 δ¹³C PDB) na praia de Serrambi, e Chaves e Sial (1998), nas praias do litoral norte e sul do estado, encontraram valores entre 18 e 20 MgCO₃ mol%; -1.35 e +3.52 δ¹³C PDB. Os dados geoquímicos citados acima, estão relacionados com a formação do cimento dos *beachrocks*, em ambiente marinho.

Tabela 2 - MgCO₃ mol% e δ¹³C da praia da Boa Viagem

Amostras	Praia	MgCO ₃ Mol%	δ ¹³ C PDB
RB-1-1*	Boa Viagem	18	3.36
RB-2-1*	Boa Viagem	20	3.35
RB-2-2*	Boa Viagem	15.9	3.01
RB-1-1*	Boa Viagem	16	3.6
BR-1-2*	Boa Viagem	15.6	3.62

*Suhayda *et al.*, (1997).

SEDIMENTOS

Para efeito de comparação entre as características dos sedimentos no ambiente de formação dos *beachrocks* e os ambientes atuais, foi realizada a coleta de sedimentos próximos aos pontos de coleta dos *beachrocks*, na face da praia, bem como utilizado os resultados dos sedimentos da face da praia e da plataforma continental interna, já citado no capítulo 6.

Os resultados das análises dos sedimentos, próximos aos pontos de coleta das amostras dos *beachrocks*, estão representados na Tabela 3. Os sedimentos são formados por grãos de areia fina, moderadamente selecionada (Tabela 3). O valor observado para os percentuais de quartzo, variou entre 46 e 84%, e para o teor de carbonato, entre 16 e 53%.

Os sedimentos coletados próximo a amostra 1 (praia do Pina) apresentou um menor valor na quantidade de quartzo. Os maiores valores na quantidade de quartzo foram observados nos pontos próximos ao Holliday (Amostra 3) e Casa da Aeronáutica (Amostra 4). Os maiores valores no teor de carbonato foram observados na praia do Pina e no ponto próximo ao Ed. Atlantic Plaza (Amostra 5). Os sedimentos bioclásticos são representados por espinho de equinodermo, foraminíferos, fragmentos de conchas de bivalves, gastrópodes, algas calcárias. Quanto aos grãos de quartzo, variaram de subarredondados a arredondados, e são moderadamente selecionados.

Tabela 3 - Localização e composição dos sedimentos nos ambientes, próximos aos *beachrocks*.

Amostras	Pina	Acaica	Holliday	Casa da Aeron.	Atlantic Plaza
E	292731	291375	291034	291032	290536
N	9104920	9102033	9101205	9101157	9100131
Média	Areia Fina	Areia Fina	Areia Fina	Areia Fina	Areia Fina
Seleção	Mod. Selec.	Mod. Selec.	Mod. Selec.	Mod. Selec.	Mod. Selec.
Assimetria	Muito Negativa	Negativa	Aprox. Sim.	Aprox. Sim.	Aprox. Sim.
Curtose	Leptocúrtica	Leptocúrtica	Mesocúrtica	Mesocúrtica	Mesocúrtica
Quartzo %	46.6	80.7	81.3	84	69.6
Carbono %	53.40	19.30	18.70	16	30.40

Na face da praia, os sedimentos predominantes foram de grãos de areia fina, moderadamente selecionados e subarredondados. Os grãos bioclásticos são formados por foraminíferos, fragmentos de conchas, espinhos de equinodermos, algas calcárias, gastrópodes

e tubos de poliquetas. Quanto ao teor de carbonato variou entre 8.2 e 58.9%, e para o quartzo entre 41 e 91.8%.

Na plataforma continental interna, mais próxima ao ambiente praiial, predominaram os sedimentos de areia muito fina. Na região mais externa da plataforma continental interna predominaram os sedimentos constituídos de areia grossa, e também cascalhos. Entre os sedimentos de areia muito fina e areia grossa, existe a presença de uma linha de *beachrocks*, totalmente submersa. Nos sedimentos da plataforma continental interna, a predominância dos grãos de quartzo foi de subarredondados e moderadamente selecionados. Os grãos bioclásticos são formados por algas calcárias, halimeda, algas coralíneas, gastrópodes e foraminíferos. Sendo, porém, observado uma maior quantidade de grãos formados por bioclásticos, na plataforma continental interna. O valor do teor de carbonato variou entre 5.9% a 97.2% e a quantidade de quartzo entre 36 a 94.1%.

IDADE DOS *BEACHROCKS*

Do total das amostras coletadas foram datadas, através do método ^{14}C , as conchas de moluscos do topo e da base das amostras 1, 2 e 4. Os resultados se encontram na Tabela 4, bem como os resultados observados por outros pesquisadores na área de estudo.

A idade observada para a amostra 1, foi de 6525 cal anos AP para base, e para o topo o valor de 6067 cal anos AP. Para a amostra 2, a base do *beachrock* apresentou uma idade de 6025 cal anos AP, e a idade do topo foi de 5985 cal anos AP. Na amostra 4, a base tem uma idade de 5378 cal anos AP, e o topo 4482 cal anos AP.

As idades observadas neste estudo mostram uma variação de norte para sul. As idades localizadas mais ao sul da área se apresentam com idades mais jovens do que os valores observados nas amostras localizadas ao norte. O *beachrock* da praia do Pina (amostra 1) apresentou uma taxa de crescimento, de 0.17 cm/ano, o *beachrock* localizado em frente ao Acaica (amostra 2) de 0.16 cm/ano, e o *beachrock* localizado em frente à Casa da Aeronáutica (amostra 4), 0.069 cm/ano. Portanto, o *beachrock* mais ao sul (amostra 4), apresentou a menor taxa de crescimento, bem como a menor idade.

Datações foram realizadas no litoral do Recife por Delíbricas e Laborel (1971) em amostras de corais, e as idades variaram entre 1830 e 3100 anos AP. Também foram

realizadas datações em conchas de moluscos por Barreto *et al.*, (2008), nas praias do Pina e da Boa Viagem, com idades respectivas de 7310 e 5805 cal anos AP.

Tabela 4 - Idades das amostras dos *beachrocks* das praias do Pina e da Boa Viagem

Amostras	Localização	Referência	Origem	14C anos AP	Natureza	Mínimo	Máximo	Idade
Amostra 1	Pina Base	KIA 35910	marinha	6135	conc. de molusco	6450 cal anos AP	6600 cal anos AP	6525 cal anos AP
Amostra 1	Pina Topo	KIA 35909	marinha	5700	conc. de molusco	5996 cal anos AP	6138 cal anos AP	6067 cal anos AP
Amostra 3	Acaica Base	KIA 34528	marinha	5660	conc. de molusco	5995 cal anos AP	6095 cal anos AP	6025 cal anos AP
Amostra 3	Acaica Topo	KIA 34529	marinha	5630	conc. de molusco	5925 cal anos AP	6045 cal anos AP	5985 cal anos AP
Amostra 4	C. da Aeron. Base	KIA 38532	marinha	4685	conc. de molusco	5306 cal anos AP	5450 cal anos AP	5378 cal anos AP
Amostra 4	C. da Aeron. Topo	KIA 38533	marinha	4030	conc. de molusco	4391 cal anos AP	4573 cal anos AP	4482 cal anos AP
	Recife*	Gif 1066	marinha	1830	coral	1720 anos AP	1940 anos AP	1830 anos AP
	Recife*	Gif 1062	marinha	3100	coral	2980 anos AP	3220 anos AP	3100 anos AP
	Pina**		marinha		conc. de molusco	7205 cal anos AP	7415 cal anos AP	7310 cal anos AP
	Boa Viagem**		marinha		conc. de molusco	5710 cal anos AP	5900 cal anos AP	5805 cal anos AP

*Delibrias e Laborel (1971).

**Barreto *et al.*, (2008).

Outras datações foram realizadas por Dominguez *et al.*, (1990), para o litoral de Pernambuco, como por exemplo, em conchas dos bancos de arenito, com idade entre 6200 e 1190 anos AP, em corais entre 5170 e 1830, alga calcária com idade de 4750 anos AP e em vermitídeos com idades entre 3870 e 200 anos AP. Na praia de Gaibu a idade constatada em concha foi de 1190 anos AP e em vermitídeos entre 3660 e 2790 anos AP.

DISCUSSÃO

Nesse estudo, os tipos de cimento observados nos *beachrocks* foram: o cimento criptocristalino (HMC - High-Mg calcita ou Mg calcita), na forma de micrite envelope e micrite preenchendo os poros; o cimento microcristalino de Mg calcita (HMC) em forma de franja de cristal isopácas em torno dos grãos, e o cimento mesocristalino Mg calcita esparítica. Resultados semelhantes ao cimento criptocristalino foi observado em Maui, Havaí, por Meyers (1987), onde o autor se refere que a “*High-Magnesium cryptocristalinne calcite*”, tem sido denominadas, por diversos autores como cimento micrítico. O cimento micrítico, indica uma rápida circulação intersticial durante o crescimento da micrita e a franja sugere que a solução foi mais homogênea e lenta (Alexandersson, 1972).

Em relação ao cimento variou entre 25% e 30% da composição dos mesmos O cimento mais comum é o micrítico, na forma de micrita envelope e micrita preenchendo os

poros, podendo aparecer alternado com franja de cristal isópaca em torno dos grãos. O cimento micrítico e o cimento esparítico, aparecem preenchendo os espaços entre os grãos, correspondendo à última geração de cimento.

O cimento esparítico foi observado na costa do estado do Rio Grande do Norte, por Vieira e De Ros (2006). E, segundo este autor, os cimentos observados, corresponde ao cimento carbonático, composto exclusivamente de calcita magnesiana (HMC), formado por: cimento criptocristalino, franja de cristal isópaca e o cimento esparítico. Na costa do mesmo estado, foi observado por Bezerra *et al.*, (1998), como primeiro cimento a aragonita circular, formada no ambiente marinho, e esta têm sido substituída por calcita (LMC, *Low-Mg calcite*). Segundo Bezerra *et al.*, (1998), esta foi formada em ambiente de água meteórica, indicando emergência da costa e a aragonita, implica em submergência. Segundo Longman (1980), o cimento esparítico, de HMC, indica que a precipitação ocorreu predominantemente no ambiente marinho.

Estudos realizados nos *beachrocks* da costa de Pernambuco por Chaves e Sial (1998), mostrou que o cimento corresponde a 30% do total da composição dos *beachrocks*. E segundo os autores, foi constatada a presença de calcita magnesiana em torno dos grãos bioclásticos e de quartzos, e o cimento criptocristalino calcita magnesiana preenchendo os poros. Além do cimento Mg calcita, o cimento aragonita foi observado na praia de Piedade, por Coutinho e Farias (1979), Chaves e Sial (1998); e na praia de Serrambi, por Assis (1990), bem como, na praia da Ilha de Itamaracá (Guerra *et al.*, 2005). A ação de microorganismos na formação de micrite (HMC) tem sido registrada por vários autores, como resultado da atividade microbiana (Russell e Rouge, 1959; Alexandersson, 1972; Longman, 1980; Font e Calvet, 1997; James e Choquette, 1990; Calvet *et al.*, 2003). As bactérias são capazes de influenciar a precipitação do carbonato de cálcio, formando cristais de calcita, ricos em HMC (Chafetz, 1986).

O material da praia de Piedade, estudado por Coutinho e Farias (1979), foi coletado na primeira linha de *beachrocks* da zona interdital, na segunda linha na zona infratidal e na linha de *beachrocks*, encontrada sob os cordões litorâneos da restinga de Candeias. As análises de raios X revelaram que a primeira linha de *beachrocks* é formada por 40 a 50% de aragonita, e 60% de calcita magenesiana, com 18 de $MgCO_3$ mol %. Os *beachrocks* de segunda linha apresentaram o cimento calcita, com apenas 3 de $MgCO_3$ mol %, e ausência de aragonita. Esta mesma composição foi observada nos sedimentos dos recifes, sob a restinga de Candeias. Segundo os autores, os sedimentos de fundo são compostos por algas, moluscos e corais, cujos esqueletos são formados de aragonita e também por algas coralíneas, foraminíferos, e equinodermos, com esqueletos ricos em calcita magnesiana. A uniformidade da natureza dos

sedimentos, de fundo, é caracterizado pela presença de calcita altamente magnesianas e de aragonita. Já os recifes das zonas infratidal e supratidal, apresentam a mesma composição, e se distinguem pela ausência de aragonita, e pela pequena quantidade de calcita magnesiânica (HMC).

Ao longo da costa de Pernambuco, foram observados por Assis (1990), na praia de Serrambi (sul do estado) e por Chaves e Sial (1998), nas praias ao norte (Jaguaribe, Pau Amarelo, Rio Doce, Casa Caída), ao sul do estado (Tamandaré, Gaibu, Paiva), e na praia de Piedade, localizada ao sul da cidade do Recife, valores entre 18 e 20 de MgCO_3 mol%. Suhayda *et al.*, (1997) constatou valores de MgCO_3 mol%, entre 15.5 e 20, para a praia de Boa Viagem.

Segundo Guerra e Manso (2004), valores observados de $\delta^{13}\text{C}$ no litoral da cidade do Recife, se apresentaram mais positivos ao sul do litoral desta cidade, do que os valores observados no litoral norte. Indicando assim, que a origem do carbonato observado nos sedimentos dos *beachrocks* do litoral Recife, foi predominantemente marinha. Estudos realizados por Mabesoone (1964), nos *beachrocks* no litoral de Pernambuco (entre a cidade do Recife e Olinda), sugerem que os sedimentos dos *beachrocks* foram de origem marinha, no sentido *offshore*. Em Salvador (Bahia), Ferreira (1969), também sugere que a cimentação do carbonato de cálcio, ocorreu também à partir da água do mar, portanto em ambiente marinho.

Os sedimentos observados na face da praia, neste estudo, se assemelham aos observados na região mais interna da plataforma continental interna, principalmente em relação ao tamanho do grão, com uma variação de areia muito fina a fina. Já os sedimentos observados na região mais externa da plataforma continental interna, interagem melhor com os constituintes observados nos *beachrocks*. Os sedimentos coletados próximos aos *beachrocks*, também apresentaram semelhança aos sedimentos observados na região mais interna da plataforma e face da praia (areia muito fina a fina). Em relação ao selecionamento, nos ambientes estudados, predominam grãos moderadamente selecionados e subarredondados.

Os valores do teor de carbonato variaram entre 5.9 e 97.2% para a plataforma, mas para os pontos coletados próximos aos *beachrocks*, os valores ficaram entre 16 e 53%. Na face da praia, os valores no teor de carbonato se apresentaram maior, do que os pontos próximos aos *beachrocks*, com valores entre 8.2 e 58.9%.

As datações são necessárias para confirmar a idade da litificação dos *beachrocks*. As datações das conchas de moluscos contidas nos *beachrocks* deste estudo, apresentaram idades nos valores de 5985 a 6525 cal anos AP, para amostras localizadas na base dos *beachrocks*.

Para o topo, as idades variaram entre 4482 e 6067 cal anos AP. Datações realizadas para o litoral da cidade do Recife, por outros estudos, como por exemplo: amostras de corais, as idades variaram entre 1830 - 3100 AP (Delibrias e Laborel, 1971); conchas de moluscos, entre 5805 - 7310 AP (Barreto *et al.*, 2008). Datações realizadas por Dominguez *et al.*, (1990), em conchas dos bancos de arenitos, forneceram idades entre 4830 e 6200 anos AP.

As datações de radiocarbono citadas acima indicam que os *beachrocks* foram formados durante o Holoceno Médio e Inferior. Idades semelhantes foram encontradas em outros estudos, como por exemplo: Spurgeon (2003) na Flórida, entre 4300 a 1880 anos AP. Nos *beachrocks* da costa do Rio Grande do Norte, por Oliveira *et al.*, (1990) entre 4830-6490 cal. a AP, e Silva (1991), entre 2350 a 6780 cal anos AP. As idades observadas por Bezerra *et al.*, (1998) variaram entre o Holoceno Inferior e o Holoceno Médio: (3430-3930 cal. a AP, e 4070-7070 cal. anos AP). Idades mais recentes foram observadas por Barreto *et al.*, (2004) entre 530-970 cal AP. Segundo Dominguez *et al.*,(1990), idades de amostras lagunares do estado de Pernambuco apresentaram idades próximas ao Máximo da Última Transgressão, por volta de 5200 anos AP, e indicam níveis marinhos superiores a 2.5 m.

As seqüências nas camadas sedimentares são depósitos preferencialmente ocorridos durante a estabilidade ou redução na subida do nível do mar (Dominguez *et al.*, 1992). Estes mesmos autores observaram que a acumulação de sedimentos na costa do nordeste do Brasil, não tem sido continua durante o Quaternário, mas foi interrompida por aumento do nível do mar, associado ao último episódio de deglaciação. As curvas do nível relativo do mar, realizadas na costa do nordeste do Brasil, demonstra que a descida do mar não foi regular, mas interrompida por freqüentes oscilações.

Tem-se constado que as oscilações do nível marinho foram de fundamental importância, na evolução das planícies costeiras brasileiras (Sugio *et al.*, 1985). Os depósitos arenosos Quaternários de origem marinha, situados acima da zona atual de deposição, são evidências de antigos níveis marinhos mais alto do que o atual, bem como, os afloramentos de *beachrocks*. O nível marinho mais alto do Quaternário, ao longo do litoral brasileiro foi evidenciado, no litoral da Bahia e de Sergipe (123.000 anos AP), conhecido como Transgressão Antiga e Transgressão Cananéia no estado de São Paulo (Bittencourt *et al.*, 1979; Sugio *et al.*, 1988; Martin *et al.*, 1996, Martin, 2003). O nível do mar alto, mais recente, é bem conhecido em função de reconstruções antigas, na posição do nível relativo do mar no tempo e no espaço, e este decorreu nos últimos 5500 anos AP (Martin, 2003).

As primeiras referências do o nível do mar no Brasil ocorreram há mais de cem anos, como o de Hartt em 1870, o de Branner em 1902, Delibrias e Laborel em 1969, foram os

primeiros a antecipar as diferenças regionais (Angulo et al., 2006). Segundo estes autores, ao longo da costa brasileira existem mais de 100 publicações sobre o nível do mar no Holoceno, entretanto há vários pontos de vista sobre a história do nível relativo do mar, e estes são contestáveis. Diferentes taxas de descida do nível do mar no Holoceno tardio com taxas de subida nos últimos 200 anos tem sido importante para a compreensão da evolução da linha de costa e transferência de sedimentos da plataforma interna em direção a linha de costa (Angulo et al., 2006)

Muitos indicadores de paleoníveis divergem em suas interpretações, durante os últimos 7000 mil anos. Estes estudos incluem diferentes posições e a presença ou ausência de oscilações de subida do nível do mar, é necessário em curvas do nível do mar, a compreensão e a avaliação da costa e dos processos oceânicos, tal como a taxa de sedimentação, o volume do transporte, e erosão e progradação da costa.

A exposição dos *beachrocks* e a evolução da costa estão associadas com o processo de retração da costa (Russell e Rouge, 1959 e 1962; Stoddart e Cann, 1965; Alexandersson, 1972). O mergulho apresentado nos *beachrocks*, na direção *offshore*, e em forma de uma série de camadas, provavelmente representa repetidas cimentações durante a subida do nível do mar (Alexandersson, 1972). A associação dos *beachrocks* com a retração da costa, sugere que a maior parte da linha de costa está recuando para o interior do continente (Russell e Rouge, 1959). Nas Ilhas de La Palma (Espanha), Calvet et al., (2003) observaram que em grande parte, os perfis de praia têm sido erodidos devido à retrogradação, e os *beachrocks* podem ser completamente erodidos por este processo. A semelhança entre as posições dos *beachrocks* no Nordeste, em relação ao nível do mar, indica uma origem de caráter geral, de igual época, e sua exposição à posição atual, por um movimento de transgressão do mar (Ferreira, 1969).

Segundo Cooper (1991), a formação dos *beachrocks* causa impactos diretos na evolução da costa, estes incluindo a redução do volume de sedimentos, mudança na morfologia da costa e mudança na preservação das fácies na linha de costa. Em áreas carbonáticas, o impacto do *beachrocks* pode ser reduzido, se o próprio *beachrock* for quimicamente intemperizado e um novo material produzido, for livre da incorporação de invertebrados e plantas. O impacto da redução no suprimento de sedimentos, a *longshore*, pela contínua formação de *beachrocks*, dá origem ao crescimento da erosão na futura linha de costa. Para Cooper (1991), a formação dos *beachrocks* tem sido muito importante na evolução da costa, mas a maioria dos trabalhos encontrados na literatura internacional sobre os impactos destas feições tem sido centrada nas regiões temperadas.

A presença dos *beachrocks* afeta a morfodinâmica, por obstruir o perfil da praia, modifica a hidrodinâmica em direção à praia, e causa mudança nas características de porosidade da praia. Assim, causa aumento na energia das ondas, causa uma erosão diferencial nas margens dos afloramentos dos *beachrocks*, e pode alterar o transporte transversal dos sedimentos. Os efeitos anteriormente citados, a longo prazo, podem causar perdas ou redução no suprimento de sedimentos a *longshore*. Entretanto, os *beachrocks* relíquias (submersos), têm sido apresentados como mitigador da erosão na praia, por dissipar a energia das ondas sobre a linha de costa atual (Voudoukas *et al.*, 2007). A erosão marinha afeta o valor econômico das praias, e a formação dos *beachrocks* é um fenômeno comum nas praias das regiões tropicais, onde também, é maior o destino dos turistas, portanto esta região requer uma urgente atenção no seu desenvolvimento costeiro (Voudoukas *et al.*, 2008).

CONCLUSÕES

Os cimentos observados nos *beachrocks* do litoral da cidade do Recife são constituídos de Mg calcita (High-Magnesium cryptocrystalline - HMC), na forma de cimento micrítico em torno dos grãos, e micrite preenchendo os poros entre os grãos de quartzo e bioclásticos. O cimento franja de cristal isópaca (Mg calcita) aparece alternado com o cimento micrítico envelope. O cimento Mg calcita esparítica aparece preenchendo os espaços entre os grãos de quartzo e bioclásticos, correspondendo à última geração de cimento. O cimento micrítico, segundo a literatura, foi gerado por influência da ação das bactérias e corresponde a maior parte do cimento.

Dados de MgCO₃ mol% e $\delta^{13}\text{C}$ PDB de outras pesquisas no ambiente em estudo e para o litoral de Pernambuco, confirmam a presença do cimento ser originado da HMC (High-Mg calcita ou Mg calcita), a partir do ambiente marinho. Portanto, os *beachrocks* estudados foram formados no ambiente marinho.

Os *beachrocks* do litoral da cidade do Recife, em geral, são constituídos de areia fina a grossa, e seixos, sendo areia fina encontrada apenas, no *beachrock* localizado na praia do Pina (parte norte). Foram observados grãos bem maiores nos *beachrocks* localizados próximos ao Ed. Holliday e em frente à Casa da Aeronáutica (parte central e sul). O quartzo corresponde à maior parte dos sedimentos siliciclásticos, representando, em média, 80 a 90% dos componentes. Em menor quantidade os grãos de fragmentos de rochas, feldspato e

bioclásticos. Entre os grãos de quartzos, predominam grãos subarredondados e moderadamente selecionados. As características dos grãos constituintes dos *beachrocks* apresentaram as mesmas características dos sedimentos encontrados no ambiente da plataforma continental interna, após o *beachrock*. O que também é confirmado por outros estudos dos sedimentos realizados na área.

Os *beachrocks* do litoral do Recife apresentaram características semelhantes aos *beachrocks* encontrados em Salvador, no litoral de Pernambuco e na costa do Rio Grande do Norte. As idades determinadas por método ^{14}C variaram entre 4482 - 6652 cal AP, o que confirma sua formação durante o Holoceno Médio, e representam um nível relativo do mar mais alto do que o atual.

A formação dos *beachrocks* causa impactos diretos na evolução da costa. Estes incluem redução do volume de sedimentos e mudança na morfologia da costa, como também uma erosão diferencial, alterando o transporte transversal e longitudinal dos sedimentos, que, a longo prazo, podem reduzir o suprimento de sedimentos a *longshore*. Vários estudos confirmam que a exposição dos *beachrocks* está associada ao processo de retração da costa, e que esta exposição, sugere que a maior parte da linha de costa está em retração.

AGRADECIMENTOS

A CAPES-DAAD (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Deutcher Akademischer Austausch Dienst German Academic Exchange Service), pela bolsa Sanduíche na Alemanha. Ao professor Dr. Karl Stattegger, pelo aceite da minha estadia durante a bolsa sanduíche CAPES-DAAD do Geologisch-Paläontologisches Institut, da Christian-Albrechts-Universität zu Kiel – Alemanha, Dr. Maximiliano Michelli, pela colaboração na identificação dos cimentos. Ao doutorando Antônio Vicente, do Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, pela colaboração nos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, A. E.; MACKENZIE, W. S.; GUILFORD, C., 1984. **Atlas of Sedimentary rocks under the microscope**. Longman Group Limited. 180p.
- ANGULO, R. J.; PESSEDA, L. C. R.; SOUZA, M. C., 2002. **O significado das datações ao 14c na reconstrução de paleoníveis marinhos e na evolução das barreiras quaternárias do litoral Paranaense**. Revista Brasileira de Geociências. **32**:95-106.
- ANGULO, R. J.; LESSA, G. C.; SOUZA, M. C., 2006. **A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline**. Quaternary Science Reviews, **25**: 486–506.
- ALEXANDERSSON, T., 1972. **Mediterranean beachrock cementation: marine precipitation of Mg-calcite**. In: Stanley, D.J. The Mediterranean Sea: A Natural Sedimentation Laboratory. Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, PA, 203 - 223.
- ASSIS, H. M. B., 1990. **Estudos dos Beach rocks do litoral sul de Pernambuco base em evidências petrográficas e isotópicas**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 91p.
- BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. BEZERRA, F. H. R.; TATUMI, S. H.; YEE, M. GIANNINI, P. C. 2004. **Geologia e geomorfologia do Quaternário costeiro do estado do Rio Grande do Norte**. Revista do Instituto de Geociências – USP. **4**: 1 - 12.
- BARRETO, A. M. F.; ASSIS, H. M.B.; ALMEIDA, J. A. C.; BEZERRA, F. H. R.; SUGUIO, K., 2008. **Arrecifes, caminhos do mar de Recife: importante patrimônio geológico e histórico em praias urbanas do Nordeste brasileiro**. Memórias e Notícias, **3** – Publ. do Dep.Cien. Terra e do Mus. Mineral. Geol. Univ. Coimbra. 411 - 416.
- BARROS, S. D. S.; SIAL, A. N. CUNHA, L. S., 2006. **Carbon and oxygen isotope composition of carbonate cements of beachrocks at the Lagoinha and Uruau beaches, state of Ceará, Northeastern Brazil**. IV South American Symposium, Isotope Geology. 38 - 40.
- BEIER, J. A., 1985. **Diagêneses of Quaternary Bahamian beachrock: petrographic and isotopic evidence**. Journal of Sedimentary Petrology. **55**(5): 755 - 761.
- BIGARELLA, J. J., 1975. **Reef Sandstones from northeastern Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências. **47**: 394 - 409.
- BEZERRA, F. H. R.; LIMA-FILHO, F. P.; AMARAL, R. F.; CALDAS, L. H. O.; COSTA-NETO, L. X., 1998. **Holocene coastal tectonics in NE Brazil**. Coastal Tectonics. Geological Society. **146**: 279 - 293.

- BEZERRA, F. H. R.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K., 2003. **Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte state coast, Brazil**. *Marine Geology*. 196: 73 - 79.
- BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L.; VILAS BOAS, G. S.; FLEXOR, J. M., 1979. **The marine formations of the coast of the state of Bahia**. In *International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*, 1, Sao Paulo, 1978. 232 - 253.
- CALVET, F.; CABRERA, M.C.; CARRACEDO, J.C.; MANGAS, J.; PE. REZ-TORRADO, F. J.; RECIO, C.; TRAVE, A. 2003. **Beachrocks from the island of La Palma (Canary Islands, Spain)**. *Marine Geology*, 197: 75 - 93.
- CHAFETZ, H. S., 1986. **Marine peloids: a product of bacterially induced precipitation calcite**. *Journal of Sedimentary Petrology* . 56: 812 - 817.
- CHAVES, N. S. 1996. **Beachrocks do litoral de Pernambuco: Estudo sedimentológico e análise de isótopos Estáveis**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco. 80p.
- CHAVES, N. S.; SIAL, A. N., 1998. **Mixed oceanic and freshwater depositional conditions for beachrocks of Northeast Brazil: evidence carbon and oxygen isotopes**. *International Geology Review*. 40: 748 - 754.
- CHAVES, N. S. 2000. **Mecanismos de cimentação em sedimentos marinhos recentes, exemplo do beachrocks do litoral de Pernambuco**. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista. 194p.
- COOPER, J. A., 1991. **Beachrocks formation in low latitudes: implications for coastal evolutionary models**. *Marine Geology*. 98: 145 - 154.
- COUTINHO, P. N.; FARIAS, C. C., 1979. **Contribuição à origem dos recifes do Nordeste**. *Atas do Simpósio de Geologia do Nordeste*. 236 - 240.
- DIAS, J. P. D. O., 1957. **Memórias de Charles Darwin sobre os arrecifes de arenito no porto de Pernambuco**, 59p.
- DELIBRIAS, C., LABOREL, J., 1971. **Recent variations of sea level along the brazilian coast**. *Quaternária*. 45 - 49.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; LEÃO, Z. M. A. N.; AZEVEDO, A.E.G., 1990. **Geologia Do Quaternário costeiro do estado de Pernambuco**. *Revista Brasileira de Geociências*. 20: 208 - 215.
- DOMINGUEZ, J., M., L.; BITTENCOURT, A., C., S., P.; MARTIN, L., 1992. **Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate**. *Sedimentary Geology*, 80: 213 – 232

- EL-SAYED, M. RH, 1988. **Beachrock cementation in Alexandria, Egypt.** Marine Geology. 80: 29 - 35.
- FERREIRA, Y. A., 1969. **Recifes de Arenito, Salvador.** Anais da Academia Brasileira de Ciências. 41: 541 - 548.
- FONT, Y.; CALVET, F., 1997. **“Beachrocks” Holocenos de la Isla de la Reunión, Oceano Índico.** Cadernos de Geologia Ibérica. 22: 81 - 102.
- GUERRA, N. C.; MANSO, V. A V., 2004. *Beachrocks* (Recifes de arenitos). In: LEÇA, E.; LEITÃO, S. N. COSTA, M. F. **Oceanografia um cenário tropical.** Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Oceanografia. Recife, 109 – 130.
- GUERRA, N. C.; CHANG, H. K.; SIAL, A. N., 2005. **Carbonate cements in contemporaneous beachrocks, Jaguaribe beach, Itamaracá island, northeastern Brazil: petrographic, geochemical and isotopic aspects.** Anais da Academia Brasileira de Ciências. 77: 343 - 352.
- JAMES N. P.; CHOQUETE, P. W., 1990. **The sea - floor diagenetic environment.** Geological Association of Canada, Dept. of Earth Science, Memorial University. Geoscience Canada reprint series, 4: 13 - 34.
- KENDALL, A. C., 1985. **Radiaxial fibrous calcite: a reappraisal.** In: Schneidermann, N., Harris, P.M. (Eds.), Carbonate Cements. SEPM Special Publication. 36: 59 - 77.
- KINSMAN, D. J. J., 1969. **Interpretation of SR^+ concentrations in carbonate mineral and rocks.** Journal of Sedimentary Petrology. 39: 486 - 508.
- KNEALE D.; VILES, H. A., 2000. **Beach cement: incipient $CaCO_3$ -cemented beachrock development in the upper intertidal zone, North Uist, Scotland.** Sedimentary Geology. 132: 165 - 170.
- LAPORTE, I. F., 1996. **Ambientes de sedimentação.** São Paulo, Ed. Blucher.
- LONGMAN, M. W., 1980. **Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments.** The American Association of petroleum Geologists Bulletin. 84: 481 – 487.
- LOWE, J. J.; WALKER, M. J. C., 1997. **Reconstructing Quaternary environments.** II ed. Logman, London 446p.
- MABESOONE. J. M., 1964. **Origin and age of the sandstone reefs of Pernambuco (Northeastern Brazil).** Journal of Sedimentary Petrology. 34, 715 - 726.
- MABESOONE, J. M.; ROLIM, J. L., 1973/4. **Quaternário do Nordeste brasileiro.** Estudos sedimentológicos. 3/4: 89 – 130.

- MEYERS, J. H., 1987. **Marine vadose beachrock cementation by cryptocrystalline magnesian calcite-Maui, Hawaii**. *Journal of Sedimentary Petrology* 57: 558 - 570.
- MORAIS, J. O., 1967/9. **Contribuição ao estudo dos “Beachrocks” do Nordeste brasileiro**. *Trabalhos Oceanográficos – Universidade Federal de Pernambuco*. 9/11: 79 - 94.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; ARCHANJ, J. D., 1996. **Coastal Quaternary Formations of the Southern Part of the State of Espírito Santo (Brazil)**. *Academia Brasileira de Ciências*, 68 (3): 389 - 404.
- MARTIN, L., 2003. **Holocene Sea-Level History Along Eastern-Southeastern Brazil**. *Anuário do Instituto de Geociências – UFR*, 26: 13 - 24.
- NEUMEIER, U., 1999. **Experimental modelling of beachrock cementation under microbial influence**. *Sedimentary Geology*. 126: 35- 46.
- OLIVEIRA, M. I. M.; BAGNOLI, E; FARIAS, C. C.; NOGUEIRA, A. M. B.; SANTIAGO, M., 1990. **Considerações sobre a geometria, petrografia, sedimentologia, diagênese e idades dos beachrocks do Rio Grande do Norte**. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, sociedade Brasileira de Geologia, 2: 621 - 634.
- REY, D.; RUBIO, B.; BERNABEU, A.M; VILAS, F., 2004. **Formation, exposure, and evolution of a high-latitude beachrock in the intertidal zone of the Corrubedo complex (Ria de Arousa, Galicia, NW Spain)**. *Sedimentary Geology*. 169: 93 - 105.
- RUSSELL, R. J.; ROUGE, B., 1959. **Caribbean beach rock observations**. *Geomorphology*. 3: 227 - 236.
- RUSSELL, R. J.; ROUGE, B., 1962. **Origin beach rock observations**. *Geomorphology*. 6: 1 - 16.
- SCOFFIN, T. P.; STODDART, D. R., 1983. **Beachrock and intertidal cements**. In: GOUDIE, A. S.; PYE, K., 1983. *Chemical sediments and geomorphology: precipitates and residua in the near-surface environment*. Academic Press. 401 - 425.
- SEMENIUK, V. & SEARLE, D. J., 1987. **Beach Rock Ridges/Bands along a high-energy coast in southwestern Australia – their significance and use in coast history**. *Journal of Coastal Research*, 3: 331 - 342.
- SILVA, C. G., 1991. **Holocene stratigraphy and evolution of the Açu River Delta, Rio Grande do Norte State, northeastern Brazil**. *PhD Thesis*, Duke University, Durham, NC.
- SPURGEON, D., 2003. **Formation of “beach rocks” at Siesta Key, Florida and its influence on barrier island development**. *Marine Geology*. 200: 19 - 29.

- STODDART, D. R.; CANN, J. R., 1965. **Nature and origin of beachrocks**. *Journal of Sedimentary Petrology*. 35: 243 - 273.
- SUGUIO, K., 1973. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Editora EDGAR BLÜCHER, Ed. da Universidade de São Paulo. 312p.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; DOMNGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G., 1985. **Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira**. *Revista Brasileira de Geociências*. 15: 273 - 286.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; FLEXOR, J. M., 1988. **Quaternary sea levels of the brazilian coast: recent progress**. *EPISODES*, 11(3): 203 - 208.
- SUHAYDA, J. N.; HSU, S. A.; ROBERT, H. H.; SHORT, A. D., 1977. **Documentation and analysis of coastal process, northeast coast of Brazil**: Botton Rouge, LA: Coastal Studies Institute, Lousiana State University, Tec. Rep. 23, 98p.
- STUIVER, M.; H. A. POLACH. 1977. **Discussion: Reporting of ¹⁴C data**. *Radiocarbon* 19: 355–363.
- TUCKER, M. E.; WRIGHT, V. P., C., 1996. **Carbonate Sedimentology**. Blackwell science. London, 482p.
- VIEIRA, M. M.; LUIZ FERNANDO DE ROS, 2006. **Cementation patterns and genetic implications of Holocene beachrocks from northeastern Brazil**. *Sedimentary Geology*. 192: 207 - 230.
- VOUSDOUKAS A. M. I.; VELEGRAKIS, A. F.; PLOMARITIS, T. A., 2007. **Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts**. *Earth-Science Reviews*. 85: 23 - 46.
- VOUSDOUKAS, M. I.; VELEGRAKIS, A. F.; KONTOGIANNI, A.; MAKRYKOSTA, E. N., 2008. **Implications of the cementation of beach sediments for the recreational use of the beach**. *Tourism Management* xxx, 1 – 9.

CAPÍTULO 8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O litoral da cidade do Recife é formado pelas praias do Pina e da Boa Viagem. Apresenta-se bastante urbanizado, o qual nas últimas décadas vem sofrendo um grande processo de erosão marinha. O ambiente praiial localizado ao norte da área apresenta-se bem desenvolvido, constituído pela região de dunas frontais, pós-praia e face da praia larga. Entretanto, estreita-se em direção ao sul, o qual não apresenta a região de dunas frontais, e onde também se encontra a obra de contenção costeira do tipo enrocamento aderente, construída na década de 90, para conter os processos erosivos. No ano de 2004, o enrocamento foi expandido em direção norte, bem como houve a colocação de sacos de areias, durante o ano de 2007, para conter a Erosão.

Para uma melhor compreensão do processo erosivo instalado na área, foi realizado o estudo de vários parâmetros. Como por exemplo, as análises dos dados das variações morfológicas e volumétricas (perfis praiiais), para a identificação dos pontos de erosão. Os perfis topográficos foram realizados no período de junho de 2002 a dezembro de 2005. Foi estudada também, a evolução da linha de costa, a médio prazo, entre os anos de 1960 e 2008. Bem como, a análise das características sedimentológicas do ambiente praiial e da plataforma continental interna, em conjunto com a realização dos perfis topobatimétricos. Dos *beachrocks* localizados na área mais próximo à linha de costa, foi realizado um estudo de lâminas delgadas e suas respectivas datações através do ^{14}C , a fim de fornecer subsídios para o entendimento destas feições na evolução da costa.

Com relação a análise dos perfis praiiais, a praia do Pina, apresentou as maiores variações morfológicas em todo ambiente praiial, estando estas variações relacionadas entre os meses de maior deposição e déficit de sedimentos. Todavia, os meses de maior ou menor volume sedimentar, ocorreram em épocas diferentes do ano, independente da sazonalidade. As maiores variações morfológicas do perfil 2, ocorreram entre as regiões da pós-praia e estirâncio superior, e entre estirâncio inferior e a região da antepraia, sem alteração. O perfil 3 apresentou as maiores alterações entre a região do estirâncio e a região da antepraia. Porém, estes dois últimos perfis permaneceram equilibrados em relação aos demais perfis monitorados. Os perfis 4A e 4B apresentaram suas variações morfológicas em todo ambiente praiial, e déficit sedimentar para todo período analisado. O perfil 5 também apresentou alterações morfológicas em todo ambiente praiial. Os perfis não apresentaram suas variações morfológicas e volumétricas, de acordo com a variação citada na literatura convencional. Seus

valores de maior ou menor volume foram independentes de o período ser chuvoso ou seco. Os perfis localizados ao centro e ao norte da área de estudo, possuem o ambiente praias mais desenvolvido.

O estudo apresentou uma relação entre as variações morfológicas dos perfis topográficos, bem como, os dados de volume sedimentar e o deslocamento da linha de costa, de acordo com as divisões dos setores observados durante o período de 1960 a 2008. Ao sul, a linha de costa apresentou um processo contínuo de retração para todo o período analisado. Os perfis localizados ao norte apresentaram-se mais desenvolvidos e são característicos de praias com perfis dissipativos, havendo uma mudança para perfis reflectivos em direção a parte central da área. Entretanto, o Setor A apresentou um deslocamento da linha de costa negativo, entre o período de 1960-1974, mas nos demais períodos, a taxa de retração na evolução da linha de costa neste setor é menor.

A taxa de progradação diminuiu de norte para sul, apresentando um aumento nas taxas de retração, e nas distâncias dos transectos em direção ao continente, principalmente nos Setores C e D, onde se localiza a obra de contenção do tipo enrocamento. A partir do ano de 1981, o Setor C, apresentou um processo de retração de linha de costa em direção ao Setor D. Este último setor, demonstrou valores negativos na taxa de evolução de linha de costa para todo o período, entre os anos de 1960 a 2008, onde os perfis topográficos se apresentaram com menor extensão, ou com uma perda total da parte superior do ambiente praias. A exemplo do perfil 4A, localizado ao norte do enrocamento, o qual foi substituído pelo perfil 4B. Entretanto na linha de costa do ano de 1960, o setor sul (Setor C) já apresentava uma configuração da linha de costa semelhante à atual, se direcionando para o sudoeste. E para onde, todas as linhas dos anos seguintes, praticamente confluem para o mesmo ponto. Entretanto o Setor D apresentou sua maior taxa de retração entre os anos de 1960 a 1981, vindo mais ou menos a estabilizar-se durante o ano de 1997, provavelmente devido à construção da obra de enrocamento, que ocorreu em 1995.

Apesar da presença da obra de contenção na parte sul da área de estudo, onde estão inseridos os Setores C e D, os processos erosivos continuam atuantes, com o deslocamento e expansão desta obra para a parte central e norte da área, com constante manutenção da mesma por parte da Prefeitura da cidade do Recife. Os setores não apresentaram uma relação direta entre a linha de *beachrock* emersa durante a maré baixa e o deslocamento da linha de costa para o período estudado. Setores onde se localiza uma linha de *beachrock* emersa mais contínua podem apresentar processos erosivos ou não. Porém, onde esta feição é contínua, há uma maior tendência aos processos erosivos, em relação aos locais onde existe abertura. Onde

há abertura na linha de *beachrock*, se observa uma tendência à deposição. Mas, a ocorrência de progradação ou retração da linha de costa relacionada com a presença da linha de *beachrock*, não corresponde a toda área de estudo. Esta relação é percebida entre os perfis topográficos e a presença ou ausência da linha de *beachrock*. Os perfis que se localizam em locais abertos apresentaram-se mais equilibrados dos que os perfis que estão localizados em áreas protegidas por estas feições.

As análises dos perfis topobatimétricos, apresentaram resultados semelhantes, em relação a sua distribuição de norte para sul, tal como os perfis praias analisados e o deslocamento da linha de costa. O ambiente praias também se apresenta mais desenvolvido ao norte da área, apresentando perfis mais suaves e praias dissipativas no extremo norte da área. E perfis côncavos ou praias reflectivas mais ao sul do Setor A e em direção a área central. Na direção sul os perfis apresentaram mudanças nestas feições, para perfis mais convexos. Na parte sul da área o ambiente praias se apresentaram mais plano, sem nenhuma feição expressiva, tornando-se quase retilíneos (setor sul, onde está localizada a obra contenção). Em direção *offshore*, há presença de um canal entre a linha de *beachrock* emerso durante a maré baixa e uma linha de *beachrock* submerso que acompanha toda a linha de costa da área de estudo, que se distribui no sentido *longshore*, e aparentemente paralelo a linha de costa. Estas duas feições se apresentam mais próxima da linha de costa, no setor norte da área, e na direção sul, se distanciam e se alargam. Porém neste último setor, o início do canal em direção *onshore* está mais próximo a linha de costa, justamente onde há um maior processo erosivo, nos Setores C e D. A superfície da linha de *beachrock* apresenta feições irregulares e dissecadas por processo erosivos, provavelmente atuantes em um nível relativo do mar mais baixo do que o atual. O canal apresenta uma profundidade média de 6.40 m e uma largura média 437.15 m. A linha de *beachrock* está a uma profundidade média de 7.37 m, no início da base, e 11.32 m no final, e a uma largura média de 1285.56 m.

Dos perfis topográficos, o perfil 1 corresponde ao perfil topobatimétrico numero 12, e em sua parte submersa, a superfície do *beachrock* se encontra quase totalmente dissecado pela erosão, apresentando em sua parte superior, um perfil plano. Durante o período de 2002 a 2005, o perfil topográfico 1 apresentou uma variação morfológica em todo ambiente praias para todo o período monitorado.

O perfil topográfico 2 correspondente ao perfil topobatimétrico 17, também apresenta o topo do *beachrock*, desgastado por processos erosivos, porém menos atenuante do que o da área correspondente ao perfil topográfico 1. O perfil topográfico 3, corresponde à área submersa do perfil topobatimétrico 24, que apresenta um topo mais rebaixado. Uma largura

maior em relação ao canal, bem como a base do *beachrock*, está mais distante em relação à linha de costa. O ambiente praial deste perfil possui uma feição convexa. O perfil 4B está representado pelo perfil topobatimétricos 27. Este perfil, se encontra na área onde o ambiente praial se apresenta mais retilíneo e de menor extensão, e a superfície do *beachrock* é semelhante ao perfil 3.

O perfil 4A é representado pelo perfil topobatimétrico de número 32, e também se encontra no setor onde o ambiente praial apresentam-se mais retilíneos. A sua área submersa é também erodida, porém com mais intensidade do que os perfis de 2 a 4B. O canal é mais largo, e a base da linha do *beachrock* está mais distante, em relação à linha de costa. Neste perfil, também é observado uma maior profundidade após o *beachrock*, e a presença de uma segunda linha submersa, provavelmente um substrato consolidado em direção *offshore*. O perfil topobatimétrico 35 se localiza em frente ao Parque Dona Lindu, onde se observa visualmente, uma maior diferença de nível entre a linha de costa e a Avenida Boa Viagem. No perfil topográfico 5, se encontra o perfil topobatimétrico 38. Nesta área, já se observa uma pequena região da pós-praia, e o ambiente praial apresenta uma feição côncava e uma maior extensão, em relação aos perfis 4A e 4B. Sua parte submersa é semelhante aos perfis anteriores, em relação à largura do canal e a do substrato, porém possui um topo mais aplainado.

Considerando os perfis topográficos e a feição submersa dos perfis batimétricos, os processos erosivos observado nos primeiros não apresentaram uma relação direta com a profundidade do topo do *beachrock* submerso. Em alguns perfis estes se encontram menos profundo, mas, na região central, onde se encontram os perfis 4A e 4B, e ao longo da área, se observa nos perfis submersos, topos mais elevados e também topos mais rebaixados por processos erosivos. O que poderia ser mais enfático é o fato de que, onde ocorre um maior grau de erosão (local do enrocamento), a distância da linha do *beachrock* em relação à linha de costa, é maior, e uma maior e há uma maior aproximação do canal, em relação ao norte da área. Provavelmente, o que foi observado acima, pode significar que o processo erosivo atua há muito tempo no setor sul, onde há um grande déficit de sedimentos. E que a carência de sedimentos, já vem de um longo período, para a linha de *beachrock* se encontrar mais distante e o canal mais largo. Vale salientar que no setor D, foi observada uma taxa de retração da linha de costa, já entre os anos de 1960-1974, antes da ampliação da Avenida Boa Viagem, que se deu após a década de 70 e no Setor C, a partir do período 1960-1974.

Estudos realizados na área, sobre a direção das correntes, apresentaram uma predominância da corrente de sul para norte, contra a costa nas camadas ao fundo, e

superficial durante o período chuvoso. E uma predominância da corrente na direção de norte para sul e costa-a-fora, nas camadas de fundo, e superficial durante o período de estiagem. Estudos demonstram que as variações sazonais devido à mudança na direção das correntes, ao longo da costa, modificam o ambiente litorâneo. A direção, o transporte de sedimentos e o ângulo de incidência das ondas são importantes na distribuição dos sedimentos da costa brasileira. Estudos realizados na zona costeira do Brasil (Salvador, Rio Grande do Norte e no Sul do Brasil), indicam, que algumas variações são causadas na mudança de direção da corrente ao longo da costa, e contribuem para aceleração do processo erosivo. Além de que, outros fatores devem ter contribuído para o índice de erosão na área, tais como, a urbanização, a falta de suprimentos de sedimentos, já que a plataforma do nordeste brasileiro recebe sedimentos quase que exclusivamente do retrabalhamento *in situ* de depósitos pretéritos, ou seja, relíquias, e que o déficit de sedimentos se evidencia pela presença dos *beachrocks* exumados, e ainda pela retração da linha de costa.

Em relação ao estudo dos sedimentos do ambiente praial e da plataforma continental interna, se torna bastante claro a influencia da presença da linha de *beachrock* submersa. As características destes sedimentos diferenciam-se no sentido *offshore*, principalmente após esta feição. Os sedimentos observados no ambiente praial, na área da plataforma continental interna antes da linha de *beachrock*, e os sedimentos após este, apresentaram características diferentes quanto aos seus parâmetros estatísticos, como, a média, selecionamento, assimetria e curtose, bem como em sua composição e textura. A linha de *beachrock* submersa serve de um divisor entre as características sedimentares. Os sedimentos observados no ambiente praial e na plataforma continental interna correspondem a um fator característico de cada ambiente, onde se observa uma lacuna entre ambas as regiões. Os sedimentos encontrados em um dos ambientes não se encontram no outro, sendo assim demonstrado que não há uma interação entre os sedimentos da parte superior do perfil e a parte submersa, bem como, entre o ambiente praial e a área antes da linha de *beachrock*. Portanto, pode-se deduzir que a plataforma continental interna adjacente a cidade do Recife não é uma fonte de suprimento sedimentar para o ambiente praial. Provavelmente, os sedimentos encontrados na parte superior dos perfis correspondem a sedimentos relíquias, apesar de que os seus grãos são subarredondados e moderadamente selecionados, mas são constituídos em sua maioria por areia fina e muito fina. Após o a linha de *beachrock*, há uma variação de areia grossa a cascalhos, com a presença predominante de areia grossa, e com um maior teor de carbonato de cálcio.

Nos *beachrocks* próximo a linha de costa, o cimento observado é constituído de Mg calcita (High-Magnesium calcita). Dados de MgCO_3 mol% e $\delta^{13}\text{C}$ PDB, de outros estudos realizados no litoral sul da cidade do Recife e no litoral Pernambucano, corroboram que o cimento precipitado, originado da HMC, se forma no ambiente marinho. Esses *beachrocks* também apresentam as mesmas características dos sedimentos encontrados no ambiente da plataforma continental interna e após o *beachrock*, o que também é confirmado por estudos de sedimentos realizados por Mabesoone (1964) sobre os *beachrocks* do litoral das cidades de Recife e Olinda. Os *beachrocks* do litoral sul do Recife apresentam características semelhantes aos *beachrocks* encontrados em outros estudos realizados em Salvador, na costa do Rio Grande do Norte. Os *beachrocks*, para muitos autores representam antigas linhas de costa, podendo estes serem formados na região intermaré, entretanto, *beachrock* pode ocorrer também na parte superior da zona subtidal.

Os *beachrocks* são comumente encontrados nas regiões tropicais e subtropicais, mas também se formam em ambientes de alta latitude. São vários os fatores que contribuem para sua formação. A maioria dos autores atribui a sua cimentação aos processos físico-químicos, como a supersaturação do CaCO_3 através da precipitação, e a evaporação da água do mar. Essas feições são consideradas como um bom indicador do nível relativo do mar. Na cidade do Recife eles representam um nível relativo do mar mais alto do que o atual. As idades que foram determinadas por método ^{14}C das conchas de moluscos encontradas nos *beachrocks* da cidade do Recife, variaram entre 4482-6652 cal anos AP, o que confirma sua formação, durante o período do Holoceno Médio, o que significa em alguns estudos sobre o nível relativo do mar no estado de Pernambuco, idades próximas ao Máximo da Última Transgressão, (5200 anos AP) e indicam níveis marinhos superiores a 2.5 m. Porém estudos realizados sobre indicadores de paleoníveis do nível relativo do mar apresentam divergências de posicionamento nos últimos 7000 mil anos, apresentando a presença ou a ausência de oscilações de subida do nível do mar. E que, a compreensão dos processos oceânicos, a taxa de sedimentação, o volume do transporte, a erosão e a progradação da costa, são fatores importantes para a compreensão da evolução da linha de costa.

Vários estudos confirmam que a exposição dos *beachrocks* está associada com o processo de retração da costa. A formação dos *beachrocks* causa impactos diretos na evolução da costa, que incluem: redução do volume de sedimentos e mudança em sua morfologia, erosão diferencial, alterando o transporte transversal e longitudinal dos sedimentos, e que em longo prazo, podem reduzir o suprimento de sedimentos a *longshore*. A associação dos

beachrocks com a retração da costa sugere que a maior parte da linha de costa está recuando para o interior do continente.

Evidentemente, outros estudos devem ser realizados na área e nas áreas adjacentes, já que o processo erosivo não ocorre de forma isolada, mas de forma contínua. Principalmente, em função das obras de contenção, realizadas ao sul da área de estudo, no município do Jaboatão dos Guararapes. Em estudos futuros, deveria ser incluída a realização de inspeção de sondagem, para tentar compreender a estratigrafia do substrato abaixo dos sedimentos superficiais, correlacionadas com suas respectivas idades. Como também dar continuidade a levantamento dos perfis batimétricos na plataforma média, bem como, um monitoramento do nível relativo do mar, e associá-lo ao processo erosivo. Durante o Holoceno Médio, a área se encontrava em um nível do mar mais alto do que o atual, o que poderia, na época atual, está ocorrendo um aumento relativo no nível médio do mar. A urbanização da praia da Boa Viagem deve ter contribuído bastante para a aceleração do processo erosivo, com a ocupação do ambiente praiado em alguns setores da orla, mas deve-se também levar em consideração, que grande parte dessa urbanização se deu após a década de 70, onde no setor sul, a linha de costa já se encontrava em retração. Sendo atenuada pela construção do enrocamento na década de 90. Acrescentando-se ao estudo, fica a pergunta: o que estaria provocando uma mudança na direção das correntes entre o período chuvoso e seco. Seria só uma mudança na direção dos ventos?

REFERENCIAS

- Accelerator mass spectrometry – radiocarbon dating. Australian Government – ansto. Disponível em: http://www.ansto.gov.au/nugeo/ams/ams_Radiocarbon-dating.htm. Acesso: 21 de Junho de 2005.
- ALHEIROS, M. M., 1995a. **Considerações sobre riscos geológicos: Aplicação a encostas litorâneas da região metropolitana do Recife.** In: Simpósio sobre processos sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira Nordeste do Brasil. Anais, Centro de Tecnologia e Geociências – UFPE, Recife, 1995, 176p.
- ALHEIROS; M. M.; LIMA FILHO, M. F.; FERREIRA, M. G. X. **Carta geotécnica da cidade do Recife,** 1995b.
- ANDRADE, G. O. **Alguns aspectos do quadro natural do Nordeste.** 1997. Ministério do Interior, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, Superintendência Adjunta de Planejamento. Recife, 9-19
- ANGULO, J. R.; PESSEDA, L. C. R.; SOUZA, M. C., 2003. **O significado das datações ao ^{14}C na reconstrução de paleoníveis marinhos e na evolução das barreiras quaternárias do litoral Paranaense.** Revista Brasileira de Geociências. 32: 95 – 106.
- ARAÚJO, T. C. M.; SEOANE, J. C. S.; COUTINHO, P. N., 2004. **Geomorfologia da plataforma continental de Pernambuco.** In: LEÇA, E.; LEITÃO, S. N. COSTA, M. F. Oceanografia um cenário tropical. Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Oceanografia. Recife, 39 - 57.
- BARBOSA, J. A., SOUZA, E. M., LIMA FILHO, M. F., NEUMANN, V. H. 2003. **A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração,** Estudos Geológicos, 13: 89-108.
- CASTRO, J. W. A.; ALHEIROS, M. M., 1994. **Diagnóstico de risco de erosão costeira na praia de Boa Viagem,** Recife, PE. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Camburiú, Atas, SBG. 1: 505 508.
- CHAVES, N. S., 1996. **Beachrocks do litoral pernambucano; estudo sedimentológico e análise de isótopos estáveis.** Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-Graduação em Geociências, Dissertação de Mestrado. 80p.
- CHEMELLO, E. 2004. **Textos interativos carbono – 14, datando o passado. D:/Trabalhos/NAEQ** – Universidade de Caxias do Sul, Departamento de Física e Química DEFQ - Caxias do Sul, Rio Grande do Sul

- CNIO - Comissão Nacional Independente sobre os Oceanos, 1998. **O BRASIL E O MAR NO SÉCULO XXI: Relatório aos Tomadores de Decisão do País**. Rio de Janeiro, 408p.
- CÓRDOBA1, V. C.; EMANUEL FERRAZ JARDIM SÁ, E. F. J.; SOUSA, D. C.; ANTUNES, A. F., 2007. **Bacia de Pernambuco-Paraíba**. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2: 391-403.
- COUTINHO, P. N., 1976. **Geologia marinha da plataforma continental de Alagoas-Sergipe**. Tese de Livre Docência (universidade Federal de Pernambuco), Recife, 119p.
- COUTINHO, P. N.; LIMA, A.T. O.; LIMA, A. T. O.; QUEIROZ, C. M.; FREIRE, G. S. S.; ALMEIDA, L. E. S. B.; MAIA, L. P.; MANSO, V. A. V.; BORBA, A. L. S.; MARTINS, M. H. A.; DUARTE, R. X., 1997. **Estudos da erosão marinha nas praias de Piedade e de Candeias e no estuário de Barras das Jangadas. Município de Jaboatão dos Guararapes – PE**. Relatório Final. Recife, 1997. 154p.
- DELIBRIAS G.; LABOREL J., 1971. **Recent variations of the sea level along the Brazilian coast**. Quaternária, 14:45-49.
- DOMINGUEZ J. M. L., MARTIN L., BITTENCOURT A.C. S. P. 1987. **Sea-level history and Quaternary evolution of river mouth-associated beach-ridge plains along the east-southeast Brazilian coast: a summary**. In: D. Nummedal; O.H. Pilkey; J.D. Howard (eds.) Sea level fluctuations and coastal evolution. SEPM Special Publication 41:115-127.
- DOMINGUEZ. J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; LEÃO, Z. M. A. N.; AZEVEDO, A. E. G. 1990. **Geologia do quaternário costeiro do Estado de Pernambuco**. Revista Brasileira de Geociências, 20: 208-215.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S., 1994. **Utilização dos padrões de sedimentação costeira como indicadores paleoclimáticos naturais**. Revista Brasileira de Geociências. 24(1): 3-12.
- DUARTE, R. X., 2002. **Caracterização morfo-sedimentológica e evolução de curto e médio prazo das praias do Pina, Boa Viagem e Piedade, Recife, Recife/Jaboatão dos Guararapes – PE**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-Graduação em Geociências, Recife, 141p.
- EMLURB – Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana, 2003. **Obras de proteção à praia de Boa Viagem**. Estudo de Impacto Ambiental – EIA, Prefeitura da Cidade do Recife, Secretária de Serviços Públicos. 226p.
- EMLURB - Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana, 2003. **Obras de proteção à praia de Boa Viagem**. Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, Prefeitura da Cidade do Recife, Secretária de Serviços Públicos. 159p.

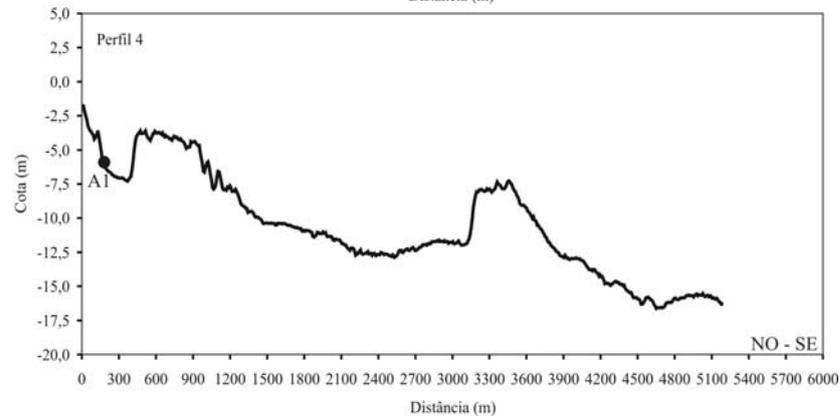
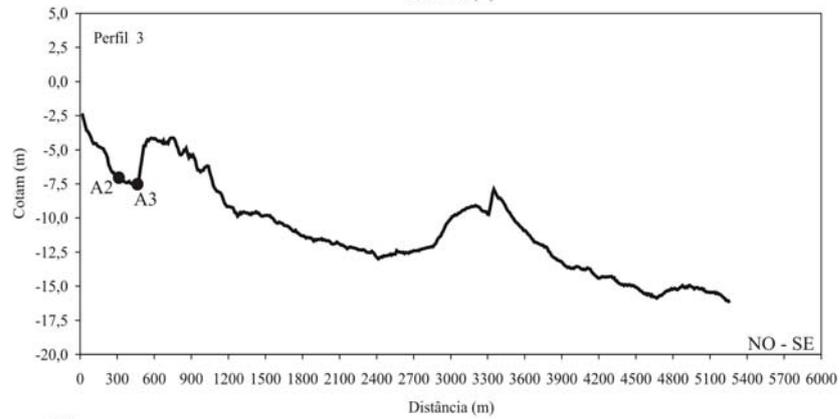
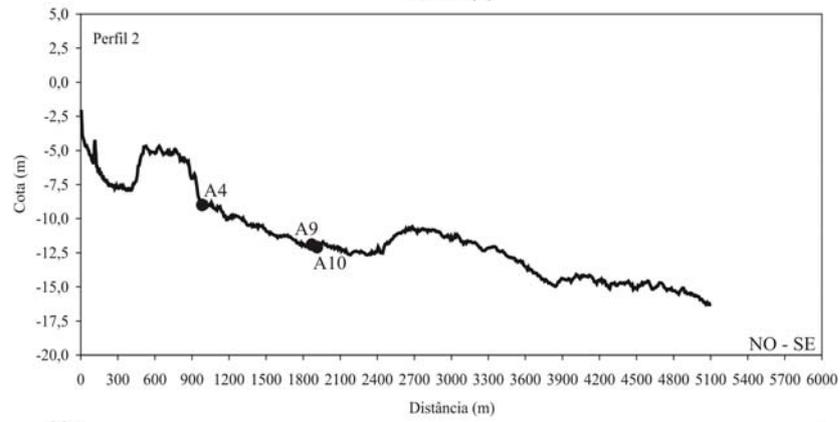
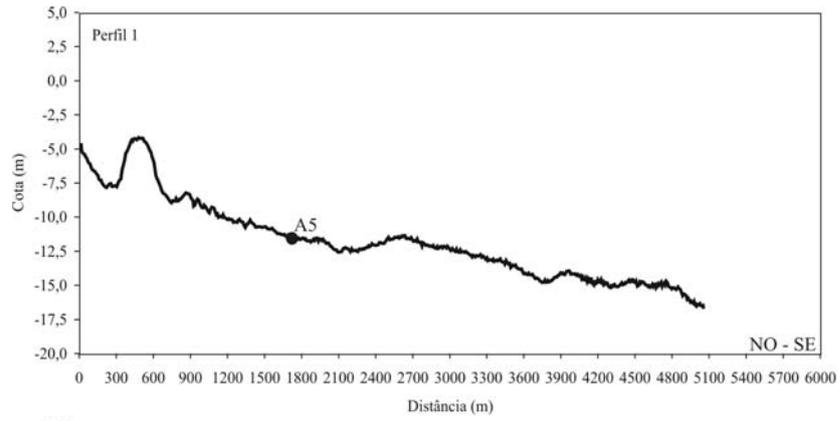
- GORNITZ, V., 1992. **Mean sea level changes in the recent past.** In **Climate and Sea Level Change: Observations, Projector** (R. A. Warrick, E. M: Barrow, and T.M. I: Wigley, Eds.). Cambridge University Press. Oxford.
- GREGÓRIO, M. N., 2004. **Sedimentologia e morfologia das praias do Pina e da Boa Viagem, Recife (PE) - Brasil.** Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-Graduação em Oceanografia, Dissertação de Mestrado. Recife, 98p.
- GREGÓRIO, M. N.; E ARAÚJO, T. C. A., 2008. **Interannual morphological changes of Boa Viagem beach- northeast coast of Brazil.** In press, Boletim Paranaense de Geociências, 62.
- GUERRA, N. C.; MANSO, V. A V. Beachrocks (Recifes de arenitos). In: LEÇA, E.; LEITÃO, S. N. COSTA, M. F., 2004. **Oceanografia um cenário tropical.** Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Oceanografia. Recife, 109 – 130.
- HAMM, L.; CAPOBIANCO, M.; DETTE, H. H.; LECHUGA A.; SPANHOFF, R.; STIVE M. J. F., 2002. **A summary of European experience with shore nourishment.** Coastal Engineering, 237 – 264.
- HEDGES, R. E. M., 1991. **Ams dating: present sttatus and potential aplications.** Qauternary proceeding. 1: 5 – 10.
- HERRERA, C. V. M., 1992. **A dinâmica da transformação: resgate da memória do processo de urbanização da Avenida Boa Viagem.** Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Urbano. Centro de Artes e Comunicação – Universidade Federal de Pernambuco. 151p.
- HOEFEL, F. G.,1998. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas, uma revisão bibliográfica.** Editora Univali, Itajaí: Santa Catarina, 82p.
- HOPLEY, D., 1986. **Beach-rocks as sea – level indicator.** In Sea-level research? A manual for collection and evolution of data. (Ed). Orson van de Palassche. 157-174.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil – Região Nordeste,** Recife,1977..
- LABOREL, J., 1969. Les **peuplements de Madréporaires des côtes tropicales du Brésil.** Annales de l'Université D'Abidjan Série E II (3): 1-261.
- KEMPF, M.; MABESSONE, M. J.; TINOCO, I. M., 1967/9. **Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil).** Trabalhos Oceanográficos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 125 – 148.

- MABESOONE J. M., 1964. **Origin and age of the sandstone reefs of Pernambuco (Northeastern Brazil)**. J. Sediment. Petrology, 34: 715–726.
- MABESOONE, J. M., 1991. **Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte**. Estudos Geológicos (Série B, Estudos e Pesquisas. 10: 252 p.
- MALDONADO, A. ZAAMARRENO, I., 1983. **Modelos sedimentários en las plataformas continentales del Mediterráneo español: factores de control facies y procesos que rigen su desarrollo**. In: CASTELLVÍ, J. Ed. Estudio Oceanográfico de la plataforma continental. Barcelona: Gráficas Buper, 24-83.
- MANSO, V. A. V.; COUTINHO, P. N.; LIMA, A.T. O.; MEDEIROS, A. B.; ALMEIDA, L. E. S. B.; BORBA, A. L. S.; LIRA, A. R. A. PEDROSA, F. J. A.; CHAVES, N. S.; DUARTE, R. X.; IVO, P. S., 1995. **Estudos da erosão marinha na praia da Boa Viagem**. Convênio ENLURB/FADE/LGGM – UFPE. Relatório Técnico, Recife, 1995. 98p.
- MANSO, V. V.; VALENÇA, L. M.; COUTINHO, P. N, GUERRA, N. S., 2004. **Sedimentologia da plataforma continental**. In: LEÇA, E. ; LEITÃO, S. N. COSTA, M. F. Oceanografia um cenário tropical. Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Oceanografia. Recife, 2004. 59 – 86.
- MANSO, V. A. V.; COUTINHO, P. N.; GUERRA, N. C.; SOAREA Jr., C. F. A., 2006. **Pernambuco**. In: MUEHE, D. organizador. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro. MMA, Ministério do Meio ambiente, Brasília –DF, 2006, 476p.
- MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; VILAS BOAS, G. S.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; GUIMARÃES, M. M. M., 1976. **Coube de variations di niveau relatif de la mer au cours des 7.000 dernières années sur un secteur homogène du littoral brésilien (Nord de Salvador-Bahia)**. In: SUGUIO, K.; FARTRCHILD, T.; MARTIN, L.; FLEXOR, J. M. (Eds.). Proceed. Intern. Symp. on Coastal Evolut. In the Quaternary. São Paulo, 264-274.
- MARTINS, M. H. A., 1997. **Caracterização morfológica e vulnerabilidade do litoral da Ilha de Itamaracá – PE**. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-Graduação em Geociências. Recife, Dissertação de Mestrado, 104p
- MARTIN, L., 2003. **Holocene sea-level history along eastheern-southeastern Brazil**. Anuário do Instituto de Geociências URFJ. V. 26: 13 – 24.
- MORAIS, J. O., 67/69. **Contribuição ao estudo dos “beach-rocks” do nordeste do Brasil**. Trabalhos Oceanográficos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 967/69. 79 – 94
- MUEHE, D. Geomorfologia costeira.1998. In: GUERRA, A. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro. Ed. Bertrand do Brasil, 1998. pp. 253 – 306.

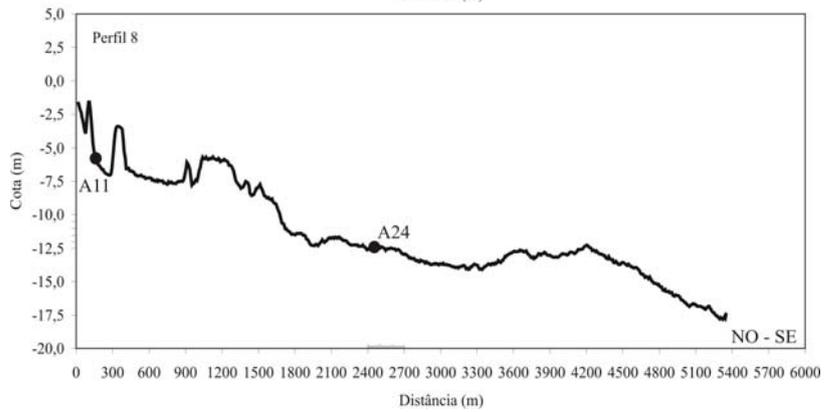
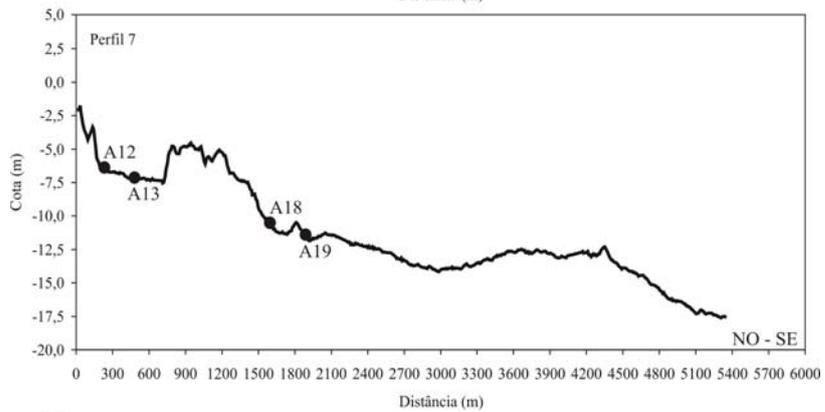
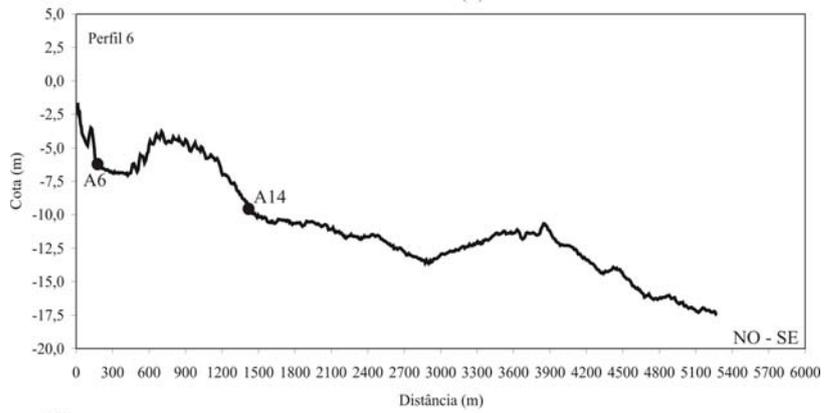
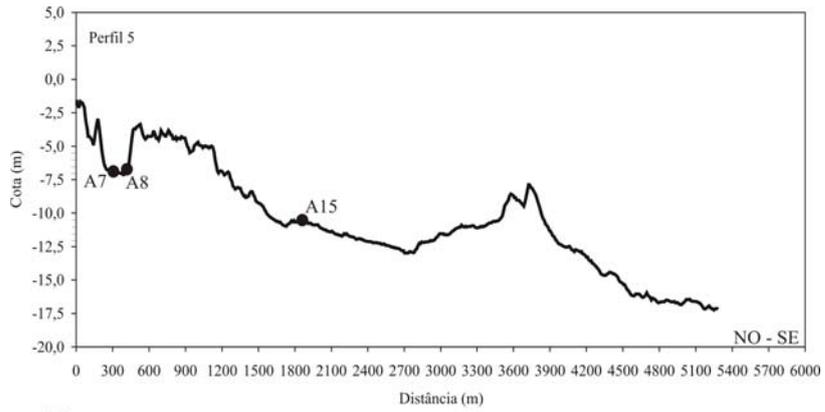
- MUEHE, D., 2001. O Litoral Brasileiro e sua compartimentação. In: GUERRA, A. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro. 2 ed. Ed. Bertrand do Brasil, 2001. 273 – 337.
- MUEHE, D., 2003. Geomorfologia costeira. In: GUERRA, A. **Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro. 5 ed. Ed. Bertrand do Brasil, 2003. 253 – 334
- NEVES, C. F.; MUEHE, D., 1995. **Potential impact of sea-level rise on the metropolitan region of Recife, Brazil**. Journal of Coastal Research, 14:116-131.
- PCR - Prefeitura de Cidade do Recife – **Atlas ambiental da cidade do Recife**, Secretaria de Planejamento Urbanismo e Meio Ambiente. Recife, 2000. 151p.
- PEREIRA, L. C. C.; JIMÉNEZ, J. A.; MEDEIROS, C.; COSTA, R. M., 2003. **The influence of environmental status of Casa Caiada and Rio Doce beaches (NE – Brazil) on beaches uses**. Ocean Coastal Management, 46: 1011 – 1030.
- ROLLNIC, M., 2002. **Hidrologia, clima de onda e transporte advectivo na zona costeira de Boa Viagem, Piedade, Candeias – PE**. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências. Departamento de Oceanografia, Pós-Graduação em Oceanografia, Dissertação de Mestrado. 111p.
- ROLLNIC, M. 2008. **Dinâmica das ondas e circulação no litoral da região metropolitana do Recife – implicações para o transporte de sedimentos e estabilidade da costa**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco. 124p.
- SALGADO, M. L. L., 1998. **História ecológica da terra**. 2ª Ed. Editora EDGAR BLÜCHER, São Paulo. 1998. 307p.
- SHEPARD, F. P., 1973. **Submarine Geology**. New York: Harpier & Row Pub., 517p,
- SILVA, J. S.; BARBOSA, C. T. S.; LEAL, M. V. M.; LINS, A. R.; COSTA, F. M. 2006. **.Ocupação da praia da boa viagem (Recife/Pe) ao longo de dois dias de verão: um estudo preliminar**. Pan-American Journal of Aquatic Sciences. 1 (2): 91-98.
- SOUZA, S. T.; GREGÓRIO, M. N.; SILVA, M. A.; ASSIS, H. M. B.; ARAÚJO, T. C. M., 2003. **Contribuição ao entendimento morfológico da plataforma continental interna da Região Metropolitana do Recife (PE), Brasil**. In: Anais do II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibérica, Recife, 1 – 5.

- SOUZA, S. T., 2004. **A saúde das praias da Boa Viagem e do Pina, Recife (PE), Brasil.** Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-Graduação em Oceanografia, Dissertação de Mestrado. Recife. 148p.
- SOUZA, C. R. G.; FILHO, P. W. M. S.; ESTEVES, L. S.; DILLENBURG, S. R.; PATCHINEELAM, S. M.; ADDAD, J. E., 2005. **Praias arenosas e erosão costeira.** In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E., 2005 (eds), Associação Brasileira do Quaternário - Quaternário do Brasil. Halos, Editora, Ribeirão Preto, 2005. 130 – 152.
- SUGUIO, K., 1999. **Geologia do quaternário “mudança ambiental” (passado + presente = futuro).** Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, São Paulo, 1999. 366p.
- SUGUIO, K.; ANGULO, J. R., CARVALHO, A. M., CORRÊA, I. C. S., TOMAZZELLI, L. J. WILLWOCK, J. A., VITAL, H., 2005. **paleoníveis do mar e paleolinhas de costa.** In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E., 2005 (eds), Associação Brasileira do Quaternário - Quaternário do Brasil. Halos, Editora, Ribeirão Preto, 114 - 129.
- WEYL, K. P., 1970. **Oceanography an introduction to the marine environments.** Copyright, New York. 1970.
- THOMALLA, F.; VICENT, C. E., 2003. **Beach response to shore-parallel eakwaters at Sea palling. Norfolk. UK.** Estuarine Coastal and Shelf Science, 56: 203 - 212.
- ZEMBRUSKI, S. J.; BARRETO H. T.; PAMA, J. J. C.; MILLIMAN, J. D., 1972. **Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental brasileira.** In Congr. Brás. Geologia, 26, Belém, v. 2:187-209.

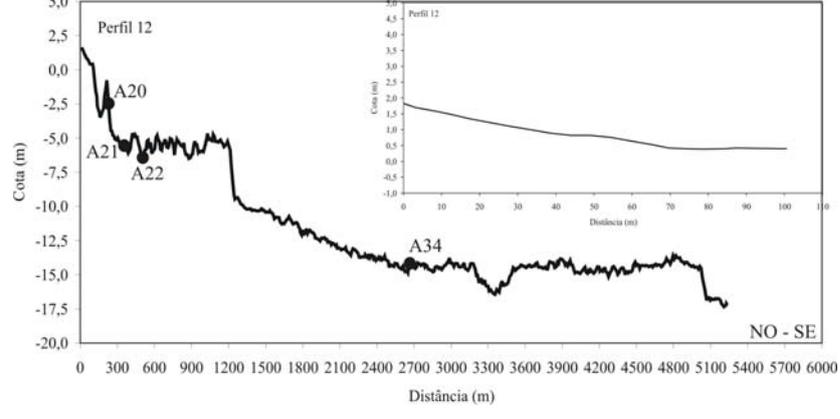
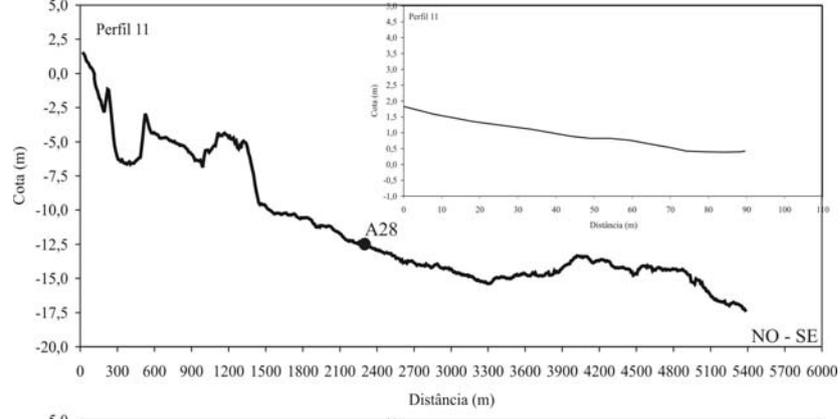
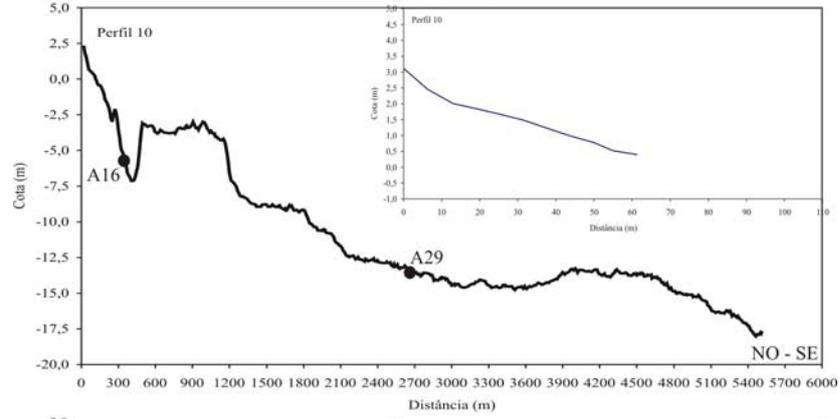
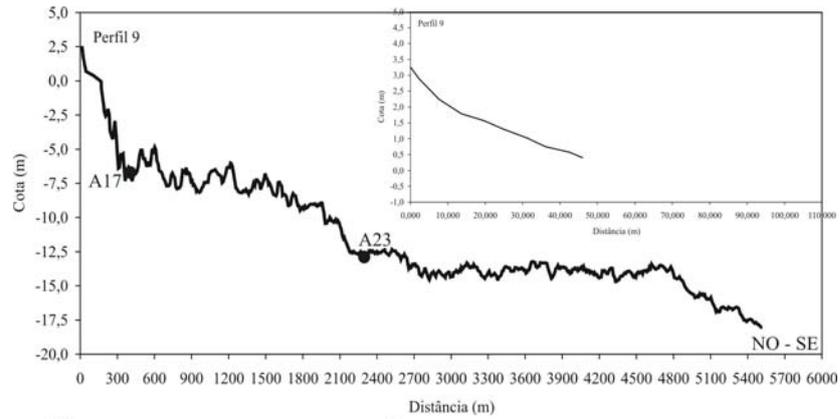
ANEXO 1



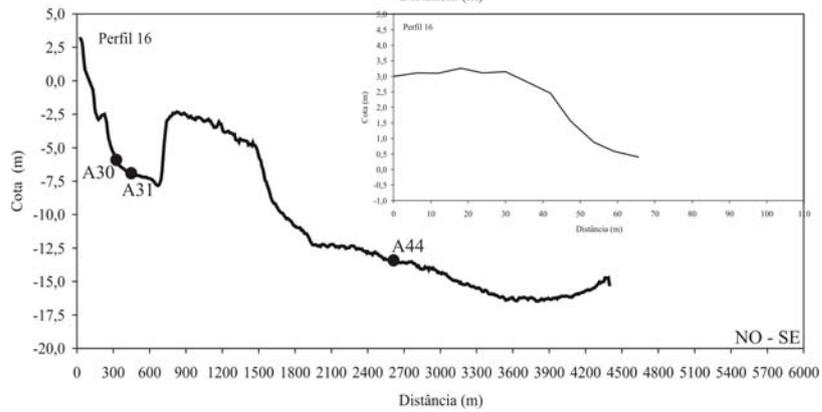
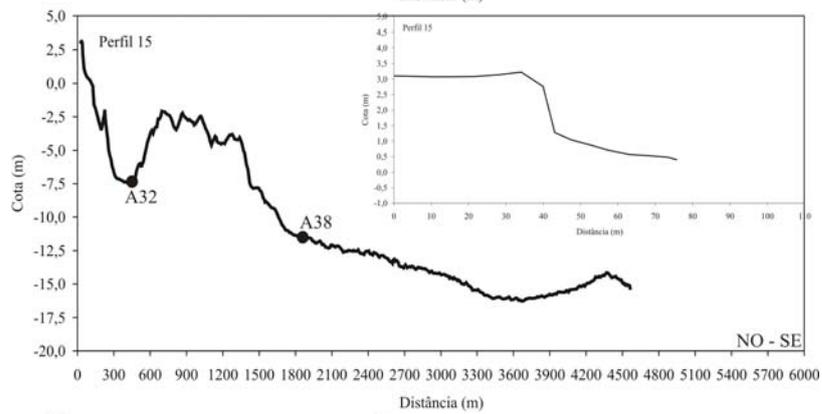
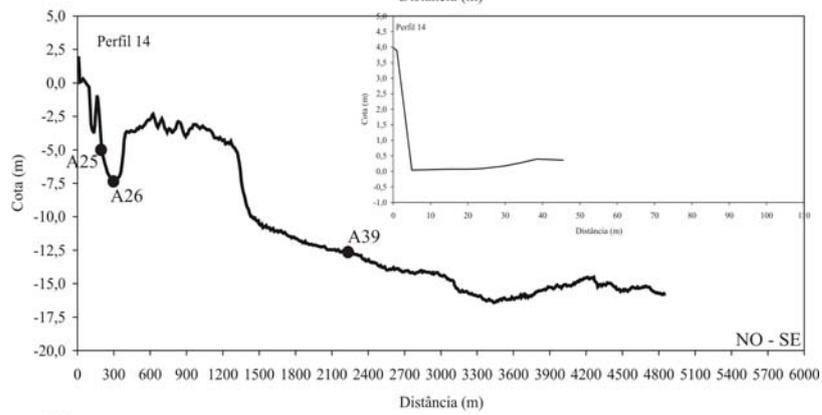
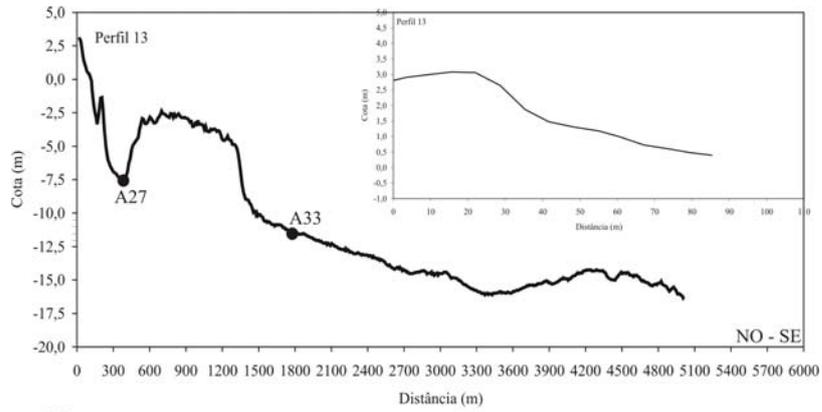
Perfis Batimétricos de 1 a 4.



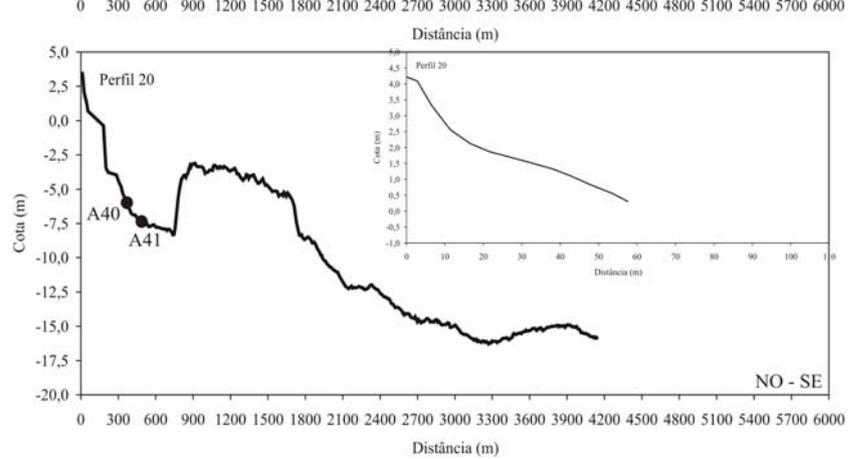
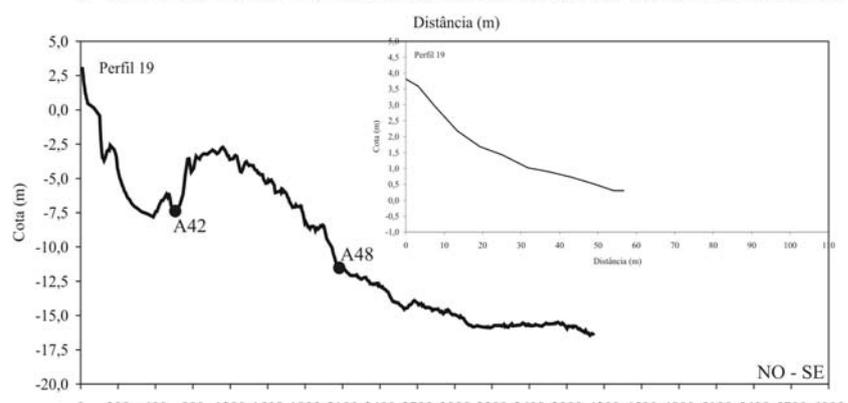
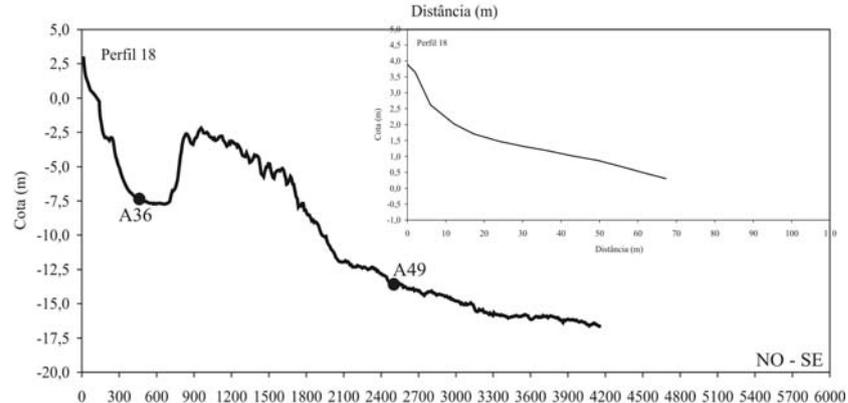
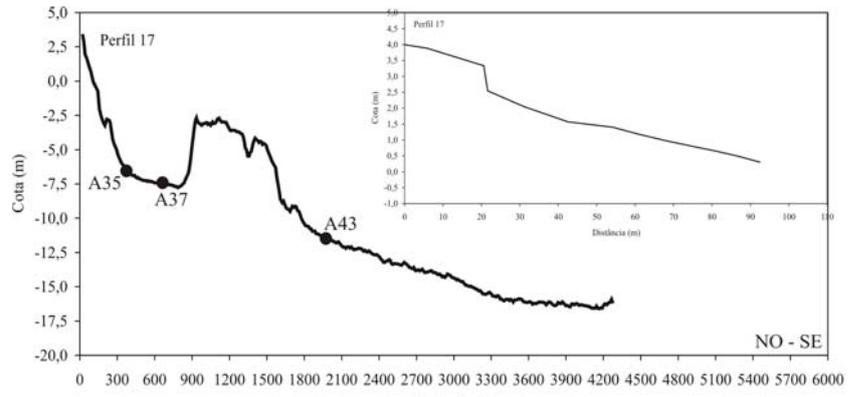
Perfis Batimétricos de 5 a 8.



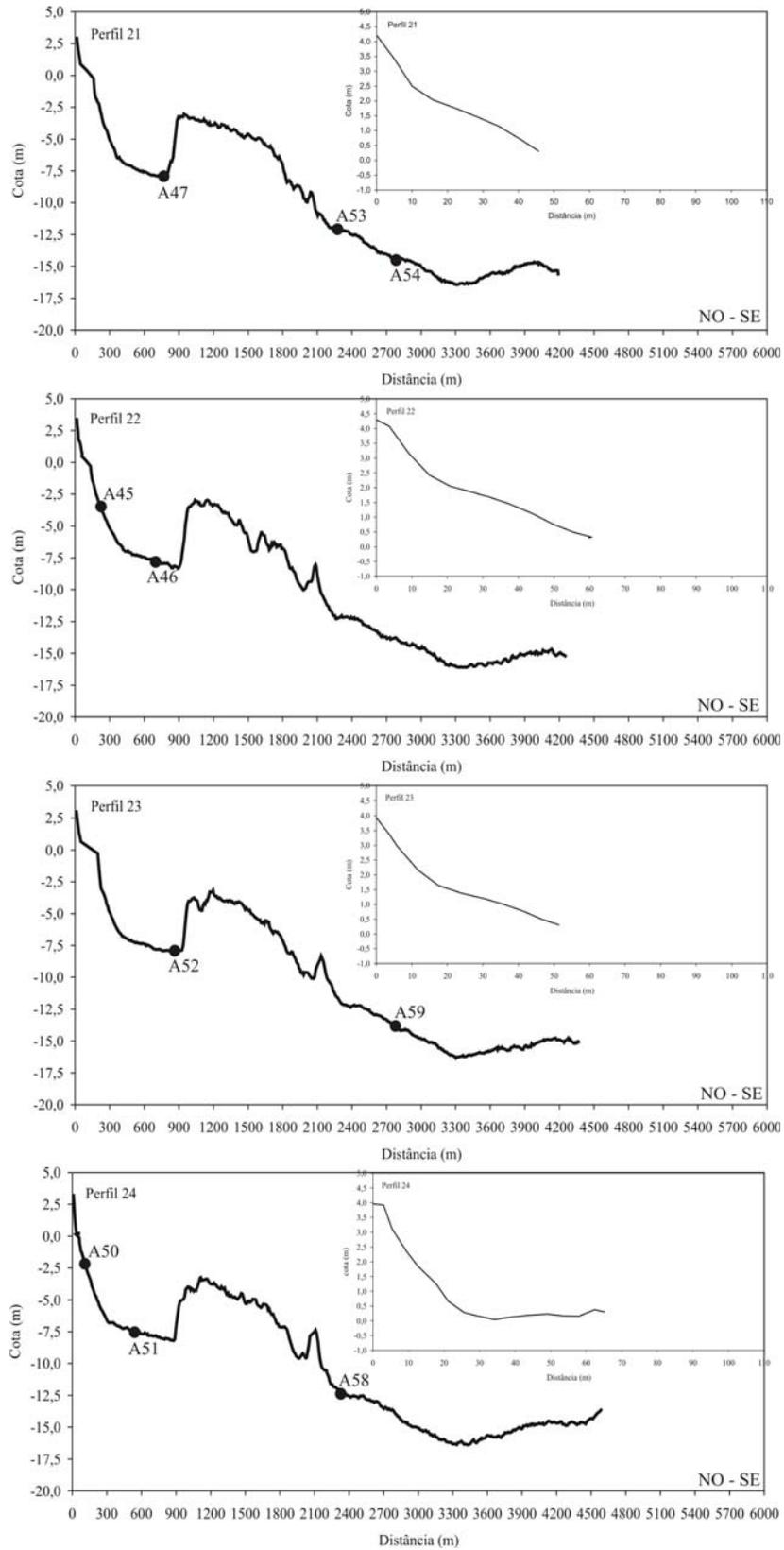
Perfis Topobatimétricos de 9 a 12.



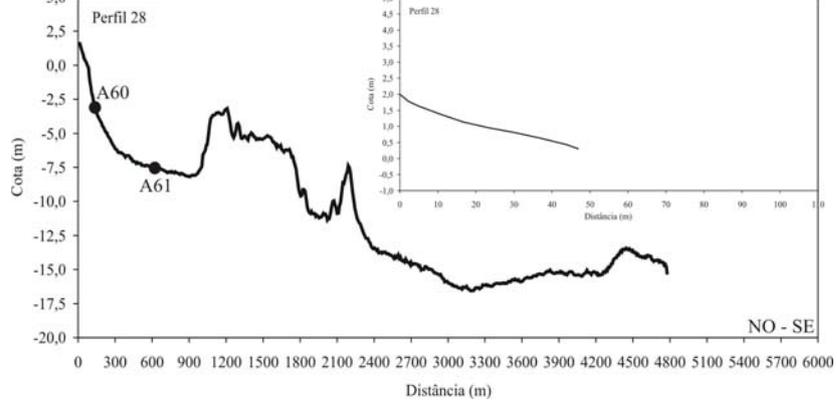
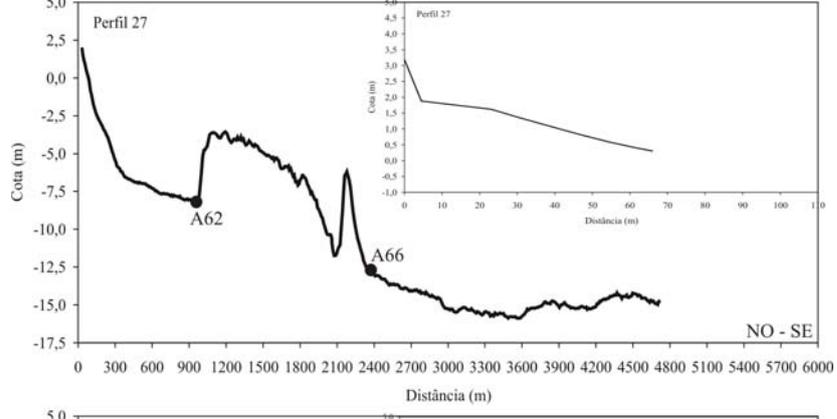
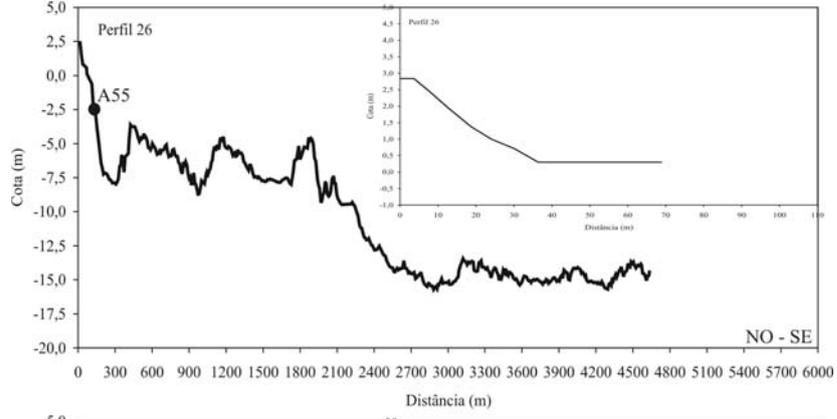
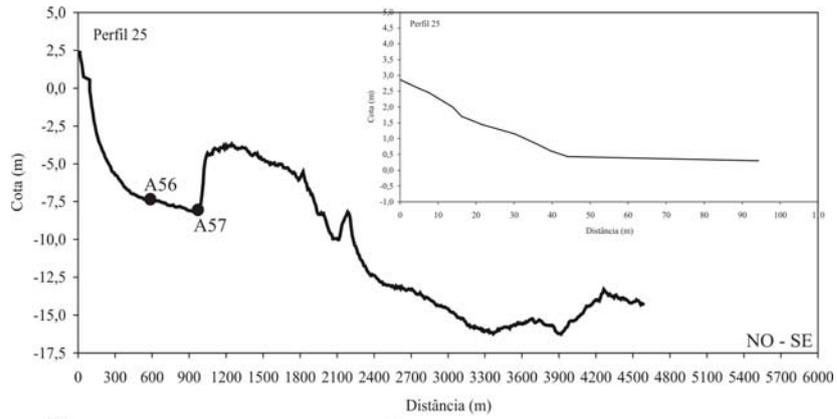
Perfis Topobatimétricos de 13 a 16.



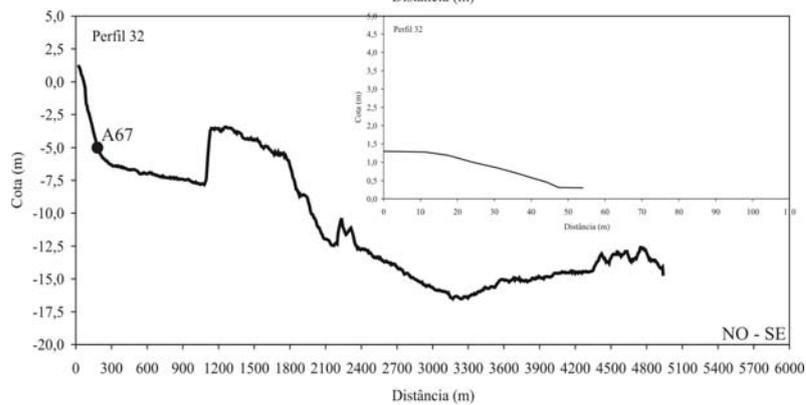
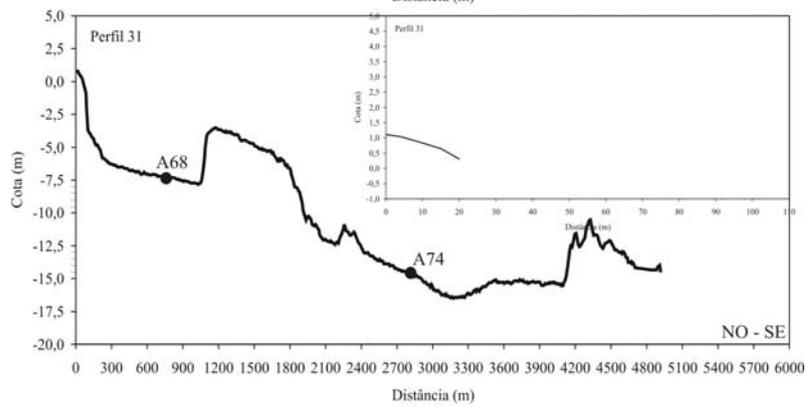
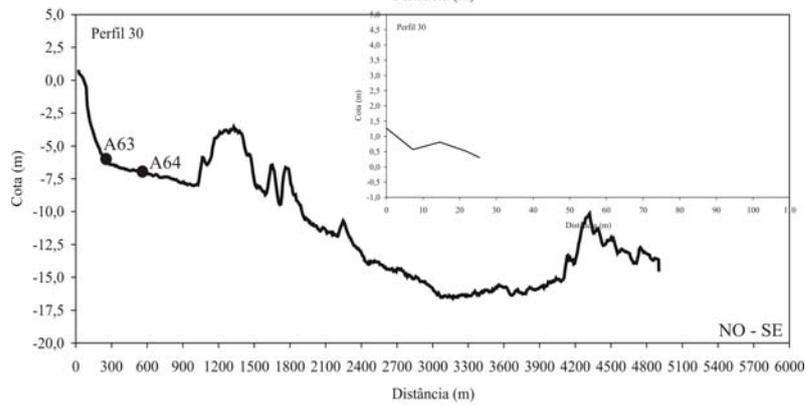
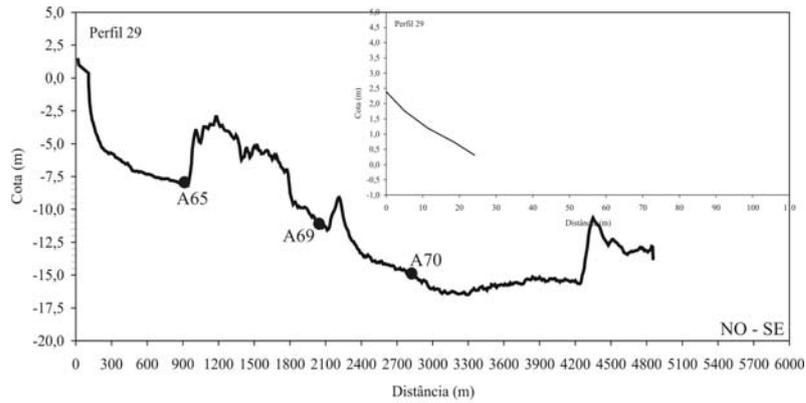
Perfis Topobatimétricos de 17 a 20.



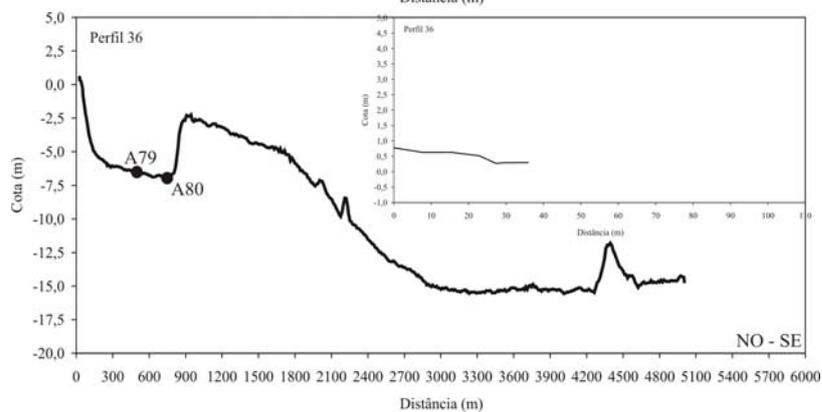
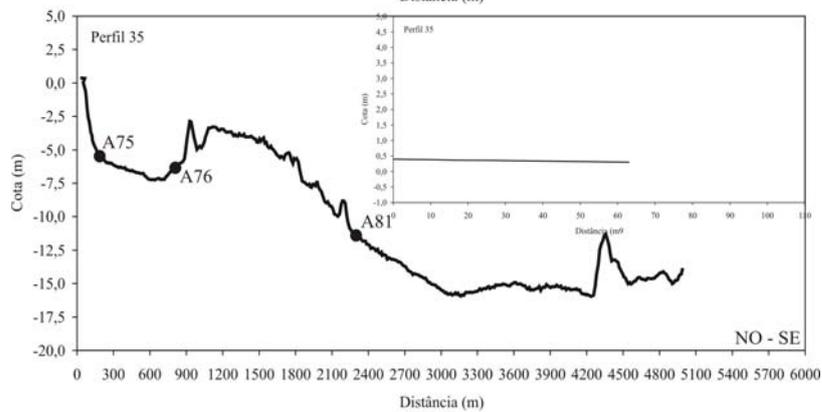
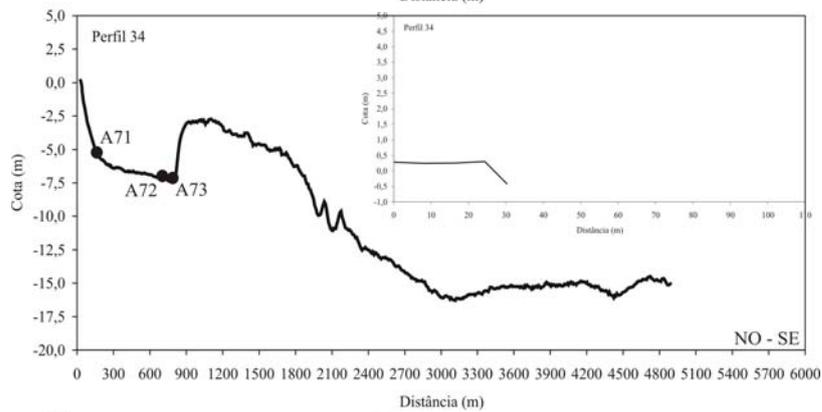
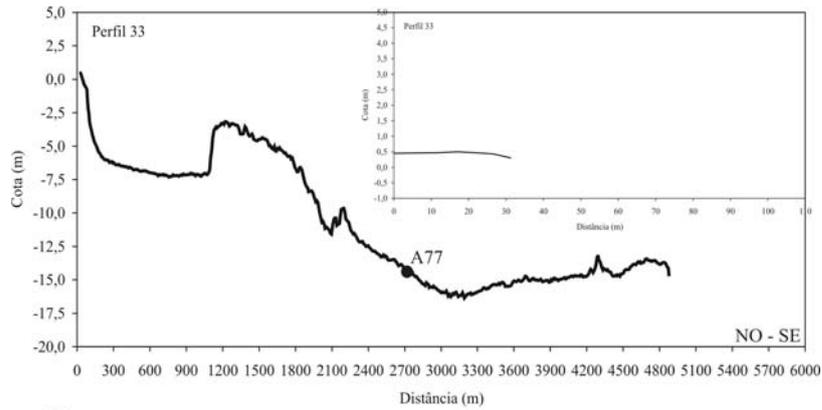
Perfis Topobatimétricos de 21 a 24.



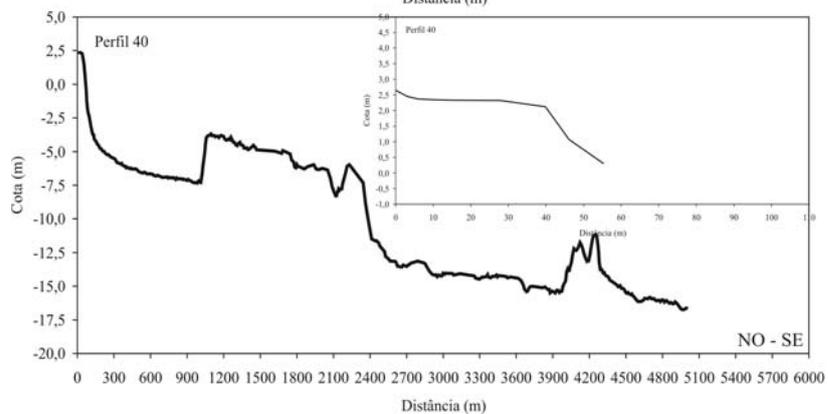
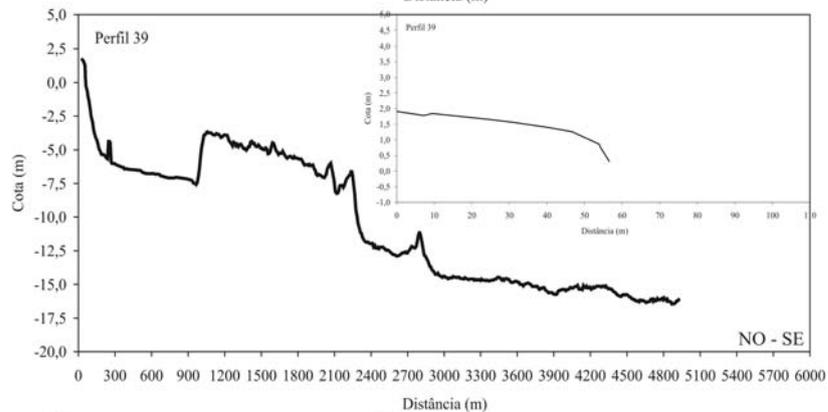
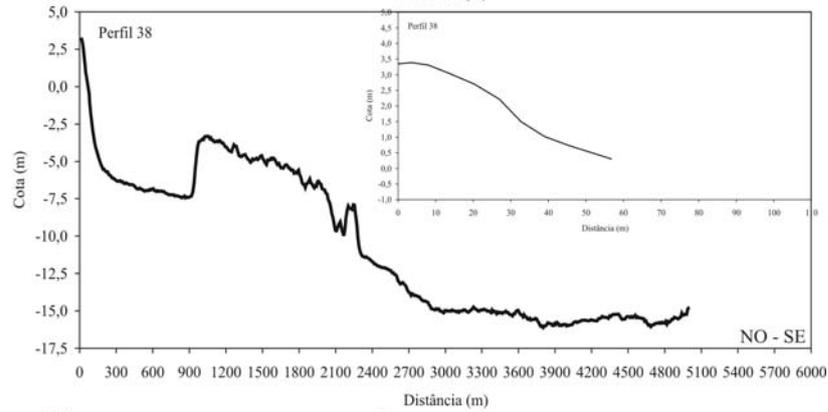
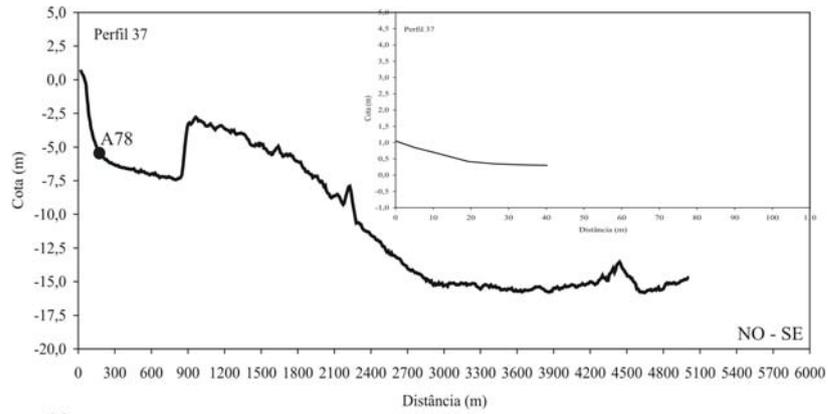
Perfis Topobatimétricos de 25 a 28.



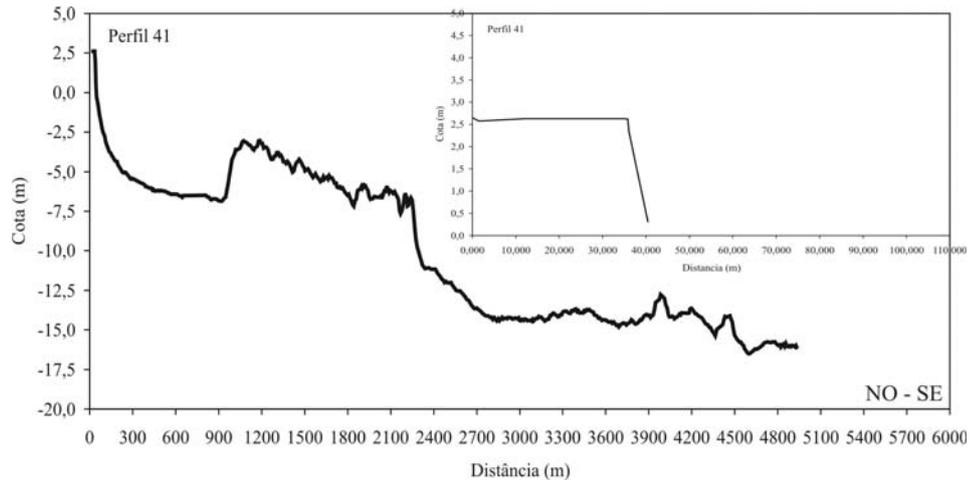
Perfis Topobatimétricos de 29 a 32.



Perfis Topobatimétricos de 33 a 36.



Perfis Topobatimétricos de 37 a 40.



Perfil Topobatimétrico 41.