



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



THAISE SENA OLIVEIRA

**GEODIVERSIDADE DA PLATAFORMA
CONTINENTAL INTERNA DE RECIFE/PE, BRASIL, E SUA INFLUÊNCIA NA
DISTRIBUIÇÃO DE HABITATS MARINHOS**

Recife

2017

THAISE SENA OLIVEIRA

**GEODIVERSIDADE DA PLATAFORMA
CONTINENTAL INTERNA DE RECIFE/PE, BRASIL, E SUA INFLUÊNCIA NA
DISTRIBUIÇÃO DE HABITATS MARINHOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (PPGO - UFPE), como pré - requisito para obtenção do título de Mestre em Oceanografia;

Área de concentração: Oceanografia Geológica.

Orientador: Profa. Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo

Recife

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

O48g Oliveira, Thaise Sena.

Geodiversidade da plataforma continental interna de Recife/PE, Brasil, e sua influência na distribuição de habitats marinhos / Thaise Sena Oliveira. - 2017.

73 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Profa. Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2017.

Inclui Referências e anexo.

1. Oceanografia. 2. Megahabitats. 3. Tipos de substrato. 4. Morfologia.
5. Mapeamento preditivo. I. Araújo, Tereza Cristina Medeiros de (Orientadora).
- II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-189

**Geodiversidade da Plataforma Continental Interna de Recife/PE, Brasil, e sua influência
na distribuição de habitats marinhos**

Thaise Sena Oliveira

Dissertação julgada adequada para obtenção do
título de mestre em Oceanografia. Defendida e aprovada
em 22/02/2017 pela seguinte Banca Examinadora.

Profa. Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo (Orientadora) - Presidente
Programa de Pós Graduação em Oceanografia
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Jessor Fidelis de Souza Filho - Titular interno
Programa de Pós Graduação em Oceanografia
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Antônio Vicente Ferreira Junior - Titular externo
Departamento de Oceanografia
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Jorge e Eliones, e aos meus irmãos, Tammiles e Tarcísio, por todo amor, carinho, cuidado e força que me deram durante toda a minha jornada. Vocês são a luz do meu caminho. Amo vocês!

Ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, a todos os professores e funcionários que estiveram presentes durante este mestrado, principalmente à Myrna Lins, Ana, André e dona Edileuza.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO), do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco por toda a infraestrutura, apoio e por possibilitar o desenvolvimento deste projeto de mestrado.

À minha orientadora Tereza Araújo, muito obrigada pelas orientações, colaborações, confiança e disponibilidade.

Aos professores Jesser Fidelis e Antônio Ferreira Junior por aceitarem o convite para compor a banca examinadora desta dissertação, se disponibilizando a contribuir na melhoria do trabalho.

À todos os companheiros do LABOGEO pelos ensinamentos, apoio, acolhimento e carinho. Em especial agradeço à Enatielly e Cícero por toda a colaboração, amizade e momentos de descontração.

À todos os amigos da Bahia pelo apoio incondicional, mesmo a distância.

À Ramilla e Cibele, pela amizade, companheirismo e por trazerem um pouco da Bahia para perto de mim.

À Marcio, pelo carinho, apoio e amizade de sempre.

À família São Salomão um enorme agradecimento pela acolhida, carinho, cuidado e presença.

E por último, porém com muito carinho e afeto, agradeço aos amores que Recife me deu: Luiza, por ser irmã, amiga e companheira de todos os momentos e Gabriel, por todo amor, companheirismo, apoio e por deixar meus dias mais lindos e especiais. MUITÍSSIMO obrigada por tudo, rafinhas!

“(...) mais que de máquinas, precisamos de humanidade. “

(Charles Chaplin – O Grande Ditador–1940)

RESUMO

A investigação e compreensão do relevo oceânico é fundamental para um gerenciamento apropriado do espaço marítimo. O tipo de substrato e a geomorfologia do fundo marinho são exemplos de parâmetros físicos que influenciam a distribuição dos habitats bentônicos. Este trabalho teve como objetivo principal o mapeamento da geodiversidade da plataforma continental interna de Recife, a partir de dados abióticos, a fim de inferir os potenciais habitats marinhos bentônicos. Os dados foram oriundos de dois projetos de mapeamento da zona costeira de Recife: o MAI e o MAPLAC. A batimetria foi realizada utilizando uma eco sonda (200kHz), em um total de 204 perfis, com intervalo de 100 metros entre eles, que se iniciou o mais próximo da zona de arrebentação até isóbata de 20 metros. Foram coletadas um total de 240 amostras de sedimentos, utilizando uma draga pontual do tipo Van Veen. Um modelo digital de terreno (MDT) e o mapa representando os tipos de substrato foram confeccionados a partir do software *ArcGis 10.1*. Os sedimentos foram classificados de acordo com o tamanho médio do grão. As imagens acústicas foram obtidas a partir de sonar de varredura lateral. Os resultados encontrados neste estudo indicam que a plataforma continental interna é heterogênea em sua morfologia e distribuição de sedimentos, bem como o tipo de substrato encontrado na região. Foi possível perceber a influência que a linha do beachrock submersa exerce sobre a transferência de sedimentos ao longo da plataforma. Os sedimentos apresentam poucas variações nas suas características sedimentológicas de norte a sul. A variedade mais significativa ocorre perpendicular à linha de costa. Através de um esquema de classificação a área foi dividida em dois megahabitats. O megahabitat consolidado apresenta sinal acústico variado, enquanto que o megahabitat inconsolidado é caracterizado por sinal acústico homogêneo. A área de estudo apresenta características morfológicas peculiares e diversas. Esta diversidade morfológica influencia os processos hidrodinâmicos responsáveis pelo transporte e deposição de sedimentos ao longo da área. Os dados aqui apresentados indicam que as feições do fundo marinho controlam a distribuição dos tipos substrato, influenciando diretamente na distribuição dos habitats marinhos bentônicos.

Palavras-chave: Megahabitats. Tipos de substrato. Morfologia. Mapeamento preditivo.

ABSTRACT

Research and mapping relief is essential for proper management of maritime space. The substrate type and seabed geomorphology are examples of physical parameters that influence the distribution of benthic habitats.. This work had the objective of mapping the geodiversity of the continental shelf of Recife, based on abiotic data, in order to infer potential benthic marine habitats. The data came from two mapping projects of the coastal zone of Recife: MAI and MAPLAC. The bathymetry was performed using an echo sounder (200kHz), in a total of 204 profiles, with a range of 100 meters between them, which started as close to the burst zone up to 20 meters isobath. A total of 240 sediment samples were collected using a Van Veen type dredger. A digital terrain model (DTM) and the map representing the substrate types were made from the *ArcGis 10.1* software. Sediments samples were classified according to the mean grain size. The acoustic images were obtained from lateral sweep sonar. The results found in this study indicate that the internal continental shelf is heterogeneous in its morphology and sediment distribution, as well as the type of substrate found in the region. It was possible to perceive the influence that the submerged beachrock line exerts on the sediment transfer along the platform. The sediments present few variations in their sedimentological characteristics from north to south. The most significant variety occurs perpendicular to the coastline. Through a classification scheme the area was divided into two megahabitats. Consolidated megahabitat presents a varied acoustic signal and benthic composition composed of sessile and epifauna organisms, while the unconsolidated megahabitat is characterized by small invertebrates of discrete mobility and homogeneous acoustic signal. The study area presents peculiar and diverse morphological characteristics. This morphological diversity influences the hydrodynamic processes responsible for sediment transport and deposition along the area. The data presented here indicate that the seabed features control the distribution of substrate types, directly influencing the distribution of benthic marine habitats.

Keywords: Megahabitats. Substrate types. Morphology. Predictive mapping.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Distribuição geográfica dos estudos de caso apresentados no atlas <i>Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats</i>	13
Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo indicada pelo polígono hachurado.....	16
Figura 3- Seção transversal de um beachrock. A) Nível do mar na maré baixa; B) Face exposta à ação das ondas; C) Topo, que geralmente se inclina em direção ao mar; D) Face protegida da incidência de ondas; E) Superfície da lagoa formada entre o beachrock e a face de praia.	17
Figura 4- Mapa Geológico dos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Recife e sul de Olinda.	19
Figura 5 - Perfis batimétricos ao longo da costa	22
Figura 6 - Dragagem de fundo do tipo Van Veen utilizada na coleta das amostras de sedimentos	23
Figura 7 - Perfis sonográficos e amostras superficiais de sedimento.	25
Figura 8 - Estratégias básicas para a produção de mapas de habitats bentônicos.	27
Figura 9- Dendograma gerado a partir da análise de dissimilaridade com a medida da distância euclidiana. O eixo x representa a dissimilaridade, e o eixo y, os perfis batimétricos.....	29
Figura 10 - Grupos morfológicos obtidos a partir da análise de cluster (esquerda) e perfil batimétrico representativo de cada grupo (direita).	30
Figura 11 - Modelo digital de terreno dividido em setor norte, sul e central.	31
Figura 12 - MDT do setor norte indicando os recifes isolados.	32
Figura 13 - MDT do setor central indicando os recifes em barreira, representado pelo beachrock, e o canal paralelo à adjacente linha de costa.	33
Figura 14 - MDT do setor sul indicando os recifes em franja.	34
Figura 15 - Distribuição espacial dos tipos de substrato evidenciando o substrato consolidado como barreira ao transporte de sedimento.	35
Figura 16 - a) Grupo batimétrico 1A apresentando diversidade morfológica e sedimentar. b) Grupo batimétrico 2A representando um relevo suave e com homogeneidade sedimentar.....	37
Figura 17 - Correlação entre profundidade e diâmetro médio dos grãos.	38
Figura 18 - Correlação entre distância da costa e diâmetro médio dos grãos.	39

Figura 19- Imagem acústica do fundo da plataforma continental interna mostrando o contato entre substrato consolidado e inconsolidado.	40
Figura 20- Megahabitats classificados segundo esquema hierárquico sugerido por Greene <i>et al.</i> (1999) e Roff <i>et al.</i> (2003).....	41
Figura 21 - a) Mapa da distribuição sedimenta da plataforma de Recife produzido por Kempf <i>et al.</i> (1967); b) Mapa atual do tipo de substrato encontrado na plataforma continental interna de Recife.	45
Figura 22 - Seção transversal indicando a diversidade de organismos sésseis atrelada à variação de feição do fundo.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	15
2.1.	Objetivo geral.....	15
2.2.	Objetivos específico	15
3	ÁREA DE ESTUDO	16
3.1.	Geologia	18
3.2	Aspectos Oceanográficos.....	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4.1	Levantamento batimétrico.....	21
4.2	Coleta de sedimentos	23
4.3	Análise das imagens de sidescan sonar	24
4.4	Classificação dos habitats	26
5	RESULTADOS	29
5.1	Batimetria.....	29
5.2	Tipos de substrato.....	34
5.3	Classificação dos habitats	41
5.3.1.	Megahabitat Inconsolidado	42
5.3.2.	Megahabitat Consolidado	42
6	DISCUSSÃO	43
7	CONCLUSÃO	48
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
	REFERÊNCIAS	50
	ANEXO	54

1 – INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros e marinhos têm sido um dos mais degradados no último século, com consequências gravíssimas para a biodiversidade (BROWN, CRAIG J.; SMITH; *et al.*, 2011; GERLING *et al.*, 2016). A pressão crescente das atividades humanas no mar, como a pesca, a mineração, a poluição, transporte, comércio, lazer e turismo, causam graves danos aos ecossistemas dos fundos marinhos e reduzem a biodiversidade bentônica. Como exemplo temos que cerca de 80% das espécies marinhas usadas comercialmente no mundo já estão sendo exploradas no limite sustentável ou já ultrapassaram esse limite, comprometendo suas populações (GERLING *et al.*, 2016). A sobrepesca, a mortalidade de corais e todos os impactos antrópicos negativos em rios, estuários e mares, estão diretamente relacionados à saúde das populações humanas costeiras.

Uma grande parcela da população vive próximo à costa e disputa um mesmo espaço para as mais diversas atividades e finalidades (WORM *et al.*, 2006). De alguma forma, qualquer atividade desenvolvida no ambiente marinho tem reflexo na ocupação dos espaços costeiros e continentais. Por sua vez, as diversas atividades resultantes da ação humana no território continental afetam os ambientes costeiros e marinhos. Assim, a ocupação desordenada desses espaços vem colocando em risco todos os ecossistemas.

Dentre os ecossistemas do oceano, os localizados na plataforma continental são os mais produtivos, incluindo um número variado de recursos naturais vivos e não-vivos (YOOL; FASHAM, 2001). As águas da plataforma sustentam mais de 30% da produção oceânica total, devido à fertilização de nutrientes vindos dos rios, ressurgências costeiras e borda da plataforma (NYBAKKEN, 2001). Embora ocorra em uma superfície relativamente pequena, aproximadamente 8,91% dos oceanos, sua importância científica e econômica é alta, constituindo um delicado equilíbrio ecológico, onde existe uma grande pressão antrópica e exploração de recursos, além de constituir uma região de usos múltiplos devido a sua proximidade com a costa (MANSO; CORREA; GUERRA, 2003).

Devido à variedade e amplitude das intervenções que vem sendo feitas no fundo marinho das plataformas continentais, principalmente próximos aos grandes centros metropolitanos como a cidade de Recife, a pesquisa e o mapeamento dessas áreas são essenciais para uma gestão adequada do espaço marítimo. Dentre as finalidades para o mapeamento das áreas submersas, podemos mencionar: avaliações de recursos presentes no fundo do mar com finalidade econômica; apoio e direcionamento à criação de áreas marinhas

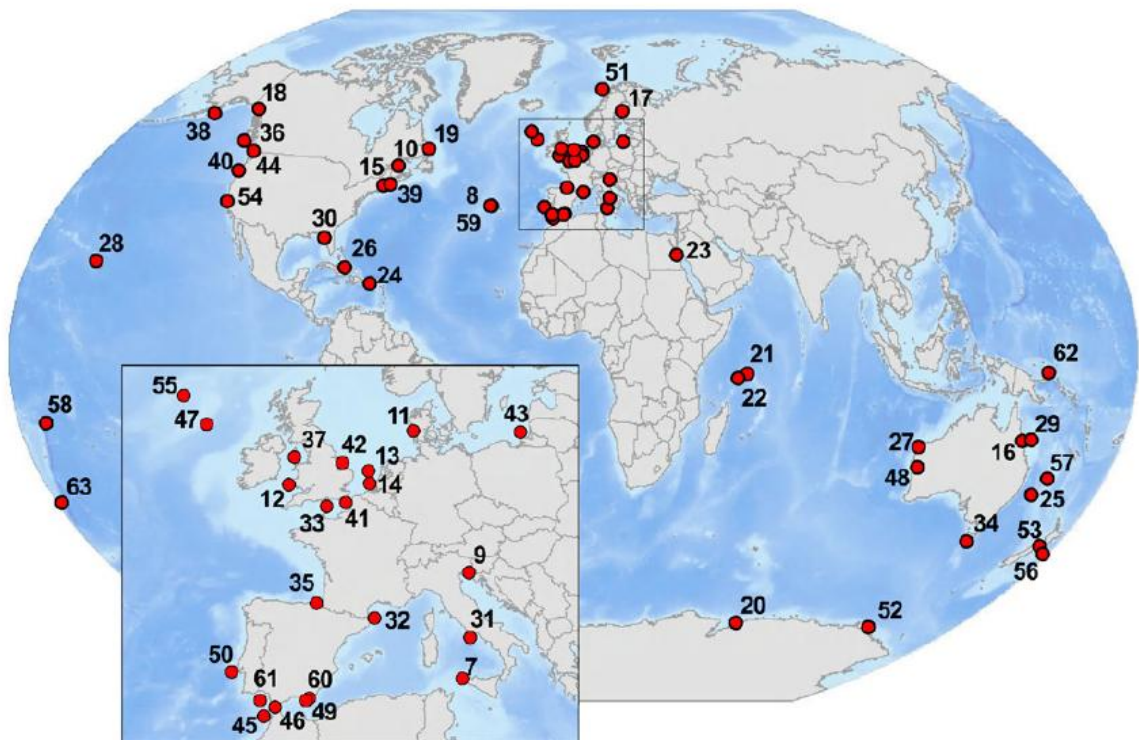
protegidas (AMPs); e suporte aos programas de pesquisa científica voltados à geração de conhecimento dos ecossistemas bentônicos e da geologia do fundo do mar (HARRIS; BAKER, 2012).

Um habitat bentônico pode ser definido como uma região do fundo marinho ocupada por comunidades ou assembleias que ocorrem conjuntamente, incluindo também as características físicas e biológicas que afetam estas comunidades (HARRIS, P. T.; BAKER, 2012). O conhecimento de habitats marinhos bentônicos é de fundamental importância para o planejamento espacial, principalmente na delimitação de áreas marinhas protegidas (AMPs). O mapeamento dessas áreas deve ser concebido para proteção e preservação de amostras da biodiversidade.

O processo de mapeamento do fundo do mar possibilita a caracterização dos habitats baseado em dados físicos e biológicos, sendo possível definir em um mapa associações de comunidades, padrões de distribuição da biodiversidade, como também de espécies invasoras, avaliando assim o potencial de recursos biológicos, minerais e impactos de origem antrópica ou natural (HUANG; BROOKE; HARRIS, 2011; POST; WASSENBERG; PASSLOW, 2006; ROFF; TAYLOR; LAUGHREN, 2003). Além disso, a identificação e classificação dos substratos marinhos e recursos associados permite que pesquisadores e gestores de órgãos públicos atuem de forma integrada para o planejamento e gestão do ambiente costeiro.

O conceito de mapeamento de habitats vem crescendo entre a comunidade científica de todo o mundo. No Brasil, porém, essa metodologia se encontra em fase de desenvolvimento, sendo ainda pouco conhecida e difundida entre os pesquisadores. O Serviço Geológico do Canadá foi pioneiro no mapeamento e na criação de modelos de habitats para gestão de recursos pesqueiros. Já a Austrália mapeou toda sua costa para criação de áreas representativas, utilizando dados biológicos, geofísicos e oceanográficos (HARRIS & BAKER, 2012). A Figura 1 apresenta a distribuição geográfica dos estudos de casos presentes no *GeoHAB Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats* (HARRIS, P. T.; BAKER, 2012) relacionados ao mapeamento de habitats. Nota-se que os estudos publicados neste atlas se concentram nas regiões costeiras da Europa, América do Norte e Austrália, poucos na África e nenhum na Ásia e América do Sul.

Figura 1 - Distribuição geográfica dos estudos de caso apresentados no atlas *Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats*



Fonte: Harris e Baker, 2012

Os métodos utilizados para se mapear habitat não são universais. A metodologia aplicada a fim de se caracterizar o espaço marinho deve ser feita de acordo com o objetivo de cada projeto, considerando a escala, os dados disponíveis e a resolução dos mapas a serem gerados (KENNY *et al.*, 2003; SOLAN *et al.*, 2003).

Existe grande semelhança entre os métodos aplicados no mapeamento de áreas terrestres e marinhas. Contudo, os altos custos na aquisição de dados e a dificuldade de acesso às áreas marinhas fazem com que o avanço das pesquisas nestas áreas se encontrem aquém das realizadas nos ambientes terrestres.

O entendimento da relação espacial existente entre a ocorrência de organismos e seus respectivos habitats pode ser obtido, a partir de informações adquiridas através de aspectos abióticos (geológicas, morfológicas e oceanográficas) e bióticos. Numa abordagem tradicional, o levantamento dos dados biológicos das comunidades bentônicas ocorre por meio de triagem e identificação (HARRIS, P. T.; BAKER, 2012). Porém, essa metodologia se mostra extremamente demorada e dispendiosa. A capacidade técnica de mapear o fundo marinho excede a de determinar a real extensão das áreas ocupadas por determinadas

espécies, tornando o mapeamento de habitats marinhos uma atividade desafiadora por conta da complexidade espacial e temporal inerente à ecossistemas litorâneos (HEAP, 2006). Diante de tais adversidades, muitos pesquisadores vêm utilizando os *surrogates* como alternativa para investigação dos fundos marinhos (DUNN; HALPIN, 2009; HEAP, 2006; KLOSER; WILLIAMS; BUTLER, 2002; LECOURS *et al.*, 2016; MCARTHUR *et al.*, 2010; POST; WASSENBERG; PASSLOW, 2006).

Os *surrogates* são variáveis abióticas facilmente mensuráveis, que podem ser mapeadas com uma correspondência quantificável à ocorrência de comunidades e espécies bentônicas (HARRIS, P. T.; BAKER, 2012). Em locais onde o levantamento de dados biológicos é insuficiente, ou em áreas ainda não exploradas, essas variáveis podem atuar como um preditivos de padrões da distribuição de habitats bentônicos. Os parâmetros físicos podem ser medidos mais facilmente do que os parâmetros biológicos, em áreas de ampla abrangência, fornecendo uma rápida avaliação do ecossistema marinho (HARRIS, P. T.; BAKER, 2012; POST; WASSENBERG; PASSLOW, 2006). O uso dos *surrogates* é especialmente importante em áreas de grandes dimensões, nas quais coletas diretas exigem tempo e investimento financeiro elevado, a exemplo das plataformas continentais.

A Plataforma Continental de Pernambuco é caracterizada por apresentar relevo suave, com largura média de 34 km, com profundidade de quebra na faixa dos 60 m (ARAÚJO; SEOANE; COUTINHO, 2004). Uma característica morfológica desta plataforma é a presença de inúmeras linhas de *beachrocks* que ocorrem paralelas à costa (FERREIRA JR; ARAÚJO; SIAL, 2013), as quais servem como substrato para o desenvolvimento de corais, algas e demais organismos bentônicos. A coexistência desse relevo particular e os substratos associados ao mesmo, podem produzir um mosaico importante de habitats marinhos na região. Desta forma, este trabalho apresenta uma abordagem pioneira na integração de dados geológicos, sonográficos e outras informações disponíveis para inferir potenciais habitats bentônicos na plataforma continental interna (PCI) de Recife.

2 - OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Em uma perspectiva geral, este trabalho tem como objetivo o mapeamento da geodiversidade da plataforma continental interna (PCI) de Recife, a partir de dados abióticos, a fim de inferir os potenciais habitats marinhos bentônicos.

2.2. Objetivos específico

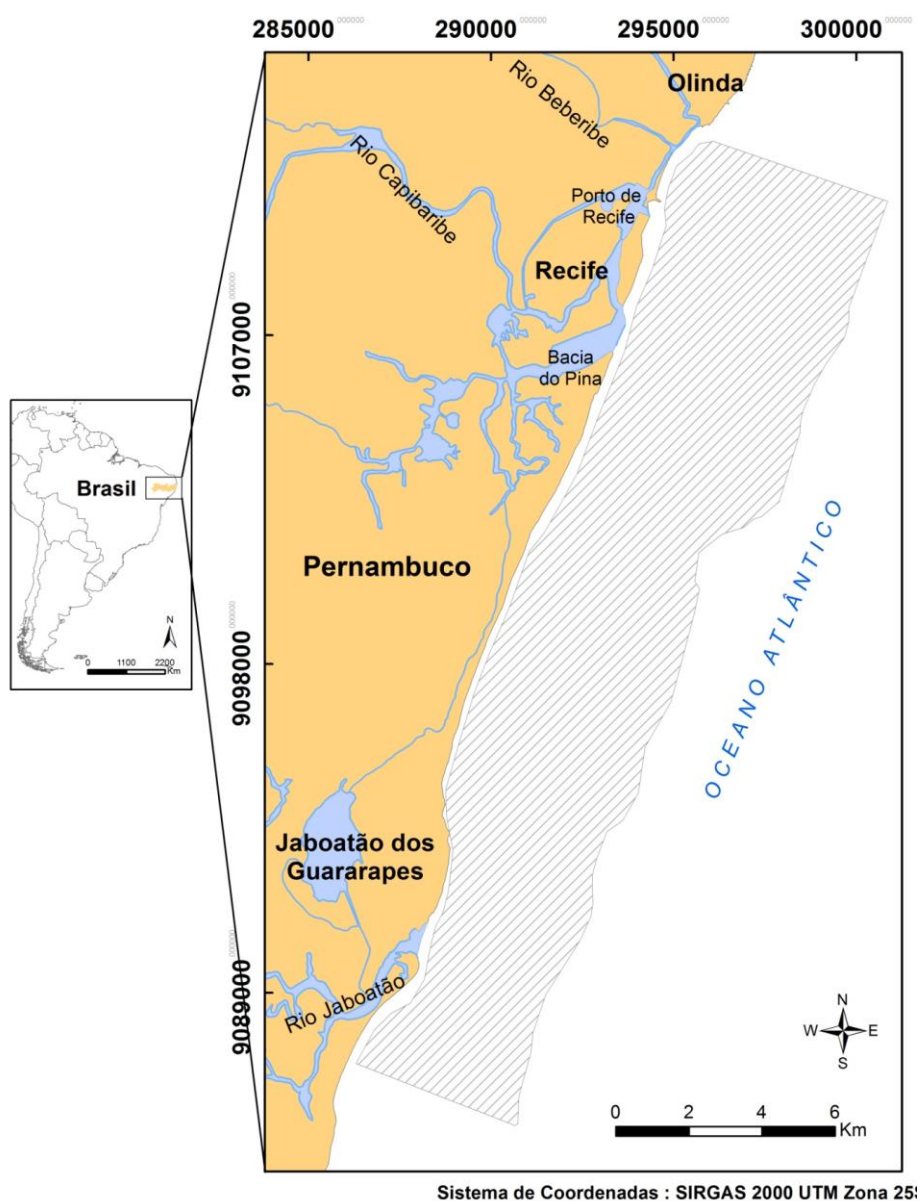
Diante disso, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- i. Caracterizar a geodiversidade da plataforma continental interna utilizando dados batimétricos e sonográficos;
- ii. Identificar os tipos de substratos da plataforma continental interna a partir de dados sedimentológicos;
- iii. Inferir os potenciais habitats marinhos da plataforma continental interna a partir da integração dos dados anteriormente citados.

3 - ÁREA DE ESTUDO

A Plataforma Continental Interna de Recife está localizada no litoral do Estado de Pernambuco, sendo limitada a norte pela cidade de Olinda e a sul pela foz do Rio Jaboatão (Fig. 2). A área de estudo possui aproximadamente 90 km², com comprimento de 27 km e largura com média aproximada de 5 km de extensão. A profundidade máxima da lâmina d'água se limita à isóbata de 20m.

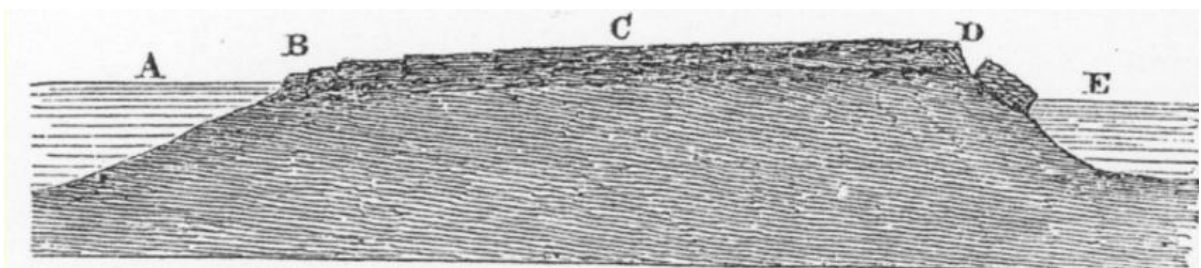
Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo indicada pelo polígono hachurado.



A plataforma pernambucana está entre uma das mais estreitas do Brasil. Sua largura média é de 34 km e sua quebra ocorre aos 60 m de profundidade. De acordo com as características morfológicas e a distribuição dos tipos de sedimentos, a plataforma continental do Nordeste brasileiro foi classificada por Coutinho (2000) em três segmentos diferentes: interna (até a isóbata de 20 metros), média (de 20 a 40 metros) e externa (de 40 a 60 metros).

As primeiras informações sobre a morfologia da plataforma continental datam de meados dos anos 50 do século passado. Alguns autores como Ottmann (1959), Zembruski (1967), Coutinho e Moraes (1968) caracterizam a plataforma continental quanto à sua morfologia e sedimentologia. No entanto, em uma expedição geológica da costa do Brasil, na cidade de Recife, Darwin (1841) já descreve as extensas estruturas de recifes paralelas à praia, associando sua formação à ação conjunta entre a areia que é erodida pela praia, com a de organismos que ajudam a sedimentá-la. A seção transversal de um dos recifes identificados por este autor é apresentada na Figura 3. Kempf *et al.*, (1967) por sua vez, delimitaram os diferentes tipos de fundos na plataforma de Recife. Ferreira Jr. (2010) realizou estudo petrológico das feições presentes na plataforma de Recife, correlacionando-as com as variações do nível do mar durante o Holoceno. Camargo *et al.* (2015) realizaram estudos detalhados da plataforma continental ao sul de Pernambuco, mapeando três linhas de arenitos submersos. Mais recentemente, Costa *et al.* (2016) investigaram por meio de dados batimétricos as características presentes na plataforma de Pernambuco e sua influência na incidência das ondas.

Figura 3 - Seção transversal de um beachrock. A) Nível do mar na maré baixa; B) Face exposta à ação das ondas; C) Topo, que geralmente se inclina em direção ao mar; D) Face protegida da incidência de ondas; E) Superfície da lagoa formada entre o beachrock e a face de praia.

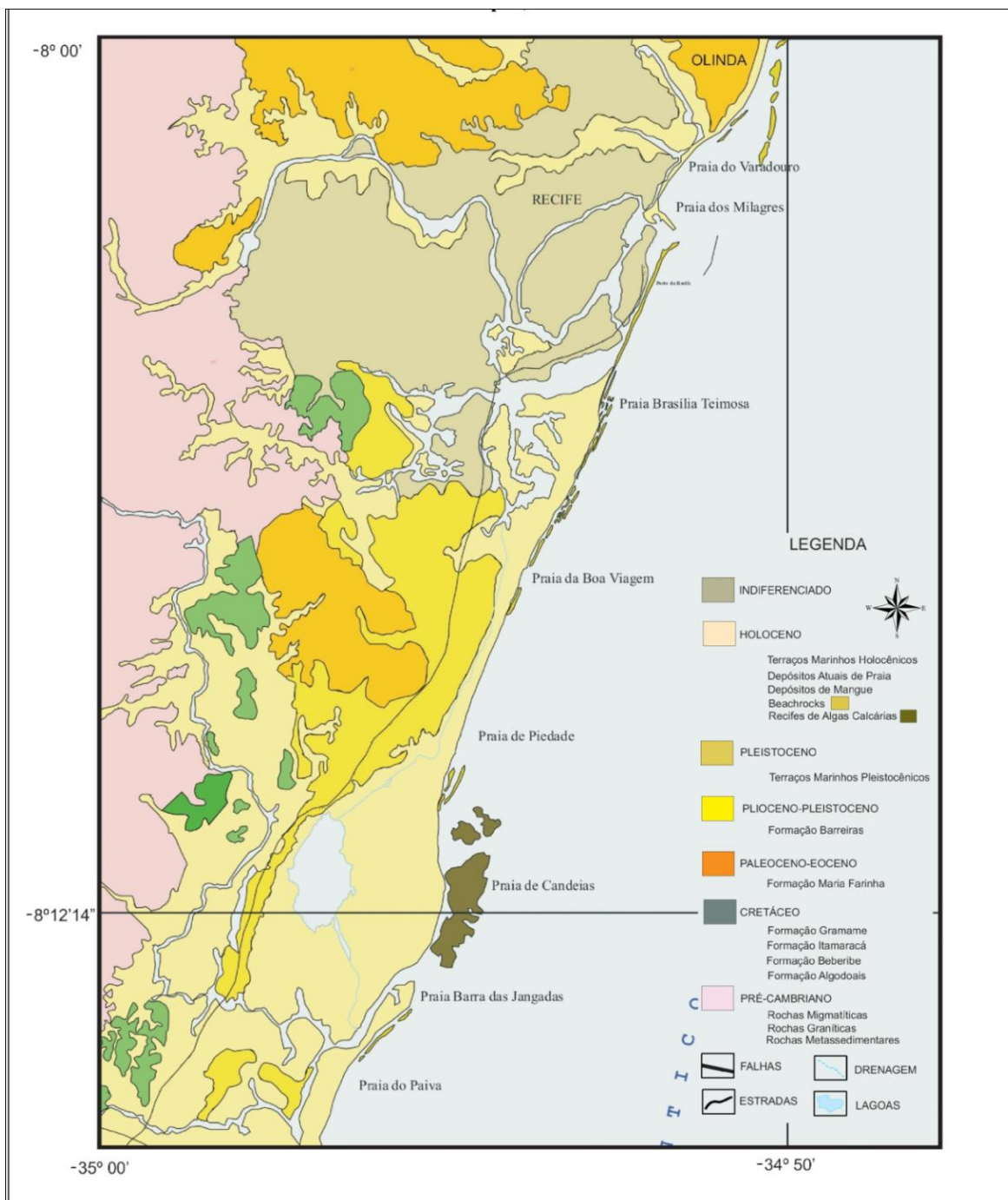


Fonte: Darwin (1841)

3.1. Geologia

A litologia que delimita os contornos da planície costeira da área de estudo é representada por um embasamento cristalino, constituído por granitos e migmatitos do Pré-Cambriano Indivisivo, que ocupa praticamente toda a região ao sul da cidade de Recife. Já as sequências sedimentares representadas pelas formações Cabo, Beberibe e Gramane, de idades cretáceas, e pela Formação Barreiras, de idade terciária, ocorrem em maiores extensões a norte de Recife. A Formação Cabo é constituída litologicamente por conglomerados, arenitos e siltitos argilosos, a Formação Beberibe por arenitos argilosos e a Formação Gramane por calcarenitos, margas e calcários. A Formação Barreiras ocorre em sua maioria na porção norte de Recife e é representado por depósitos areno-argilosos (DOMINGUEZ *et al.*, 1990; FINEP/UFPE, 2009). A Figura 4 apresenta o mapa geológico dos municípios de Recife, Jaboatão dos Guararapes e porção sul de Olinda.

Figura 4 - Mapa Geológico dos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Recife e sul de Olinda.



Fonte: FINEP/UFPE, 2009

O período Quaternário corresponde aos últimos 1,8 milhões de anos da história geológica recente, marcado por diversas glaciações e representa por eventos de variações climáticas extremas, que repercutiram sobre todos os ambientes terrestres.

Essas oscilações climáticas ocasionaram eventos de regressões e transgressões dos oceanos sobre os continentes, associadas às subidas e descidas do nível do mar, em função das alternâncias dos períodos glaciais e interglaciais, respectivamente, que ficaram registrados em testemunhos fósseis.

Os depósitos Quaternários são apresentados de forma concisa a seguir:

- **Terraços marinhos:** aparecem bem marcados ao longo da costa de Pernambuco, com características tipicamente marinhas e idade pleistocênica.
- **Depósitos fluviais:** constituídos por areia finas a grossas siltico-argilosas, ocupam as porções proximais de vales de rios e riachos.
- **Depósitos de pântanos:** constituídos por argilas orgânicas, ocorrem principalmente nas zonas baixas separando terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos e nos vales dos rios e riachos que não foram preenchidos por sedimentos fluviais.
- **Depósitos de mangue:** materiais argilo-siltosos com muita matéria orgânica, restos de madeiras e conchas. Ocorrem em regiões protegidas da ação das ondas, nas margens de canais de maré e nas porções distais de vales de rios e riachos, sendo encontrados em toda costa pernambucana.
- **Recifes de corais:** a maioria dos corais ao longo da costa de Pernambuco é constituída de corpos alongados e descontínuos, com o eixo maior paralelo à linha de costa. A localização e a morfologia geral desses corpos recifais sugerem uma estreita relação com os bancos de arenito que lhes estão associados, indicando que, em momentos em que o nível médio do mar estava acima do atual, os bancos de arenito já cimentados foram afogados e, sobre o substrato consolidado, fixaram-se as lavas de corais precursoras dos recifes atuais.
- **Bancos de arenito:** ocorre em diversos trechos do litoral formando feições lineares com cerca de 10 km de extensão. Em alguns locais aparecem próximos à face de praia. Sua constituição apresenta entre 20% a 80% de quartzo, sendo o restante constituído de fragmentos carbonáticos, principalmente moluscos e algas. As estruturas sedimentares e petrográficas apontam os bancos de arenito como testemunhos de um nível do mar mais alto do que o atual durante o Quaternário.

Os recifes de arenito são feições características no litoral de Pernambuco. Ocorrem sob a forma de corpos lineares, descontínuos, dispostos em linhas aproximadamente paralelas entre si e a atual linha de costa. Geralmente, são visíveis à baixa mar, duas ou três linhas de recifes, sendo a primeira quase sempre emersa e próxima à praia, e as demais praticamente submersas ou parcialmente emersas (MCT/UFPE, 2010).

3.2 Aspectos Oceanográficos

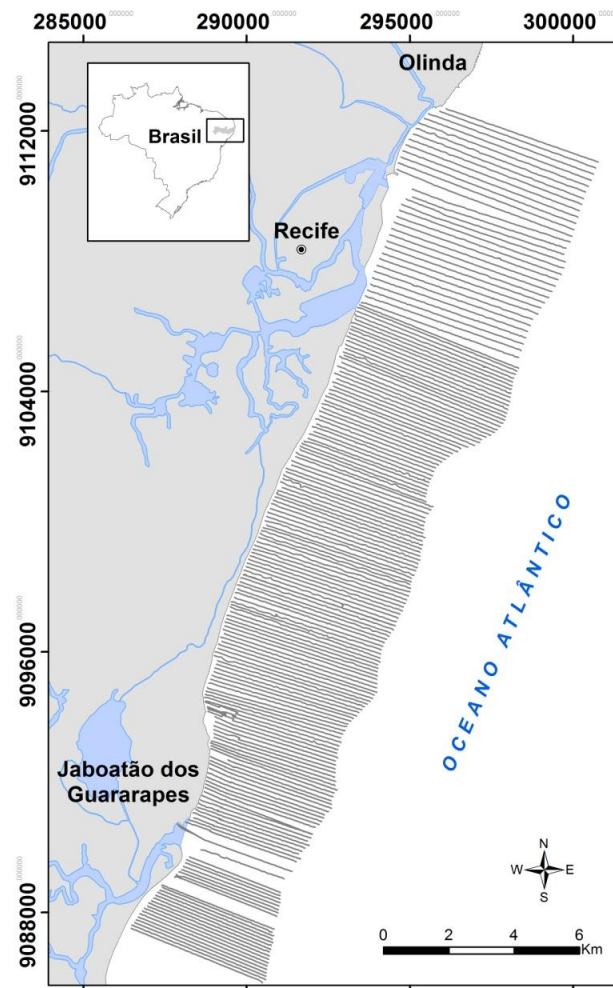
O regime de marés na região é do tipo semidiurno, período médio de 12,42 horas, apresentando duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar, e com pouca desigualdade diurna. A partir de previsões regulares das alturas das marés para o Porto do Recife, fornecidas pela DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil), calcula-se que as marés apresentam altura média de 1,67 m, com alturas médias de sizígia de 2,07 m e alturas médias de quadratura de 0,97 m. Durante o período de fevereiro a setembro predominam ventos de SE com velocidades médias de 2,6 m/s a 4,0 m/s, com ventos mais intensos nos meses de julho e agosto. Durante os meses de outubro e janeiro, predominam ventos E-SE com velocidades de 3,0 m/s a 3,2 m/s. Ventos de E-NE e menos intensos (2,0 m/s a 2,1 m/s) ocorrem com mais frequência nos meses de novembro e dezembro (FINEP/MAI, 2009). Não existe uma série longa de medição de ondas que permita identificar com segurança as características do clima de ondas da região. Análises das séries temporais de curta duração (8 dias) obtidas para a área de estudo, apontam para a ocorrência de ondas de gravidade com alturas significativas médias de 0,60 m a 0,97 m, com períodos significativos das ondulações entre 5,1 s e 6,8 s.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Levantamento batimétrico

Os dados batimétricos foram coletados utilizando uma ecossonda GARMIN 298 Sounder (200kHz) integrada ao sistema do sonar de varredura lateral Sea Scan PC (600 kHz). Os perfis batimétricos se iniciaram próximo à zona de arrebentação e foram até a isóbata de 20 metros, totalizando 204 perfis perpendiculares à linha de costa. A distância entre os perfis foi de 100 metros, com exceção da parte norte, onde a distância entre eles foi de 200 metros (Figura 5).

Figura 5 - Perfis batimétricos ao longo da costa



Os pontos de batimetria (99.489 pontos) foram corrigidos ao Nível de Redução (a média das baixas-marés de sizígia do local - MSLW) considerando-se os horários de nível d'água no momento das sondagens fornecidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Os dados também foram interpolados pelo método do Vizinho Natural no software ArcMap 10.1, a fim de gerar uma superfície raster com células quadradas de 60 metros de lado.

A análise de Cluster foi realizada no intuito de agrupar os perfis batimétricos de acordo com sua similaridade morfológica. Para isso, cada perfil batimétrico foi submetido a uma interpolação linear gerando valores de profundidade a cada 5 metros (MATLAB). Posteriormente, a distância euclidiana foi aplicada para elaborar a matriz de dissimilaridade e o agrupamento hierárquico dos perfis foi representado graficamente através de um dendrograma.

4.2 Coleta de sedimentos

Um total de 240 amostras de sedimento foi coletado usando um amostrador de fundo do tipo Van Veen. Este equipamento possui funcionamento simples, sendo constituído de duas conchas articuladas por uma dobradiça, que se conecta a embarcação através de um cabo de aço (Figura 6). As conchas se mantêm abertas por um sistema de trava que é liberado assim que o equipamento alcança o fundo. O recolhimento do cabo faz com que as conchas se fechem apanhando o sedimento.

Figura 6 - Draga de fundo do tipo Van Veen utilizada na coleta das amostras de sedimentos



As amostras de sedimento foram analisadas segundo Suguio (1973), no Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO), bem como no Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM) da Universidade Federal de Pernambuco. Primeiro, colocou-se uma alíquota de 100 g para peneiramento úmido utilizando peneiras com malhas de 2 e 0,062 mm. O material maior do que 2 mm e o que foi retido no peneiro de 0,062 mm (correspondente à fração de cascalho e areia, respectivamente) foram colocados em estufa para secar a uma temperatura de 60° C. Após esta fase, o material que foi retido na malha de 0,062 mm foi sujeito ao processo de peneiração a seco. Os resultados do tamanho de partícula foram analisados pelo software SYSGRAM e classificados de acordo com Folk e Ward (1957).

A divisão dos tipos de substrato foi adaptada da classificação sugerida por (Schlacher, 2010) (Tabela 1).

Tabela 1 - Divisão dos tipos de substrato adaptada da classificação de Schlacher (2010)

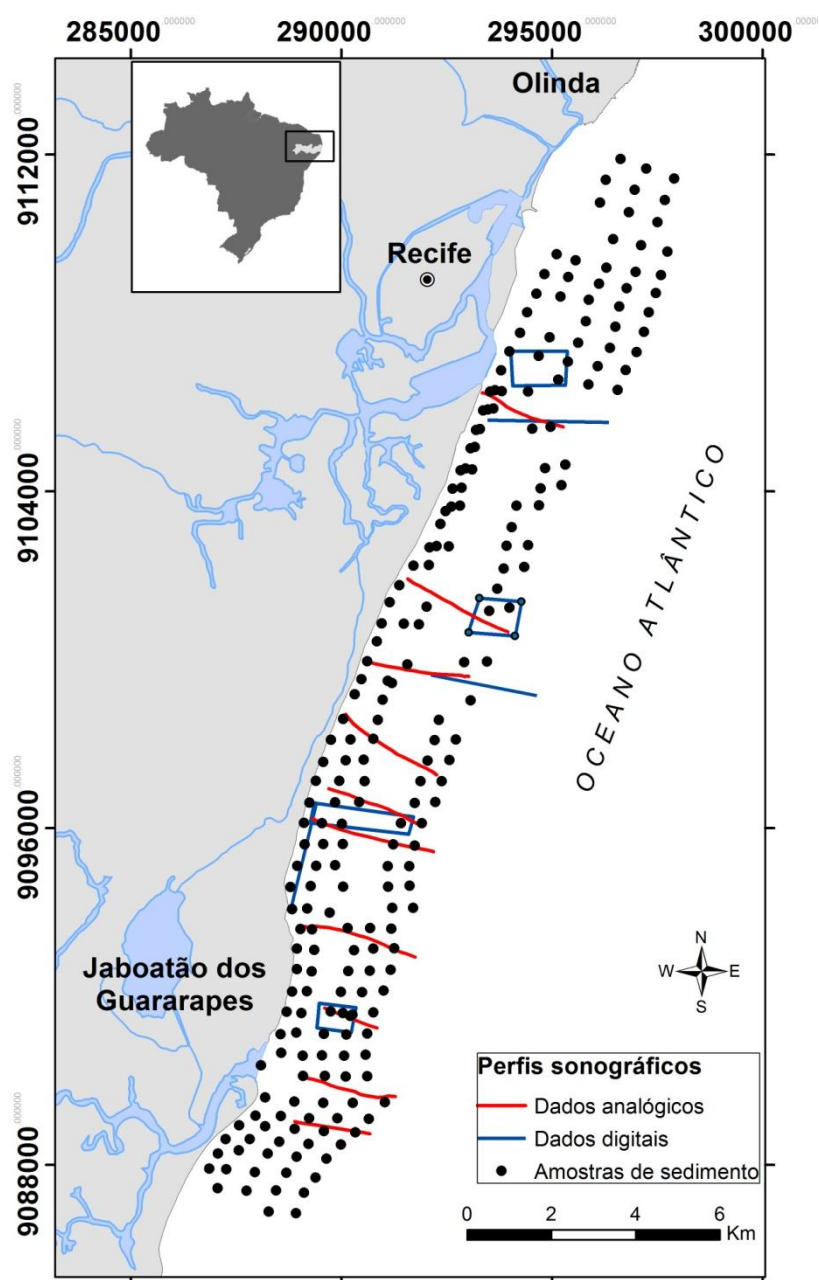
Classificação do substrato	Diâmetro médio do grão (mm)
Lama	< 0.0625
Areia fina	0.25 – 0.0625
Areia média	0.5 – 0.25
Areia grossa	2 – 0.5
Cascalho	3 – 2
Substrato consolidado	> 3

No intuito de avaliar a distribuição espacial latitudinal e longitudinal do grão foi realizada uma análise de variância (ANOVA). A correlação do diâmetro médio dos grãos com a profundidade e distância da costa foi verificada através do coeficiente de Pearson (r). As análises foram conduzidas no software R versão 3.3.1 (R CORE TEAM, 2016) com significância estatística de 0,05.

4.3 Análise das imagens de sidescan sonar

A primeira série de dados foi realizada em novembro de 1998, utilizando um sonar de varredura lateral EGC260, um eco sonda RAYTHEON com sistema de posicionamento Garmin DGPS, modelo SURVEYOR II (ARAÚJO, T. C. M.; DIAS, 2000). A segunda aquisição ocorreu em abril de 2006, usando um sonar de varredura lateral da Marine Sonic Technology, Ltd., que consiste em um computador de bordo com sistema operacional Windows 98 e software SeaScan PC v.1.8.1 para dados em tempo real aquisição (Figura 7). Este equipamento também apresenta um peixe com dois transdutores para a emissão e recepção de pulsos acústicos, ligado ao navio por meio de um cabo e conectado ao computador de bordo.

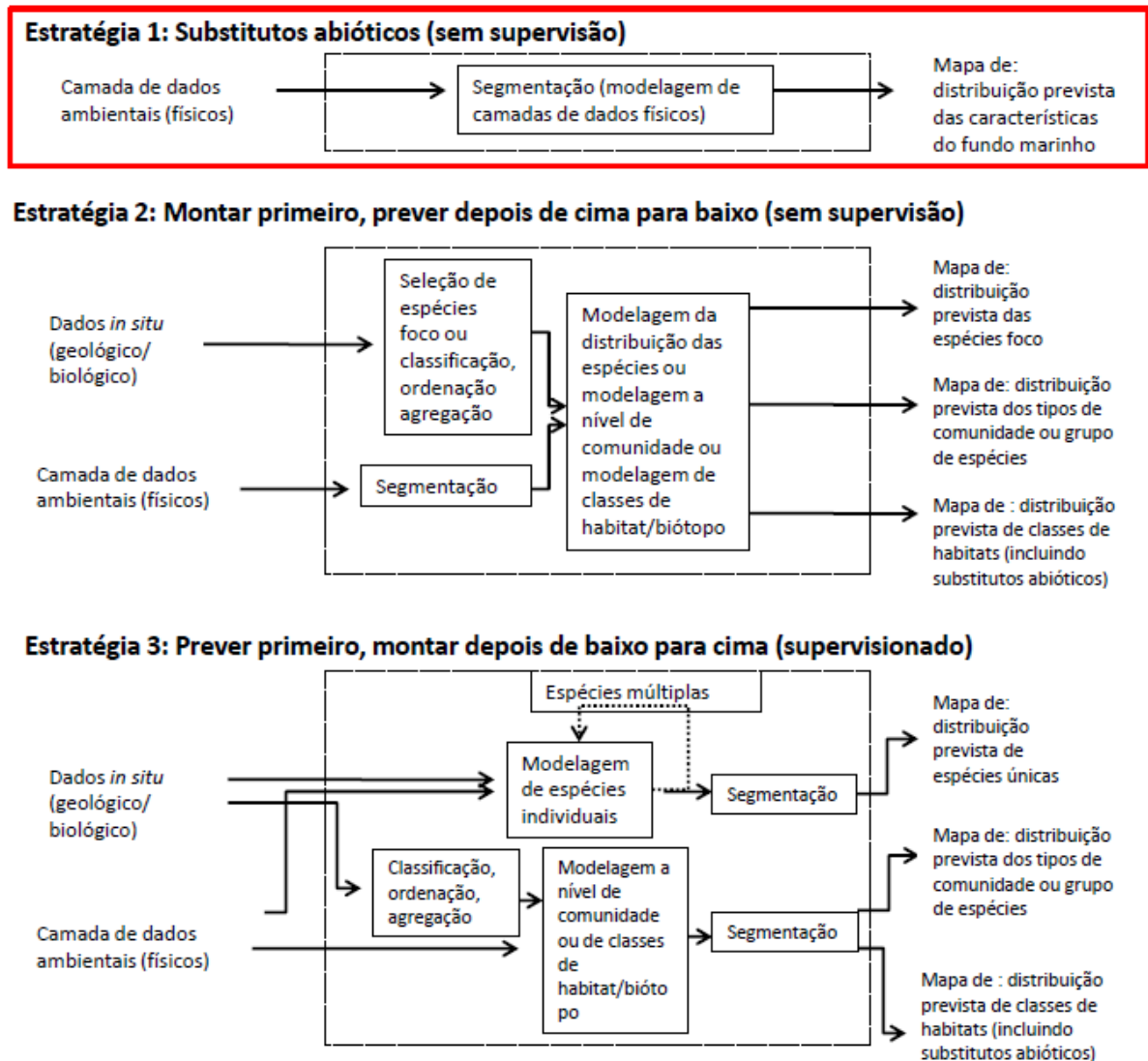
Figura 7 - Perfis sonográficos e amostras superficiais de sedimento.



4.4 Classificação dos habitats

A proposta metodológica aplicada neste estudo deriva da ecologia terrestre, que se utiliza de uma variedade de métodos e técnicas para desenvolver estratégias de modelagem que possibilitem o mapeamento de habitats a nível de comunidade. Esta metodologia foi desenvolvida por Ferrier e Guisan (2006) para ser aplicada em ambientes terrestres e adaptada por Brown *et al.* (2011) para ambientes marinhos (Figura 8). Dentre as estratégias descritas por Brown *et al.* (2011), a "Estratégia 1- Substitutos Abióticos" foi a que melhor se adequou aos dados e objetivos deste estudo. Essa estratégia consiste na integração das camadas de dados abióticos, onde métodos de classificação ambientais estabelecem padrões que auxiliam no mapeamento preditivo dos potenciais habitats marinhos. A abordagem é indicada para ser aplicada em regiões de larga escala espacial, como plataformas continentais, já que não necessita utilizar dados biológicos em suas análises. Os mapas produzidos são úteis na identificação de extensas feições fisiográficas (ex. recifes rochosos, cânions submarinos, bancos arenosos) a partir das quais as ocorrências de espécies podem ser inferidas.

Figura 8 - Estratégias básicas para a produção de mapas de habitats bentônicos.



Fonte: Adaptada de Brown *et al* (2011)

Para a classificação dos habitats foi adotado um esquema hierárquico baseado em esquemas previamente desenvolvidos por Roff *et al.* (2003) e Greene *et al.* (1999).

O esquema proposto por Roff *et al.* (2003) utiliza *surrogates* geofísicos para representar habitats marinhos em diferentes escalas espaciais. Segundo estes autores, cada fator geofísico possui um nível de influência em uma determinada área. A profundidade, representada pela batimetria, e o relevo foram classificados como parâmetros geofísicos que possuem influência em escala regional, enquanto que o diâmetro médio do grão possui um fator de influência em escala local. Diante disso, a escala geográfica de abrangência do mapa preditivo de habitats utilizado neste trabalho foi classificada como regional, uma vez que quando os dados são representados por diferentes escalas espaciais, acata-se a escolha do maior nível hierárquico para o mapeamento.

Já a classificação hierárquica proposta por Greene *et al.* (1999) fundamenta-se em técnicas geológicas e geofísicas de sensoriamento remoto para mapear o fundo marinho a partir de uma escala espacial previamente estabelecida. Para uma área onde os parâmetros geofísicos influenciam em escala regional a classificação mais apropriada de acordo com Greene *et al.* (1999)(GREENE *et al.*, 1999) foi de um megahabitat, no qual as feições marinhas possuem dimensões expressivas, variando de quilômetro a dezenas de quilômetros, representando grandes regiões fisiográficas, como as plataformas continentais.

O mapa de habitats foi produzido a partir do método de interpretação manual que envolveu a integração do modelo digital de terreno, do mapa do tipo de substrato e das imagens sonográficas, numa escala de 1:120.000. O MDT auxiliou no reconhecimento das principais feições presentes na plataforma continental interna. O mapa de tipos de substrato ajudou a identificar o sedimento consolidado e inconsolidado. Já as imagens de sonar, por sua vez, foram essenciais para confirmar as informações geradas pelos mapas citados.

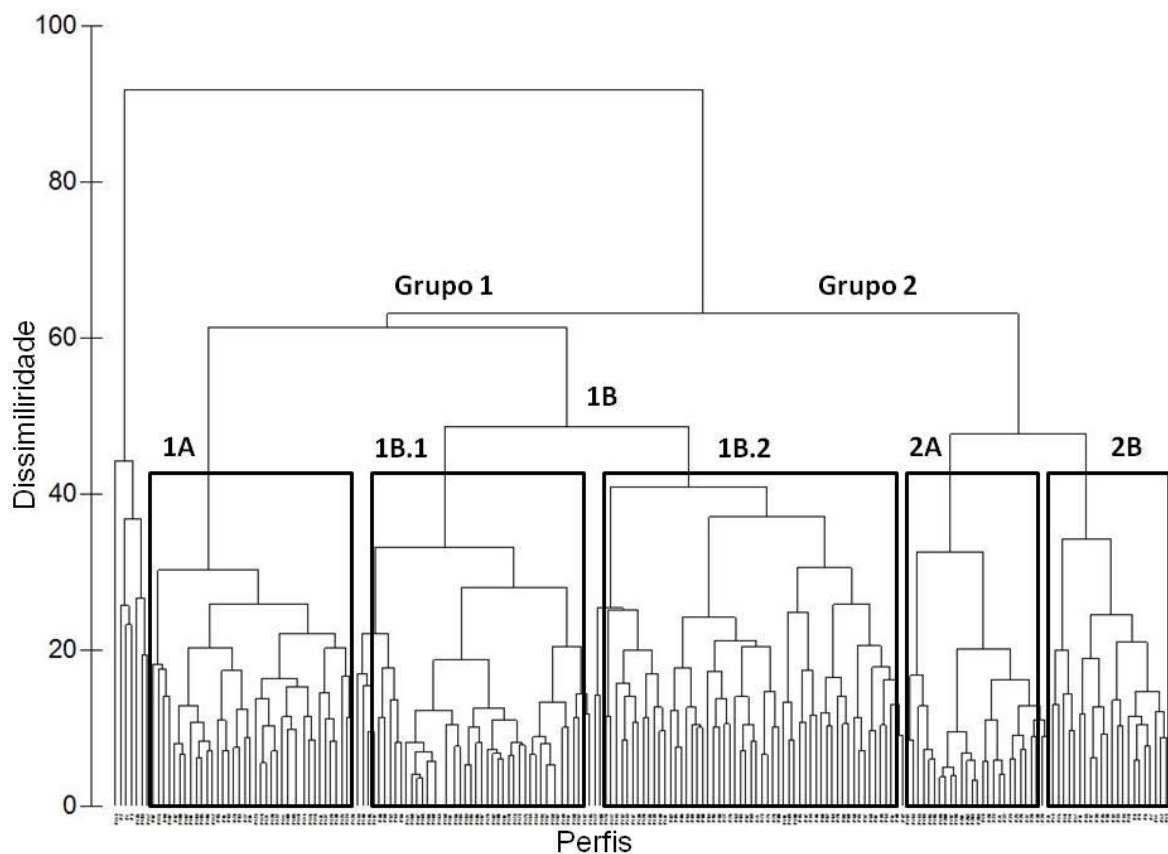
Dessa forma, foi possível traçar manualmente os limites entre substrato consolidado e inconsolidado e classificar a área de estudo em dois megahabitats.

5 - RESULTADOS

5.1 Batimetria

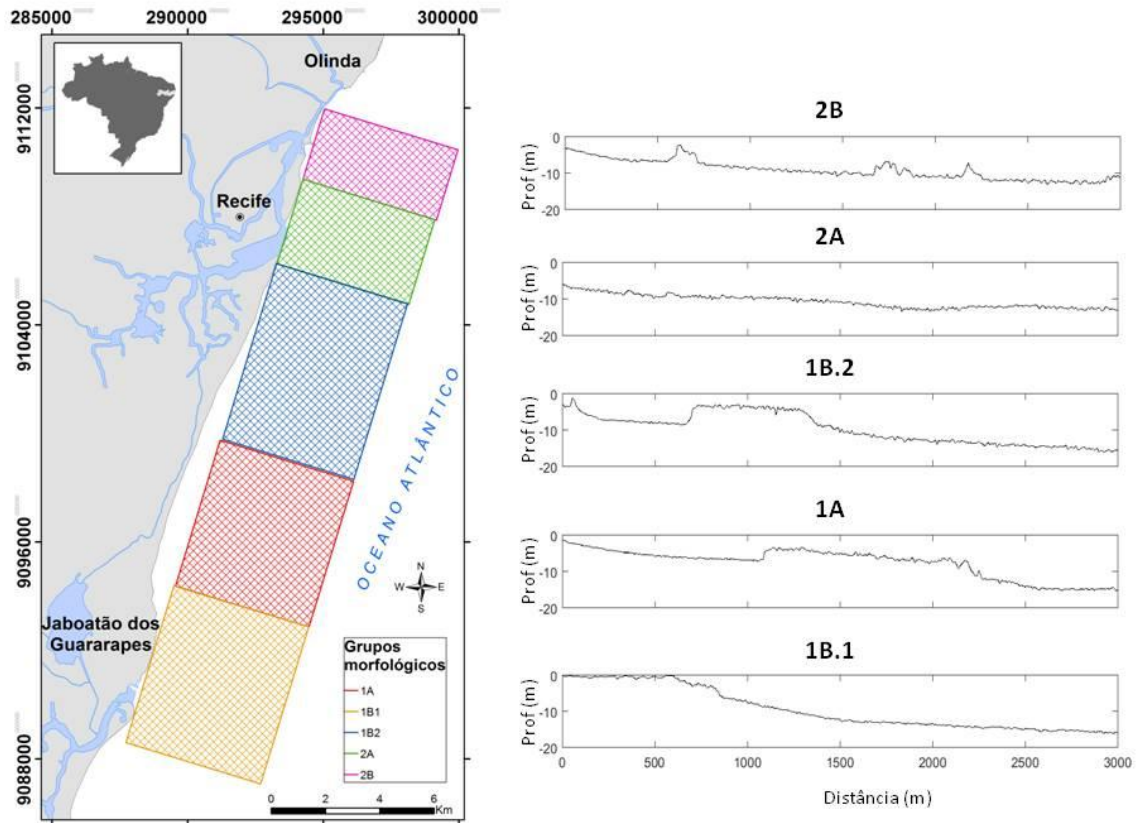
O perfis batimétricos foram divididos de acordo com suas características morfológicas em dois grupos principais a partir do dendograma gerado na análise de cluster (Figura 9).

Figura 9 - Dendograma gerado a partir da análise de dissimilaridade com a medida da distância euclidiana. O eixo x representa a dissimilaridade, e o eixo y, os perfis batimétricos.



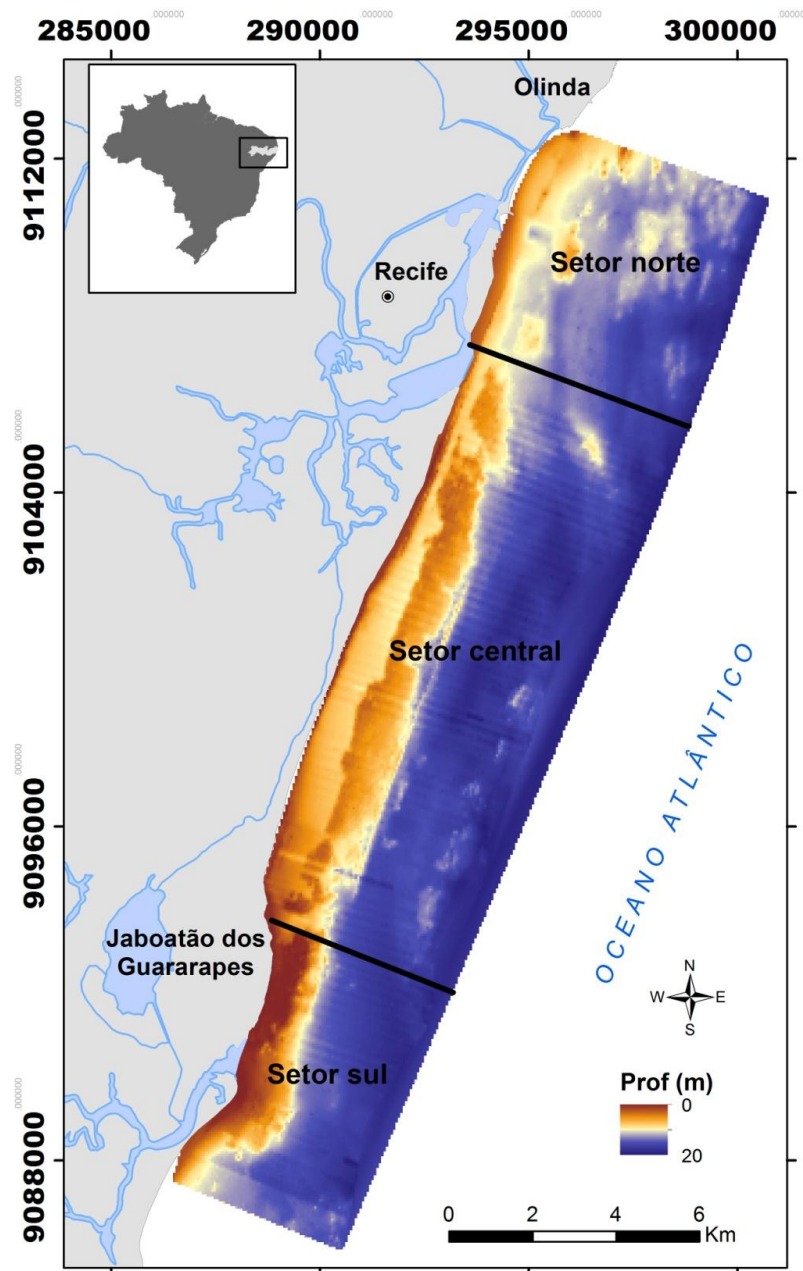
O Grupo 1 foi dividido nos subgrupos 1A e 1B que, por sua vez, foi dividido em 1B.1 e 1B.2. Já o Grupo 2 teve seus perfis batimétricos divididos nos subgrupos 2A e 2B. Pode-se observar no canto esquerdo da Figura 10 o mapa da área de estudo com a divisão dos diferentes grupos morfológicos e, no canto direito, os respectivos perfis escolhidos para representar as características morfológicas de cada grupo.

Figura 10 - Grupos morfológicos obtidos a partir da análise de cluster (esquerda) e perfil batimétrico representativo de cada grupo (direita).



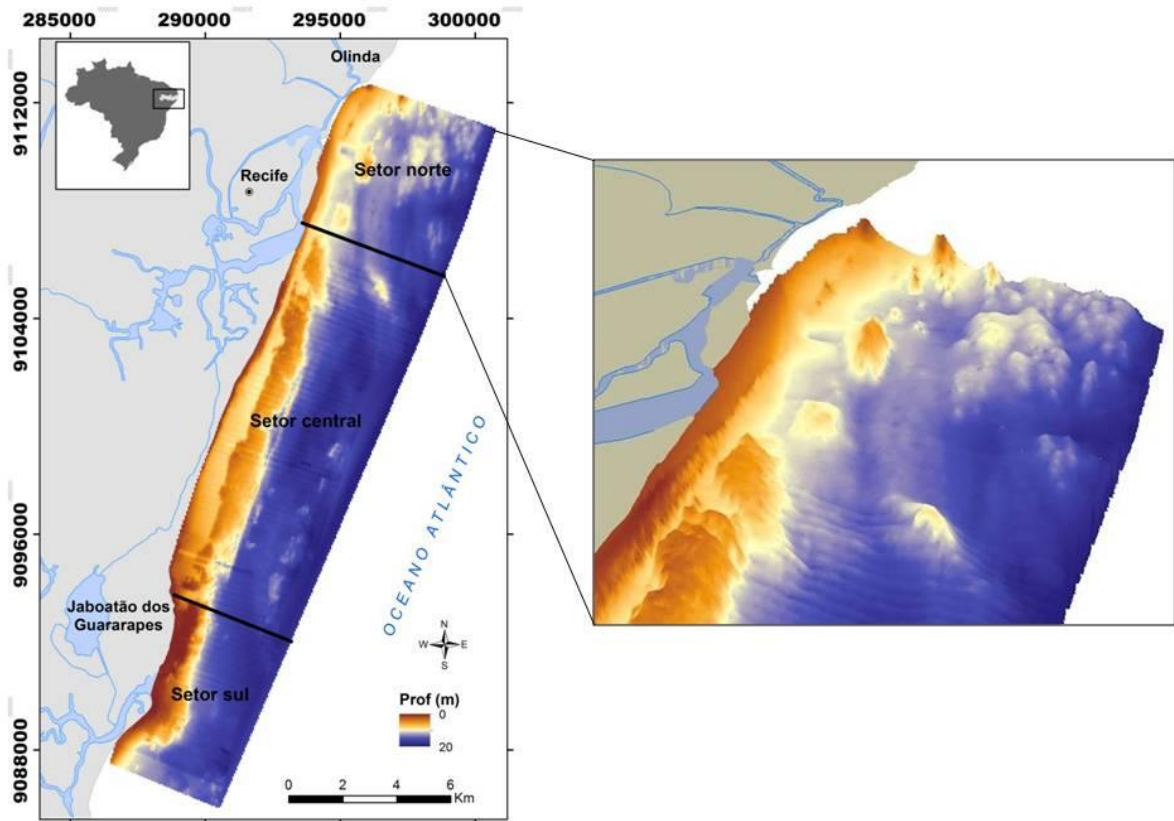
Uma análise mais detalhada dos perfis pertencentes a cada grupo indicou que a morfologia do fundo da plataforma continental interna de Recife apresenta relevo dinâmico, com feições particulares ao longo da costa. A área de estudo foi classificada em setor norte, central e sul, sendo eles representados pelos recifes isolados, em barreira e em franja, respectivamente (Figura 11).

Figura 11 - Modelo digital de terreno dividido em setor norte, sul e central.



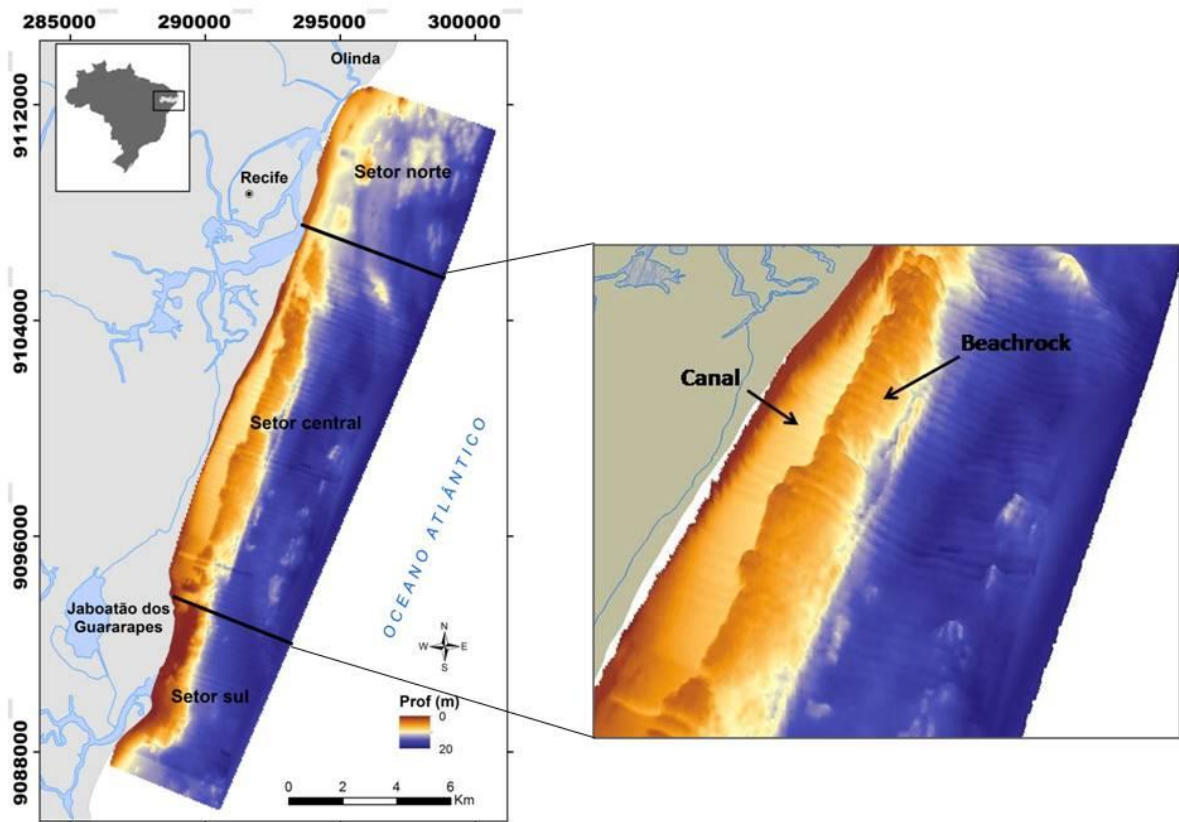
No setor norte a morfologia é caracterizada pela presença de recifes isolados. Eles variam muito em tamanho e são distribuídos separadamente, sem uma conexão entre eles. A distância da costa varia de 1500 a 5600 metros e a profundidade de 5 a 16 metros (Figura 12).

Figura 12 - MDT do setor norte indicando os recifes isolados.



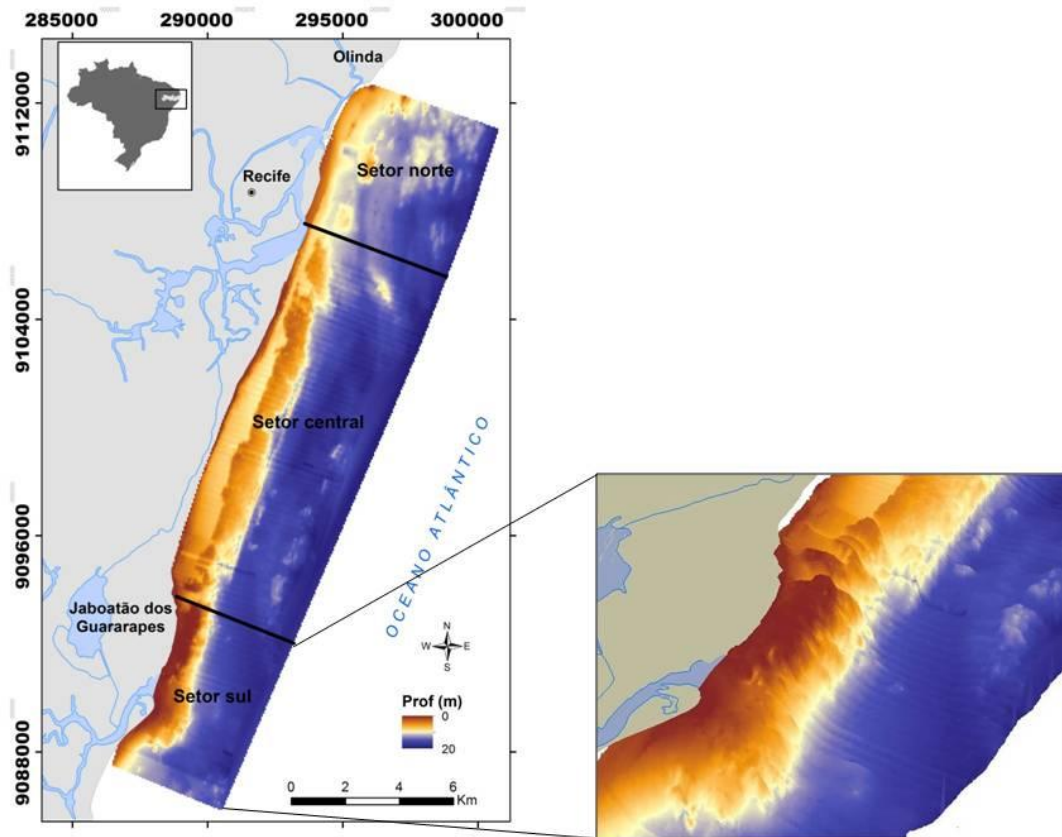
O setor central apresentou uma superfície irregular, exibindo duas formas notórias de relevo. Um deles é um extenso recife que está a uma distância de 1 km da linha de costa e é organizado em forma de recife em barreira. Outra feição é o canal situado entre o recife e a costa. Ao longo desta região, ambos apresentam variações de altura, extensão, largura e profundidade. O relevo positivo, representado pelo beachrock, exibe altura média de 4 m, 1280 m de largura e 17 km de extensão. O relevo negativo, representado pelo canal, tem uma profundidade média de 6,40 m e uma largura aproximada de 430 m (Figura 13).

Figura 13 - MDT do setor cetral indicando o recifes em barreira, representado pelo beachrock, e o canal paralelo à adjacente linha de costa.



O setor sul está localizado em frente à foz do Rio Jaboatão e apresenta recife em forma de franja. São extensos bancos de recifes que estão muito próximos à costa, atingindo 1km de largura, com regiões extremamente rasas que permaneceram expostas durante as marés baixas (Figura 14).

Figura 14 - MDT do setor sul indicando os recifes em franja.

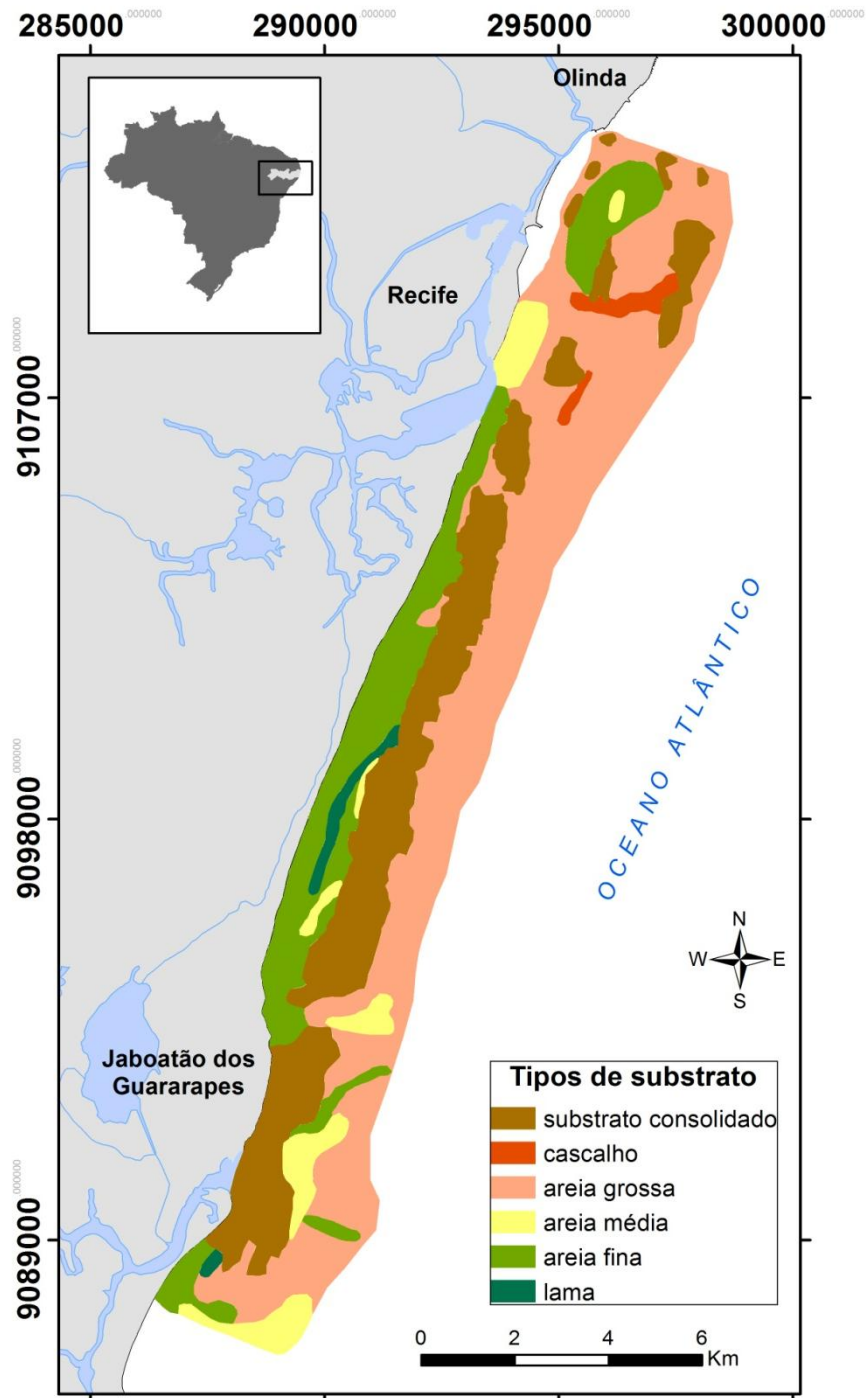


5. 2 Tipos de substrato

A área do canal é predominantemente de areia fina, o que corresponde a 23% do total das amostras. Apenas 3% das amostras correspondem à lama que, devido aos processos hidrodinâmicos, é transportada através do canal no sentido norte. Após os beachrocks, em direção ao mar, o sedimento é composto de areia grossa, cerca de 39% das amostras, representando a maior parte do sedimento cobrindo a área total. Este sedimento é composto predominantemente de fragmentos orgânicos calcários proveniente dos substratos consolidados. Quanto ao cascalho, este também apresenta baixa ocorrência nesse trecho da plataforma continental interna (2,5%), sendo evidente apenas próximo ao Porto de Recife, onde termina o substrato contínuo e os substratos consolidados não formam grandes agregados. A areia média estava presente em pequenas porções perto da foz do rio Jaboatão e Porto de Recife (10%). Os beachrocks, que com a divisão dos substratos foram classificados

como substrato consolidado, ocorrem em toda a área representando 22,5% das amostras (Figura 15).

Figura 15 - Distribuição espacial dos tipos de substrato evidenciando o substrato consolidado como barreira ao transporte de sedimento.

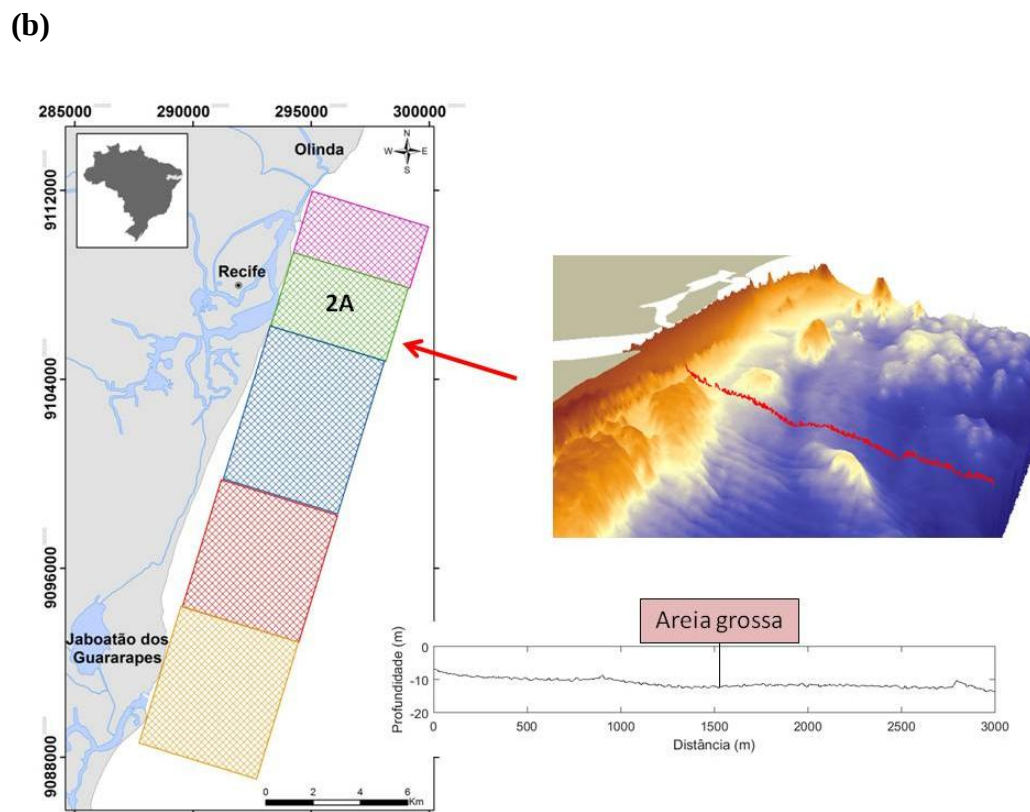
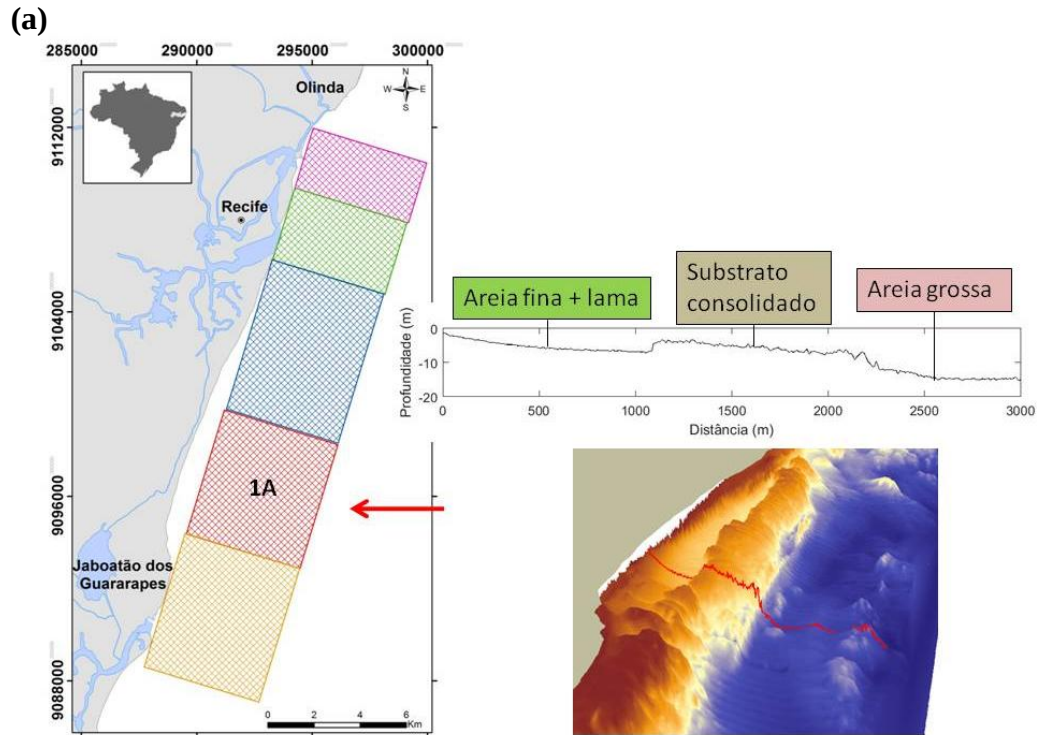


A Figura 16 indica os grupos morfológicos 1A e 2A, juntamente com seus respectivos perfis batimétricos representativos. Nota-se que o relevo apresentado no mapa (a) revela uma morfologia dinâmica, com a presença do canal e do beachrock, enquanto que em (b) o relevo se apresenta suave desde a linha de costa até uma distância de 3000 metros.

A distribuição sedimentar ao longo deste perfis também se mostra variada, sendo o perfil representante do grupo 1A composto por areia fina, lama, substrato consolidado e areia grossa. Já o perfil representante do grupo 2A possui cobertura sedimentar homogênea, sendo composto unicamente por areia grossa.

Os perfis evidenciam a diversidade sedimentológica e morfológica que existe na área. Nas regiões onde os beachrocks estiveram presente a diversidade sedimentar se apresentou mais heterogênea, sugerindo que existe uma relação entre a presença dessas feições e a distribuição do sedimento ao longo da plataforma.

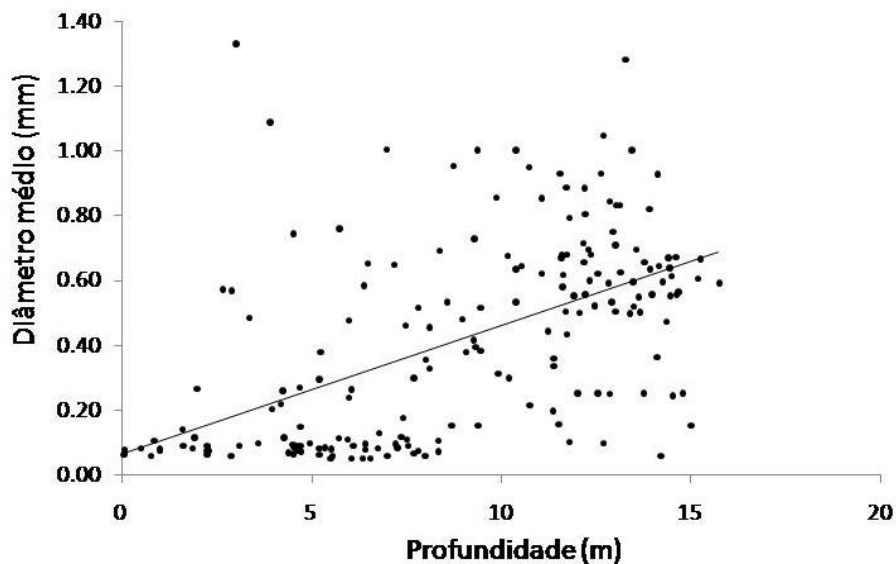
Figura 16 - a) Grupo batimétrico 1A apresentando diversidade morfológica e sedimentar. b) Grupo batimétrico 2A representando um relevo suave e com homogeneidade sedimentar.



O diâmetro médio do grão apresentou variação significativa tanto em relação à distribuição longitudinal (ANOVA, $F= 43,79$, $p< 0,01$), quanto à distribuição latitudinal (ANOVA, $F= 6,56$, $p=0,01$).

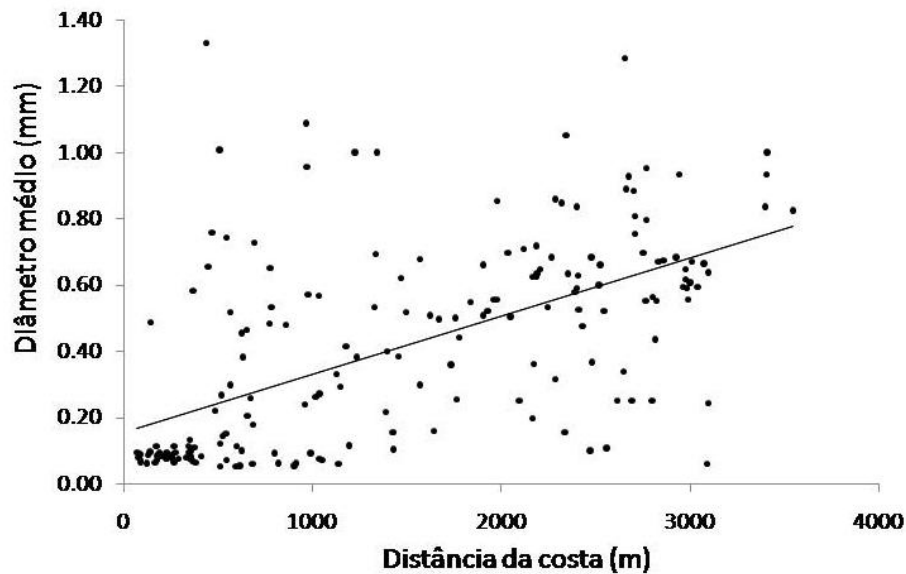
A análise da correlação de Pearson entre profundidade e diâmetro médio do grão mostrou-se moderada ($r = 0,54$) (Figura 17). O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,289$) indicou que apenas 30% da variabilidade no tamanho médio do grão é descrita pela variação da profundidade.

Figura 17 - Correlação entre profundidade e diâmetro médio dos grãos.



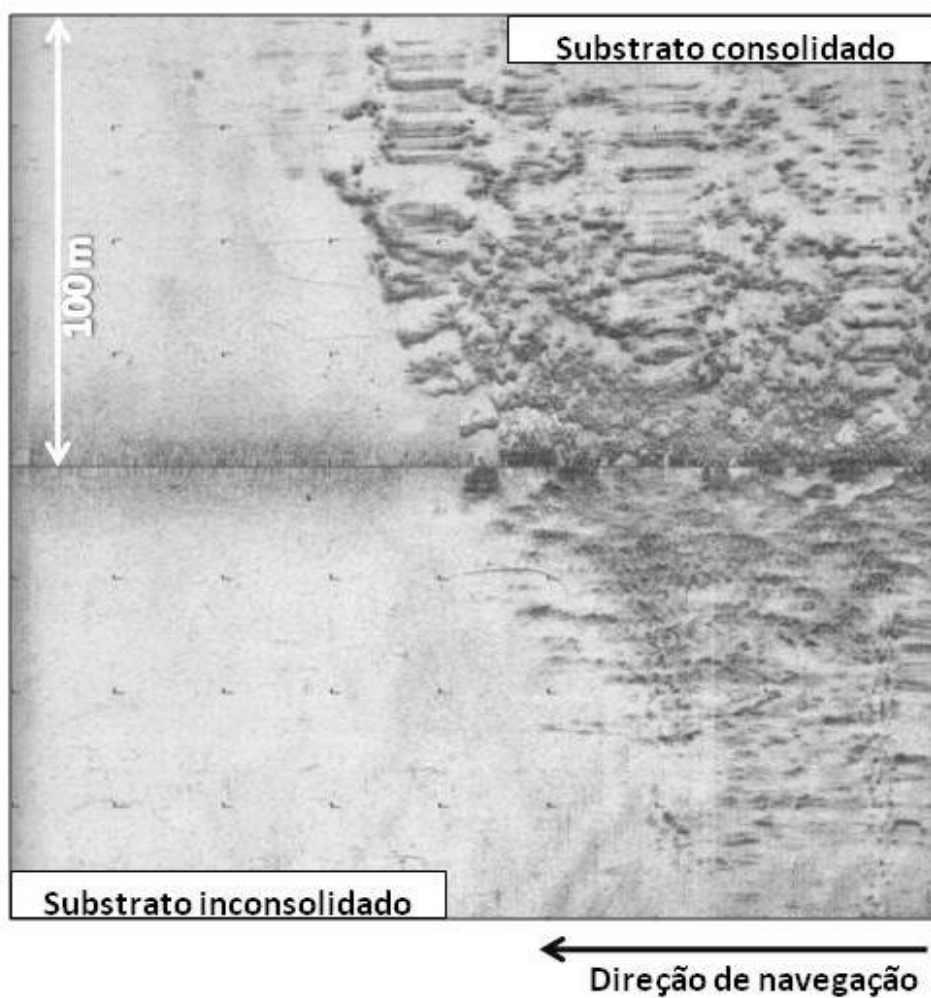
A correlação entre distância da costa e diâmetro médio do grão também foi classificada como moderada (Figura 18). Quanto ao coeficiente de determinação ($R^2 = 0,345$), quase 35% do diâmetro do grão pode ser explicado pela distância da costa. A partir do gráfico é possível perceber que os grãos finos se concentram de forma mais representativa nos primeiros 500 metros, ou seja, bem próximo à costa.

Figura 18 - Correlação entre distância da costa e diâmetro médio dos grãos.



Através das imagens acústicas geradas, e juntamente com o auxílio do SeaScan PC Review, foi possível identificar e diferenciar áreas que apresentaram substratos consolidados e inconsolidados, permitindo assim a delimitação dessas áreas para a produção do mapa de habitats. Essa identificação foi visual, com base na intensidade de energia acústica refletida. A energia sonora emitida pelo transdutor não atingiu todas as superfícies de maneira homogênea devido à irregularidade do fundo marinho. Assim, quanto mais espesso era o sedimento, maior a quantidade de energia refletida, da mesma forma, quanto mais fino, maior a absorção da energia incidente. No que diz respeito à morfologia do fundo e à textura dos sedimentos, pode-se dizer que estes responderam diferentemente ao sinal acústico. Os substratos inconsolidados foram encontrados em toda área de estudo e são representados por longos trechos quase sem variação da tonalidade cromática (ecos de reflexão), evidenciando um padrão homogêneo e de baixo retorno do sinal acústico. Em termos visuais, as imagens resultantes de substrato consolidado têm sinais mais intensos do que imagens de áreas com areia ou lama. Os substratos consolidados, também foram encontrados em quase toda a área de estudo, como já mencionado nos resultados da batimetria (Figura 19).

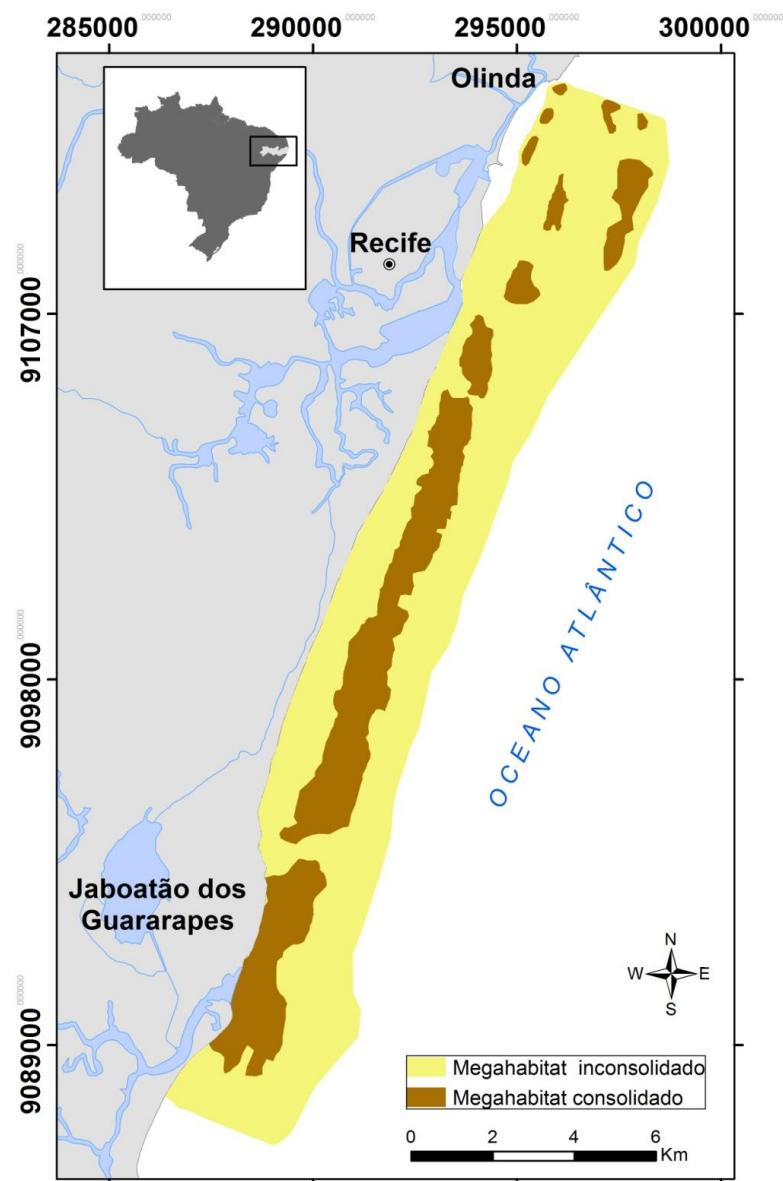
Figura 19- Imagem acústica do fundo da plataforma continental interna mostrando o contato entre substrato consolidado e inconsolidado.



5.3 Classificação dos habitats

O mapa de classificação dos habitats foi traçado manualmente a partir das análises feitas dos registros sonográficos, batimétricos e sedimentológico. Diante disso, a PCI de Recife foi classificada hierarquicamente em dois megahabitats definidos como substrato inconsolidado e substrato consolidado (Figura 20).

Figura 20- Megahabitats classificados segundo esquema hierárquico sugerido por Greene *et al.* (1999) e Roff *et al.* (2003).



5.3.1. Megahabitat Inconsolidado

Esse megahabitat foi o mais representativo em escala espacial com 60,95 km², que corresponde a 67,41% da área total.

A ausência da análise composicional dos sedimentos amostrados, fez com que o mapeamento do fundo inconsolidado fosse realizado levando-se em consideração o diâmetro médio do grão como principal parâmetro. Assim, o substrato inconsolidado foi classificado de acordo com o agrupamento dos fundos lamosos e arenosos, que compreende grãos com diâmetro médio inferior a 2 mm, sendo incluídas também as frações de tamanho cascalho (2-3 mm) nesta classificação (LEWIS, 1973).

5.3.2. Megahabitat Consolidado

Esse megahabitat corresponde a cerca de 29,46 km², ou 32,58% da área total calculada. Está associado com estruturas recifais de grande diversificação nas formas e dimensões no leito marinho, com feições que chegam a 17 km de comprimento. Foi classificado de maneira a representar os recifes dispostos isoladamente, em forma de barreira e em forma de franja e, semelhante à classificação do megahabitat inconsolidado, não foi considerada a gênese composicional dessas estruturas.

Em geral, apresenta baixo gradiente batimétrico e maior tridimensionalidade do fundo marinho, com estruturas que propiciam o aumento da área superficial para organismos bentônicos e oferecem um substrato com características mais duras. O retorno do sinal acústico é variado e heterogêneo, com presença de sombras e rugosidades.

6 - DISCUSSÃO

O mapeamento do fundo marinho é a ferramenta que torna possível o mapeamento dos habitats bentônicos (DIAZ; SOLAN; VALENTE, 2004).

McArthur *et al.* (2010) define que a relação entre os dados acústicos e as variáveis com influência direta (tamanho médio do grão) e indireta (profundidade) sobre as comunidades bentônicas oferecem um grande substituto ao mapeamento do fundo marinho. De acordo com Diaz *et al.* (2004), os habitats bentônicos são definidos a partir das diferentes características do fundo do mar, como batimetria e textura dos sedimentos, que podem ser detectadas e mapeadas com maior facilidade e resolução usando técnicas geofísicas modernas. Essas afirmações enfatizam fortemente o conceito de que o habitat bentônico consiste em um local preferencial de plantas e animais, onde a biota reflete as características físicas do fundo. Sob este ponto de vista, o uso de técnicas de levantamento acústico (batimetria e sonar de varredura lateral), juntamente com uma análise apropriada da distribuição dos substratos, são fundamentais na identificação de estruturas físicas do fundo do mar, formando a base para o mapeamento do habitat bentônico (ANDERSON *et al.*, 2007; BROWN, CRAIG J *et al.*, 2005; FREITAS, ROSA *et al.*, 2005).

A classificação dos habitats bentônicos da plataforma de Recife foi realizada utilizando a associação de dois esquemas hierárquicos, propostos por Roff *et al.* (2003) e Grenne *et al.* (1999). Essa escolha foi considerada por não haver um esquema que se adequasse plenamente à área de estudo. Roff *et al.* (2003) desenvolveu seu esquema tanto para ambientes pelágicos, quanto para bentônicos, enquanto que Grenne *et al.* (1999) criaram um esquema voltado para ambientes bentônicos, porém direcionados à locais com profundidades entre 30 e 300 metros. Dessa forma, a junção dos dois esquemas possibilitou uma caracterização mais apropriada para a área.

Valentine *et al.* (2005) infere que não existe um método único para classificar os habitats. As diferenças existentes entre os esquemas de classificação e nos mapas produzidos a partir dos mesmos refletem o estado da arte do conhecimento dos ambientes marinhos em um determinado momento e as escolhas dos pesquisadores.

Os sistemas de classificação hierárquica têm o poder preditivo intrínseco de descrever as relações entre os habitats físicos e suas comunidades biológicas associadas e um bom sistema hierárquico de classificação deve ser capaz de ser modificado quando falhas são identificadas (HARRIS, PETER T, 2012). Assim, os mapas de habitats devem ser continuamente testados, modificados e melhorados sempre que possível, para o melhor

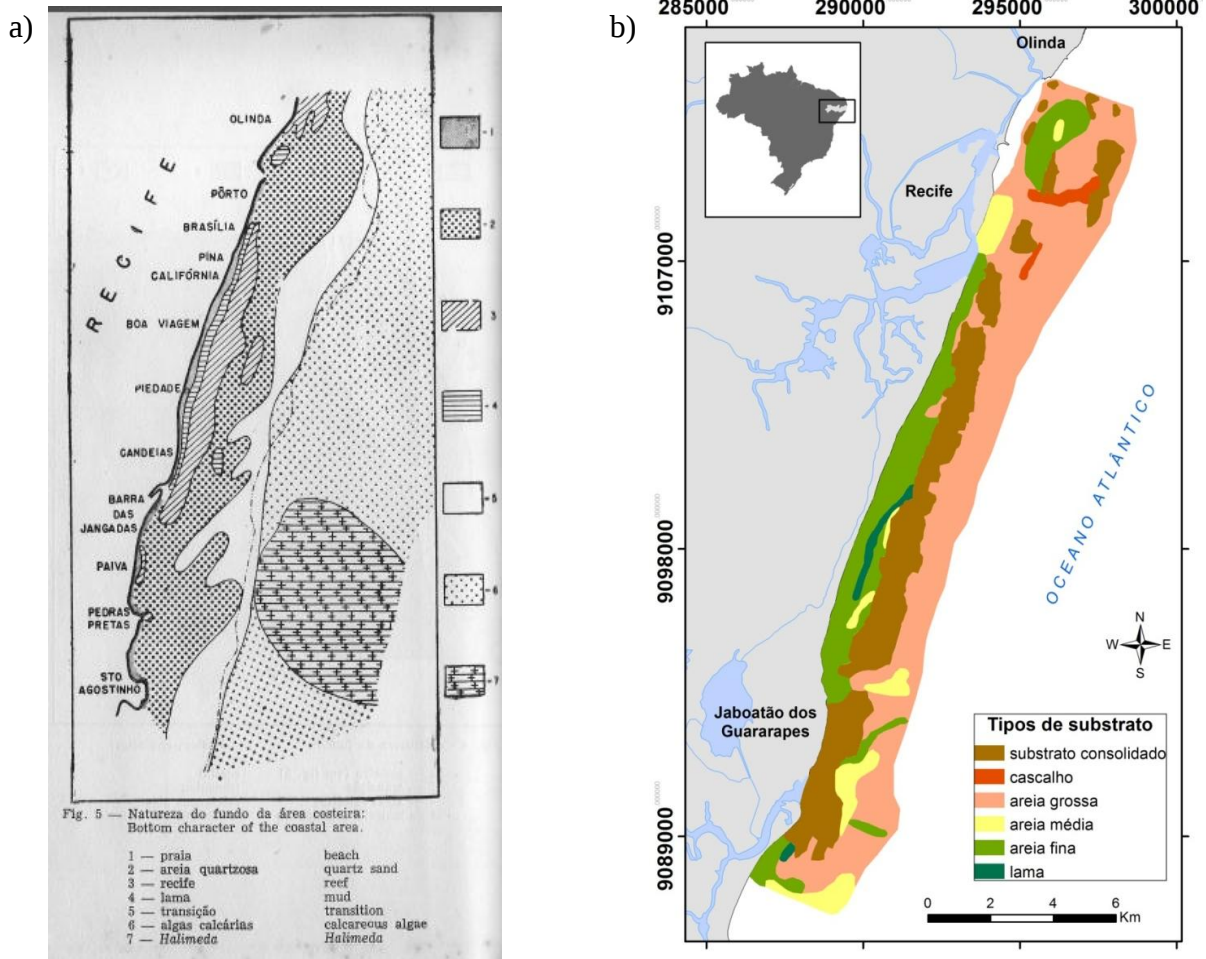
entendimento do ambiente marinho. Van Lancker e Foster-Smith (2007) afirmam que não existe um ponto final para o mapeamento de habitats, esse processo deve ser contínuo, uma vez que novos mapas, mais detalhados, estarão sendo elaborados à medida que novas técnicas de aquisição de dados tornam-se disponíveis.

As análises estatísticas mostraram que apenas 30% da variabilidade do tamanho médio do grão é descrita pela variação da profundidade, enquanto que 35% foi explicada pela distância da costa. Assim, outros fatores estão relacionados à distribuição do sedimento ao longo da plataforma interna de Recife.

A maior variedade no tipo de substrato está relacionada à presença dos beachrocks. Essas estruturas funcionam como principais controladores na distribuição dos sedimentos na PCI de Recife, provavelmente atuando como barreira aos processos hidrodinâmicos que atuam na zona costeira, o que acaba refletindo no transporte de sedimentos e no tipo de substrato. Assim, há de se considerar que presença dos beachrocks também será um fator crucial na diversidade dos habitats, já que os organismos possuem preferência à determinados substratos. Diversos estudos têm evidenciado diferenças significativas na composição de espécies entre substratos consolidado e inconsolidado (BEAMAN; HARRIS, 2005; KENDALL *et al.*, 2005; MCARTHUR *et al.*, 2010; WILLIAMS; BAX, 2001). Em âmbito geral, substratos consolidados geralmente agem como habitat para uma maior proporção organismos sésseis e epifauna, enquanto que sedimentos inconsolidados servem como lar para uma maior parcela de pequenos invertebrados de mobilidade discreta (ARRIGHETTI; PENCHASZADEH, 2010; BROWN, C J *et al.*, 2004 ; MCARTHUR *et al.*, 2010).

Kempf *et al.* (1967) coletaram dados de sedimento e analisaram a biota associada na plataforma de Pernambuco. A similaridade entre os dois mapas evidencia a eficiência da sonografia e batimetria na delimitação das feições marinhas (Figura 22).

Figura 21 - a) Mapa da distribuição sedimenta da plataforma de Recife produzido por Kempf *et al.* (1967); b) Mapa atual do tipo de substrato encontrado na plataforma continental interna de Recife.



A calibração do uso de dados geofísicos como ferramenta para a predição de habitats pode ser avaliada a partir da comparação do mapa de substrato de fundo gerado por Kempf *et al.* (1967) e o mapa produzido neste trabalho. Estes autores encontraram que nas regiões onde o fundo se apresenta lamoso, no canal próximo a desembocadura do rio Jaboatão, predominam com maior representatividade os crustáceos e os peixes da família Sciaenidae. Os invertebrados sésseis apareceram de forma mais discreta, sendo representados por Gorgonacea, Scaphopoda, bivalvos, além de poliquetas tubículas e ofiuróides da família Amphiridae. Já a área pós recifes, onde o substrato se compõe de areia grossa, destacaram-se as Rhodophyceae do grupo da família Melobesiae, em forma de talos incrustantes ou algas ramificadas livres, e as algas calcárias do grupo *Halimeda*. Essas algas calcárias servem de substrato para várias algas moles de porte reduzido. A composição desse sedimento arenoso

de detritos calcários é, provavelmente, resultado da fragmentação dessas algas (MANZO; CORREA; GUERRA, 2003). A fauna é relativamente pobre e compreende três grupos:

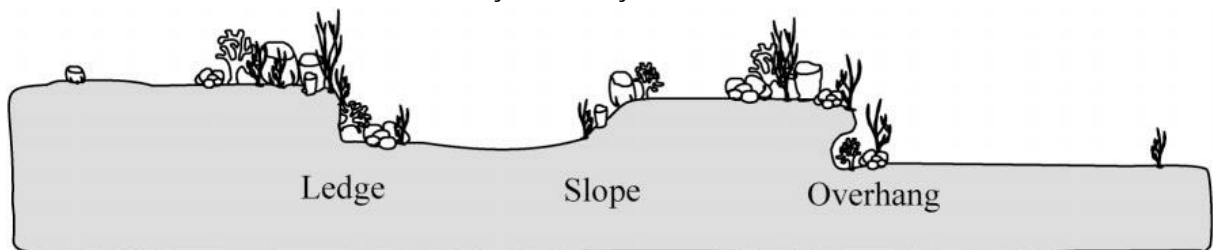
- a) as espécies associadas ao sedimento, como Madreporaria, bivalvos, equinóides, além Cephalocordata;
- b) alguma espécies associadas aos blocos de Melobesia, como o bivalvo *Plicatula gibbosa*, o poliqueta *Phragmatopoma* sp e ouriço *Eucidaris tribuloides*;
- c) espécies epífitas, crescendo sobre algas, que podem ser numericamente muito abundantes, como Hydrozoa, Bryozoa ramificados e Serpulidae.

As principais espécies de corais presentes no substrato consolidado presente nesta área de estudo foram descritas por Laborel (1967), e incluem Hydrocorallina *Millepora alcicornis* e *Millepora. cf. braziliensis*, e Madreporaria *Mussismilia hartii*, *Mussismilia hispida*, *Montastrea cavernosa*, *Siderastrea stellata*, *Agaricia agaricites* e *Porites astreoides*. Essas espécies, juntamente com as algas calcárias, contribuem ativamente para a construção dos recifes. Além disso, gastrópodes Vermitidae e algas incrustantes podem estar presentes nas partes mortas dos recifes.

A diversidade sedimentar proporcionada pelo substrato consolidado gera ambientes de maior diversidade e abundância de organismos, pois favorece o assentamento larval e fornece um ambiente seguro e estável, além de uma fonte indireta de dióxido de carbono e nutrientes (GARRISON, 2010).

Kendall *et al.* (2005) inferiu que a alta diversidade dos invertebrados sésseis ocorrem principalmente nas bordas dos recifes ou em outros locais que apresentam alterações na batimetria (Figura 21). O mesmo autor afirma que para os substratos inconsolidados as regiões colonizadas são aquelas relacionadas aos fundos que apresentam marcas de onda ou composto de material mais grosso como fragmentos de concha.

Figura 22 - Seção transversal indicando a diversidade de organismos sésseis atrelada à variação de feição do fundo.



Fonte: Kendall *et al* (2005)

A divisão da área de estudo em dois megahabitats, o consolidado e o inconsolidado, possibilita a identificação de áreas onde há maior probabilidade da ocorrência dos organismos bentônicos. Essas informações tem papel importante na caracterização da biodiversidade, como também na delimitação de áreas mais apropriadas à exploração de recursos minerais, ao turismo e lazer, e regiões de interesse das indústrias pesqueiras. Além disso, a identificação e classificação dos substratos marinhos e recursos associados permite que pesquisadores e gestores de órgãos públicos atuem de forma integrada para o planejamento e gestão do ambiente costeiro.

7 - CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados neste estudo é possível inferir os potenciais habitats da PCI de Recife seguindo a Estratégia 1 sugerida por Brown *et al* (2011), que utiliza apenas dados abióticos para o mapeamento de áreas marinhas bentônicas.

A produção do mapa preditivo de habitats utilizou uma classificação prévia que estabeleceu o nível hierárquico espacial de influência de cada fator para, posteriormente, traçar o mapa de habitats utilizando a escala espacial apropriada. Essa abordagem mostra como técnicas simples de mapeamento, que utiliza dados previamente coletados, podem levar à identificação de tipos de habitats representativos em regiões geográficas extensas.

A metodologia aplicada neste estudo é própria para mapear ambientes de larga escala espacial e se mostrou eficiente neste sentido. Todavia, apesar da densa malha de dados batimétricos que possibilitou a confecção de um modelo digital de terreno (MDT) detalhado, das análises sonográficas e das informações do diâmetro médio do grão, outras técnicas de mapeamento devem ser aplicadas a fim de se obter um maior refinamento da área e conhecimento da biota associada.

Vale ressaltar que as informações sobre a interação entre o ambiente físico e seus residentes bentônicos, disponíveis para esta região, são restritas a estudos de espécies isoladas, sendo o principal trabalho datado da década de 60. Esta lacuna é um fator importante a ser considerado para a gestão efetiva e alerta para a necessidade de fomento no suporte dos centros de pesquisa que desenvolvem projetos associados à plataforma de Recife.

8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando decisões sobre a conservação ou uso de uma determinada área devem ser tomadas, as informações sobre a biodiversidade local necessitam estar disponíveis, possibilitando o desenvolvimento de planos de manejo adequados dos recursos. No entanto, nem sempre este é o caso quando se trata dos sistemas bentônicos marinhos. Frequentemente, os dados relativos à esses ambientes são difíceis e caros de se obter e a cobertura histórica disponível é escassa quando comparada a seus equivalentes terrestres ou pelágicos.

Apesar do avanço nas técnicas utilizadas no mapeamento dos habitats, sabe-se ainda muito pouco sobre o fundo marinho. Os trabalhos realizados por pesquisadores pioneiros das décadas de 60 e 70 acerca do bentos do nordeste, principalmente para a região de Recife, não tiveram a continuidade esperada nas décadas subsequentes. A maior parte da produção literária está sob a forma de resumos ou dissertações, e poucos foram publicados em periódicos científicos de repercussão regional, nacional ou internacional. Além disso, esses trabalhos estão relacionados a determinados tipos de espécies, sem que haja ampla referência bibliográfica que descreva os organismos e seus ambientes de forma integrada.

Explorar novas maneiras de medir e entender a relação entre biota e o ambiente físico oferece uma oportunidade para enfrentar os desafios para a gestão da biodiversidade usando dados existentes e facilmente adquiridos.

Sugere-se para futuros trabalhos a utilização de equipamentos geofísicos e tecnologias como perfiladores de sub-fundo, batimetria multifeixe e uma amostragem não destrutiva (imagens e vídeos), e em maior escala de abrangência, que permitam uma caracterização mais detalhada e rápida dos habitats. Nessa perspectiva, faz-se extremamente necessário o incentivo a pesquisas que resultem em um maior refino nos dados espaciais, de identificação, caracterização, classificação e mapeamento dos habitats em níveis hierárquicos inferiores.

O presente estudo expõe a primeira tentativa de uma integração de dados geológicos, biológicos e outras informações disponíveis no momento para inferir potenciais habitats bentônicos na plataforma continental interna de Recife. Almeja-se que ele funcione como suporte para novos estudos e/ou para gestão dos usos do espaço marítimo, assim como base para o mapeamento em outras regiões submetidas a condições ambientais semelhantes.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, T. J. *et al.* A Rapid Method to Characterize Seabed Habitats and Associated Macro-organisms. 2007.
- ARAÚJO, T. C. M.; DIAS, G. T. M. *Análise Sonográfica da Plataforma Interna entre o Porto do Recife e o Estuário de Barra de Jangada*. Recife - PE: [s.n.], 2000.
- ARAÚJO, T.; SEOANE, J. C.; COUTINHO, P. N. Geomorfologia da plataforma continental de Pernambuco. In: LEÇA, E. E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; COSTA, M. F. (Org.). *Oceanografia: Um cenário Tropical*. Recife: Editora Bagaço, 2004. p. 39–57.
- ARRIGHETTI, F.; PENCHASZADEH, P. E. Macrobenthos–sediment relationships in a sandy bottom community off Mar del Plata, Argentina. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 90, n. 5, p. 933–939, 2010. Disponível em: <http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0025315409991524>.
- BAPTISTA NETO, J. A. .; ABELIN, V. R. .; SICHEL, S. *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004.
- BEAMAN, R. J.; HARRIS, P. T. Bioregionalization of the George V Shelf , East Antarctica. v. 25, p. 1657–1691, 2005.
- BIGARELLA, J. J. *Reef sandstones from Northeastern Brazil (a survey on sedimentary structures)*. . [S.l.]: Simpósio Internacional sobre o Quaternário. , 1975
- BROWN, C. J.; SMITH, S. J.; *et al.* Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 92, n. 3, p. 502–520, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2011.02.007>>.
- BROWN, C. J.; TODD, B. J.; *et al.* Image-based classification of multibeam sonar backscatter data for objective surficial sediment mapping of Georges Bank, Canada. *Continental Shelf Research*, v. 31, n. 2 SUPPL., 2011.
- BROWN, C. J. *et al.* Mapping seabed biotopes using sidescan sonar in regions of heterogeneous substrata: Case study east Of the Isle Of Wight, English Channel. *International Journal of the Society for Underwater Technology*, v. 26, n. 0141 0814, p. 27–36, 2004.
- BROWN, C. J. *et al.* Mapping seabed habitats in the Firth of Lorn off the west coast of Scotland : evaluation and comparison of habitat maps produced using the acoustic ground-discrimination system , RoxAnn , and sidescan sonar. *Journal of Marine Science*, v. 802, p. 790–802, 2005.
- CAMARGO, J. M. R. *et al.* Topographic features related to recent sea level history in a sediment-starved tropical shelf: Linking the past, present and future. *Regional Studies in Marine Science*, v. 2, p. 203–211, 2015.
- COSTA, M. B. S. F. *et al.* Influence of reef geometry on wave attenuation on a Brazilian coral reef. *Geomorphology*, v. 253, p. 318–327, 2016.
- COUTINHO, P. DA N. *Levantamento do Estado da Arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil*. . [S.l: s.n.], 2000.
- COUTINHO, P. N.; MORAES, J. O. Distribution de los desimentos en la plataforma norte-nordeste do Brasil. *Symposium on Investigations and Resources of the Caribbean Sea and Adjacent Regions*. [S.l.]: UNESCO, 1968. p. 261–284.
- DARWIN, C. On a remarkable Bar of Sandstone off Pernambuco, on the Coast of Brazil. *Philosophical Magazine and Journal of Science*., v. 19, p. 257–260, 1841.
- DIAZ, R. J.; SOLAN, M.; VALENTE, R. M. A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. *Journal of Enviromental Management*, v. 73, p. 165–181, 2004.

DOMINGUEZ, J. M. L. *et al.* *Geologia do Quaternário Costeiro do Estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Geociências*. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-75549087467&partnerID=40&md5=97c9c0ab11554e9641ef5f6c216f1763>>. , 1990

DUNN, D. C.; HALPIN, P. N. Rugosity-based regional modeling of hard-bottom habitat. *Marine Ecology Progress Series*, v. 377, n. Leslie 2005, p. 1–11, 2009.

FERREIRA JR., A. V.; ARAÚJO, T. C. DE M.; COLTRINARI, L. Ambientes de Formação, Processos de Cimentação de Arenitos de Praia e Indicadores de Variações do Nível do Mar. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, p. 938–960, 2011.

FERREIRA JR, A. V. *Mapeamento e estudo petrológico de arenitos de praia (beachrocks): evidências da variação do nível do mar no Holoceno, na costa central de Pernambuco*. 2010. 1-146 f. University Federal of Pernambuco, 2010.

FERREIRA JR, A. V.; ARAÚJO, T. C. M.; SIAL, A. N. Gênese dos arenitos de praia no litoral de Pernambuco interpretada através de estudos isotópicos. *Quaternary and Enviromental Geosciences*, v. 4, p. 9–16, 2013.

FERRIER, S.; GUIBAN, A. Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*, v. 43, n. 3, p. 393–404, 2006.

FINEP/UFPE. Monitoramento Ambiental Integrado - MAI-PE. Recife-PE, Brasil: Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, 2009. v. 1, 2 e 3. p. 485.

FOLK, R. R. L.; WARD, W. W. C. *Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters. SEPM Journal of Sedimentary Research*. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://archives.datapages.com/data/sepm/journals/v01-32/data/027/027001/0003.htm>>
<<http://search.datapages.com/data/doi/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>>. , 1957

FREIRE, G. S. S. ; *et al.* Sedimentologia e Morfologia da Margem Continental do Nordeste do Brasil. In: HAZIN, F. H. . (Org.). . *Meteorologia e Sensoriamento Remoto, Oceanografia Física, Oceanografia Química e Oceanografia Biológica*. Fortaleza: Program REVIZEE - SCORE Nordeste, 2009. p. 217–244.

FREITAS, R. *et al.* Sea-bottom classification across a shallow-water bar channel and near-shore shelf , using single-beam acoustics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 65, p. 625–632, 2005.

FREITAS, R. *et al.* Validation of soft bottom benthic habitats identified by single-beam acoustics. *Marine Pollution Bulletin*, v. 53, p. 72–79, 2006.

GARRISON, T. *Fundamentos de oceanografia*. 4ª ed. São Paulo: CENGAGE Learning, 2010.

GERLING, C. *et al.* *Manual de ecossistemas marinhos e costeiros para educadores*. 1. ed. Santos - SP: [s.n.], 2016.

GREENE, H. G. *et al.* A classification scheme for deep seafloor habitats. *Oceanologica Acta*, v. 22, n. 6, p. 663–678, 1999.

GREENE, H. G. *et al.* Construction of Digital Potential Marine Benthic Habitat Maps using a Coded Classification Scheme and its Application. *Systems Research*, p. 145–160, 2007.

GUIMARÃES, T. . *et al.* Beachrocks of Southern Coastal Zone of the State of Pernambuco (Northeastern Brazil): geological resistance with history. *Geoheritage*, v. 8, p. 80–88, 2016.

HARRIS, P. T. From seafloor geomorphology to predictive habitat mapping: progress in applications of biophysical data to ocean management. *Special paper*, p. 1–6, 2012.

HARRIS, P. T. *et al.* Geomorphology of the oceans. *Marine Geology*, v. 352, p. 4–24, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2014.01.011>>.

HARRIS, P. T.; BAKER, E. K. Why Map Benthic Habitats? *Seafloor Geomorphology*

as *Benthic Habitat*, p. 3–22, 2012.

HEAP, A. D. Classifying Australia's seascapes for marine conservation. *AusGeo News*, n. 84, p. 1–6, 2006. Disponível em: <<http://www.ga.gov.au/ausgeonews/ausgeonews200612/conservation.jsp>>.

HUANG, Z.; BROOKE, B. P.; HARRIS, P. T. A new approach to mapping marine benthic habitats using physical environmental data. *Continental Shelf Research*, v. 31, n. 2 SUPPL., p. 4–16, 2011.

HUVENNE, V. A. I. Ñ.; BLONDEL, P.; HENRIET, J. Textural analyses of sidescan sonar imagery from two mound provinces in the Porcupine Seabight. *Marine Geology*, v. 189, p. 322–341, 2002.

KEMPF, M.; MABESOONE, J. M.; TINOCO, I. M. Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil). *Trabalhos Oceanograficos Universidade Federal de Pernambuco*, v. 9, n. 11, p. 125–148, 1967.

KENDALL, M. S. *et al.* Benthic Mapping Using Sonar , Video Transects , and an Innovative Approach to Accuracy Assessment : A Characterization of Bottom Features in the Georgia Bight. *Jornal of Coastal Research*, v. 21, p. 1154–1165, 2005.

KENNY, A. J. *et al.* An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification. *Journal of Marine Science*, v. 60, n. 3, p. 411–418, 2003.

KLOSER, R. J.; WILLIAMS, A.; BUTLER, A. Exploratory surveys of seabed habitats in Australia's deep ocean using remote sensing - needs and realities. 2002.

KOSTYLEV, V. E. *et al.* Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs. *Marine Ecology Progress Series*, v. 219, p. 121–137, 2001.

LABOREL, J. A revised list of Brazilian Scleractinian corals and description of a new species. *Postilla*, v. 107, p. 1–14, 1967.

LABOREL, J. Note préliminaire sur les récifs de grès et les récifs de coraux dans de Nord-Est brésilien. *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, v. 37, p. 341–344, 1965.

LECOURS, V. *et al.* A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 20, n. 8, p. 3207–3244, 2016.

LEWIS, K. B. Sediments on the continental shelf and slope between Napier and castlepoint, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, v. 7, n. 3, p. 183–208, 1973. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00288330.1973.9515466>>.

MAIDA, M.; FERREIRA, B. P. Coral reefs of Brazil: an overview. *Proceedings of 8th International Coral Reef Symposium*. Panama: [s.n.], 1997. p. 263–274.

MANSO, V.; CORREA, I.; GUERRA, N. Morfologia e sedimentologia da Plataforma Continental Interna entre as Praias Porto de Galinhas e Campos-Litoral Sul de Pernambuco, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, v. 30, n. 2, p. 17–25, 2003. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/22603>>.

MCARTHUR, M. A. *et al.* On the use of abiotic surrogates to describe marine benthic biodiversity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 88, n. 1, p. 21–32, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2010.03.003>>.

MCT/UFPE. Mapeamento sonográfico e batimétrico da Plataforma Continental Interna adjacente aos municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes-PE para a caracterização da dinâmica erosiva da região - MAPLAC. Recife-PE, Brasil: Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, 2010. p. 32.

MONTEREALE GAVAZZI, G. *et al.* Evaluation of seabed mapping methods for fine-scale classification of extremely shallow benthic habitats - Application to the Venice Lagoon, Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 170, p. 45–60, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.014>>.

MUEHE, D. Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla

Costeira para fins de Gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 2, n. 1, p. 35–44, 2001.

NYBAKKEN, J. W. *Marine Biology: an ecological approach*. 5th ed. ed. San Francisco: [s.n.], 2001.

OTTMANN, F. Estudo das amostras do fundo recolhidas pelo N. E. “Almirante Saldanha”, na região da embocadura do Rio Amazonas. *Tropical Oceanography*, v. I, p. 77–106, 1959.

POST, A.; WASSENBERG, T.; PASSLOW, V. Mapping marine diversity. *AusGeo News*, n. 84, p. 1–6, 2006.

R CORE TEAM. *R-A language and environment for statistical computing*. . Austria: Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. , 2016

RANASINGHE, R.; TURNER, I. L. Shoreline response to submerged structures: A review. *Coastal Engineering*, v. 53, n. 1, p. 65–79, 2006.

ROFF, J. C.; TAYLOR, M. E.; LAUGHREN, J. Geophysical approaches to the classification , delineation and monitoring of marine habitats and their communities. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater ecosystems*, v. 90, n. January 2001, p. 77–90, 2003.

ROLLNIC, M.; MEDEIROS, C.; FREITAS, I. Coastal Circulation Along The Southern Metropolitan Region of Recife , Northeastern Brazil . *Journal Coastal Research*, n. 64, p. 135–138, 2011.

SCHLACHER, T. High resolution seabed imagery as a tool for conservation planning on continental margins. *Marine Ecology*, v. 31, n. 2010, p. 200–221, 2010.

SOLAN, M. *et al.* Towards a greater understanding of pattern , scale and process in marine benthic systems : a picture is worth a thousand worms. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 285–286, p. 313–338, 2003.

SUGUIO, K. *Dicionário de Geologia Marinha*. São Paulo: Ed. T. Queiroz, 1992.

SUGUIO, K. *Introdução à sedimentologia*. [S.l.: s.n.], 1973.

VALENTINE, P.; TODD, B. R. J.; KOSTYLEV, V. Classification of Marine Sublittoral Habitats , with Application to the Northeastern North America Region. *American Fisheries Society Symposium*, v. 41, p. 183–200, 2005.

VAN LANCKER, V.; FOSTER-SMITH, B. How do I make a map? *MESH Guide to Habitat Mapping*. Peterborough: MESH Project, 2007. p. 1–77. Disponível em: <<http://www.searchmesh.net/default.aspx?page=190>>.

VOUSDOKAS, M. I.; VELEGRAKIS, A. F.; PLOMARITIS, T. A. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. *Earth-Science Reviews*, v. 85, n. 1–2, p. 23–46, 2007.

WILLIAMS, A.; BAX, N. J. Delineating fish-habitat associations for spatially based management: An example from the south-eastern Australia continental shelf. *Marine and Freshwater Research*, v. 52, n. 4, p. 513–536, 2001.

WORM, B. *et al.* Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, v. 314, n. 5800, p. 787–790, 2006.

YOOL, A.; FASHAM, M. J. R. An examination of the “continental shelf pump” in an open ocean general circulation model. v. 15, n. 4, p. 831–844, 2001. Disponível em: <<http://eprints.soton.ac.uk/6008/>>.

ZEMBRUSCKI, S. J. *Sedimentos da plataforma continental do Brasil*. [S.l.]: XXII Comissão oceanográfica Noc. Almirante Saldanha. Dir. Hidrogr. Naveg. DG 26- X, 1967.

ANEXO

CAPÍTULO 2 - GEOMORPHOLOGY OF THE INNER CONTINENTAL SHELF OF RECIFE/PE, BRAZIL, AND ITS INFLUENCE ON SUBSTRATE TYPES.

Sena, T.O.^a, Camargo, J.M.R.^a, Araújo, T.C.M.^a

^aDepartamento de Oceanografia, Universidade Federal do Pernambuco, Av. Arquitetura, s/n, 50740-530, Recife, PE, Brazil

Keywords: sediments; beachrocks; side scan sonar imagery; tropical waters

ABSTRACT

Beachrocks are, undoubtedly, the most typical example of tropical coastal environments, and their presence on inner continental shelves may influence coastal processes such as wave energy dissipation, sedimentary transport, and the distribution of bottom types. Based on hydroacoustic and sedimentological data, as well as a cluster analysis, the present work aimed at characterizing the seafloor of the inner continental shelf of the central sector of the coast of the state of Pernambuco (NE Brazil) in addition to discuss the influence of morphology on the distribution of substrate types. The results indicated that the presence of submerged beachrocks in the inner continental shelf controls the sediment distribution, trapping fine sands and mud. This peculiarity must be considered in the control and prevention of erosive processes, as well as in the implementation of measures to recover the beach environment, in light of the predictions of sea level rise due to current climate changes.

1. Introduction

Along the last decade a larger number of geomorphic techniques have been applied to characterize the seafloor geomorphometry, from the coastal zone to the deep sea (LECOURS *et al.*, 2016; MONTEREALE GAVAZZI *et al.*, 2016). Research and mapping seafloor are essential for proper management of maritime ecosystems, in order to establish their geographical location, extent and condition (BROWN *et al.*, 2011). Among the other purpose for mapping the submerged areas, the most important are: (1) to support government spatial marine planning, management, and decision making; (2) to support the design of marine protected areas (MPAs); and (3) to conduct living and non living sea bed resource assessments for economic and management purposes, including the design of fishing reserves (HARRIS, P. T.; BAKER, 2012).

Among the ecosystems of the ocean, those located in the continental shelf are the most productive ones, including a varied number of living and non-living natural resources (YOOL; FASHAM, 2001). Although it occurs on a relatively small surface, 8.91% of the oceans (HARRIS, P. T. *et al.*, 2014), its scientific and economic importance is high, constituting a delicate ecological balance. However, the marine environment is coming under increasing pressures around the world. For example, fishing, mining, pollution and other human activities cause serious damage to seabed ecosystems and reduce benthic biodiversity (BROWN, CRAIG J.; SMITH; *et al.*, 2011).

Substrate type and bottom morphology are examples of geophysical parameters that influence the distribution of benthic habitats. In the case of sediments, this distribution is controlled by several environmental factors, such as the availability of organic matter and oxygen, sedimentation rate and hydrodynamics (HUANG; BROOKE; HARRIS, 2011; KOSTYLEV *et al.*, 2001). The acquisition and processing of these parameters, in most cases, can be done more quickly and efficiently than the biological data. Therefore, the use of physical data to represent the different types of benthic habitats has been widely used in marine mapping (HARRIS, P. T.; BAKER, 2012).

One of the main features of the northeastern Brazilian coast is the peculiar characteristic of coral reef and beachrocks growth parallel to the main shoreline axis (DOMINGUEZ *et al.*, 1990; LABOREL, J., 1965; MAIDA; FERREIRA, 1997). Despite the presence of these substrate and their potential effect on coastal dynamics and distribution of

substrate types, little attention has been given to their role in transforming the incoming waves and how it can influence the distribution of benthic habitats.

The first data regarding the PCS morphology dates back the mid 50s of the past century (COUTINHO; MORAES, 1968; OTTMANN, 1959; ZEMBRUSCKI, 1967). However, in a geological expedition along the Brazilian coast, in the city of Recife, Darwin (1841) already describes the extensive reef structures parallel to the beach. Kempf et al. (1967), in turn, delimited the different types of bottom in the shelf off Recife relating them to the fisheries resources.

During recent decades, the northeastern Brazilian coast has faced many erosion problems. In the last decade, projects were carried out in the area with the objective of mapping the inner continental shelf, as well as raising subsidies for the problem of coastal erosion. For example, in 2009 the Project Integrated Environmental Mapping (MAI) report was finalized, whose main objective was to evaluate the coastal erosion processes in the Paulista, Olinda, Recife and Jaboatão dos Guararapes beaches (FINEP/UFPE, 2009). This project also collected bathymetry, sonography and sediment data on the inner continental shelf, in order to map and detail the seafloor features. In addition to the MAI project, another project was carried out in order to corroborate the previously cited project was MAPLAC, which also analyzed sedimentological, sonographic and bathymetric data from the continental shelf of Recife (MCT/UFPE, 2010)

Thus, using data acquired in the referred projects, the aim of this study is to perform a more detailed characterization of the morphological features present in the inner continental shelf of Pernambuco, as well as the influence of this morphology on the distribution and characteristics of the substrate types.

2. Regional setting

The study area comprises the inner continental shelf adjacent to the coast of the municipalities of Recife and Jaboatão dos Guararapes, in the state of Pernambuco (NE Brazil), being limited to the north by the Port of Recife and to the south by the mouth of the Jaboatão River (Fig. 01).

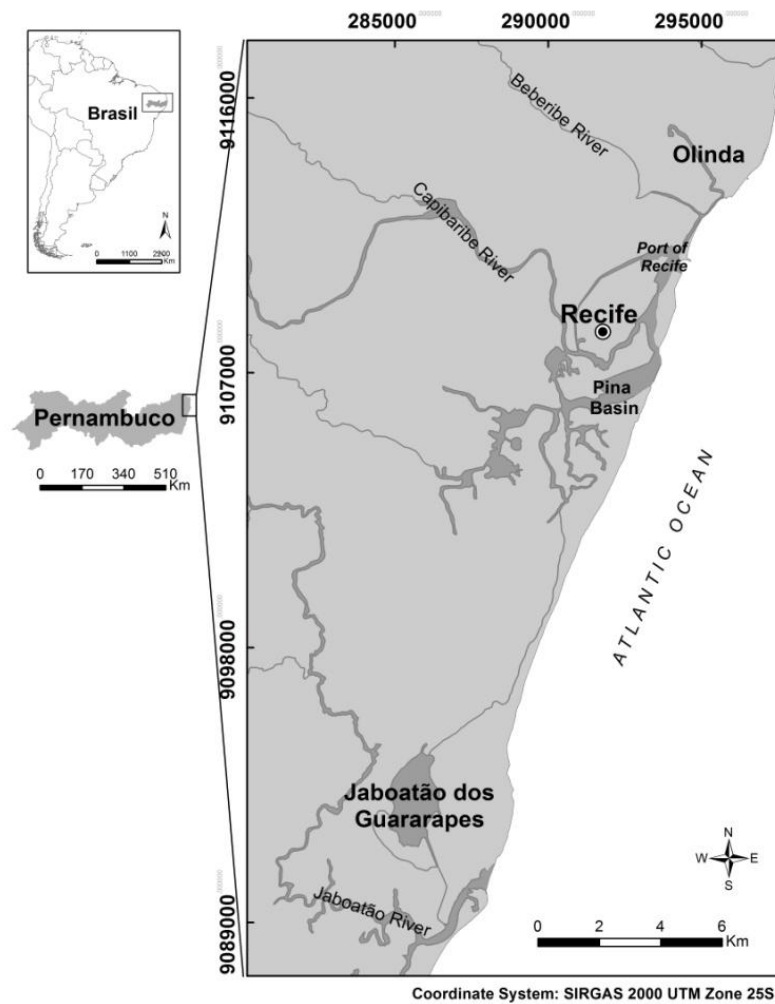


Figure 023 : Study area.

The Pernambuco Continental Shelf (PCS) is part of the Eastern Brazilian Continental Margin, being therefore characterized by a small width, with an average value of only 34 km and its break located around 60 meters deep (ARAÚJO; SEOANE; COUTINHO, 2004; BAPTISTA NETO; ABELIN; SICHEL, 2004). Since the end of the last century, this continental shelf is divided into three sectors, according to its morphological characteristics

and the distribution of its sediments: inner shelf (up to 20 meters deep), middle shelf (from 20 to 40 meters) and outer shelf (from 40 to 60 meters) (COUTINHO, 2000; FREIRE *et al.*, 2009). The low rate of continental erosion and marine sedimentation, associated with structural factors in the area, may be responsible for the reduced width of the PCS, while its shallow depth is attributed to the inefficiency of marine processes in the last geological periods (MANZO; CORREA; GUERRA, 2003).

The tides in the region are classified as semidiurnal, with a mean spring and neap tidal range of 2.07 and 0.97 meters, respectively. From September to February, southeast winds with average speeds of 2.6 m/s to 4 m/s prevail (FINEP/UFPE, 2009). Weaker east-northeast winds are more frequent during November and December. The offshore wave climate is mainly controlled by the trade winds, with east-southeast dominance, though during fall and winter, waves from the south are also present.

Beachrocks are, undoubtedly, the most remarkable morphological feature in the coast of Pernambuco (GUIMARÃES *et al.*, 2016). Generally, these features occur as parallel lines to the coast, acting as consolidated substrate for the development of corals and algae. Furthermore, beachrocks are an effective protection for the beach because they absorb a considerable part of the waves incident energy, even though they are completely submerged (FINEP/UFPE, 2009; MANZO; CORREA; GUERRA, 2003, COSTA *et al.*, 2016).

With respect to terminology, there is still no consensus among authors about the term "beachrock". Since these sedimentary structures are characteristic of the foreshore, Bigarella (1975) suggested the term "reef sandstone". Dominguez *et al.* (1990), on the other hand, arguing that the term reef, from the sedimentological point of view, would be associated with an organic construction, proposed the denomination of "sandstone banks" for these bodies. Finally, Suguio (1992) suggested the term "rocky reef". In this paper, was chosen preferentially the use of the term "beachrock", suggested by (FERREIRA JR; ARAÚJO; SIAL, 2013) that carried out the morphological and petrological study these structures in the coastal zone and inner continental shelf of Pernambuco.

Finally, it is worth mentioning that the state of Pernambuco is the Brazilian state with the highest demographic density at the coastal zone and the beaches in the stretch of coast studied have a high rate of urbanization and are under severe erosion (COSTA *et al.*, 2016; ROLLNIC; MEDEIROS; FREITAS, 2011).

3. Material and methods

The dataset used in this work was composed of hydroacoustic and sedimentological data, collected in the scope of the MAI and MAPLAC projects, covering an area of 90,41km² (Fig. 02).

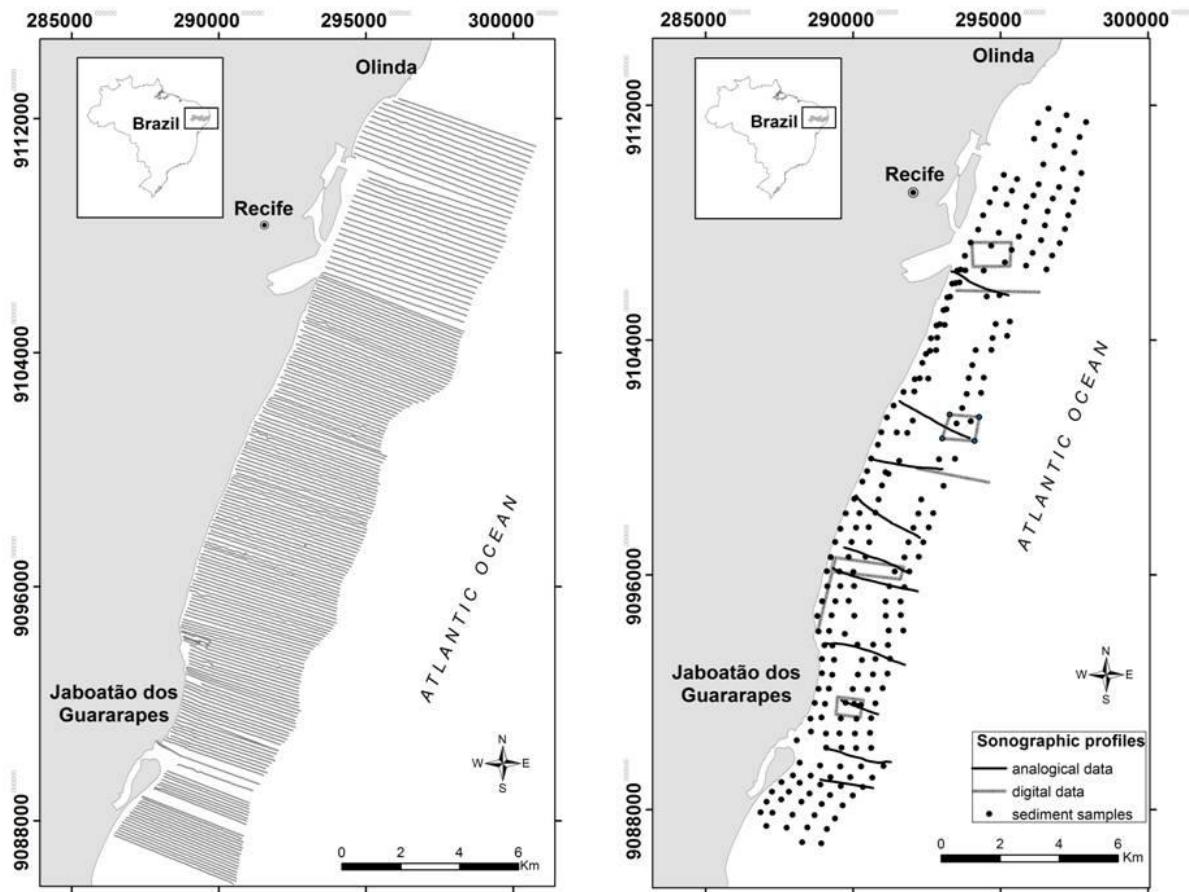


Figure 024: Location of 204 bathymetric profiles (left map), 240 superficial sediment samples and side scan sonar data (right map).

The bathymetric data were collected using an echosounder GARMIN 298 Sounder (200 kHz) integrated to the Sea Scan PC side scan sonar system (600 kHz) along 204 profiles perpendicular to the shore and located between the outer edge of surf zone and the 20 meters isobaths. In most of the study area, the spacing between the profiles was 100 meters, but in the northern portion of the area, this spacing was 200 meters.

All bathymetric data (99.489 points) were submitted to a natural neighbor interpolation method to generate a raster surface with 60m cell size (ArcMap 10.1). Each

bathymetric profile was also submitted to a linear interpolation, in order to generate values of depths every 5 meters (MATLAB). After this, a cluster analysis (PRIMER 6) was performed based on the morphological similarity between the profiles. The Euclidean distance was applied to elaborate the dissimilarity matrix, then the hierarchical grouping of the profiles was represented graphically through a dendrogram that allowed to identify morphologically distinct sectors.

In order to investigate the mean grain size, a total of 240 sediment samples were collected (Figure 02) using a Van Veen grab sampler and analyzed according to Suguio (1973), in the Laboratory of Geological Oceanography (LABOGEO), of the Federal University of Pernambuco. After a dry sieving process, the results were analyzed by the SYSGRAM software and the sediment samples was classified according to Folk & Ward (1957).

The collection of sonographic data (Fig. 2) was obtained from two different sources: The first data series were performed in November 1998, using an EGC260 side scan sonar, RAYTHEON echo sounder and a Garmin DGPS positioning system, model SURVEYOR II (ARAÚJO; DIAS, 2000). The second acquisition occurred in April of 2008, using a CENTURION side scan sonar from Marine Sonic Technology (FINEP/UFPE, 2009). The digital acoustic images were submitted to digital filters for the reduction of electrical and acoustic noise and also assembled in mosaics (Sonar WizMap 4) that represented the seafloor in order to allow the differentiation of consolidated and unconsolidated substrates.

The characterization of the seafloor involved the integration of the bathymetric, sedimentological and side scan sonar data. At this stage of the work, the assumption was made that the arrangement of the consolidated substrates has the potential to influence the distribution of the unconsolidated substrates. In this sense, a map of the distribution of substrate types was made based on all available data, in order to provide subsidies for the discussion about the influence of the study area morphology on the distribution of substrate types and their environmental and socio-economical implications.

4. Results

The DEM generated through the interpolation of the bathymetric data allowed the visualization of the morphology of the study area, evidencing the occurrence of the consolidated substrates, as positive reliefs (Fig. 03). The cluster analysis indicated the occurrence of two main groups with 62% dissimilarity between them (Fig. 04), reinforcing the interpretation that beachrocks are arranged in different configurations along the area.

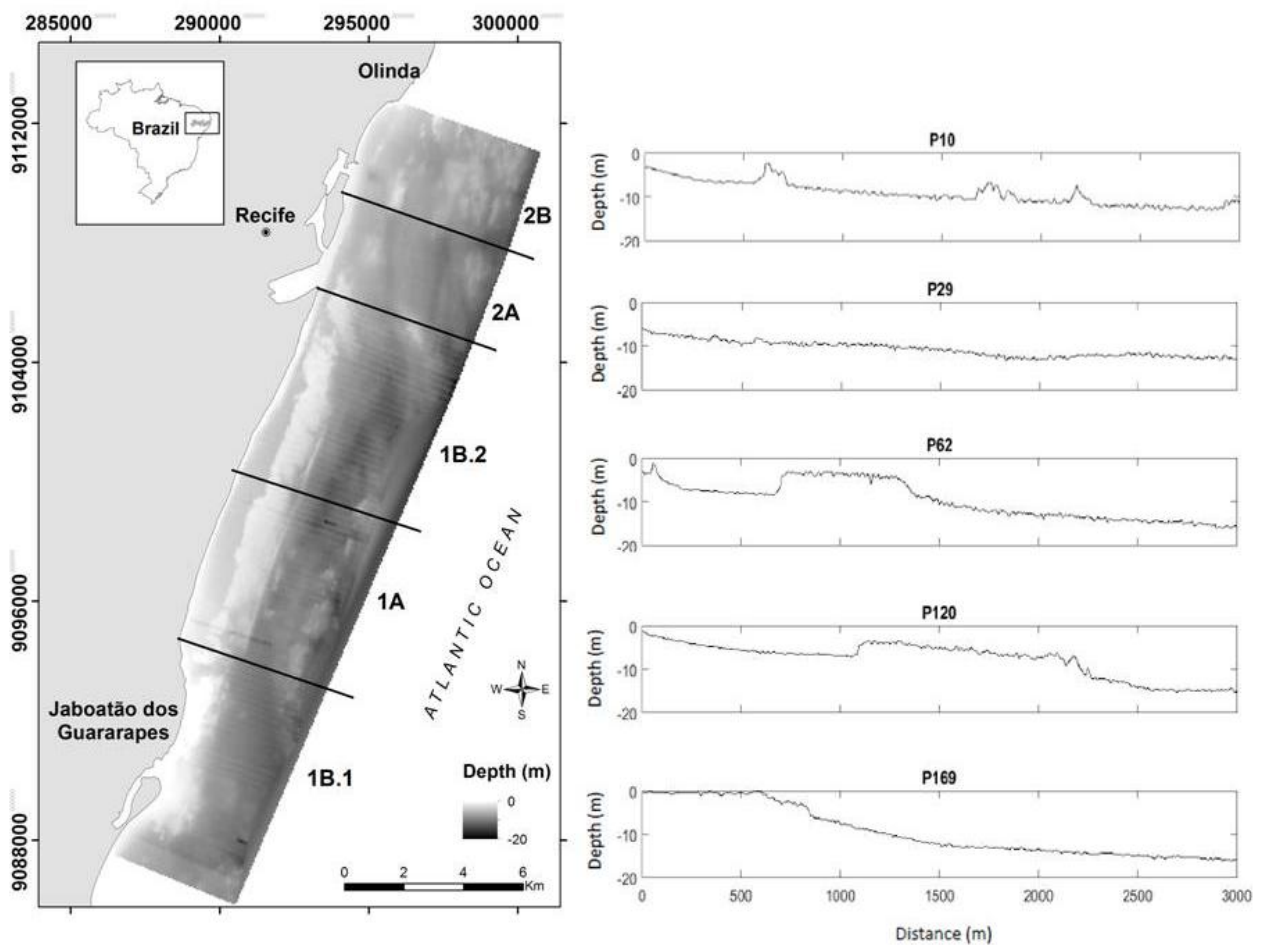


Figure 025: DEM and groups defined by the cluster analysis (right) and the typical profiles for each group.

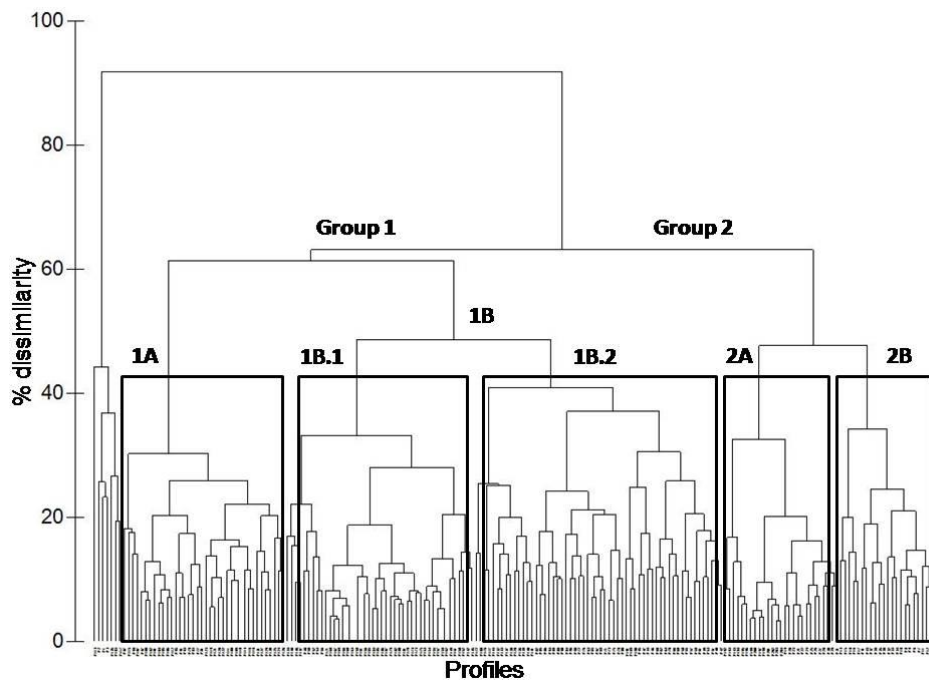


Figure 026 : Index cluster analysis dendrogram (Euclidian distance dissimilarity) showing associations among 204 profiles along the study area.

In the northern sector, they are distributed in patches and with reduced dimensions, in comparison to the beachrocks in the central and southern sectors of the study area. They vary greatly in size and are distributed apart, without a connection between them. The distance to the coast varies from 1500 to 5600 meters and the depth from 5 to 16 meters, therefore not reaching the surface.

In turn, the central sector had an irregular and complex surface, displaying two notorious forms in relief. One of them is a extensive reef which is at a distance of about 1 km from the coastline and is arranged in the form of barrier reef. Another feature is the channel, situated among these reef and the beach. Along this region, both of them present variations in height, extension, width and depth. This positive relief, represented by beachrock (FERREIRA JR; ARAÚJO; SIAL,2013), exhibit average height of 4m, 1280m of width and 17km of extension. The negative relief (channel) has an mean depth of 6.40 m and an approximate width of 430 m.

The southern sector is located in front of the mouth of the Jaboatão River and presents reef in the form of fringing. They are extensive reef banks that are very close to the coast, reaching 1km of width, having extremely shallow regions that remained exposed during the low tides.

Through the intensity of reflected acoustic energy in the acoustic images generated by Sonar WizMap, it was possible to identify and differentiate areas that presented consolidated and unconsolidated substrates. As regards the morphology of the bottom and the texture of the sediments, it can be said that these respond differently to the acoustic signal, reflecting information that can be accurately distinguished.

The unconsolidated substrates found throughout the study area are represented by long stretches almost without variation of the chromatic tonality (echoes of reflection) (Fig. 05). The consolidated substrates, also were found in almost the entire study area, as already mentioned in the results of bathymetry. These features respond visually by the good reflection of the acoustic signal, and were observed in great part of the acoustic images.

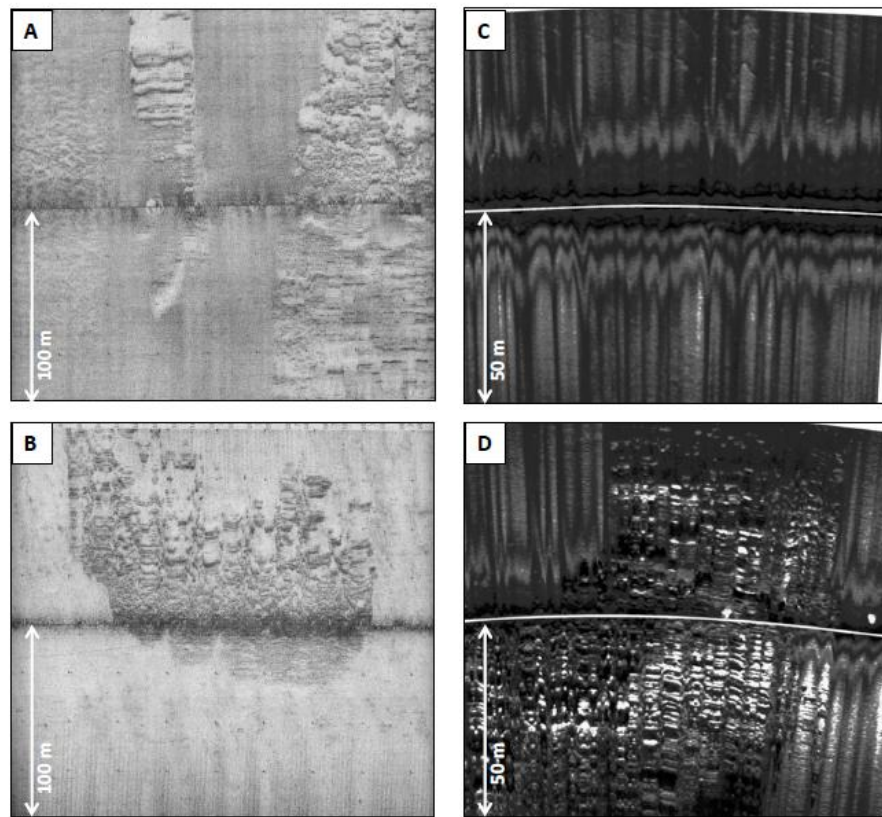


Figure 027: Analogical (A and B) and digital (C and D) sonograms acquired in the study area and used for characterization and delimitation of the substrate types.

Analyses of the mean grain sediments spatial distribution suggests that this parameter is controlled by the beachrocks presence (Fig. 06). Along the channel, the surface is covered by fine sand, predominantly, which corresponds to 23% of the samples. From the outer edge

of the beachrocks towards the sea, the sediment is composed of coarse sand (39% of the samples), representing most of the sediment covering the total area. Only 3% of the samples correspond to mud, which is arranged occasionally in the channel. Gravel also presents a low occurrence in the area (2.5%), being evident only near the Port of Recife, where the beachrocks occur in a patchy pattern. Finally, the middle sand was present in small portions near the mouth of the Jaboatão river and Port of Recife (10%). The next figure indicate the spatial distribution of each substrate type, evidencing the occurrence of beachrocks (consolidate substrate), which correspond to 32,5% of surveyed area (Fig. 06). The figure points out that the coarse sand is better distributed along the area, when compared to the other types of substrate.

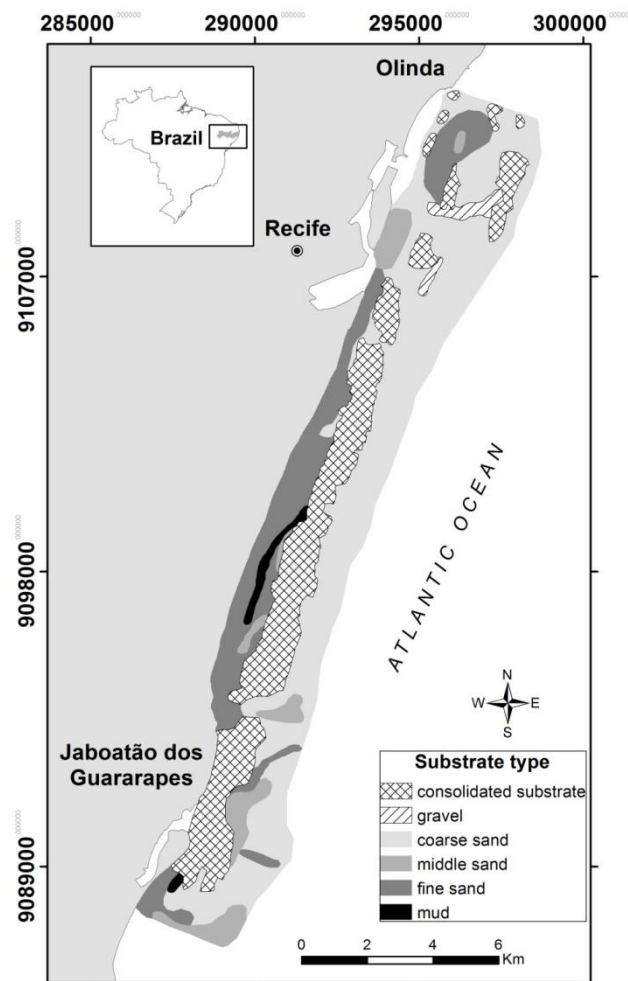


Figure 028: Spatial distribution of the substrate types indicating the trapping of mud and fine sand in the central sector.

5. Discussion

The DEM demonstrated that the study area presents morphological elongated feature and parallel to the coast with varying extension and width, representing the typical pattern of beachrocks found along the Brazilian northeastern coast (COSTA *et al.*, 2016). The formation of beachrocks in this region is related with characteristics common in tropical marine environments, such as CaCO_3 supersaturation, high water temperature, mesotidal regime that generates a dry and humid environment cycle and favors the precipitation of calcium carbonate, as reported by Ferreira Jr. *et al.* (2011).

The mean grain size of sediments varies from mud to gravel. Generally, the sediment particles are transported by the energy of waves and currents, affecting the sea bottom and the shoreline (RANASINGHE; TURNER, 2006; VOUSDOKAS; VELEGRAKIS; PLOMARITIS, 2007). In shallow waters, such as inner continental shelves, the waves have a larger impact on the bottom compared to the open ocean. Only middle and coarse sand and gravel can be deposited on the beach or in the nearshore zone. Seawater becomes increasingly calm with depth. Seaward, the bottom energy induced by waves decreases with depth. This causes a decreasing grain size with distance offshore (LEWIS, 1973).

Freitas *et al.* (2005), in study carried out on the continental shelf of Aveiro (Portugal), reported that the diminishing of the sediment particle size occur towards the shelf. The distribution of the superficial sediments in the entrance channel and the adjacent near-shore shelf well represent the prevailing hydrodynamic forces, with coarse sand and gravel on the navigation channel, medium sand at the entrance and fine sand on the shelf.

However, the mean grain size distribution in this study does not follow the distribution pattern found in most of the continental shelves. In this way, mean grain size increases with depth. Fine sand is predominant in the channel, with few mud spots southward. Middle sand was found mainly near to the Port of Recife and next to the mouth of Jaboatão River. Seaward the beachrock, there is a predominance of coarse sand (Fig. 06). The relation between the mean grain size and depth clearly shows that there is no sediment transfer between the inner and outer beachrock edge. Beachrock in the coast of Recife function as a barrier that confines the finer sediments near the shoreline, while the thicker sediments is distributed seaward. This is the main evidence of the morphological influence in the distribution of the substrate types.

The fact that beachrocks act as a barrier in the sedimentary flow can still be proven when we analyze the northern portion of the study area. At this site there is no connection between the reefs, and coarse sand is found in the deeper areas (20 m isobath) and in shallow waters near the coast. Another indication is evidenced in the region of the Port of Recife, where it is possible to perceive the presence of the coarse sand. Probably, this coarse sand came towards the beach through the gap between the reefs.

Sonographic data were efficient in identifying features for a broad spatial scale, like described by Greene *et al.* (2007), Huvenne *et al.* (2002) and Kenny *et al.* (2003). Consolidate and unconsolidated substrates can clearly be delineated from acoustic textures alone. The reflectance of the acoustic signal varied according to the thickness of the sediment. Thicker sediments reflected higher amounts of energy, while the finer sediments showed higher absorbance. The unconsolidated substrates (mud, fine sand, coarse sand and gravel) were found throughout the study area and were represented by long stretches with almost no variation of the chromatic tonality (reflection echoes), showing a homogeneous and low return pattern of the acoustic signal. The beachrocks had a large occurrence in the study area and showed more intense acoustic signals than images of sand or mud areas. These observations are similar to those carried out by Kendall *et al.* (2005), that found the same acoustic patterns on the coast of Georgia.

The morphological characteristics of reefs in the area also results in a impact on wave attenuation. According to Muehe (2001), the inner continental shelf is characterized by the intensification of hydrodynamic processes and by wave energy dissipation. Costa *et al.* (2016) calculated for litoral of Recife a attenuation of incident wave energy up to 67% of the barrier reef and 99.9% of the fringing reef caused by the reef structure at low tide. Rollnic *etal.* (2011) performed numerical simulation to analyze the predominance of currents on Boa Viagem beach, in Recife. The author concluded that near the shore the presence of the reef lines modify the coastal circulation. The continuous reefs lines tends to acts as seawall when the currents and waves approach them nearly frontal, contributing to shore protecting.

Therefore, the morphological features in the inner continental shelf of Recife affects significantly the sediments distribution, that is controlled by the beachrock and channel presence in the area, like reported by Freitas *et al.* (2006). Benthic marine organisms have a preference for certain types of substrate. Thus, sediment distribution directly influences the distribution of benthic habitats. In addition, the presence of the beachrocks is also related to hydrodynamic processes in the coastline, being responsible for coastal erosion and sedimentation processes.

6. Conclusions

The results found in this study indicate that the internal continental shelf is heterogeneous in its morphology and distribution of sediments, as well as the type of substrate found in the region. It is possible to perceive the influence that the submerged beachrock line exerts on the transfer of sediments that are outer and inner edge of the same. The sediments present few variation in their sedimentological characteristics from north to south. The most significant variety occurs perpendicular to the shoreline.

The study area presents peculiar and diverse morphological characteristics, since in only 27 km² of extension there are consolidated substrates in fringe, barrier and patches forms. According to previous works, this morphological diversity influences hydrodynamic processes (currents and waves) responsible for transport and deposition of sediments along the area. The data presented here indicate that, without doubt, the spatial configuration of beachrocks control the distribution of the types of bottom.

The local context, that is, fine sediments imprisoned in a narrow strip corresponding to the channel between the beach and beachrock, presents a peculiar pattern of sedimentary distribution. This peculiarity must be considered in the control and prevention of erosive processes, as well as in the implementation of measures to recover the beach environment, in light of the predictions of sea level rise due to current climate changes.

Acknowledgements

This study was funded by the Brazilian Ministry of Science, Technology and Innovation and FINEP Innovation and Research through the following research projects: Monitoramento Ambiental Integrado da Erosão Costeira nos Municípios do Recife, Olinda, Paulista e Jaboatão dos Guararapes (MAI) and Contribuição do Mapeamento Sonográfico e Batimétrico da Plataforma Continental Interna Adjacente aos Municípios de Recife e Jaboatão Dos Guararapes-PE para a Caracterização da Dinâmica Erosiva da Região (MAPLAC). We would also like to thank the Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) for their financial support for Thaise Sena Oliveira and the LABOGEO group from the Universidade Federal de Pernambuco.

References

- ANDERSON, T. J. *et al.* A Rapid Method to Characterize Seabed Habitats and Associated Macro-organisms. 2007.
- ARAÚJO, T. C. M.; DIAS, G. T. M. *Análise Sonográfica da Plataforma Interna entre o Porto do Recife e o Estuário de Barra de Jangada*. . Recife - PE: [s.n.], 2000.
- ARAÚJO, T.; SEOANE, J. C.; COUTINHO, P. N. Geomorfologia da plataforma continental de Pernambuco. In: LEÇA, E. E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; COSTA, M. F. (Org.). . *Oceanografia: Um cenário Tropical*. Recife: Editora Bagaço, 2004. p. 39–57.
- ARRIGHETTI, F.; PENCHASZADEH, P. E. Macrobenthos–sediment relationships in a sandy bottom community off Mar del Plata, Argentina. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 90, n. 5, p. 933–939, 2010. Disponível em: <http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0025315409991524>.
- BAPTISTA NETO, J. A. .; ABELIN, V. R. .; SICHEL, S. *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004.
- BEAMAN, R. J.; HARRIS, P. T. Bioregionalization of the George V Shelf , East Antarctica. v. 25, p. 1657–1691, 2005.
- BIGARELLA, J. J. *Reef sandstones from Northeastern Brazil (a survey on sedimentary structures)*. . [S.l.]: Simpósio Internacional sobre o Quaternário. , 1975
- BROWN, C. J.; SMITH, S. J.; *et al.* Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 92, n. 3, p. 502–520, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2011.02.007>>.
- BROWN, C. J.; TODD, B. J.; *et al.* Image-based classification of multibeam sonar backscatter data for objective surficial sediment mapping of Georges Bank, Canada. *Continental Shelf Research*, v. 31, n. 2 SUPPL., 2011.
- BROWN, C. J. *et al.* Mapping seabed biotopes using sidescan sonar in regions of heterogeneous substrata: Case study east Of the Isle Of Wight, English Channel. *International Journal of the Society for Underwater Technology*, v. 26, n. 0141 0814, p. 27–36, 2004.
- BROWN, C. J. *et al.* Mapping seabed habitats in the Firth of Lorn off the west coast of Scotland : evaluation and comparison of habitat maps produced using the acoustic ground-discrimination system , RoxAnn , and sidescan sonar. *Journal of Marine Science*, v. 802, p.

790–802, 2005.

CAMARGO, J. M. R. *et al.* Topographic features related to recent sea level history in a sediment-starved tropical shelf: Linking the past, present and future. *Regional Studies in Marine Science*, v. 2, p. 203–211, 2015.

COSTA, M. B. S. F. *et al.* Influence of reef geometry on wave attenuation on a Brazilian coral reef. *Geomorphology*, v. 253, p. 318–327, 2016.

COUTINHO, P. DA N. *Levantamento do Estado da Arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil*. [S.l.: s.n.], 2000.

COUTINHO, P. N.; MORAES, J. O. Distribution de los desimentos en la plataforma norte-nordeste do Brasil. *Symposium on Investigations and Resources of the Caribbean Sea and Adjacent Regions*. [S.l.]: UNESCO, 1968. p. 261–284.

DARWIN, C. On a remarkable Bar of Sandstone off Pernambuco, on the Coast of Brazil. *Philosophical Magazine and Journal of Science.*, v. 19, p. 257–260, 1841.

DIAZ, R. J.; SOLAN, M.; VALENTE, R. M. A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. *Journal of Enviromental Management*, v. 73, p. 165–181, 2004.

DOMINGUEZ, J. M. L. *et al.* *Geologia do Quaternário Costeiro do Estado de Pernambuco*. *Revista Brasileira de Geociências*. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-75549087467&partnerID=40&md5=97c9c0ab11554e9641ef5f6c216f1763>>. , 1990

DUNN, D. C.; HALPIN, P. N. Rugosity-based regional modeling of hard-bottom habitat. *Marine Ecology Progress Series*, v. 377, n. Leslie 2005, p. 1–11, 2009.

FERREIRA JR., A. V.; ARAÚJO, T. C. DE M.; COLTRINARI, L. Ambientes de Formação, Processos de Cimentação de Arenitos de Praia e Indicadores de Variações do Nível do Mar. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, p. 938–960, 2011.

FERREIRA JR, A. V. *Mapeamento e estudo petrológico de arenitos de praia (beachrocks): evidências da variação do nível do mar no Holoceno, na costa central de Pernambuco*. 2010. 1-146 f. University Federal of Pernambuco, 2010.

FERREIRA JR, A. V.; ARAÚJO, T. C. M.; SIAL, A. N. Gênese dos arenitos de praia no litoral de Pernambuco interpretada através de estudos isotópicos. *Quaternary and Enviromental Geosciences*, v. 4, p. 9–16, 2013.

FERRIER, S.; GUIBAN, A. Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*, v. 43, n. 3, p. 393–404, 2006.

FINEP/UFPE. Monitoramento Ambiental Integrado - MAI-PE. Recife-PE, Brasil:

Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, 2009. v. 1, 2 e 3. p. 485.

FOLK, R. R. L.; WARD, W. W. C. *Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters. SEPM Journal of Sedimentary Research*. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://archives.datapages.com/data/sepm/journals/v01-32/data/027/027001/0003.htm>>
<<http://search.datapages.com/data/doi/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>>. , 1957

FREIRE, G. S. S.; *et al.* Sedimentologia e Morfologia da Margem Continental do Nordeste do Brasil. In: HAZIN, F. H. . (Org.). . *Meteorologia e Sensoriamento Remoto, Oceanografia Física, Oceanografia Química e Oceanografia Biológica*. Fortaleza: Program REVIZEE - SCORE Nordeste, 2009. p. 217–244.

FREITAS, R. *et al.* Sea-bottom classification across a shallow-water bar channel and near-shore shelf , using single-beam acoustics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 65, p. 625–632, 2005.

FREITAS, R. *et al.* Validation of soft bottom benthic habitats identified by single-beam acoustics. *Marine Pollution Bulletin*, v. 53, p. 72–79, 2006.

GARRISON, T. *Fundamentos de oceanografia*. 4ª ed. São Paulo: CENGAGE Learning, 2010.

GERLING, C. *et al.* *Manual de ecossistemas marinhos e costeiros para educadores*. 1. ed. Santos - SP: [s.n.], 2016.

GREENE, H. G. *et al.* A classification scheme for deep seafloor habitats. *Oceanologica Acta*, v. 22, n. 6, p. 663–678, 1999.

GREENE, H. G. *et al.* Construction of Digital Potential Marine Benthic Habitat Maps using a Coded Classification Scheme and its Application. *Systems Research*, p. 145–160, 2007.

GUIMARÃES, T. . *et al.* Beachrocks of Southern Coastal Zone of the State of Pernambuco (Northeastern Brazil): geological resistance with history. *Geoheritage*, v. 8, p. 80–88, 2016.

HARRIS, P. T. From seafloor geomorphology to predictive habitat mapping: progress in applications of biophysical data to ocean management. *Special paper*, p. 1–6, 2012.

HARRIS, P. T. *et al.* Geomorphology of the oceans. *Marine Geology*, v. 352, p. 4–24, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2014.01.011>>.

HARRIS, P. T.; BAKER, E. K. Why Map Benthic Habitats? *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat*, p. 3–22, 2012.

HEAP, A. D. Classifying Australia's seascapes for marine conservation. *AusGeo*

News, n. 84, p. 1–6, 2006. Disponível em: <<http://www.ga.gov.au/ausgeonews/ausgeonews200612/conservation.jsp>>.

HUANG, Z.; BROOKE, B. P.; HARRIS, P. T. A new approach to mapping marine benthic habitats using physical environmental data. *Continental Shelf Research*, v. 31, n. 2 SUPPL., p. 4–16, 2011.

HUVENNE, V. A. I. Æ.; BLONDEL, P.; HENRIET, J. Textural analyses of sidescan sonar imagery from two mound provinces in the Porcupine Seabight. *Marine Geology*, v. 189, p. 322–341, 2002.

KEMPF, M.; MABESOONE, J. M.; TINOCO, I. M. Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil). *Trabalhos Oceanograficos Universidade Federal de Pernambuco*, v. 9, n. 11, p. 125–148, 1967.

KENDALL, M. S. *et al.* Benthic Mapping Using Sonar , Video Transects , and an Innovative Approach to Accuracy Assessment : A Characterization of Bottom Features in the Georgia Bight. *Jornal of Coastal Research*, v. 21, p. 1154–1165, 2005.

KENNY, A. J. *et al.* An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification. *Journal of Marine Science*, v. 60, n. 3, p. 411–418, 2003.

KLOSER, R. J.; WILLIAMS, A.; BUTLER, A. Exploratory surveys of seabed habitats in Australia's deep ocean using remote sensing - needs and realities. 2002.

KOSTYLEV, V. E. *et al.* Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs. *Marine Ecology Progress Series*, v. 219, p. 121–137, 2001.

LABOREL, J. A revised list of Brazilian Scleractinian corals and description of a new species. *Postilla*, v. 107, p. 1–14, 1967.

LABOREL, J. Note préliminaire sur les récifs de grès et les récifs de coraux dans de Nord-Est brésilien. *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, v. 37, p. 341–344, 1965.

LECOURS, V. *et al.* A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 20, n. 8, p. 3207–3244, 2016.

LEWIS, K. B. Sediments on the continental shelf and slope between Napier and castlepoint, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, v. 7, n. 3, p. 183–208, 1973. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00288330.1973.9515466>>.

MAIDA, M.; FERREIRA, B. P. Coral reefs of Brazil: an overview. *Proceedings of 8th International Coral Reef Symposium*. Panama: [s.n.], 1997. p. 263–274.

MANSO, V.; CORREA, I.; GUERRA, N. Morfologia e sedimentologia da Plataforma Continental Interna entre as Praias Porto de Galinhas e Campos-Litoral Sul de Pernambuco,

Brasil. *Pesquisas em Geociências*, v. 30, n. 2, p. 17–25, 2003. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/22603>>.

MCARTHUR, M. A. *et al.* On the use of abiotic surrogates to describe marine benthic biodiversity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 88, n. 1, p. 21–32, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2010.03.003>>.

MCT/UFPE. Mapeamento sonográfico e batimétrico da Plataforma Continental Interna adjacente aos municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes-PE para a caracterização da dinâmica erosiva da região - MAPLAC. Recife-PE, Brasil: Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, 2010. p. 32.

MONTEREALE GAVAZZI, G. *et al.* Evaluation of seabed mapping methods for fine-scale classification of extremely shallow benthic habitats - Application to the Venice Lagoon, Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 170, p. 45–60, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.014>>.

MUEHE, D. Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 2, n. 1, p. 35–44, 2001.

NYBAKKEN, J. W. *Marine Biology: an ecological approach*. 5th ed. ed. San Francisco: [s.n.], 2001.

OTTMANN, F. Estudo das amostras do fundo recolhidas pelo N. E. “Almirante Saldanha”, na região da embocadura do Rio Amazonas. *Tropical Oceanography*, v. I, p. 77–106, 1959.

POST, A.; WASSENBERG, T.; PASSLOW, V. Mapping marine diversity. *AusGeo News*, n. 84, p. 1–6, 2006.

R CORE TEAM. *R-A language and environment for statistical computing*. . Austria: Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. , 2016

RANASINGHE, R.; TURNER, I. L. Shoreline response to submerged structures: A review. *Coastal Engineering*, v. 53, n. 1, p. 65–79, 2006.

ROFF, J. C.; TAYLOR, M. E.; LAUGHREN, J. Geophysical approaches to the classification , delineation and monitoring of marine habitats and their communities. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater ecosystems*, v. 90, n. January 2001, p. 77–90, 2003.

ROLLNIC, M.; MEDEIROS, C.; FREITAS, I. Coastal Circulation Along The Southern Metropolitan Region of Recife , Northeastern Brazil . *Journal Coastal Research*, n. 64, p. 135–138, 2011.

SCHLACHER, T. High resolution seabed imagery as a tool for conservation planning on continental margins. *Marine Ecology*, v. 31, n. 2010, p. 200–221, 2010.

SOLAN, M. *et al.* Towards a greater understanding of pattern , scale and process in marine benthic systems : a picture is worth a thousand worms. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 285–286, p. 313–338, 2003.

SUGUIO, K. *Dicionário de Geologia Marinha*. São Paulo: Ed. T. Queiroz, 1992.

SUGUIO, K. *Introdução à sedimentologia*. [S.l: s.n.], 1973.

VALENTINE, P.; TODD, B. R. J.; KOSTYLEV, V. Classification of Marine Sublittoral Habitats , with Application to the Northeastern North America Region. *American Fisheries Society Symposium*, v. 41, p. 183–200, 2005.

VAN LANCKER, V.; FOSTER-SMITH, B. How do I make a map? *MESH Guide to Habitat Mapping*. Peterborough: MESH Project, 2007. p. 1–77. Disponível em: <<http://www.searchmesh.net/default.aspx?page=190>>.

VOUSDOKAS, M. I.; VELEGRAKIS, A. F.; PLOMARITIS, T. A. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. *Earth-Science Reviews*, v. 85, n. 1–2, p. 23–46, 2007.

WILLIAMS, A.; BAX, N. J. Delineating fish-habitat associations for spatially based management: An example from the south-eastern Australia continental shelf. *Marine and Freshwater Research*, v. 52, n. 4, p. 513–536, 2001.

WORM, B. *et al.* Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, v. 314, n. 5800, p. 787–790, 2006.

YOOL, A.; FASHAM, M. J. R. An examination of the “continental shelf pump” in an open ocean general circulation model. v. 15, n. 4, p. 831–844, 2001. Disponível em: <<http://eprints.soton.ac.uk/6008/>>.

ZEMBRUSCKI, S. J. *Sedimentos da plataforma continental do Brasil*. [S.l.]: XXII Comissão oceanográfica Noc. Almirante Saldanha. Dir. Hidrogr. Naveg. DG 26- X, 1967.