



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ - UECE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

RAQUEL CAVALCANTE SOARES

**EVOLUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BANCO
SEDIMENTAR DE FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL**

APOIO:



Fortaleza – CEARÁ
2012

RAQUEL CAVALCANTE SOARES

**EVOLUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BANCO
SEDIMENTAR DE FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Geografia. Área de concentração: Análise Geoambiental e Ordenação do Território nas Regiões Semiáridas e Litorâneas.

Orientação: Prof. Dr. Jáder Onofre de Moraes

**Fortaleza – CEARÁ
2012**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Estadual do Ceará
Biblioteca Central Prof. Antônio Martins Filho
Bibliotecário (a) Leila Cavalcante Sátiro – CRB-3 / 544

S676e Soares, Raquel Cavalcante.
Evolução e caracterização do Banco sedimentar de Fortaleza, Ceará, Brasil / Raquel Cavalcante Soares. — 2012.
CD-ROM : 115 f. : il. (algumas color.) ; 4 ¾ pol.

“CD-ROM contendo o arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico, acondicionado em caixa de DVD Slin (19 x 14 cm x 7 mm)”.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2012.

Área de Concentração: Análise Geoambiental e ordenamento de Territórios de Regiões semi-áridas Litorâneas.

Orientação: Prof. PHD. Jáder Onofre de Moraes.

1. Jazida sedimentar. 2. Caracterização sedimentar. 3. Evolução da restinga. 4. Título.

CDD: 910



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – CCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UECE–ProPGeo



FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome da Dissertação: “Evolução e Caracterização do Banco Sedimentar de Fortaleza, Ceará, Brasil”.

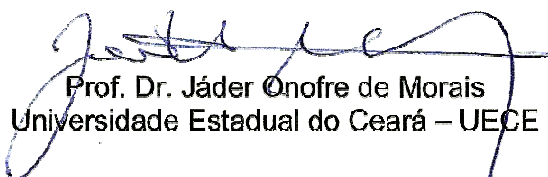
Data da Defesa: 31/07/2012

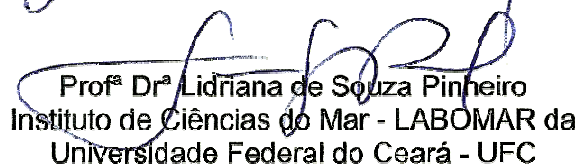
Nome da Autora: Raquel Cavalcante Soares

Nome do Orientador: Prof. Dr. Jäder Onofre de Moraes (Orientador)

Trabalho apresentado ao Programa de Pós Graduação em Geografia – CCT/UECE, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geografia, Área de Concentração: Análise Geoambiental e Ordenamento de Territórios de Regiões Semi-Áridas e Litorâneas.

BANCA:


Prof. Dr. Jäder Onofre de Moraes
Universidade Estadual do Ceará – UECE


Profª Drª Lidriana de Souza Pinheiro
Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR da
Universidade Federal do Ceará - UFC


Prof. Dr. Georg Friedrich Irion
Forschungsinstitut Und Natur-Museum Senckenberg - FNMS

Dedico essa dissertação...

*...aos meus pais, **Filúvio e Janilce**, que na minha primeira palavra escrita já se orgulhavam como seu eu fosse uma doutora do saber; à minha avó, **Maria de Lourdes**, que me ensinou o valor da educação e do trabalho, sempre acreditando que eu chegaria onde almejasse; ao meu irmão, **Humberto**, que mesmo nos momentos de dificuldade me faz sorrir;*

*E ao meu companheiro, **Germano**, que disponibilizou seu tempo, sua paciência e todo seu amor incondicional. Essa dissertação jamais se concretizaria sem sua dedicação.*

À vocês, meu carinho, amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que está presente em todos os momentos da minha vida, recebendo em suas mãos tudo o que lhe entrego.

Ao Programa de Apoio a Núcleos de Excelência, que a partir do projeto *POTENCIALIDADES e MANEJO AMBIENTAL NA EXPLORAÇÃO DE GRANULADOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESTADO DO CEARÁ* subsidiou à pesquisa, os campos e os equipamentos. Sem esse apoio, esta dissertação continuaria apenas uma meta indefinida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior – CAPES, pelo incentivo à pesquisa e pelo apoio financeiro que foi de fundamental importância ao progresso desta pesquisa.

Ao meu orientador, professor Jáder Onofre de Moraes, que acreditou em meu potencial na entrevista de seleção para bolsista em 2007 e, desde então, me orienta com paciência, dedicação, incentivo e entusiasmo. Agradeço por ter me ensinado, com a juventude de um eterno desbravador, a importância de se trabalhar com afinco e amor na disseminação da pesquisa científica. E, por fim, agradeço por nos acolher, crias do LGCO, em sua casa, juntos de sua esposa e filhos como uma grande família.

À professora Lidriana de Souza Pinheiro que, apesar da pouca idade, já é uma grande profissional. Sua personalidade enérgica e sua ânsia pelo novo contagia os alunos que têm o privilégio de conviver ao seu lado, além de seu dom natural de enxergar as habilidades escondidas em cada um de nós. Obrigada pela disponibilidade, orientação, amizade e por ter nos levado “na bagagem” com a senhora até o LABOMAR.

Ao professor Georg Friedrich Irion, que aceitou o convite de compor a banca e enriquecer o trabalho e a discussão acadêmica com seus valiosos conhecimentos, tornando, ao mesmo tempo, o nosso ambiente de trabalho mais animado com suas “visitas”. É sempre um prazer trabalhar com o senhor.

Ao professor Luis Parente Maia, que deu contribuições muito importantes ao trabalho e abriu as portas do LABOMAR para nos auxiliar, prestando todo o apoio logístico necessário.

Ao Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica – LGCO, que tornou as pesquisas na iniciação científica e no mestrado possíveis através de equipamentos para os campos e equipamentos para análises em laboratório.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia (ProPGeo) e todos os professores do programa, por serem sempre prestativos e, em especial, à Júlia e à professora Lúcia Brito. Além dos funcionários de convívio da Universidade Estadual do Ceará.

Aos pesquisadores do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, graduandos, mestrandos, doutorandos, professores e técnicos, pelo apoio logístico em campo e nos laboratórios. Obrigado de coração, Pedro Ângelo, Cida, Kleber, Rodolfo, Bárbara, Airton e Buda.

Ao Davis Pereira de Paula, amigo que ganhei no LGCO, manifesto minha sincera gratidão por sempre estar disposto a nos ajudar desde a graduação, quer referente aos assuntos profissionais ou pessoais.

Ao Leonardo Hisley, por ser sempre muito prestativo todas as vezes que eu recorri a sua ajuda, independente da quantidade de afazeres que possuía.

Ao Francisco Gleidson, pela paciência e boa vontade, me auxiliando no trabalho e sempre tirando minhas dúvidas ao telefone ou no LABOMAR.

Ao Aloísio, que colaborou com todas as dissertações realizadas no LGCO e que, não sendo diferente nessa pesquisa, apoiou-me também.

Ao Grupo de Interesse Ambiental – GIA e à Claudia Bezerra, um exemplo de ser humano, os quais foram fundamentais na minha trajetória.

Aos bons e velhos amigos de graduação, LGCO e de todas as horas que estiveram presentes em minha jornada na UECE e contribuíram, direta ou indiretamente, para essa dissertação acontecer: Glacianne, Marisa, João, Mariana Aquino, Judária, Sílvia, Carlos Farrapeira, Laldiane, Neide, Jorge, Carol, Tatiana, João Sérgio, Paulo Henrique e Miguel; todos vocês foram fundamentais nessa conquista.

À nova safra do LGCO, amigos recentes que garantem a perpetuação do saber no laboratório: Renan Pinheiro, Mailton, Maciel, Patrícia, Guilherme, André, Luciano, Bárbara e Sílvia. Ao Eduardo, em especial, declaro minha sincera gratidão pela imensurável ajuda no processamento das amostras, sempre com muita paciência e disposição; e à Brígida, que se disponibilizou a me ajudar na pipetagem e nas dúvidas. Será sempre ótimo estar na presença de todos vocês.

À Mariana Navarro e Renan Lima, que, além de grandes amigos, compartilharam comigo as dificuldades e alegrias do mestrado finalizado com uma grande vitória pessoal; ao Gustavo Henrique, amigo do peito, que me ajudou em todas as vezes que precisei.

Às boas amizades que encontrei e reencontrei na minha turma de mestrado.

À Andrea Queiroz que, além de grande amiga, acreditou em mim profissionalmente e ouviu todos os meus desabafos.

À minha família que sempre me apoiou e acreditou na minha capacidade de superar obstáculos e vencer.

Por fim, à todos os amigos que me apoiaram incondicionalmente, sofreram e torceram por mim, entendendo a minha ausência nesta reta final.

Muito obrigada, de coração!

*"Faça tudo, busque o impossível,
Mas, meu amigo,
Respeite o mar.
O sábio marinheiro sabe que
Ele jamais venceu uma tormenta,
Apenas e tão-somente apenas,
Foi o mar que deixou
Ele passar."*

Velejador Helio Setti Jr.

RESUMO

O banco sedimentar, objeto de estudo desta pesquisa e reconhecido neste trabalho como jazida potencial de granulados marinhos, está localizado ao largo da enseada do Mucuripe no litoral noroeste da cidade de Fortaleza, próximo ao molhe de proteção do Porto do Mucuripe. Estudos demonstraram que esse banco surgiu somente a partir de 1940 com a implantação da área portuária e seu respectivo molhe de proteção, quando a dinâmica sedimentar foi modificada, redirecionando fortes ondas em direção à linha de costa que dispersou os sedimentos para a plataforma continental interna. Este trabalho traça um panorama de evolução e classificação desta estrutura deposicional associadas à erosão. Para a sua realização, foram analisados os agentes climáticos, oceanográficos e geológicos-geomorfológicos, assim como procedeu-se à classificação de sedimentos resultantes de coletas utilizando embarcação e equipamentos apropriados no mês de março de 2011. As formas de fundo na jazida e adjacências foram identificadas e confirmadas pela interpretação dos dados de batimetria obtidos a bordo, consubstanciando a sua evolução. A diferença entre batimetrias feitas em 1997 e 2011 demonstra que a área onde o canal foi dragado apresentou uma perda (erosão artificial) de 2,5 a 4,5 metros de profundidade, área de maior perda de material. Fortaleza é caracterizada como uma cidade de clima tropical quente sub-úmido com ventos alísios predominantes dos quadrantes NE a SE, que influenciam diretamente tanto a paisagem emersa como submersa, controlando sua dinâmica costeira e marinha. No litoral, predominam as ondas *sea* de E-SE e, em eventos de ressaca, ocorrem ondas *swell* oriundas do quadrante NE. As marés são formadas por ondas semidiurnas com desigualdade de amplitude e período médio de 12,4 segundos nas ondas de marés. O município é, ainda, formado por duas feições morfológicas: relevo litorâneo e a superfície aplainada das coberturas cenozoicas. As análises granulométricas proporcionaram informações como espessura dos grãos, seleção, brilho e outras classificações que permitiram a caracterização sedimentar do banco: houve distribuição de areia muito grossa em 17,6% da amostra, areia grossa em 40,6% e areia média em 27%. No grau de seleção, predominou a classe moderadamente selecionado e, na curtose, a maior classificação foi a leptocúrtica. O resultado destas análises é relevante para definição do material a ser utilizado da indústria da construção civil e em recuperação de áreas degradadas. O teor de carbonato de cálcio encontrado foi menor que 30%, categorizando os sedimentos como siliciclásticos. Na morfoscopia e morfometria, todas as amostras foram classificadas como de alta esfericidade, sendo 62,5% angulares e praticamente a totalidade possuindo brilho vítreo. Tais análises, em conjunto com a evolução histórica e sedimentar, possibilitaram a caracterização do banco sedimentar de Fortaleza, o qual reflete a dinâmica costeira da área, e permitem subsidiar a exploração dos granulados marinhos dessa jazida para usos na recuperação de praias, construção e indústria.

Palavras-chaves: Jazida sedimentar. Caracterização sedimentar. Evolução da restinga.

ABSTRACT

The bank sediment, object of this research and recognized potential field of marine granulates, is located along the Mucuripe cove at the northwest coast of Fortaleza, near to the breakwater protecting the Port of Mucuripe. Studies showed that the bank emerged only after 1940 from the implementation of the port area and its respective pier protection, when the sediment dynamics has been modified, redirecting strong waves toward the shore line which dispersed the sediments to the internal continental shelf. This dissertation sets an overview of the evolution and classification of this depositional structure associated to erosion. For its achievement, the climatic, oceanographic and geological-geomorphologic agents were analyzed, as well as the classification of sediments resulting from collection using a vessel and appropriate equipment in March 2011. The shapes of the field fund and adjacent areas were identified and confirmed by the interpretation of bathymetry data obtained on board, consolidating its evolution. The difference between bathymetries made in 1997 and 2011 exposed that the area where the channel was dredged showed a loss (artificial erosion) of 2.5 to 4.5 meters deep, the area with highest loss of material. Fortaleza is characterized as a city with hot sub-humid tropical weather with prevailing trade winds from NE to SE quadrant, which directly influence both the emerged and submerged landscape, regulating its coastal and marine dynamics. On the shore, waves of the "sea" type predominate from E-SE and, in undertow events, "swell" type waves comes from the NE quadrant. The tides are formed by semidiurnal, unequal amplitude waves with an average period of 12.4 seconds in the tidal waves. The city is, also, formed by two morphological features: coastal relief and the flat surface of Cenozoic coverage. Grain size analysis provided data such as the thickness of the grains, assortment, brightness and other classifications that allowed the characterization of the sediment deposit: there was distribution of very thick sand in 17.6% of the sample, 40.6% thick sand and medium sand in 27%. About the degree of assortment, the predominant class was the moderately assorted and, in the kurtosis, the highest sort was the leptokurtic. The results of these analyzes is relevant to define the material that is going to be used in the construction industry and recovery of damaged areas. The content of calcium carbonate was found to be less than 30%, categorizing the sediment as siliciclastic. In morphoscopy and morphometry, all samples were found to have high sphericity, 62.5% of them being angular and practically all having a vitreous luster. Such analyzes, combined with the historical and sedimentary evolution, allowed the characterization of the sediment deposit in Fortaleza, which reflects the dynamics of the coastal area and subsidize the exploitation of marine granulates from this field for use in beach recovery, construction and industry.

Keywords: Sediment field. Sediment characterization. Sandbank evolution.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Brasil e sua divisão em quatro ZEEs: Norte, Nordeste, Central e Sul. Fonte: Programa REVIZEE	24
FIGURA 2 – Plataforma continental brasileira. Fonte: Modificado de Palma (1984) por Soares (2012)	27
FIGURA 3 – Carta Náutica 710 da Marinha do Brasil destacando o banco sedimentar de Fortaleza	32
FIGURA 4 – Variação da velocidade do vento e temperatura analisadas em um curto período do dia 21/03/2011	35
FIGURA 5. Taxa de insolação e evaporação em Fortaleza. Fonte: INMET (<i>apud</i> Moura 2009, p.75).	36
FIGURA 6 – Gráfico de precipitação e temperatura no ano de 2011. Fonte: INPE (2011)	38
FIGURA 7 – Rosa de Ondas referente ao litoral do Estado do Ceará. Variação das direções e altura significativa. Fonte: Maia <i>et al.</i> (2008)	40
FIGURA 8 – Altura e período de onda de 2007 a 2009. Fonte: Soares (2009)	41
FIGURA 9 – Distribuição das fácies sedimentares na área do Porto do Mucuripe, baseada em dados de 1969 e 1970 (MORAIS, 1972)	48
FIGURA 10 – Fluxograma metodológico	50
FIGURA 11 – Mapa da rota percorrida pelo barco lagosteiro no banco sedimentar de Fortaleza	54
FIGURA 12 – Rota dos pontos de coleta gerada no programa GPS <i>TrackMaker</i>	55
FIGURA 13 – Coleta de sedimentos realizada nos dias 18 a 20 de março de 2011 no banco sedimentar de Fortaleza, próxima ao porto do Mucuripe	56
FIGURA 14 – Processos da batimetria: 1 - malha realizada no programa GPS <i>TrackMaker</i> ; 2 – GPS de marca <i>GARMIN</i> ; 3 – barco lagosteiro utilizado na campanha de campo ; 4 – laptop e dados no formato internacional NMEA; 5 - modelo digital batimétrico gerado	57
FIGURA 15 – Processo de aquisição e processamento de dados batimétricos. Fonte: Monteiro (2011)	58
FIGURA 16 – Ondógrafo usado em campo	59
FIGURA 17 – Ilustração de funcionamento do perfilador de correntes ADCP, que calcula as intensidades e direções por célula de medição, ao longo de um perfil. Os	

cálculos são feitos baseados no efeito Doppler, causado pela movimentação do material em suspensão, o qual ecoa uma frequência transmitida. Fonte: <i>Acoustic Doppler Profiler Technical Documentation</i>	60
FIGURA 18 – Esquema da análise granulométrica realizada no LGCO	63
FIGURA 19 – Esquema da pipetagem realizada no LGCO	65
FIGURA 20 – Esquema de matéria orgânica analisada no LABOMAR	66
FIGURA 23 – Calcímetro de Bernard modificado – análise da quantidade de teores de CaCO_3	67
FIGURA 24 – Esquema de Calcímetro de Bernard modificado analisado no LABOMAR	68
FIGURA 25 – Esquema de morfoscopia analisado no LGCO/ UECE	69
FIGURA 24 – Amostras selecionadas para morfoscopia	69
FIGURA 25 – Início da Construção do Porto do Mucuripe em 1939. Nota-se um possível aplainamento devido ao desmonte das dunas para a instalação do canteiro de obras do porto. Fonte: Arquivo Nirez (<i>apud</i> FECHINE 2007), modificada por Soares (2009)	71
FIGURA 26 – Enseada do Mucuripe Antes da Construção do Porto. Fonte: Arquivo Nirez (<i>apud</i> REBOUÇAS 2010)	72
FIGURA 27 – Montagem das cartas náuticas 701 mostrando a formação do banco sedimentar de Fortaleza. Fonte Adaptado da DHN (<i>apud</i> REBOUÇAS 2010)	73
FIGURA 28 – Identificação da Jazida da Plataforma Continental. Fonte: Maia <i>et al.</i> (2008, p. 43)	74
FIGURA 29 – Localização dos perfis realizados no ADCP	77
FIGURA 30 – Dados de corrente coletados em campo	78
FIGURA 31 – Classificação granulométrica dos sedimentos coletados em campo – 18/03/2011 a 20/03/2011	82
FIGURA 32 – Localização da bacia de evolução e das estações de coletas de água e sedimentos na Enseada do Mucuripe. Fonte: Moraes (1972)	85
FIGURA 33 – Levantamento batimétrico do banco sedimentar de Fortaleza 1997, área de restinga	95
FIGURA 34 – Levantamento batimétrico do banco sedimentar de Fortaleza 2011, área de restinga	96
FIGURA 35 – Interpolação das duas batimetrias, 1997 e 2011	97

FIGURA 36 – Profundidades registradas pela batimetria e corrigidas pelo ondógrafo	99
FIGURA 37 – Batimetria do banco sedimentar de Fortaleza 2011 plotada	100
FIGURA 38 – Resultado do grau de arredondamento e esfericidade das amostras	104
FIGURA 39 – Fotografias das amostras vistas através do microscópio óptico	106

LISTA DE MAPAS

MAPA 1 – Localização da área de estudo	21
MAPA 2 – Compartimentação dos ambientes da área de estudo	45
MAPA 3 – Fácies sedimentares	83
MAPA 4 – Classificação dos sedimentos segundo o seu grau de seleção	87
MAPA 5 – Classificação dos sedimentos segundo sua assimetria	90
MAPA 6 – Classificação dos sedimentos segundo sua curtose	92
MAPA 7 – Classificação dos sedimentos segundo a matéria orgânica	101
MAPA 8 – Classificação dos sedimentos segundo o teor de carbonato de cálcio	103

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Perfis realizados com ADCP	60
TABELA 2 – Classificação dos sedimentos em função do tamanho do grão. Fonte: Suguio (1973)	62
TABELA 3 – Coletas retiradas da proveta no espaço de tempo segundo a metodologia utilizada.....	64
TABELA 4 – Pipetagem e classificação das amostras pela média	81
TABELA 5 – Porcentagem por classe de amostra	84
TABELA 6 – Classificação dos dados de morfometria e morfoscopia dos sedimentos coletados em campo	105

LISTA DE ABREVIATURAS

ADCP	<i>Acoustic Doppler Current Profiler da Sontek</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CDC	Companhia Docas do Ceará
CNUDM	Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GPS	<i>Global System Position</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LABOMAR	Instituto de Ciências do Mar
LGCO	Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica
NMEA	National Marine Electronics Association
PETCOM	Planejamento Engenharia Transporte Consultoria
PMF	Prefeitura Municipal de Fortaleza
PRONEX	Programa de Apoio a Núcleos de Excelência
REVIMAR	Programa de Avaliação do Potencial Sustentável e Monitoramento dos Recursos Vivos do Mar
REVIZEE	Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva
SAG	Sistema de Análise Granulométrica
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SIG	Sistema de Informações Geográficas
UECE	Universidade Estadual do Ceará
UFC	Universidade Federal do Ceará
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Localização da área de estudo.....	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1 Zona Econômica Exclusiva – ZEE	23
2.1.1 Zona Econômica Exclusiva Nordeste	25
2.2 Plataforma Continental	25
2.2.1 Plataforma Continental Cearense	27
2.3 Granulados Marinhos.....	28
2.3.1 Granulados Marinhos Bioclásticos	30
2.3.2 Granulados Marinhos Siliciclásticos	30
2.4 Restinga ou flecha litorânea.....	31
3 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DO LITORAL DE FORTALEZA	33
3.1 Aspectos climáticos.....	33
3.1.1 Ventos	33
3.1.2 Análise da velocidade dos ventos	34
3.1.3 Insolação e Evaporação	35
3.1.4 Precipitações.....	36
3.2 Aspectos Oceanográficos	38
3.2.1 Ondas.....	38
3.2.2 Clima de Ondas.....	40
3.2.3 Ondas Swell e os Eventos de Ressaca.....	41
3.2.4 Marés	42
3.2.5 Correntes.....	43
3.3 Breve Análise da Geologia e Geomorfologia do litoral de Fortaleza.....	44
3.3.1 Caracterização física da área de estudo	46

4 MATERIAIS E MÉTODOS	49
4.1 Levantamentos bibliográficos.....	51
4.2 Levantamentos cartográficos	51
4.3 Trabalhos de campo.....	52
4.3.1 Coleta de sedimentos.....	53
4.3.2 Batimetria	56
4.3.3 <i>Acoustic Doppler Current Profiler</i> – ADCP	59
4.4 Etapas de laboratório.....	61
4.4.1 Análise Granulométrica	61
4.4.2 Pipetagem	63
4.4.3 Matéria Orgânica.....	65
4.4.4 Calcímetro de Bernard Modificado	66
4.4.5 Morfometria e morfoscopia.....	68
 5 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA	 70
5.1 A Construção do Porto do Mucuripe e as mudanças ocasionadas na paisagem natural.....	70
5.2 A formação do Banco Sedimentar de Fortaleza e a evolução sedimentológica da enseada do Mucuripe	72
5.3 Os granulados marinhos como alternativa para recuperação de praias	73
 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	 76
6.1 ADCP	76
6.2 Fácies sedimentares	80
6.2.1 Grau de seleção.....	85
6.2.2 Grau de assimetria	88
6.2.3 Curtose	91
6.3 Batimetria.....	93
6.4 Teor de matéria orgânica.....	100
6.5 Teor do Carbonato de Cálcio dos sedimentos marinhos	102
6.6 Morfometria e morfoscopia	104

7 CONCLUSÕES	108
---------------------------	------------

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
--	------------

1 INTRODUÇÃO

Dentre todos os objetos que podem atrair a curiosidade incansável de um pesquisador, o mar certamente responderá por uma fração de destaque no que tange às publicações científicas. Este corpo de magníficas proporções, números, efeitos e encantos representa o próprio sangue do nosso planeta se considerarmos as inúmeras funções que exerce dentro de todos os contextos harmonicamente equilibrados nos quais a vida encontrou aconchegante ninho para se desenvolver, protegida de toda a acidez das forças cósmicas que cercam a Terra.

Esta manta de água repousada sobre a superfície terrestre não só estabelece preceitos fundamentais em nossos climas ou biomas. Nele reside a origem e a continuação da vida quando observamos toda a massa de nutrientes da qual depende o homem para viver. Seu volume, cuja vastidão é impressionante mesmo aos olhos mais experimentados ao sacudir das ondas, ainda é, entretanto, pouquíssimo explorado. As distâncias que certos pontos do mar guardam da Terra o tornam uma verdadeira arca dos tesouros sem formas, sem trancas, mas igualmente cheia de segredos.

Os fundos oceânicos, em todas as suas dimensões, sempre revelaram ao homem surpresas quando explorados com paixão e método. Eles nos contam histórias de naufrágios, revelam fartas bolsas de petróleo e o gás, nos atraem só com a escuridão impenetrável das fossas. Os aventureiros que se entregaram a fazer e responder suas perguntas foram inúmeros - como também vários foram aqueles que no afã de sua insaciabilidade ou descuido perderam-se em suas tormentas e caprichos.

Apesar das baixas, as gerações de pesquisadores vocacionados ao mar jamais cessaram de surgir. Nesse sentido, esta pesquisa, embora trate-se de ínfimo esforço quando analisada no contexto dos mais de trezentos e vinte milhões de milhas cúbicas de água que nos cercam, nunca deixará de ser, também, uma homenagem e uma cria da primeira grande aventura nos fundos oceânicos realizada em 1960 por Jacques Piccard e Donald Walsh, quando estes desbravaram os onze quilômetros de profundidade da Fossa das Marianas no batiscafo Trieste.

Como não poderia deixar de ser, o interesse por explorar novas fronteiras do mar instiga também a comunidade científica brasileira. Memoráveis investigações

foram meticulosamente conduzidas por pesquisadores brasileiros na área de ciências marinhas. O Programa Nacional de Geologia e Geofísica Marinha – PGGM – certamente merece expoente como adjetivo. Criada em 1969 por um grupo de pesquisadores que visavam a exploração geológica e geofísica global da margem continental brasileira, esta iniciativa trouxe material de inestimável valor para o conhecimento geográfico e oceanográfico brasileiro.

Outra façanha que produziu incontáveis resultados científicos e teve referências geográficas mais próximas de Fortaleza, no estado do Ceará, foram as Operações Oceanográficas Norte-Nordeste I e II. A bordo do navio oceanográfico Almirante Saldanha, Coutinho & Moraes (1968) compartimentaram a plataforma continental no primeiro mapeamento de fundo marinho do norte e nordeste do Brasil em várias fácies sedimentológicas, desde Recife, Pernambuco, até o Cabo Orange, extremo norte do Amapá e do próprio litoral brasileiro.

Desde então as pesquisas realizadas na plataforma continental brasileira ganharam espaço. Há que se destacar os estudos de sedimentos marinhos de origem terrígenas ou carbonáticas que ocorrem especificamente nas praias e na plataforma continental – os granulados marinhos. O trabalho aqui exposto está inserido em um projeto maior chamado "Potencialidades e Manejo Ambiental na Exploração de Granulados da Plataforma Continental do Estado do Ceará", subsidiado pelo PRONEX com coordenação geral do professor Dr. Jáder Onofre de Moraes. Somam esforços a esta pesquisa o envolvimento de todas as instituições do PGGM da região Nordeste, bem como a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, instituições que já publicaram inúmeros trabalhos sobre os granulados marinhos.

O Projeto de Excelência em Granulados Marinhos do Estado do Ceará vislumbra na exploração um meio de inserir a academia no setor produtivo, já que o Brasil, em especial o Nordeste, possui depósitos praticamente inesgotáveis de calcário biogênico/biodetrítico e siliciclásticos pouco explorados. Pensando nessas jazidas existentes no nordeste – mais especificamente no Ceará – foram selecionadas duas áreas iniciais: Icapuí e Camocim. Porém, no litoral oeste de Fortaleza, localizado na bacia de evolução do Porto do Mucuripe, encontra-se uma jazida formada após a construção do mencionado equipamento. Apesar de já existirem trabalhos nesse banco submerso, existem condições favoráveis a um novo monitoramento na área: suas dimensões espaciais relativamente compactas, com

aproximadamente 7 km de extensão, possibilitaram um estudo mais profundo, com elevado nível de detalhamento. Nesta pesquisa, a jazida foi nomeada por banco sedimentar de Fortaleza.

Para alcançar este grau de detalhamento expressivo, foram coletadas 254 amostras que descreveram e classificaram o banco. Isso não ocorreu sem, entretanto, trazer um resgate histórico dos trabalhos já realizados na área; eis então por que objetivou-se, nesse trabalho, traçar um panorama de evolução e classificação do banco sedimentar de Fortaleza.

A partir da relação integrada das análises propostas foi possível realizar uma interpretação aprofundada da interação dos processos costeiros e da caracterização do banco sedimentar, permitindo atestar considerações sobre as formações de feições geomorfológicas, geológicas e geográficas da plataforma continental. Ainda embasam estes estudos a classificação morfodinâmica e hidrodinâmica da área, que se mostram como aspectos quantitativos. Torna-se, assim, possível descrever e interpretar o panorama evolutivo da restinga, além de gerar resultados cartográficos a partir de análises sedimentológicas promovidas ali. Por fim, após a classificação dos granulados marinhos com auxílio de ecobatímetro e coletas, pode-se ter uma considerável noção dos setores explotáveis. Corroborando com a utilidade prática destes setores, traremos nesta pesquisa exemplos de trabalhos de exploração que encontram-se em andamento à data.

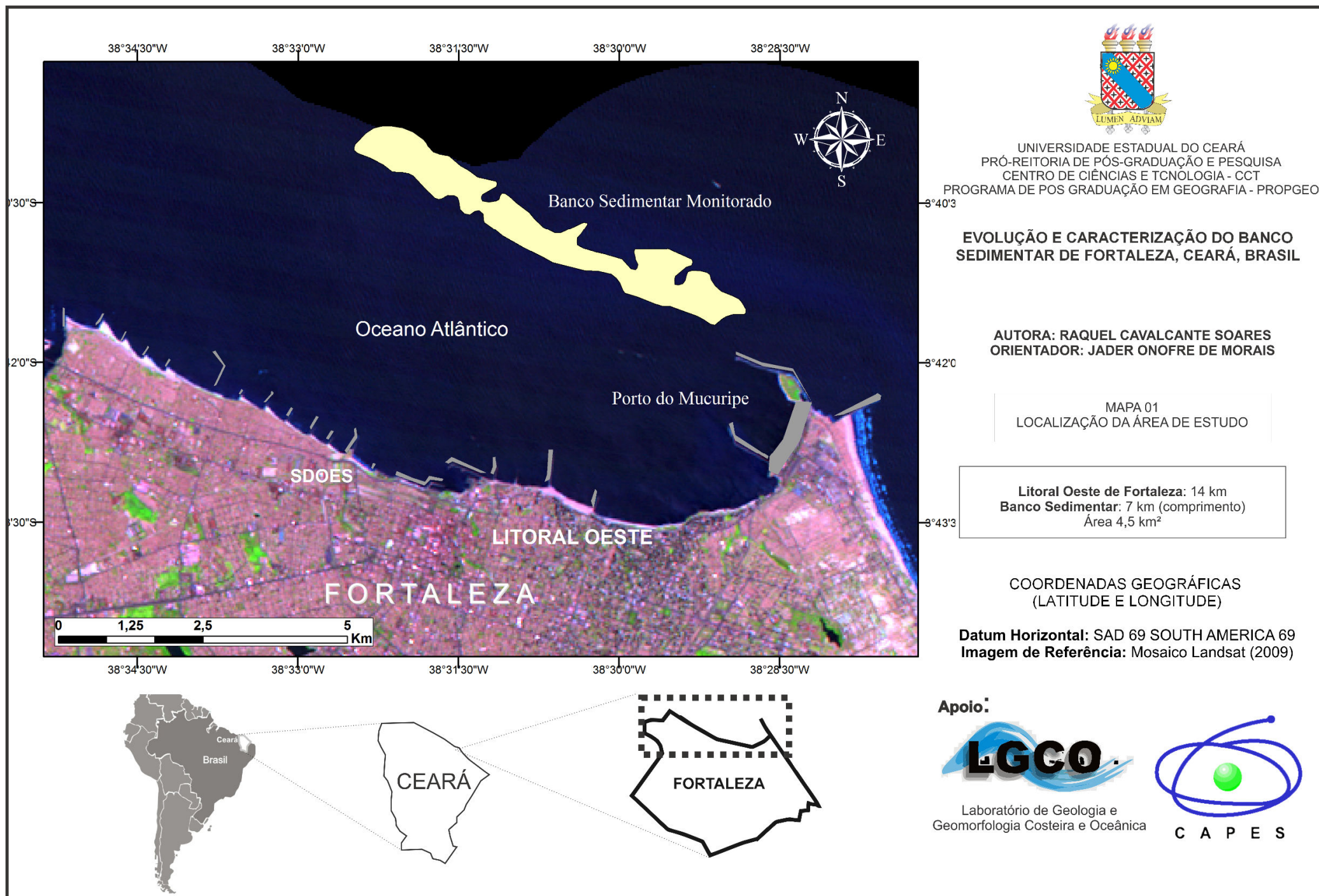
1.1 Localização da área de estudo

O banco sedimentar de Fortaleza está localizado na plataforma continental interna, com posição melhor precisada na bacia da enseada do Mucuripe, próximo ao molhe de proteção do porto no litoral oeste de Fortaleza. A campanha de campo realizada em março de 2011 mostrou que o banco sedimentar monitorado tem aproximadamente 7,0 (sete) km de extensão e 4,5 km² de área. A largura varia entre os 250 e 850 metros, mas mantém uma média de 500 metros.

No entorno da restinga, foi plotado um retângulo delimitando a área das coletas e a rota onde a embarcação fez sua trajetória. Tais passagens podem ser visualizadas no Mapa 01, mais adiante, e as coordenadas dos limites são:

- a) $03^{\circ} 40' 08,02302''\text{S}$ / $038^{\circ} 32' 42,90058''\text{W}$, que em coordenadas UTM resulta em 551066,923 / 9595674,684 (ponto 254);
- b) $03^{\circ} 39' 28,40334''\text{S}$ / $038^{\circ} 32' 24,53570''\text{W}$, que em coordenadas UTM resulta em 550499,784 / 9594458,450 (ponto 247);
- c) $03^{\circ} 41' 17,44981''\text{S}$ / $038^{\circ} 28' 37,94133''\text{W}$, que em coordenadas UTM resulta em 558055,016 / 9592322,552 (ponto 7);
- d) $03^{\circ} 41' 49,57188''\text{S}$ / $038^{\circ} 28' 52,82842''\text{W}$, que em coordenadas UTM resulta em 557595,213 / 9591336,502 (ponto 1).

Será sobre essa delimitação, abaixo das águas que a cobrem, que o presente trabalho de pesquisa será construído.



2 REFERENCIAL TEÓRICO

A base bibliográfica do trabalho aqui apresentado foi fundamentada em livros, artigos, *papers* e documentos teórico-metodológicos que caracterizassem a área adotada e possibilitassem o desenvolvimento dos objetivos propostos na pesquisa.

Os trabalhos realizados anteriormente no objeto de estudo desta investigação científica foram de suma importância para analisar a classificação geológica, os processos dinâmicos e a evolução sedimentar, correlacionando tais informações e transformações.

Dentre a bibliografia que foi adotada nesta pesquisa alguns trabalhos se destacam pela sùmula contribuição:

- a) Morais (1972, 1980, 1981) aborda os processos de assoreamento, transporte e evolução sedimentar na enseada do Mucuripe;
- b) Maia *et al.* (2000, 2002, 2007) estudaram a localização de jazidas e viabilidade da dragagem de granulados siliciclásticos da plataforma interna para recuperação das praias de Areia Preta (RN), Iracema (CE) e Náutico (CE), respectivamente;
- c) Cavalcante e Freire (2006) estudaram bancos arenosos nas imediações do Porto de Fortaleza e sua potencialidade, pelas características granulométricas e químicas, como jazidas de agregados para a construção civil.

Também foram de notório auxílio alguns trabalhos sobre granulados marinhos no Ceará:

- a) Dias (1996, 2000) e Freire *et al.* (1984) identificaram e classificaram os sedimentos marinhos na plataforma continental do Ceará;
- b) rochas e minerais como recursos industriais do mar foram tema de discussão por Morais e Pinheiro (2006) destacando as potencialidades de exploração no Estado do Ceará.

Há ainda que se mencionar estudos realizados na Plataforma Continental brasileira e do Ceará, além dos que destinaram atenção à caracterização geológica que também vieram a embasar este trabalho:

- a) Cavalcanti *et al.* (1993, 1994) realizou estudos plataforma interna do Estado do Ceará e Martins *et al.* (2007) na Plataforma Continental brasileira;
- b) Freire e Cavalcante (1998) estudaram a cobertura Quaternária da Plataforma Continental do Estado do Ceará e as principais potencialidades de exploração mineral. As fácies sedimentares na plataforma continental do Ceará foram reorganizadas e zoneadas como geofácies por Moraes (2000) para fins de gestão territorial, que inclui as possibilidades de exploração.

Vale salientar que a discussão teórica transpassa os conceitos e teorias apresentados no presente capítulo, estando contido em todas as etapas da dissertação.

2.1 Zona Econômica Exclusiva – ZEE

A IIIª Conferência das Nações Unidas sobre Direito do Mar (1973 a 1982) culminou com a assinatura da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) em Montego Bay, Jamaica, a 10 de Dezembro de 1982. Esse tratado define o conceito de Zona Econômica Exclusiva (ZEE), que por sua vez constitui um conceito de espaço marítimo ao representar uma área que se estende desde o limite exterior do Mar Territorial, de 12 milhas náuticas (mn) de largura, até 200mn perpendiculares à costa.

"A zona econômica exclusiva é uma zona situada além do mar territorial e a este adjacente..." (CNUDM, art. 55) e "...não se estenderá além de 200 milhas marítimas das linhas de base a partir das quais se mede a largura do mar territorial" (CNUDM, art. 57). A Convenção garante ao Estado costeiro "...direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais, vivos ou não vivos das águas sobrejacentes a leito do mar, do leito do mar e seu subsolo..." (CNUDM, art. 56, par. 1, alínea a).

Neste contexto, devemos mencionar o REVIZEE - Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva. Trata-se de um extinto programa do governo brasileiro criado em 1994 que foi coordenado pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM); ao ser finalizado, foi substituído pelo Programa de Avaliação do Potencial Sustentável e Monitoramento dos Recursos Vivos do Mar (REVIMAR), que assumiu como objetivos identificar os recursos marinhos e estabelecer os seus potenciais sustentáveis na ZEE brasileira (FIGURA 1) e, naturalmente, procedeu a levantamentos cartográficos e em campo. Era imprescindível envidar esforços nesta meta, uma vez que a CNUDM previu que "Quando o Estado costeiro não tiver capacidade para efetuar a totalidade da captura permissível deve dar a outros Estados acesso ao excedente desta captura, mediante acordos ou outros ajustes..." (CNUDM, art. 62, par. 2).

Todavia, é preciso lembrar que o mecanismo descrito no artigo anterior é submisso à jurisdição que o Estado costeiro tem para regulamentar pesquisas científicas marinhas, quer de cunho nacionais ou internacional. Nos termos da própria Convenção já aqui mencionada, cada nação "...tem o direito exclusivo de construir e de autorizar e regulamentar a construção, operação e utilização de: a) ilhas artificiais; b) instalações e estruturas...." (CNUDM, art. 60, par. 1). No sentido de viabilizar este levantamento e controle de recursos, a ZEE brasileira foi dividida em quatro porções, como se vê na FIGURA 1, a seguir.

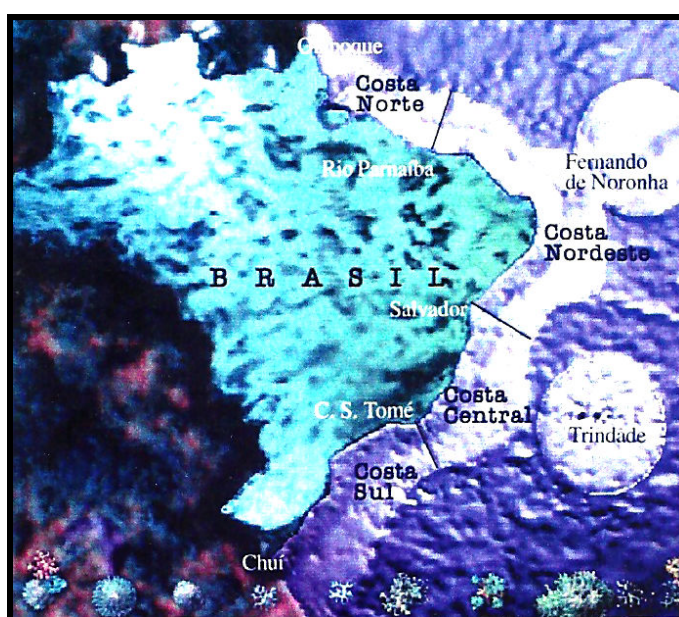


FIGURA 1 – Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Brasil e sua divisão em quatro ZEEs: Norte, Nordeste, Central e Sul. Fonte: Programa REVIZEE

2.1.1 Zona Econômica Exclusiva Nordeste

A ZEE - Nordeste do Brasil foi limitada entre os paralelos 2°S e 13°S e meridianos 34°W a 41°W. Para fins de melhor referência, convencionalmente se têm como elementos limitadores na costa a foz do rio Parnaíba (PI) a noroeste e a baía de Todos os Santos (BA) ao sul.

Sobre a ZEE - Nordeste, ela delimita-se:

Entre o limite do mar territorial brasileiro, de 12 milhas náuticas, até as 200 milhas náuticas da costa, perfaz-se um total de aproximadamente 1 (um) milhão de quilômetros quadrados de área na zona aqui discutida. Ao longo do litoral, deltas e estuários, com plataforma continental estreita, se descortinam do Ceará à Bahia (18 a 25 mn de largura), com as distâncias da costa à isóbata de 200m variando entre as 10 e 35 mn, que seriam os pontos ao largo de Recife (PE) e Fortaleza (CE), respectivamente (KEMPF et al., 1970).

2.2 Plataforma Continental

Na plataforma continental predominam relevos planos de natureza essencialmente sedimentar, moldados tanto pelos processos tectônicos globais como pelos eventos relacionados à dinâmica sedimentar atuante nos últimos milhares de anos.

Suguio (2003) define a plataforma continental como a zona marginal dos continentes caracterizada por suave declividade (menos de 1:1000) que se estende da baixa-mar média até a profundidade de cerca de 180 m, onde tem início o talude continental. O relevo local da plataforma continental é liso ou terraceado, com desnível inferior a 18m.

A largura da plataforma continental é bastante variável em termos globais. Embora tenha uma média de 75 km, não raro ultrapassa os 300 km. Na Patagônia (Argentina), por exemplo, a mesma chega aos 500 km, somente menos impressionante que os 1200 km de largura verificados ao norte da Austrália. No Brasil, maior largura da plataforma continental ocorre no estuário do Rio Amazonas, onde se medem cerca de 200 km. É interessante lembrar que esta porção da

margem continental esteve quase totalmente emersa durante o clímax da última glaciação pleistocênica do Hemisfério Norte.

Na plataforma continental ocorre a subdivisão em plataforma interna – onde está o objeto de estudo desta pesquisa – e plataforma externa, vindo a se admitir, às vezes, a plataforma média. A plataforma interna, que pode ser também conhecida como plataforma proximal, inicia-se no nível médio de maré baixa e estende-se aproximadamente até os 30 m de profundidade. Nesta porção, a salinidade e a temperatura são extremamente variáveis. Com a iluminação ainda abundante, o desenvolvimento da fauna marinha vegetal e animal mantêm-se favorecido. Em baías, podem aparecer fundos lamacentos, mas em trechos de oceano aberto o fundo é caracteristicamente arenoso.

Segundo Souza (2005) a largura da plataforma é variável, sendo estreita no nordeste do Brasil (30 km). Além das profundidades menores que 200m e gradiente suave ($1 - 0,1^\circ$), outras características principais desses ambientes são salinidade marinha normal (35‰) e uma ampla variedade de processos físicos, como correntes de marés, ondas, correntes geradas por tempestades e correntes oceânicas. Os mares plataformais apresentam um perfil distinto, representado por uma superfície de equilíbrio relacionada à base das ondas e caracterizado por um balanço entre erosão e deposição.

Coutinho & Morais (1968) afirmam que as plataformas no Nordeste brasileiro são caracterizadas por sedimentos majoritariamente do retrabalhamento *in situ* de depósitos pretéritos (sedimentos relíquias). Na Operação Oceanográfica Norte-Nordeste I e II, a plataforma continental norte e nordeste do Brasil foi compartimentada em várias fácies sedimentológicas desde Recife até o Cabo Orange, classificando a composição dos sedimentos como silicosos e carbonáticos.



FIGURA 2 – Plataforma continental brasileira. Fonte: Modificado de Palma (1984) por Soares (2012)

2.2.1 Plataforma Continental Cearense

Conforme Martins & Coutinho (1981) a plataforma continental cearense possui uma largura média de 63 km, apresentando largura máxima de 101 km na altura de Camocim, a oeste de Fortaleza, e mínima de 41 km em Tremembé, município de Itapuí, a leste de Fortaleza. "A plataforma é cortada por paleo-canais parcialmente preenchidos e formados por rios durante períodos de nível baixo do mar" (MARTINS & COUTINHO, 1981; ARZ *et al.*, 1999). "A classificação da plataforma interna é considerada, segundo a literatura científica pertinente, profundidade até onde a onda pode transportar carga de fundo" (KENNTT, J., 1982) "e no estado do Ceará estende-se até os entornos da isóbata de 20 metros" (MORAIS, 1981, MORAIS, 1998), "com uma largura de até 8 km, predominando a fácies de areais quartzosas" (CAVALCANTI e FREIRE, 1994).

Segundo as pesquisas realizadas no REVIZEE (2009), foi identificada uma quebra da plataforma continental do Ceará que ocorre numa zona facilmente identificada nos perfis batimétricos e sísmicos. A zona de quebra situada à oeste de Fortaleza apresenta-se mais larga, diminuindo progressivamente no sentido leste. Na área a leste de Fortaleza, essa zona apresenta-se bem mais estreita e com uma declividade mais acentuada.

Com constantes trabalhos na plataforma do Ceará, Freire (1984,1985,1986,1993,1998) propôs que ela fosse dividida somente em plataforma interna e externa:

- a) a plataforma interna, de 0 a 30 m de profundidade, apresenta relevo regular com um declive bem acentuado até a isóbata de 10/15 metros. Após essa isóbata, apresenta relevo com algumas irregularidades. A cobertura sedimentar é composta, predominantemente por areias quartzosas com zonas colonizadas pelas algas calcárias *Halimeda* e *lithothamnium*, (*maerl*). A fauna é constituída de moluscos, com ou sem foraminíferos bentônicos, e as associações carbonáticas não mostram sinais de retrabalhamento;
- b) a plataforma externa, acima dos 30 metros de profundidade, apresenta relevo irregular. Na cobertura sedimentar predominam cascalhos, areias e lamas biodetríticas, sendo as *Halimedas* mais abundantes e o teor de carbonato de cálcio superior a 75%. As associações carbonáticas são muito retrabalhadas.

2.3 Granulados Marinhos

Silva *et al.* (2004. p.245) afirma que os granulados marinhos são depósitos não metálicos, compostos por cascalhos, areias e argilas, terrígenos ou carbonáticos, que ocorrem nas margens continentais, mais especificamente nas regiões litorâneas e nas plataformas continentais (área de exploração e exploração de granulados marinhos). De acordo com sua origem, podem ser classificados em materiais litoclásticos, provenientes da erosão das rochas cristalinas ou sedimentares, ou como materiais bioclásticos, provenientes da fragmentação e

remanejamento das carapaças e esqueletos de organismos marinhos após sua decomposição.

"Grande parte desses depósitos está vinculada ao transporte fluvial, ocorrendo em vales fluviais ora afogados e/ou remobilizados pela alta energia de plataforma rasa (antigas praias e ilhas de barreira)" (MARTINS *et al.*, 1967) "e, em alguns casos, especialmente na ocorrência de cascalho, por atividade de gelo ou fluvio-glacial" (AMATO, 1994).

Sobre os granulados marinhos:

Os termos granulados (*granulats*) ou agregados (*aggregates*) são usados para designar materiais minerais tais como areias, cascalhos e materiais fragmentados provenientes de rejeitos de minas. Os granulados marinhos podem ser compostos por areias e cascalho litoclásticos (siliciclásticos), areias calcárias (*sables calcaires*) e algas calcárias (*maerl* e *Lithothamnium*). Os granulados bioclásticos marinhos são aqueles de composição carbonática, constituídos por algas calcárias (*maerl* e *Lithothamnium*) ou por fragmentos de conchas (coquinas e areias carbonáticas) (DIAS, 2000).

Conforme Souza e Martins (2007), o crescimento de programas e projetos voltados ao aproveitamento dos recursos minerais marinhos ocorrentes na plataforma continental brasileira tem conduzido a uma análise mais acurada das potencialidades e limitações da exploração desses, possibilitando à sociedade a utilização de uma fonte alternativa de granulados siliciclásticos, por exemplo, o que irá diminuir a pressão antrópica sobre os ambientes fluviais, local preferencial para retirada de grãos a serem utilizados na construção civil.

No contexto mundial, países como Japão, França, Inglaterra, Estados Unidos, Países Baixos e Dinamarca destacam-se na exploração de granulados marinhos que são utilizados nas indústrias da construção civil, recuperação de retrogradação costeira, indústria de tintas, corretivos agrícolas e cargas industriais, dentre outras aplicações comerciais.

2.3.1 Granulados Marinhos Bioclásticos

As rochas carbonáticas representam uma importantíssima matéria-prima natural tanto pelo número e diversidade de aplicações como pela quantidade consumida para fins industriais.

Os sedimentos bioclásticos predominantes são as associações de *Halimeda* e de algas coralíneas. Estas duas associações carbonáticas foram definidas como depósitos com potencialidade para exploração econômica, tendo sido definidas duas fácies sedimentares: areias e/ou cascalhos de *Halimeda* e areias e/ou cascalhos biodetríticos (semelhante ao *maerl*). Na plataforma continental de Fortaleza predominam, entre os sedimentos bioclásticos, os depósitos de areias e/ou cascalhos biodetríticos, podendo ocorrer subordinados os depósitos de areias e/ou cascalhos de *Halimeda*. Em alguns locais, o *maerl* ocorre como areia e/ou cascalho de algas coralíneas (CAVALCANTI & FREIRE, 2007).

Segundo Dias (2000) os granulados bioclásticos marinhos, no Brasil, são formados principalmente por algas calcárias (*Maerl* e *Lithothamnium*, na França). Apenas as formas livres (*free-living*) das algas calcárias, tais como rodólitos, nódulos, e seus fragmentos, são viáveis para a exploração econômica, pois constituem depósitos sedimentares inconsolidados, facilmente coletados através de dragagens.

2.3.2 Granulados Marinhos Siliciclásticos

Sobre os granulados marinhos litoclásticos e a formação dos seus depósitos:

Em sua grande maioria, os depósitos de granulados marinhos litoclásticos foram formados pelo afogamento de antigos depósitos fluviais em decorrência das variações positivas do nível do mar relativo durante o período Quaternário, onde o mar sofre significativas variações devido à formação das calotas polares. Agregados marinhos siliciclásticos e seu aproveitamento representam fatores de relevante importância

socioeconômica, como na recuperação de praias afetadas pela erosão (MARTINS & TOLDO JR., 2006a).

Segundo Martins (2007) uma das vantagens é de poder suprir grandes volumes muito próximos das áreas urbanas, reduzindo de forma drástica o impacto do transporte.

Encontramos um caso de recuperação da praia no litoral oeste de Fortaleza, mais especificamente no Aterro da Praia de Iracema e da Praia da Beira-mar. Em 2001, a Prefeitura realizou um projeto de aterramento, “[...] de 100m, com extensão de um quilômetro, entre a Avenida Barão de Studart e a altura da Rua João Cordeiro, onde já existia um espigão, com o objetivo de preservar a faixa de praia que estava sendo tragada pelas ondas” (FURLANI, 2001, p.4).

Em 2010, em parceria com o LABOMAR, a prefeitura de Fortaleza realizou o Projeto Executivo Emergencial de Proteção da Praia de Iracema e Praia da Beira-mar com o objetivo de requalificar e regenerar o perfil de praia dessas áreas aterradas através da cubagem de sedimentos, além de apresentar a cubagem do espigão necessária para a contenção dos sedimentos colocados na Praia da Beira-mar.

Esses exemplos ressaltam a importância de estudos que utilizam granulados marinhos e a exploração desses sedimentos constituintes das fácies sedimentares, principalmente os siliciclásticos e bioclásticos, com os menores impactos ambientais possíveis.

2.4 Restinga ou flecha litorânea

Restinga, ou flecha litorânea, é classificada como:

a faixa ou língua de areia, depositada paralelamente ao litoral, graças ao dinamismo destrutivo e construtivo das águas oceânicas. Esses depósitos são feitos com apoio em pontas ou cabos que comumente podem barrar uma série de pequenas lagoas, como acontece no litoral do sul da Bahia ao Rio Grande do Sul (GUERRA e GUERRA, 2005).

Na Amazônia chama-se de restinga os diques marginais ou pestanas que se depositam na planície do leito maior, junto ao curso de água. O mecanismo

genético de tais diques é o transporte de aluviões por uma corrente fluvial, no momento de uma inundação.

Os autores problematizaram a origem desses depósitos litorâneos em três teorias principais:

- a) as correntes marinhas secundárias;
- b) influência do modelado do fundo do mar, sendo a praia formada nos limites da ação das vagas;
- c) o efeito das vagas de translação e as correntes de marés.

Do ponto de vista geomorfológico, o litoral de restinga possui aspectos típicos, como faixas paralelas de depósitos sucessivos de areias, lagoas resultantes do represamento de antigas baías, pequeninas lagoas formadas entre as diferentes flechas de areias, dunas resultantes do trabalho do vento sobre a areia da restinga, formação de barras obliterando a foz de alguns rios etc.

No presente trabalho, a restinga será doravante denominada como banco sedimentar de Fortaleza, localizado próximo ao Porto do Mucuripe (FIGURA 3).

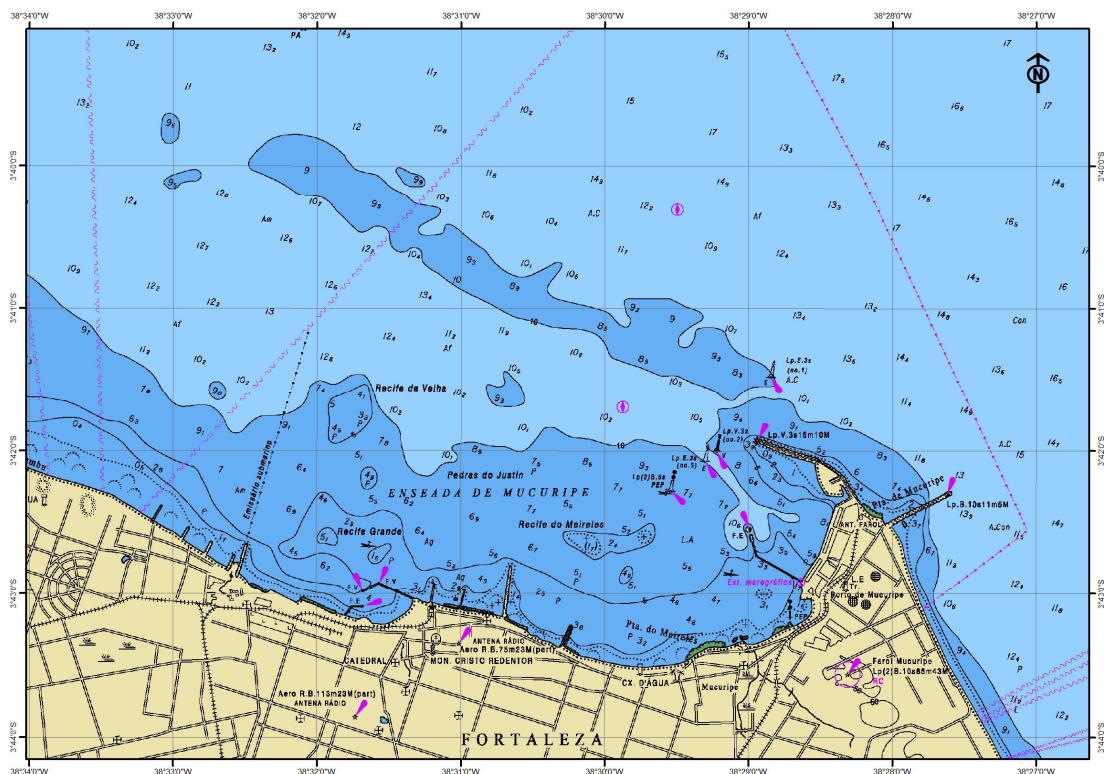


FIGURA 3 – Carta Náutica 710 da Marinha do Brasil destacando o banco sedimentar de Fortaleza

3 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DO LITORAL DE FORTALEZA

A caracterização da cobertura sedimentar e sua mobilidade em função dos parâmetros climáticos, hidrológicos e oceanográficos definem a geomorfologia e a dinâmica de um lugar. Para a devida caracterização da área de estudo é de fundamental importância analisar e coletar informações *in situ* acerca dos parâmetros oceanográficos, sendo estes as ondas, as marés e as correntes.

A análise das condições climáticas de uma região é fundamental, pois o clima se reflete nos processos e formas geomorfológicas, na formação dos solos e na distribuição da cobertura vegetal no regime dos rios e, portanto, na disponibilidade dos recursos hídricos.

3.1 Aspectos climáticos

A região costeira do Ceará possui uma paisagem bastante diversificada devido à influência dos fatores climáticos, acarretando condições atmosféricas diferenciadas entre a faixa úmida e sub-úmida. O clima em Fortaleza é o tropical quente sub-úmido e possui influência direta na formação da paisagem e na sua dinâmica.

Os dados abordados nesse capítulo foram pesquisados na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME, no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE e congregam ainda informações do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Outros dados foram coletados nos trabalhos de campo.

3.1.1 Ventos

A inter-relação entre os fluxos eólicos e a movimentação de sedimentos está sujeita à velocidade dos ventos e das características granulométricas do material. Os ventos, quando relacionados à hidrodinâmica costeira, contribuem para a transformação da paisagem em duas frentes: o transporte de sedimentos e a geração de ondas. No caso desta, a formação acontece através de rajadas de vento,

exercendo variação de pressão que provoca oscilação vertical na superfície da água.

Duarte (1997) enfatiza que a ação direta dos ventos pode retirar a areia dos diversos setores de um campo de dunas e, através do transporte eólico, depositar diretamente o material em diferentes setores da praia. Isso mostra o quanto a ação eólica é fundamental na construção da morfologia da planície litorânea e de suas subunidades geoambientais.

Em seu trabalho de transporte de sedimentos em Fortaleza, Moraes (1980) determinou a direção e a velocidade média dos ventos no município de Fortaleza.

A circulação geral atmosférica que predomina no Estado do Ceará são os chamados ventos alísios dos quadrantes NE a SE. A variação de sudeste para nordeste é estacional e originada pelo deslocamento do equador térmico para o sul do equador geográfico. No inverno predominam os ventos alísios de sudeste com o deslocamento do equador térmico para o norte.

De fevereiro a abril, os ventos são brandos com velocidade média de 3,7 m/s. A partir de maio há progressiva intensificação dos ventos, que apresentam, de agosto a novembro, velocidade média de 6,8 m/s, sendo que no mês de setembro os valores atingem 7,2 m/s, com predominância no quadrante E-SE (MORAIS, 1980, p. 73).

O regime de ventos, como o regime de chuvas, é regido pela Zona de Convergência Intertropical – ZCIT.

3.1.2 Análise da velocidade dos ventos

Com o uso do anemômetro, foi obtido um registro da temperatura, velocidade e direção do vento em campo. O aparelho foi utilizado no dia 21/03/2011, onde foram registradas 22 medidas no período da tarde, entre as 12:19:10 às 12:22:40. A direção da origem predominante foi de NE a SE. As velocidades variaram de 0,8 a 3,8 m/s.

Esses dados identificam a importância das rajadas de vento, uma vez que a velocidade do ar não é constante ao longo do tempo. Tais fenômenos são aumentos rápidos na intensidade da velocidade do vento, mas com pouca duração.

A temperatura dessa mesma avaliação de curta duração variou de 30,2 a 31,3°C, mas tal aferição não representa a amplitude térmica do dia uma vez que as variações diárias de temperatura são amplas e não constantes ao longo do ano. De acordo com dados do INMET que tratam de um período entre 1961 a 1990, os meses de junho a agosto possuem as maiores amplitudes térmicas, podendo as médias diárias de altas e de baixas temperaturas afastarem-se entre si 7° a 8°C. Neste dia específico, o histórico de temperaturas do Banco de Dados Meteorológico do INMET teve como picos 31,2°C a máxima e 25,1°C a mínima, por si só uma variação de 6,1 °C.

A variação tomada ao longo do ano é menor. Segundo a Funceme (2010), a amplitude de temperatura entre as médias de temperaturas máximas e mínimas dos períodos compreendidos como inverno e verão raramente superam os 2° C.

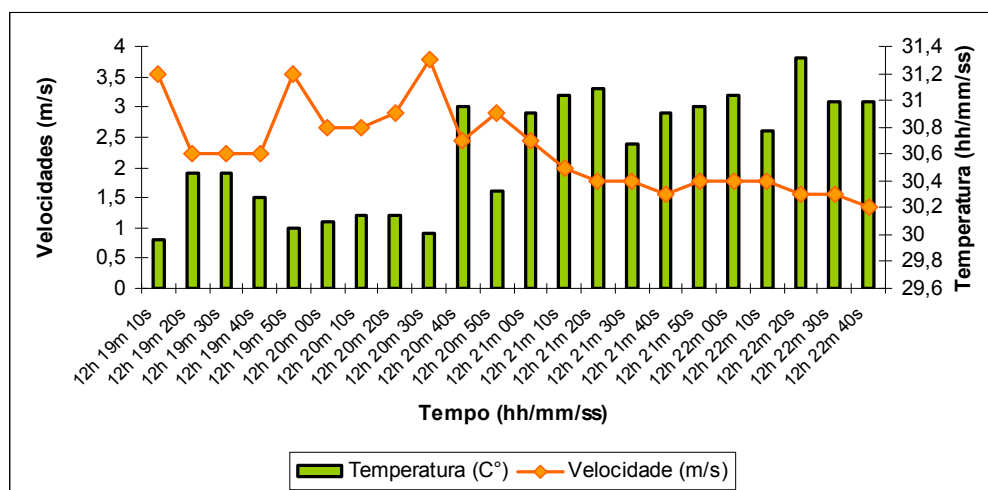


FIGURA 4 – Variação da velocidade do vento e temperatura analisadas em um curto período do dia 21/03/2011

3.1.3 Insolação e Evaporação

A insolação e radiação solar são elementos fundamentais para o equilíbrio do sistema ambiental, especialmente o hidrológico. De acordo com

cálculos realizados pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM (1984), o calor radiante fornecido pelo sol em um período de um ano é capaz de evaporar uma lâmina d'água de 2,7 metros em qualquer manancial d'água armazenado.

No município de Fortaleza, Moraes (1980) afirma que a maior insolação é registrada durante a época de estiagem, que vai de julho a dezembro, com precipitações inferiores a 10 mm no mês de outubro. A FIGURA 5, com dados do INMET de 1961 – 1990, ratifica a afirmativa.

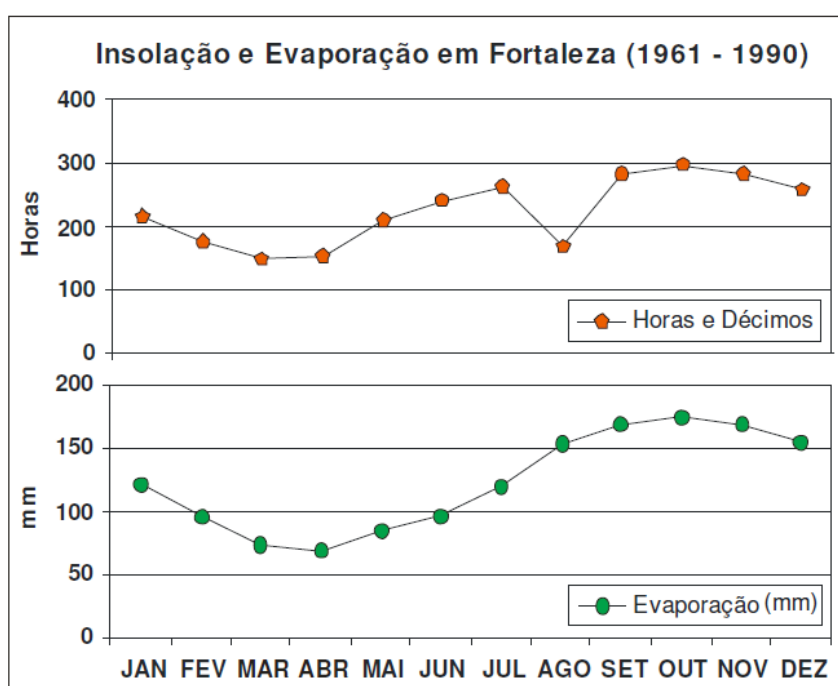


FIGURA 5. Taxa de insolação e evaporação em Fortaleza. Fonte: INMET (*apud* MOURA 2009, p.75).

3.1.4 Precipitações

No Ceará, as chuvas mais significativas iniciam-se em dezembro de cada ano e podem estender-se até junho ou julho, dependendo das condições oceânicas e atmosféricas atuantes. As chuvas que acontecem em dezembro e janeiro são chamadas de chuvas de pré-estação e ocorrem principalmente na região do Cariri, sendo influenciadas pela proximidade de frentes frias que se posicionam sobre a Bahia, sul do Maranhão e Piauí neste período.

Em fevereiro de cada ano inicia-se a chamada quadra chuvosa no estado do Ceará, que se estende até maio. As chuvas nesse período são influenciadas pela presença da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, considerada o principal sistema ocasionador da pluviometria no norte do Nordeste (SILVA *et al.*, 2006).

A ocorrência de anos chuvosos, ou muito chuvosos, no setor norte do Nordeste do Brasil acontece quando as águas do Atlântico Norte estão mais frias que o normal, fazendo com que o Sistema de Alta Pressão do Atlântico Norte – AAN – e os ventos alísios de nordeste intensifiquem-se. Se, neste mesmo período, o Atlântico Sul estiver mais quente que o normal, o Sistema de Alta Pressão do Atlântico Sul – AAS – e os ventos alísios de sudeste enfraquecem. Este padrão favorece o deslocamento da ZCIT para posições mais ao sul da linha do Equador.

Quando o Atlântico Norte estiver mais quente e o Atlântico Sul mais frio, ocorre o contrário, deslocando-se a ZCIT para posições mais ao norte da linha do Equador. Este cenário é propício à ocorrência de anos secos ou muitos secos para o setor norte do Nordeste do Brasil.

"O clima do litoral cearense apresenta como característica principal uma pluviometria tropical do tipo semiárido, com duas estações bem diferenciadas, sendo uma com precipitações de curtas durações e outra com uma estiagem prolongada" (MOURA, 2009). A irregularidade da quadra chuvosa se caracteriza por uma concentração pluviométrica em 4 a 5 meses por ano, balanço hídrico negativo e taxa de evaporação superior à taxa de precipitação. O litoral tem médias pluviométricas acima das registradas no sertão, em decorrência da influência do Oceano Atlântico.

Em 2011, o INPE registrou uma precipitação anual que variou de 10 mm a 350 mm e uma temperatura de 25,7°C a 27,3°C. No mês de março, quando ocorreu o campo embarcado, foi documentada uma precipitação de 340 mm, o segundo mês em que mais choveu naquele ano.

Estima-se que, nesse mesmo mês, o transporte eólico de sedimentos pode ter sofrido alterações já que, segundo Morais (1980), o transporte eólico é diretamente afetado pelas condições climáticas e é favorecido pelo período de estiagem que se estende, em geral, dos meses de agosto a novembro. Os meses de agosto a novembro registraram menos de 50 mm, os índices mais baixos de precipitação em 2011 (FIGURA 6).

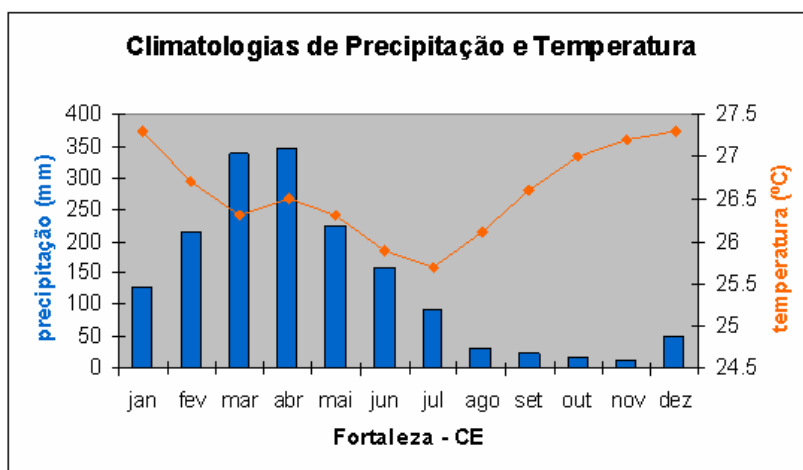


FIGURA 6 – Gráfico de precipitação e temperatura no ano de 2011. Fonte: INPE (2011)

3.2 Aspectos Oceanográficos

A morfologia, a sedimentologia e a dinâmica do litoral dependem dos fatores condicionantes nos quais se destacam as marés, o vento, e as ondas. De acordo com Moraes (1980), o estudo da hidrodinâmica das águas costeiras é de fundamental importância para avaliação do transporte dos sedimentos, zonas de assoreamento, zonas de erosão, dispersão de poluentes e materiais em suspensão.

3.2.1 Ondas

As ondas constituem o principal condicionante da paisagem litorânea, uma vez que a energia dissipada pelas ondas na praia tem influência direta nas atividades de erosão, transporte e deposição de sedimentos.

O trabalho utilizado como referência na caracterização do litoral de Fortaleza foi desenvolvido por Moraes (1980), pioneiro na classificação do comportamento das ondas e marés na área. Neste trabalho, a direção das ondas é classificada da seguinte forma: as ondas mais frequentes são as do quadrante E-SE e são as principais responsáveis pelo encaminhamento das areias no sentido leste para oeste.

As menos frequentes são as do quadrante NE e são as mais erosivas. Esta teoria seria ratificada em um trabalho posterior de Maia (1998) que analisou uma sequência de 4 anos de medições de ondas realizadas no Porto do Mucuripe

(Fortaleza). A direção das ondas no litoral oeste de Fortaleza é basicamente E-NE e E-SE, com ocorrência de ondas *sea*, e NE quando há a ocorrência de ondas do tipo *swell*. Soares (2009) observou a predominância das direções de 104°, 106°, 110°, 100°, 98° e 94°, ou seja, ondas nas direções E-SE, no litoral oeste de Fortaleza.

A pesquisa desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH) utilizou uma boia do tipo *Waverider (Datawell)* localizada a uma profundidade média de 16 m a leste do espigão da praia do Futuro, em Fortaleza. Os resultados gerados determinaram os tipos de ondas existentes no litoral através da média da altura das ondas. A média foi de 1,15 m e moda de 1,14 m, apresentando período médio de onda mais frequente de 5,70 segundos, associado à altura significativa, e média de 5,89 segundos, classificando as ondas como *sea*, haja vista que apresentam um período inferior a 10 segundos. As ondas *sea* são formadas sob influência dos ventos locais e são bastante irregulares.

O predomínio de ondas do tipo *sea* representa 94,2% no litoral. As ondas do tipo *swell*, com períodos superiores a 10 segundos, correspondem a 0,28% e o restante das ondas, 5,52%, não puderam ser definidas por estarem situados entre os dois limites, segundo Maia (1998). Os resultados mais específicos poderão ser observados na FIGURA 7.

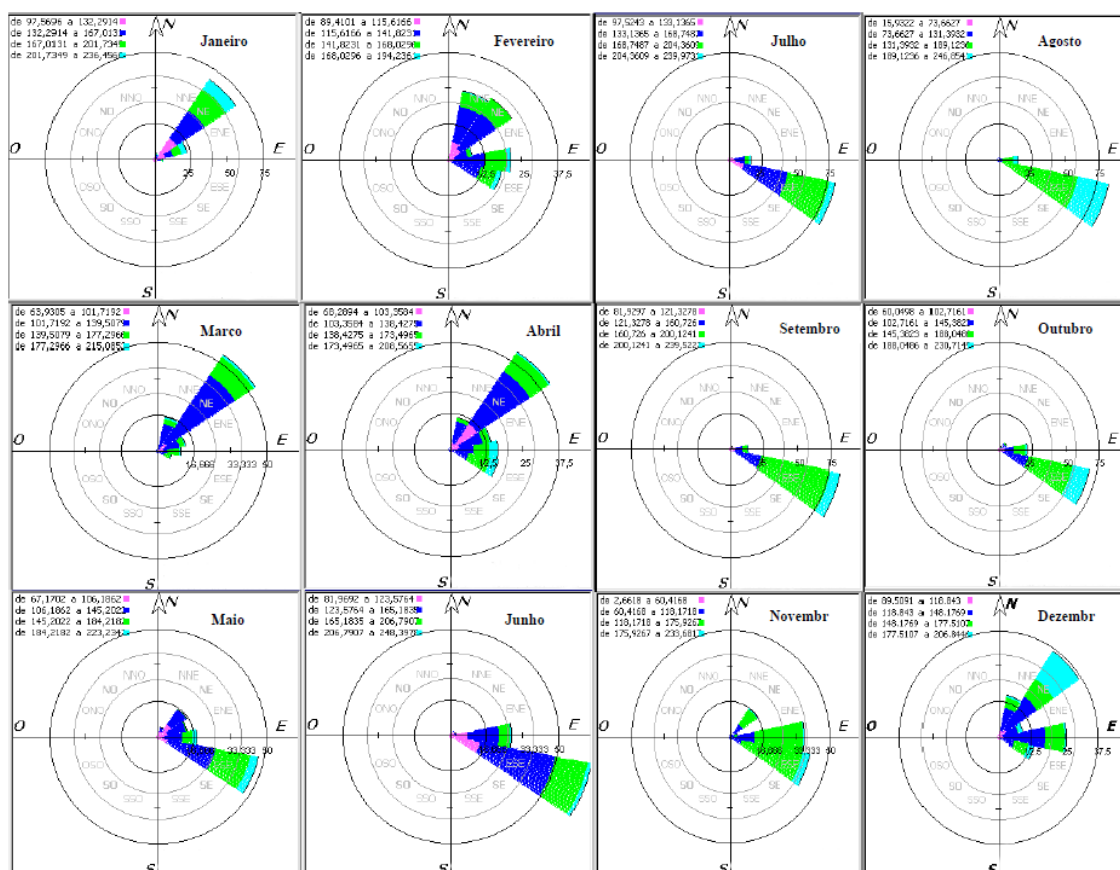


FIGURA 7 – Rosa de Ondas referente ao litoral do Estado do Ceará. Variação das direções e altura significativa. Fonte: Maia *et al.* (2008)

3.2.2 Clima de Ondas

Segundo Maia (2002) o estudo do clima de onda de uma região é de extrema importância, visto que este é um dos processos principais que determina o equilíbrio do seu balanço sedimentar ao longo do litoral. Logo, é a energia das ondas que comanda a dinâmica dos processos de erosão e acúmulo nas zonas costeiras, além de ser uma variável dos processos costeiros de curto e de médio prazo, de acordo com Muehe (1998), "e responsável pelo transporte nos sentidos longitudinal e transversal à linha de costa" (MUEHE, 1998).

No período de 2007 a 2010, o Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica – LGCO – desenvolveu o projeto *ÁREAS DE RISCOS PRIORITÁRIAS PARA MONITORAMENTO, PROTEÇÃO E (RE) ORDENAÇÃO TERRITORIAL EM FUNÇÃO DA EROSIÃO COSTEIRA E ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR* - CNPq. Dentre as áreas adotadas, o litoral oeste de Fortaleza foi

monitorado nos campos realizados nas datas 28/09/2007, 26/10/2007, 21/12/2007, 23/04/2008, 07/05/2008, 29/08/2008, 15/09/2008 e 11/02/2009. Nestes campos foram coletados dados de onda tais como altura, direção em que ela incide e período, a fim de estabelecermos o tipo da onda (*sea* ou *swell*) e se esta é mais propensa à erosão ou acúmulo de sedimentos na praia.

Soares (2009) constatou que a média das alturas das seções avaliadas nas sete seções de monitoramento localizadas da Barra do Ceará à Enseada do Mucuripe foram: ponto 1 – 0,2900 m; ponto 2 - 0,4250 m; ponto 3 - 0,4125 m; ponto 4 - 0,5750 m; ponto 5 - 0,5060 m; ponto 6 - 0,5875 m e ponto 7 - 0,7687 m. O período médio de ondas foi de aproximadamente 7,30 a 8,39 s, o que classifica a onda através da frequência como onda de gravidade, que é uma onda que possui o período entre 1 a 30s. Como Moraes (1980) e Maia (1998), Soares (2009) classificou as ondas avaliadas como tipo *sea*, por possuírem período menor que 10s.

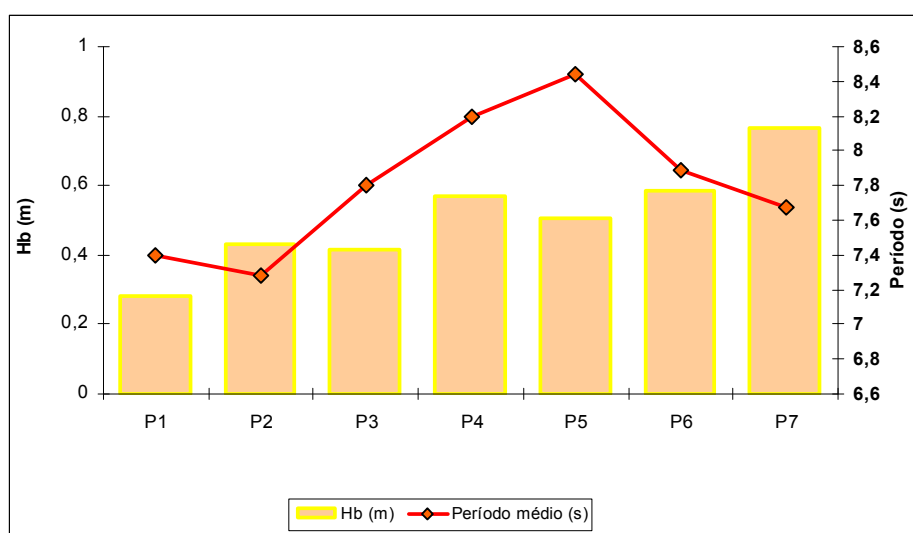


FIGURA 8 – Altura e período de onda de 2007 a 2009. Fonte: Soares (2009)

3.2.3 Ondas *Swell* e os Eventos de Ressaca

O Projeto Básico Emergencial de Proteção/Recuperação da Praia de Iracema (2008), coordenado pelo professor Dr. Luis Parente Maia do LABOMAR no Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR/UFC, em parceria com o Escritório de Projetos Especiais da Prefeitura Municipal de Fortaleza – PMF – reuniu dados de onda, marés e correntes referentes ao litoral oeste de Fortaleza. No projeto, as

ondas *swell* e os eventos de ressaca foram contextualizados e serão comentados a seguir.

De dezembro a abril, os ventos alísios que chegam à costa devido a migração da ZCIT para o sul formam ondas do tipo *Swell*. A chegada dessas ondas provoca as ressacas no estado do Ceará e são formadas no hemisfério norte, vindo então a se propagar para águas rasas. Durante o processo, ocorre a perda de velocidade; porém, em função da conservação da energia, a onda ganha altura, fenômeno denominado de *shoaling*. Para que ocorra a ressaca, é necessária à conjunção da presença do *swell* com marés de sizígia.

O Diário do Nordeste publicou no dia 19/10/2005 uma matéria sobre a ressaca na Praia de Iracema, Fortaleza, Ceará. Registros como esses são recorrentes. A maior ressaca já documentada no litoral de Fortaleza ocorreu no mês de outubro de 1999. Neste evento, as ondas alcançaram períodos de até 20 segundos, 625 metros de comprimento e altura de 2,80 m em águas profundas. Em relação aos *swell* com maiores alturas, os eventos ocorreram em novembro de 1997 e janeiro de 1999, com valores na ordem dos 4 metros.

3.2.4 Marés

Baseado em dados medidos na bacia do Porto do Mucuripe, Moraes (1980) observou que as marés na região são representadas por ondas semidiurnas com desigualdade de amplitude e período médio das ondas de marés de 12,4 horas, havendo uma defasagem média de 50 minutos de um dia para outro. Com base no estudo de tábuas de marés da DHN, determinou-se uma amplitude máxima de 2,7 m para o equinócio de abril no ano de 1976 e amplitude de 3,3 m para máximas de sizígias.

Posteriormente, Maia (1998) analisou dados registrados por um marégrafo LNG-15 do INPH instalado no Porto do Mucuripe, durante 25 de abril de 1995 a 02 de julho de 1996. Foram utilizados 14 registros analógicos mensais. As conclusões relativas ao estudo são:

- a) a amplitude máxima da maré foi de 3,23 m, tendo ocorrido na maré de sizígia do mês de dezembro de 1995, enquanto a amplitude mínima de

maré, com valor de 0,75 m, ocorreu na quadratura do mês de março de 1996;

b) nos meses de junho e dezembro a amplitude das marés aumentou tanto de quadratura quanto de sizígia, ocorrendo o inverso durante os meses de setembro e março. As diferenças temporais de amplitude das marés de sizígia foram de 0,3 - 0,4 m e, nas de quadratura, de 0,4 - 0,5 m;

c) a amplitude das marés apresentou máxima de 3,33 m e mínima de 1,90 m no Porto do Mucuripe;

d) a cota máxima do nível do mar (+3,41 m), determinada após a aplicação da Referência de Nível (RN-3) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com o qual o zero dos mareogramas e das cotas de leitura estão referidos, ocorreu durante a maré de sizígia de janeiro de 1996, enquanto a mínima (-0,15 m) ocorreu nos meses de maio, julho e outubro de 1995. A amplitude máxima possível de ser alcançada pelo nível do mar em função da ação conjunta da maré e das ondas meteorológicas, durante o período analisado, corresponde a 36 cm;

e) O regime de marés na região pode ser caracterizado como de mesomarés com periodicidade semidiurna;

3.2.5 Correntes

A corrente resultante no litoral de Fortaleza é devida unicamente à ação constante dos ventos. Ela é permanentemente orientada na direção noroeste, tangida pelo vento de 80°. Sua velocidade mantém-se sempre abaixo de 1 nó, mas sofre variações dependendo da intensidade dos ventos e posicionamento das marés. "Foi observado que as velocidades decrescem com a profundidade, havendo, no entanto, uma zona de maior intensidade a 2m de profundidade, onde alcança 55 cm/s; na zona superficial permanece, a maior parte do tempo, em 40 cm/s" (MORAIS, 1980).

Características hidrodinâmicas verificadas por intermédio de flutuadores confirmaram que a velocidade das correntes próximas à linha de costa de Fortaleza varia de 0,24 a 0,31 m/s e que, segundo Morais (1981) e Maia (1998), são marcas

da influência da corrente longitudinal criada pela atuação dos ventos alísios e pela incidência de ondas na linha de costa.

3.3 Breve Análise da Geologia e Geomorfologia do litoral de Fortaleza

O município de Fortaleza é formado por duas feições morfológicas distintas:

- a) o Relevo Litorâneo onde se incluem os cordões litorâneos, dunas, planícies de marés e mangues; b) Superfície Aplainada das coberturas cenozoicas. A linha de costa tem uma feição retilínea no litoral leste da cidade e assume aspectos de enseada no litoral oeste (MORAIS, 1980).

O litoral de Fortaleza, localizado na zona litorânea do Nordeste Brasileiro, possui uma formação geológica datada do período Quaternário, com formas de acumulação, como os depósitos de áreas de praia, representados pelas dunas fixas, móveis e semifixas, os depósitos aluvionares flúvio – marinhos, flúvio-lacustres e paleodunas. As formas de acumulação compõem toda a planície litorânea, as planícies fluviais e as áreas lacustres.

"A geologia da área está constituída de coberturas sedimentares cenozoicas (Quaternário), representado na região pelos sedimentos litorâneos presentes nos depósitos praias e pelas rochas de praias (*Beach Rocks*)" (CAVALCANTE, 1998).

A Formação Barreiras compreende os Tabuleiros Pré-litorâneos ou Glacis de Acumulação. A sobreposição à Formação Barreiras dos cordões de dunas presentes no litoral cearense é, conforme expõe Souza (1988), produto do trabalho de deflação e de acumulação eólica.

Souza *et al.* (2009) afirmam que a faixa praial de Fortaleza é composta majoritariamente por sedimentos continentais que foram transportados pela drenagem até o litoral, onde foram retrabalhados pela abrasão marinha e foram recobertos por neossolos quartizarênicos marinhos.

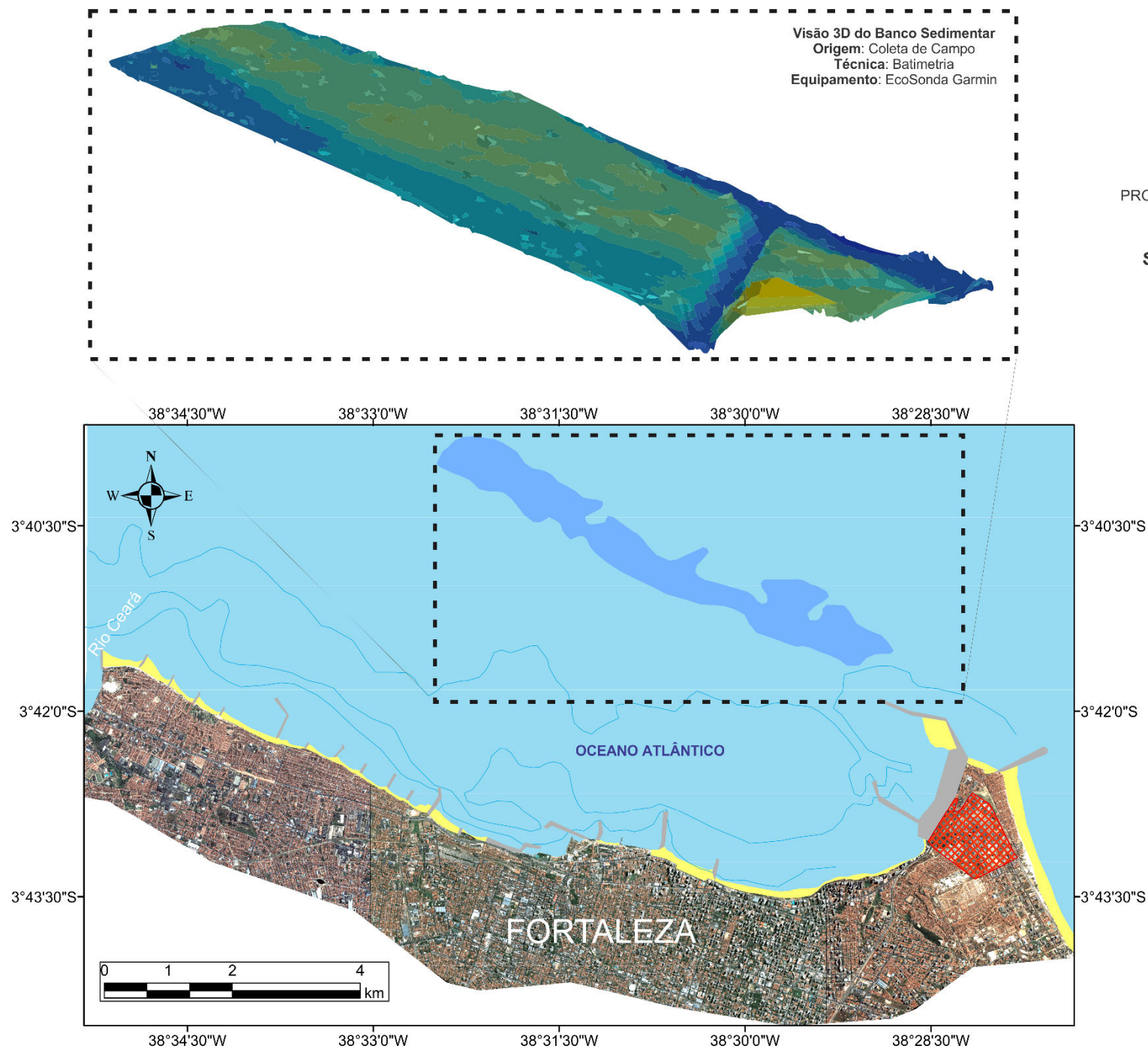


UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PROP GEO

EVOLUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BANCO SEDIMENTAR DE FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL

AUTORA: RAQUEL CAVALCANTE SOARES
ORIENTADOR: JADER ONOFRE DE MORAIS

MAPA 02
COMPARTIMENTAÇÃO DOS AMBIENTES
DA ÁREA DE ESTUDO



Legenda

- Complexo Portuário do Mucuripe
- Obras Costeiras
- Banco de Sedimentos
- Faixa de Praia
- Oceano
- Urbanização



COORDENADAS GEOGRÁFICAS
(LATITUDE E LONGITUDE)

Datum Horizontal: SAD'69 - SOUTH AMERICA 69
Imagens de Referência: QuickBird 2009
CARTA NÁUTICA 710 - MARINHA DO BRASIL

Apoio:



Laboratório de Geologia e
Geomorfologia Costeira e Oceânica



3.3.1 Caracterização física da área de estudo

Uma série de estudos realizados por Moraes (1972, 1980, 1981) descreveram a evolução da enseada do Mucuripe, bacia portuária onde está localizada a área adota na presente pesquisa.

Através de um acervo batimétrico realizado antes e depois da construção do porto Mucuripe, bem como a coleta e análise de sedimentos e sobrevoos na localidade, o autor caracterizou o subsolo marinho (teto do embasamento) como uma espessura de depósitos arenosos e argilosos de superfície que variou de 10 a 20 metros. Segundo Moraes (1981), abaixo deste depósito aparece sempre um solo muito compacto, impenetrável à percussão, localizado nas cotas de 16,0 a 21,4 m (S20).

O fundo impenetrável detectado nas sondagens à percussão foi definido como sendo rochas sedimentares muito consolidadas. O embasamento está a 25 metros de profundidade, revelado nos perfis sísmicos pelas superfícies irregulares de reflexão Moraes (1981).

"Em relação à definição das características sedimentares "A Enseada do Mucuripe é bordejada pelas dunas sobrejacentes aos sedimentos terciários, que se refletem nos arenitos ferruginosos" (MORAIS, 1969), que afloram dentro da própria bacia do porto. "Há alimentação das dunas pelo material da zona do estirão, retrabalhado e lançado nas mesmas, cujo testemunho é o foraminífero *Quinqueloculina lamarckiana d'Orbigny* " (MORAIS & SOUZA, 1971)".

Moraes (1972) classifica a bacia de evolução do porto e Enseada do Mucuripe em seis tipos principais de fácies sedimentológicas a partir de coletas realizadas em 1969 e 1970. A seleção das fácies segue abaixo e é visualmente exposta na FIGURA 9:

- a) Fácies Arenosa - As amostras de sedimentos, correspondentes a este tipo de fácies são as que constituem 100 a 75% da fração areia;
- b) Fácies Mista - Os sedimentos incluídos nesta fácies são aqueles em que os componentes texturais se equivalem porcentualmente;
- c) Fácies Argilo-Síltica - Ocupa a parte central da bacia de evolução, sendo a zona de maior assoreamento. Situa-se em frente à área do cais.

As amostras coletadas revelam um conteúdo médio de 60% em argila e 28% de silte, sendo a fração areia sempre inferior a 10%;

d) Fácies Argilo-Arenosa - Ocupa a fase de transição dos sedimentos arenosos depositados ao longo do braço do dique e dos sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica;

e) Fácies Areno-Argilosa - Situa-se na área adjacente à zona de *beach rocks* e também próxima do molhe, onde parece ser uma consequência do movimento turbilhonar devido ao seu caráter faciológico e início da difração de ondas;

f) Fácies Siltica-Arenosa - Está formada de areia fina e silte, com marcante presença de foraminíferos. Localiza-se na área adjacente à fácies arenosa, sendo em seguida recoberta pela fácies argilo-siltica e aparecendo novamente próximo ao cais, em profundidades menores, correspondentes aos bancos de areia.

A caracterização sedimentar da área será melhor abordada com a comparação dos resultados das análises realizadas em campo no ano de 2011, as quais estão detalhadas no capítulo de resultados.

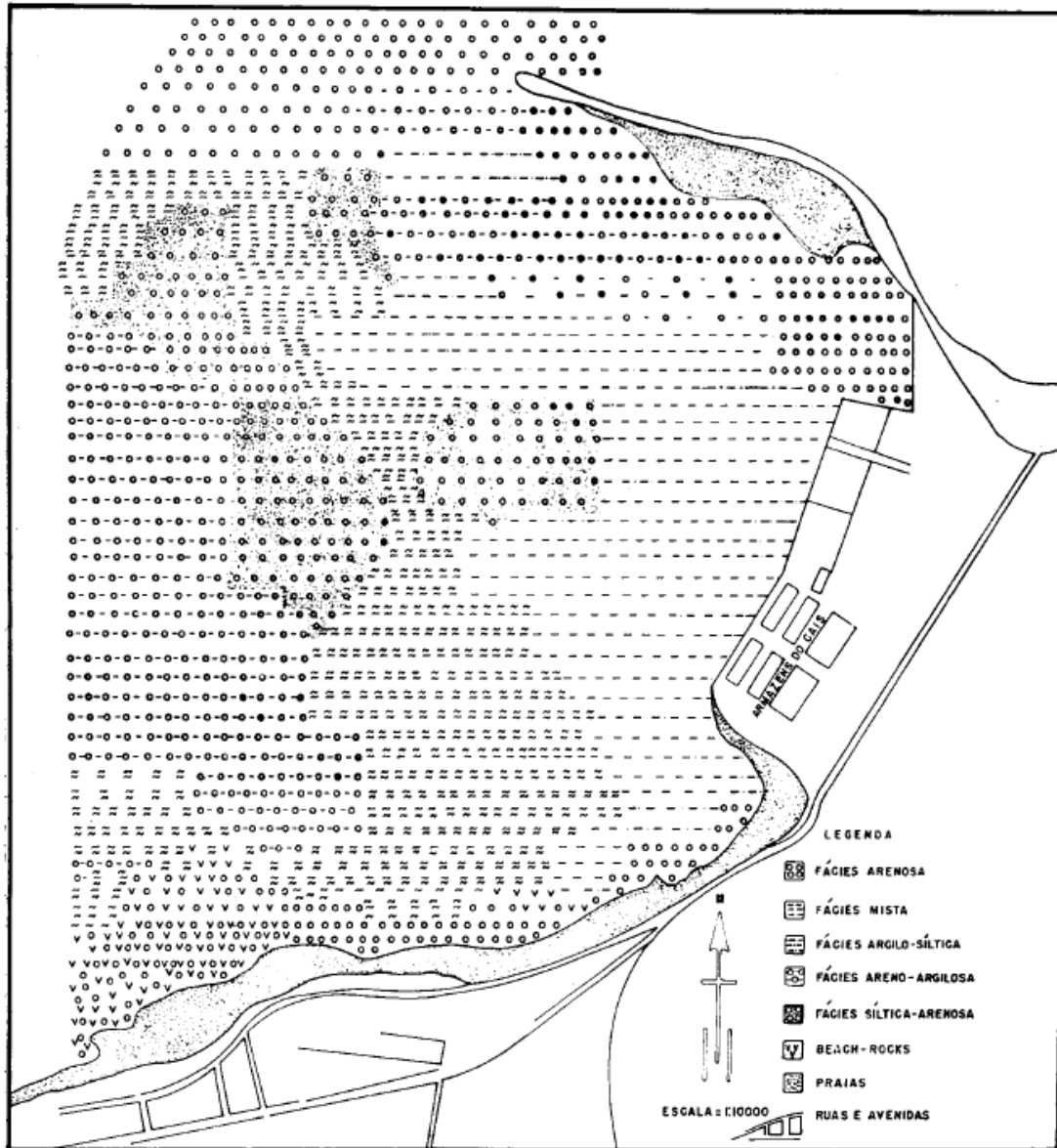


FIGURA 9 – Distribuição das fácies sedimentares na área do Porto do Mucuripe, baseada em dados de 1969 e 1970 (MORAIS, 1972)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

"A operação básica para todo estudo de um depósito de granulados marinhos, consiste na caracterização do material e na definição das condições de utilização dos granulados" (CAVALCANTI e FREIRE, 2007). Para tal finalidade, foram realizados levantamentos de dados em campo e em laboratório, gerando informações que possibilitaram a análise de dados coletados sobre espessura, arranjo e composição das jazidas sedimentares, mapeamento da morfologia do fundo dos corpos d água através da medição da profundidade e posicionamento.

A metodologia foi desenvolvida em quatro etapas:

- a) reconhecimento da área de estudo;
- b) atividades de campo;
- c) atividades de laboratório;
- d) análise e integração dos dados.

As etapas estão descritas no fluxo metodológico que se segue (FIGURA 10):

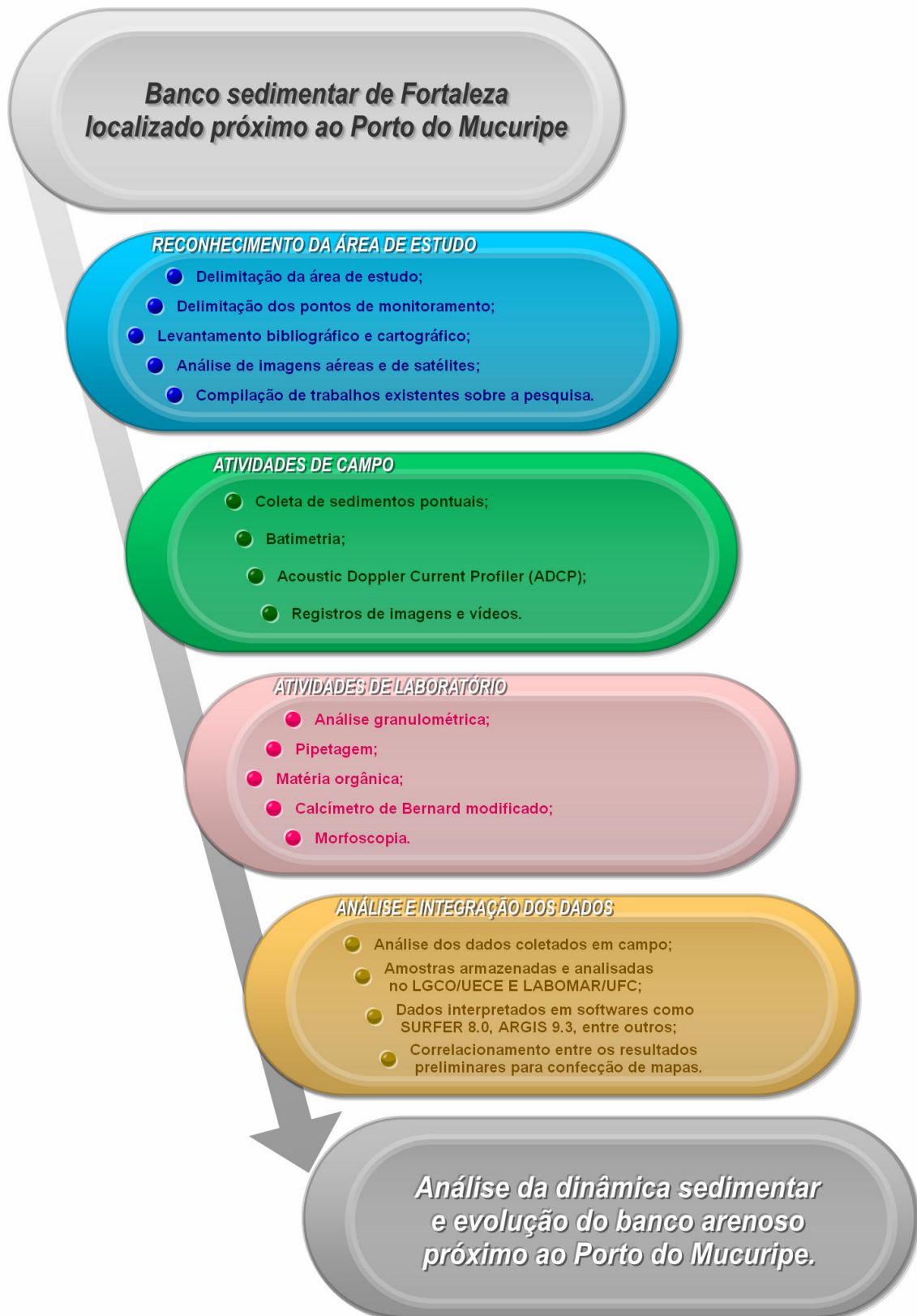


FIGURA 10 – Fluxograma metodológico

4.1 Levantamentos bibliográficos

O presente estudo é parte integrante do projeto *Potencialidades e Manejo Ambiental na Exploração de Granulados da Plataforma Continental do Estado do Ceará*/ PRONEX - Processo No. 24.01.00/08 e, para complementar o projeto de pesquisa, e dar início a produção científica de fato, foram consultados materiais bibliográficos em instituições públicas relacionadas aos objetivos propostos na dissertação - universidades, institutos de pesquisa, instituições governamentais, tais como: Universidade Estadual do Ceará - UECE, Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica - LGCO, Universidade Federal do Ceará - UFC, Laboratório de Ciências do Mar - LABOMAR, que são instituições envolvidas no PRONEX e outros, como Ceará Portos, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME e Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE, base de dados da Capes (Periódicos), revistas científicas, entre outros.

Dentre os conceitos e categorias de análise abordadas, os principais temas avaliados foram: granulados marinhos, onde são comuns trabalhos que avaliam recursos minerais e aspectos sedimentares na plataforma continental, como: Dias (2000); Morais (1980); Silva (2000); Souza e Martins (2007); Urien (2000); erosão costeira: Dias (1990); Maia *et al.* (1997); Muehe (2001 e 2005); Pinheiro (2000); Short *et al.* (1984); Sousa (2007); Suguio (1998, p. 276), dentre outros; obras portuárias e costeiras: Alfredine (2009); recuperação de praias (engorda de praias): Nordstrom (2010). Além de autores afins que, apesar de não citados, foram primordiais para a conclusão e revisão do referencial teórico utilizado.

4.2 Levantamentos cartográficos

O geoprocessamento é “um método que utiliza técnicas matemáticas computacionais para o tratamento de informações geográficas” (CÂMARA & MEDEIROS, 1998). Esta técnica tem como uma de suas principais vantagens, a

possibilidade de avaliar áreas cada vez maiores em quantidades de tempo cada vez menores.

No município de Fortaleza, mais precisamente no litoral oeste de Fortaleza, área de estudo adotada, que apresenta vários aspectos relacionados a problemas e riscos ambientais, a utilização de técnicas de geoprocessamento pode fornecer dados preciosos para que seja possível a análise das unidades espaciais, dos riscos presentes nessas unidades, elaboração de diagnósticos das condições atuais dos ambientes; monitoramento da zona costeira dentre outros.

O georreferenciamento da área foi feito através de uma malha plotada no programa GPS *TrackMaker* e armazenada em um GPS (Global System Position) de marca Garmin.

Para a elaboração do mapa de localização utilizou-se a base cartográfica do mosaico *Landsat 2009* cedido pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME. Como ferramentas do Sistema de Informação Geográfica – SIGs, os programas empregados na análise espacial e processamento de imagens foram os *Arcgis 9.3*, *Arcview GIS 8.0* da ESRI, *CorelDraw X5* e *Golden Software Surfer 8.0*.

Na confecção do mapa de compartimentação foi utilizado: Imagem *Quickbird 2003* (cedida pela SEMACE), imagem Google *Earth 2009* para atualização das obras costeiras, linhas batimétricas e campo sedimentar obtidos através da Carta Náutica 710 da Marinha do Brasil.

O processamento foi feito realizado no *ArcView GIS 8.0* da ESRI. O modelo 3D do banco de areia foi obtido através de coleta de campo utilizando ecossonda acoplada a GPS náutico de marca GARMIN e gerado em software da plataforma GIS. O sistema de coordenadas utilizado foi o de Coordenadas Geográficas.

4.3 Trabalhos de campo

"Na investigação de recursos minerais marinhos não combustíveis é importante a aplicação de ferramentas que possam coletar dados sobre espessura, arranjo e composição das jazidas sedimentares" (MARTINS *et al.*, 1997, 1999; SILVA *et al.*, 2000), logo, visando êxito na obtenção de informações empíricas, o

campo embarcado foi efetivado num barco lagosteiro de aproximadamente nove metros de extensão.

A campanha de campo foi realizada nos dias 18 a 23 de março de 2011 pelo projeto *POTENCIALIDADES E MANEJO AMBIENTAL NA EXPLORAÇÃO DE GRANULADOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESTADO DO CEARÁ - PRONEX*, no qual o estudo presente está inserido, com o apoio logístico do Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica – LGCO e Laboratório de Ciências do Mar – LABOMAR.

Foi possível a coleta de dados (batimetria, coleta de sedimentos, velocidade e direção de corrente, etc.) que possibilitaram uma caracterização preliminar sedimentar da jazida sedimentar acumulada na enseada de Mucuripe ao largo da Praia de Iracema.

4.3.1 Coleta de sedimentos

Nos dias 18, 19 e 20 de março de 2011 foram coletadas duzentos e cinquenta e quatro (254) amostras de sedimento de fundo através de uma draga que atingiu uma profundidade média de doze (12) metros, em um banco sedimentar monitorado localizado próximo ao porto do Mucuripe. O critério de definição dos pontos de coleta foi estabelecer um dos estudos mais detalhados de granulados marinhos no estado do Ceará.

As análises das amostras foram realizadas no Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica – LGCO e Laboratório de Ciências do Mar – LABOMAR.

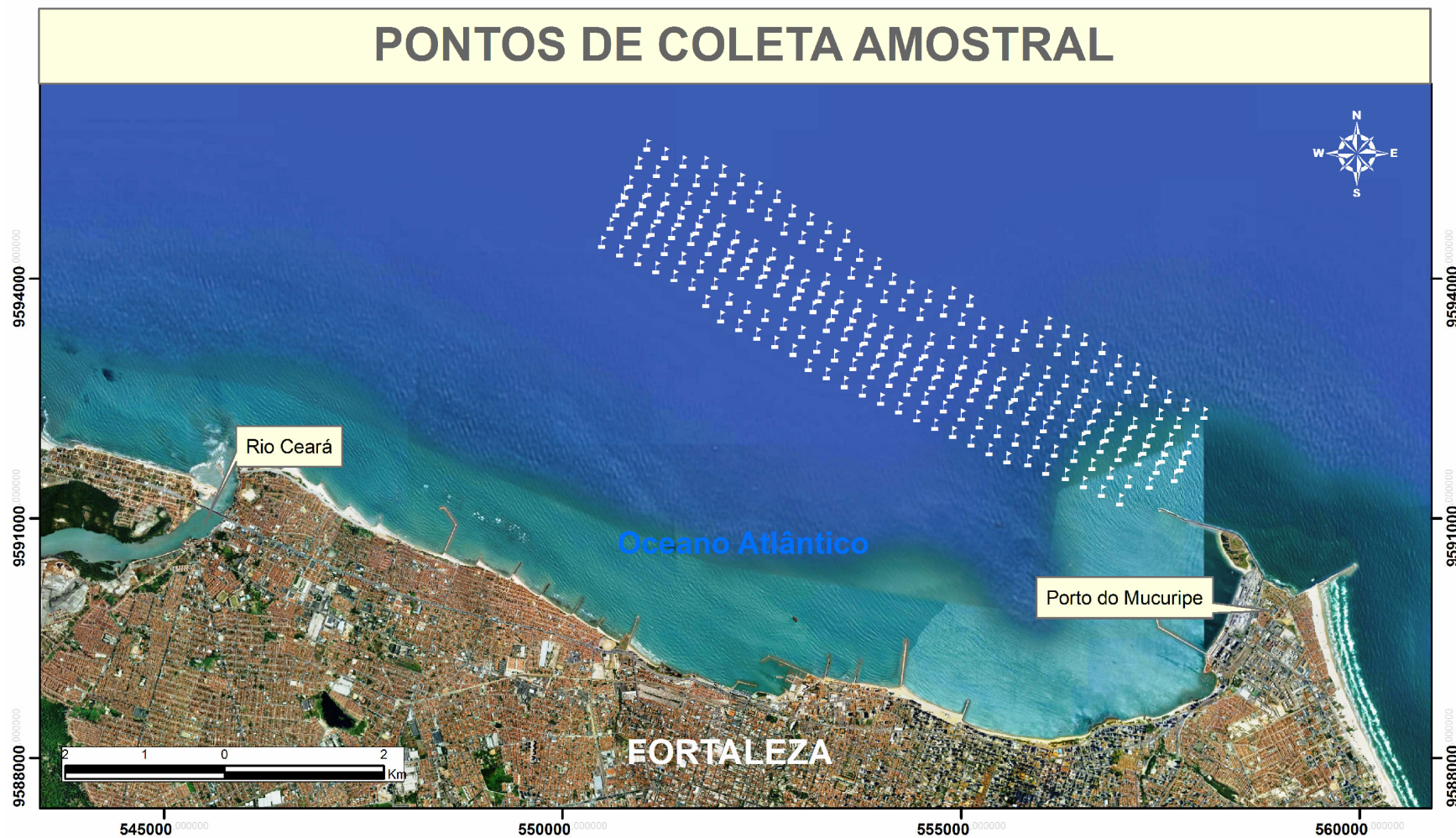


FIGURA 11 – Mapa da rota percorrida pelo barco lagosteiro no banco sedimentar de Fortaleza

A coleta das amostras foi realizada em uma malha formada por 4 (quatro) rotas paralelas ligadas por eixos perpendiculares em suas extremidades. A malha contém 254 (duzentos e cinquenta e quatro) pontos, onde foram coletados os sedimentos de fundo. Cada rota é composta por perfis com 7(sete) a 8(oito) pontos que variam de 1,088 km a 1,751km de comprimento (FIGURA 12).

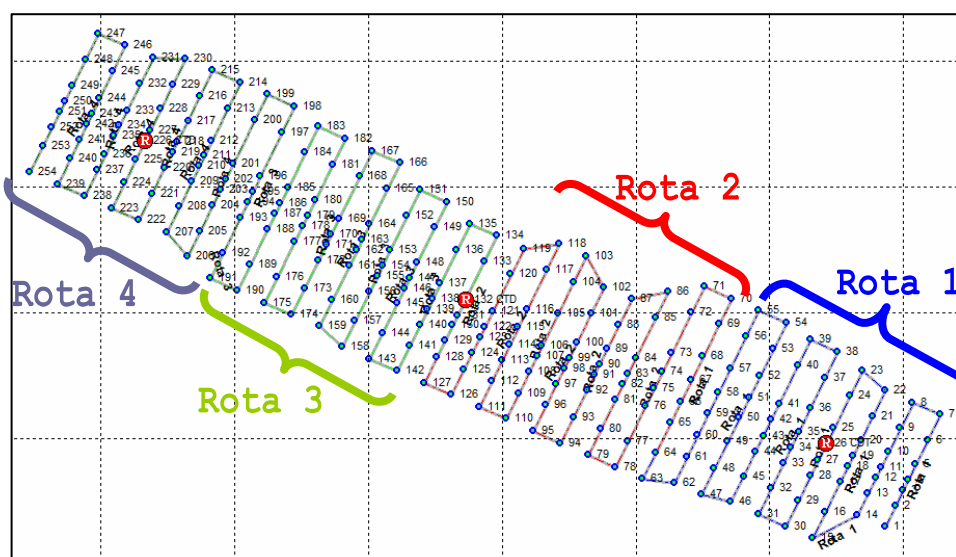


FIGURA 12 – Rota dos pontos de coleta gerada no programa GPS *TrackMaker*

Os pontos possuem distâncias curtas que variam entre 140 (cento e quarenta) metros e 220 (duzentos e vinte) metros, aproximadamente, gerando um banco de dados sedimentar com elevado grau de detalhamento. Tais informações processadas foram a base para os mapas de classificação e localização sedimentar, indicando onde existirão granulados marinhos favoráveis a exploração, seções rochosas, áreas dragadas regeneradas e outras informações relevantes aos objetivos da dissertação. Nos resultados finais da presente pesquisa, o mapa de zoneamento desses sedimentos será um dos estudos mais detalhado da área no estado do Ceará com 100m de extensão entre um perfil e outro.

As amostras foram coletadas pontualmente através de uma draga tipo *Van-veen* de capacidade de 1 (um) kg (FIGURA 13, passos 1 e 2), o mais indicado para retirada de diversos tipos de sedimentos devido ao modo de travamento após a coleta no fundo marinho (FIGURA 13, passo 3). Após a retirada dos sedimentos coletados, ocorreu o descarregamento dos mesmos em um bandeja preta (FIGURA 13, passo 4) para, em seguida, serem condicionados em sacos plásticos (FIGURA

13, passos 5 e 6) etiquetados com os números referentes aos pontos de coleta. E, por fim, o armazenamento em monoblocos (FIGURA 13, passo 7).

Coleta de Sedimentos

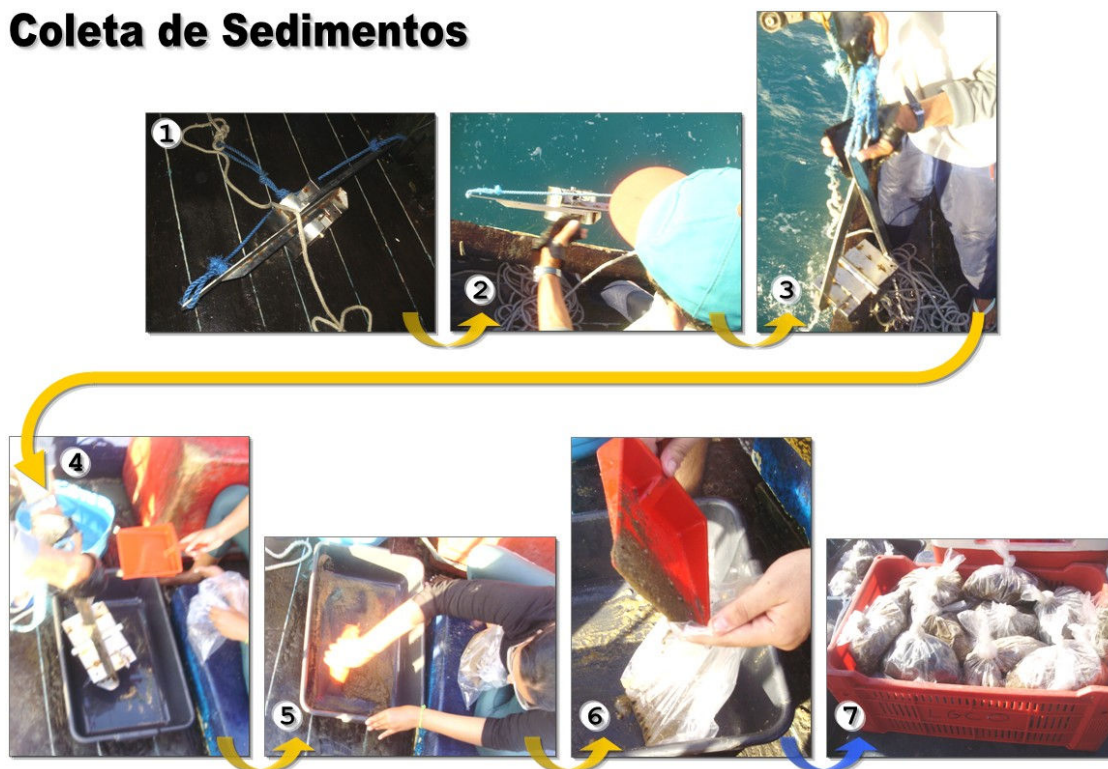


FIGURA 13 – Coleta de sedimentos realizada nos dias 18 a 20 de março de 2011 no banco sedimentar de Fortaleza, próxima ao porto do Mucuripe

4.3.2 Batimetria

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, os ecobatímetros são equipamentos utilizados pela batimetria para medir a profundidade. O equipamento consiste em uma fonte emissora de sinais acústicos e um relógio interno que mede o intervalo entre o momento da emissão do sinal e o instante em que o eco retorna ao sensor. O som é captado pelo transdutor que converte as ondas de pressão do eco em sinais elétricos. Os ecobatímetros fornecem informações pontuais de profundidade no local imediatamente abaixo do transdutor, posicionamento (latitude e longitude), data, hora UTC, profundidade em metros e temperatura em graus centígrados.

A aquisição dos trabalhos de campo para o reconhecimento das formas de fundo da área de estudo foram realizados 80 (oitenta) perfis transversais e/ou

longitudinais às direções de maior declive das áreas submersas, previamente determinadas através de imagens orbitais, convertidos em uma malha no programa GPS *TrackMaker* (FIGURA 14, passo 1).

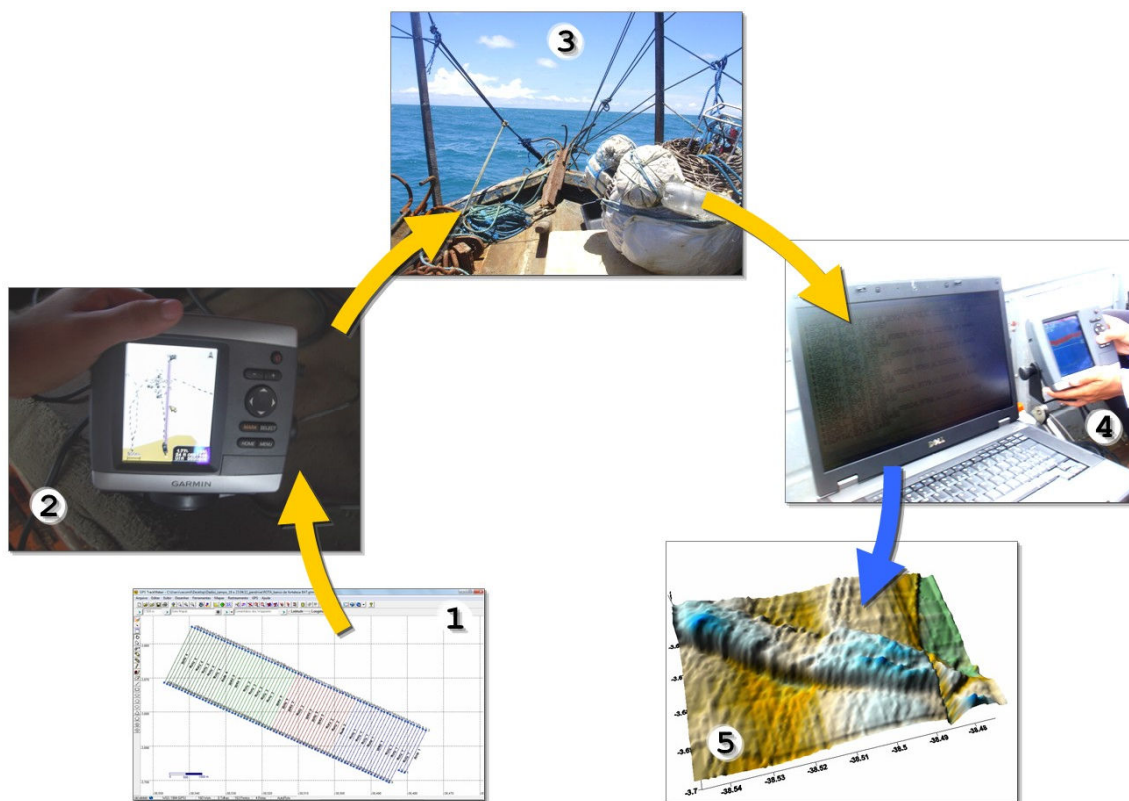


FIGURA 14 – Processos da batimetria: 1 - malha realizada no programa GPS *TrackMaker*; 2 – GPS de marca *GARMIN*; 3 – barco lagosteiro utilizado na campanha de campo ; 4 – laptop e dados no formato internacional NMEA; 5 - modelo digital batimétrico gerado

As medidas ecobatimétricas foram realizadas através de levantamento apoiado pelo sistema de posicionamento geográfico, utilizando um receptor *GPSmap* conjugado com ecossonda modelo *GARMIN GP 521 Sounder* (FIGURA 16, passo 2).

A ecossonda, aparelho submerso e preso no barco lagosteiro utilizado (FIGURA 14, passo 3), determina a distância entre o transdutor e o assoalho submerso, isso é feito através do cálculo de diferença de tempo entre o momento inicial de transmissão de uma onda ultrassônica até o fundo e o seu retorno ao transdutor.

A aquisição dos dados é realizada em tempo real com intervalos de transmissão de 1,0 segundos. Todos os dados são coletados sob o formato internacional NMEA (*National Marine Electronics Association*). A projeção definida

foi o *Datum* WGS 84 e as medidas de profundidade em unidades métricas. Todos os dados são armazenados em meio magnético, portado por um Laptop (FIGURA 14, passo 4). Após o pós-processamento é gerado um modelo digital batimétrico onde são extraídas as informações pertinentes (FIGURA 14, passo 5) (Adaptado de MONTEIRO, 2011).

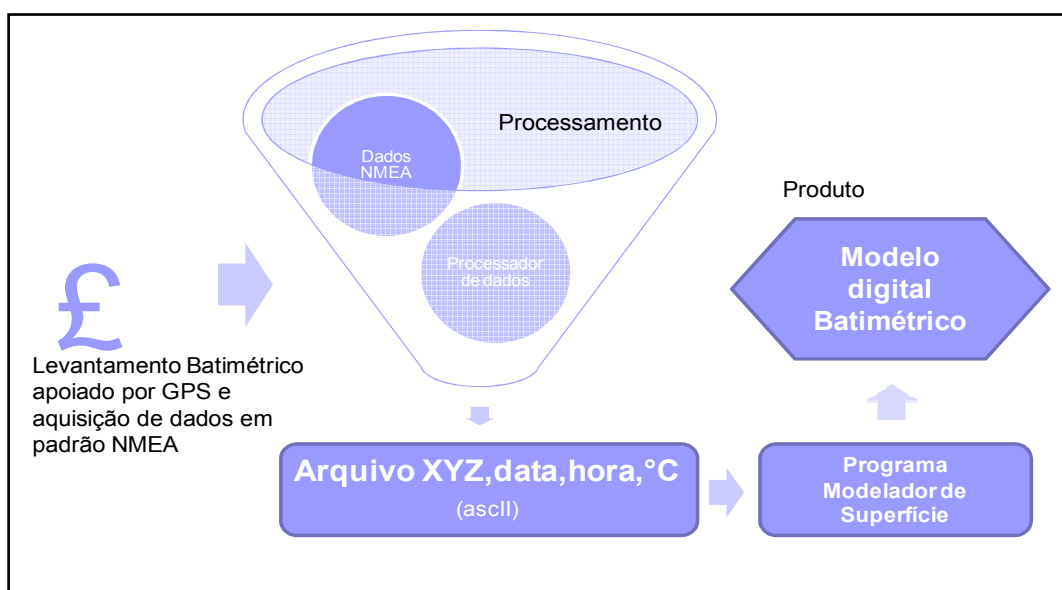


FIGURA 15 – Processo de aquisição e processamento de dados batimétricos. Fonte: Monteiro (2011)

A batimetria foi finalizada com a correção dos dados de altura de onda armazenados no ondógrafo do Laboratório de Ciências do Mar – LABOMAR, localizado nas extremidades da jazida para análise do comportamento do movimento ondulatório no dia das coletas.

As escalas locais para adaptação das formas de fundo do banco sedimentar estudado foram possíveis através de imagens de satélite, imagens orbitais e levantamento de informações de campanhas de campos já realizadas no local pelo Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica – LGCO e Laboratório de Ciências do Mar – LABOMAR.



FIGURA 16 – Ondógrafo usado em campo

4.3.3 *Acoustic Doppler Current Profiler* – ADCP

O aparelho ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler da Sontek*) foi utilizado para fazer medições nas correntes na área de estudo, modelo ADCP 3D (*Acoustic Current Doppler Profiler*) com sensor acústico de frequência 1,5 MHz. O correntômetro possui capacidade de medir perfis contínuos de correntes marinhas ao longo da coluna de água até uma profundidade média de 25 (vinte e cinco) metros, identificando com precisão a batimetria do fundo oceânico. É equipado com 3 (três) sensores que medem a direção e a intensidade da corrente ao longo dos eixos X, Y, Z com uma resolução de 0.1 cm/s.

O valor resultante da direção e da intensidade da corrente é calculado pela média dos três valores obtidos ao longo dos três eixos. No caso da direção, o valor em graus, já é em função do norte verdadeiro, enquanto a bússola magnética do aparelho é calibrada antes de qualquer medição e corrigida com a declinação magnética do lugar (*Acoustic Doppler Profiler Technical Documentation*).

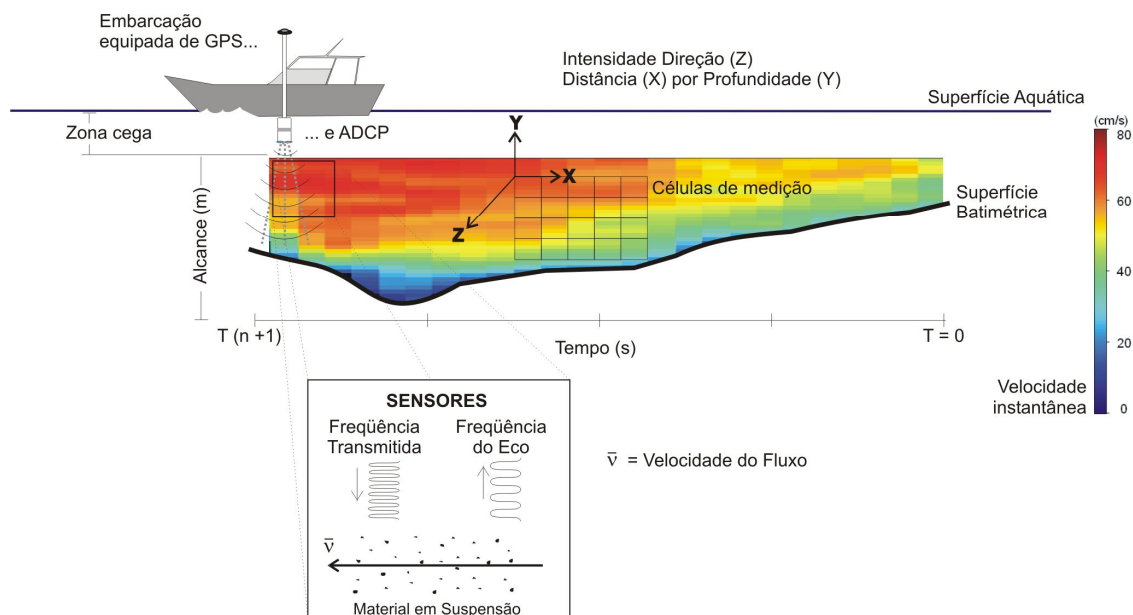


FIGURA 17 – Ilustração de funcionamento do perfilador de correntes ADCP, que calcula as intensidades e direções por célula de medição, ao longo de um perfil. Os cálculos são feitos baseados no efeito Doppler, causado pela movimentação do material em suspensão, o qual ecoa uma frequência transmitida. Fonte: *Acoustic Doppler Profiler Technical Documentation*

O correntômetro ADCP foi utilizado na campanha de campo no dia 21 de março de 2011 no barco alugado pela equipe do LABOMAR que operou o equipamento. Foram programados 3 (três) perfis, os quais foram realizados duas vezes, no sentido terra-mar e no sentido mar-terra, durante a preamar e a baixamar, logo, foram registradas medidas de correntes em condições de maré vazante e enchente na TABELA 1.

TABELA 1 – Perfis realizados com ADCP

PERFIS	HORÁRIO	PERÍODO
1° perfil (ponto 1 ao ponto 2)	10h 41min	Baixamar
1° perfil (ponto 1 ao ponto 2)	10h 41min	Baixamar
2° perfil (ponto 3 ao ponto 4)	11h 22min	Baixamar
2° perfil (ponto 3 ao ponto 4)	11h 22min	Baixamar
3° Perfil (ponto 5 ao ponto 6)	12h 19min	Enchente
3° Perfil (ponto 5 ao ponto 6)	12h 19min	Enchente
3° Perfil (ponto 5 ao ponto 6)	14h 29min	Preamar
3° Perfil (ponto 5 ao ponto 6)	14h 29min	Preamar
2° perfil (ponto 3 ao ponto 4)	15h 03min	Preamar
2° perfil (ponto 3 ao ponto 4)	15h 03min	Preamar
1° perfil (ponto 1 ao ponto 2)	15h 38min	Preamar
1° perfil (ponto 1 ao ponto 2)	15h 38min	Preamar

4.4 Etapas de laboratório

As etapas de laboratório consistem nas análises das amostras sedimentológicas coletadas em campo que foram divididas em: análise granulométrica, pipetagem, análise da matéria orgânica, calcímetro de Bernard modificado e morfoscopia.

As análises foram realizadas no Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica - LGCO/UECE e Laboratório de Oceanografia Geológica - LABOMAR/UFC.

4.4.1 Análise Granulométrica

As 254 (duzentas e cinquenta e quatro) amostras de sedimentos de fundo coletadas em campo embarcado foram ensacadas e etiquetadas (FIGURA 18, passo 1) para, posteriormente, serem analisadas em laboratório de acordo com a metodologia de Suguio (1973); descrita da seguinte forma: As amostras coletadas são depositadas em recipientes de vidro que comportem, no mínimo, 100g de material e levadas à estufa de secagem a uma temperatura de 60°C, permanecendo por tempo suficiente para a secagem do sedimento (FIGURA 18, passo 2). Após o tempo necessário, às amostras são retiradas da estufa com a finalidade de retornarem à temperatura ambiente. Em seguida, são separadas 100 gramas em um processo de quarteamento.

As amostras são lavadas em água corrente com o auxílio de uma peneira de malha 0,062 mm (FIGURA 18, passo 3), que proporciona a retirada dos sais, pois esses alteram o peso da amostra e o formato do grão, não permitindo o desenvolvimento das análises da amostra. Além da separação do material siltoso e, se necessário, posterior processo de pipetagem.

Após a lavagem, as amostras retornam para a estufa para secar, novamente à 60°C permanecendo por um tempo estimado de 48 horas (FIGURA 18, passo 4). Inicia-se, então, o processo de separação (peneiramento mecânico) das amostras que foi realizado com o auxílio de uma série de peneiras com malhas variando entre 2,830 e 0,062 mm (FIGURA 18, passo 5), agitadas na máquina *Rotap Sieve-Shaker* (FIGURA 18, passo 6), onde são separadas as frações referentes à

escala granulométrica e posterior a isso ocorre à pesagem das amostras em uma balança analítica (FIGURA 18, passo 7), cujos pesos são anotados em fichas de análise granulométrica.

O resultado final coletado da análise textural (FIGURA 18, passo 8) é plotado em um programa estatístico (FIGURA 18, passo 9) chamado de Sistema de Análise Granulométrica (SAG), desenvolvido pelo Departamento de Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense - RJ.

Finalizada a análise granulométrica, os dados processados forneceram valores referentes ao tamanho dos sedimentos (TABELA 2).

TABELA 2 – Classificação dos sedimentos em função do tamanho do grão. Fonte: SUGUIO, 1973

Sedimentos	Valor em ϕ	Valor em mm
Areia Muito Grossa	-0,5	1,410
	0,0	1,000
Areia Grossa	0,5	0,710
	1,0	0,500
Areia Média	1,5	0,354
	2,0	0,250
Areia Fina	2,5	0,177
	3,0	0,125
Areia Muito Fina	3,5	0,088
	4,0	0,062

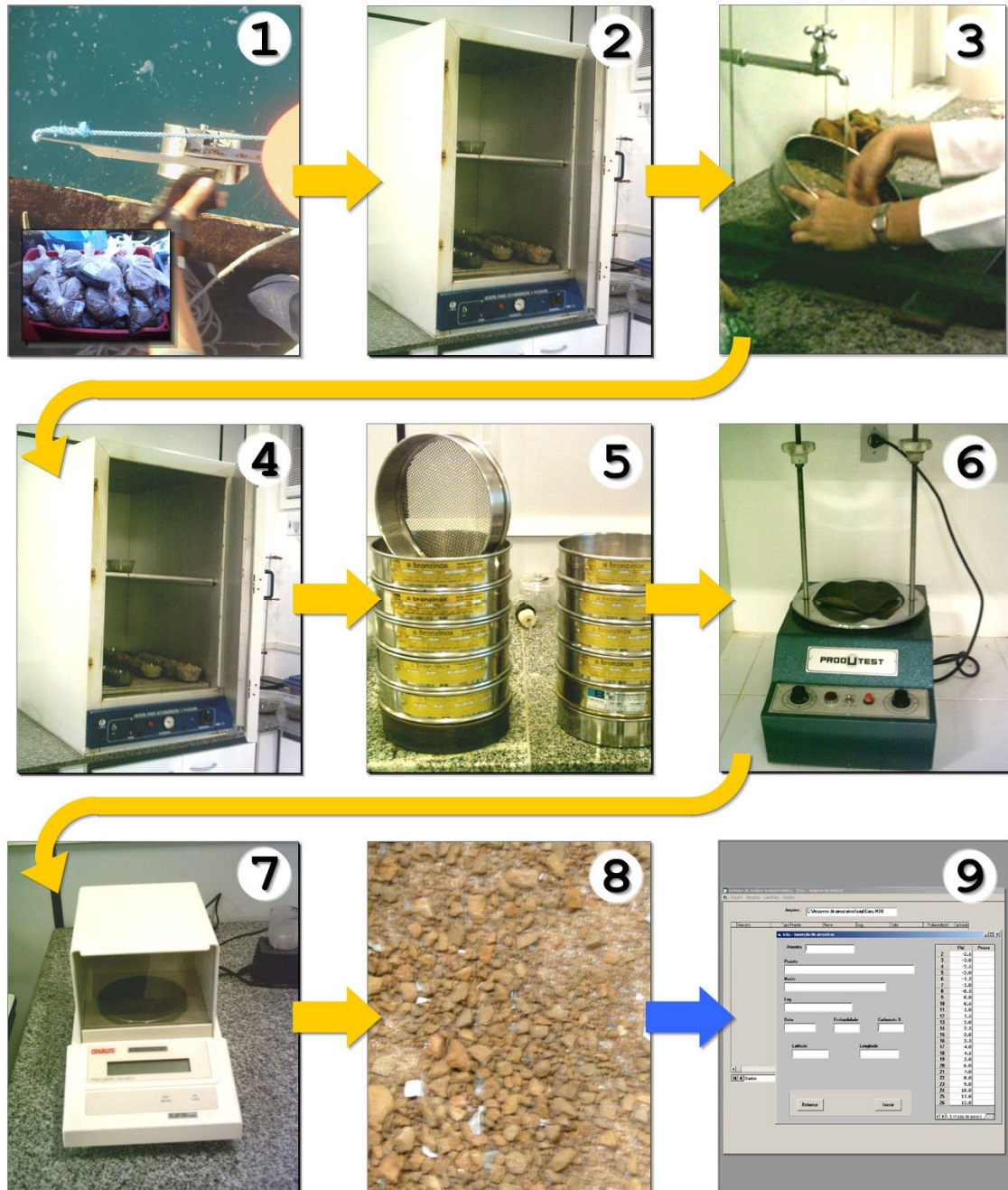


FIGURA 18 – Esquema da análise granulométrica realizada no LGCO

4.4.2 Pipetagem

O método de pipetagem, também conhecido como peneiramento úmido segundo Stockes (*apud* SUGUIO 1980), baseou-se na velocidade de queda das partículas em meio aquoso em intervalos de tempo e profundidade diferenciados que correspondem ao material fino das amostras. A velocidade de decantação varia de acordo com as frações de silte e argila encontrados.

Das duzentas e cinquenta e quatro amostras peneiradas, apenas treze amostras apresentaram perda consideráveis de sedimentos na lavagem. Foram as amostras DS-011, DS-015, DS-029, DS-031, DS-032, DS-035, DS-048, DS-062, DS-078, DS-094, DS126, DS-143, DS-174 que passaram pelo processo de pipetagem.

As etapas da pipetagem estão relatadas no esquema mais adiante (FIGURA 19). Os cadinhos de vidro (1) são pesados vazios e anotados (2). As amostras lavadas, que ficaram retidas no balde, são colocadas na proveta e esperam decantar (3). Mexe-se as amostras com o bastão com a finalidade de homogeneizar o conteúdo e acionasse o cronômetro só quando para de mexer.

A cada intervalo de tempo proposto pela metodologia (TABELA 3), são retirados 20ml da solução no nível 10 cm abaixo da cota 1000ml da proveta e colocados nos respectivos frascos (4 e 5). As amostras são colocadas na estufa a 60°, retiradas após secagem e novamente pesadas (7). Posteriormente, os dados foram processados no SAG e classificados pela média.

TABELA 3 – Coletas retiradas da proveta no espaço de tempo segundo a metodologia utilizada

Ordem das coletas (tempo)	Recipiente
0:00'58"	Frasco 1
0:03'52"	Frasco 2
0:07'44"	Frasco 3
0:31'00"	Frasco 4
2:03'00"	Frasco 5

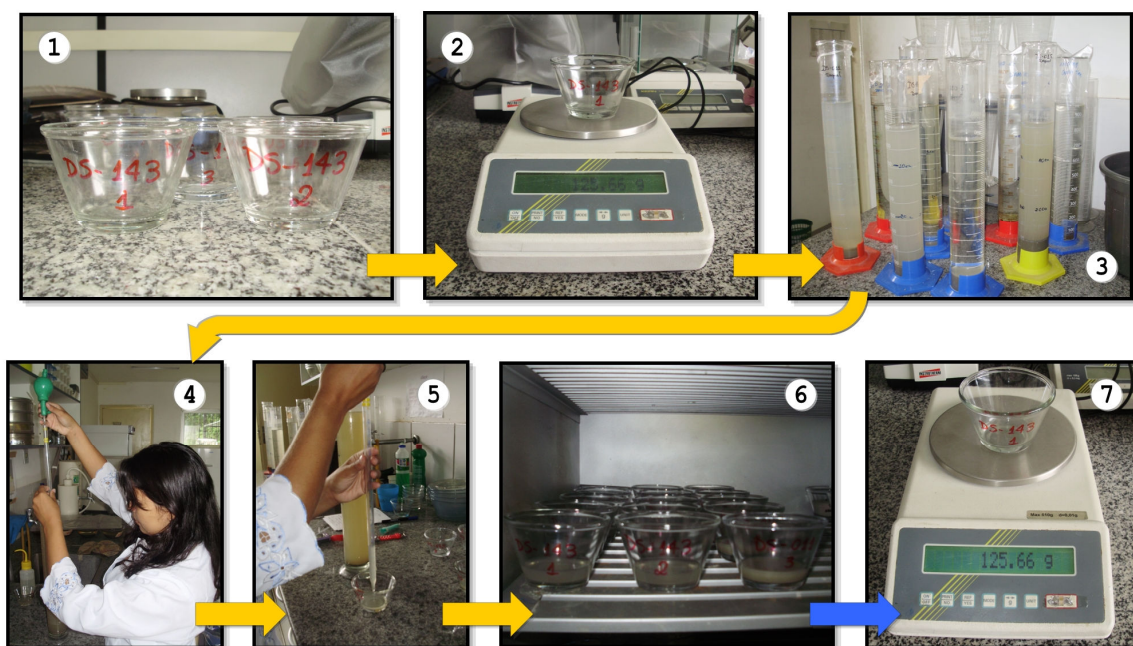


FIGURA 19 – Esquema da pipetagem realizada no LGCO

4.4.3 Matéria Orgânica

Na análise da matéria orgânica, as amostras foram resfriadas (1) para a conservação da matéria orgânica e depois secas em temperatura de 60°C na estufa para, em seguida, passarem pelo método gravimétrico para matéria orgânica total (M.O), classificando-as texturalmente quanto a Folk *et al.* (1954) e Larssonneur (1977) modificado por (DIAS, 1996).

Conforme ilustra a FIGURA 20, os cadinhos de porcelana (2) são pesados (3) vazios e, em seguida, adicionados 2g do sedimento analisado e o cadinho é pesado novamente (5). Após a pesagem e as devidas anotações, os cadinhos são colocados na mufla a 450° onde permanecerão por duas horas (6).



FIGURA 20 – Esquema de matéria orgânica analisada no LABOMAR

4.4.4 Calcímetro de Bernard Modificado

O calcímetro de Bernard (FIGURA 21) (1) modificado é o procedimento laboratorial empregado para a análise da quantidade de teores de carbonato de cálcio (CaCO_3) nas amostras coletadas em campo, como visto em Lamas et al.(2005).

Para a análise ser realizada, primeiramente mede-se o volume ($V_{\text{padrão}}$) deslocado da solução salina para uma amostra de concentração conhecida de carbonato de cálcio ($C_{\text{padrão}}$). No caso, cerca de 0,5 g de amostra de CaCO_3 a 99 % ($C_{\text{padrão}}$) são adicionados a três kitassatos denominados de B1, B2 e B3, com cuidado para não atingir a amostra que inicialmente foi para a estufa à 60°C e depois fracionado (3). Nos tubos de ensaio acoplados a cada kitassato adicionam-se 2,0 ml de ácido clorídrico (HCl) 10% (2).

No calcímetro de Bernard, adicionam-se 35 ml de água salinizada e, em seguida, acopla-se cuidadosamente o kitassato a essa coluna de água, evitando-se ainda que o HCl atinja a amostra do sedimento (4).

Ajusta-se o nível de água na bureta até que seja alcançada a marca zero e, lentamente, entorna-se o kitassato para que o HCl contido no tubo de ensaio entre em contato com a amostra (5), ocorrendo a reação que produz o gás carbônico que, por sua vez, desloca a solução salina a um volume maior que zero ($V_{\text{padrão}}$).

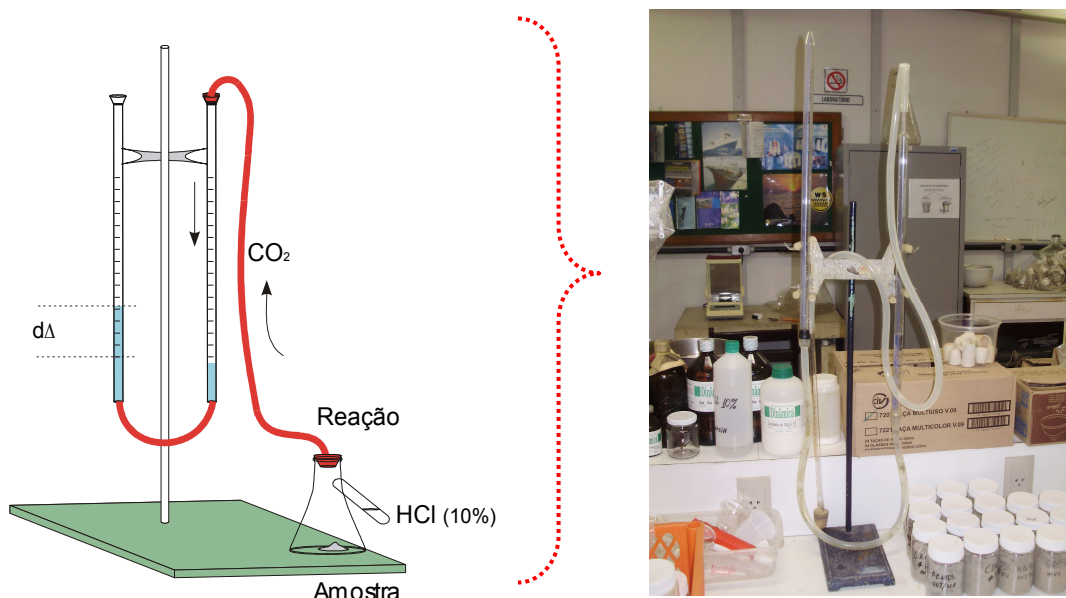


FIGURA 21 – Calcímetro de Bernard modificado – análise da quantidade de teores de CaCO_3

O percentual de carbonato de cálcio das amostras é medido indiretamente através de uma regra de três simples:

$$C_{\text{amostra}} (\%\text{CaCO}_3) = (V_{\text{amostra}} \times C_{\text{padrão}}) / V_{\text{padrão}}$$

Onde os componentes da equação são:

C_{amostra} = concentração de CaCO_3 da amostra;

V_{amostra} = volume da solução salina deslocado pelo gás carbônico produzido da reação do HCl com o carbonato contido na amostra;

$C_{\text{padrão}}$ = concentração padrão da amostra a 99 % de CaCO_3 ;

$V_{\text{padrão}}$ = corresponde ao volume de solução salina deslocado pela amostra padrão.

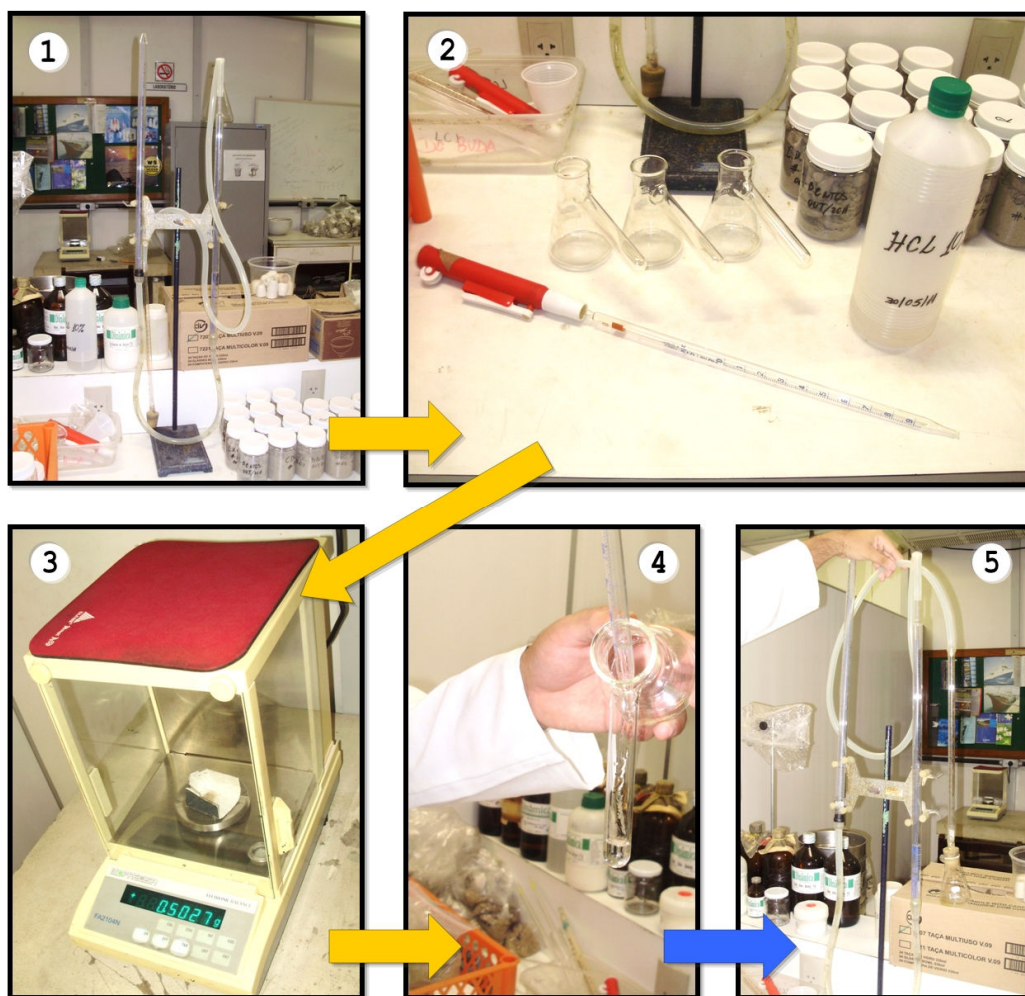


FIGURA 22 – Esquema de Calcímetro de Bernard modificado analisado no LABOMAR

4.4.5 Morfometria e morfoscopia

A morfometria e morfoscopia foi realizada através das frações sedimentares 0,50 mm e 0,250 mm encontradas nas peneiras de respectivas espessuras, o que equivale aos valores 1 e 2 ϕ obtidos na análise granulométrica.

O estudo compreende a relação dos graus de arredondamento e medida da forma, ou esfericidade, das partículas sedimentares detríticas que poderão identificar o meio e o agente de transporte desse sedimento.



FIGURA 23 – Esquema de morfoscopia analisado no LGCO/ UECE

Foram escolhidas dezesseis amostras espalhadas pela malha delimitada, são elas: DS - 012, DS - 016, DS - 041, DS - 47, DS - 49, DS - 067, DS - 73, DS - 084, DS - 097, DS - 125, DS - 154, DS - 161, DS - 181, DS - 185, DS - 188, DS - 198. Cem (100) grãos foram selecionados da peneira 1 phi e 2 phi de cada amostra e analisados no microscópio óptico do Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica – LGCO/UECE.

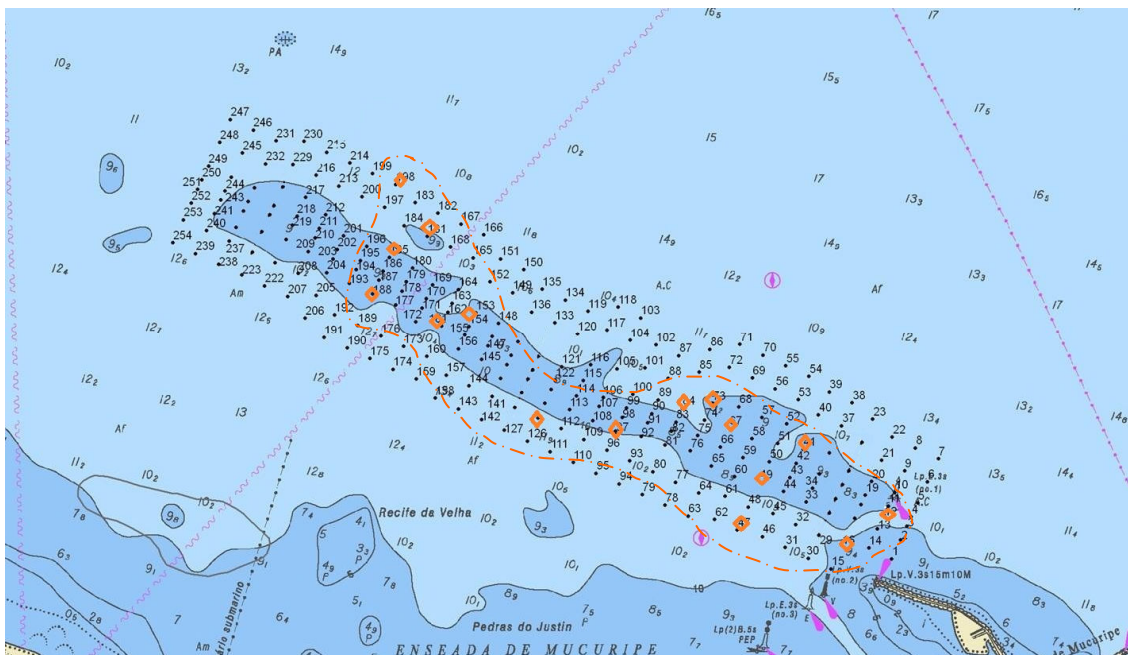


FIGURA 24 – Amostras selecionadas para morfoscopia

5 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

5.1 A Construção do Porto do Mucuripe e as mudanças ocasionadas na paisagem natural

Economicamente, Fortaleza possuía a necessidade da criação de um porto a fim de consolidar seu comércio e possibilitar os navios ancorarem com segurança. O que tornava inviável a construção do porto era a ausência de arrecifes, dificultando sua construção devido o aterramento do viaduto e do ancoradouro pelos sedimentos trazidos pelo mar.

Desde 1807, quando as primeiras tentativas de construção de um porto em Fortaleza foram estabelecidas, que se pensava em aproveitar as feições geomorfológicas existentes na área, que pudessem oferecer um melhor abrigo às embarcações. A construção deste quebra-mar denominado Muralha *Hawkshaw*, causou intenso assoreamento e consequente recuo da linha de baixa-mar, o que provou a inviabilidade do porto naquele momento (MORAIS, 1981).

Após um levantamento topo-hidrográfico da Enseada do Mucuripe realizado pela Comissão Bandeira, seguido por vários outros estudos definiram a localização do porto na ponta do Mucuripe.

Após três tentativas infrutíferas da construção do porto de Fortaleza, em 7 de julho de 1938 um decreto viabilizou a construção do porto de Fortaleza no Mucuripe, apesar de engenheiros defenderem a permanência do projeto na Praia de Iracema. Um dos motivos seria o quebra-mar construído ao largo, fora da zona de movimentação das areias, não sendo necessário um segundo quebra-mar no Mucuripe.

O novo porto da ponta do Mucuripe foi composto por um quebra-mar principal com 1.400 metros de comprimento e uma profundidade de 10 metros em sua extremidade. A construção ocorreu entre 1939 e 1945, período durante o qual três problemas surgiram simultaneamente: (i) o quebra-mar foi rapidamente "preenchido" por areia, (ii) o porto não abrigou corretamente a área contra as ondas do leste e (iii) as praias a jusante do porto começaram a ser erodidas (MAIA, 1998).

O porto do Mucuripe ocasionou a erosão na faixa de praia de Iracema, atingindo aproximadamente 200 metros segundo Jucá (2003). A dinâmica natural do

sedimento que vinha da Praia do Futuro para a Praia de Iracema foi modificada, comprometendo a ocupação local. A construção do porto começou a interromper o transporte de sedimentos, atuando como uma barreira para os mesmos. Posteriormente, acarretou a construção dos quebra-mares para conter o avanço do mar e fixar o sedimento na faixa de praia, ao todo onze.

A construção do molhe do Mucuripe provocou um movimento de difração das ondas, que trouxe modificações marcantes na conformação da linha de costa. Houve erosão nas praias de Iracema e adjacências, provocando também o aumento das profundidades naquela área (MORAIS, 1972).

"Residências luxuosas foram devastadas, milhares de pessoas tiveram vários aborrecimentos, e o que causa mais tristeza, a cidade perdeu o ponto mais atraente e sua paisagem" (AUGUSTO, 1946b, p.3). O litoral perde seu caráter residencial e mais tarde voltaria a ser uma área bastada cotada imobiliariamente, o que se evidenciaria com a construção de grandes hotéis e restaurantes. Todavia, a ocupação da área e o lazer apresentado se apresentariam de forma completamente diferente.



FIGURA 25 – Início da Construção do Porto do Mucuripe em 1939. Nota-se um possível aplainamento devido ao desmonte das dunas para a instalação do canteiro de obras do porto. Fonte: Arquivo Nirez (*apud* FECHINE 2007), modificada por Soares (2009)

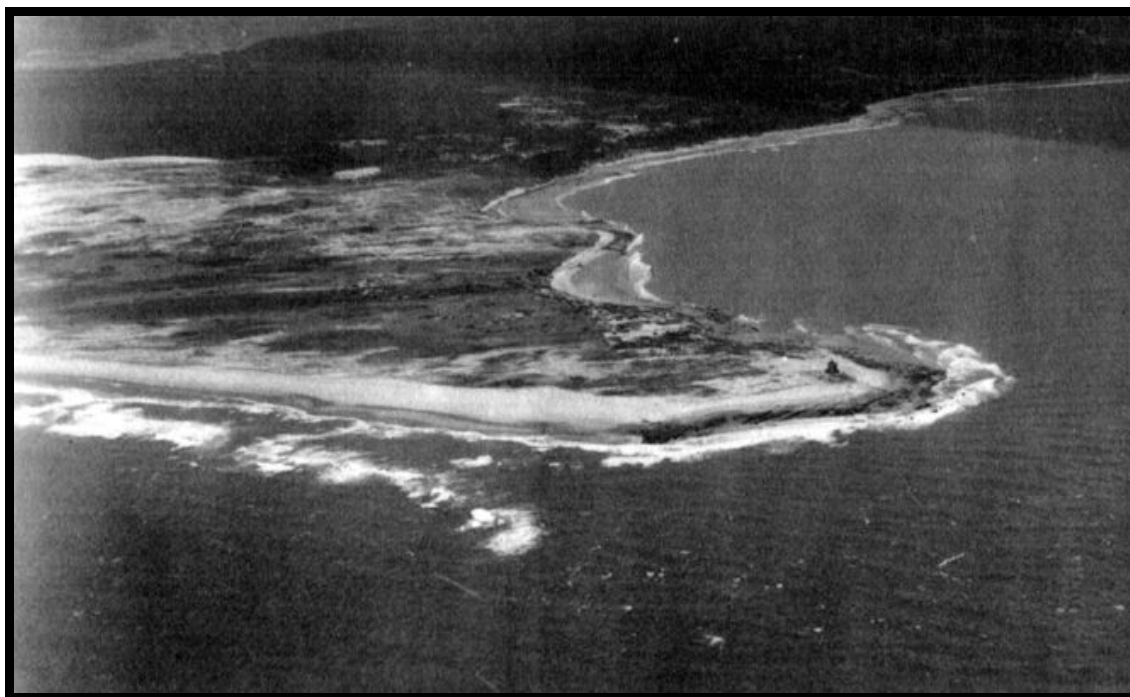


FIGURA 26 – Enseada do Mucuripe antes da Construção do Porto. Fonte: Arquivo Nirez (*apud* REBOUÇAS 2010)

5.2 A formação do Banco Sedimentar de Fortaleza e a evolução sedimentológica da enseada do Mucuripe

A interação entre o porto e a dinâmica litorânea alterou a trajetória dos sedimentos naturais ao longo da costa e:

grandes quantidades de sedimentos foram desviadas para as águas profundas oriundas da ponta do quebra-mar, formando um banco de areia linear e paralelo com o litoral a uma profundidade de cerca de 10 m (profundidade original da extremidade do quebra-mar). O crescimento contínuo deste banco, assim como o seu comportamento (observaram-se algumas migrações), alterou o funcionamento das instalações portuárias, uma vez que o canal de aproximação do porto foi assoreado pelos movimentos do banco de areia (MAIA, 1998).

"As análises das seqüências históricas das cartas batimétricas do porto e proximidades, publicadas pela DHN, mostram que a barra submersa de areia começou a se formar nos primeiros anos após a conclusão das obras do porto" (MAIA, 2008).

Segundo Moraes (1981) antes da construção do molhe, estas ondas sofriam um retardamento ao encontrar a ponta do Mucuripe e dirigiam-se para a Praia de Iracema com direção N35°E. Depois da construção do molhe, os processos de difração causaram uma direção diferente. As correntes, tanto de enchente como vazante, sofrem uma ação constante do vento e se direcionam sempre do Mucuripe para oeste; deste modo, até a construção do porto, dirigiam-se geralmente para o largo e não entravam propriamente na Enseada do Mucuripe.

Os sedimentos provenientes desta erosão foram retrabalhados e redistribuídos formando extensos bancos arenosos no litoral, que persistiram ainda no século passado (FIGURA 27).

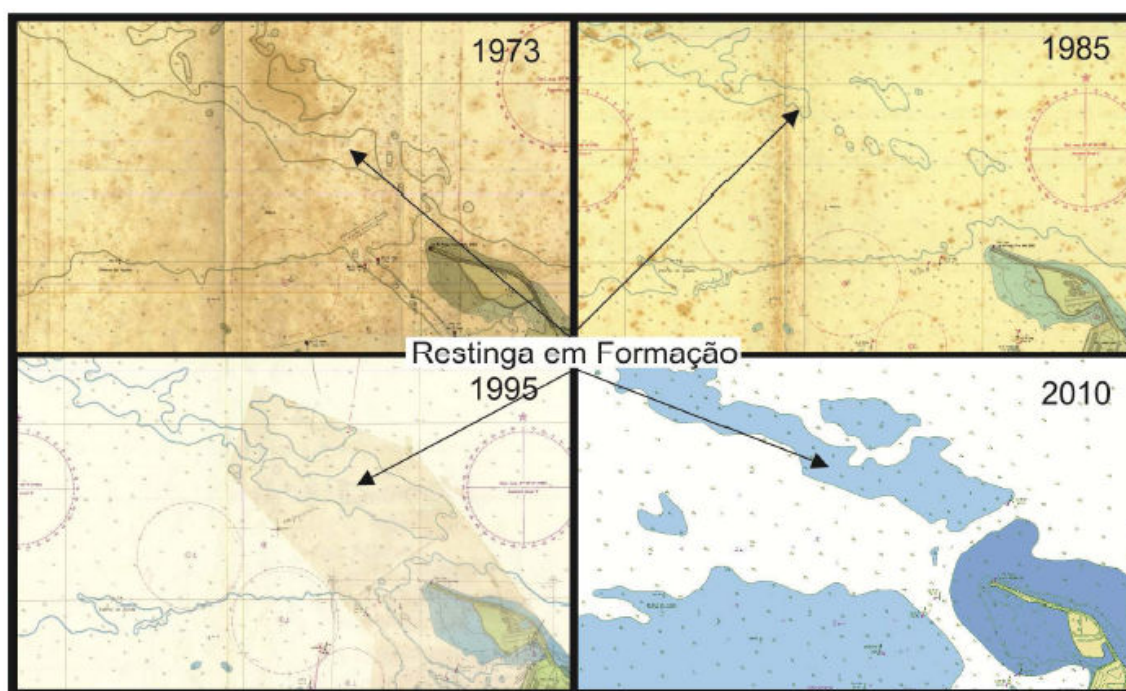


FIGURA 27 –Montagem das cartas náuticas 701 mostrando a formação do banco sedimentar de Fortaleza. Fonte Adaptado da DHN (*apud* REBOUÇAS 2010)

5.3 Os granulados marinhos como alternativa para recuperação de praias

O Projeto Básico Emergencial de Proteção/Recuperação da Praia de Iracema, já citado no capítulo de caracterização da área, teve por objetivo principal requalificar e regenerar os perfis de praia ao longo do Aterro da Praia de Iracema e da Praia da Beira-mar através da cubagem de sedimentos.

A jazida em estudo foi uma das áreas escolhidas por possuir materiais são areias quartzosas, de granulometria média até muito grossa, utilizados nos aterros hidráulicos. As especificações sobre a jazida foram tratadas no projeto em questão.

Os levantamentos batimétricos realizados sobre a barra mostram que esta estrutura atualmente se estende por um comprimento total de 7.500 m e apresenta uma largura variável entre 250 e 850 m, com média de 500 m (FIGURA 28). "O desnível médio é de 3,3 m, podendo ser encontradas diferenças de até 4,5 m em alguns lugares. O volume total estimado foi da ordem de 12.600.000 m³" (MAIA, 2008).

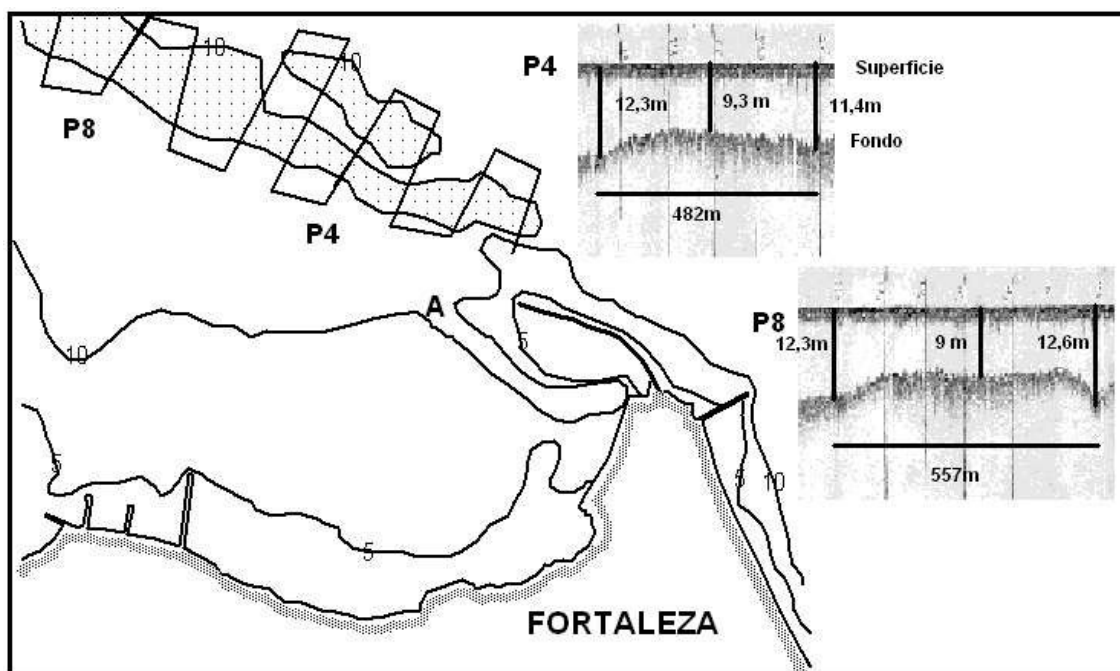


FIGURA 28 – Identificação da Jazida da Plataforma Continental. Fonte: Maia *et al.* (2008, p. 43)

Existem inúmeros trabalhos que utilizam os granulados marinhos na recuperação de praias e um dos aspectos positivos é minimizar os impactos gerados pelas constantes retiradas de sedimentos dos rios. Outro fator predominante é o transporte, pois, no caso do banco estudado, a localização é bem próxima à área a ser regenerada e possui volume suficiente para recuperar todo o litoral de Fortaleza.

"Agregados marinhos siliciclásticos e seu aproveitamento representam fatores de relevante importância socioeconômica, como na recuperação de praias

afetadas pela erosão" (MARTINS & TOLDO JR., 2006a). "Uma das vantagens é de poder suprir grandes volumes muito próximos das áreas urbanas, reduzindo forma drástica o impacto do transporte" (MARTINS, 2007).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir de 1945, após a criação do porto do Mucuripe e a consequente interferência na deriva litorânea, inúmeros trabalhos foram realizados a fim de se avaliar as mudanças na dinâmica costeira, fossem para quantificar a perda de faixa de praia devido à erosão acentuada que se instalou, fossem para promover estudos sobre as obras de contenção que visavam amenizar ou cessar essa perda sedimentar. Muitos desses trabalhos foram citados nessa pesquisa com a finalidade de englobar um arcabouço histórico capaz de caracterizar a área de estudo adotada, fornecendo informações como a formação dessa jazida sedimentar.

Nos capítulos anteriores, foram relatadas mudanças nessa área como a dragagem no canal, a exploração desses granulados marinhos e, com maior importância, a evolução desse banco sedimentar.

Buscando dar continuidade ao monitoramento dessa restinga optamos por fazer um trabalho minuciosamente detalhado no que se refere à caracterização sedimentar. Para tal estudo, a área escolhida foi dividida em perfis com uma media de 100 m de distância entre si. Sobre o banco e suas adjacências, foram estabelecidos 254 pontos onde se realizaram coletas, como anteriormente explicado.

A análise granulométrica nos proporcionou muitas informações sobre o banco sedimentar de Fortaleza. A discussão sobre tais dados será o foco deste capítulo.

6.1 ADCP

No campo realizado dos dias 18 a 23 de março de 2011, a corrente foi medida com o auxílio de um ADCP 3D. Como especificado no capítulo de materiais e métodos, o correntômetro mediu três perfis transpassando o banco sedimentar de Fortaleza (FIGURA 29).

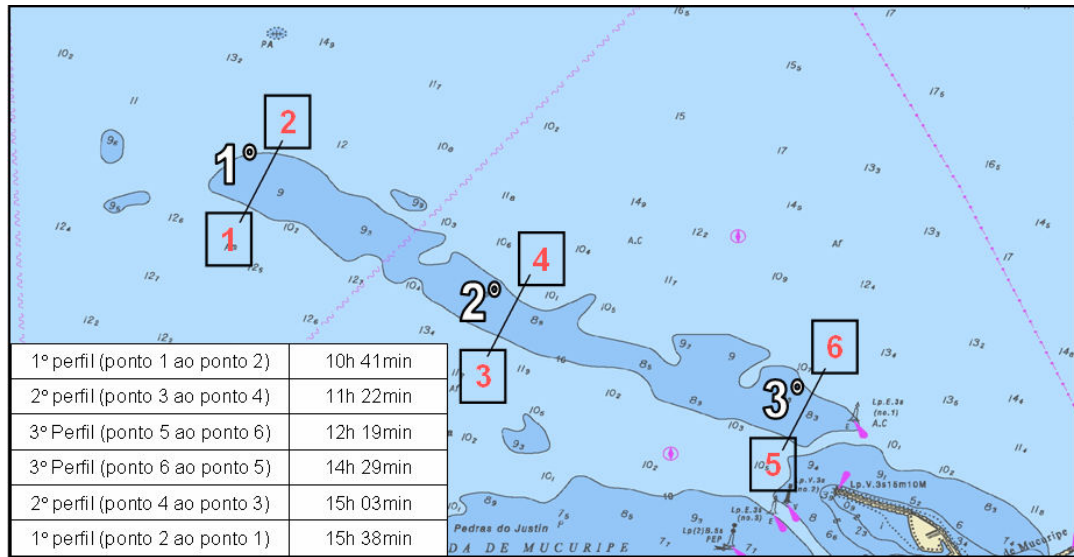


FIGURA 29 – Localização dos perfis realizados no ADCP

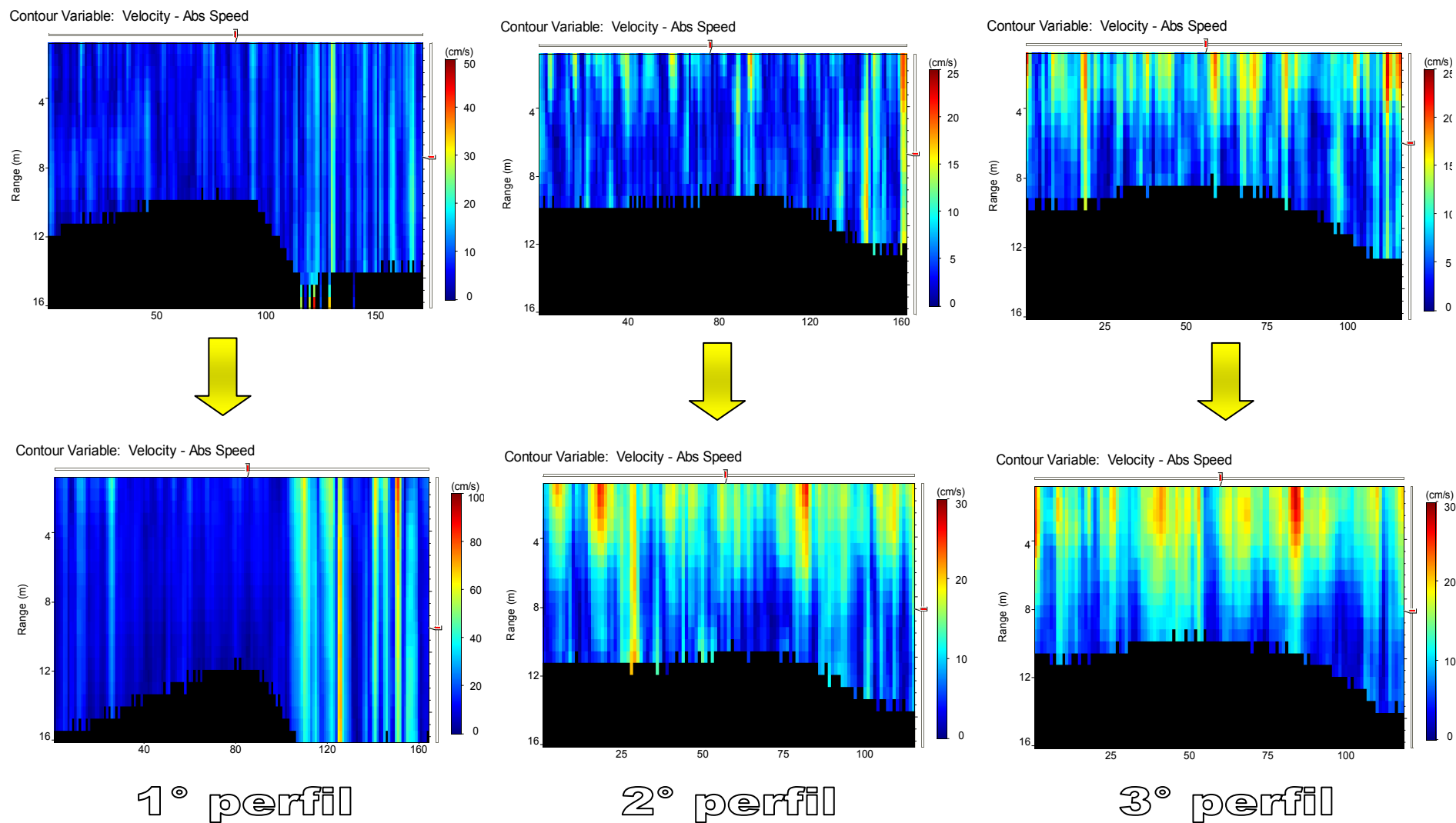


FIGURA 30 – Dados de corrente coletados em campo

O ADCP registrou dados de até 16 metros na coluna de água, profundidade evidenciada na batimetria como a maior profundidade encontrada na área de pesquisa.

No perfil 1 foram registradas as velocidades, ou intensidades de correntes, mais baixas – até 0 (zero) cm/s – no fundo oceânico no primeiro registro, com o barco percorrendo a direção terra - mar, na baixamar. O segundo registro no mesmo perfil aconteceu às 15h 38 min local, na preamar, o que pode explicar os picos de velocidade registrados em algumas áreas do perfil 1. A localização nos três perfis é relevante na dinâmica costeira que acontece no litoral de Fortaleza. A concentração de maior dinâmica acontece à direita do banco, onde está localizado o perfil 3. O vento, principal condicionante das correntes, de fevereiro a abril é brando tem predomina, em direção, de NE. As ondas do tipo *sea* incidem diretamente próximo ao molhe do porto do Mucuripe.

No perfil 2, já no primeiro registro (ponto 3), as velocidades são maiores que as do perfil 1 por estarem se aproximando do porto. O segundo perfil na preamar, realizado às 15h 03 min, pode também ter influência no resultado de velocidades mais significativas.

Finalmente, no perfil 3, cuja localização encontra-se ao lado do molhe, onde a dinâmica é mais intensa, observa-se o fato dos dados do ADCP serem coletados no período de enchente, às 14h 29 min, o que pode explicar as maiores intensidades de correntes, sendo registrada em alguns pontos aproximadamente 30cm/s.

Em todos os perfis, as maiores velocidades foram documentadas na superfície, que compreende os primeiros 4 metros de profundidade. Quando a velocidade é maior na superfície, o sedimento fino não decanta, tendo predominância maior de sedimentos mais grossos no fundo transportados por tração ou arrasto. A classificação sedimentológica realizada nessa pesquisa corrobora com essa teoria, sendo discutida a seguir.

6.2 Fácies sedimentares

Para Middleton (1976 *apud* NETTO, 1980), a observação dos sedimentos nos seus ambientes naturais mostrou que os grãos de arenito preservados no registro geológico representam uma amostra de material transportado por três processos independentes:

- a) grãos maiores, transportados por tração ou arrasto;
- b) grãos de tamanhos intermediários, transportados por saltação em meio fluido;
- c) grãos menores, transportados em suspensão.

Os métodos de análises granulométricas procuram determinar as percentagens, em peso, dos grãos existentes em cada classe granulométrica. Em seguida, esses dados deverão ser convertidos em informações numéricas ou gráficas, que servirão para descrições texturais e estudo do comportamento dos sedimentos durante o transporte e deposição, além de comparar as variações granulométricas de um conjunto de amostras através da observação visual dos resultados (MCMAN US, 1988).

Os depósitos submersos são corpos formados pelo avanço do rio no mar, como material de granulometria cuja classificação vai desde grossa à areia fina ou, ainda, lama. Tais depósitos formam barras longitudinais ou diques que podem aumentar, mas permanecem submersos devido à ação das ondas. Os sedimentos mais finos se depositam na zona de turbilhonamento após estas barras e seus depósitos são normalmente removidos por marés e, principalmente, pelas correntes marinhas. "O tamanho do sedimento reflete a topografia de fundo e a intensidade local da turbulência e da energia de dissipação das ondas" (KOMAR, 1998).

As 254 (duzentas e cinquenta e quatro) amostras processadas no SAG – Sistema de Análise Granulométrica – geraram vários índices. Por eles, pudemos atestar a classificação textural do grão pela média, graus de seleção e de assimetria, curtose, e outras informações, que depois foram interpretadas e correlacionadas à dinâmica sedimentar do litoral de Fortaleza.

Após o peneiramento das amostras, foram calculadas as massas, de cada 100 g por amostra, que foram perdidas na lavagem. A perda de sedimentos foi insignificante para a classificação no programa, variando entre um intervalo de 0,2 a

2 gramas. Perdas mais acentuadas aconteceram em apenas 13 amostras, que foram submetidas à pipetagem. Ressaltamos que as amostras 7 e 11 foram peneiradas duas vezes, haja vista que foram coletados dois materiais diferentes em campo no mesmo ponto. Todavia, depois de lavadas e peneiradas, nenhuma das amostras (7_1 , 7_2 , 11_1 e 11_2) resultou em pipetagem.

Os dados também foram analisados no programa SAG e classificados pela média (TABELA 4).

TABELA 4 – Pipetagem e classificação das amostras pela média

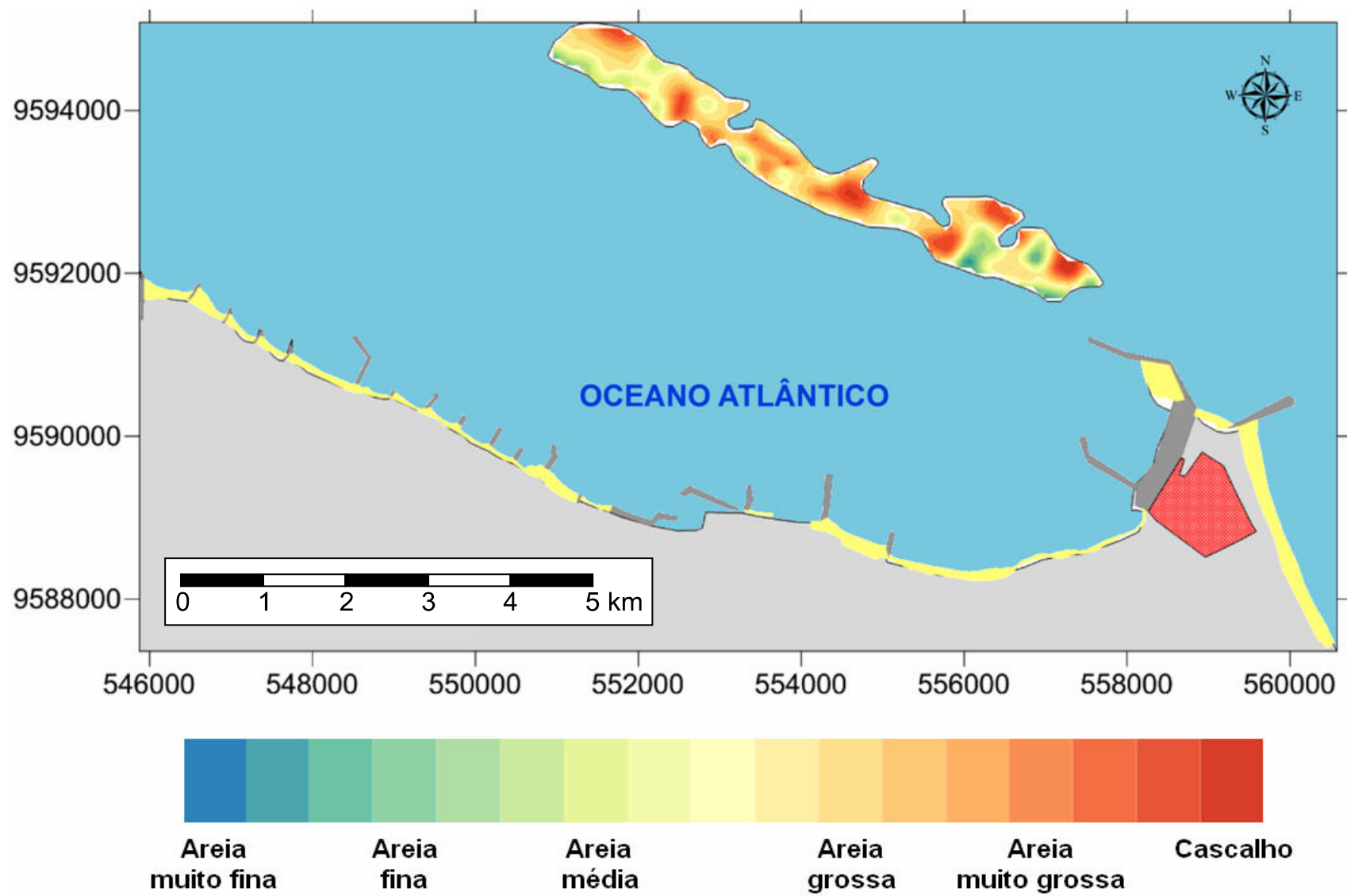
AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO PELA MÉDIA
DS-016	AREIA MUITO FINA
DS-032	SILTE
DS-048	AREIA FINA
DS-011	AREIA FINA
DS-029	AREIA MUITO FINA
DS-031	AREIA MUITO FINA
DS-035	AREIA FINA
DS-062	AREIA MUITO FINA
DS-078	AREIA MUITO FINA
DS-094	AREIA MUITO FINA
DS126	AREIA FINA
DS-143	AREIA MUITO FINA
DS-174	AREIA MUITO FINA

As amostras peneiradas foram classificadas, pela média, nos conceitos areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina. Apenas uma amostra, referente ao ponto 183, foi classificada como cascalho tendo em vista que a draga somente pôde retirar dali um bloco rochoso. Após a pipetagem, uma amostra foi, ainda, classificada como silte.

Abaixo temos a classificação geral obtida para as amostras coletadas:



FIGURA 31 – Classificação granulométrica dos sedimentos coletados em campo – 18/03/2011 a 20/03/2011



MAPA 3 – Fácies sedimentares

Como se pode ver no mapa de fácies sedimentares, a maior parte do banco é composta por sedimentos mais grossos: areia muito grossa (17,6%), areia grossa (40,6%) e areia média (27%), exceto cascalho (0,4%). Os sedimentos de textura mais fina, areia fina (10,5%), areia muito fina (3,5%) e silte (0,4%) aparecem em pequena quantidade (TABELA 5).

TABELA 5 – Porcentagem por classe de amostra

CLASSIFICAÇÃO	%
CASCALHO	0,4
AREIA MUITO GROSSA	17,6
AREIA GROSSA	40,6
AREIA MÉDIA	27,0
AREIA FINA	10,5
AREIA MUITO FINA	3,5
SILTE	0,4

Os sedimentos concentrados no canal e próximos a ele são finos, o que pode ser explicado pela dragagem e por estarem localizados numa área de grande dinâmica litorânea, recebendo os sedimentos diretos da deriva litorânea que são transportados pela corrente vinda do litoral leste de Fortaleza.

Os sedimentos mais grossos, que formam o banco sedimentar de Fortaleza, são transportados por arrasto. Os dados medidos pelo ADCP em campo (FIGURA 32), expondo a velocidade maior na superfície, demonstram que os sedimentos finos não conseguem decantar, sendo então levados pela deriva. Os sedimentos finos acabam por entrar e se acumular na bacia de evolução do porto do Mucuripe, assim como observado por Moraes (1972).

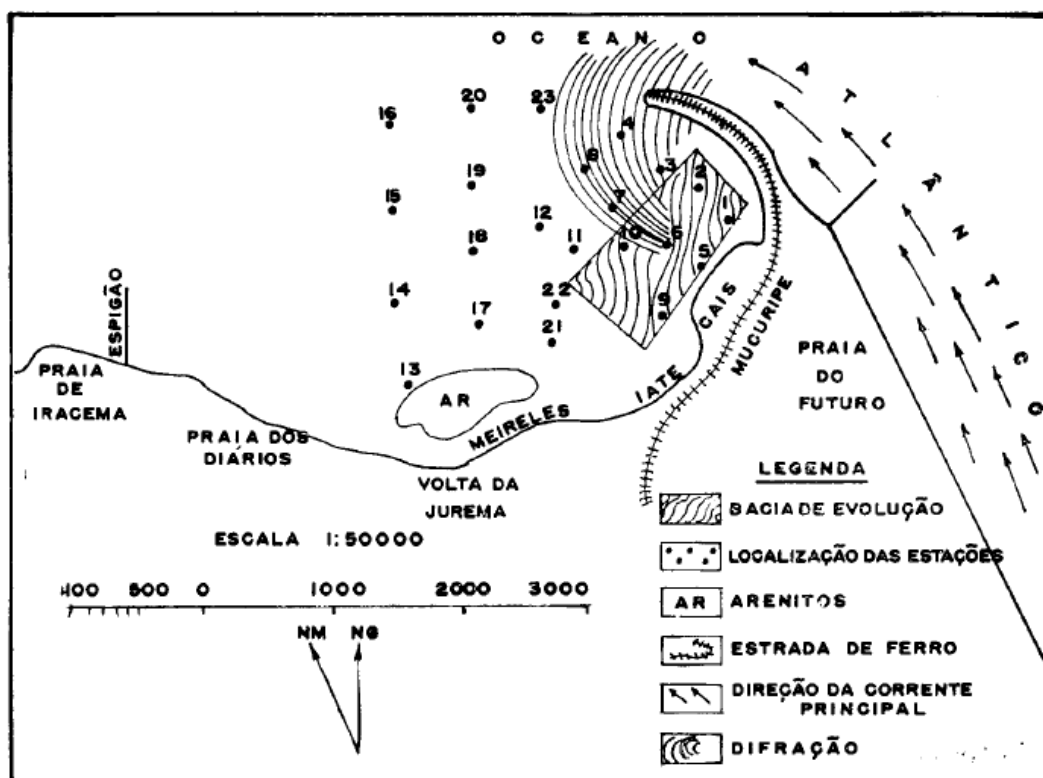


FIGURA 32 – Localização da bacia de evolução e das estações de coletas de água e sedimentos na Enseada do Mucuri. Fonte: Morais (1972)

6.2.1 Grau de seleção

O grau de seleção é representado pelo desvio padrão da amostra a partir de sua média. Foi sugerido por Folk & Ward (op. cit.) o uso de uma medida de seleção que eles chamaram de Desvio Padrão Gráfico, calculado através da fórmula:

$$\sigma = (\Phi_{84} - \Phi_{16}) / [4 + (\Phi_{95} - \Phi_5)] / 6,6$$

A partir da fórmula, podemos classificar os valores nos seguintes conceitos de grau de seleção:

- $\sigma < 0,35$: Muito bem selecionado;
- $0,35 < \sigma < 0,50$: Bem selecionado;
- $0,50 < \sigma < 0,71$: Moderadamente bem selecionado;
- $0,71 < \sigma < 1,00$: Moderadamente selecionado;

- $1,00 < \sigma < 2,00$: Pobremente selecionado;
- $2,00 < \sigma < 4,00$: Muito pobremente selecionado;
- $\sigma > 4,00$: Extremamente mal selecionado.

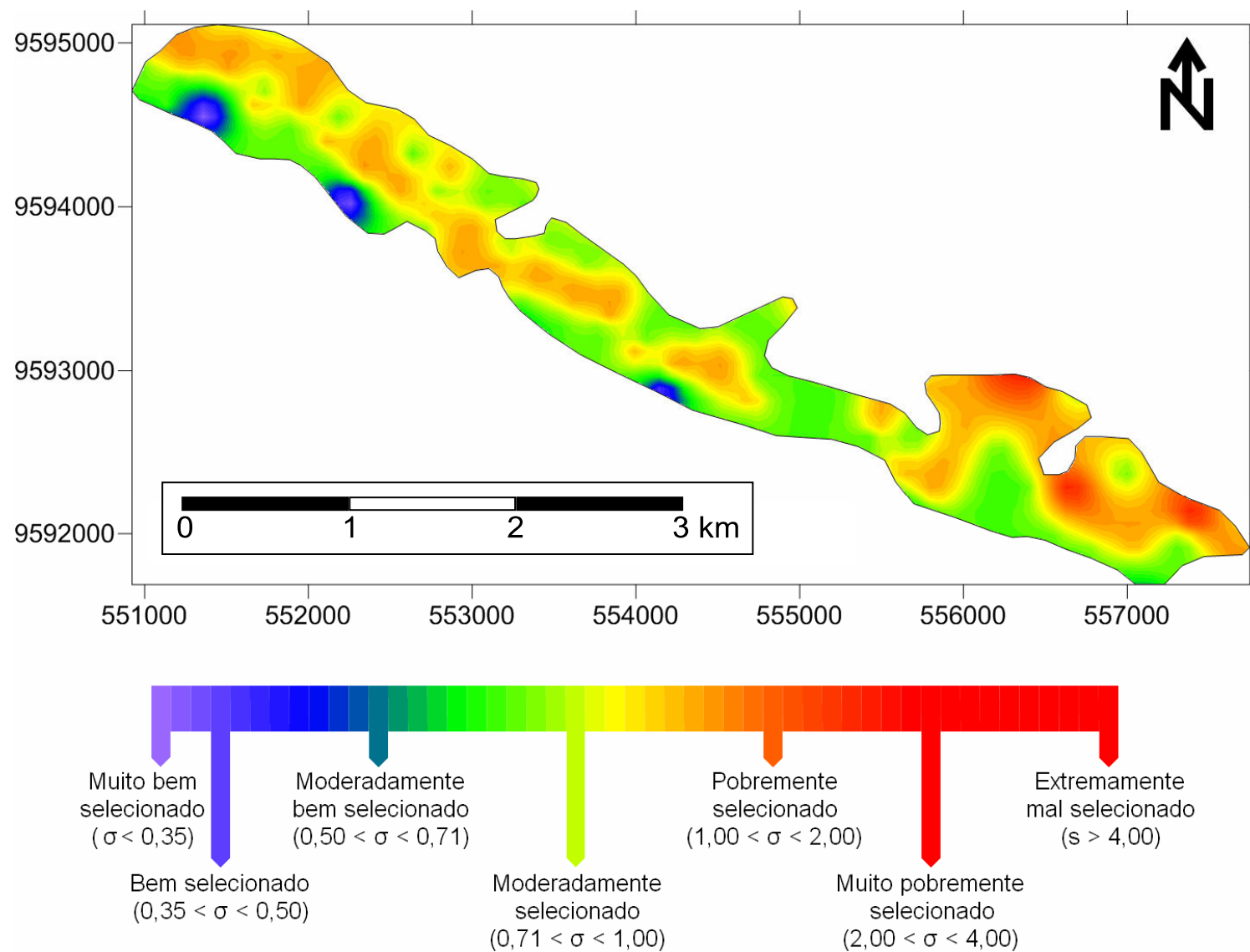
Ainda:

- a) nos ambientes de alta energia (praias e dunas), predominam areias finas a médias bem selecionadas;
- b) em ambientes mistos (estuários e áreas transicionais costeiras), temos sedimentos com grãos bem e mal selecionados;
- c) já nos ambientes de baixa energia (lagoas e baías) os grãos apresentam-se com seleção pobre em virtude da variação dos tamanhos associados entre si, tais como cascalho, areia e lama.

Como podemos observar no mapa gerado (MAPA 4) e comparados com os dados obtidos com o mapa de fácies sedimentares (MAPA 3), os sedimentos foram assim classificados:

- a) moderadamente selecionado em grande parte do banco sedimentar. Essa classificação predomina nas áreas classificadas como areia média, areia fina e areia muito fina;
- b) pobremente selecionado em partes significativas do banco, classificação onde predominam areias muito grossas e areia grossa;
- c) muito bem selecionado e bem selecionado em ocorrências pontuais no banco. Nestes locais, a classificação recai em areia fina, areia muito fina e areia média;
- d) muito pobremente selecionado em ocorrências pontuais, mas de destaque, onde predominam areias muito grossas e areias grossas.

A amostra apresenta melhor seleção, ou seja, apresenta menor grau de dispersão de suas classes granulométricas, quanto menor for o valor encontrado.



MAPA 4 – Classificação dos sedimentos segundo o seu grau de seleção

6.2.2 Grau de assimetria

Conforme a metodologia desenvolvida por Folk & Ward (1957), a equação para a Assimetria Gráfica inclusa é:

$$S_{KI} = \frac{(\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50})}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{(\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50})}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$$

Os conceitos são:

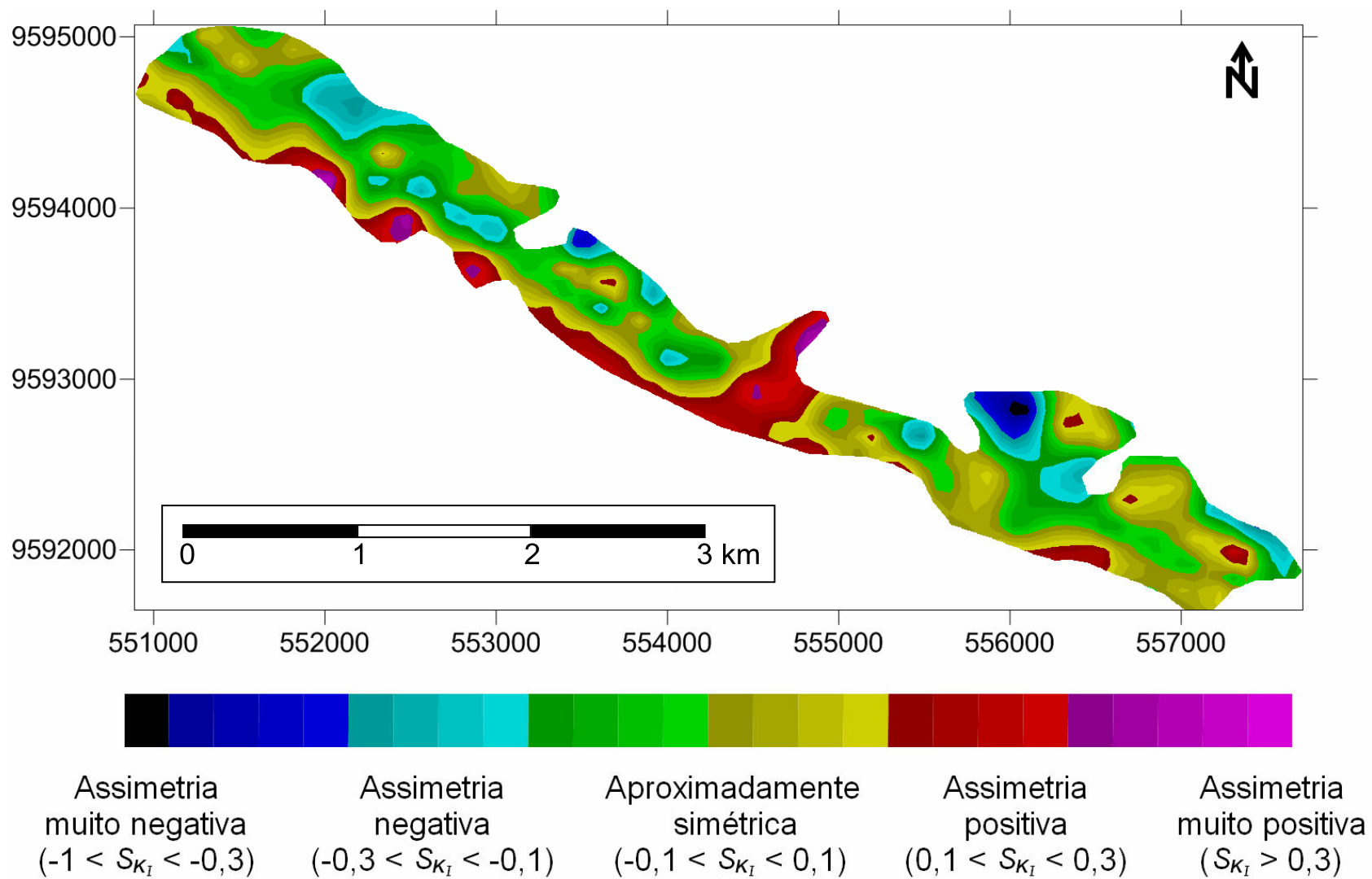
- $-1,00 < S_{KI} < -0,30$: assimetria muito negativa;
- $-0,30 < S_{KI} < -0,10$: assimetria negativa;
- $-0,10 < S_{KI} < +0,10$: aproximadamente simétrica;
- $+0,10 < S_{KI} < +0,30$: assimetria positiva;
- $S_{KI} > +0,30$: assimetria muito positiva.

A classificação por grau de assimetria ficou distribuída de forma razoavelmente homogênea. Das 254 amostras processadas, 57 foram classificadas como assimetria muito negativa, 57 como assimetria negativa, 61 como aproximadamente simétrica, 52 como assimetria positiva e 27 como assimetria muito positiva, menor número de classificação dentre as amostras.

Observe-se ainda que:

- a) assimetria muito positiva recaiu sobre amostras mais pontuais, onde houve predomínio de areia média e areia grossa classificadas com esse grau de assimetria;
- b) assimetria positiva foi observada onde estão os sedimentos mais grossos, como areia grossa e areia muito grossa;
- c) classificação aproximadamente simétrica revelou-se onde estão os sedimentos mais finos, próximos ao molhe do porto do Mucuripe;
- d) com assimetria negativa ficaram as amostras classificadas como espaçadas, também próximas ao molhe do porto do Mucuripe;

e) a assimetria muito negativa ocorreu em pequenas áreas próximas ao molhe do porto do Mucuripe cujas classificações predominantes foram areia média.



MAPA 5 – Classificação dos sedimentos segundo sua assimetria

6.2.3 Curtose

A curtose pode ser calculada, segundo Folk & Ward (op. cit.), pela equação:

$$K_G = (\Phi_{95} - \Phi_5) / [2,44 * (\Phi_{75} - \Phi_{25})]$$

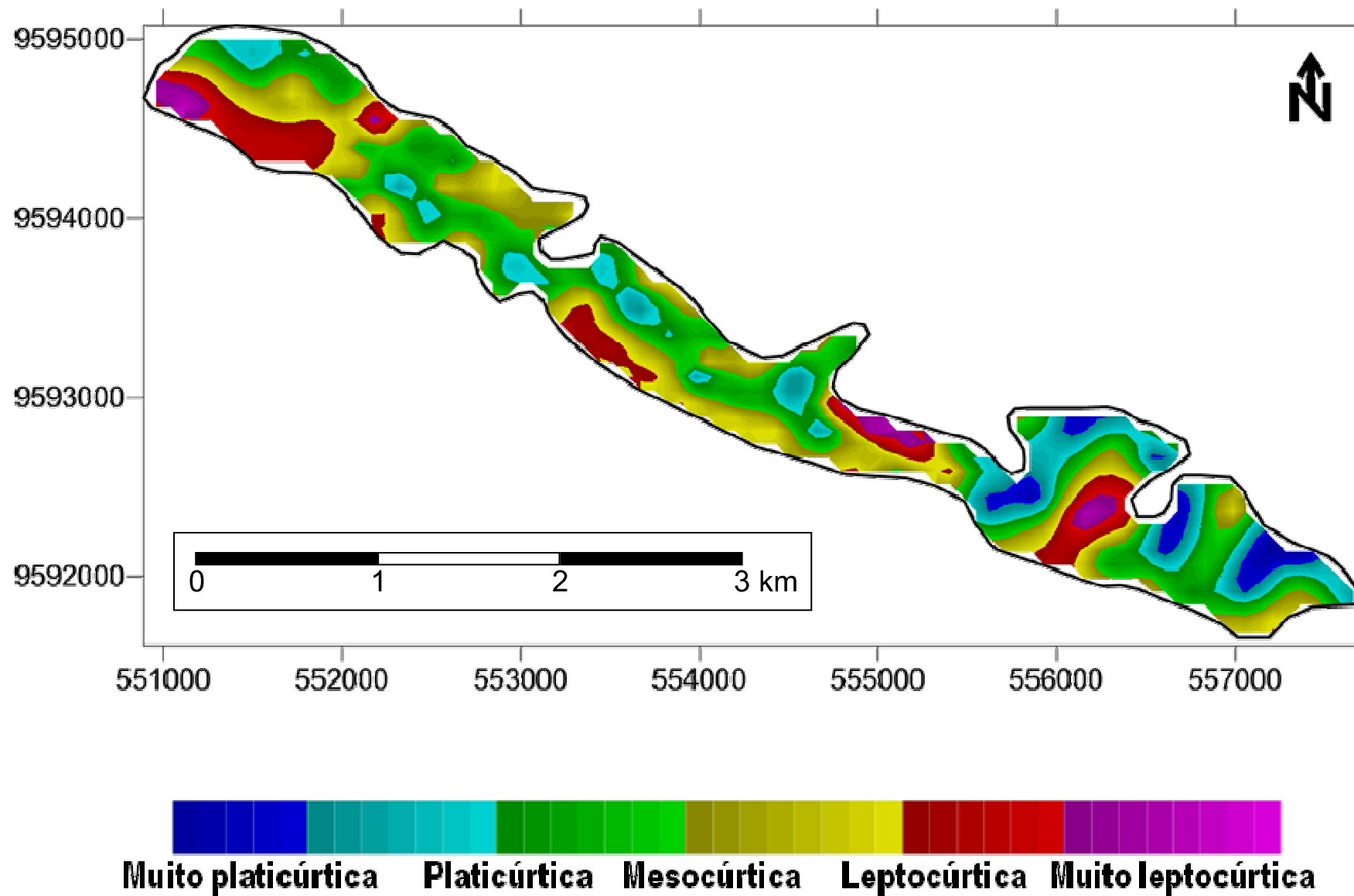
Os resultados serão assim definidos:

- $K_G < 0,67$: muito platicúrtica;
- $0,67 < K_G < 0,90$: platicúrtica;
- $0,90 < K_G < 1,11$: mesocúrtica;
- $1,11 < K_G < 1,50$: leptocúrtica;
- $K_G > 3,00$: extremamente leptocúrtica.

Analisando o mapa dos sedimentos no que tange à classificação da curtose foi bem variada como ocorreu com a assimetria. Cronan (1972 apud SUGUIO, 1973), em pesquisas no nordeste do Mar da Irlanda, concluiu que as variações na assimetria e na curtose estão relacionadas com a mistura de duas ou mais classes granulométricas em proporções variadas, o que podemos observar no mapa de classificação de fácies sedimentar (MAPA 6).

O tipo de sedimento de maior classificação foi o leptocúrtico; isso pode indicar remoção de uma fração dos sedimentos, por meio de correntes de fundo. A classificação platicúrtica, apesar de estar em menor quantidade em relação à leptocúrtica, pode ainda indicar mistura de populações diferentes.

A assimetria e a curtose, segundo Folk & Ward (1957), fornecem um meio para determinação da bimodalidade de uma curva.



MAPA 6 – Classificação dos sedimentos segundo sua curtose

6.3 Batimetria

Os estudos da batimetria são fundamentais no conhecimento da margem continental, permitindo fazer comparações volumétricas e avaliar variações de forma. O objetivo da batimetria nesta pesquisa foi estabelecer uma evolução morfológica do banco sedimentar de Fortaleza. Para atingir esta meta, foi desenvolvida uma malha composta por 80 (oitenta) perfis transversais e/ou longitudinais na área delimitada; ao longo destes perfis, um ecobatímetro obteve dados com diferença temporal entre si de um segundo. Todo o procedimento ocorreu durante dois dias em campo embarcado.

Para determinar a evolução da restinga submersa defronte à região adjacente ao Porto do Mucuripe foram utilizadas duas batimetrias. A primeira é datada em 1997; a segunda foi realizada em campo em 2011. A batimetria mais antiga aqui mencionada foi realizada pelo porto do Mucuripe com a finalidade de definir as causas do assoreamento do mesmo (levantamento batimétrico em área de restinga).

As batimetrias possuem mesma projeção, *datum* vertical e *datum* horizontal, o que permitiu a interpolação dos dados. É válido destacar que a escala de trabalho não foi a mesma, sendo necessária a inserção de uma área comum às duas batimetrias conhecida tecnicamente como *blank*. O *blank* estabelecido possui os seguintes dados de limitação geográfica: 550806.537277 (XMin) / 558359.822784 (XMax) e 9590951.30653 (YMin) / 9595772.80094 (YMax).

A interpolação das duas batimetrias foi realizada no programa *Surfer* versão 8.0. Os dados de cada batimetria foram inseridos como arquivos do tipo *Golden Software Data* (*.dat), que foram depois convertidos para arquivos do tipo *Grid*. Os *grids* são arquivos necessários para criar contorno, imagem, relevo sombreado, vetor de superfície e mapas de estrutura em grades. Após a criação dos *grids* foi realizada a interpolação dos dados com auxílio da ferramenta *Grid Math*. Essa ferramenta cria uma nova grade a partir da transformação dos valores de Z de um arquivo (profundidades) combinado aos valores Z de outros dois arquivos – as batimetria de 1997 e batimetria 2011, que são do tipo *grid*.

O arquivo de grade de saída baseia-se na função matemática “ $C = f(A, B)$ ”, onde “C” é o arquivo de grade de saída e os termos A e B correspondem

respectivamente às batimetrias de 2011 e 1997, representados como arquivos de grade de entrada. A função definida é realizada em nós correspondentes com as coordenadas XY mesmo a partir dos arquivos de grade de entrada. O resultado do cálculo é colocado nas mesmas coordenadas do arquivo de grade de saída. Já a formulação utilizada para obter a evolução da restinga submersa entre os anos de 2011 e 1997 foi “ $C=A-B$ ”.

É de importância, reiterar-se, conhecer o detalhamento da batimetria mais antiga:

➤ Especificações da batimetria de 1997:

Período de realização: 11 a 18 de setembro de 1997;

Inscrição DHN: Nº 149/95;

Profundidades reduzidas ao RN da DHN para o local;

Posicionamento submétrico - GPS modo diferencial em tempo real;

Projeto: Estudo objetivando definir as causas do assoreamento do Porto do Mucuripe (Levantamento batimétrico Área de Restinga);

Contratante: Ministério dos Transportes - Companhia Docas do Ceará – CDC;

Contratada: PETCOM (Planejamento-Engenharia-Transporte-Consultoria);

➤ Especificações técnicas:

Escala de Trabalho: 1:10000;

Projeção: UTM;

Datum Horizontal: Córrego Alegre;

Datum Vertical: Imbituba – SC.

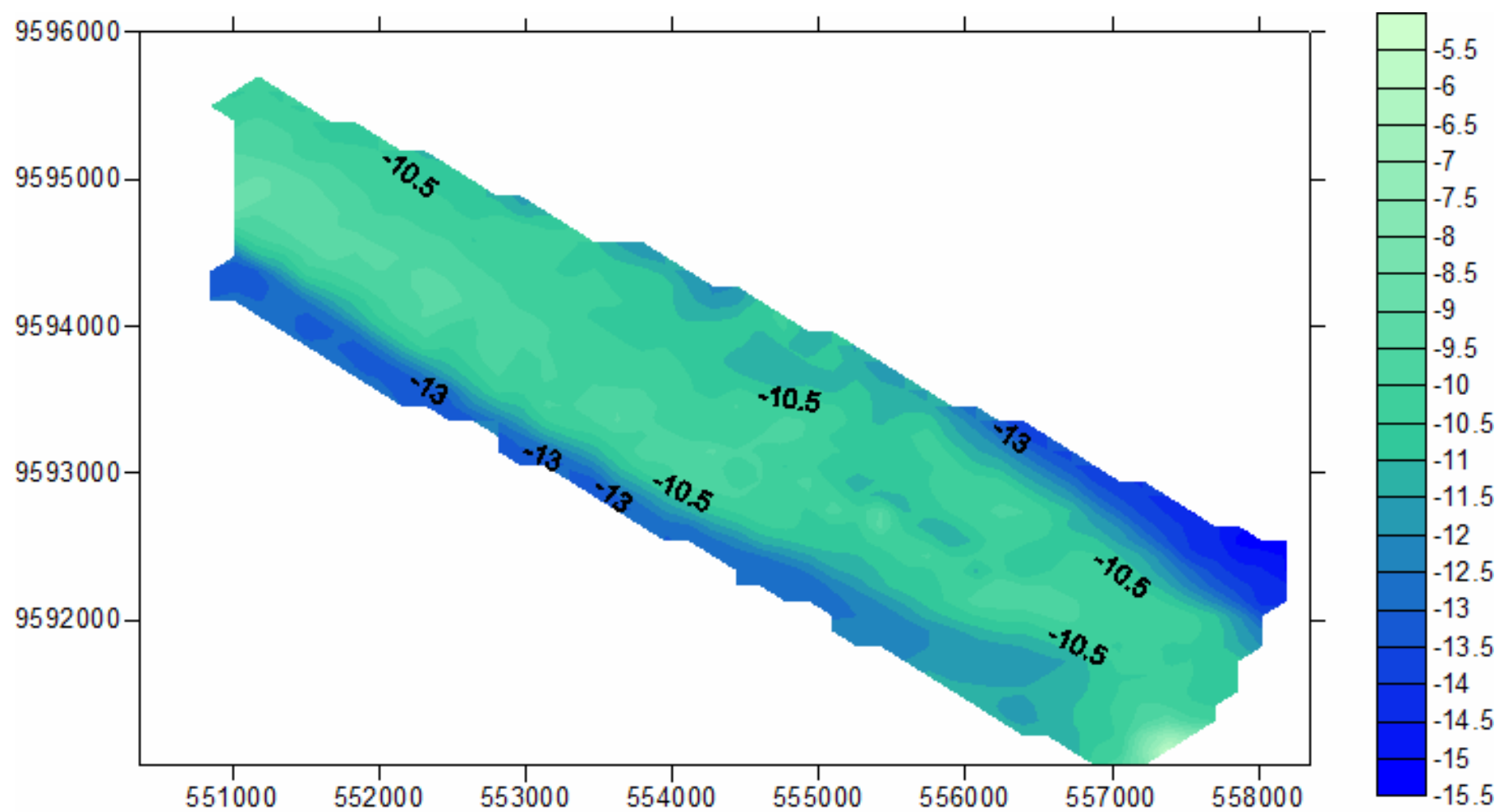


FIGURA 33 – Levantamento batimétrico do banco sedimentar de Fortaleza 1997, área de restinga

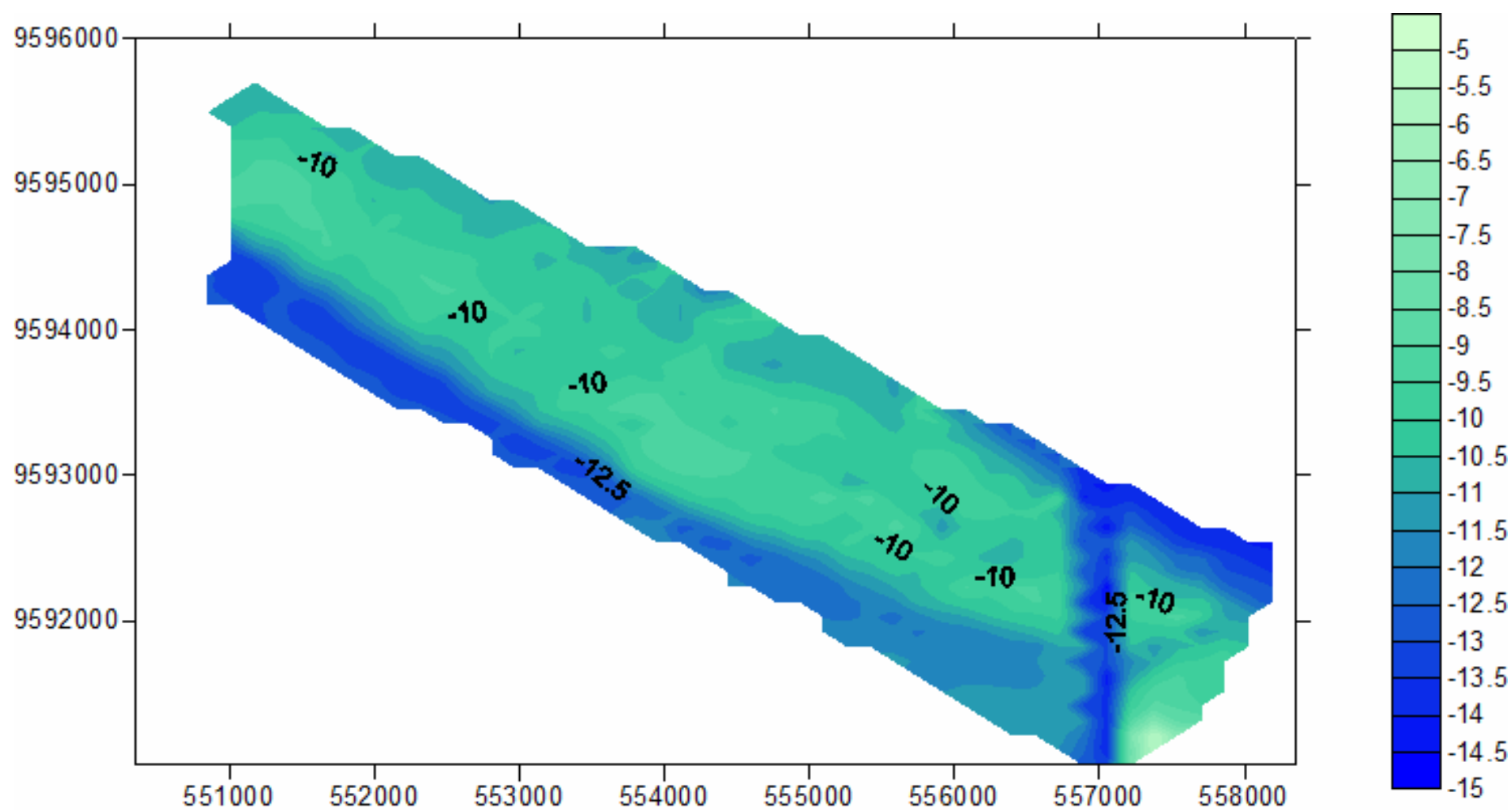


FIGURA 34 – Levantamento batimétrico do banco sedimentar de Fortaleza 2011, área de restinga

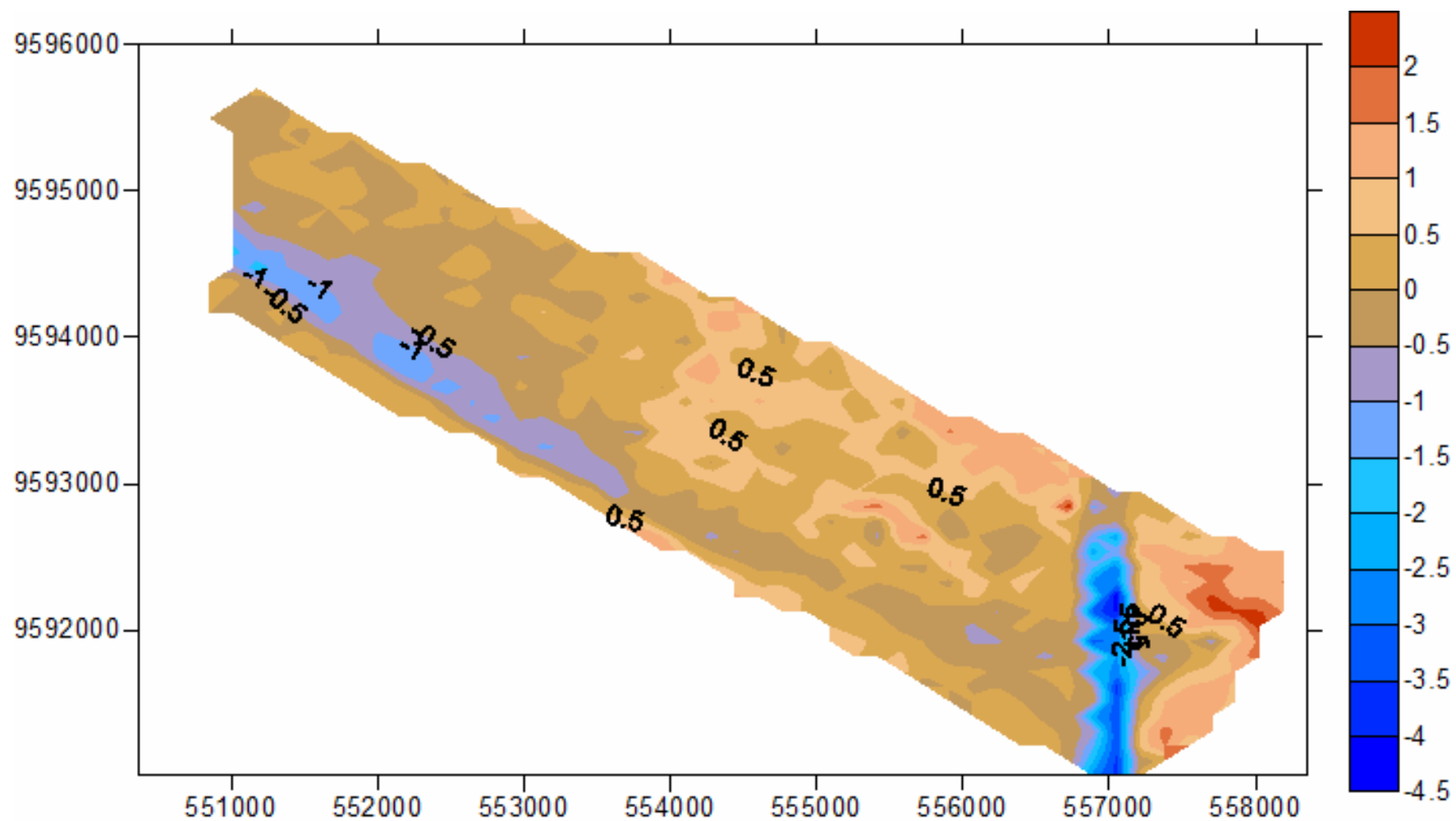


FIGURA 35 – Interpolação das duas batimetrias, 1997 e 2011

Analizando as batimetrias plotadas, podemos perceber que o canal que foi dragado, com profundidade de 14 m próximo ao porto do Mucuripe, ainda não existia. De fato, a dragagem somente ocorreu em 2010/2011 com o objetivo de "aumentar a área para que os navios, principalmente os de grande porte, possam de fato atracar no porto de Fortaleza" (HANSEN, 2010a). Com a obra, esperava-se atingir uma importante meta: aumentar a profundidade do próprio porto para 14,0 metros, o que de fato aconteceu – sem, contudo, não deixar de imprimir desarranjos na morfologia da área, tendo em vista que antes da obra o canal tinha uma profundidade de 10,5 metros. Após a dragagem, estimou-se que navios com até 100 mil toneladas de massa – o dobro da capacidade anterior – poderiam atracar, desde sua execução seja periodicamente mantida, removendo-se mecanicamente o saldo de deposição que não tem condições de ser carregado naturalmente.

Quando calculamos a diferença entre as batimetrias no banco em 1997 e 2011, percebemos que a área onde o canal foi dragado apresenta uma perda de 2,5 a 4,5 metros de profundidade, constituindo-se a maior área de perda. À esquerda do banco também iremos presenciar perdas pontuais de sedimentos, variando ora entre 0 a 0,5 metro, ora entre 0,5 a 1,0 metro. Na maior parte do banco, porém, houve ganho de sedimentos que, eventualmente, chegou a 2 metros. As profundidades registradas através da batimetria realizada em 2011 podem ser visualizadas na imagem mais adiante (FIGURA 36).

Através de análises isobatimétricas após a construção do porto do Mucuripe, pode-se ver claramente a tendência de aprofundamento natural da enseada. Esse fenômeno indica que as areias carregadas pelo vento das dunas para a praia assumiam transporte litorâneo, começando a depositar-se na Praia de Iracema. Os fundos da enseada sofriam apenas erosão intensa e os sedimentos erodidos da Praia de Mucuripe também seguiam o transporte litorâneo em faixas de pequena profundidade. A situação modificou-se bastante a partir da construção do porto de Mucuripe em 1940 (MORAIS, 1981).

FIGURA 36 –Profundidades registradas pela batimetria e corrigidas pelo ondógrafo

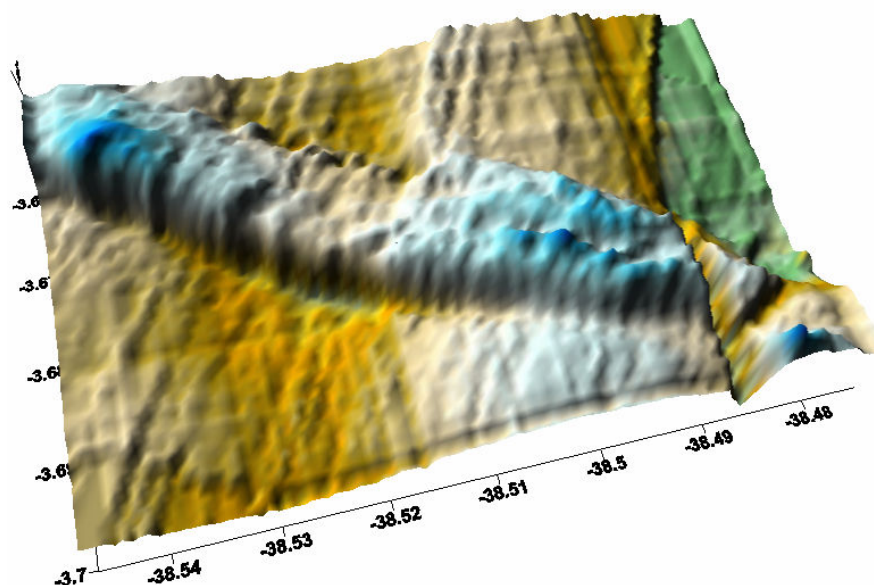


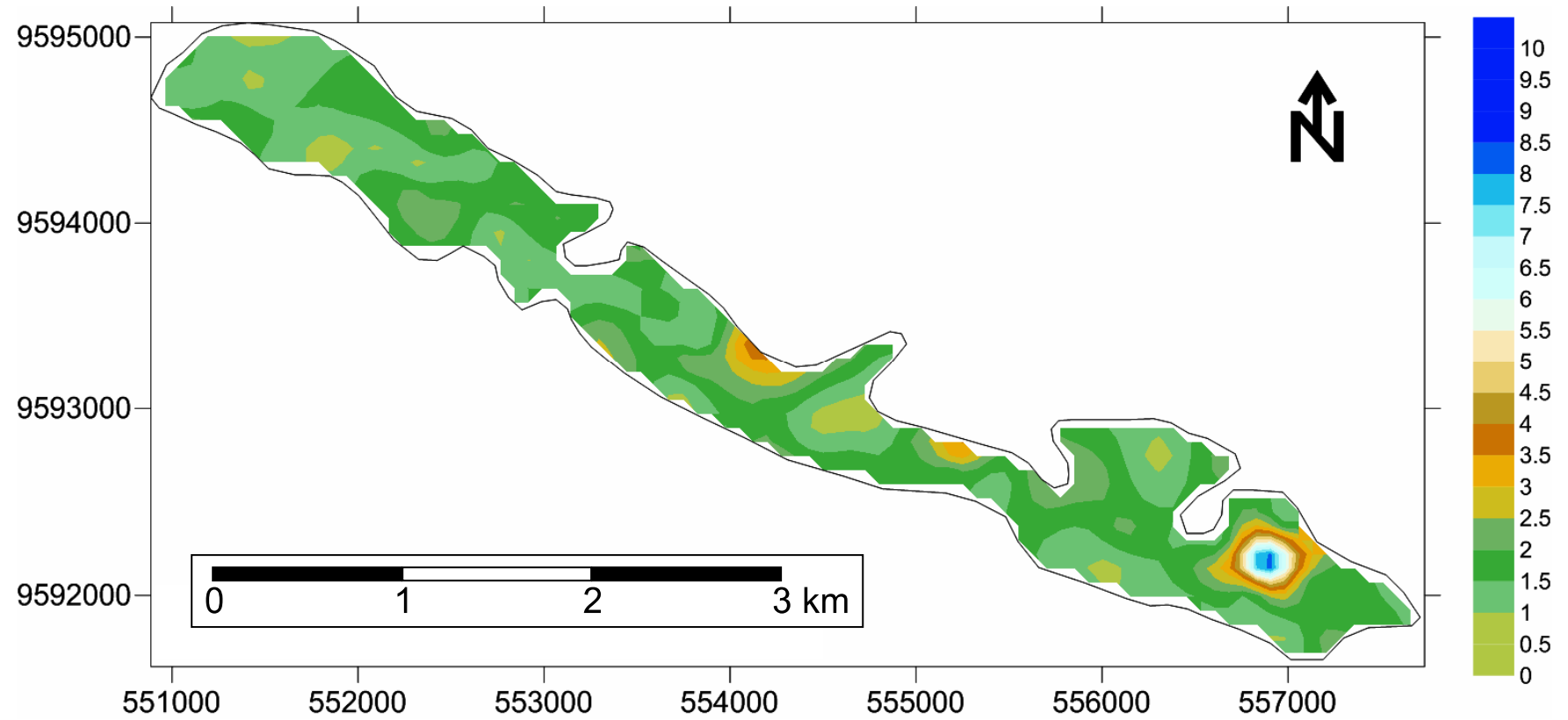
FIGURA 37 – Batimetria do banco sedimentar de Fortaleza 2011 plotada

6.4 Teor de matéria orgânica

A classificação de matéria orgânica resultou em teores na ordem de 0,5 a 10% nos sedimentos analisados. Os valores mais altos de matéria orgânica estão localizados próximo ao canal dragado na bacia do porto do Mucuripe, enquanto os valores mais baixos estão associados aos sedimentos arenosos.

Essa correlação inversa entre a quantidade de matéria orgânica e a textura sedimentar é dependente da natureza da fração fina do material orgânico, da adsorção das partículas orgânicas dependentes de superfícies dos argilo-minerais e da superfície do grão para adsorção (FROELICH *et. al.*, 1971; MAYR, 1994).

A Praia da Leste, localizada no litoral oeste de Fortaleza e assim batizada como referência à Avenida Leste-Oeste ali próxima, apresenta um emissário nas coordenadas 03° 47' 49"S / 38° 32' 43"W que adentra o mar se distanciando 3,2 km da faixa de praia. Pelos resultados obtidos, podemos concluir que esse emissário submarino não influencia no banco sedimentar de Fortaleza pois, mediante a potencialidade de emissão de materiais como nutrientes, compostos orgânicos sintéticos, resíduos sólidos e plásticos entres outros contaminantes, o teor de matéria orgânica poderia ter uma porcentagem maior.



MAPA 7 – Classificação dos sedimentos segundo a matéria orgânica

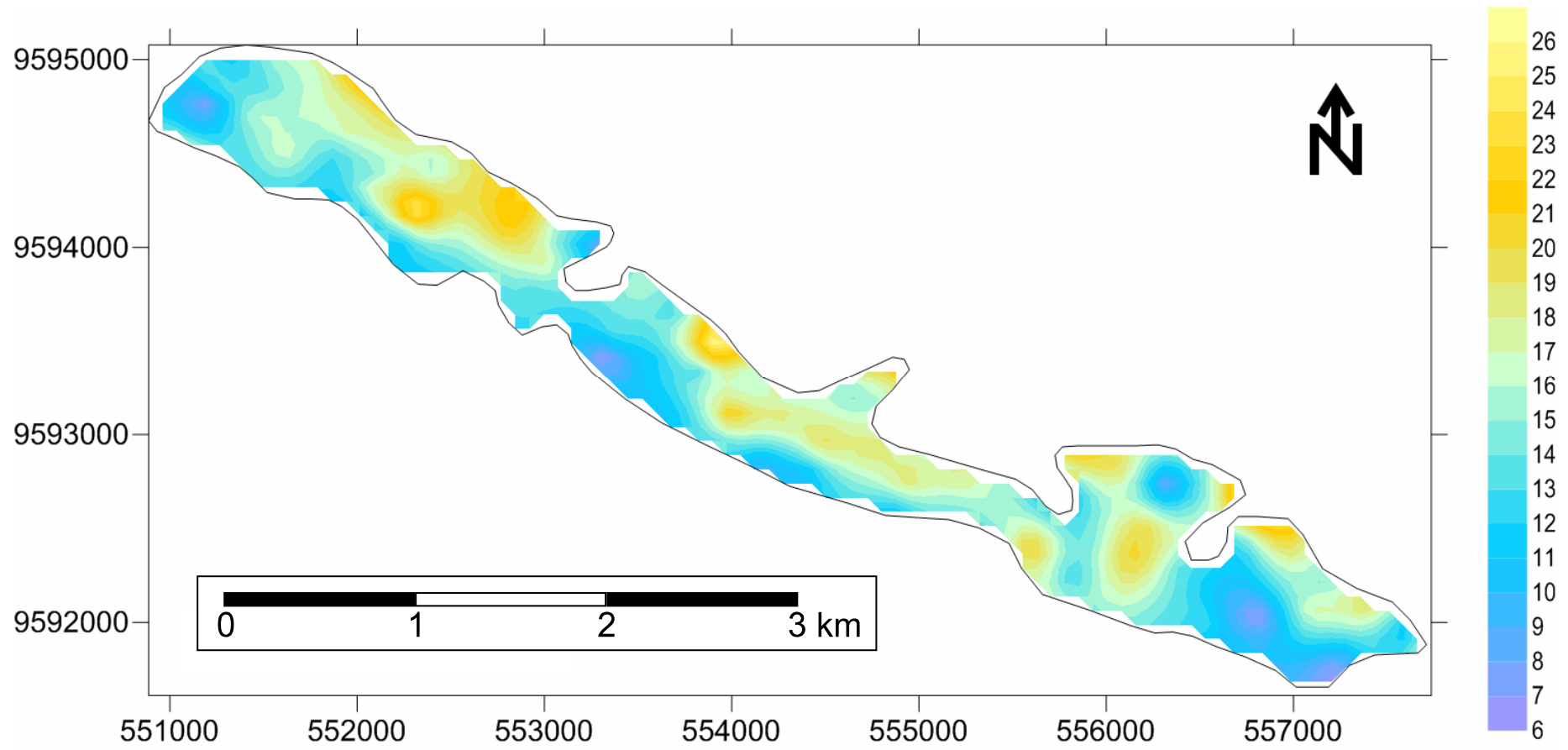
6.5 Teor do Carbonato de Cálcio dos sedimentos marinhos

Os teores de carbonato de cálcio (CaCO_3) variaram de 6 a 26%. Os sedimentos com maior teor carbonático estão distribuídos na parte superior da jazida e próximos ao canal dragado. Todavia, 209 amostras possuem concentração desse elemento menor que 2,5% e apenas 7 amostras possuem percentual maior que 5,5%.

Os resultados conseguidos podem ser reforçados por KNOPPERS *et al.* (1999 apud AGUIAR, 2007) que afirmaram que a interação entre a sedimentação carbonática e a influência continental, que controla a distribuição do tipo de sedimentos, ocorre da seguinte maneira: quanto maior a influência continental, menor é o teor de carbonatos em sedimentos de plataforma. Vale salientar que o banco sedimentar está localizado na plataforma interna de Fortaleza.

Nas 254 amostras de sedimentos marinhos avaliados, todas apresentaram concentrações de carbonato de cálcio menores que 30%, vindo a ser, portanto, classificadas perante a metodologia de Larssonneur (1973) como sedimentos litoclásticos. Essa disposição sedimentar já foi atestada por Cavalcanti *et al.* (2007) quando ele afirmou que os sedimentos são predominantemente siliciclásticos, com textura variando de areia média a cascalho, com predomínio de areia grossa sobre as demais frações, bem como de quartzo sobre a fração total de areia, que apresenta grãos subarredondados e angulosos, brilhosos, pobremente a moderadamente selecionados. As demais classificações sobre o sedimento também foram realizadas nesse trabalho e foram obtidos resultados semelhantes.

Segundo Martins (2007 e 1999) os granulados marinhos são, depois do petróleo e gás, os recursos marinhos mais extraídos mundialmente. Muitas variedades formaram-se pela união de conchas do mar de diferentes animais marinhos. Os granulados siliciclásticos são empregados de forma a participar, além da reconstrução de praias, em agregados na construção civil, fabricação de materiais abrasivos, filtrantes, indústria eletrônica, entre outras aplicações.



MAPA 8 – Classificação dos sedimentos segundo o teor de carbonato de cálcio

6.6 Morfometria e morfoscopia

Vários fatores correlacionam-se com a forma de um grão. A estrutura associada à forma original do fragmento combinada com a resistência do material que o originou, além da própria natureza do agente geológico e o tempo e/ou a distância através dos quais o sedimento foi transportado são de súmula importância para compreender a configuração final do grão.

Usando a tabela de Powers (1953), os sedimentos foram analisados em duas frações cada: 0,500 mm (1 *phi*) e 0,250 mm (2 *phi*). As amostras foram classificadas de acordo com a esfericidade, o arredondamento e a textura superficial das partículas sedimentares. Pela metodologia adotada, estabeleceram-se 6 grupos de graus de arredondamento classificados como muito angular, angular, sub angular, sub rolado, rolado, muito rolado. Cada grupo foi caracterizado quanto à esfericidade, que aborda a medida da forma, e ainda quanto à textura superficial como opaco ou brilhoso.

A FIGURA 38 mostra o grau de arredondamento das partículas, com destaque para a alta esfericidade dos grãos, e a porcentagem das seis classes em cada amostra. O resultado geral das 16 amostras analisadas, por sua vez, foi representado em uma tabela (TABELA 6) pela fração 1 *phi* e a fração 2 *phi*.

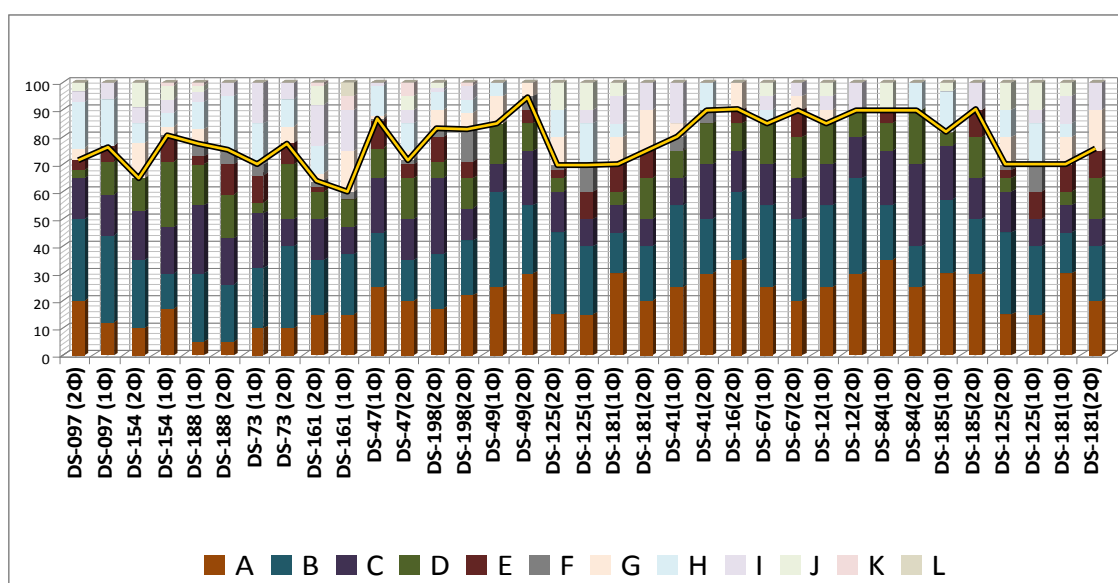


FIGURA 38 – Resultado do grau de arredondamento e esfericidade das amostras

TABELA 6 – Classificação dos dados de morfometria e morfoscopia dos sedimentos coletados em campo

AMOTRAS	PORCENTAGEM PREDOMINANTE	ARREDONDAMENTO	ESFERICIDADE	TEXTURA SUPERFICIAL
DS-097 (1Φ)	32	B	1	Brilho vítreo
DS-154 (1Φ)	24	B	1	Brilho vítreo
DS-188 (1Φ)	25/25	B/C	1	Brilho opaco e brilho vítreo
DS-73 (1Φ)	30	B	1	Brilho vítreo
DS-161 (1Φ)	22	B	1	Brilho vítreo
DS-47 (1Φ)	25	A	1	Brilho vítreo
DS-198 (1Φ)	22	B	1	Brilho vítreo
DS-49 (1Φ)	35	B	1	Brilho vítreo
DS-125 (1Φ)	25	B	1	Brilho vítreo
DS-181 (1Φ)	30	A	1	Brilho vítreo
DS-41 (1Φ)	30	B	1	Brilho vítreo
DS-67 (1Φ)	30	B	1	Brilho vítreo
DS-12 (1Φ)	30	B	1	Brilho vítreo
DS-185 (1Φ)	30	A	1	Brilho vítreo
DS-84 (1Φ)	35	A	1	Brilho vítreo

AMOTRAS	PORCENTAGEM PREDOMINANTE	ARREDONDAMENTO	ESFERICIDADE	TEXTURA SUPERFICIAL
DS-097 (2Φ)	30	B	1	Brilho vítreo
DS-16 (2Φ)	35	A	1	Brilho vítreo
DS-154 (2Φ)	25	B	1	Brilho vítreo
DS-188 (2Φ)	21	B	1	Brilho vítreo
DS-73 (2Φ)	22	B	1	Brilho vítreo
DS-161 (2Φ)	20	B	1	Brilho vítreo
DS-47 (2Φ)	20	A	1	Brilho vítreo
DS-198 (2Φ)	28	C	1	Brilho vítreo
DS-49 (2Φ)	30	A	1	Brilho vítreo
DS-125 (2Φ)	30	B	1	Brilho vítreo
DS-181 (2Φ)	20/20	A/B	1	Brilho vítreo
DS-41 (2Φ)	30	A	1	Brilho vítreo
DS-67 (2Φ)	30	B	1	Brilho vítreo
DS-12 (2Φ)	35	B	1	Brilho vítreo
DS-185 (2Φ)	30	A	1	Brilho vítreo
DS-84 (2Φ)	30	C	1	Brilho vítreo

LEGENDA:

1 – Alta esfericidade

2 – Baixa esfericidade

A – Muito angular D – Sub rolado

G – Muito angular J – Sub rolado

B – Angular E – Rolado

H – Angular K – Rolado

C – Sub angular F – Muito rolado

I – Sub angular L – Muito rolado

Sobre a medida da forma, todas as amostras foram classificadas como alta esfericidade. No que tange o arredondamento, foram identificadas três classes e suas respectivas porcentagens totais: 31,25% são muito angulares, 62,5% são angulares e 6,25% são sub angulares. Em duas amostras foram encontradas duas classes com a mesma porcentagem para cada, que foram muito angular e angular para DS-181 (2 Φ) e angular - sub angular para DS-188 (1 Φ). Finalizando o quadro, no aspecto textura superficial predominou o brilho vítreo, com apenas uma amostra, DS-188 (1 Φ), vindo a apresentar brilho opaco e vítreo.

A amostra DS-016 (1 Φ) não foi registrada no quadro em decorrência do material ser argiloso. Esse sedimento está localizado no banco sedimentar, dentro do canal dragado, onde estão concentrados os sedimentos finos.

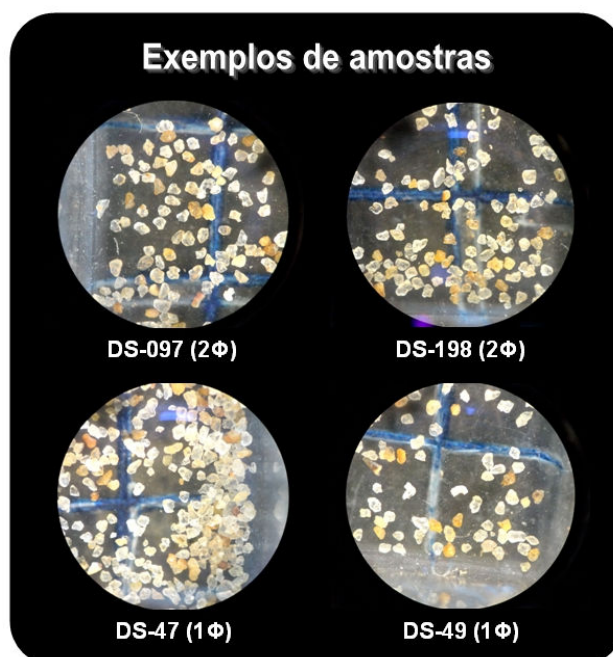


FIGURA 39 – Fotografias das amostras vistas através do microscópio óptico

Observando os resultados, podemos concluir que o transporte do sedimento acontece por meio sub aquoso, sendo realizado pelos agentes hidrodinâmicos (correntes, marés e ondas) e denotado pelo fato das superfícies brilhosas dos grãos. Apenas a amostra de brilho opaco, dentre as que foram analisadas, pode ter seus sedimentos de origem eólica conforme sugerem suas superfícies foscas.

Considerando os dados de arredondamento dos grãos, as partículas angulares e de alta esfericidade revelam maior tempo de transporte, evidenciando que a área fonte é distante da dinâmica. Vale ressaltar que "seixos de praia marinha são mais achatados que os fluviais" (LANDON, 1930; CAILLEUX, 1945; LENK-CHEVITCH, 1959; DOBKINS JR. & FOLK, 1970) resultado dos movimentos de avanço e recuo do mar pelo efeito das ondas.

Interpolando os dados de carbonato de cálcio, morfoscopia, morfometria e análise textural, podemos concluir que, pela baixa sedimentação carbonática, o sedimento é recente, pois não houve tempo suficiente para que o carbonato precipitasse sobre o sedimento.

7 CONCLUSÕES

A presente pesquisa estabeleceu o panorama evolutivo da jazida localizada na bacia de evolução do porto do Mucuripe, através da análise do contexto sedimentológico da área em causa. Sua caracterização forneceu subsídios tanto para a gestão e exploração dessa feição sedimentar como para a recuperação de praias afetadas pela erosão.

É correta a hipótese de que este banco arenoso, ou jazida submersa, teve seu início a partir das obras de construção do porto do Mucuripe há mais de 50 anos, notadamente com a implantação do respectivo molhe, como cita o referencial teórico e bibliográfico desta dissertação. Pelo que se pode observar ao longo dos trabalhos subsequentes de alongamento do molhe, estudados durante as pesquisas aqui expostas, houve a alteração na propagação das ondas, modificando a trajetória dos sedimentos naturais ao longo da costa e direcionando grandes quantidades de sedimentos para as águas mais profundas.

O desvio continuado de sedimentos na ponta do quebra-mar provocou a extensão do acúmulo dos sedimentos sequencialmente mais ao largo, o que acarretou a migração do banco e conservou uma posição mais estável, embora alterando seu volume. Está atualmente disposto de forma linear e aproximadamente paralelo ao litoral, a uma profundidade média de 10 metros.

A abordagem integrada das feições geomorfológicas delimitadas ao longo dos trabalhos de campo e gabinete-laboratório, associada aos aspectos evolutivos e históricos, produziu dados para a caracterização e classificação da área. Os resultados da pesquisa definiram, portanto, a sequência dessa caracterização, da contextualização histórica e da classificação sedimentar.

O clima tropical quente sub-úmido, em Fortaleza, possui influência direta na formação da paisagem e na sua dinâmica de transporte eólico e/ou marinho de sedimentos vetorizados pelos ventos alísios dos quadrantes NE a SE. As chuvas mais significativas iniciam-se em dezembro de cada ano e podem se estender até junho ou julho. No período de Dezembro até Março, quando a incidência do *swell* é mais intensa, o processo erosivo pode crescer na orla – fenômeno localmente conhecido como ressaca. Recentemente, a Praia Mansa, situada na enseada e conectada no molhe, sofreu grande processo erosivo e, através da ressonância das

ondas, a remoção de suas areias foi, com certeza, deslocada para as adjacências do banco sedimentar em pauta. Nos outros meses, a predominância de ondas é do tipo *sea* e as marés são representadas por ondas semidiurnas.

Dependendo das condições oceânicas e atmosféricas atuantes, poderá acontecer o processo de retroalimentação do banco arenoso por correntes com material terrígeno oriundo da praia do Futuro. Portanto, em fevereiro de cada ano, quando se inicia a chamada quadra chuvosa que se estende até maio, observa-se o período em que provavelmente acontecem processos de alimentação de sedimentos no respectivo banco arenoso.

A análise granulométrica proporcionou várias informações sobre os sedimentos, como a espessura dos grãos, sua seleção e classificação, tornando possível a caracterização sedimentar do banco de granulados em estudo. O resultado surge como informações úteis para aquilatar seu uso na indústria da construção civil e regeneração de áreas degradadas.

A forma como os recursos naturais são alocados no processo produtivo precisa, como um investimento, prezar pelas questões ambientais. Isto posto, é fundamental que eventuais monitoramentos na área sejam antecidos por um estudo detalhado como o que está presente nesta dissertação. A exploração desses granulados marinhos no banco sedimentar de Fortaleza, caracterizados nessa pesquisa como granulados siliciclásticos, deverá ser focado em outros estudos, porém o presente trabalho pretende servir como base para pesquisas futuras, quer visando à elaboração de maiores detalhamentos científicos, quer dando condições diretas para a melhor exploração e aproveitamento prático destes recursos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J. E. **Comparação de metodologias para caracterização da geoquímica de metais-traço em sedimentos da plataforma continental do Ceará.** Dissertação de Mestrado: Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará - UFE, 114p., Fortaleza, 2007.

ALFREDINE, P. **Obras e gestão de portos e costas:** a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental/ Paolo Alfredini, Emilia Arakasi - - 2º Ed. - - São Paulo: Edgard blucher, 2009.

AMATO, R. **Sand and Gravel Maps of the Atlantic Continental Shelf, with explanatory text US Department of Interior.** Minerals Management Service, OCS Monograph MMS (1994): 93-0037.

BIRD, E. C. F. **Coastal geomorphology:** an introduction. Wiley, Chichester. 322 p, 2000.

CAVALCANTI, V. M. M.; FREIRE, G. S. S.; GOMES, D.F. **Depósitos de minerais pesados de interesse econômico na plataforma continental interna leste do Estado do Ceará.** Revista de Geologia. Vol,6. p. 75-91. 1993.

CAVALCANTI, V. M. M. & FREIRE, G. S. S. **Fácies sedimentares e recursos minerais da plataforma interna do Estado do Ceará.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário de Camburiú. Boletim de Resumos Expandidos, SBG, 1994. v.3,p. 313-315.

CAVALCANTI, V. M. M.; FREIRE, G. S. S. **A Possibilidade de Utilização de Areias Marinhas como Agregado na Construção Civil na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará.** *Gravel* (Porto Alegre), v. 5, p. 11-24, 2007.

COUTINHO, P. N.; MORAIS, J. O. **Distribucion de los sedimentos em la plataforma continental norte y nordeste del Brasil.** Roma: FAO FISHERIES, 273-274, 3 fig. Report No.71.3, 1968.

DIAS, J. M. A. **A Evolução Actual do Litoral Português.** Geonovas, 11:15-28, Lisboa, republicado em Protecção Civil, III(10):2-15, Lisboa, 1990.

DIAS, G. T. M. **Classificação de sedimentos marinhos, proposta de representação em cartas sedimentológicas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Anais, Salvador, SBG, 3:423-426, 1996.

DIAS, G. T. M. **Granulados Bioclásticos:** algas calcárias. Revista Brasileira de Geofísica, vol. 18(3): 307-318 Rio de Janeiro, Brasil, 2000.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO DO MINISTÉRIO DA MARINHA - 1995 - **Convenção das Nações Unidas Sobre o Direito do Mar.** Versão em Língua Portuguesa com Anexos e Acta Final da Terceira Conferência das Nações Unidas

sobre o Direito do Mar. Lisboa: Ministério dos Negócios Estrangeiros e do Mar, 313 p., 1985.

DUARTE, R. X. **Caracterização do Ambiente Praial: Mortologia, Aspectos Hidrodinâmicos e Sedimentologia**. 120 p. Exame de Qualificação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, 1997.

FECHINE, J. A. L. **Alterações no perfil natural da zona costeira da cidade de Fortaleza, Ceará, ao longo do Século XX**. Mestrado Acadêmico em Geografia, Dissertação de Mestrado, Fortaleza, 2007.

FOLK, R. L. & WARD, W. C. **Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters**. J. Sediment. Petrol. 27:3-26, 1957.

FREIRE, G. S. S.; COUTINHO, P. N. & MORAIS, J. O. **Sedimentos superficiais da plataforma continental do Ceará**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 11. Natal, Atas...SBG-NE, 1984.

FREIRE, G. S. S. **Geologia marinha na plataforma continental do Estado do Ceará**. Dissertação de mestrado UFPE, Recife, 1985.

FREIRE, G. S. S.; MORAIS, J. O. & COUTINHO, P.N. **Distribuição do CaCO₃, Ca, Mg, P₂O₅ e matéria orgânica nos sedimentos organógenos da plataforma continental do Ceará**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 12., Atas... João Pessoa, SBG-NE, p.213-219, 1986.

FREIRE, G. S. S.; MAIA, L. P.; CAVALCANTI, V. M. M.; FONTELES, M. L. **Distribuição dos minerais pesados na plataforma continental interna do Estado do Ceará (costa leste)**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15. Atas...Natal, SBG-NE, 1993.

FREIRE, G. S. S. **A cobertura sedimentar quaternária da plataforma continental do estado do Ceará**. Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM - 10º distrito), Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (UFC), 42 p., 1998.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **El Niño deve reduzir chuvas no Ceará até maio de 2010**. Disponível em: <http://www.funceme.br/noticias/el-nino-deve-reduzir-chuvas-no-ceara-ate-maio-de-2010-1>. Acesso em 27 de fevereiro de 2010.

FURLANI, C. **Erro no projeto original**. O Povo, Fortaleza, 19 dez. Caderno Fortaleza, p. 4., 2001.

GIRÃO, R. **Aspectos**. In: SECRETARIA de cultura, desporto e promoção social do Ceará. Aspectos. Fortaleza: Secretaria de Cultura, Desporto e Promoção Social do Ceará, p. 105-125, 1976

GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico** - 4ºed. - Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 542-543, 2005.

HANSEN, D. L., et al. **Caracterização dos Grandes Projetos Federais em Sergipe**. PROJETO DE PESQUISA (BNDES / FUNPEC – Análise do mapeamento e das políticas para arranjos produtivos locais no Norte, Nordeste e Mato Grosso e dos impactos dos grandes projetos federais no Nordeste. Aracaju/SE. (NOTA TÉCNICA 10/SE). Disponível em <http://www.politicaapls.redesist.ie.ufrj.br/>. 2010.

HAYES, M. O. **Barriers island morphology as a function of tidal and wave regime**. Leatherman, S.P. (Ed), Barrier Island from the Gulf of Mexico. Academia Press, New York, 1979.

HOOKE, J. M., BRAY, M. J., CARTER, D. J. **Sediment transport analysis as a component of coastal management – a UK example**. Environmental Geology, 1996.

JUCÁ, G. N. M. **Verso e reverso do perfil urbano de Fortaleza**. 2 ed. São Paulo: Annablume, 2003.

KEMPF, M.; COUTINHO, P. N.; MORAIS, J. O. **Plataforma Continental do Norte e Nordeste do Brasil, Nota Preliminar sobre a Natureza do Fundo** - Trabalho Oceanográfico. UFPE. 9/ 11;9-26, 1970.

KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 1976.

LAMAS, F.; IRIGARAY, C.; OTEO, C.; CHACON, J. **Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls**. Engineer. geol., v. 81, p. 32-41, 2005.

LARSONNEUR, C. **La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche**. J.Rech.Oceanogra., 2:34-39, 1977.

LESSA, R. **Dinâmica das Frotas Pesqueiras da Região Nordeste do Brasil.**/ Rosangela Lessa, José Lúcio Bezerra Jr., Marcelo Francisco de Nóbrega; Fortaleza: Editora Martins & Cordeiro, Programa Revizee – Score Nordeste 164.; II, 2009.

LEVENTER, Amy; WILLIAMS, Douglas F.; KENNETT, James P. **Dynamics of the Laurentide ice sheet during the last deglaciation: evidence from the Gulf of Mexico**. Earth and Planetary Science Letters, 1982, 59.1: 11-17.

MABESONEEE J. M., KEMPF M. & COUTINHO P. N. **Characterization of surface sediments of the northern and eastern Brazilian shelf**. Trab Inst Oceanogr. Univ. fed. Pernambuco 13: 41-48. 1972.

MAIA, L. P.; FREIRE, G. S. S.; PESSOA, P. R. S.; RODRIGUES, A. C. B.; MAGALHÃES, S. H. O. & ARAÚJO, P. S. A.; **Transporte de Sedimentos na Região Costeira do Ceará. Fluxo de Sedimentos e Características Granulométricas**. XVII Simp. Geol. Do NE. Fortaleza-Ce. Vol. 15. P. 182-192, 1997.

MAIA, L. P.; JIMENEZ, J. A.; SERRA, J. ;MORAIS, J. O. **The coastline of Fortaleza city. A product of environmental impacts caused by the Mucuripe Harbor.** ARQUIVO CIÊNCIAS DO MAR, FORTALEZA, 31 (1-2): 93-100, 1998.

MAIA, L. P. **Geomorfologia Aplicada: Teoria e Prática.** Resenha do livro Applied Geomorphology: Theory and Practice, editado por Robert J. Allison. Mercator – Revista da UFC, ano 1, nº 02, 2002.

MAIA, L. P.; VASCONCELOS, F. P.; MONTEIRO, L. H. U.; REBOUCAS, R. B. M.; MARTINS, M. B. **Projeto executivo emergencial de proteção/recuperação da praia de Iracema.** Prefeitura Municipal de Fortaleza. Programa de Recuperação do Litoral da Cidade. Laboratório de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceara, 2008. (Documento Restrito).

MARTINS, L. R. COUTINHO, P. N. **The Brazilian continental margin.** Earth Science Reviews, Amsterdam, v. 17, p. 87 – 107, 1981.

MARTINS, L.R.; MARTINS, I. R. & WOLFF, I. M. **Potencial arenoso de la plataforma continental interna do Rio Grande do Sul (Brasil).** Congresso Sulamericano de Sedimentologia. Memórias Tomo II: 67-71, Porlomar, Venezuela, 1997.

MARTINS, L. R.; MARTINS, I. R. & WOLFF, I. M. **Sand deposits along Rio Grande do Sul (Brazil). Inner Continental Shelf.** In: Martins, I.r. & Santana, c.i, (eds.). Non Living Resources Of The Southern Brazilian Coasal Zone And Continental Margin. OAS-ICO/UNESCO-MCT. Special publication: 26-38, Porto Alegre, Brasil, 1999.

MARTINS, L. R. & TOLDO Jr. E. E. **Estoque Arenoso da Plataforma Continental;** Um recurso estratégico para a Zona Costeira. Revista Gravel, vol. 4:37-48, Porto Alegre, RS, 2006a.

MARTINS, L. R.,; URIEN, C. M. **Areias da Plataforma e a Erosão Costeira.**Revista Gravel 2 , p. 4-24, 2004.

MARTINS, L. R. S. **Aspectos científicos dos recursos minerais marinhos.** In: Parcerias Estratégicas, (24):115-136, Brasília, 2007.

MARTINS, L. R. S; SOUZA, K.G. **Ocorrência de recursos minerais na Plataforma Continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes.** In: Parcerias Estratégicas, (24):137-190, Brasília, 2007.

MONTEIRO, L. H. U. **Feições Superficiais da Plataforma Continental Cearense entre o litoral de Fortaleza e Icapuí,** Recife, PE, 2011.

MORAIS, J. O. **Processos de Assoreamento do Porto do Mucuripe.** Arq. Ciências Marinhas, 12 (2): 139 - 149. Fortaleza, Brasil, 1972.

MORAIS, J. O. **Aspectos do transporte de sedimentos no litoral do Município de Fortaleza, Estado do Ceará.** Arq. Ciên. do Mar, Fortaleza, 1980, v. 20. p. 71-100. – São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MORAIS, J. O. **Evolução Sedimentar da Enseada do Mucuripe**. ARQ. CIEN. MAR., FORTALEZA, v. 21, n. 1, p. 20-32, 1981.

MORAIS, J. O. **Processos interativos na elaboração da Zona Costeira do Estado do Ceará e Impactos Associados**. Tese de Professor Titular, UECE, Fortaleza, 225 p, 1998.

MOURA, M. R. **Processos costeiros e evolução da ocupação nas praias do litoral oeste de Aquiraz, Ceará entre 1970-2008**. (Dissertação de Mestrado) – Mestrado Acadêmico em Geografia-MAG, Universidade Estadual do Ceará-UECE, 137p., Fortaleza, 2009.

MUEHE, D. **Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Vol. 2, No. 1, pp 35 - 44, 2001.

MUEHE, D. **Aspectos Gerais da Erosão Costeira no Brasil**. Revista Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 04, número 07, 97 - 110p., 2005.

MULLER G.; IRION G.; MORAIS J.O. & TINTELNOT M. **Heavy metal concentrations in fine sediments in the lower course of Brazilian rivers between the state of Piauí and Espírito Santo**. In: Abrão JJ (ed) Proc 3rd Inter.

Symp Environmental Geochemistry in Tropical Countries, Univ Fed Fluminense, Niterói, p1-4. 1999.

NETO, J. A. B.; PONZI, V. R. A. & SICHEL, S. E. (orgs.) **Introdução à geologia marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

NÓBREGA, M. F. **Peixes Marinhos da Região Nordeste do Brasil**. Marcelo Francisco de Nóbrega, Rosângela Lessa, Francisco Marcante Santana; Fortaleza: Editora Martins & Cordeiro, Programa Revizee - Score Nordeste 208p.; il. 2009.

NORDSTROM, K. F. **Recuperação de praias e dunas**. Karl F. Nordstrom; tradução Sílvia Helena Gonçalves.

PEREIRA R. C. M.; CAJATY A. A. & NOGUEIRA NETO J. A. **Contribuição à caracterização de argilo minerais em solos da porção sudoeste da Folha Fortaleza (SA.24-Z-C-IV), CE**. Rev. Geol. 4: 21-27. 1991.

PINHEIRO, L. S. **Compatibilização dos Processos Morfodinâmicos e Hidrodinâmicos com o uso e ocupação da praia da Caponga-Cascavel-CE**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2000.

Rebouças, R. B. M. **A influência portuária no modelado e reconfiguração da orla: o caso do Porto do Mucuripe e Praia do Serviluz**; Fortaleza, Ceará, Brasil, 2010.

SHEPARD, F. D. **Nomenclature based on sand silt clay rations.** J. of Sed. Petr., 24 (3): 151-158, 1954.

SHORT, A. D. & WRIGHT, L. D. **Morphodynamics of high energy beaches – an Australian perspective.** In: B.G. Thom (ed.), Coastal Geomorphology in Australia, Academic Press, 43-68, 1984.

SILVA, C. F.; FIGUEREDO JUNIOR, A. G. & BREHME, I. **Granulados litoclásticos.** Brazilian Journal of Geophysics. Vol.18(3), p. 314-326, 2000.

SILVA, C. F.; FIGUEREDO JUNIOR, A. G. & BREHME, I. **Granulados litoclásticos.** Brazilian Journal of Geophysics. Vol.18(3), p. 314-326, 2000.

SILVA, C. G., *et al.* **Recursos Minerais Marinhos**, in NETO, J. A. B. *et al.* (orgs.), Introdução à Geologia Marinha. Rio de Janeiro: Interciências, 245, 2004.

SILVA, J. B. da; DANTAS, E. W. C.; ZANELLA, M. E. & MEIRELES, A. J. de A. (orgs.). **Litoral e sertão, natureza e sociedade no nordeste brasileiro** – José Borzacchiello da Silva *et al.* Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.

SOUSA, P. H. G. de O. **Atuação dos Processos Costeiros e Vulnerabilidade à Erosão na Praia de Paracuru – Ceará.** Dissertação de Mestrado, Mestrado Acadêmico em Geografia/MAG, Fortaleza, 2007.

SOARES, R. C. & MORAIS, J. O. **Balanço Sedimentar do Aterro da Praia de Iracema, Fortaleza, Ceará.** In: Anais do III Seminário de Gestão Integrada da Zona Costeira, 2009, Fortaleza.

SILVA, C. G.; FIGUEIREDO, A. G. & BREHME, I. **Granulados Litoclásticos.** Revista Brasileira de Geofísica, vol. 18 (3): 319-326. Rio de Janeiro, Brasil, 2000.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia.** São Paulo, Edgard Blucher, 317p., 1973.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Sedimentar e áreas afins.** Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 222p., 1998.

VALENTINI, E. **Avaliação dos processos litorâneos e consequências para o gerenciamento costeiro no Ceará.** Tese de Doutorado - Programa de Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ, 1994.

WILLWOCK, J. A.; LESSA, G. C.; SUGUIO, K.; ANGULO, R.J. & DILLENBURG, S. R. **Geologia de regiões costeiras.** In: Souza, C. R. G.; Suguio, K.; Oliveira, A. M. S.; Oliveira, P. E. Quaternário do Brasil. CAp. 5. p. 102-106, 2005.

WOODROFFE, C. D. **Coasts: form, process and evolution.** School of Geosciences. University of Wollongong, NSW 2522, Austrália, Cambridge University Press, 623p., 2002.