



**Estudo da Sedimentação Recente no Porto do Recife a Partir de Seções de Sísmicas Rasa**  
Study of Recent Sedimentation in the Recife Port Based on Shallow Seismic Data

Carlos Eduardo G. S. de O. Fabin<sup>1</sup>; Osvaldo José Correia Filho<sup>1</sup>; Márcio de Lima Alencar<sup>1</sup>;  
Arary Fabiana Lima de Araújo<sup>1</sup>; Germano Mário Silva Ramos<sup>1</sup> & José Antonio Barbosa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação Geociências - PPGEOC/UFPE,  
Rua Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, 50740-530, Recife, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Geologia - DGEO/CTG/UFPE,  
Rua Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, 50740-530, Recife, Brasil

E-mails: [c.e.fabin@hotmail.com](mailto:c.e.fabin@hotmail.com); [osv.correia@yahoo.com.br](mailto:osv.correia@yahoo.com.br);

[mlimaalencar@gmail.com](mailto:mlimaalencar@gmail.com); [aralyfabiana23@gmail.com](mailto:aralyfabiana23@gmail.com); [nonogermano@gmail.com](mailto:nonogermano@gmail.com); [barboantbr@hotmail.com](mailto:barboantbr@hotmail.com)

Recebido em: 19/11/2018 Aprovado em: 12/03/2019

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_2\\_19\\_31](http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_19_31)

## Resumo

O presente estudo se baseou na análise de padrões de sismofácies em seções de sísmica rasa, e de sondagens percussivas que foram realizadas para a investigação geotécnica de subsuperfície no canal principal do Porto de Recife. Os dados de sísmica de reflexão 2D multicanal compõem um conjunto de 126 seções executadas para a investigação, totalizando 70 km em extensão de levantamento. Três sequências sísmicas principais foram reconhecidas na área, com base nos padrões de sismofácies observados, e sua natureza foi comprovada pelo registro das sondagens: sismofácies 1 - camada de lama, caracterizada por baixa refletividade interna e padrão homogêneo, que normalmente apresenta refletores plano-paralelos; sismofácies 2 - camada de lama e silte, caracterizada pela ocorrência de refletores internos plano-paralelos de alta a média frequência, com média a alta refletividade, e sismofácies 3 - corpos de arenito cimentado, caracterizada por refletores internos de média a alta refletividade, de padrão côncavo a montiforme. O estudo permitiu comprovar a ocorrência de estruturas praias, na forma de corpos alongados tabulares, conhecidos como *beachrocks*, de geometria montiforme, que estão possivelmente associados às últimas variações relativas do nível do mar durante o quaternário. Propõe-se que essas estruturas representam linhas de costa que se formaram durante o Holoceno na região onde atualmente se encontra o Porto do Recife.

**Palavras-chave:** Sísmica rasa; sismofácies; beachrocks; Quaternário

## Abstract

The present study aimed the analysis of seismic facies in shallow seismic sections and percussive drilling boreholes which were carried out for the subsurface geotechnical investigation in the main channel of the Port of Recife. The 2D multichannel reflection seismic data comprises a set of 126 sections acquired for the investigation, totalizing 70 km in length. Three seismic sequences were recognized, based on the seismic facies patterns, and the sedimentary nature of each layer according to the percussive drilling record: seismic facies 1 - mud layer, characterized by low internal reflectivity and homogeneous pattern, parallel; seismic facie 2 - layer of mud and silt, characterized by the occurrence of flat-parallel reflectors of high to medium frequency, with medium to high reflectivity, and seismic facies 3 - associated with bodies of cemented sandstone, characterized by internal reflectors with medium to high reflectivity, and concave to montiform pattern. The study allowed to verify the occurrence of beach structures, tabular elongated bodies, and beachrocks, mounded bodies, which are possibly associated to the last relative variations of sea level during the quaternary. It is proposed that these structures represent coastlines that were formed during the Holocene where the Port of Recife is now located.

**Keywords:** Shallow Seismic; seismic facies; beachrocks; Quaternary

## 1 Introdução

Nos estudos geotécnicos e ambientais, é comum a utilização de equipamentos geofísicos de imageamento raso, como perfiladores eletromagnéticos, de radar de penetração de subsuperfície GPR e de sísmica de reflexão. Estes equipamentos permitem acessar informações de subsuperfície de forma indireta a baixo custo e com alta resolução, incluindo a possibilidade da criação de produtos tridimensionais (3D) (Gomes, 2009).

A aplicação de técnicas de sísmica de reflexão rasa, com base em pulsos de alta frequência, representa uma ferramenta importante para o planejamento de obras de engenharia em regiões costeiras (Dantas *et al.*, 2016). O levantamento de dados de sísmica de reflexão representa um método indireto, de baixo custo, que é utilizado de forma integrada com sondagens rasas para a investigação de subsuperfície. O método de sísmica rasa é bastante utilizado para a execução e manutenção de portos, barragens, marinas, hidrovias e pesquisa mineral (Souza, 2008). O método fornece imagens de alta resolução, mas seu limite de aquisição em subsuperfície é limitado de alguns metros a algumas dezenas de metros, devido à faixa de frequência utilizada, de 2 a 20 kHz (Souza & Gandolfo, 2012). A técnica também é utilizada para a pesquisa de feições geológicas em regiões marinhas rasas, e também em lagos. Esta técnica, por exemplo, tem sido aplicada para a identificação de ocorrências de arenitos de praia (*beachrocks*) em vários locais do mundo (Cecchini *et al.*, 2011).

A ocorrência e distribuição de padrões sonográficos e de ecocarateres sísmicos de alta frequência apresentam relação estreita com a distribuição e características dos depósitos sedimentares, e dos sistemas nos quais estes foram gerados (Morang *et al.*, 1997; Ayres Neto, 2000; Souza, 2006). Os padrões de reflexão revelados correspondem à natureza física dos depósitos e podem ser interpretados quanto a sua continuidade, frequência e efeito refletivo. Os padrões de sismofácies permitem individualizar conjuntos de sismofácies de padrões adjacentes, e definir uma sucessão sedimentar de forma tridimensional (Mitchum *et al.*, 1977). Portanto, a correlação entre os padrões revelados pelos dados geofísicos e a distribuição de depósitos sedimentares permite

interpretar padrões sísmicos que correspondem a processos sedimentares que possuem características semelhantes (Damuth, 1975; Damuth, 1980; Morang *et al.*, 1997; Ayres Neto, 2000; Quaresma *et al.*, 2000; Belo *et al.*, 2002; Catanzaro *et al.*, 2004; Garcia-García *et al.*, 2004; Souza, 2006).

Com base na interação dos pulsos acústicos com os materiais geológicos é possível inferir as principais características sedimentares dos depósitos (Hollister & Heezen, 1972; Damuth, 1975; Damuth & Hayes, 1977). A propagação e reflexão do sinal são afetadas pela natureza dos estratos sedimentares, pela espessura das camadas, presença de fluídos, porosidade das rochas, e pela geometria dos estratos em subsuperfície (Flood, 1980; Quaresma *et al.*, 2000; Veronez Jr., 2009).

Arenitos de praia (*beachrocks*) representam rochas sedimentares cimentadas por carbonato de cálcio (Scholle, 1978; Wright, 1990). De acordo com Russel (1962), a ocorrência desses corpos rochosos é restrita a regiões tropicais e subtropicais, entre as latitudes de 35°N e 35°S. Entretanto, alguns autores apontam a ocorrência de *beachrocks* também em regiões temperadas (Kneale & Viles, 2000; Omoto, 2001). Segundo Ginsburg & James (1953), Mabesoone (1964), Alexandersson (1972), Jones *et al.* (1997) e Beier (1985), os arenitos de praia são formados a partir de precipitação de carbonato de cálcio, incluindo vários tipos de cimento de calcita e de aragonita em sedimentos formados na região de intermaré (Vieira *et al.*, 2017). Estes sedimentos são rapidamente litificados na zona litorânea em profundidades rasas, onde a lâmina de água alcança de um a dois metros de profundidade, e após a cimentação essas estruturas se tornam bastantes resistentes aos processos erosivos. Comumente, a ocorrência de *beachrocks* está relacionada a antigas linhas de praias que foram parcialmente preservadas (Branner, 1904; Neumann *et al.*, 2003; Mauz *et al.*, 2015).

Ottmann (1960), Morais (1967), Coutinho & Farias (1979), Assis (1991), Chaves (1996, 2000), Leão *et al.* (1997), Lessa & Ângulo (1997) e Bezerra *et al.* (1998) descreveram os aspectos sedimentológicos e padrões de associações de fácies associados a estas estruturas. Normalmente, *beachrocks* ocorrem associados a linhas e cordões de praias, que apresentam granulação areia finos a cascalho, com

## Estudo da Sedimentação Recente no Porto do Recife a Partir de Seções de Sísmicas Rasa

Carlos Eduardo G. S. de O. Fabin; Osvaldo José Correia Filho;

Márcio de Lima Alencar; Araly Fabiana Lima de Araújo; Germano Mário Silva Ramos & José Antonio Barbosa

fragmentos de conchas e de outros organismos marinhos. Sugere-se que a idade de *beachrocks* que ocorrem atualmente em regiões litorâneas do nordeste do Brasil, seja holocênica, e que sua formação está relacionada a um período que compreende de aproximadamente 6500 anos até o recente (Lessa & Ângulo, 1997; Bezerra *et al.*, 1998).

Neste estudo foram integradas informações oriundas de sondagens percussivas e seções 2D de subsuperfície adquiridas por meio do **método sísmico de reflexão raso**. Estes dados foram obtidos para a execução de estudos geotécnicos na região portuária do Recife, para investigar a ocorrência de corpos de arenitos cimentados, já conhecidos no intervalo superior da coluna sedimentar que recobre a área submersa onde hoje está localizado o canal de acesso do Porto de Recife (Figura 1).

A região do Porto de Recife está localizada na área costeira da região metropolitana, e está associada aos estuários dos rios Beberibe e Capibaribe. Esta região da faixa costeira da Bacia de Pernambuco está associada à influência da Zona de Cisalhamento de Pernambuco (Maia, 2012; Barbosa *et al.*, 2014; Correia Filho, 2017), e sobre ela se formou a planície sedimentar de Recife. A evolução desta planície foi expressivamente controlada pelas variações eustáticas do Quaternário (Mabesoone *et al.*, 1964).

A análise dos dados sísmicos e dos dados de sondagem permitiu individualizar três sismofácies principais que compõe a cobertura recente do leito do canal principal do porto do Recife, incluindo ocorrências de corpos de arenito cimentados e coberturas de depósitos inconsolidados.

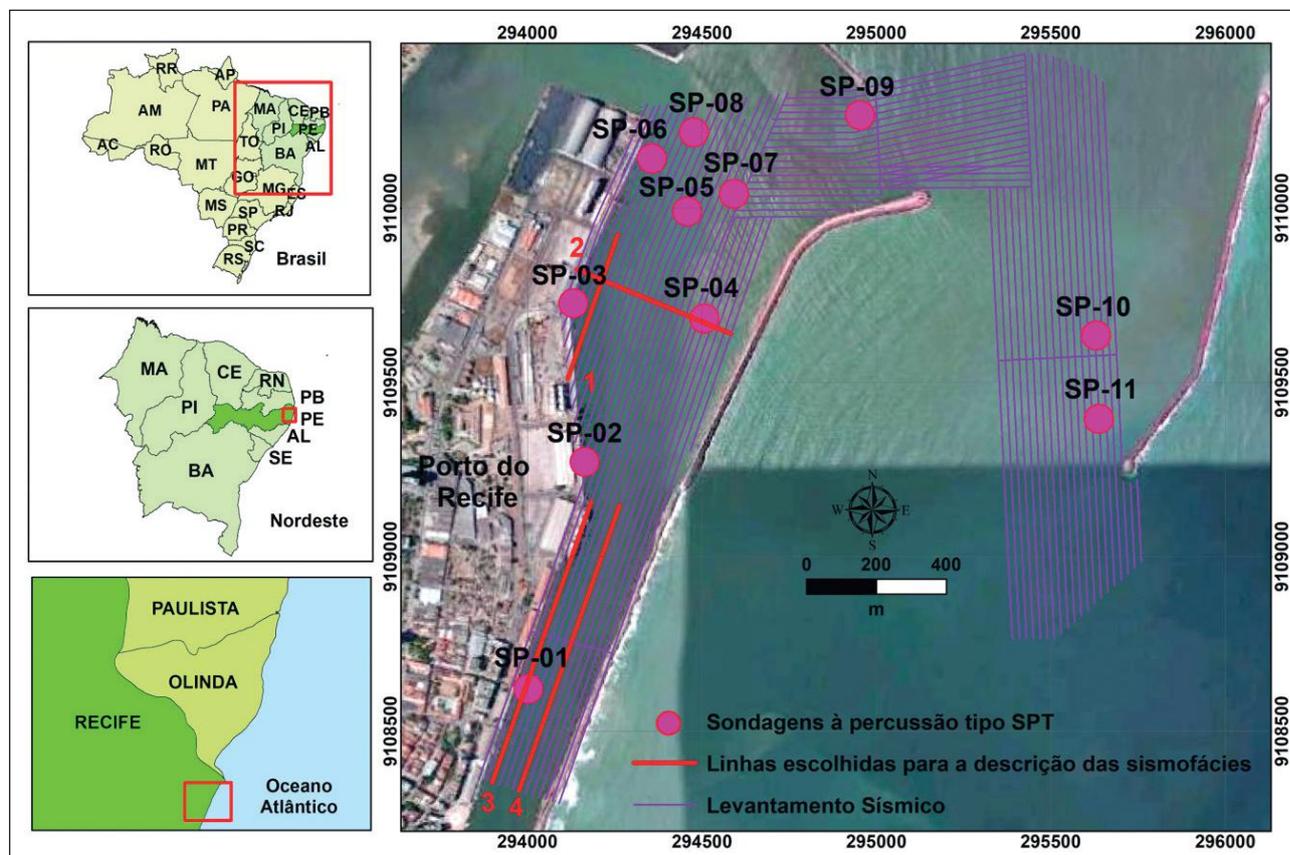


Figura 1 Localização da área de estudo no Porto do Recife, litoral do Estado de Pernambuco. A imagem de satélite do Porto do Recife foi obtida a partir do Google Earth. A malha de linhas de cor rosa mostra o levantamento realizado para estudo geotécnico da área. As linhas vermelhas em destaque foram escolhidas para a descrição detalhada das sismofácies que foi discutida neste trabalho. Os círculos de cor rosa indicam as 11 sondagens rasas à percussão tipo SPT (SP-01 a SP-11), executados na área do levantamento de sísmica de reflexão raso.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Aquisição de Dados Sísmicos

Os dados de sísmica de reflexão rasa foram adquiridos com um equipamento do tipo “chirp”, da marca *Edgetech 3100-P Portable Sub-Bottom Profiling System* com sensor tipo SB216s (Figura 2A e 2B). Este equipamento opera com frequência modulada (FM), e apresenta um espectro de frequência entre 2 e 12 kHz. Para a correção da distância entre a posição do GPS na embarcação e do transdutor rebocado, foram considerados os valores de “cable out” (Distância do GPS até o sonar) e layback (distância do GPS até o eixo central da embarcação) que foram 10m e 1,5m, respectivamente (Figura 2E).

A aquisição foi realizada a partir de um plano de linhas de navegação com uma malha composta

por 122 linhas de produção, espaçadas a 20 m, e 4 linhas de controle, totalizando 70 km de levantamento (Figuras 1 e 2D). A aquisição dos dados foi controlada com apoio do software *Iscover Sub-Bottom* da empresa *Edgetech Full Spectrum Sonar operation*, modelo 3200-XS. O levantamento foi realizado por meio de um vetor de prospecção sobre o plano pré-definido de linhas, rebocado por um barco de pequeno porte cuja navegação foi controlada com o software de aquisição e navegação *Hypack Survey* e *Hysweep Survey*. O posicionamento do sistema de aquisição foi obtido com o emprego de um receptor DGPS, *Smart Antena DGPS*, com correção diferencial via satélite *Oministar*. A calibração da velocidade do pulso acústico na água foi realizada antes da aquisição dos dados por meio de um perfilador acústico (Digibar s).

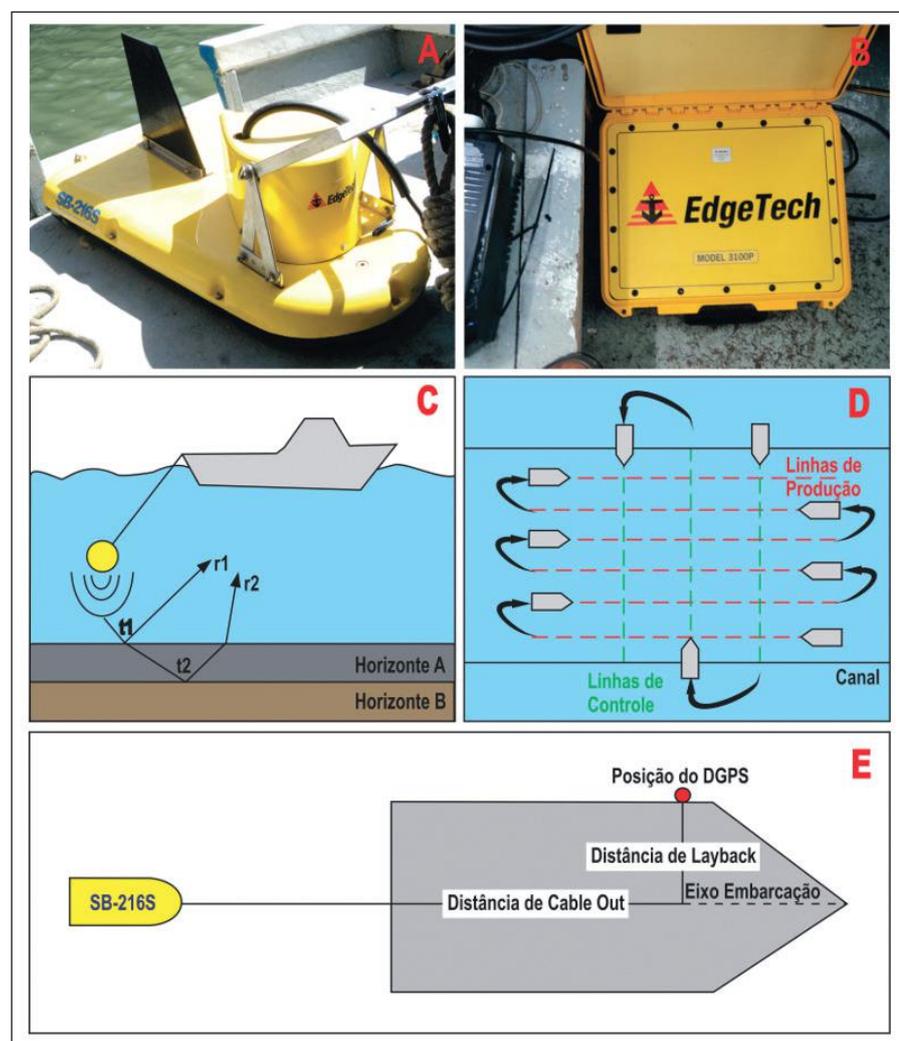


Figura 2 Composição do sistema de aquisição e posicionamento; A) veículo de reboque SB-216S; B) Processador, modelo 3100P; C) Arranjo do sistema de aquisição com a embarcação; D) plano de aquisição das linhas sísmicas, com linhas de produção (em vermelho), levantadas de forma paralela ao eixo do canal, e linhas de controle (em verde); E) Arranjo dos instrumentos de aquisição e posicionamento em relação à embarcação.

## 2.2 Processamento e Pós-Processamento dos Dados de Sísmica Rasa

Após a aquisição dos dados de sísmica rasa, foi realizado o processamento automático destes com o módulo *sub-bottom processing* do software *Hypack*, versão 2017, que produz seções 2D com profundidade em metros.

Os dados de sísmica processados são disponibilizados pelo software *Hypack* no formato JSF (*EdgeTech JSF Format*), e foram posteriormente convertidos para o formato SEG-Y (SGY) com auxílio do software *Discover SB 3200-XS*. A projeção geográfica utilizada durante o levantamento foi WGS-84, com o sistema de coordenadas UTM zona 25S. Por fim, os valores de profundidade foram corrigidos em relação ao nível de referência (RN) adotado no Porto do Recife, a partir do registro da variação de maré pelo marégrafo.

Para a interpretação dos dados sísmicos, a pesquisa utilizou critérios como a geometria dos refletores, o efeito de penetração do sinal sísmico, refletividade de topo de camada e organização interna do padrão dos refletores. A análise seguiu critérios propostos por trabalhos de escopo semelhante já realizados em áreas com características físicas similares - estuários e regiões costeiras rasas. Destaca-se, por exemplo, o estudo realizado por Veronez Jr. *et al.* (2009) na Baía de Vitória, Espírito Santo.

## 3 Contexto Geológico da Região do Porto do Recife

O Porto do Recife está inserido no contexto geológico da planície flúvio-marinha onde está localizada a cidade de Recife (Fonsêca *et al.*, 2016). Os depósitos sedimentares superficiais são compostos por terraços marinhos pleistocênicos, terraços marinhos holocênicos, sedimentos detríticos flúvio-lagunares, sedimentos de mangues, depósitos arenosos inconsolidados e corpos de arenitos de praia (*beachrocks*) (Caldasso *et al.*, 1981; Fonsêca *et al.*, 2016) (Figura 3).

As coberturas quaternárias são representadas pelos depósitos aluvionares, de composição arenosa a areno-argilosa, que são formados pelos principais

rios da região, com destaque para os depósitos formados na região estuarina dos rios Ipojuca, Jaboatão e Capibaribe (Caldasso *et al.*, 1981) (Figura 3).

Arenitos de praia ocorrem ao longo de quase toda a extensão da faixa de litoral da cidade de Recife. Ottmann (1960), Mabesoone (1964) e Bigarella (1975) já apontavam que estes arenitos de praia (*beachrocks*), são testemunhos de antigas linhas de costa formadas durante o Quaternário. Estudos realizados em depósitos aflorantes de *beachrocks* em praias do litoral de Pernambuco têm sugerido que a existência dessas estruturas está relacionada a antigas linhas de costa cuja evolução estaria associada a eventos transgressivos quaternários. O principal evento relacionado às ocorrências encontradas no presente seria a transgressão ocorrida durante o Holoceno que alcançou 5 m acima do nível médio do mar atual há cerca de 5.100 anos antes do presente (Martin *et al.*, 1979; Bittencourt *et al.*, 1979; Dominguez *et al.*, 1990; Neumann *et al.*, 2003; Ferreira Jr. *et al.*, 2011).

## 4 Resultados

### 4.1 Sismoestratigrafia dos Depósitos Superficiais do Canal do Porto do Recife

A análise dos dados sísmicos levantados na região do porto do Recife permitiu identificar três tipos de depósitos sedimentares que compõem a cobertura recente desta área, que foram caracterizados por três tipos de sismofácies, descritas a seguir:

**Depósitos lamosos (sismofácies 1):** Está associada ao talvegue do canal do Porto de Recife, e foi encontrada principalmente no canal de navegação dragado. Esta sismofácies foi caracterizada pela alta penetração do sinal acústico, pela superfície de fundo que apresenta baixa refletividade. A sismofácies não apresenta reflexões internas relacionadas à existência de acamamento, o que sugere a ausência de intercalações de estratos heterogêneos como areia e argila. Esta unidade representa a sedimentação lamosa (argila + silte), depositada durante o processo de estabilização do fundo do canal após a última dragagem de manutenção que foi realizada em 2012 (Figura 4).

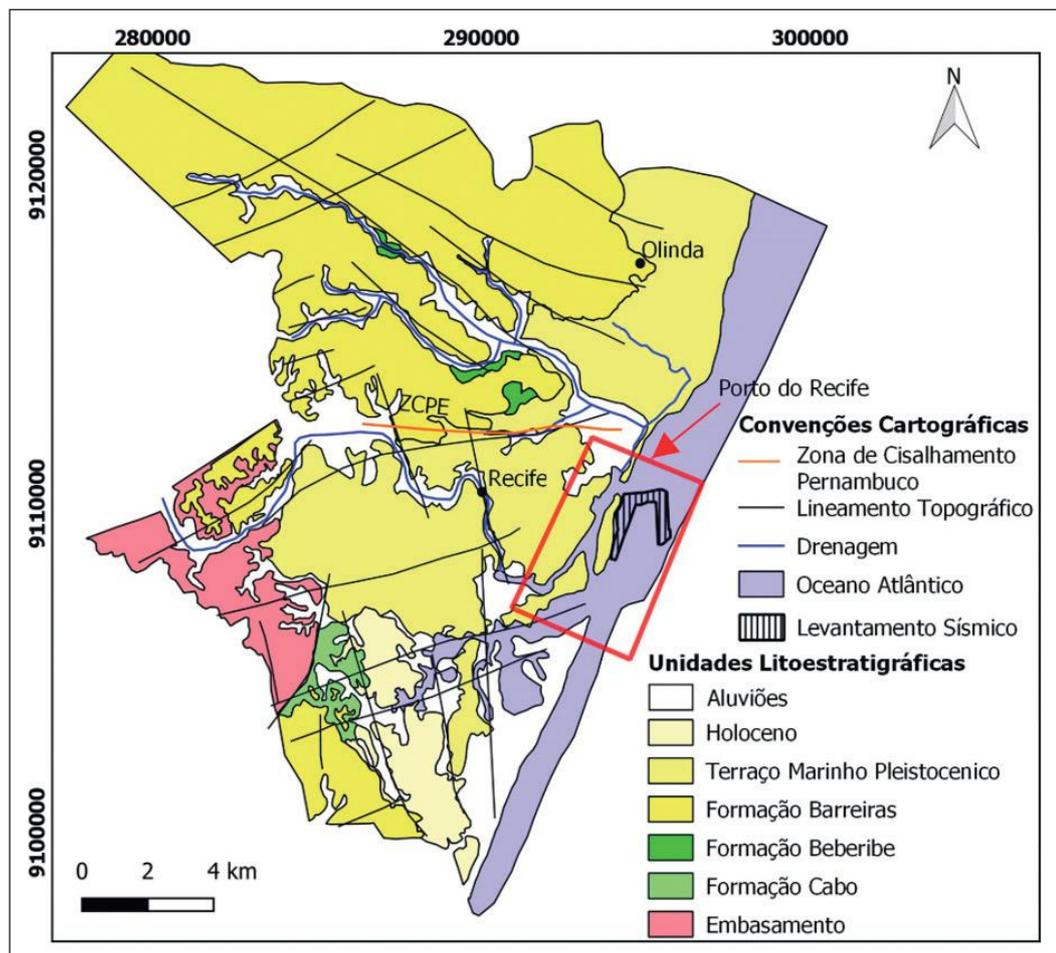


Figura 3 Mapa geológico da planície flúvio-marinha onde está localizada a cidade do Recife. O retângulo vermelho delimita a região do Porto do Recife. Observa-se o domínio da sedimentação quaternária nas proximidades do Porto do Recife (modificado de Souza *et al.*, 2012).

**Depósitos arenosos (sismofácies 2):** Estes depósitos são encontrados na região adjacente ao leito do canal dragado, e correspondem a um substrato mais raso, que apresenta entre 2 e 5 m de espessura. Esta camada é caracterizada por uma superfície de fundo com alta refletividade, e apresenta alta penetração do sinal acústico. Esta também apresenta reflexões internas muito incipientes, o que sugere a ausência de intercalações de materiais geológicos com maior heterogeneidade, e o conjunto se apresenta de certa forma homogêneo. Verificou-se que este substrato é composto por areia e lama que foi depositada pela sedimentação estuarina recente promovida pelos rios que desembocam na região (Figura 4).

**Depósitos Litificados (sismofácies 3):** Esta camada é caracterizada por um refletor externo com média a alta amplitude, e uma baixa penetrabilidade do sinal acústico em seu interior, o que sugere uma

maior atenuação. Interpretou-se que esta apresenta maior grau de litificação, possivelmente com cimentação expressiva (Figuras 5 e 6). Estes corpos estão ligados ao substrato mais antigo, e são recobertos por depósitos de lama e areia recentes.

#### 4.2 Cristas de Arenito Litificado

Associada a sismofácies 3 também foram observados corpos que apresentam litificação expressiva. O delineamento das sismofácies associadas a estes corpos permitiu definir sua geometria como montiforme e tabular. Estes corpos ocorrem de forma mais ou menos paralela a linha de recifes atual que existe na área externa do Porto do Recife, a uma distância aproximada de 140 m. Essas estruturas soterradas, cimentadas, formam uma faixa contínua, de aproximadamente 240 m de comprimento e 23 m de largura (Figuras 5 e 6).

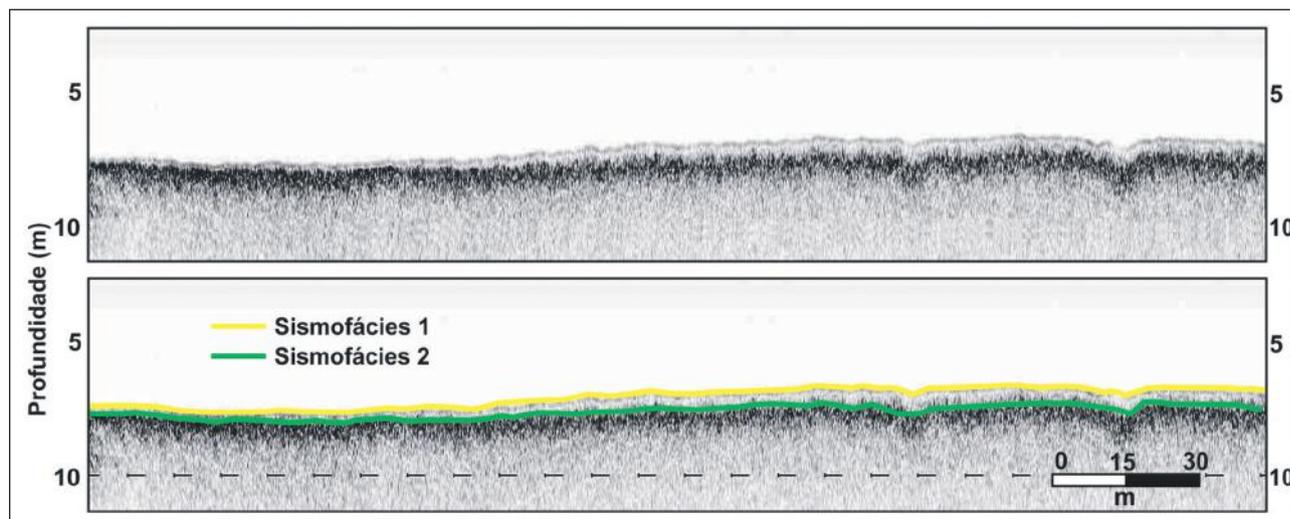


Figura 4 Linha sísmica nº 029 (linha vermelha 1, ver localização na Figura 1). Nesta seção foram observadas as sismofácies 1 e 2. A sismofácies 1 é caracterizada pela alta penetração do sinal acústico, e pela pouca refletividade do refletor de fundo. A sismofácies 2 é caracterizada por uma alta penetração do sinal e alta refletividade da superfície delimitante.

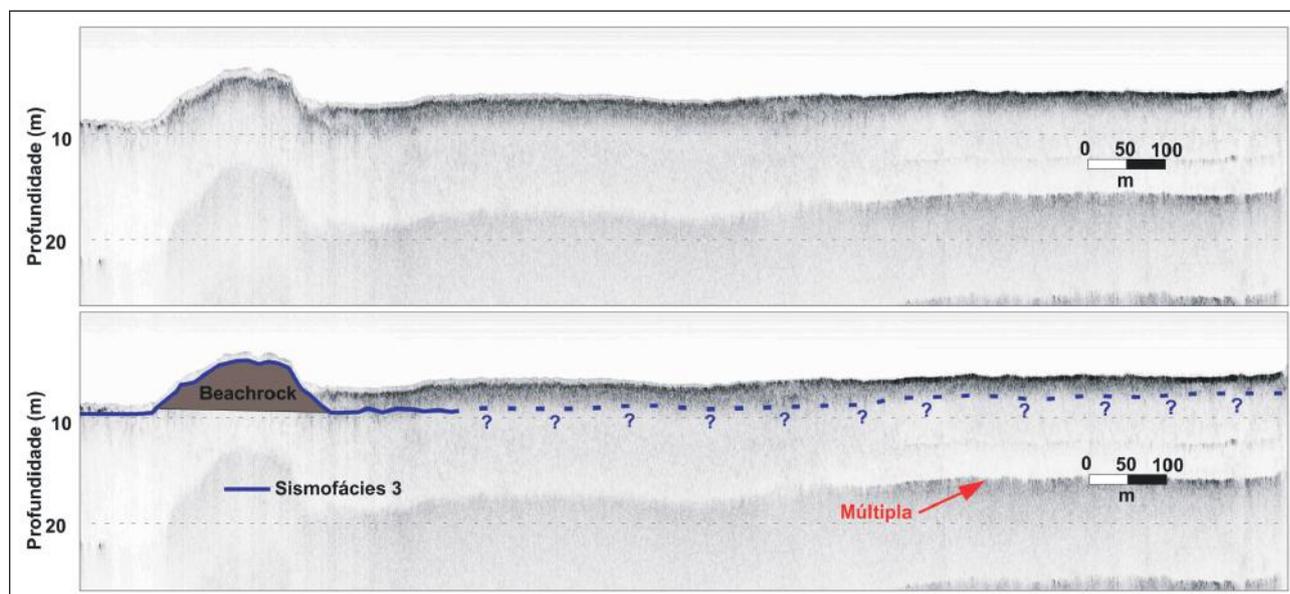


Figura 5 Linha sísmica nº 001 (linha vermelha 2, ver localização na Figura 1). Nesta seção observa-se a sismofácies 3, relacionada a depósitos com um maior grau de litificação, possivelmente com cimentação expressiva. Também é possível observar uma estrutura montiforme e tabular, interpretada neste trabalho como um *beachrock*.

Outro efeito observado nas seções sísmicas, foi à atenuação local do sinal acústico (Figura 7), dentro dos estratos superficiais do substrato no interior da camada caracterizada pela sismofácies 1. Estas zonas de atenuação mostram terminação lateral abrupta. É possível que a camada composta por lama e silte, associada a sismofácies 2, contenha gás de origem biogênica em seu interior, o que cria o efeito

de atenuação acústica observado em alguns trechos do levantamento (Figura 7).

#### 4.3 Correlação dos Dados de Sondagem com os Dados Sísmicos

A análise dos perfis descritivos das sondagens percussivas, conforme observado no perfil

Figura 6 Delimitação da área do corpo montiforme interpretado como um *beachrock* que está parcialmente soterrado por depósitos recentes no fundo do canal de acesso do Porto do Recife (polígono vermelho). A estrutura apresenta uma orientação preferencial NE-SW. A malha de linhas de cor rosa representa a posição das seções de sísmica rasa realizadas para estudo geotécnico da área.

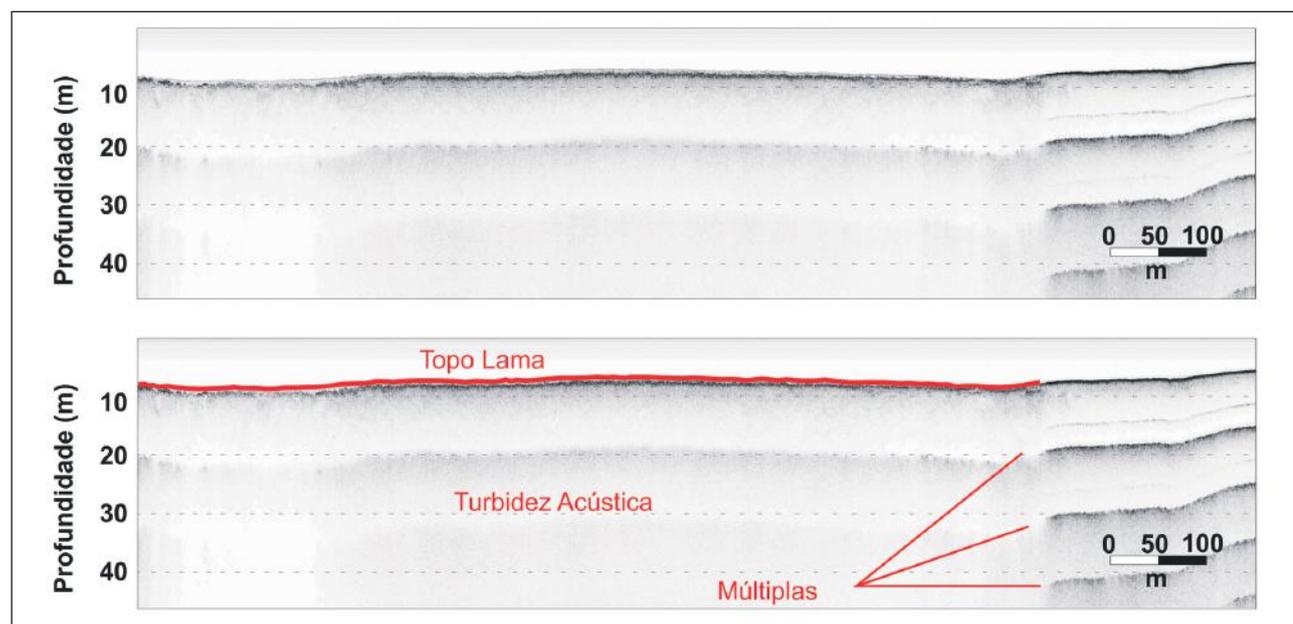


Figura 7 Detalhe da seção 20-023 (linha vermelha 4, ver localização na Figura 1), onde é possível observar uma zona de atenuação do sinal acústico a partir de uma camada composta por lama e silte, com uma terminação lateral abrupta da zona de atenuação. Possivelmente essa zona foi criada pela presença de gás dentro das camadas de sedimento.

SP01 (Figura 8), revelou a ocorrência de espessa camada de material areno-lamoso inconsolidado, também identificado nos perfis sísmicos e correlacionado a sismofície 2. Entretanto, foi possível comprovar em vários locais, perfis SP03, SP06, SP07 e SP09 (Figura 1), entre as profundidades de 1 e 3 m, a ocorrência de depósitos de areia e silte que apresentam maior compactação e consistência, comprovado pela redução do avanço da sondagem. Também foi possível verificar a correlação entre as sismofácies relacionadas com camadas compostas por arenito compacto que formam o substrato mais profundo da região do porto.

A sismofície 3 também foi associada a ocorrência de corpos descontínuos, com geometria montiforme a tabular (Figuras 5 e 6), compostos por arenito e siltito cimentados. Estes corpos se apresentam bastante litificados, e foram identificados como *beachrocks* (Figuras 5, 6 e 9), os quais são responsáveis por uma forte atenuação do sinal acústico.

## 5 Discussão

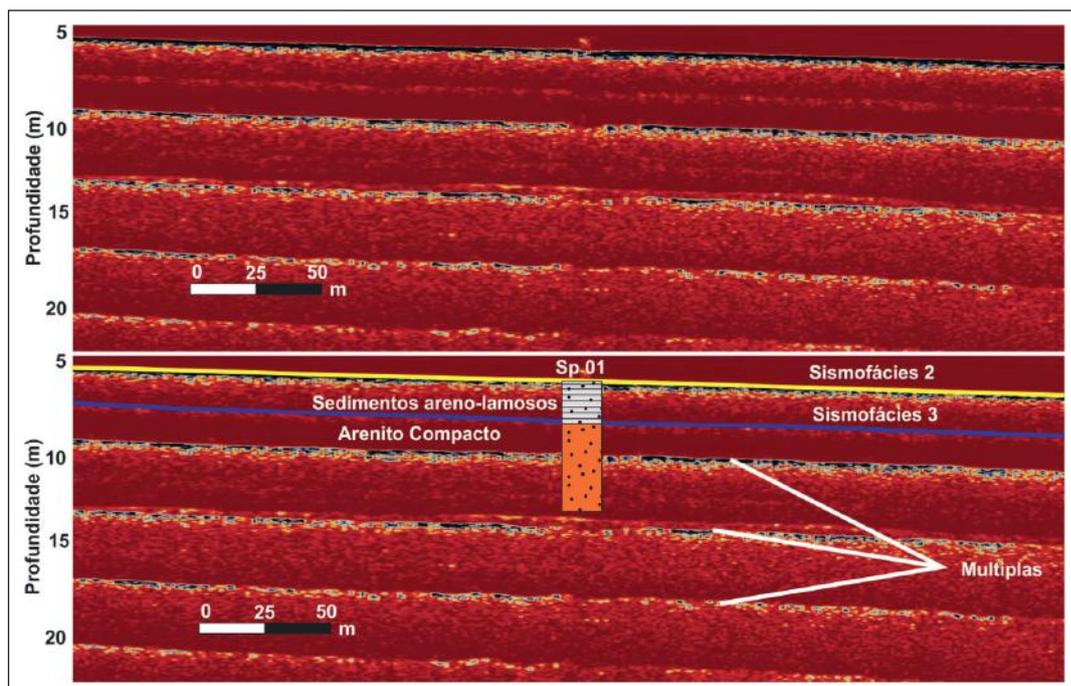
Os dados sísmicos levantados na região do Porto de Recife permitiram a identificação de padrões de sedimentação relacionados à formação de

depósitos recentes, e também formados a partir das modificações de engenharia produzidas na região do canal do porto, como a atividade de dragagem. A interpretação das camadas foi confrontada com os dados litológicos obtidos com as sondagens rasas a percussão do tipo SPT. Esta análise permitiu distinguir e caracterizar três sismofácies principais. Das três sismofácies mapeadas, duas estão relacionadas a sedimentos inconsolidados (sismofácies 1 e 2), e uma está relacionada a sedimentos compactos e cordões de arenitos de praia (*Beachrocks*) litificados que ocasionam difração e atenuação do sinal sísmico (sismofície 3) (Figuras 5 e 6).

Os arenitos de praia (*Beachrocks*) representam sedimentos praias bastante litificados, devido a cimentação precoce por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), que ocorrem próximo a regiões onde a mistura de água do mar e de água doce (meteórica), cujo influxo atinge a região intermaré, favorece esta cimentação (Ferreira Jr. *et al.*, 2011; Ferreira Jr. *et al.*, 2013; Vieira *et al.*, 2017). Normalmente, esse cimento é formado por minerais como aragonita, calcita rica em Mg e calcita pobre em Mg (Neumann *et al.*, 2003). O processo de cimentação destes sedimentos, inicia-se pela formação de uma fina cutícula ao redor dos grãos que posteriormente é substituída por uma

Figura 8 Linha sísmica nº 21-013 (linha vermelha 3, ver localização na Figura 1) executada em local onde também foi realizada uma sondagem percussiva (SP01).

A correlação das litologias encontradas com os padrões de sismofácies permitiram associar a ocorrência de camada de sedimentos areno-lamosos inconsolidados (sismofície 2), sobre o substrato mais compacto (sismofície 3).



franja de textura isópaca. Após a geração da franja isópaca, tem início o processo de fechamento dos poros pelo cimento, acompanhado pela formação de cimento pseudo-peloidal e fibro-radial composto por calcita micrítica (Ferreira Jr. *et al.*, 2011; Mauz *et al.*, 2015; Vieira *et al.*, 2017).

O intenso processo de cimentação favorece a compactação de corpos de material arenoso ao longo de linhas de praia. O intenso grau de litificação de corpos de *beachrocks* causa um forte contraste com a passagem do pulso acústico, conforme observado para a descrição da sismofácies 3. Este fenômeno já foi descrito em vários trabalhos que também utilizaram o método sísmico para o estudo de depósitos sedimentares em regiões costeiras, como, por exemplo, Cecchini *et al.* (2011), que estudaram depósitos plataformais na região da Sardinia-Corsica. Os autores utilizaram dados de sísmica de reflexão de alta frequência para caracterizar a ocorrência de arenitos de praia (*beachrocks*), em meio a sedimentos plataformais. Estudos como este, enfatizam a geometria montiforme ou de pináculos associada à formação de antigos cordões praias. A presença desses corpos cimentados rasos, também favorece o surgimento de reflexões múltiplas, devido ao forte contraste entre o topo dessas camadas litificadas, e sedimentos adjacentes menos consolidados.

*Beachrocks* atuais, que estão expostos já foram estudados e mapeados em quase todo o litoral do Estado de Pernambuco (Dominguez *et al.*, 1990; Neumann *et al.*, 2003; Ferreira Jr. *et al.*, 2011; Vieira *et al.*, 2017). A ocorrência de linhas de *beachrocks* em praias atuais, e também em regiões atualmente submersas, é interpretada como um produto de variações relativas do nível do mar durante o Quaternário, associados à última transgressão holocênica, que teve seu término há aproximadamente 5.000 anos, quando o nível médio do mar esteve a aproximadamente 5 a 7 acima do nível médio atual (Dominguez *et al.*, 1990; Van Andel & Laborel, 1964; Milne *et al.*, 2005). Conforme Suguio & Tessler (1984), Corrêa (1996) e Suguio *et al.* (2005), durante o período quaternário, após uma forte regressão, que ocorreu aproximadamente entre 17.500 e 16.000 anos A.P., que deixou praticamente toda a plataforma exposta, houve uma grande transgressão entre 11.000 e 6.500

anos A.P., e as paleolinhas de costa foram deslocadas em direção ao continente. (Figura 10A).

É possível que a ocorrência de *beachrocks* existentes na região do Porto de Recife, em profundidades entre 9 e 10 m, abaixo do nível relativo atual do mar na região do porto, corresponda ao início do máximo transgressivo, que ocorreu a aproximadamente entre 8.000 e 7.000 anos A.P. (Figura 10B). É possível que a continuação da retrogradação após a deposição dos sedimentos arenosos praias, que deram origem os arenitos de praia que agora estão cerca de 9 a 10 m abaixo do nível relativo do mar, promoveram a progressiva sedimentação e o soterramento dessas paleolinhas de costa.

Embora tenham ocorrido variações do nível do mar, o efeito regressivo, após o máximo que ocorreu a aproximadamente em 6.500 anos A.P., provocou o recuo da linha de costa para próximo dos níveis atuais o que possivelmente deu origem à linha de arenitos de praia (*beachrocks*) encontradas no litoral de Pernambuco, como na região da praia do Pina (Figuras 9 e 10).

Ao analisar a ocorrência dos *beachrocks* interpretados nas linhas sísmicas e que estão localizados a uma profundidade inferior às quais são encontrados os atuais *beachrocks* ao longo do litoral pernambucano, este trabalho sugere que a evolução desses arenitos de praia ocorreu em três fases distintas, descritas no perfil esquemático da Figura 10:

Relacionada ao ciclo transgressivo (entre 8.000 e 7.000 anos A.P.), e sedimentação das antigas praias na região plataformal, que originaram os arenitos de praia nas profundidades de 10 a 9 m abaixo das cotas dos atuais *beachrocks* encontrados nas praias do litoral de Pernambuco (Figura 10A);

Avanço do processo de retrogradação que gerou o soterramento dessas antigas faixas de praia da plataforma (Figura 10B);

Ciclo regressivo (6.500 anos A.P.) que permitiu a formação de *beachrocks* emersos próximo ao Porto de Recife e na região da praia do Pina, a sul, por exemplo (Figura 10B).

A ocorrência desses *beachrocks* também sugere que a influência dos atuais rios Beberibe e Capibaribe nesta região pode ter sido menor do que é hoje em termos de aporte sedimentar. Além disso, a

## Estudo da Sedimentação Recente no Porto do Recife a Partir de Seções de Sísmicas Rasa

Carlos Eduardo G. S. de O. Fabin; Osvaldo José Correia Filho;  
Márcio de Lima Alencar; Araly Fabiana Lima de Araújo; Germano Mário Silva Ramos & José Antonio Barbosa



Figura 9 Exemplos de arenitos de praia (*beachrocks*) holocênicos localizados na região Metropolitana do Recife, e no litoral sul do estado; A) linha de *beachrocks* expostos na maré baixa na Praia de Boa Viagem, a sul do Porto de Recife (Recife-PE) e; B) linha de *beachrocks* expostos na região costeira próxima à entrada do Porto de Suape, no litoral sul do estado (Ipojuca-PE).

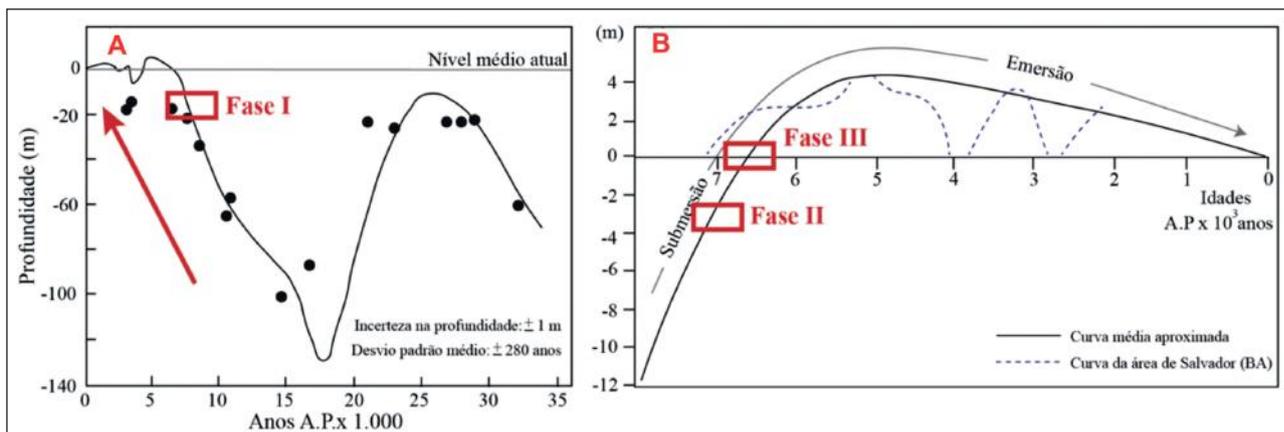


Figura 10 A) Curva de variações do nível relativo do mar desde cerca de 30.000 anos A.P. até o presente, segundo dados obtidos na plataforma continental e na planície costeira do Rio Grande do Sul. B) Modelo de variação do nível médio do mar nos últimos 7.000 anos A.P. (Suguio *et al.*, 2005).

ocorrência dessas antigas praias na região onde foi implantado o porto do Recife sugere que a desembocadura destes poderia estar posicionada de forma diferente da atual configuração, o que permitiria o estabelecimento dessas praias e não de estuários, como ocorre atualmente. Esta perspectiva de que nesta região haveria um sistema de praias, menos influenciado por drenagens de grande porte, também é suportada pelo trabalho de Martins (2017), que analisou testemunho sedimentar na região externa do porto de Recife.

## 6 Conclusão

A análise de um conjunto de dados sísmicos rasos 2D (cerca de 70 km de extensão) na região do

Porto de Recife, integrada com perfis geotécnicos de sondagens rasas feitas na região, permitiu identificar três tipos de sísmofácies que correspondem a 3 tipos de depósitos sedimentares que compõem a cobertura mais recente da região do canal do porto. A sísmofácies 1 foi caracterizada pela alta penetração do sinal acústico e uma superfície de topo pouco refletiva, e está associada a formação de camadas de lama (argila). A sísmofácies 2 foi caracterizada por uma superfície de alta refletividade, e uma alta penetração do sinal, e está relacionada as camadas de material areno-argiloso saturado por água. A camada 3 é representada por uma sísmofácies caracterizada por uma superfície de topo de alta refletividade e uma forte atenuação interna. Esta sísmofácies está associada à

ocorrência de corpos tabulares ou montiformes com um alto grau de litificação, que foram interpretados como corpos de arenitos de praia (*beachrocks*). Estes corpos apresentam uma geometria elíptica com eixo maior preferencialmente orientado NE-SW. Esta orientação é quase paralela ao cordão de arenito praiado que aflora na região intermaré da praia do Pina, localizado a aproximadamente 3 km ao sul da região do Porto do Recife. Estas ocorrências de *beachrocks* submersos e parcialmente soterrados na região do Porto de Recife, podem indicar a localização de antigas linhas de praias formadas nesta região, que hoje apresenta batimetria em torno de 6 m. Sugere-se que esses *beachrocks* submersos, formam paleolinhas de praia que se desenvolveram em períodos distintos: o primeiro relacionado ao ciclo transgressivo que ocorreu a aproximadamente entre 8.000 e 7.000 anos A.P; e o segundo está relacionado ao evento regressivo que ocorreu após o máximo transgressivo, há 6.5000 anos A.P.

## 7 Referências

- Alexandersson, T. 1972. Intergranular growth of marine aragonite and Mg calcite: evidence of precipitation from supersaturated sea-water. *Journal of Sedimentary Petrology*, 42: 441-460.
- Assis, H.M.B. 1991. *Estudo dos beachrocks do litoral sul de Pernambuco com base em evidências petrográficas e isotópicas*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, 91p.
- Ayres, N.A. 2000. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3): 241-256.
- Correia Filho, O.J. 2017. *Análise de Estruturas Compressionais na Região Onshore da Bacia Pernambuco, NE do Brasil - Possíveis Influências no Potencial Petrolífero*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, 160p.
- Barbosa, J.A.; Maia, M.F.; Lima Filho, M.; Magalhães, J.R. & Correia, O. J. 2014. Seismic Stratigraphy of the Onshore Portion of Pernambuco Basin: Evidence of Break-Up during Middle Albian for the South Atlantic Rift in Northeast Brazil. In: AAPG, ANNUAL CONVENTION AND EXHIBITION, Huston, Texas. CD Room.
- Beier, J.A. 1985. Diagenesis of Quaternary Bahamian beachrock: petrographic and isotopic evidence. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55:755-761.
- Belo, W.C.; Dias, G.T.M. & Dias, M.S. 2002. O Fundo Marinho da Baía da Ilha Grande, RJ: O Relevo Submarino e a Sedimentação no Canal Central. *Revista Brasileira de Geofísica*, 20(1): 5-15.
- Bezerra, F.H.R.; Lima-Filho, F.P.; Amaral, R.F.; Caldas, L.H.O. & Costa-Neto, L. X. 1998. Holocene coastal tectonics in NE Brazil. In: STEWART, I. S. & VITA-FINZI, C. (Eds.), *Coastal Tectonics*, Geological Society, London, Special Publications, p. 279-293.
- Bigarella, J.J. 1975. Reef sandstones from Northeastern Brazil (a survey on sedimentary structures). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE O QUATERNÁRIO, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Porto Alegre, p. 395-410.
- Bittencourt, A.C.S.P.; Martin, L.; Vilas Boas, G.S. & Flexor, J.M. 1979. Quaternary marine formations of the coast of the State of Bahia (Brazil). In: SUGUIO, K.; FAIRCHILD, R.T.; MARTIN, L. & FLEXOR, J. M. (Eds.), *International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*, São Paulo, p.232-253.
- Branner, J.C. 1904. The stone reefs of Brazil, their geological and geographical relations with a chapter of the coral reefs. *Harvard Coll. Mus. Comp. Zool. Bull.*, 44: 1-285.
- Caldasso, A.L.S.; Costa, A.C.; Andrade, D.A. & Moraes, J. F. S. 1981. Projeto turfa do Nordeste oriental. Relatório final da etapa I. Recife: DNPM/CPRM.
- Catazaro, L.F.; Baptista, N.J.A.; Guimarães, M.S.D. & Silva, C.G. 2004. Distinctive Sedimentary Processes in Guanabara Bay – SE/Brazil, based on the Analysis of Echo-Character (7.0 kHz). *Revista Brasileira de Geofísica*, 22(1): 69-83.
- Cecchini, S.; Taliana, D.; Giacomini, L.; Herisson, C. & Bonne-maire, B. 2011. Submarine Geo Hazards on the eastern Sardinia-Corsica Continental margin based on preliminary pipeline route investigation. *Marine Geophys Research*, 32:71-81.
- Chaves, N.S. 1996. *Beachrocks do litoral Pernambucano: estudo sedimentológico e análise de isótopos estáveis*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, 86p.
- Chaves, N.S. 2000. *Mecanismo de cimentação em sedimentos marinhos recentes, beachrocks do litoral pernambucano*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, UNESP-Rio Claro, Tese de doutorado, 194p.
- Correia, I.C.S. 1996. Les variations du niveau de la mer Durant les derniers 17.500 anos BP: L' exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil. *Marine Geology*, 130:163-178.
- Coutinho, P.N. & Farias, C.C. 1979. Contribuição à origem dos recifes do nordeste. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 9, Natal, *Boletim de Resumos*, p. 236.
- Damuth, J.E. 1975. Echo character of the western Equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Marine Geology*, 18: 17-45.
- Damuth, J.E. 1980. Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Marine Geology*, 38: 51-75.
- Damuth, J.E. & Hayes, D.E. 1977. Echo character of east brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes. *Marine Geology*, 24:73-95.
- Dantas, H.; Guimarães, M.V.F.; Alves, F.; Tomé, S.M.G. & Araújo, M.M. 2016. Estudo de viabilidade técnica da aplicação do método sísmica de refração para otimização de prováveis obras de ampliação de uma instituição federal de ensino. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, São Paulo, *Boletim de Resumos*. CD Room.
- Dominguez, J.M.L.; Bittencourt, A.C.S.P.; leão, Z.M.A.N. & Azevedo, A.E.G. 1990. Geologia do quaternário costeiro do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geociências*, 20:208-215.
- Ferreira Jr., A.V.; Araújo, T.C.M. & Sial, A.N. 2013. Gênese dos arenitos de praia no litoral de Pernambuco interpretada através de estudos isotópicos. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 4:9-16.
- Ferreira Jr., A.V.; Araújo, T.C.M.; Vieira, M.M.; Neumann, V.H. & Gregório, M. N. 2011. Petrologia dos arenitos de praia (*beachrocks*) na costa central de Pernambuco. *Revista da UNESP-Geociências*, 30:545-559.
- Flood, R.D. 1980. Deep sea sedimentary morphology: modelling and interpretation of echo-sounding profiles. *Marine Geology*

## Estudo da Sedimentação Recente no Porto do Recife a Partir de Seções de Sismicas Rasa

Carlos Eduardo G. S. de O. Fabin; Osvaldo José Correia Filho;

Márcio de Lima Alencar; Araly Fabiana Lima de Araújo; Germano Mário Silva Ramos & José Antonio Barbosa

- logy, 38: 77-92.
- Fonsêca, D.N.; Corrêa, A.C.B.; Silva, A.C. 2016. Compartimentação geomorfológica da Região Metropolitana do Recife (RMR) a partir da análise morfoestrutural. *Geo UERJ*, 29:201-219.
- García-García, A.; García-GIL, S. & Vilas, F. 2004. Echo characters and recent sedimentary processes as indicated by high-resolution sub-bottom profiling in Ría de Vigo (NW Spain). *Geo-Marine Letters*, 24: 32-45.
- Ginsburg, R.N. & James, N.P. 1953. Beach rock in South Florida. *Journal Sedimentary Petrology*, 23:85-92.
- Gomes, M.P. 2009. *Aquisição, Processamento e Análise de Dados de Sísmica de Alta Resolução na Plataforma Continental Norte do Rio Grande do Norte: Vale Inciso do Rio Açú*. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado, 125p.
- Hollister, C.D. & Heezen, B.C. 1972. Geologic effects of ocean bottom currents: western North Atlantic. In: A.L. GORDON (Eds.), *Studies in Physical Oceanography*, Vol. II, New York, p. 37-66.
- Jones, B.; Rossen, M.R. & Renault, R.W. 1997. Silica-cemented beachrock from lake Taupo, North Island, New Zealand. *Journal of Sedimentary Research*, 67:805-814.
- Kneale, D. & Viles, H.A. 2000. Beach cement: incipient CaCO<sub>3</sub>-cemented beachrock development in the upper intertidal zone, North Uist, Scotland. *Sedimentary Geology*, 132:165-170.
- Leão, Z.M.A.N.; Lessa, G.C. & Apoluceno, D.M. 1997. O cimento dos arenitos de praia do litoral norte da Bahia: Significado ambiental. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, ABEQUA, 6, Curitiba, *Boletim de Resumos*, p. 85.
- Lessa, G.C. & Ângulo, R.J. 1997. The beachrocks of Arembepe (BA) as paleo-sea level indicators. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, ABEQUA, 6, Curitiba, *Boletim de Resumos*, p. 89.
- Mabesoone, J.M. 1964. Origin and age of the sandstone reefs of Pernambuco, Northeastern Brazil. *J. Sedimentary Petrology*, 34:715-726.
- Maia, M.F.B.; Barbosa, J.A.; Lima Filho, M.; Mort, H.P. & Santana, F. R. 2012. Características petrográficas e geoquímicas das formações siliciclásticas (aptiano-albiano) da Bacia de Pernambuco, NE do Brasil. *Estudos Geológicos*, 22:55-75.
- Martin, L.; Flexor, J.M.; Vilas Boas, G.S.; Bittencourt, A.C.S.P. & Guimarães, M. M.M. 1979. Coube de variations du niveau relatif de la mer au cours des 7.000 dernières années sur un secteur homogène du littoral brésilien (Nord de Salvador-Bahia). In: SUGUIO, K.; FATRCHILD, T.; MARTIN, L.; FLEXOR, J.M. (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*. São Paulo, p. 264-274.
- Martins, S.E.M. 2017. *Caracterização paleoambiental de sedimentos holocênicos da plataforma continental interna adjacente ao porto do Recife e do estuário do rio formoso, costa de pernambuco – brasil*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Tese de doutorado, 181p.
- Mauz, B.; Vacchi, M.; Green, A.; Hoffmann, G. & Cooper, A. 2015. Beachrock: A tool for reconstructing relative sea level in the far-fiel. *Marine Geology*, 362:1-16.
- Milne, G.A.; Long, A.J. & Bassett, S.E. 2005. Modelling Holocene relative sea-level observations from the Caribbean and South America. *Quaternary Science Reviews*, 24:1183-1202.
- Mitchum, R.M.; Vail, P.R. & Sangree, J.B. 1977. Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: PAYTON CE (Ed.), *Seismic Stratigraphy – Application to Hydrocarbon Exploration*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 26: 117-133.
- Morais, J.O. 1967. Contribuição ao estudo dos “beachrocks” do nordeste do Brasil. *Trabalhos Oceanográficos*, 9:79-94.
- Morang, A.; Larson, R. & Gorman, L. 1997. Monitoring the coastal environment; part III: geophysical and research methods. *Journal of Coastal Research*, 13(4): 1064-1085.
- Neumann, V.H.; Valença, L.M.M.; Barreto, A.M.F. & Barbosa, J.A. 2003. Beachrocks da Praia dos Carneiros, próximos à desembocadura do Rio Formoso, Tamandaré – PE: arenitos de praia com intercalações da alga codiácea do gênero halimeda. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9, ABEQUA, São Paulo. CD Room.
- Omoto, K. 2001. Radiocarbon ages of beach rocks and late Holocene sea-level changes in the southern part of the Nansei Island, Southwest of Japan. *Radiocarbon*, 43:887-898.
- Ottmann, F. 1960. Une hypothese sur l’origine des arrecifes du Nordeste brésilien. In: COMPTES RENDUS SOMAIRES DES SEANCES DE LA SOCIÉTÉ GEOLOGIQUE DE FRANCE, p. 175-176.
- Quaresma, V.S.; Dias, G.T.M. & Baptista, N.J.A. 2000. Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0 kHz) na porção sul da Baía de Guanabara – RJ. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(2): 201-214.
- Russell, R.J. 1962. Origin of beachrock. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 6:1-16.
- Scholle, P. 1978. A collar illustrated guide to carbonate rock constituents, textures, cements and porosities. American Association of Petroleum Geologist Memoir 27, Tulsa, Oklahoma, 241 p.
- Souza, L.A.P. 2006. *Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas*. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Química e Geológica, IO, USP, São Paulo, Tese de Doutorado, 311 p.
- Souza, L.A.P. 2008. A investigação sísmica de áreas submersas rasas: Parte I-fundamentos e Demandas. *Boletim da SBGF*, n. 2, p. 11 - 19.
- Souza, J.L.; Santos, L.D.J.; Rocha, A.C.P.; Silva, W.F. & Correa, A. C.B. 2012. Compartimentação geomorfológica da Planície do Recife a partir da análise dos depósitos quaternários. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMORFOLOGIA, 9, Rio de Janeiro, *Boletim de Resumos*, p. 01-05.
- Souza, L.A.P. & Gandolfo, O.C.B. 2012. Métodos geofísicos em geotecnia e geologia ambiental. *Revista Brasileira de Geologia e Engenharia e Ambiental*, 2(2):10-27.
- Suguio, K. & Tessler, M.G. 1984. Planície de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. In: LACERDA, L. D.; ARAÚJO, D. S. D.; TURCQ, B. (Eds), *Restingas: Origem, Estrutura e Processos*, p.15-25.
- Suguio, K.; Angulo, R.J. & Carvalho, A.M. 2005. Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO DO BRASIL, ABEQUA, Ribeirão Preto, *Boletim de Resumos*, 114-129 p.
- Van Andel, T.H. & Laborel, J. 1964. Recent high relative sea level stand near Recife, Brasil. *Science*, 145:580 -581.
- Veronez, J.R.P. 2009. Sonar de Varredura Lateral e Sísmica de Alta Resolução Aplicada no Estudo de Ecofácies na Baía de Vitória – ES. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27(3): 441-426.
- Vieira, M.M.; Sial, A.N.; Ros, L.F. & Morad, S. 2017. Origin of holocene beachrock cements in northeastern Brazil: Evidence from carbon and oxygen isotopes. *Journal of South American Earth Sciences*, 79:401-408.
- Wright, V.P. 1990. Peritidal carbonates. In: TUCKER, M. & WRIGHT, V.P. (Eds.), *Carbonate sedimentology*, Blackwell Scientific Publication, London, 482p.