



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE OCEANOGRAFIA

JOSÉ AIRTON BEZERRA VIANA FILHO

**RELAÇÃO ENTRE PADRÕES DE ECO-CARÁTER E A DISTRIBUIÇÃO DE
SEDIMENTOS NO PORTO DO MUCURIBE - FORTALEZA/CE**

FORTALEZA

2013

BICM
1500 ANOS DE HISTÓRIA

JOSÉ AIRTON BEZERRA VIANA FILHO

RELAÇÃO ENTRE PADRÕES DE ECO-CARÁTER E A DISTRIBUIÇÃO DE
SEDIMENTOS NO PORTO DO MUCURIBE-FORTALEZA/CE

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Luis Parente Maia.

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Rui Simões de Menezes

V667r Viana Filho, José Airton Bezerra.
Relação entre padrões de eco-caráter e a distribuição de sedimentos no Porto do Mucuripe - Fortaleza/Ce / José Airton Bezerra Viana Filho – 2013.
67 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2013.
Orientação: Prof^o. Dr^o. Luis Parente Maia.

1. Sedimentos. 2. Porto do Mucuripe (CE). 3. Sonar de Varredura Lateral. I. Título.

CDD 551.304

Ar - 139989
Reg. 12106958

JOSÉ AIRTON BEZERRA VIANA FILHO

RELAÇÃO ENTRE PADRÕES DE ECO-CARÁTER E A DISTRIBUIÇÃO DE
SEDIMENTOS NO PORTO DO MUCURIBE-FORTALEZA/CE

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luis Parente Maia (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Lidriana de Souza Pinheiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jáder Onofre de Moraes
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Airton e Goretti,
pelo amor, apoio e incentivo durante
esta jornada acadêmica. Aos meus
professores, especialmente ao Sr. Dr.
[nome], pela orientação e ensinamentos.
Aos meus amigos, especialmente ao Sr. Dr.
[nome], pela amizade e suporte.

Aos meus colegas de curso, especialmente
ao Sr. Dr. [nome], pela convivência e
ajuda. Aos meus familiares, especialmente
ao Sr. Dr. [nome], pelo carinho e
encorajamento.

Aos meus amigos de infância, especialmente
ao Sr. Dr. [nome], pela amizade e
suporte. Aos meus colegas de trabalho,
especialmente ao Sr. Dr. [nome],
pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos de faculdade, especialmente
ao Sr. Dr. [nome], pela amizade e
suporte. Aos meus colegas de curso,
especialmente ao Sr. Dr. [nome],
pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos de trabalho, especialmente
ao Sr. Dr. [nome], pelo apoio e
incentivo. Aos meus colegas de curso,
especialmente ao Sr. Dr. [nome],
pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos de infância, especialmente
ao Sr. Dr. [nome], pela amizade e
suporte. Aos meus colegas de trabalho,
especialmente ao Sr. Dr. [nome],
pelo apoio e incentivo.

Aos meus pais, Airton e Goretti.

1998

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais que sempre apoiaram todas as minhas decisões, que sempre se sacrificaram por mim, sempre fizeram tudo para me dar a melhor educação que eles podiam, muitas vezes, sem poder e nunca deixaram me faltar nada, sempre me aconselharam e me guiaram da melhor forma possível.

A toda minha família pelo apoio dado, pela confiança e pela esperança que um dia eu fique rico.

Agradeço à minha namorada, Sália, por todo o apoio, carinho, paciência e dedicação durante essa difícil fase de produção da monografia.

Agraço ao meu orientador Prof. Dr. Luís Parente pelas oportunidades dadas e por todo o conhecimento adquirido e por ter proporcionado grande amadurecimento, tanto pessoal quanto profissional.

Ao professor e amigo Dr. Leonardo Hislei, por todas as oportunidades, pelo enorme conhecimento adquirido, pelas broncas, pelas orientações, pelos momentos de descontração, pela atenção e disposição em ajudar sempre que possível.

Ao Prof. Dr. Jáder Onofre de Moraes pela oportunidade dada através do PRONEX, pela paciência e pelos ensinamentos.

A Prof.^a Dr. Lidriana Pinheiro pelo apoio durante todo o curso, pelo apoio à realização deste trabalho e pelas excelentes aulas de campo.

A Prof.^a Dr. Maria Ozilea Bezerra Menezes por toda a ajuda dada durante a realização deste trabalho, pela prontidão e pela atenção.

A Prof.^a Dr.^a Sandra Santaella pelos valiosos conselhos e norteammento no trabalho.

Ao Prof. já quase Doutor Marcus Vinícius pelo apoio, disposição e pelos valiosos conselhos.

A todos os meus amigos da oceanografia, que de forma direta ou indireta contribuíram, das mais diversas formas durante minha vida acadêmica, Raquel, Pedro Paulo (PP), Thalita, Heitor, Babi e Facó, Cecília Perdigão e Facio, Diógenes, Cibele, Fiamma, Vinícius (Siri), Junin, Thiago (BS), em especial ao Renan (Thundera), 41 (Carlos Alberto), Giullian (Gago), Lucas (Paty), Mari-ah, Gabi, Wersângela, Liana, Daysiane, Ana Luzia (Aninha) e Diego (Zacarias) e Thaysa (Sorvetinho), companheiros pra vida toda.

Aos meus companheiros e amigos do Laboratório de Dinâmica Costeira, Bruno Catunda (Cacão), Rodolfo, Mario Godoy, Buda, em especial ao Gleidson, pelos momentos de descontração, pelos conhecimentos adquiridos e pela disposição em ajudar sempre que possível.

A todo o pessoal do Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica da UECE, em especial ao Luciano, Renan, Maciel, Guilherme (Pai da Mata) e a Sílvia, pelos campos divertidos.

A todos os funcionários do Labomar, em especial à Celinha e a Camilla que sempre me ajudaram quando precisei de alguma coisa na coordenação ou na diretoria. Agradecimento especial também ao Wagner e ao Francisco da limpeza por todos os momentos divertidos nos corredores do Labomar.

Agradecimento especial também para o Projeto Plano Básico Ambiental da Obra de Aprofundamento do Porto de Fortaleza (Nº 041/10, CDC/UFC-LABOMAR/FCPC e SEP).

E por último um agradecimento mais que especial para o Projeto PRONEX-CNPq/FUNCAp: Potencialidades e Manejo Ambiental na Exploração de Granulados Marinhos na Plataforma Continental do Ceará, do qual este trabalho faz parte.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar um resumo do livro "Pedagogia da Esperança" de Paulo Freire. O livro aborda a importância da educação para a transformação social e a construção de uma sociedade mais justa e equitativa. Freire defende que a educação não deve ser apenas uma transmissão de conhecimento, mas um processo de diálogo e participação ativa dos educandos. Ele critica o modelo tradicional de educação, que trata o aluno como um objeto passivo, e propõe a pedagogia da esperança, que visa despertar no indivíduo a consciência de sua realidade e a capacidade de agir para mudá-la. O livro também discute a importância da cultura popular e da luta social na educação. Freire afirma que a educação é um ato político e que os educadores devem assumir uma postura comprometida com a transformação da sociedade. O resumo apresenta os principais conceitos e ideias do livro, bem como as reflexões do autor sobre a prática pedagógica e a formação do cidadão.

“... para mim, é impossível existir sem sonho. A vida na sua totalidade me ensinou como grande lição que é impossível assumi-la sem risco.”

(Paulo Freire).

RESUMO

O estudo do eco-caráter tem sido amplamente utilizado por todo o mundo como uma forma relativamente simples, rápida e de baixo custo para estudar a caracterização sedimentar, tendo em vista o problema de assoreamento sofrido na bacia do Porto do Mucuripe e na escassez desse tipo de estudo no estado do Ceará, o presente trabalho consiste na caracterização sedimentar da bacia do Porto do Mucuripe – Fortaleza/CE através de sísmica de alta resolução e sonar de varredura lateral, no qual os sedimentos foram relacionados com o padrão de reflexão acústico. Foi utilizada uma fonte acústica do tipo *chirp* com perfilador de sub-fundo e sonar de varredura lateral integrados. O perfilador de sub-fundo operou na frequência de 3,75 kHz e o sonar de varredura lateral na frequência de 410 kHz. Os dados de sedimentologia da área foram obtidos através de revisão bibliográfica. Foram identificados quatro padrões de reflexão do eco, conhecidos como eco-caráter, que mostraram boa relação com os dados presentes na literatura e com o tipo de fundo previsto para o Porto do Mucuripe. Na parte externa ao molhe do porto predominaram sedimentos mais grossos, à medida que se aproximam da bacia do porto os sedimentos apresentam granulometria mais fina, podendo ser encontrado ainda presença de lama fluida em diversos pontos da bacia de evolução. Através do estudo do eco-caráter, além de identificar as características sedimentares, foi possível identificar também alguns aspectos da hidrodinâmica local, mostrando ser uma região que sofre com assoreamento constante devido a condições hidrodinâmicas favoráveis à deposição de material lamoso.

Palavras-chave: sísmica rasa de reflexão, *chirp*, perfilador de sub-fundo

ABSTRACT

The study of eco-character has been used extensively throughout the world as a relatively simple, quick and inexpensive way to study the sediment characterization, considering the problem of silting suffered in the Port of Fortaleza basin and scarcity this type of study in the state of Ceará this work consists of sedimentary characterization of the basin Port of Mucuripe - Fortaleza/CE by high resolution seismic and side-scan sonar. The sediments were related to the pattern of acoustic reflection. An acoustic source type chirp was used with sub-bottom profiler and side scan sonar integrated. The sub-bottom profiler operated at a frequency of 3.75 kHz and side scan sonar at a frequency of 410 kHz. The sedimentology data of the area were obtained through literature review. Four patterns of reflection echo, known as eco-character, which showed good correlation with data from the literature and with the type of bottom provided for the Port of Mucuripe were identified. On the outside the breakwater of the port predominated coarser sediments, as they approach the harbor basin sediments have finer grain size and can be found even the presence of fluid mud at many points of the evolution basin. Through the study of eco-character, besides identifying the sedimentary characteristics, it was possible to identify some aspects of the local hydrodynamics, being a region that suffers from constant silting due to hydrodynamic conditions favorable to the deposition of muddy material.

Key words: shallow seismic reflection, chirp, subbottom profiler.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de onda de corpo: (a) ondas P e (b) ondas S.....	18
Figura 2- Tipos de onda superficiais: (a) ondas Rayleigh e (b) ondas Love	20
Figura 3 – Exemplos de fontes impulsivas: boomer e air-gun.....	23
Figura 4 - Exemplo de sinais de fontes ressonantes.....	25
Figura 5 - Correlação entre: tipo de fontes sísmicas, espectro de frequências emitido, energia da fonte acústica e profundidade investigada.	26
Figura 6 - Mapa de ecocaráter do Atlântico equatorial ocidental mostrando os diferentes tipos de ecocaráter.....	28
Figura 7 - Distribuição dos processos sedimentares inferidos no estuário de Vigo.....	30
Figura 8 - Exemplos de ecocaráteres identificados na Lagoa Rodrigo de Freitas.Fonte: BATISTA NETO <i>et al.</i> (2011).....	32
Figura 9 - Mapa de localização do Porto do Mucuripe.....	34
Figura 10 - Mapa das estações de coleta realizadas no Porto do Mucuripe por Moreira (2009)	36
Figura 11 - Mapa de localização dos pontos de coleta realizado pelo Projeto Plano Básico Ambiental da Obra de Aprofundamento do Porto de Fortaleza (CDC/UFC-LABOMAR/FCPC e SEP) em 2010.....	38
Figura 12 - Mapa de localização dos pontos de coleta realizado pelo Projeto Plano Básico Ambiental da Obra de Aprofundamento do Porto de Fortaleza (CDC/UFC-LABOMAR/FCPC e SEP) em 2013.....	39
Figura 13 - Mapa de localização das linhas geofísicas.....	40
Figura 14 - Fonte acústica do tipo chirp da EdgeTech SB-512C (0.5 - 12 kHz)	41
Figura 15 - Distribuição das fácies sedimentares no Porto do Mucuripe, com base em dados de 1969 e 1970.....	43
Figura 16 - Mapa da distribuição do teor de areia das amostras superficiais do ano de 2010 no Porto do Mucuripe.	45
Figura 17 - Mapa da distribuição do teor de lama das amostras superficiais do ano de 2010 no Porto do Mucuripe.	46
Figura 18 - Mapa da distribuição do teor de areia das amostras sub-superficiais do ano de 2010 no Porto do Mucuripe.	47
Figura 19 - Mapa da distribuição do teor de lama das amostras sub-superficiais do ano de 2010 no Porto do Mucuripe.	48
Figura 20 - Mapa da distribuição do teor de areia em 2007, segundo dados publicados por Moreia (2009).....	49
Figura 21 - Mapa da distribuição de sedimentos da área do Porto do Mucuripe e adjacências apresentado pelo RIMA do Terminal de Passageiros do Porto de Fortaleza.....	51
Figura 22 - Ecocaráter tipo 1, associado a fundos rugosos com presença de sandwaves, sendo relacionado com fundo arenoso com granulometria variando de grossa a média.	52
Figura 23 - Padrão sonográfico associado ao ecocaráter tipo 1. Fonte: O autor.....	52
Figura 24 - Ilustração da área de ocorrência do eco tipo 1.....	53
Figura 25 - Ecocaráter tipo 2, apresentam ondulações regulares com refletores plano paralelos.....	54

Figura 26 - Identificação e comparação de registros sonográficos e sísmicos do talude na entrada do canal principal do Porto do Mucuripe.	54
Figura 27 - Exemplo de ecocaráter tipo 2 mostrando uma feição de instabilidade do talude da bacia do porto.....	55
Figura 28 - Quebra do talude próximo à Praia Mansa na bacia do Porto do Mucuripe, a seta vermelha indica o sentido da quebra.	56
Figura 29 - Ilustração da área de ocorrência do eco tipo 2.	57
Figura 30 - Ecocaráter do tipo 3, superfície regular, plana altamente refletiva, estando relacionado a lama com presença de areia fina a muito fina.	58
Figura 31 - Padrão sonográfico associado ao eco tipo 3, reflexão homogênea cinza escuro.	58
Figura 32 - Ilustração da ocorrência do eco tipo 3, este tipo de eco apresentou maior frequência em relação aos outros, ocorrendo por toda a bacia de evolução.	59
Figura 33 - Ecocaráter tipo 4. A) Camada transparente em evidência, imagem com aplicação de ganho e zoom digital. B) Camada de lama fluida visível com presença de refletores de subfundo.....	60
Figura 34 - Ilustração da ocorrência do eco tipo 4 próximo ao cais atracador. Fonte: O autor	61
Figura 35 - Estimativa da camada de lama fluida.	62

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivos Gerais	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
4. MÉTODO SÍSMICO.....	22
4.1 Resolução e Penetração	22
4.2 Fontes acústicas	23
5. EVOLUÇÃO E APLICAÇÃO DOS ESTUDOS DE ECOCARÁTER.....	27
6. MATERIAL E MÉTODOS	33
6.1 Área de estudo.....	33
6.2 Dados sedimentológicos.....	35
6.3 Levantamento geofísico.....	40
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
7.1 Distribuição de sedimentos	42
7.2 Morfologia e padrões de eco-caráter	51
8. CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

Os meios tradicionais de identificação do fundo oceânico consistem na utilização de métodos diretos de investigação, como a amostragem pontual. Em levantamentos oceanográficos o tempo gasto com amostragens de sedimentos em áreas profundas é muito grande além de ser um método dispendioso e que muitas vezes torna-se inviável devido aos altos custos.

Com o tempo foram desenvolvidas técnicas de investigação indireta do fundo oceânico baseado em métodos geofísicos que já eram bastante utilizados em áreas continentais, facilitando e tornando mais ágil o mapeamento do fundo marinho. Os métodos geofísicos utilizam variações nas propriedades físicas naturais do nosso planeta, como por exemplo, os campos magnéticos, elétricos e gravitacionais, densidade e propagação de ondas, para determinar anomalias ligadas às condições geológicas especiais de uma determinada área. A principal vantagem desses métodos é a grande capacidade de aquisição de dados, fornecendo informações sobre a geologia de uma área maior com custos relativamente baixos (BAPTISTA NETO; PONZI; SICHEL, 2004).

A geofísica é a ciência que aplica os princípios da física ao estudo da Terra. A investigação geofísica realiza medidas na superfície da Terra ou próxima a ela que são influenciadas pelas propriedades físicas do seu interior. As análises dessas medidas mostram como as propriedades físicas do interior da Terra variam vertical e horizontalmente. A exploração geofísica (também chamada de levantamento geofísico), apesar de algumas vezes gerar ambiguidade ou incertezas na interpretação dos dados, é um meio relativamente rápido e barato de se obter informações sobre a geologia de sub-superfície. O levantamento geofísico não dispensa a necessidade de perfurações ou amostragens, mas corretamente aplicado, pode reduzir custos através do aumento da área de cobertura e pela minimização dos locais amostrados (KEARY; BROOK; HILL, 2002).

O uso da geofísica na investigação geológica e geotécnica, tanto em terra quanto em áreas submersas, aumentou muito nas últimas duas décadas. Engenheiros, geólogos, oceanógrafos, geógrafos, hidrólogos são alguns dos profissionais que têm utilizado a geofísica em estudos de áreas submersas, sejam estudos para fins acadêmicos ou técnicos, pois as informações geradas

pelos métodos convencionais de investigação, sondagens, testemunhagens ou amostragem, possuem baixa representatividade em área devido à própria natureza dos dados coletados, de origem pontual. A possibilidade de visualização contínua, tanto em duas quanto em três dimensões, das superfícies e sub-superfícies submersas através de levantamento geofísico permite análise ampla de uma área de estudo, o que seria praticamente impossível, se reunidos apenas dados pontuais obtidos por métodos diretos de investigação, mesmo em uma malha de amostragem com nós muito próximos, o que é comumente inviável devido aos custos operacionais envolvidos (SOUZA, 2006).

Segundo Kearey, Brook e Hill (2002) há dois tipos de métodos de levantamento geofísico, os que utilizam as propriedades físicas naturais da Terra (método potencial) e os que utilizam a aplicação de energia gerada artificialmente. Os métodos potenciais utilizam os campos gravitacional, magnético, elétrico e eletromagnético da Terra, buscando anomalias que possam ser causadas por feições geológicas. Os métodos de fontes artificiais envolvem a geração de campos elétricos ou eletromagnéticos locais que possam ser usados de forma semelhante ao dos campos naturais, ou a geração de ondas sísmicas, cuja velocidade de propagação e caminhos de transmissão através da sub-superfície são mapeados para fornecer informações sobre a distribuição dos limites geológicos em profundidade. Existem vários métodos de levantamento geofísico, para cada um deles há uma propriedade física a qual o método é sensível. Os métodos estão listados na tabela 1.

Os métodos geofísicos possuem vários campos de aplicação, podendo ser utilizados em diversos tipos de estudos, como por exemplo, exploração de recursos minerais marinhos, já que muitos dos estoques continentais estão em fase de esgotamento, havendo assim a necessidade de identificar novas jazidas com potencial para exploração; estudos de dinâmica costeira, com aplicações potenciais na navegação e estudos de proteção costeira; estudos ambientais como subsídio à projetos de engenharia (dutos e cabos submersos, pontes, barragens, túneis e plataformas exploratórias etc.) e eventuais interesses arqueológicos (AYRES NETO, 2000; SOUZA, 2006; PAOLO; MAHIQUES, 2008). Segundo Kearey, Brook e Hill (2002), as atividades explo-

ratórias de hidrocarbonetos e minerais metálicos juntamente com aplicações ambientais representam os principais usos de levantamentos geofísicos.

Tabela 1 - Métodos geofísicos.

Método	Parâmetro medido	Propriedades físicas operativas
Sísmico	Tempo de percurso da onda sísmica refletida/refratada	Densidade e módulos elásticos, os quais determinam a velocidade de propagação de ondas sísmicas
Gravitacional	Variações espaciais da força do campo gravitacional da Terra	Densidade
Magnético	Variações espaciais da força do campo geomagnético	Susceptibilidade magnética e remanência
Elétrico		
Resistividade	Resistência da Terra	Condutividade elétrica
Polarização induzida	Voltagens de polarização ou resistência do solo dependente da frequência	Capacitância elétrica
Potencial espontâneo	Potenciais elétricos	Condutividade elétrica
Eletromagnético	Resposta às radiações eletromagnéticas	Condutividade e indutância elétricas
Radar	Tempos de percurso de pulsos de radar refletidos	Constante dielétrica

Fonte: Adaptado de KEARY; BROOK; HILL, (2002).

Para cada método geofísico existe uma aplicação apropriada, por isso é muito importante antes de realizar um levantamento geofísico escolher o método adequado ao objetivo da pesquisa, assim como o equipamento com o qual se vai trabalhar. Souza (2006) apresenta uma tabela com as principais aplicações dos métodos geofísicos em áreas submersas rasas, assim como quais métodos e equipamentos são mais recomendados para cada tipo de aplicação, a tabela 2 apresenta um resumo das principais aplicações e métodos recomendados descritos por ele.

Dentre os métodos geofísicos acústicos em ambientes rasos, destacam-se a sísmica de alta resolução e o sonar de varredura lateral. Segundo Mitchum *et al.* (1977), a sísmica de alta resolução vem sendo extensivamente empregada em ambientes marinhos rasos com a finalidade de estudar a sedimentação holocênica de uma determinada área, visando à caracterização das camadas sedimentares em sub-superfície, a caracterização da distribuição de eco-caráteres, a paleogeografia de um ambiente e a espessura sedimentar.

A caracterização da distribuição dos sedimentos através de eco-caráteres e padrões sonográficos têm sido amplamente utilizados como subsí-

dio à geologia marinha em investigações dos tipos de sedimento, processos de sedimentação e geomorfologia submarina. (DAMUTH, 1975; DAMUTH e HAYES, 1977; FLOOD, 1980; QUARESMA *et al.*, 2001; CATANZARO *et al.*, 2004; BAPTISTA NETO *et al.*, 2010).

A ocorrência e distribuição de padrões sonográficos e de eco-caráteres sísmicos de alta frequência têm relação direta com a distribuição das características sedimentares do ambiente. Portanto, a correlação entre os padrões apresentados pelos dados geofísicos e a distribuição sedimentar permite identificar sedimentos e processos sedimentares de características semelhantes (VERONEZ JR. *et al.*, 2009).

Tabela 2 - Principais aplicações dos métodos geofísicos em áreas submersas rasas.

Áreas de aplicação	Indicações*
Geologia/Oceanografia Geológica	SVRL, PA, EB, ER, GPR**
Prospecção mineral	SVRL, PA
Biologia	SVRL, EB
Engenharia	SVRL, EB, PA, ER, MG, GPR**
Arqueologia Subaquática	SVRL, EB, PA, MG
Busca e salvamento/Segurança militar	SVRL, EB, MG

Fonte: Adaptado de Souza (2006).

* SVRL = Sonar de Varredura Lateral; EB = Ecobatímetro; PA = Perfilador Acústico; ER = Eletroresistividade; MG = Magnetometria; GPR = Radar. ** Método geofísico aplicável somente em ambientes de água doce.

Como pode ser observado na tabela acima, os métodos acústicos são indicados para todos os tipos de aplicações descritas, tornando evidente que os métodos acústicos são os mais importantes entre os métodos geofísicos em investigação de ambientes submersos rasos (rios, estuários e plataforma interna).

Este trabalho objetiva relacionar a distribuição das características dos sedimentos de fundo da área do porto do Mucuripe com dados geofísicos de sísmica de alta resolução e sonar de varredura lateral através da comparação com dados sedimentológicos. Tipos de eco-caráteres e padrões sonográficos podem, então, ser definidos de acordo com os padrões de reflexão do eco, servindo como subsídio para estudos futuros e contribuindo para melhor gestão do Porto do Mucuripe.

2. OBJETIVOS TEÓRICO

2.1 Objetivos Gerais

Identificar a distribuição das características sedimentares através de padrões sonográficos e eco-caráteres na bacia do Porto do Mucuripe.

2.2 Objetivos específicos

Correlacionar os tipos de eco-caráteres e padrões sonográficos com os sedimentos de fundo e hidrodinâmica local.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O sensoriamento remoto acústico é o principal meio de investigação do fundo marinho, tendo em vista que outros métodos de sensoriamento remoto são pouco eficientes devido a grande atenuação das ondas eletromagnéticas pela água do mar, o que não ocorre com as ondas acústicas, que são pouco absorvidas pela água do mar (AYRES NETO, 2000).

A propagação de ondas acústicas em um meio qualquer é função de suas constantes elásticas:

- a) Módulo de Young (E): razão entre tensão longitudinal aplicada em um corpo e a deformação longitudinal sofrida por esse corpo:

$$E = \frac{\textit{tensão longitudinal}}{\textit{deformação longitudinal}} \quad (1)$$

- b) Módulo de compressibilidade (K): também conhecido como módulo de volume, expressa a razão entre a tensão e a deformação, no caso de uma pressão hidrostática simples, temos:

$$K = \frac{\textit{tensão volumétrica}}{\textit{deformação volumétrica}} \quad (2)$$

- c) Módulo de rigidez (μ): é definido como a razão entre a tensão de cisalhamento e a deformação de cisalhamento resultante:

$$\mu = \frac{\textit{tensão de cisalhamento}}{\textit{deformação de cisalhamento}} \quad (3)$$

- d) Módulo axial (ψ): define a razão entre a tensão longitudinal e a deformação longitudinal para o caso em que não há deformação lateral, apenas havendo deformação uniaxial:

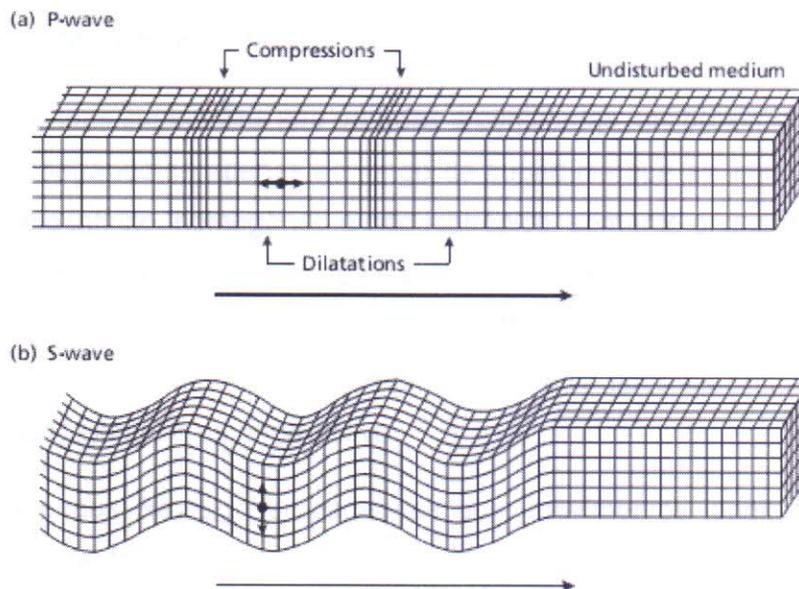
$$\psi = \frac{\textit{tensão longitudinal}}{\textit{deformação longitudinal (uniaxial)}} \quad (4)$$

As velocidades de propagação de ondas acústicas são determinadas pelos módulos elásticos e densidades dos materiais através dos quais eles

se propagam (KEAREY, 2002). Existem dois tipos de ondas sísmicas, as ondas de corpo (ou internas) e as ondas superficiais.

As ondas de corpo propagam-se através do volume de um sólido elástico e podem ser de dois tipos. Ondas P (compressionais, longitudinais ou primárias), que se propagam por deformação uniaxial (compressão e expansão) na direção de propagação da onda, na qual o movimento de partículas associado à passagem da onda compressional envolve oscilação, que se dá em torno de um ponto fixo na direção da propagação. E ondas S (de cisalhamento, transversais ou secundárias), que se propagam através do cisalhamento perpendicular à direção de propagação da onda e os movimentos das partículas individuais oscilam ao redor de um ponto fixo, perpendicular à direção de propagação da onda (KEARY; BROOK; HILL, 2002). As ondas de corpo são ilustradas na figura 1.

Figura 1 - Tipos de onda de corpo: (a) ondas P e (b) ondas S



Fonte: Kearey, 2002, extraído de Bolt 1982

A velocidade de propagação de uma de corpo em um material homogêneo é dada através da fórmula (KEARY; BROOK; HILL, 2002):

$$V = \sqrt{\frac{\text{módulo elástico apropriado do material}}{\text{densidade do material } (\rho)}} \quad (5)$$

Logo, a velocidade de uma onda P (V_p), é dada por:

$$V_p = \sqrt{\frac{\psi}{\rho}} \quad \psi = K + \frac{4}{3}\mu \quad V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (6)$$

A velocidade para uma onda do tipo S (V_s) é dada por:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (7)$$

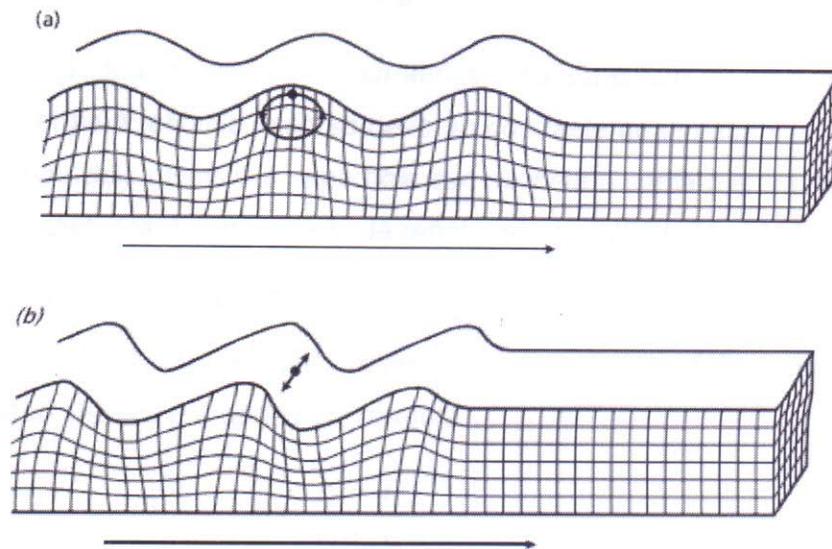
De acordo com as equações acima, é possível deduzir que as ondas P propagam-se com maior velocidade que as ondas S em um mesmo meio. As relações entre a velocidade de propagação da onda e as propriedades físicas dos materiais através dos quais as ondas passam são independentes da frequência das ondas (KEARY; BROOK; HILL, 2002).

As ondas superficiais são geradas e confinadas nas proximidades da superfície, propagando-se apenas ao longo da superfície que as limita (Figura 2). Em um meio infinito, homogêneo e não isotrópico, somente ondas do tipo P e S existem, mas como o meio não se estende ao infinito em todas as direções, esse tipo de onda é gerada na superfície (BRUMETTA, 2005). Assim como as ondas de corpo, as ondas superficiais apresentam dois tipos de ondas principais, as ondas Rayleigh e as ondas Love.

As ondas Rayleigh propagam-se com movimentos longitudinais e transversais, de tal forma que as partículas afetadas têm movimento elíptico no sentido oposto ao do movimento. A velocidade de propagação das ondas Rayleigh depende da constante elástica próxima à superfície e sempre será menor que a velocidade das ondas S (BRUMETTA, 2005). As ondas Love são ondas de cisalhamento polarizadas com movimento de partícula paralelo à superfície livre e perpendicular à direção de propagação da onda. São geradas quando uma camada superficial de baixa velocidade recobre um meio de alta velocidade, na qual a velocidade de propagação situa-se entre a onda S gera-

da em superfície e nas camadas mais profundas (KEARY; BROOK; HILL, 2002; BRUMETTA, 2005).

Figura 2- Tipos de onda superficiais: (a) ondas Rayleigh e (b) ondas Love



Fonte: Kearey, 2002, extraído de Bolt 1982

A velocidade das ondas acústicas varia ao atravessar meios diferentes, no ar é de 330 m/s, na água é de 1500 m/s e em metais é de 5060 m/s. Logo, a principal informação que o método sísmico interpreta é a variação dos tempos de retorno do sinal acústico. Pode-se dizer que a variação da velocidade na água do mar depende principalmente da salinidade, pois não sofre influência significativa da pressão e da temperatura (AYRES NETO, 2000; GOMES, 2009).

Os métodos sísmicos são baseados nos princípios de propagação de ondas acústicas que viajam com diferentes velocidades em meios com propriedades físicas distintas, na qual a propriedade mais importante é a impedância acústica (SOUZA, 2006).

O valor da impedância acústica de um meio determina a resistência que este oferece à passagem da onda acústica, em função da velocidade de propagação do som num meio e da densidade deste meio (GOMES, 2009). O fenômeno físico da reflexão das ondas acústicas só ocorre quando existem contrastes representativos entre os meios atravessados pelo sinal acústico

emitido (SOUZA, 2006). A impedância acústica (i) é representada matematicamente pelo produto da velocidade de propagação num meio (V) pela densidade (ρ):

$$i = V \times \rho \quad (8)$$

Quando uma onda acústica atinge uma superfície ou uma interface, parte da energia é refletida, isso se deve ao contraste de impedância acústica existente entre dois meios e a superfície que delinea o contato entre dois meios acústicos distintos é denominada de refletor sísmico (SOUZA, 2006).

Conhecendo a impedância acústica de dois meios distintos (i_1 e i_2), pode-se determinar o coeficiente de reflexão (R), que é outro fator importante na investigação sísmica e é dado pela fórmula:

$$R = \frac{i_2 - i_1}{i_2 + i_1} \quad (9)$$

Refletores comuns possuem valores de coeficiente de reflexão variando entre 0.1 e 0.01, enquanto refletores excelentes possuem valores de 0.3 (SOUZA, 2006).

4. MÉTODO SÍSMICO

Em função do volume de dinheiro aplicado, os métodos sísmicos são os mais importantes métodos geofísicos, devido ao amplo uso na exploração de hidrocarbonetos. Os métodos sísmicos são particularmente apropriados para a investigação de sequências de camadas em bacias sedimentares, que são o principal alvo para óleo ou gás (KEARY; BROOK; HILL, 2002).

De acordo com Souza (2006), O tipo de fonte acústica é o principal item a ser analisado antes de um levantamento sísmico, pois a escolha da fonte acústica deve ser apropriada ao tipo de levantamento a ser feito e aos resultados esperados, tendo em vista a relação entre a penetração e resolução.

Kearey, Brook e Hill (2002), diz que uma característica muito importante em levantamentos sísmicos, é que eles devem ser planejados individualmente para cada caso específico.

4.1 Resolução e Penetração

Existe uma questão muito importante que deve ser levada em consideração ao fazer um planejamento de aquisição de dados geofísicos, a relação resolução-penetração, que é uma relação inversamente proporcional. Fontes que emitem frequências altas possuem bom poder de resolução e baixo poder de penetração e vice-versa, fontes que emitem frequências baixas possuem alto poder de penetração e baixo poder de resolução. Logo, a escolha da frequência a ser utilizada vai depender dos objetivos do levantamento.

Em geofísica, resolução é a capacidade de detecção de dois objetos distintos na superfície ou sub-superfície e está diretamente relacionada com o espectro de frequência emitido pela fonte acústica: frequências altas oferecem boa resolução; frequências baixas, boa penetração, mas pobre resolução (SOUZA, 2006).

Em áreas submersas rasas, as quais se pretende identificar camadas sedimentares e processos de sedimentação, esses aspectos tornam-se bastante relevantes na escolha do tipo de fonte acústica.

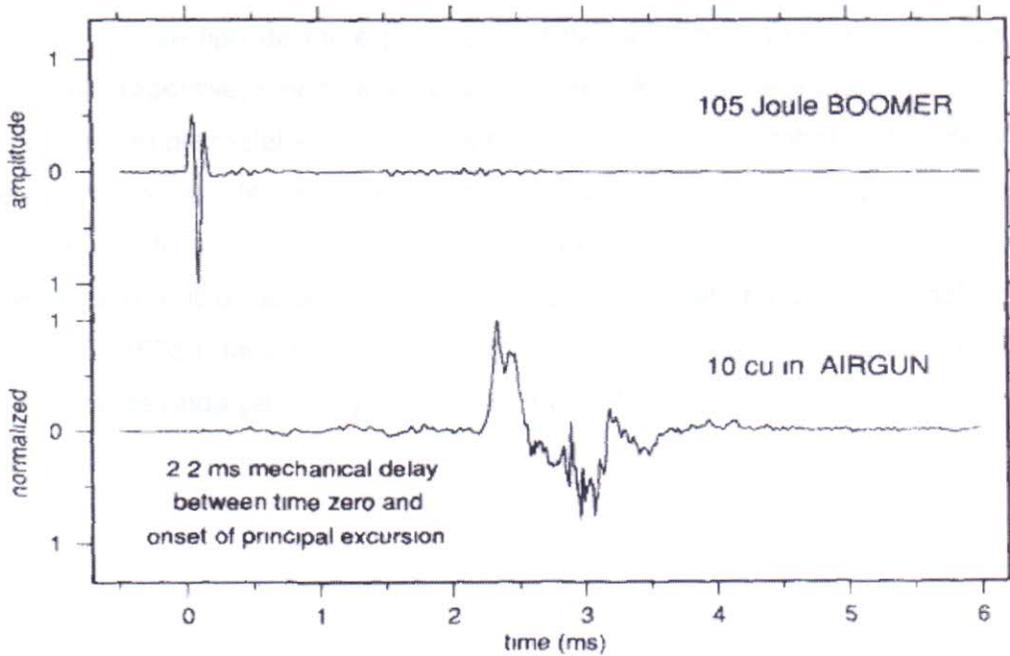
4.2 Fontes acústicas

Há dois tipos principais de fontes acústicas, as que emitem amplo espectro de frequências num menor tempo possível (*air-guns*, *water-guns*, *sparkers*, *boomers*), e as que emitem frequências específicas ao longo de um intervalo de tempo pré-definido, como, por exemplo, fontes do tipo *chirp* (MCGEE, 1995a; MOSHER; SIMPKIN, 1999; SOUZA, 2006; GOMES, 2009).

McGee (1995a) classifica as fontes acústicas usadas em perfilagem marinha de reflexão em dois tipos: **fontes ressonantes** e **fontes impulsivas**, no qual ele se refere aos sinais produzidos por fontes ressonantes como pulsos de sonar e ondulação sísmica aos sinais produzidos por fontes impulsivas.

Segundo a classificação de McGee (1995a), as fontes **impulsivas** liberam grande quantidade de energia num intervalo de tempo que é idealmente próximo a zero (Figura 3). Analogamente, Mosher e Simpkin (1999) desenvolveram uma classificação para este tipo de fonte que as subdivide em 3: fontes de aceleração de massa, implosivas e explosivas.

Figura 3 – Exemplos de fontes impulsivas: boomer e air-gun



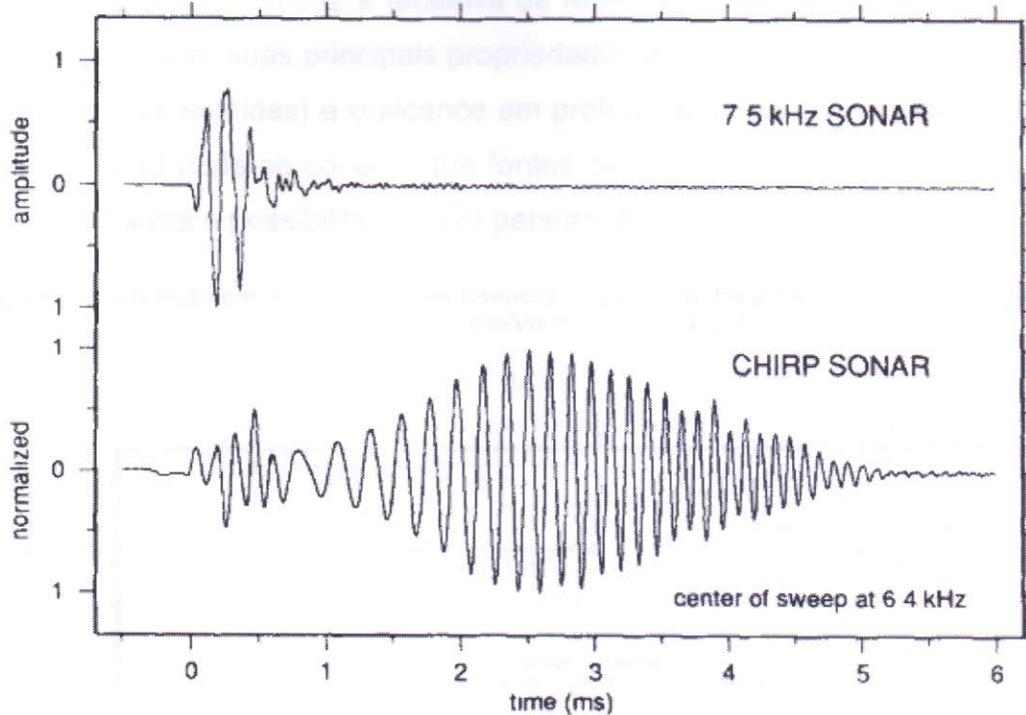
Fonte: MCGEE (1995a)

Boomers e *Air-guns* são exemplos de fontes impulsivas do tipo aceleração de massa, que provocam um rápido deslocamento de massa d'água, esse tipo de fonte pode absorver até 1 kJ de energia e emitir sinais de amplo espectro de frequências (0.5kHz – 20kHz) com alta potência, possibilitando a obtenção de excelentes registros sísmicos com grande penetração no substrato, por isso têm sido muito utilizados atualmente na sísmica de reflexão de alta resolução. *Waterguns*, *vaporchoc* e *flexichoc* são exemplos de fontes do tipo implosivas, que utilizam a implosão de uma bolha para criar uma onda de pressão na coluna d'água, são muito utilizadas em investigações profundas. As fontes explosivas utilizam dinamites, espoletas elétricas, gás, entre outros meios para gerar ondas acústicas na coluna d'água, no qual o *sparker* destaca-se como a principal fonte explosiva, que gera uma descarga elétrica no meio condutor, criando uma bolha de vapor de alta potência e grande poder de emissão de amplos espectros de frequências, apresenta baixo custo e pouca repetitividade, sendo também limitado em relação ao direcionamento e possui restrições ambientais. (MOSHER; SIMPKIN, 1999; SOUZA, 2006; GOMES, 2009).

As fontes **ressonantes** constituem-se num sistema em que a fonte emissora e o receptor (hidrofone) estão acoplados a um único módulo.

Esse tipo de fonte produz um sinal acústico com forma conhecida, altamente repetitivo, e origina-se a partir da frequência de ressonância de pastilhas (cristais) piezoelétricas. Esse sistema é utilizado por ecobatímetros de alta frequência, sonar de varredura lateral e fontes mais modernas que possuem capacidade de penetração, agindo como perfiladores, conhecidos como *chirp*, que emitem amplos espectros de frequência com intervalo de tempo definido. (MCGEE, 1995a; MOSHER; SIMPKIN, 1999; SOUZA, 2006). A figura 4 ilustra as formas de onda geradas por esse tipo de fonte.

Figura 4 - Exemplo de sinais de fontes ressonantes



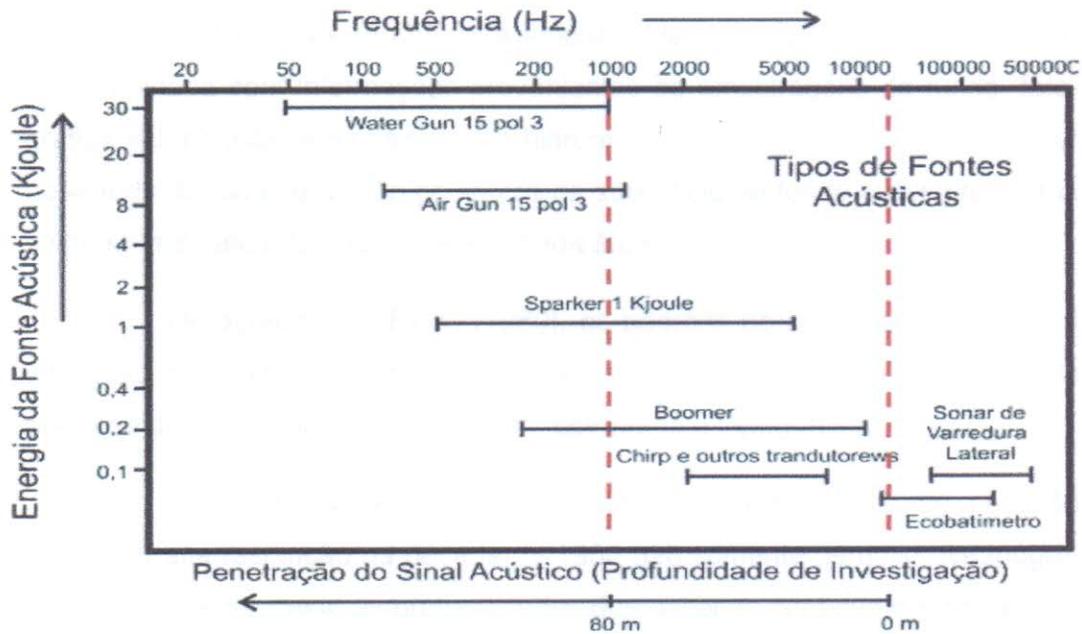
Fonte: MCGEE (1995a)

Qualquer desses sistemas opera com base no princípio de que um campo elétrico aplicado sobre uma pastilha piezoelétrica resulta em um trabalho mecânico que é proporcional à intensidade do campo elétrico aplicado. Sendo a frequência do campo elétrico aplicado próximo à frequência de ressonância do material do transdutor, a energia elétrica será facilmente convertida em energia mecânica, provocando o movimento de vibração da pastilha que é transmitido à massa d'água ao redor da fonte, da mesma forma ocorre o inverso quando o sinal emitido retorna ao transdutor e é convertido em sinal elétrico (SOUZA, 2006).

As vantagens do uso de fontes ressonantes são a sua facilidade operacional, o baixo custo de manutenção, a alta taxa de repetibilidade, a alta relação sinal/ruído e poder ser utilizado em grandes profundidades facilmente. A principal desvantagem na utilização desse tipo de fonte consiste na sua baixa penetração, com exceção do *chirp* que tem a característica de lidar com espectros amplos de frequência (SOUZA, 2006).

A figura 5 ilustra a tentativa de relacionar os diferentes tipos de fontes acústicas com suas principais propriedades específicas (energia x espectro de frequências emitidas) e o alcance em profundidade da investigação. Observando a figura pode-se concluir que fontes de maior potência emitem frequências mais baixas e possibilitam maior penetração (SOUZA, 2006).

Figura 5 - Correlação entre: tipo de fontes sísmicas, espectro de frequências emitido, energia da fonte acústica e profundidade investigada.



Fonte: GOMES (2009)

5. EVOLUÇÃO E APLICAÇÃO DOS ESTUDOS DE ECOCARÁTER

O uso de métodos acústicos de alta resolução em estudos de ambientes submersos rasos tem sido amplamente utilizado para caracterização de distribuição sedimentar. Para isso, são utilizados padrões sonográficos e eco-caráteres para classificar o tipo de sedimento de fundo, relacionando o tipo de reflectância do fundo, no caso do padrão sonográfico, e ao tipo de eco recebido, para eco-caráteres.

Segundo Souza (2006), a análise detalhada do tipo de eco registrado combinada com informações provenientes de amostragens de fundo, fotografias submarinas, e demais dados hidrográficos é possível muito se avançar no estudo da caracterização geológica da superfície de fundo e dos processos sedimentares atuantes numa determinada área.

De acordo com Flood (1980), os padrões de eco ocorrem devido à interação entre o fundo oceânico e o pulso do eco. O retorno do eco é afetado pelo tipo de sedimento, suas camadas, estruturas e topografias.

O desenvolvimento dos gravadores de profundidade de precisão (PDR) de alta resolução na década de 1950 não somente permitiu oceanógrafos começarem a medir as profundidades dos oceanos continua e precisamente, mas também lhes forneceu uma nova ferramenta para estudar os processos de sedimentação do fundo marinho (DAMUTH, 1980).

Heezen *et al.* (1959) *apud* Damuth (1980) foi um dos primeiros a perceber mudanças na refletividade acústica do fundo marinho e a microtopografia com os primeiros ecogramas de PDR, o qual a partir daí começou a usar as informações de refletividade desses tipos de ecogramas em estudos de sedimentação marinha.

Os primeiros estudos de eco-caráter utilizavam frequências de 12 kHz, no qual não havia muita penetração no substrato, apenas nas camadas superficiais, o que foi rapidamente substituído por sistemas de 3.5 kHz, que fornecem muito mais informações sobre a natureza e a orientação das estratificações, como, por exemplo, a presença ou ausência de refletores de superfície. Um dos pioneiros no estudo do eco-caráter utilizando a frequência

Damuth (1980) fez uma revisão detalhada sobre eco-caráteres (3.5 e 12 kHz), no qual é feito um levantamento da evolução dos estudos sobre o tema, apresentando dados qualitativos de vários autores, utilizando desde ecobatímetros de alta precisão à perfiladores de sub-fundo. O autor ainda apresenta exemplos de mapas de eco-caráter que permitem a análise regional de bacias sedimentares pela distribuição sedimentar relativa.

Chough *et al* (1997), realizou um trabalho detalhado na bacia de Ulleung, no mar do Japão, entre a Coreia do Sul e o Sul do Japão, cobrindo uma área de aproximadamente 44990 km². Neste trabalho foram utilizados dados de uma fonte do tipo *chirp* operando nas frequências 2 e 7 kHz e sedimentos coletados em superfície e sub-superfície, no qual foi possível identificar 11 tipos de eco-caráteres baseados na classificação de Damuth (1975, 1980).

Kim *et al.* (1999) também realizou estudos na bacia de Ulleung utilizando fonte acústica do tipo *chirp* (2 – 7 kHz), no qual foi feita a análise de eco-caráteres e geotécnica dos sedimentos com *piston-core* no talude e na planície da bacia adjacente. Segundo os autores, os estudos anteriores careciam de análise geotécnica de sedimentos, principalmente na parte mais profunda da bacia e a interpretação conjunta de eco-caráteres e propriedades geotécnicas e texturais dos sedimentos de fundo ajudam a compreender melhor o padrão de dispersão de sedimentos e processos sedimentares na porção sul da bacia de Ulleung.

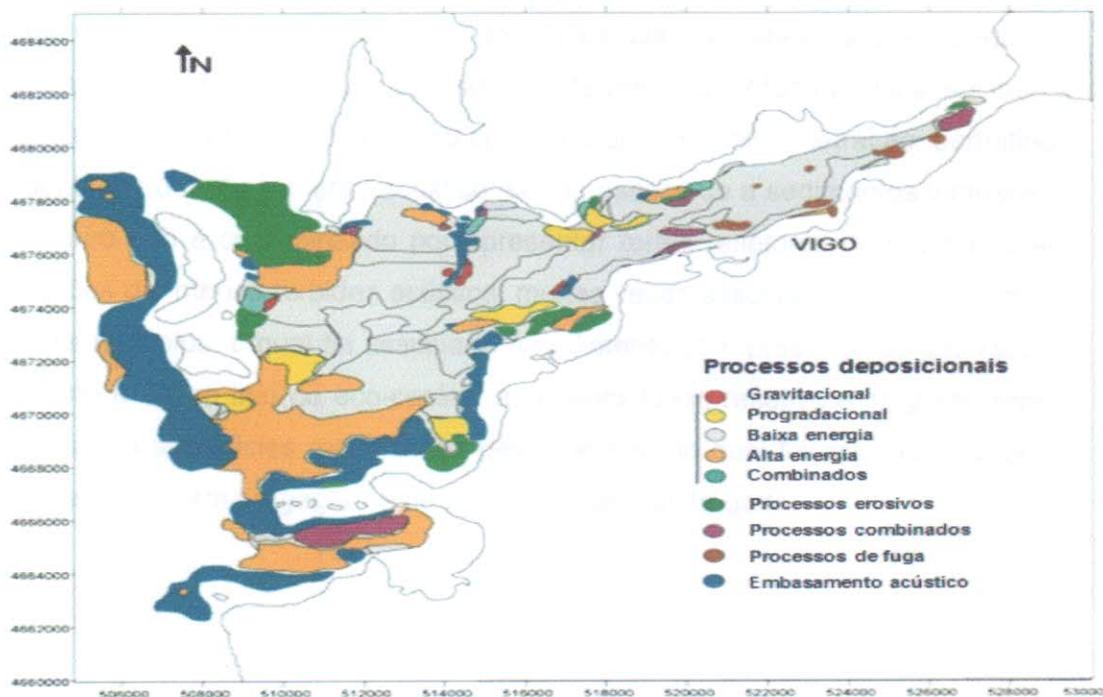
Quaresma *et al.* (2000) correlacionou dados geofísicos de sonar de varredura lateral e sísmica de alta resolução (3.5 e 7 kHz) para caracterizar a distribuição sedimentar de fundo na porção sul da Baía de Guanabara. Foram reconhecidos seis tipos de padrões sonográficos e quatro tipos de eco-caráteres, os quais obtiveram uma boa correlação com os sedimentos de fundo, mostrando serem importantes ferramentas para o estudo da dinâmica de sedimentos de uma área.

Também com intuito de caracterizar o fundo da Baía de Guanabara, mas de forma mais abrangente, Catanzaro *et al.* (2004) fez uma descrição geral das características de fundo da Baía de Guanabara com base em 92 amostras de sedimentos e interpretação de perfis sísmicos de alta frequência (7

kHz), na qual foram identificados oito tipos de eco-caráter, servindo de subsídio para diagnósticos de qualidade ambiental e programas de despoluição.

No estuário de Vigo, na Espanha, García-García *et al.* (2004) utilizando sísmica de alta resolução (3,5 kHz) revelou a presença de 17 tipos de eco-caráter com base na classificação de Damuth (1980) e Pratson e Laine (1989). Uma correlação entre a distribuição de eco-caráter com a distribuição de sedimentos superficiais foi possível inferir a recente dinâmica sedimentar atuante no estuário, que teve 60.5% se relacionado com processos deposicionais recentes, 9% por processos erosivos e 25% por embasamento acústico. Na parte externa do estuário, onde a atividade de ondas é forte, processos erosivos e de deposição de alta energia predominam, enquanto que no interior do estuário, área protegida, a maioria dos processos recentes é de baixa energia, processos deposicionais, progradacionais e/ou uma combinação de ambos (Figura 7).

Figura 7 - Distribuição dos processos sedimentares inferidos no estuário de Vigo.



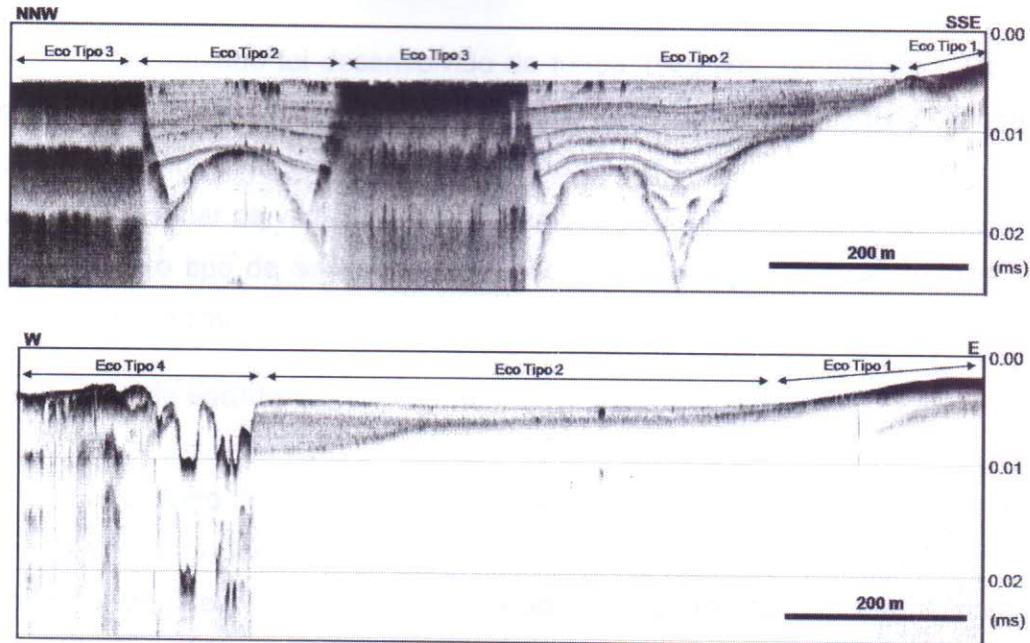
Fonte: Adaptado de GARCÍA-GARCÍA *et al.* (2004)

Paolo e Mahiques (2008) analisaram a aplicabilidade de métodos acústicos para estudar a dinâmica costeira na desembocadura lagunar de Cananéia, litoral sul do estado de São Paulo, visando oferecer subsídios para a compreensão do transporte sedimentar e caracterização da morfodinâmica

deste sistema costeiro. Foram realizados levantamentos sonográficos utilizando sonar de varredura lateral (300 kHz) e ecossonda (50kHz), e levantamentos sísmicos utilizando *pinger* (24kHz) e *boomer* (0.3 kHz a 1 kHz). A utilização de métodos acústicos possibilitou o estabelecimento de um modelo qualitativo de transporte de fundo, permitindo a identificação dos sentidos preferenciais deste transporte de acordo com as correntes relacionadas à maré.

Baptista Neto *et al.* (2011) estudou a distribuição sedimentar na Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ, utilizando sísmica de alta resolução (10 kHz) com o objetivo de identificar o tipo de fundo, os processos sedimentares atuantes e a espessura da camada sedimentar como subsídio a estudos de caracterização ambiental. Foram coletadas 44 amostras superficiais distribuídas por toda a lagoa, as quais se correlacionaram com os quatro tipos de eco-caráter identificados, assim como a morfologia de fundo. O embasamento da lagoa é formado por feições de paleo-relevo em forma de vales e altos, alinhados na direção NE/SW, conforme as direções regionais do embasamento cristalino aflorante, nos paleo-vales os sedimentos atingem até 16 m de espessura, onde se concentra a maior ocorrência de matéria orgânica e formação de gás raso junto aos sedimentos. A figura 8 mostra exemplos dos eco-caráteres identificados. O primeiro tipo de eco-caráter apresenta forte reflexão de fundo e foi associado a sedimentos arenosos; o segundo tipo tem bom nível de penetração, permitindo identificar o embasamento acústico, sendo associado a sedimentos lamosos; o terceiro tipo é caracterizado por apresentar fortes refletores de sub-fundo em regiões de intensa turbidez acústica, muitas vezes associadas a diversos refletores múltiplos, o qual foi associado a sedimento com presença de gás raso; o quarto e último tipo de eco-caráter apresenta fundo refletivo e irregular, representando superfícies modificadas pelo homem, no qual foi associado a locais onde ocorreram dragagem e descarte de material dragado.

Figura 8 - Exemplos de eco-caráteres identificados na Lagoa Rodrigo de Freitas.



Fonte: BATISTA NETO *et al.* (2011)

Com o objetivo de caracterizar a evolução morfológica da desembocadura do estuário do rio Coreáú no município de Camocim no Ceará, Silva (2013) utilizou a integração de diversas fontes acústicas, como eco-sonda, sonar de varredura lateral e perfilador de sub-fundo. Foram identificados quatro tipos de eco-caráteres, os quais ajudaram na compreensão da influencia da maré na hidrodinâmica local e que apesar de ser uma área que sofre constante assoreamento, a vazão ainda apresenta papel muito importante para o transporte sedimentar.

6. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido de forma integrada, no qual se relacionou a distribuição das características sedimentares, através de dados secundários de granulometria com o levantamento geofísico, utilizando perfilador de sub-fundo e sonar de varredura lateral. Buscou-se verificar as correlações existentes entre o tipo de sedimento de fundo e os padrões sonográficos e eco-caráteres sísmicos.

6.1 Área de estudo

O porto do Mucuripe é um dos terminais marítimos mais importantes e estratégicos do Brasil, com localização privilegiada (na enseada do Mucuripe, em Fortaleza, Ceará), mantém proximidade com os mercados da América do Norte, Europa, África e países do Mercosul, também é um dos principais portos de navegação de cabotagem do Brasil em movimentação de cargas (COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ, 2013b).

- Clima

O clima da zona litorânea do Ceará está inserido no domínio do clima semi-árido predominante no Nordeste brasileiro, marcado por dois períodos distintos e bem definidos, uma estação seca e longa, e outra chuvosa, curta e irregular (MORAIS *et al.*, 2006).

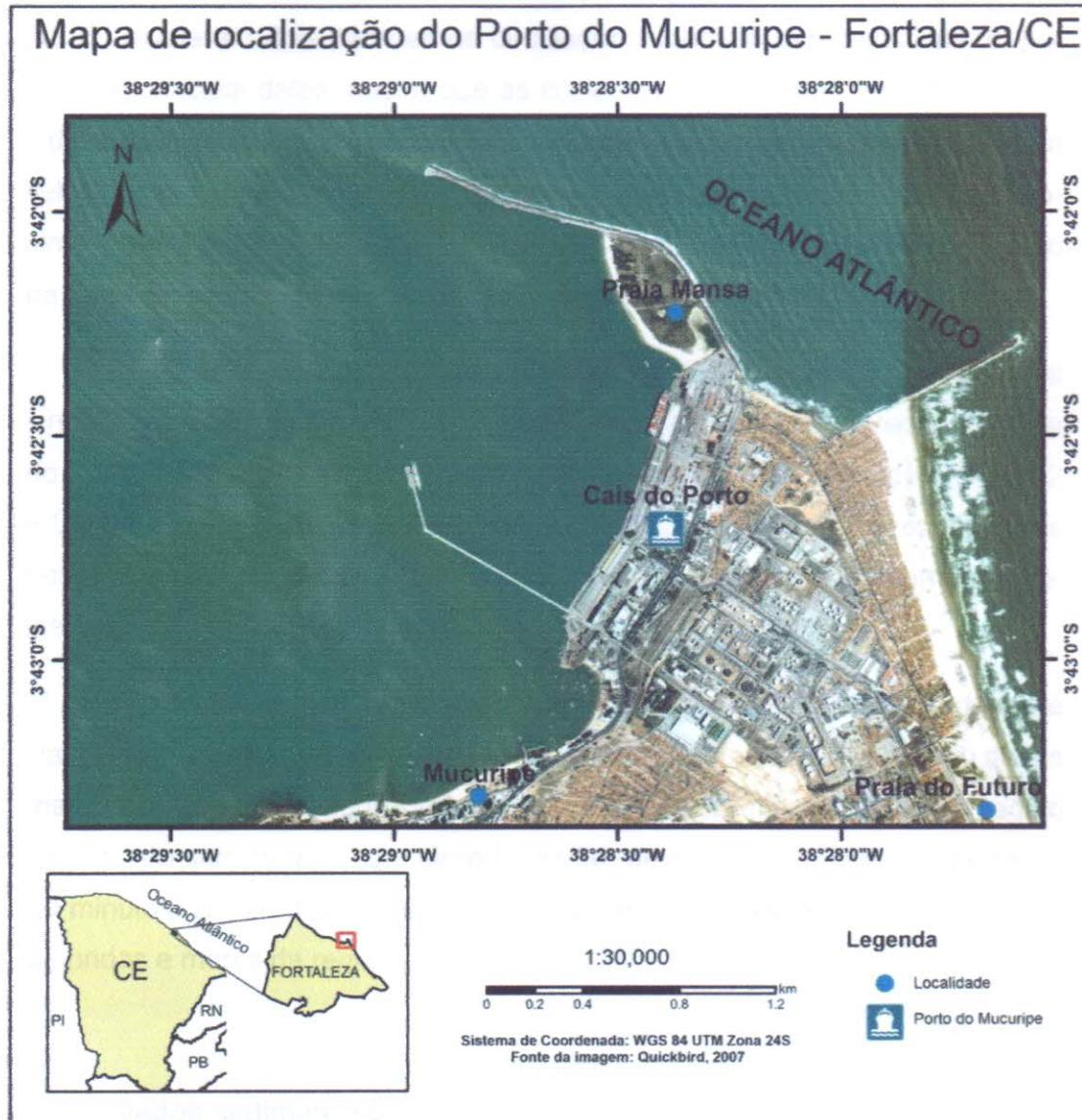
- Ventos

O vento exerce papel fundamental no litoral do Nordeste, contribuindo principalmente com os fluxos hidrodinâmicos e transportando sedimentos ao longo de todo o litoral do Ceará (MUEHE, 2006). Segundo Maia (1998), os ventos na região Nordeste do Brasil possuem característica sazonal definido por um período anual e são controlados pelo movimento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é uma região onde convergem ventos NE e SE, caracterizado por intensa névoa e baixa pressão atmosférica.

O segundo semestre é o período onde os ventos são mais intensos, principalmente entre os meses de agosto e novembro, onde atingem os maio-

res valores, os menores valores ocorrem entre fevereiro e maio. O regime de ventos observados em Fortaleza é SE, podendo apresentar-se como SE/E ou E/SE, chegando a variar até NE/E (COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ, 2013b).

Figura 9 - Mapa de localização do Porto do Mucuripe



Fonte: O autor

- Ondas, Correntes e Marés

O regime de ondas atuantes no estado do Ceará apresenta predominância da componente E com direções variando entre E/NE e E/SE. O primeiro semestre é marcado por apresentar maior frequência de ondas do tipo *swell* (MORAIS *et al.*, 2006). Segundo Moraes (1980) as ondas do quadrante

E/SE são as principais responsáveis pelo caminamento das areias, no sentido de leste para oeste.

A corrente resultante no litoral de Fortaleza se deve unicamente à ação dos ventos, na qual possui orientação NW tangida pelo vento de 80° (MORAIS, 1980). As medições realizadas no porto do Mucuripe por Maia (1998) revelaram dois padrões de circulação superficial característicos. O primeiro e principal deles mostra que as correntes com maiores magnitudes são induzidas pelo vento, propagando-se paralelo à linha de costa sudeste, com velocidades variando de 0,27 a 48 m/s, os valores mais elevados ocorrem próximo à parte externa do molhe de proteção, esse mesmo padrão foi observado na bacia do porto com velocidades variando entre 0,08 e 0,21 m/s.

O segundo padrão observado corresponde a correntes com trajetória circular que se iniciam na ponta externa do molhe e circulam ao redor da bacia do porto. Essas correntes circulares possuem velocidades variando entre 0,12 e 0,24 m/s e são geradas pela difração de ondas no molhe e são responsáveis pelo assoreamento do canal principal de navegação e da parte interna do molhe, no qual se originou a praia Mansa.

A região costeira do estado do Ceará apresenta um regime de maré classificado como meso-maré do tipo semidiurno. Morais (1980) analisou dados medidos na bacia do porto do Mucuripe e observou que as marés na região são do tipo semidiurnas com período médio de 12,4 h e defasagem média de 50 minutos, foi um dos primeiros trabalhos realizados sobre o comportamento de ondas e marés da região

6.2 Dados sedimentológicos

Não foram coletadas amostras de sedimento na bacia do Porto do Mucuripe durante a realização deste trabalho, os dados utilizados para correlação com o levantamento geofísico foram obtidos através de levantamento bibliográfico, a partir do qual foram confeccionados mapas da distribuição de teores de areia e lama utilizando como método de interpolação o *Kriging*.

Moreira (2009) realizou coleta de 10 amostras de sedimento com amostrador de fundo do tipo *Van Veen* no Porto do Mucuripe em agosto de 2007 (Figura 12). Foram separados 30g de sedimento de cada amostra, secos em estufa a 50° C, e em seguida submetidos a peneiramento, o sistema de classificação utilizado foi o de Wentworth (1922) descrito por Suguio (1973). As coordenadas dos pontos de coleta encontram-se na tabela 3.

Figura 10 - Mapa das estações de coleta realizadas no Porto do Mucuripe por Moreira (2009)



Fonte: Moreira (2009)

Tabela 3 – Coordenadas dos pontos de coleta de sedimento no Porto do Mucuripe realizadas agosto de 2007 por Moreira (2009). Datum: WGS84. *As profundidades foram obtidas através de ecobatímetros.

Estações	W	S	*Profundidade (m)
M1	557980,55	9589635,46	7,4
M2	558184,67	9590111,76	15
M3	557318,68	9590161,25	15,4
M4	557219,71	9589740,62	14,7
M5	556910,42	9590155,06	10,7
M6	557170,22	9590618,99	14,6

M7	557533,00	9590453,26	9,6
M8	557312,49	9591021,06	9,6
M9	557219,71	9591416,94	11,9
M10	557931,06	9591577,77	12,6

Fonte: Adaptado de Moreira (2009)

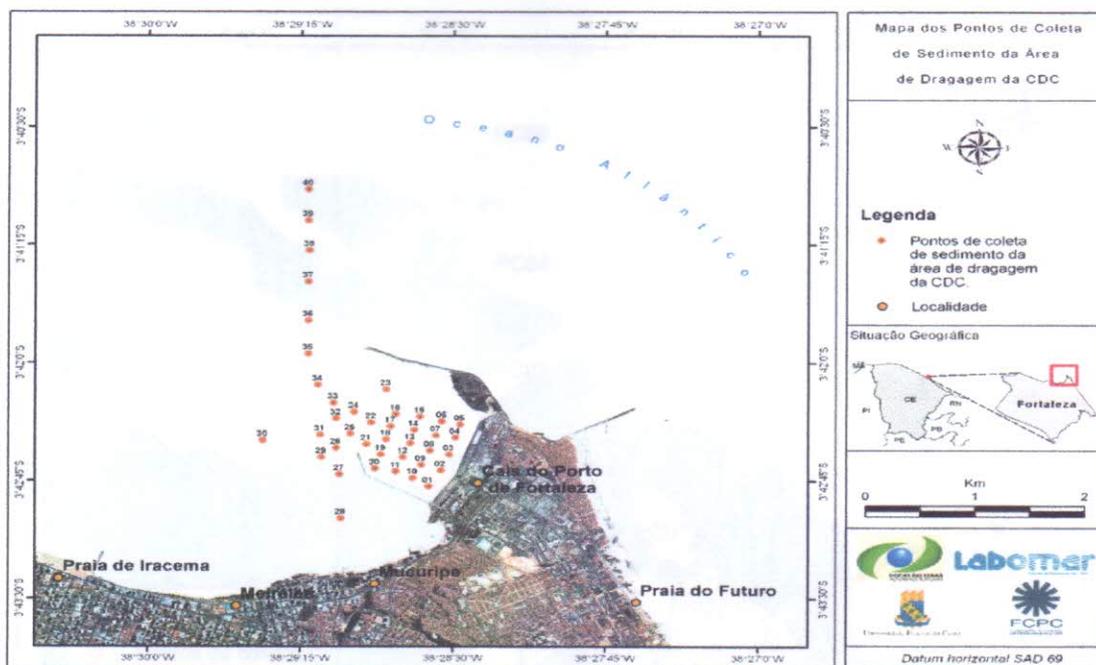
Foram obtidos também dados de sedimentologia dos anos de 2010 e 2013 através dos relatórios do Projeto Plano Básico Ambiental da Obra de Aprofundamento do Porto de Fortaleza (CDC/UFC-LABOMAR/FCPC e SEP) (COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ, 2010, 2013).

Em setembro de 2010 foi realizada uma campanha de coleta de sedimento em 40 pontos (Tabela 4), sendo 37 dentro do polígono de dragagem e 3 externos como referência (Figura 11). Foram coletados sedimentos de superfície e sub-superfície com 3 cm de espessura cada, totalizando 70 amostras, as análises foram feitas no laboratório INNOLAB do Brasil Ltda.

Em maio de 2013, por solicitação da COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ, foi incluída a coleta de 10 amostras no plano de amostragem ao longo dos 3,5 km do canal de navegação. Foram coletadas amostras superficiais com amostrador de fundo do tipo *Van Veen*, as amostras foram devidamente acondicionadas e etiquetadas para análise granulométrica segundo a metodologia usual do Laboratório de Oceanografia Geológica do Instituto de Ciências do Mar. A localização dos pontos pode ser vista na figura 12 e as coordenadas na tabela 5.

Por fim, também foi utilizado o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do Terminal Marítimo de Passageiros do Porto de Fortaleza de julho de 2011 (SEMACE, 2011) o qual apresenta um mapa faciológico da bacia do Porto do Mucuripe, neste caso, a correlação foi feita através de análise visual.

Figura 11 - Mapa de localização dos pontos de coleta realizado pelo Projeto Plano Básico Ambiental da Obra de Aprofundamento do Porto de Fortaleza (CDC/UFC-LABOMAR/FCPC e SEP) em 2010.



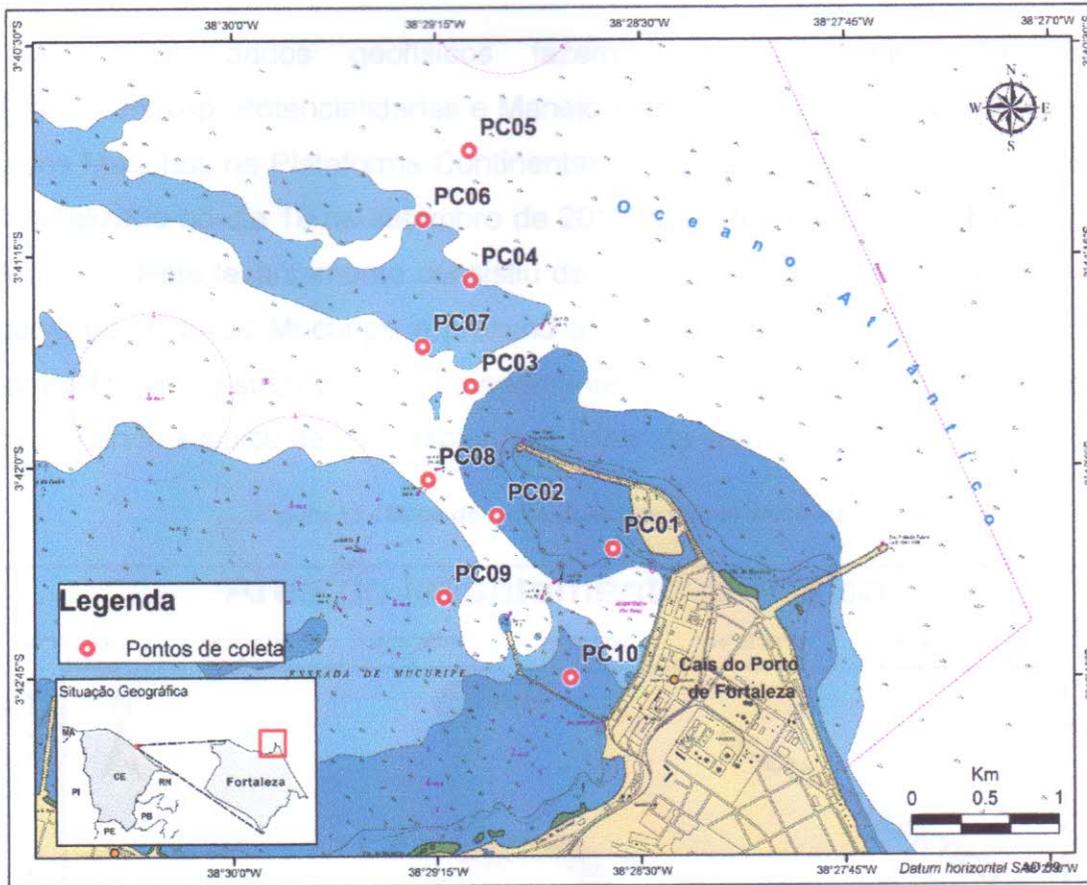
Fonte: (COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ, 2010)

Tabela 4 - Coordenadas das amostras coletadas para o Projeto Plano Básico Ambiental da Obra de Aprofundamento do Porto de Fortaleza em 2010. Datum: SAD-69.

Amostra	Long	Lat	Amostra	Long	Lat
1	-38.48	-3.713	21	-38.48	-3.709
2	-38.48	-3.711	22	-38.48	-3.706
3	-38.48	-3.71	23	-38.48	-3.703
4	-38.47	-3.708	24	-38.48	-3.705
5	-38.47	-3.707	25	-38.48	-3.708
6	-38.48	-3.706	26	-38.48	-3.709
7	-38.48	-3.708	27	-38.48	-3.712
8	-38.48	-3.709	28	-38.48	-3.717
9	-38.48	-3.711	29	-38.49	-3.71
10	-38.48	-3.712	30	-38.49	-3.708
11	-38.48	-3.712	31	-38.49	-3.708
12	-38.48	-3.71	32	-38.48	-3.706
13	-38.48	-3.709	33	-38.48	-3.704
14	-38.48	-3.707	34	-38.49	-3.702
15	-38.48	-3.706	35	-38.49	-3.699
16	-38.48	-3.705	36	-38.49	-3.696
17	-38.48	-3.707	37	-38.49	-3.691
18	-38.48	-3.708	38	-38.49	-3.688
19	-38.48	-3.71	39	-38.49	-3.685
20	-38.48	-3.711	40	-38.49	-3.682

Fonte: (COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ, 2010)

Figura 12 - Mapa de localização dos pontos de coleta realizado pelo Projeto Plano Básico Ambiental da Obra de Aprofundamento do Porto de Fortaleza (CDC/UFC-LABOMAR/FCPC e SEP) em 2013.



Fonte: (COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ, 2013a)

Tabela 5 - Coordenadas das amostras coletadas para o Projeto Plano Básico Ambiental da Obra de Aprofundamento do Porto de Fortaleza em 2013. Datum: SAD-69.

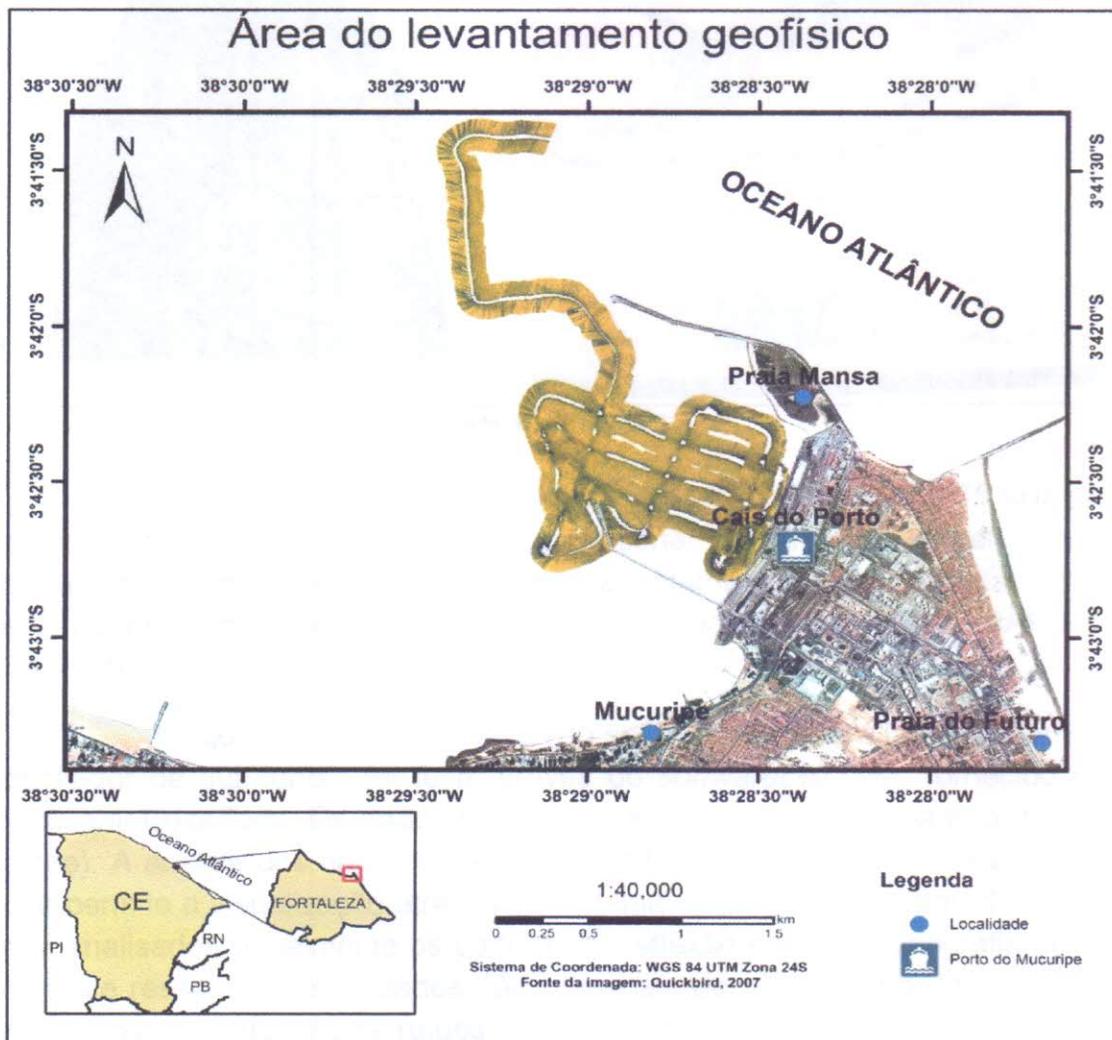
Pontos de coleta	W	S
PC01	558107	9590476
PC02	557315	9590692
PC03	557145	9591543
PC04	557146	9592235
PC05	557137	9593085
PC06	556825	9592633
PC07	556819	9591804
PC08	556853	9590930
PC09	556957	9590161
PC10	557818	9589633

Fonte: (COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ, 2013)

6.3 Levantamento geofísico

Os dados geofísicos fazem parte do projeto PRONEX-CNPq/FUNCAp: Potencialidades e Manejo Ambiental na Exploração de Granulados Marinhos na Plataforma Continental do Ceará. O levantamento geofísico foi realizado no dia 18 de setembro de 2012 no porto do Mucuripe (Figura 13). A malha deste levantamento consistiu de perfis transversais e longitudinais na bacia do porto do Mucuripe e próximo ao banco arenoso de Fortaleza, onde foram feitos registros de aproximadamente 12 km de linhas geofísicas, compreendendo sísmica de alta resolução e sonar de varredura lateral.

Figura 13 - Mapa de localização das linhas geofísicas



Fonte: O autor

Foi utilizada uma fonte ressonante do tipo *chirp* Modelo EdgeTech 2000 comtowfish SB-512C (figura 14), um sistema de aquisição que integra

sonar de varredura lateral e perfilador de sub-fundo. Esse equipamento opera nas frequências 100/400 kHz e 300/600 kHz para sonar de varredura lateral com cobertura máxima variando de 120 a 500 m para cada lado dependendo da frequência escolhida. Para o perfilador de sub-fundo, as frequências variam de 0,5 a 12 kHz, com resolução vertical variando de 8 a 19 cm de acordo com a frequência selecionada, com penetração máxima de 30 m para areia grossa e de 250m para argilas.

Figura 14 - Fonte acústica do tipo chirp da EdgeTech SB-512C (0.5 - 12 kHz)



Fonte: EDGETECH (2012)

Para este trabalho foram utilizadas as frequências de 3,75 kHz para o perfilador de sub-fundo e 410 kHz para sonar de varredura lateral, com cobertura de 100 m para cada lado. Todo o levantamento foi obtido digitalmente e já integrado com posicionamento GPS, através do navegador GPS MAP 512S GARMIM.

A aquisição de dados, tanto do sonar de varredura lateral, quanto do perfilador de sub-fundo, foi feita através do *software Discover*, fornecido pelo fabricante EdgeTech. Os dados foram salvos no formato JSF (padrão do fabricante). A análise dos dados foi feita utilizando o próprio *software* de aquisição, que permite a visualização através do sistema de *playback*, a partir do qual foram analisados visualmente os padrões de reflexão e a microtopografia de fundo, vale ressaltar que os dados não passaram por nenhum tipo de processamento, como atenuação de ruídos e retirada de múltiplas.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Distribuição de sedimentos

A caracterização sedimentológica da área foi feita com base em dados secundários de trabalhos realizados no porto, o que dificultou a interpretação do padrão de distribuição dos sedimentos para correlação com os dados do levantamento geofísico, pois cada trabalho foi realizado de forma diferente, como por exemplo, data das coletas, malha amostral, número e localização das amostras e com diferentes propósitos.

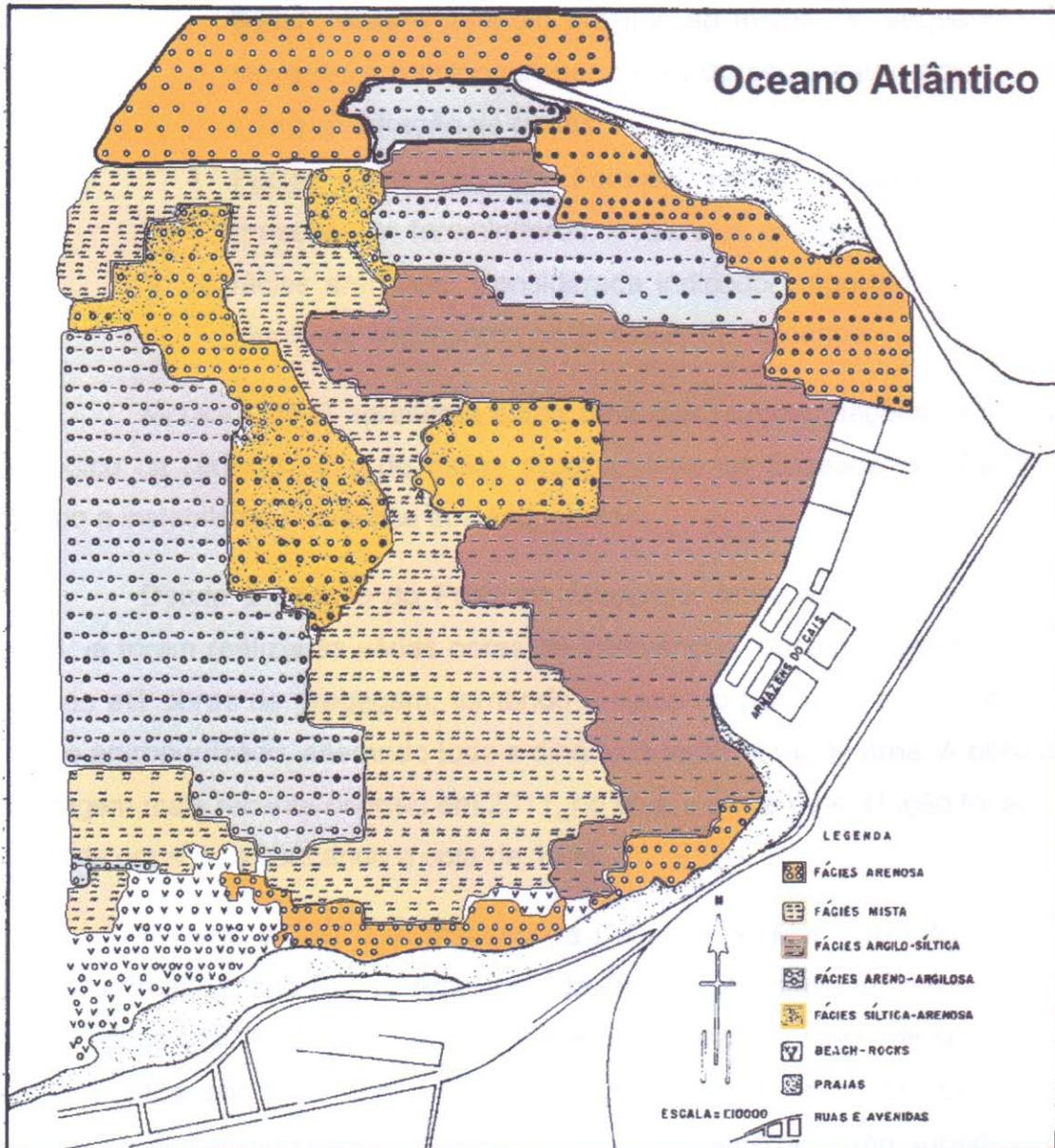
Morais (1972) estudou o processo de assoreamento do Porto do Mucuripe, no qual foi constatada a predominância de sedimentos argilo-sílticos, motivo que gera o assoreamento da bacia de evolução do porto, segundo o autor as zonas de sedimentação se distribuem em escala regressiva, à medida que se afastam do molhe do porto, que gera uma zona de calmaria, favorecendo a deposição da fração argila em frente ao cais de atracação. Uma vez que os sedimentos argilo-sílticos assumem a função de fácies sedimentar, não se erodem com as condições hidrodinâmicas do local, facilitando o assoreamento da bacia. A figura 15 apresenta um mapa de distribuição das fácies sedimentares com base em dados de 1969 e 1970 que foi modificado de forma a evidenciar as diferentes fácies sedimentares.

De acordo com a descrição de Moraes (1972), a bacia de evolução é dominada pela fácies argilo-síltica associada a um alto teor de matéria orgânica. Também há presença de diversas fácies de transição, desde a argilosa até a puramente arenosa, havendo um predomínio da fração arenosa fina sobre a fração arenosa grossa. Logo abaixo encontra-se um breve resumo das fácies sedimentares descritas por Moraes (1972):

- Fácies arenosas: Apresentam de 100 a 75% de fração areia, os outros 25% são constituídos de silte e argila. Dentro da bacia do porto há predominância da fração areia fina.
- Fácies mistas: Os componentes texturais se equivalem porcentualmente. Ocorre nas zonas de transição de fácies na porção central do mapa. Essa fácies revela o movimento de correntes no sentido

anti-horário, que traz sedimentos litorâneos para dentro da Enseada do Mucuripe.

Figura 15 - Distribuição das fácies sedimentares no Porto do Mucuripe, com base em dados de 1969 e 1970.



Fonte: Modificado de Moraes (1972)

- Fácies argilo-sílticas: Ocupa a parte central da bacia de evolução, sendo a zona de maior assoreamento. As amostras revelam teores médios de 60% de argila e 28% de silte, com frações de areia sempre inferiores a 10%.
- Fácies argilo-arenosas: Ocupa a fase de transição de sedimentos arenosos depositados ao longo do braço do dique, e

dos sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica. Os percentuais de areia (fina) e argila são equivalentes, ambos dominantes sobre o silte que atingem no máximo 12%.

- Fácies areno-argilosas: Situada na área adjacente à zona de *beach rocks* e também próximo ao molhe, consequência do movimento turbilhonar, por causa do seu caráter faciológico e início da difração de ondas.
- Fácies síltica-arenosas: Formada por areia fina e silte com presença de foraminíferos, localiza-se em áreas adjacentes a fácies arenosas. Considerada indicador importante do movimento de sedimentos na Enseada do Mucuripe.

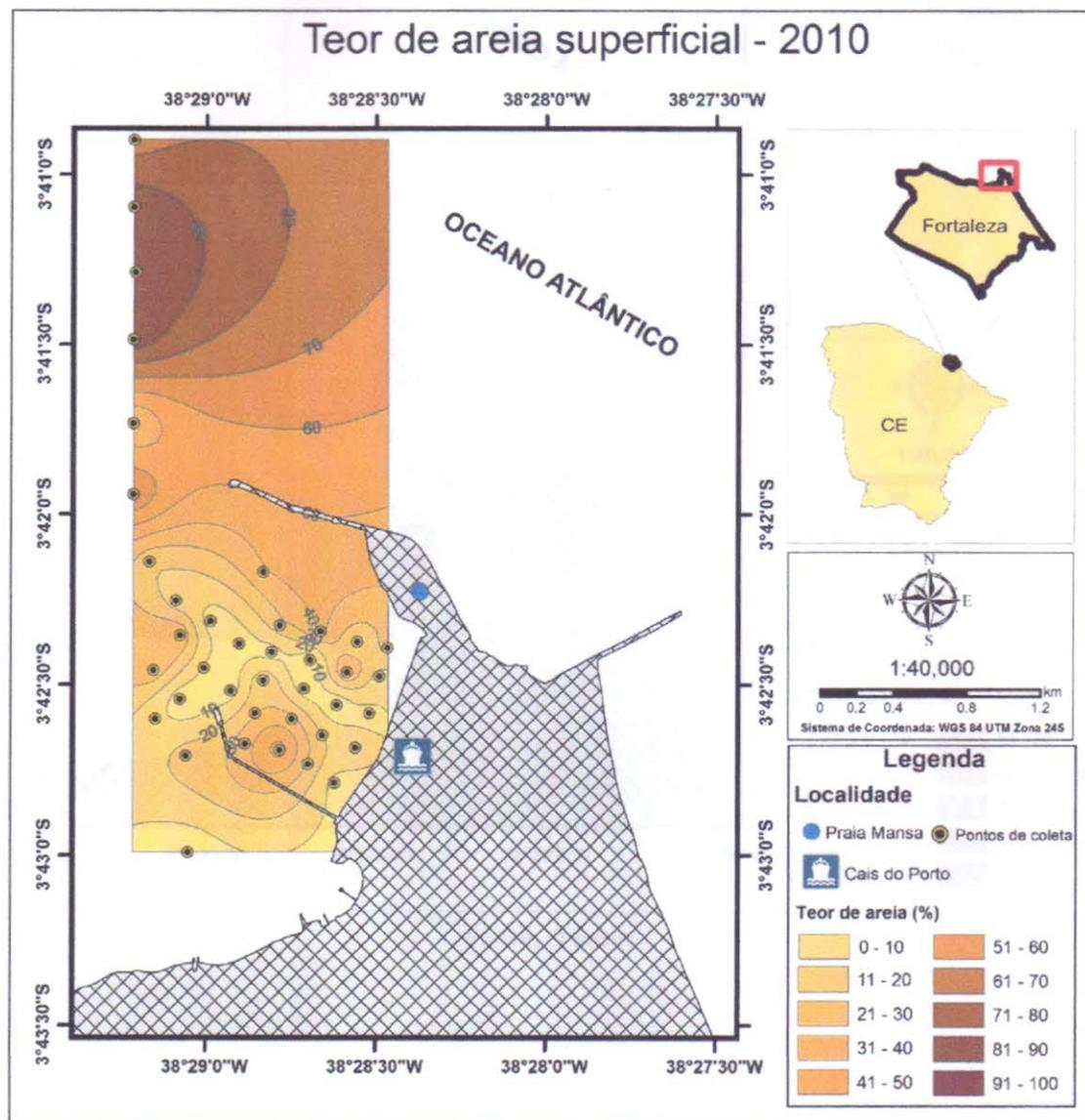
Morais (1972) apresenta como uma das recomendações, o estudo periódico da redistribuição de fácies sedimentares na Enseada do Mucuripe devido a instabilidade dinâmica dos sedimentos.

Desde a criação do Porto do Mucuripe, entre os anos de 1940 e 1946, já foram realizadas várias obras de intervenção, desde a construção de molhes até obras de dragagem, tornando a bacia do porto um ambiente altamente antropofizado, alterando toda a dinâmica sedimentar da área. A obra de dragagem mais recente ocorreu em 2011, no qual a bacia de evolução foi aprofundada em 4 m, alcançando a cota de 14 m.

No ano de 2010, o Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), por meio do Projeto Plano Básico Ambiental da Obra de Aprofundamento do Porto de Fortaleza (CDC/UFC-LABOMAR/FCPC e SEP), realizou coleta de sedimento em 40 pontos, sendo 37 dentro da área de dragagem e 3 externos como referência. As amostras foram estratificadas em duas camadas, uma superficial e uma camada de sub-superfície, com espessura de 3 cm cada, sendo as amostras de sub-superfície coletadas apenas na bacia do porto. A maioria das amostras revelou ser predominantemente lamosa, com teores da fração silte+argila alcançando o valor máximo de até 98%, sendo predominante a fração arenosa somente nas três estações de controle, situadas fora da zona de dragagem. As figuras 16 e 17 apresentam os mapas de teores de areia e lama su-

periciais e as figuras 18 e 19 o teores de areia e lama de sub-superfície, respectivamente.

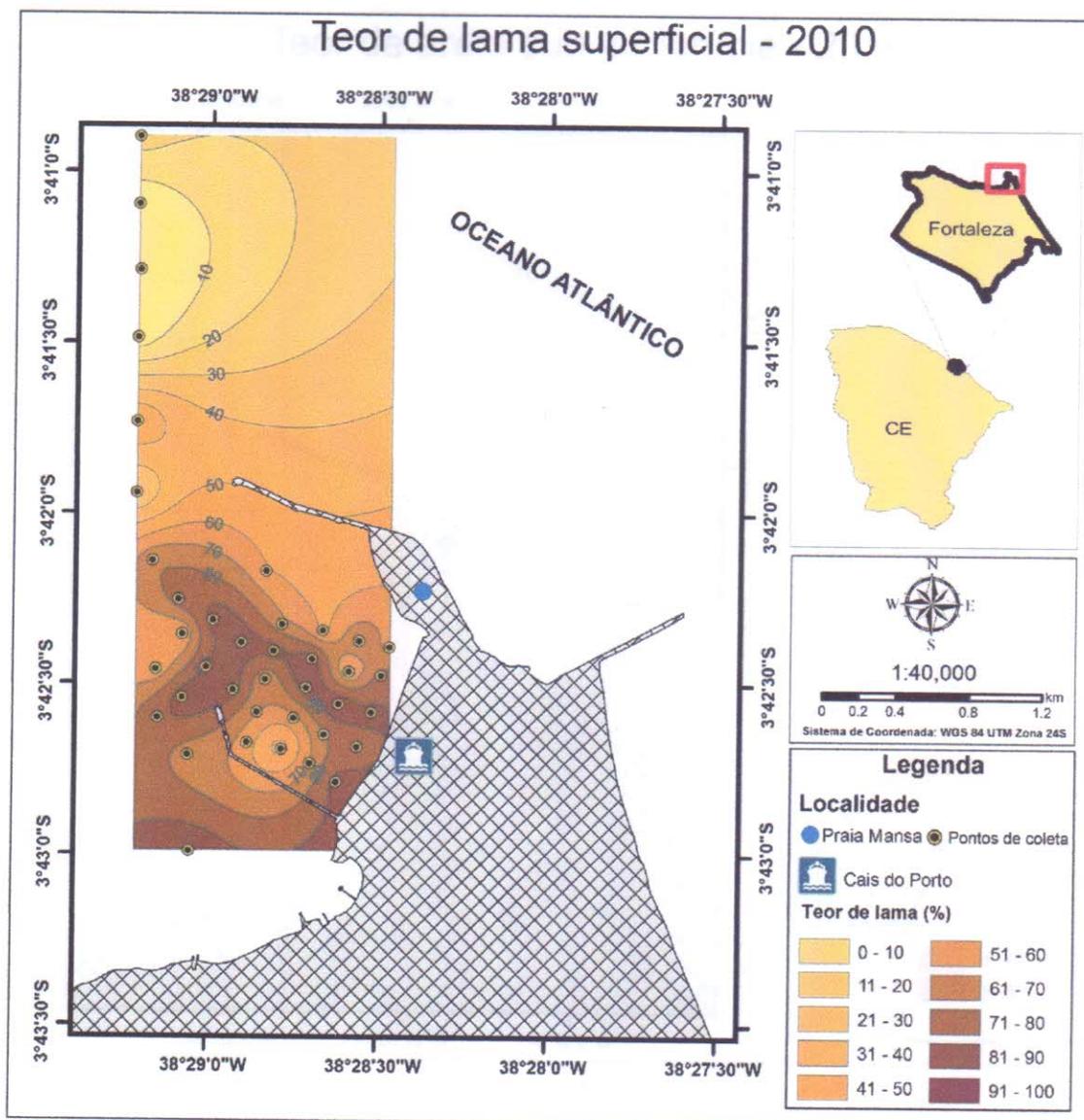
Figura 16 - Mapa da distribuição do teor de areia das amostras superficiais do ano de 2010 no Porto do Mucuripe.



Fonte: O autor

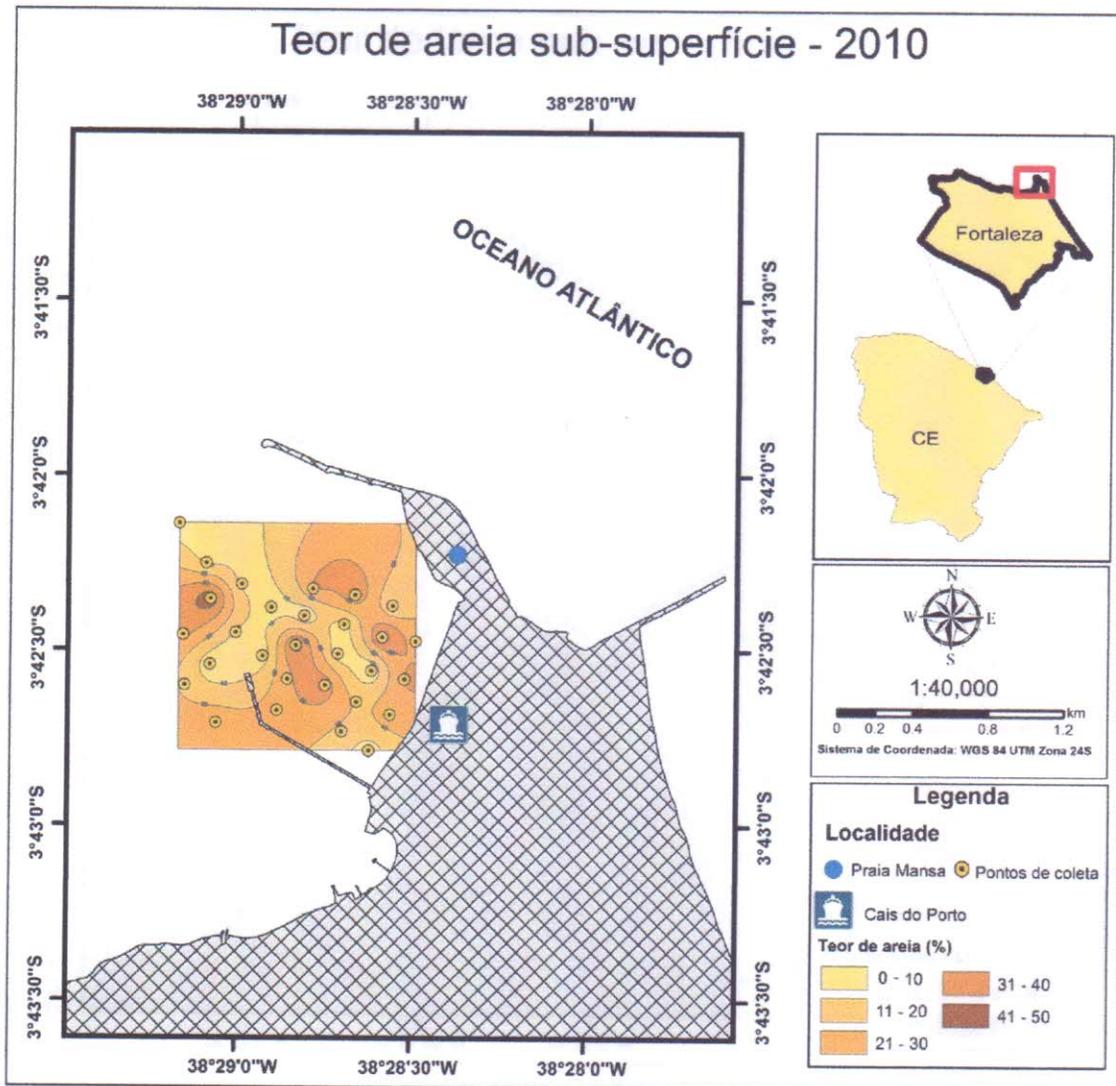
Na bacia do porto, dentro da fácies arenosa predominam as frações areia muito fina e areia fina, passando para areias médias e grossas nos últimos pontos de amostragem, mais distantes do porto, tendência esta que corresponde aos resultados apresentados por Moraes (1972), no qual as zonas de sedimentação se distribuem em escala regressiva, à medida que se afastam do molhe do porto.

Figura 17 - Mapa da distribuição do teor de lama das amostras superficiais do ano de 2010 no Porto do Mucuripe.



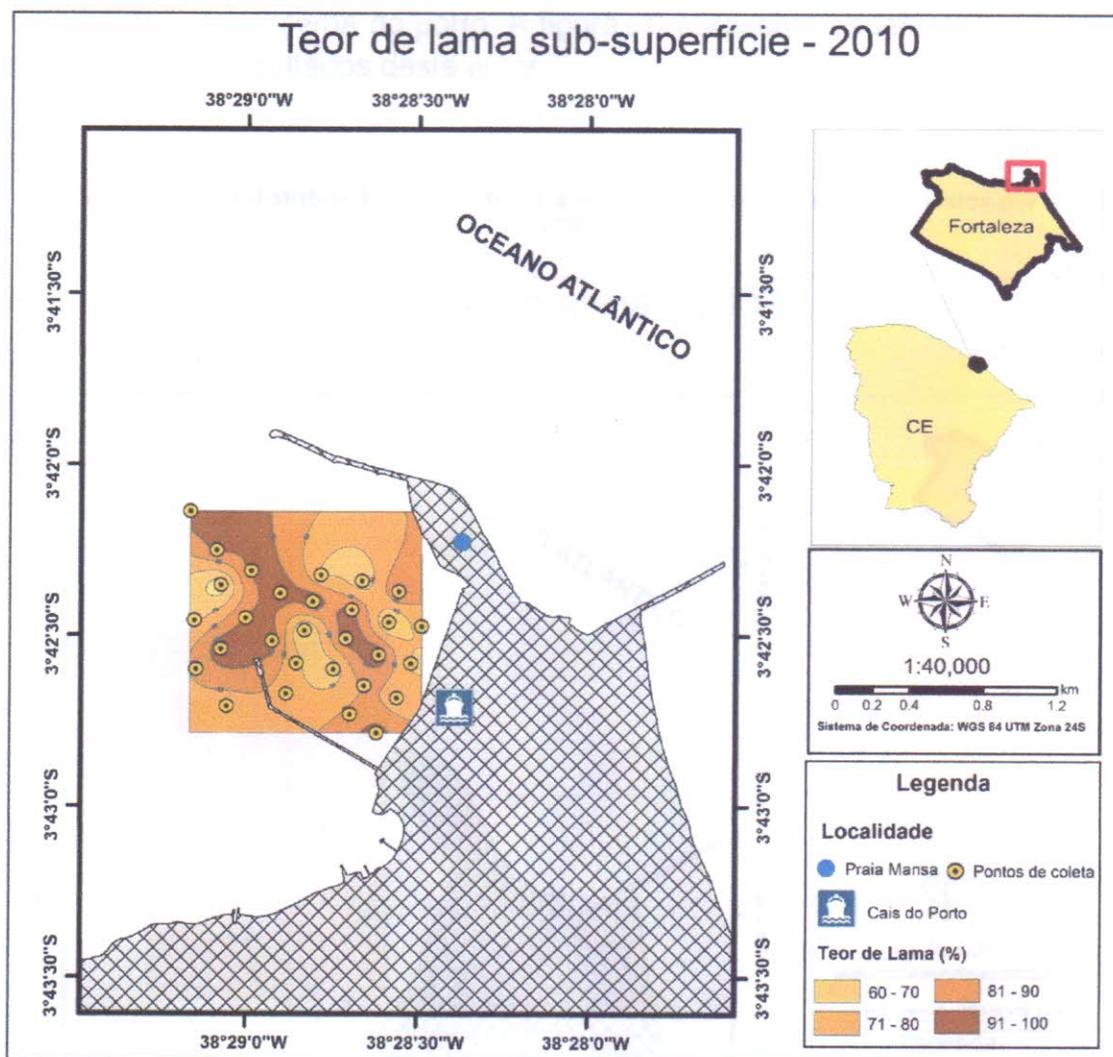
Fonte: O autor

Figura 18 - Mapa da distribuição do teor de areia das amostras sub-superficiais do ano de 2010 no Porto do Mucuripe.



Fonte: O autor

Figura 19 - Mapa da distribuição do teor de lama das amostras sub-superficiais do ano de 2010 no Porto do Mucuripe.

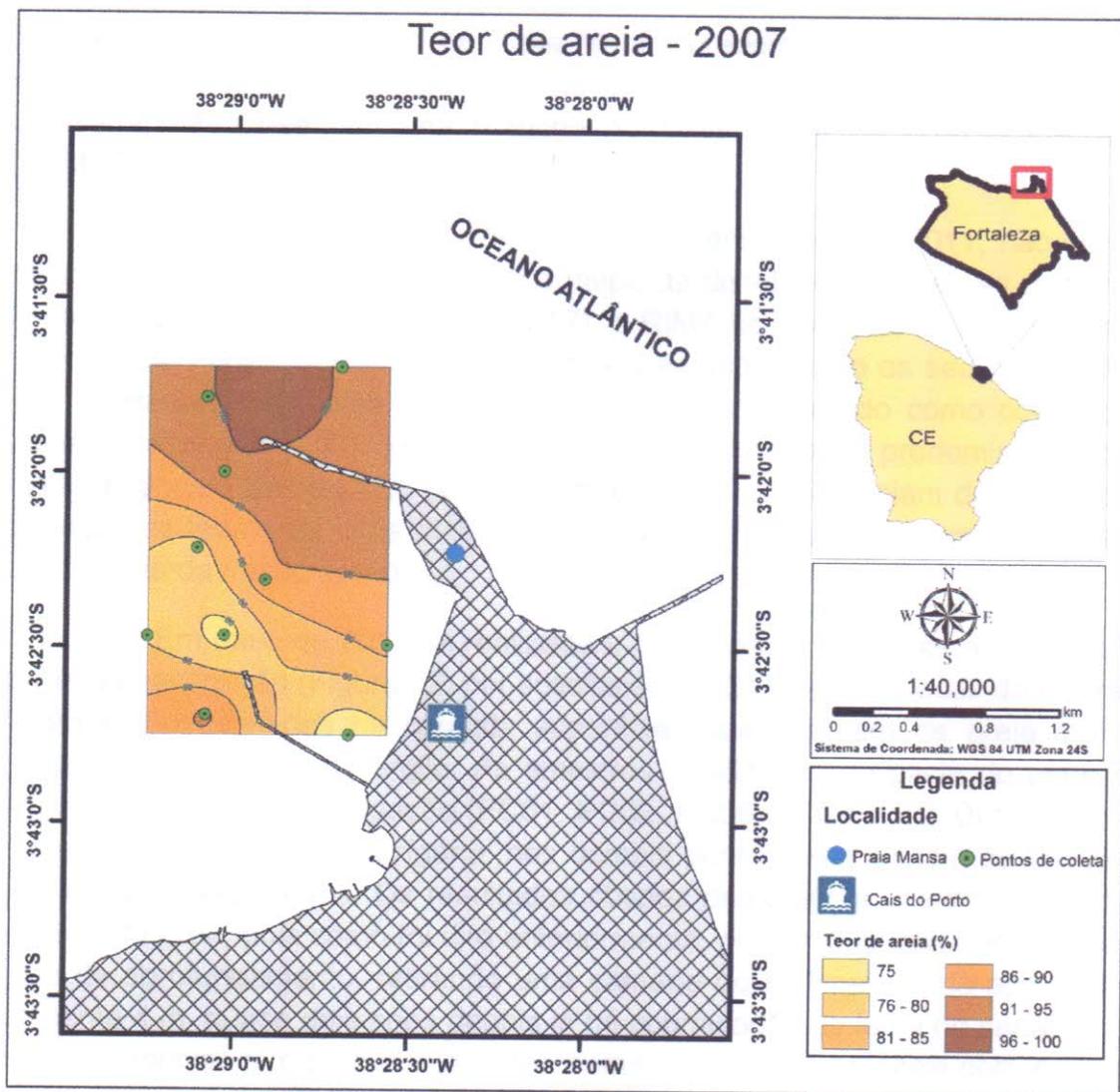


Apesar de haver pequenas diferenças entre os sedimentos de superfície e de sub-superfície, os resultados obtidos com a amostragem de 40 pontos distribuídos ao longo do canal principal do Porto do Mucuripe no ano de 2010 não podem ser considerados como dados de grande relevância, pois as amostras coletadas, tanto de superfície quanto de sub-superfície, representam apenas os primeiros 6 cm da camada sedimentar, considerando que a dragagem realizada em 2011 removeu aproximadamente 4 m de sedimentos, a caracterização de uma camada de 6 cm torna-se pouco representativa.

Moreira (2009) realizou a caracterização granulométrica da área do Porto do Mucuripe com amostras coletadas em agosto de 2007, no qual os sedimentos foram classificados como arenosos, com as maiores frações compreendendo entre areia fina a muito fina para a maioria das amostras, exceto para a estação M10 (figura 10 e tabela 3), localizada fora área portuária, onde os

sedimentos foram considerados como grosseiros, cuja fração predominante foi o cascalho (40,82%), o teor máximo de lama (silte+argila) foi 24,03%, localizada na parte mais interna do porto. A figura 20 apresenta os teores de areia de acordo com os resultados deste autor.

Figura 20 - Mapa da distribuição do teor de areia em 2007, segundo dados publicados por Moreira (2009).



Um dos motivos para a predominância da fração arenosa nas amostras de Moreira (2009) pode ter sido pelo fato do Porto do Mucuripe encontrar-se em processo de dragagem na época em que foram realizadas as coletas em 2007. Segundo a COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ (2013b), em 2004 houve o início de obras de dragagem para o aprofundamento de várias áreas da enseada do Mucuripe de 10 m para 11,5 m, no qual a primeira parte da obra estaria prevista para ser concluída em 2008, que previa também um aprofundamento para até 13 m de calado do porto. Em 2007 foi realizada a obra de cortina de

contenção no porto, que visava conter o enrocamento do cais dando segurança para o prosseguimento da segunda etapa de dragagem.

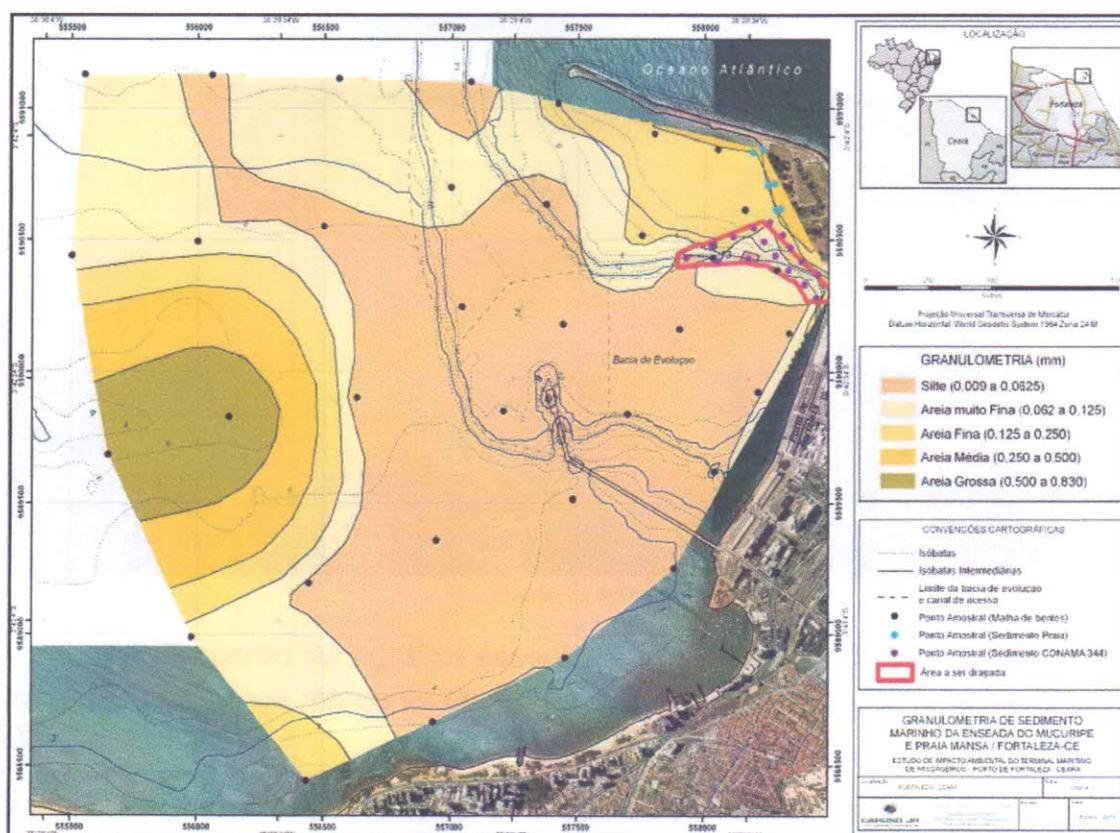
O Relatório de Impacto Ambiental do Terminal de Passageiros do Porto de Fortaleza, realizado em julho de 2011, apresenta um mapa com a distribuição sedimentar da Enseada do Mucuripe e Praia Mansa (Figura 21). O estudo revelou que o silte é o sedimento predominante (47,03%) e este demonstrou relação direta com a batimetria, localizando-se nas áreas mais profundas, o segundo tipo de sedimento predominante é a fração areia muito fina (27,49%). Nas proximidades da Praia Mansa predominam os sedimentos da fração areia fina e um cordão de areia média junto à face de praia, a areia grossa apresenta-se em uma mancha no limite oeste da área amostrada (SEMACE, 2011).

O mapa da figura 21, feito com base em dados de 2011, não apresentou diferenças significativas com o mapa da distribuição de teores de lama de superfície do ano de 2010 (Figura 17), o RIMA do Terminal de Passageiros do Porto de Fortaleza não fornece informações sobre como os sedimentos foram coletados, logo, para esta comparação foi considerado como coleta de amostras superficiais. Os dois mapas em questão mostram a predominância de material lamoso na bacia do porto e à medida que se distanciam do molhe de proteção os teores de lama diminuem e o sedimento passa a apresentar predominância da fração arenosa.

Em maio de 2013 foi realizada a coleta de 10 amostras ao longo do canal de navegação (Figura 12) por solicitação da Companhia Docas do Ceará, foram então coletadas na camada superficial, que variaram de areia muito grossa com cascalhos a argila. As amostras localizadas na bacia do porto e entrada do canal de navegação (PC01, PC02, PC08, PC09 e PC10) foram caracterizadas como lama tarrígena, nos demais pontos predominam as frações arenosas e cascalhosas. Os resultados obtidos demonstram claramente a dinâmica da área, pois como foi dito anteriormente, em 2011 foi realizada dragagem de aprofundamento, retirando uma camada de sedimentos de aproximadamente 4 m, quase dois anos depois já há acumulação de lama no canal principal, evidenciando o processo de assoreamento contínuo da bacia portuária.

Com os estudos mais recentes, como por exemplo, o estudo realizado por Soares (2012) mostram pequenas mudanças no padrão de sedimentação do local, isso se deve às obras de aprofundamento do canal do porto, as quais abriram um canal no banco arenoso de Fortaleza. São necessários mais estudos no local para identificar e monitorar as possíveis mudanças na hidrodinâmica e conseqüentemente no padrão de sedimentação.

Figura 21 - Mapa da distribuição de sedimentos da área do Porto do Mucuripe e adjacências apresentado pelo RIMA do Terminal de Passageiros do Porto de Fortaleza.



Fonte: SEMACE (2011)

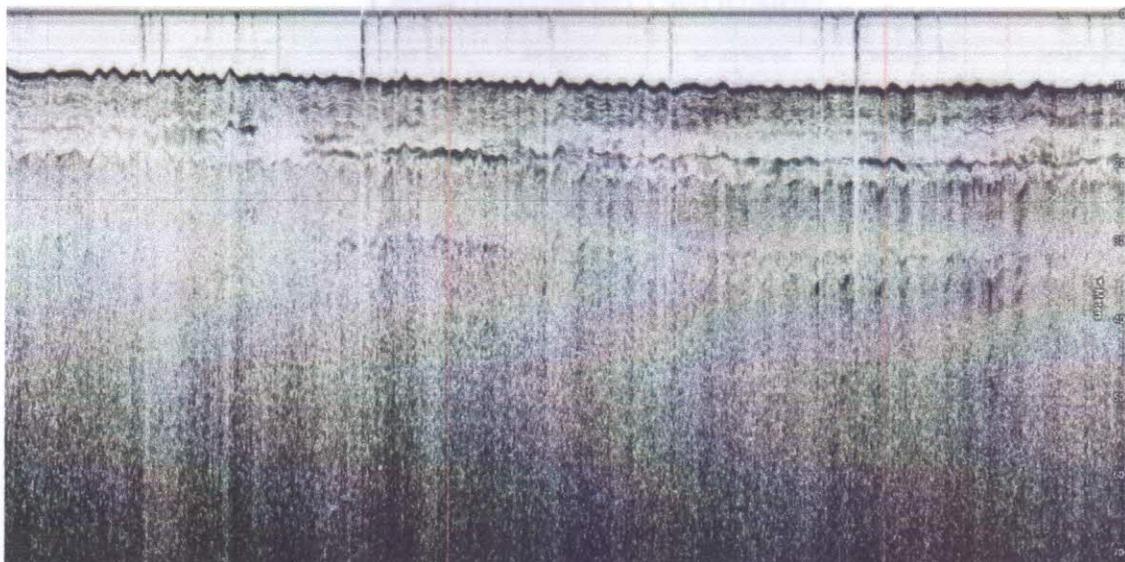
7.2 Morfologia e padrões de eco-caráter

Foram reconhecidos quatro tipos de eco-caráteres principais e seus respectivos padrões sonográficos. A análise foi feita com base no padrão de reflexão, na morfologia e na microtopografia de fundo. Os dados foram adquiridos em setembro de 2012, mês onde os ventos são mais fortes na Região Nordeste, o que acabou prejudicando a navegação e com isso, diminuindo a qualidade do dado adquirido.

- **ECO TIPO 1:**

Apresenta superfície de fundo rugosa, evidenciando a presença de *sandwaves*, esse tipo de eco foi descrito por García-García (2004) como sendo um eco semi-transparente com unidades sísmicas visíveis, mas geralmente sem estrutura interna distinta, sendo relacionado com fundos arenosos variando de areia grossa a média (Figura 22).

Figura 22—Eco-caráter tipo 1, associado a fundos rugosos com presença de sandwaves, sendo relacionado com fundo arenoso com granulometria variando de grossa a média.

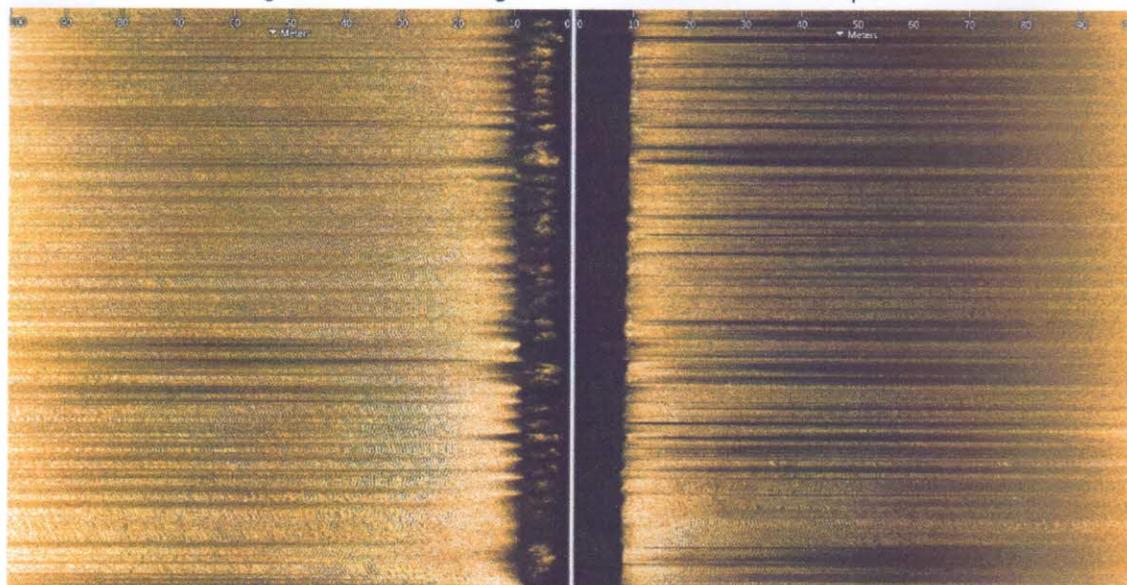


Fonte: O autor

O padrão sonográfico associado ao eco-caráter do tipo 1 é caracterizado pela presença marcante de *sandwaves* com fundo muito refletivo (Figura 23).

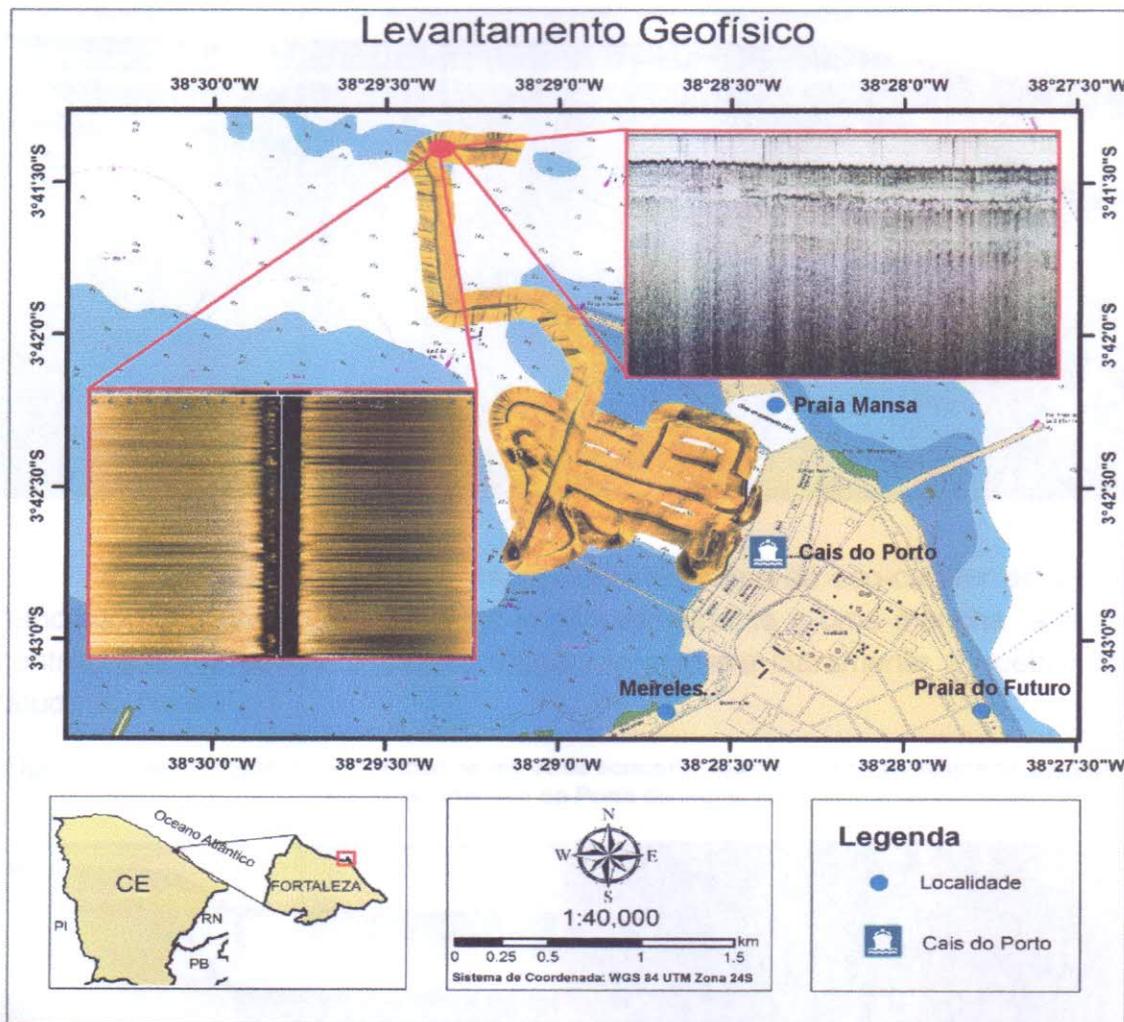
Quanto à distribuição, este eco-caráter ocorre principalmente próximo ao banco arenoso de Fortaleza (Figura 24), longe da zona abrigada do porto, sofrendo maior influência de ondas e correntes, levando à formação de *sandwaves*. As amostras de sedimento realizadas em 2010 demonstraram que essa área é predominantemente arenosa com domínio das frações areia grossa e média, mostrando uma correlação positiva com a assinatura do eco.

Figura 23- Padrão sonográfico associado ao ecocaráter tipo 1.



Fonte: O autor.

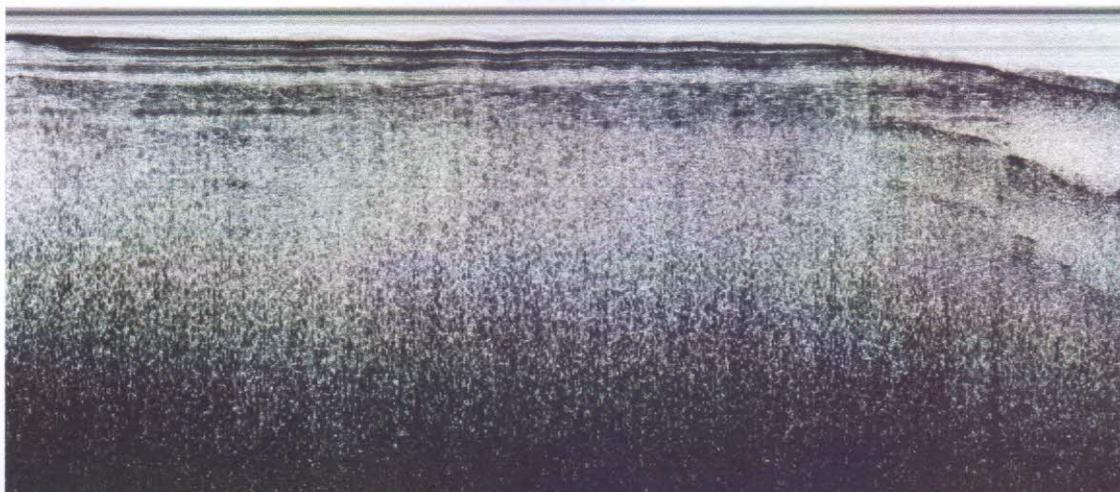
Figura 24 - Ilustração da área de ocorrência do eco tipo 1.



- **ECO TIPO 2:**

Apresenta ondulação regular com refletor plano paralelos (Figura 25). Segundo a classificação de Pratson e Laine (1989) esse tipo de eco-caráter representa estruturas geralmente compostos por grãos finos, areia fina com camadas de silte e argila. Uma das explicações para a formação desse tipo de feição, comum em taludes de canais e diques é devido a correntes de turbidez que forçam a suspensão desse material que se deposita na parte superior do talude, outra explicação é que estariam associadas a feições erosivas.

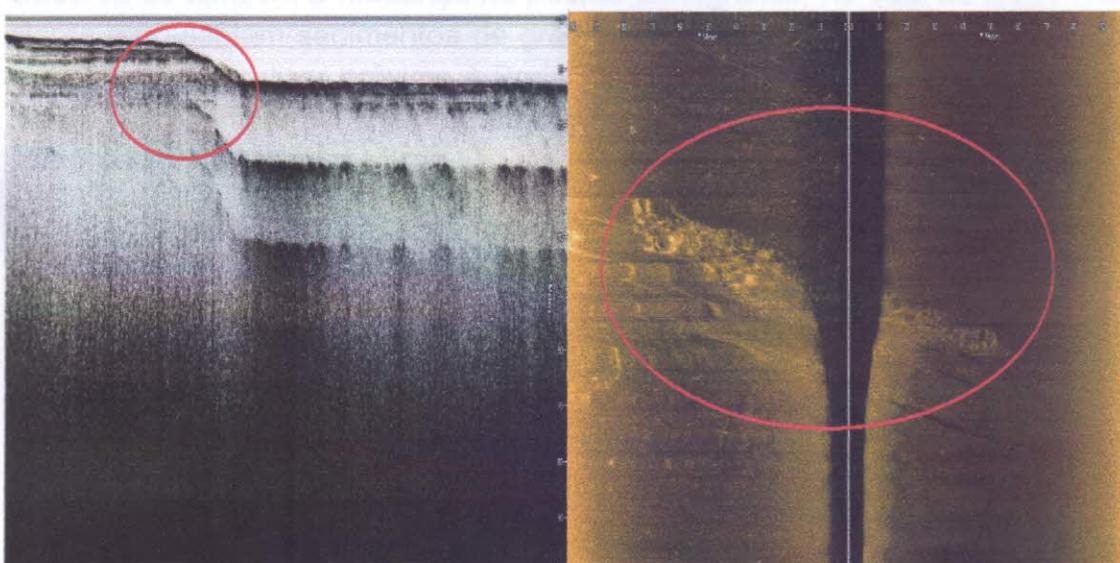
Figura 25—Eco-caráter tipo 2, apresentam ondulações regulares com refletores plano paralelos.



Fonte: O autor

O padrão sonográfico associado a este tipo de eco-caráter está evidenciado na figura 26, mostra uma feição semelhante a uma mancha, a linha central, que representa a coluna d'água, demonstra claramente a quebra do talude do canal.

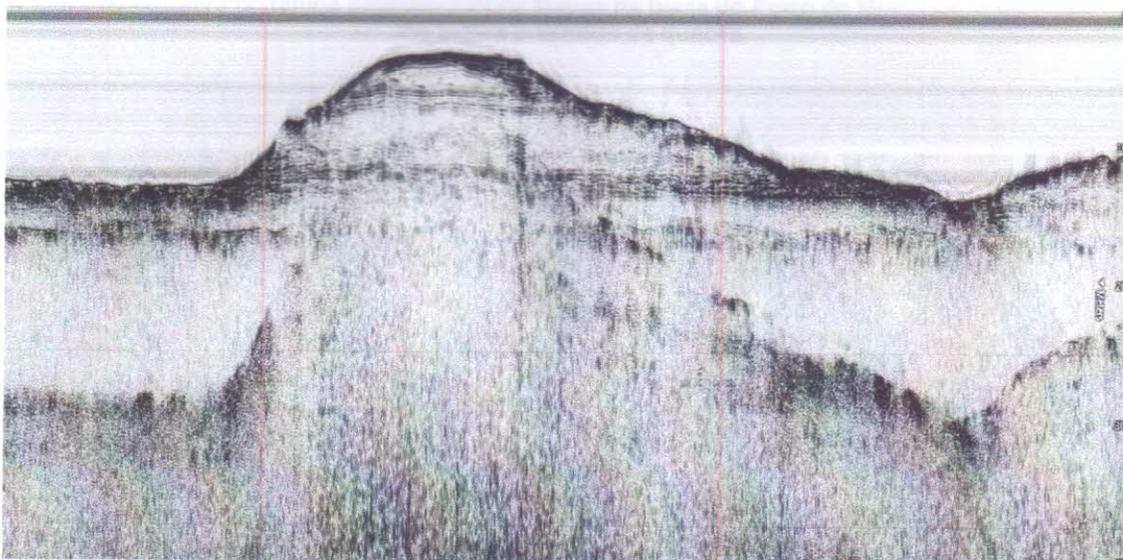
Figura 26 - Identificação e comparação de registros sonográficos e sísmicos do talude na entrada do canal principal do Porto do Mucuripe.



Fonte: O autor.

Outro exemplo de eco-caráter tipo 2 é a figura 27, que também é uma quebra de talude do canal principal com estruturas ondulares plano paralelas visíveis, mas este localiza-se próximo à Praia Manas, exibindo um perfil de instabilidade do talude, na qual observa-se claramente o deslizamento do sedimento, com acúmulo de material mais fino no assoalho.

Figura 27 - Exemplo de eco-caráter tipo 2 mostrando uma feição de instabilidade do talude da bacia do porto.



Fonte: O autor.

A figura 28 mostra a quebra do talude da bacia de evolução próxima à Praia Mansa, demonstrando uma feição de deslizamento no sentido NE/SO. Observa-se também a mudança no padrão sonográfico, no qual as áreas mais claras representam sedimentos de grãos mais grossos que as áreas mais escuras, por se localizar próximo à Praia Mansa, as áreas mais claras provavelmente representam sedimentos arenosos variando de areia média a fina que são predominantes nessa área.

Quanto à distribuição, este eco-caráter ocorre nas margens do canal principal da bacia do Porto do Mucuripe (Figura 29).

Figura 28 - Ilustração da área de ocorrência do eco tipo 2.

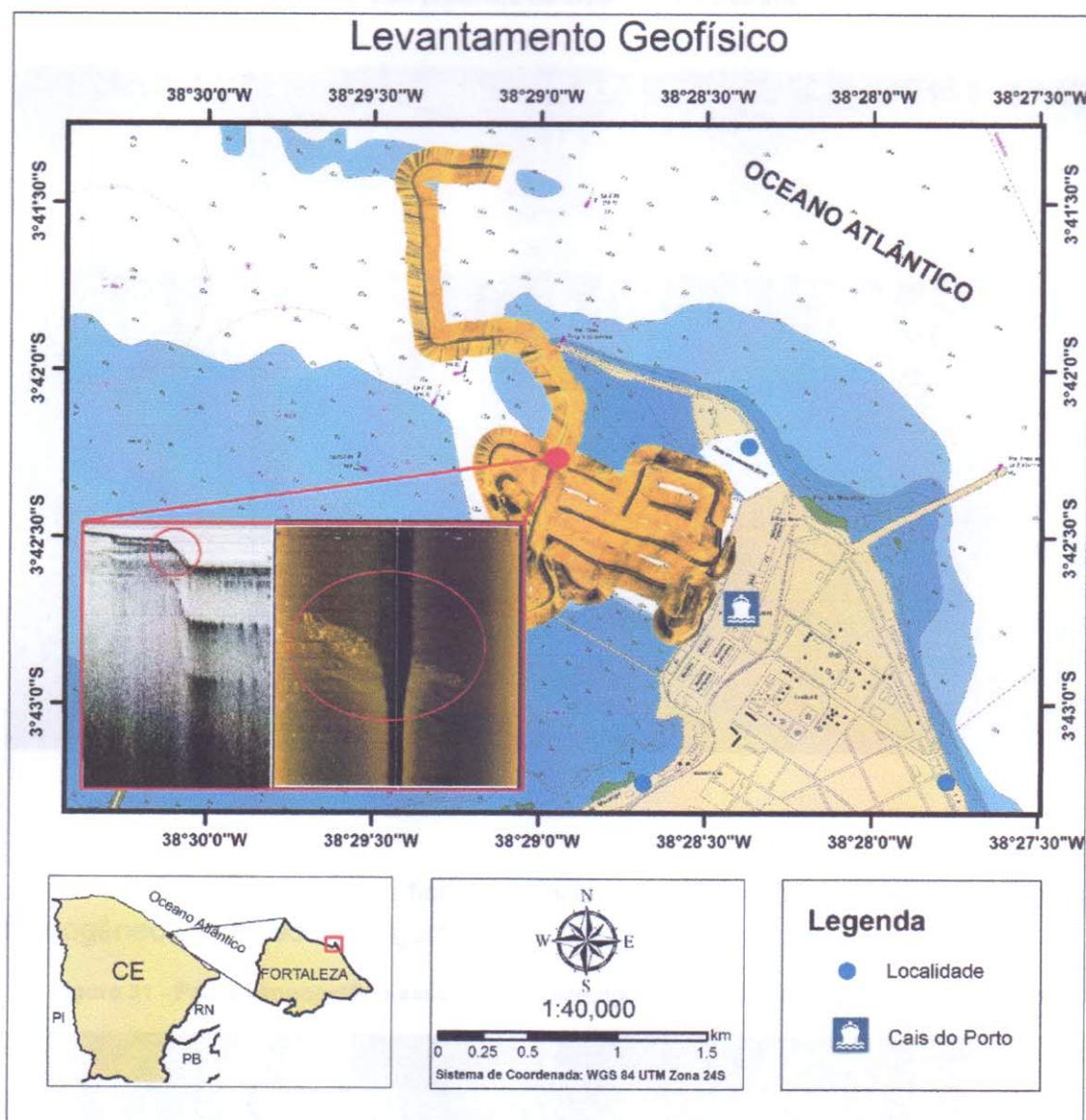
Figura 28 - Quebra do talude próximo à Praia Mansa na bacia do Porto do Mucuripe, a seta vermelha indica o sentido da quebra.



Fonte: O autor

as lâminas relacionadas a este tipo de eco são aproximadamente 10 cm de espessura, sendo compostas por areia fina a muito fina, algumas vezes chegando a 30%, caracterizando a transição de fundo arenoso para lamoso.

Figura 29 - Ilustração da área de ocorrência do eco tipo 2.

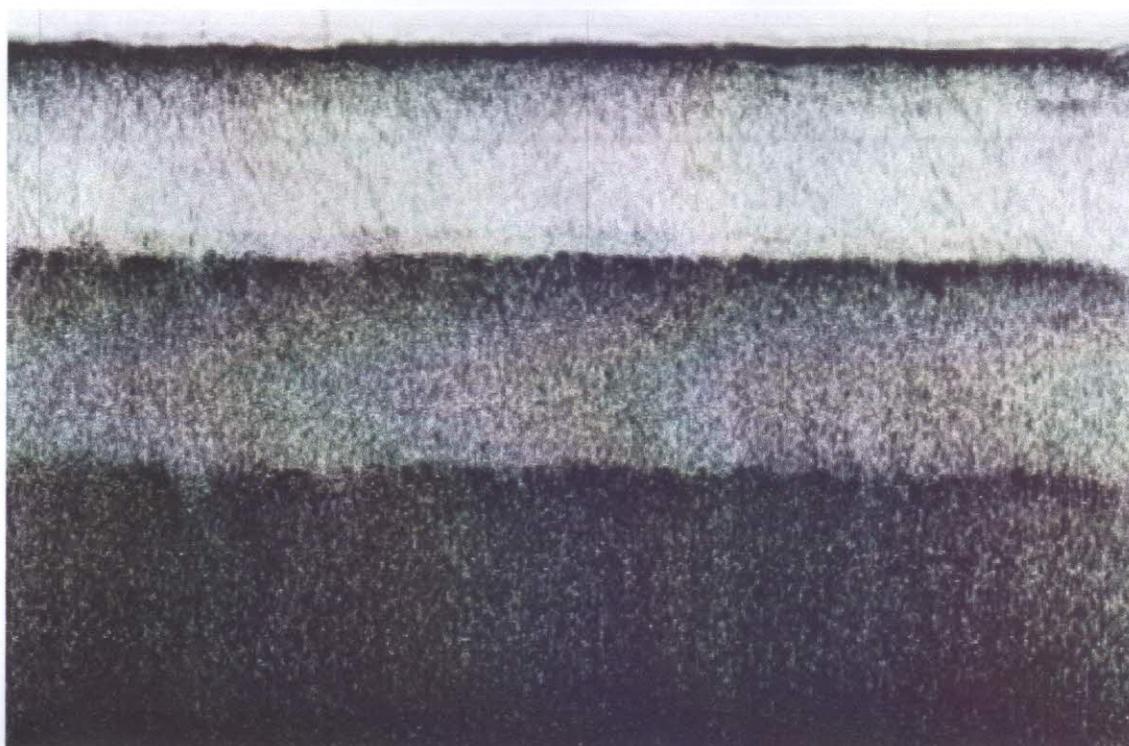


Fonte: O autor

• ECO TIPO 3:

Apresenta superfície de fundo regular, plana e altamente refletiva, dentre os quatro tipos de eco-caráteres identificados, este foi o que apresentou maior ocorrência na bacia do Porto do Mucuripe (Figura 30), revelando ser uma área com baixa hidrodinâmica. Segundo Quaresma *et al.* (2001) este tipo de eco-caráter ocorre principalmente sobre fundo lamoso e áreas de transição entre areia e lama, podendo estar algumas vezes associados a presença de gás, as lamas relacionadas a este tipo de eco-caráter apresentam altos teores de areia fina a muito fina, algumas vezes chegando a 30%, caracterizando a transição de fundo arenoso para lamoso.

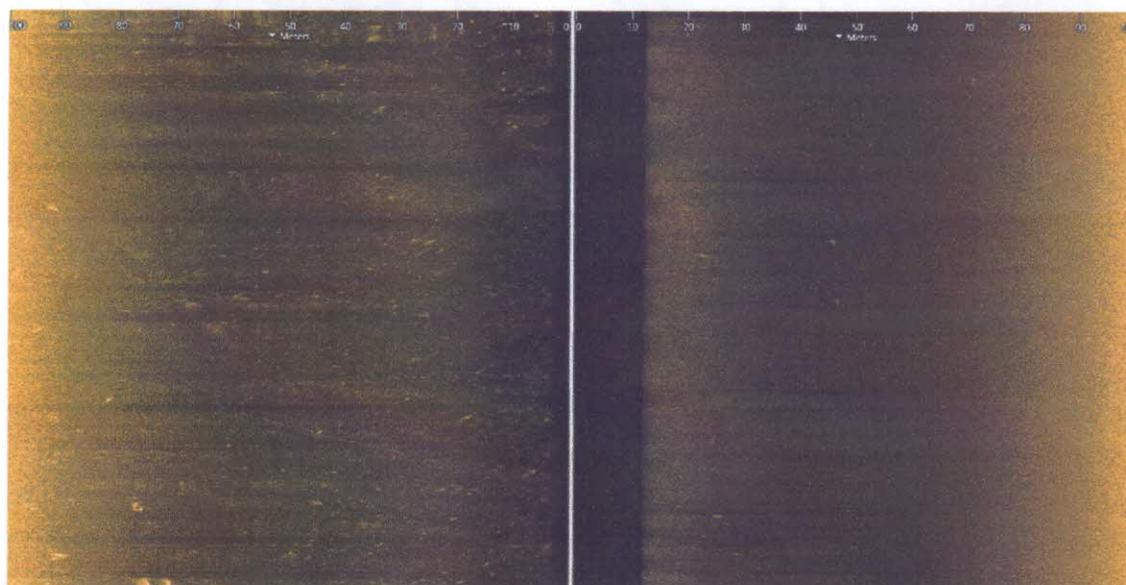
Figura 30—Eco-caráter do tipo 3, superfície regular, plana altamente refletiva, estando relacionado a lama com presença de areia fina a muito fina.



Fonte: O autor

O padrão sonográfico associado a este tipo de eco possui reflexão homogênea cinza escuro (Figura 31).

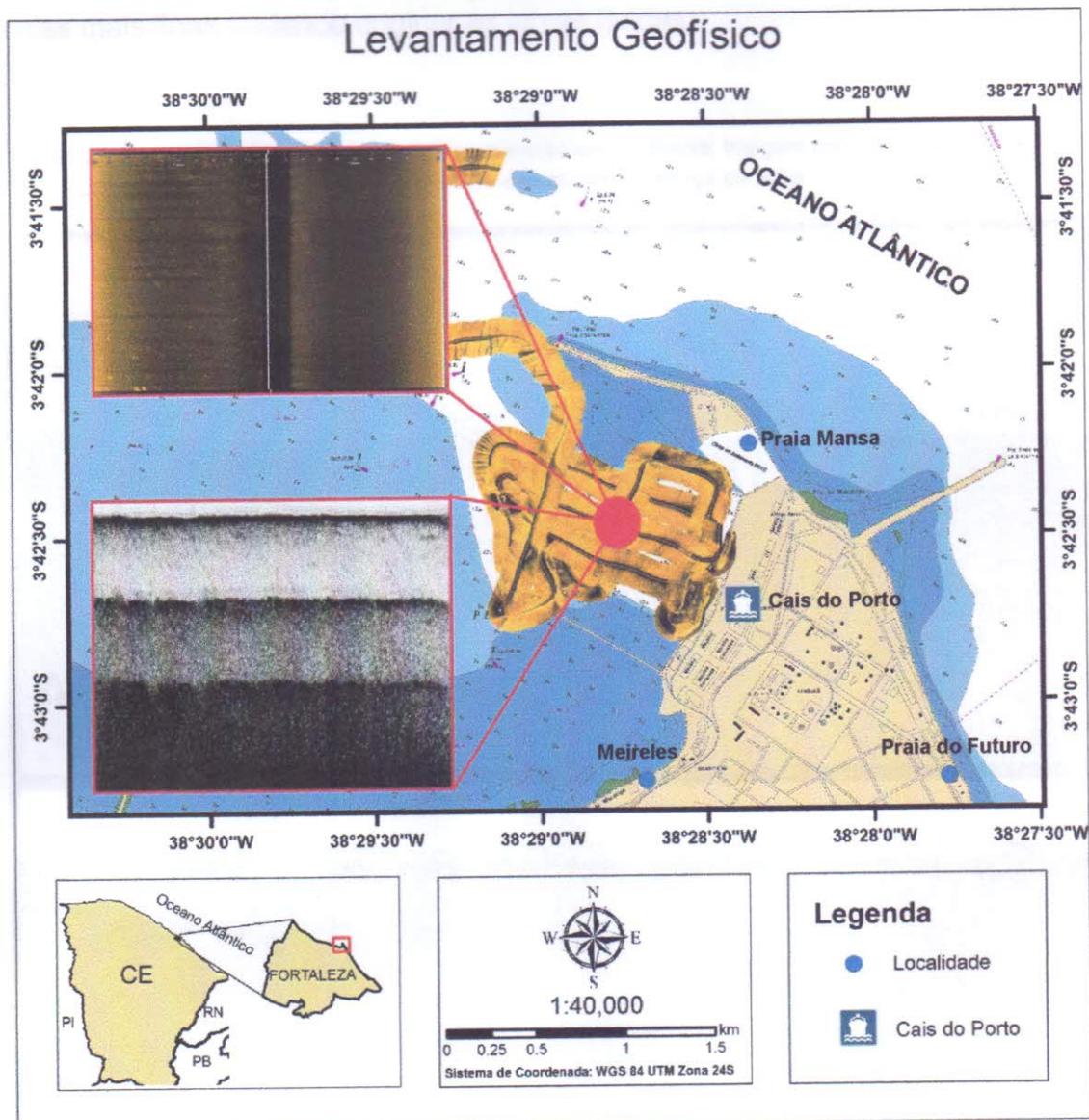
Figura 31 - Padrão sonográfico associado ao eco tipo 3, reflexão homogênea cinza escuro.



Fonte: O autor

Quanto à distribuição, ocorre ao longo de toda a bacia portuária, sendo o eco-caráter de maior frequência (Figura 32).

Figura 32 - Ilustração da ocorrência do eco tipo 3, este tipo de eco apresentou maior frequência em relação aos outros, ocorrendo por toda a bacia de evolução.



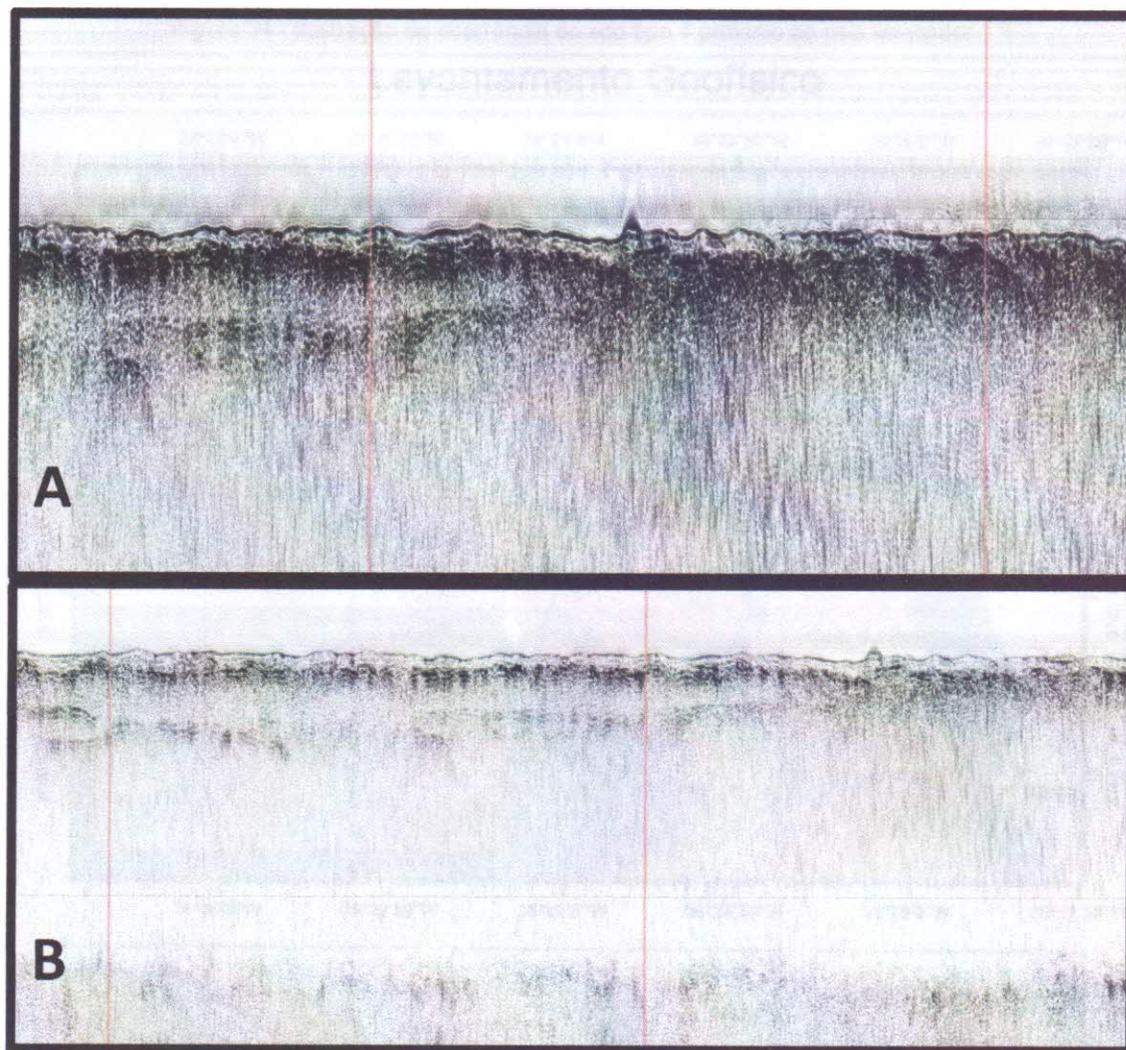
Fonte: O autor

• ECO TIPO 4:

Apresenta uma fina camada transparente na superfície com presença de refletores de sub-fundo, este tipo de eco-caráter está normalmente associado à presença de lama fluida (Figura 33). Segundo Quaresma *et al.* (2011) os sedimentos constituintes da lama fluida apresentam-se em suspensão e em processo de consolidação, a impedância acústica destas suspensões é muito baixa, gerando um padrão claro, descrito sismicamente como transparente, o estudo realizado no Porto de Tubarão (ES) constatou que a presença de lama fluida estaria diretamente relacionada ao aporte de sedimentos finos e à menor energia do meio relacionada às maiores profundidades do canal e que qualquer

irregularidade no fundo marinho associada a diminuição da energia das correntes e ondas, proporciona as condições necessárias para a deposição das partículas mais finas podendo originar as lamas fluidas.

Figura 33—Eco-caráter tipo 4. A) Camada transparente em evidência, imagem com aplicação de ganho e zoom digital. B) Camada de lama fluida visível com presença de refletores de sub-fundo.



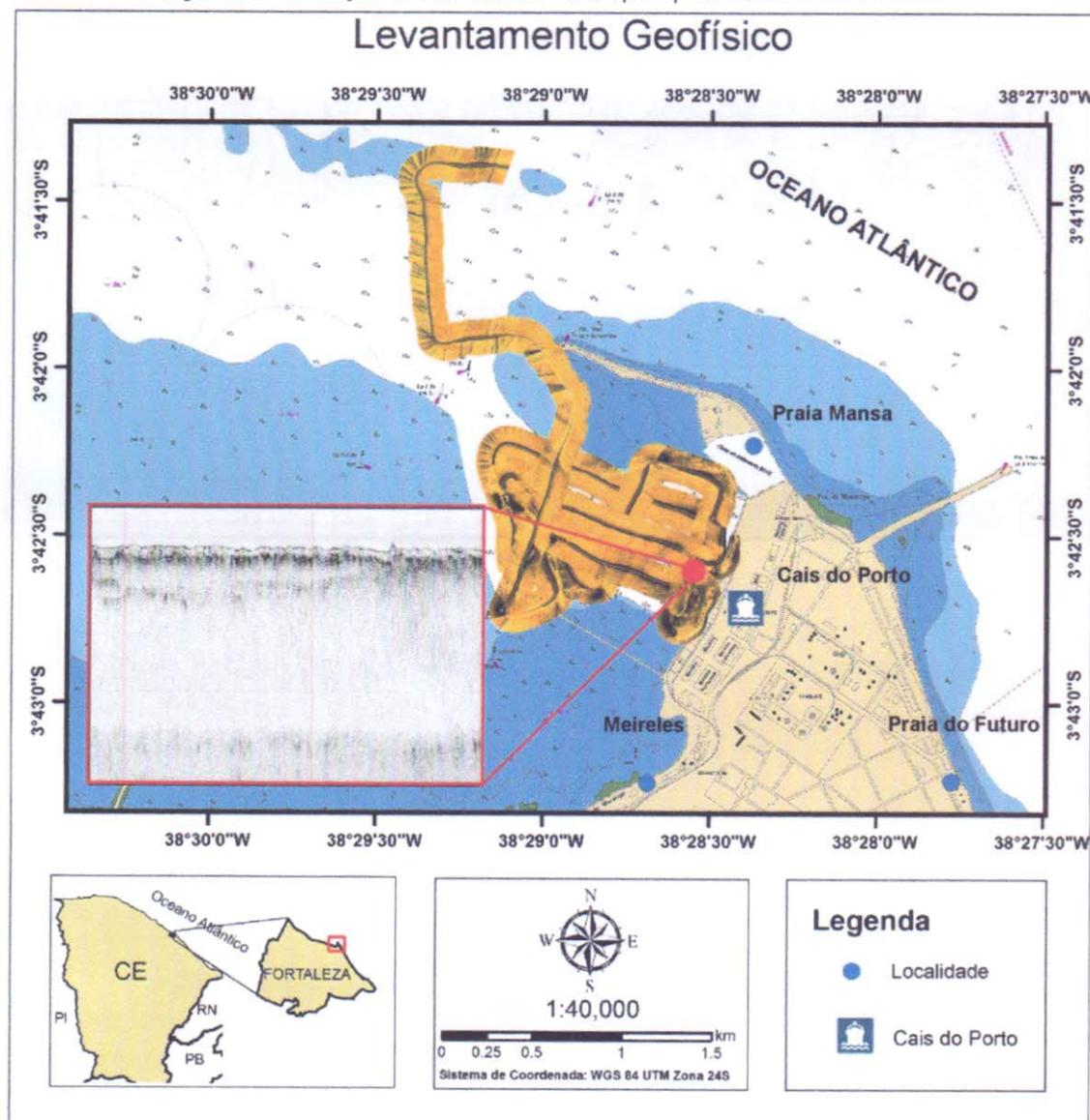
Fonte: O autor.

Este tipo de eco-caráter ocorre principalmente no canal principal de navegação, no centro da bacia e nas proximidades do cais de atracação (Figura 34). Este tipo de ocorrência em regiões de constante intervenção antrópica, principalmente dragagens, dá suporte à hipótese que esta camada transparente seja deposição de lama fluida que ocorre devido ao assoreamento da bacia do Porto do Mucuripe.

O padrão sonográfico para o eco-caráter tipo 4 foi semelhante ao padrão sonográfico do eco-caráter tipo 3 (Figura 31).

A figura 35 ilustra a tentativa de medir a espessura da cama de lama fluida em um determinado ponto, a estimativa foi feita através de análise visual e medida através do *software* de visualização *Discover* que fornece uma escala vertical para visualização da penetração do sinal acústico, para esta imagem foi estimado uma camada de aproximadamente 1 m de espessura, vale ressaltar que o dado não passou por nenhum tipo de processamento, o que diminui a confiabilidade da estimativa.

Figura 34 - Ilustração da ocorrência do eco tipo 4 próximo aos cais atracador.

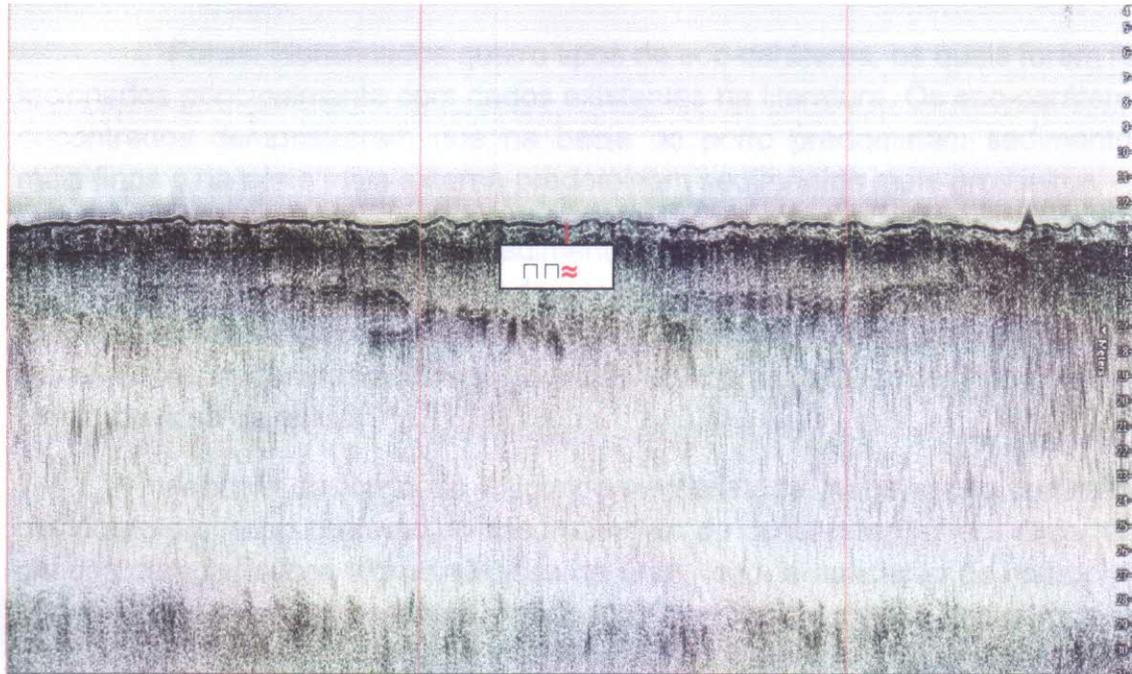


Fonte: O autor

Segundo Quaresma *et al.* (2011) o Manual de Restrições Operacionais da Marinha do Brasil permite a navegação de embarcações com calados maiores que a profundidade em locais onde existem camadas de sedimento com densidades menores que 1.200 kg/m^3 , no entanto a autora recomenda

que deve existir uma margem de segurança devido aos métodos indiretos sempre apresentarem erros.

Figura 35 - Estimativa da camada de lama fluida.



Fonte: O autor

8. CONCLUSÕES

A integração de dados geofísicos com dados sedimentológicos mostrou ser uma ferramenta de grande importância para a caracterização sedimentar e hidrodinâmica da área, servindo de subsídio para aplicação em estudos futuros e na gestão do Porto do Mucuripe.

Foram identificados quatro tipos de eco-caráteres, os quais foram relacionados principalmente com dados existentes na literatura. Os eco-caráteres encontrados demonstraram que na bacia do porto predominam sedimentos mais finos e na parte mais externa predominam sedimentos mais grosseiros.

A falta de coleta de sedimentos dificultou a identificação dos eco-caráteres e prejudicou a validação dos dados, mas através dos dados secundários de sedimentologia e da correlação com informações da literatura foi possível obter resultados satisfatórios e condizentes com o que se tem de conhecimento da área de estudo.

A bacia do Porto do Mucuripe necessita de manutenção constante devido ao processo contínuo de assoreamento do canal principal em decorrência das características hidrodinâmicas da área, logo, a aplicação do estudo de eco-caráteres torna-se essencial para o monitoramento e para a gestão portuária, principalmente em relação à identificação do material e o volume a ser dragado, minimizando os custos e otimizando o trabalho.

Para obter resultados mais confiáveis é necessário realizar nova aquisição de dados, no qual se deve priorizar a qualidade do dado adquirido. Muitos pesquisadores têm enfatizado a importância do uso de várias frequências a fim de se obter o melhor dado possível de acordo com as características da área de interesse e com isso evitando extensas etapas de processamento, portanto o ideal é integrar diversos equipamentos que operam em frequências diferentes, como por exemplo, ecobatímetros, sonar de varredura lateral e perfilador de sub-fundo.

Faz-se necessário o processamento de dados sísmicos e sonográficos, por mais que a aquisição seja de ótima qualidade, sempre existe a presença de ruídos que podem dificultar a interpretação.

Por fim, são necessários mais estudos sobre eco-caráteres na plataforma continental do Ceará, os poucos estudos realizados foram feitos além da plataforma, causando carência de informações na região.

REFERÊNCIAS

AYRES NETO, A. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, 18(3), 241-255. 2000.

BAPTISTA NETO, J.A.; PONZI, V.R.A.; SICHEL, S.E. (orgs). **Introdução à Geologia Marinha**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2004, Cap. 8, p. 175-218.

BAPTISTA NETO, J.A.; GUIZAN SILVA, C.; DIAS, G.T.M.; FONSECA, E.M. DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR DA LAGOA RODRIGO DE FREITAS ATRAVÉS DE SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO. **Revista Brasileira de Geofísica**, 29(1): 187-195. 2011.

BRUNETTA, R. **O processamento da sísmica de reflexão rasa – desafios encontrados no estudo de modelos análogos a reservatórios fraturados**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CATANZARO LF, BAPTISTA NETO JA, GUIMARÃES MSD & SILVA CG. Distinctive Sedimentary Processes in Guanabara Bay – SE/Brazil, based on the Analysis of Echo-Character (7.0 kHz). **Revista Brasileira de Geofísica**, 22(1): 69–83. 2004.

CHOUGH, S.K.; LEE, S.H.; KIM, J.W.; PARK, S.C.; YOO, D.G.; HAN, H.S.; YOON, S.H.; OH, S.B.; KIM, Y.B.; BACK, G.G. Chirp (2-7 kHz) echo characters in Ullegh Basin. **Geosciences Journal**, 1(3): 143-153. 1997.

COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ. **RELATÓRIO - 2.0 ESTUDO DA QUALIDADE DO MATERIAL DRAGADO DO PROJETO PLANO BÁSICO AMBIENTAL DA OBRA DE APROFUNDAMENTO DO PORTO DE FORTALEZA**, 2010.

COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ. **RELATÓRIO - 2.0 ESTUDO DA QUALIDADE DO MATERIAL DRAGADO DO PROJETO PLANO BÁSICO AMBIENTAL DA OBRA DE APROFUNDAMENTO DO PORTO DE FORTALEZA**, 2013a.

COMPANHIA DOCAS DO CEARÁ. 2013b Disponível em:
<<http://www.docasdoceara.com.br>>. Acesso em: 2 nov.2013, às 18:00h.

DAMUTH, J.E. Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echograms in the study of near bottom sedimentation processes in the deep sea: a review. **Marine geology**38: 51-75. 1980.

DAMUTH, J.E. Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. **Marine Geology**, New York, n. 18, p. 17-45. 1975.

DAMUTH, J.E. Echo-character of the Norwegian-Greenland sea: relationship to Quaternary sedimentation. **Marine geology**28: 1-36, 1978.

DAMUTH, J.E.; HAYES, D.E. Echo character of the East Brazilian Continental Margin and its relationship to sedimentary process. **Marine Geology**, New York, n. 24, p. 73-95, 1977.

FLOOD R.D. Deep sea sedimentary morphology: modelling and interpretation of echo-sounding profiles. **Marine Geology**, 38: 77-92, 1980.

GARCÍA-GARCÍA, A.; GARCÍA-GIL, S.; VILAS, F. Echo characters and recent sedimentary process as indicated by high-resolution sub-bottom profiling in Ría de Vigo (NW Spain). **Geo-Marine Letters**, 24:32-45, 2004.

GOMES, M.P. **AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS DE SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO NA PLATAFORMA CONTINENTAL NORTE DO RIO GRANDE DO NORTE: VALE INCISO DO RIO AÇU**. 2009. 100p. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2009.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An Introduction to Geophysical Exploration**. United Kingdom, Ed: Blackwell Science. 3ªed. 2002.

KIM, G.Y.; KIM, D.C.; PARK, S.C.; LEE, G.H. Chirp (2-7 kHz) echocharacters and geotechnical properties of surface sediments in the Ulleugh Basin, the East Sea. **Geosciences Journal**.3(4): 213-224. 1999.

MAIA, L.P. **Procesos Costeros y Balance Sedimentario a 10 Largos de Fortaleza (NE- Brasil): Implicaciones para una gestion adecuada de la zona litoranea**. 198p. Tesis Doctoral, Univ. Barcelona. 1998.

MCGEE, T.M. High-resolution marine reflection profiling for engineering and environmental purposes Part A: Acquiring analogue seismic signals, Part B: Digitizing analogue seismic signals. **J. Appl. Geophys.**, 33(4): 271-285, 1995.

MITCHUM, R.M.; VAIL, P.R.; SANGREE, J.B. **Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences**. In: Payton, C.E (Eds) *Seismic Stratigraphy – Application to Hydrocarbon Exploration*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 26, 117-133. 1977.

MORAIS, J.O. PROCESSOS DE ASSOREAMENTO DO PORTO DO MUCURIBE. **Arq. Ciên. Do Mar**, Fortaleza, 12(2): 139-149. 1972.

MORAIS, J.O. Aspectos do transporte de sedimentos no litoral do município de Fortaleza, Estado do Ceará. **Arq. Ciên. do Mar**, Fortaleza, v. 20. p. 71-100. 1980.

MOREIRA, L.B. **AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DOS SEDIMENTOS E MACROFAUNA BENTÔNICA EM ÁREAS PORTUÁRIAS: PORTO DO MUCURIBE E TERMINAL PORTUÁRIO DO PECÉM (CE); E PORTO DE SANTOS (SP)**. 2009. 134p. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará. 2009.

MOSHER, D.C.; SIMPKIN, P. Status and trends of marine high-resolution seismic reflection profiling: data acquisition. **Geoscience Canada**, 26: 174-188, 1999.

MORAIS, J.O.; FREIRE, G.S.S.; PINHEIRO, L. S.; SOUZA, M. J. N.; CARVALHO, A. M.; PESSOA, P. R. S.; OLIVEIRA, S. H. M. **Ceará. In: Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro (MUEHE org)**. Brasília, MMA, 2006, 131 - 154p.

PAOLO, F.S.; MAHIQUES, M.M. Utilização de métodos acústicos em estudos de dinâmica costeira: exemplo na desembocadura lagunar de Cananéia. **Revista Brasileira de Geofísica**, 26(2): 211–225. 2008.

PRATSON L.F.; LAINE, E.P. The relative importance of gravity-induced versus current-controlled sedimentation during the Quaternary along the mid-east US outer continental margin revealed by 3.5 kHz echo character. **Marine Geology** 89:87–126. 1989.

QUARESMA, V.S.; DIAS, G.T.M.; BAPTISTA NETO, J.A. Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0 kHz) na porção sul da Baía de Guanabara. **Rev. Bras. Geof.**, 18(2): 201-214. 2001.

QUARESMA, V.S.; BASTOS, A.C.; LOUREIRO, D.V.; PAIXÃO, S. UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA MAPEAMENTO DE LAMA FLUIDA NO PORTO DE TUBARÃO, VITÓRIA (ES-BRASIL). **Rev. Bras. Geof.**, 29(3): 487-496. 2011.

SEMACE. **Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do Terminal Marítimo de Passageiros do Porto de Fortaleza**, 2011. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2011/09/RIMA-Terminal-Mucuripe.pdf>>. Acesso: 04 dez. 2013 às 17:00h.

SILVA, D. B. M. **Estudo da morfodinâmica e morfologia de fundo da desembocadura do estuário do Rio Coreaú, Camocim/Ceará**. 2013. 58p. Monografia (Graduação em Oceanografia), Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, 2013.

SOARES, R. C. **EVOLUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BANCO SEDIMENTAR DE FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL**. 2012. 116p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará, 2012.

SOUZA, L.A.P. **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas**. 2006. 311p. Tese (Doutorado em Oceanografia Química e Geológica), Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2006.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blucher. 1973

VERONEZ JR., P.; BASTOS, A.C.; PIZZIN, B.F.; GAVA, R.D.; QUARESMA, V.S.; GUIZAN SILVA, C. SONAR DE VARREDURA LATERAL E SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO APLICADOS NO ESTUDO DE ECOFÁCIES NA BAÍA DE VITÓRIA – ES. **Rev. Bras. Geof.**, 27(3):411-425. 2009.