



# Caracterização geomorfológica, através de batimetria multifeixe, de uma área da plataforma continental adjacente a Diogo Lopes, RN

Henrique Ferreira Lira\*, UFRN, Helenice Vital, UFRN

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

## Abstract

This paper presents geomorphological mapping of an area of the continental shelf adjacent to Diogo Lopes (RN), using the hydro acoustic method: multibeam echo bathymetry. Were acquired, processed and interpreted 60 lines arranged in parallel and distant 25 km from the coast, each with approximately 11 km long and spaced every 40 m, with a total area of approximately 28,6 km<sup>2</sup>. The system used was the echo sounder from Reson, model SeaBat 8124, operated at a frequency of 200 kHz. At the end of the geomorphological interpretation were identified forms of seabed such as: large to very large dunes cross the coast, line of beachrocks, submarine channel, and reef body.

## Introdução

A área de atuação da Petrobras na porção submersa da Bacia Potiguar vai desde águas muito rasas até a profundidade de cerca de 50 m, se estendendo no sentido leste - oeste desde o alto de Touros, no estado do Rio Grande do Norte, até o Ceará. Considerando que as atividades de exploração e produção de petróleo nesta área ocorrem em águas rasas, próximas da costa, e em ambientes de elevada importância biológica, se faz necessário o monitoramento em escala regional para avaliar possíveis alterações que possam ocorrer na área ao longo do tempo.

Neste sentido, métodos geológicos e geofísicos de alta resolução são empregados no ambiente marinho para obter uma visão coerente da morfologia e estratigrafia rasa subjacente. O mapeamento da morfologia, associado à distribuição sedimentar, compõem um conjunto de informações úteis para a avaliação da biota marinha e distribuição dos contaminantes, além de auxiliar na escolha de rotas e instalações de obras de engenharia, de forma a se evitar aqueles ambientes de maior sensibilidade e biodiversidade, como os ambientes recifais.

O presente trabalho tem como objetivo o mapeamento geomorfológico através de levantamento com ecobatímetro multifeixe de uma área da Bacia Potiguar na plataforma continental norte do estado do Rio Grande do Norte, adjacente ao município Diogo Lopes. O centro da área dista da costa aproximadamente 30 km, ou 16,2

milhas náuticas e está delimitada pelo polígono de coordenadas 772419,67 e 9471162,24 metros no canto superior esquerdo, 781800,93 e 9465371,43 metros no canto inferior direito, sob o sistema de coordenadas projetadas ao datum WGS 1984 e projeção UTM zona 24 sul, conforme mostra a Figura 1.

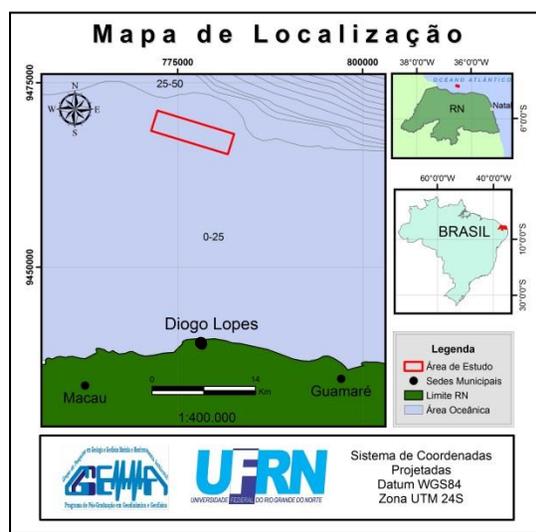


Figura 1 - Mapa de localização da área estudada.

## Metodologia

O sistema de aquisição de dados utilizado foi o ecobatímetro da Reson, modelo SeaBat 8124, específico para águas rasas, operado na frequência de 200kHz. Conjuntamente a este sistema, fez-se uso de DGPS, medidor de velocidade do som na coluna d'água, compensador de movimentos da embarcação e bússola digital. O meio flutuante utilizado, que possibilitou o acesso à área de coleta dos dados e no qual todos os equipamentos acima foram instalados, foi o Navio Balizador Comandante Manhães (NB H-20).

Na Figura 2 é possível observar os monitores de controle utilizados na etapa da aquisição de dados, além do navio NB H-20; têm-se em A o monitor exibindo o módulo survey do software Hypack; A1 têm-se o backscatery (imagem sonográfica do fundo oceânico); A2 mostra o comportamento dos feixes emitidos; A3 exibe um modelo prévio de batimetria, em B têm-se a tela de posicionamento onde é possível identificar em amarelo a embarcação e as linhas a serem seguidas na aquisição; em C a tela de configuração do transdutor que exibe na forma de pontilhados o comportamento dos feixes no fundo oceânico. Em D têm-se a imagem do navio onde foram instalados os equipamentos e adquiridos os dados.



Figura 2 - Monitores montados na sala de aquisição e o navio utilizado.

Para a etapa do processamento e geração dos modelos digitais de terreno (MDT's) foram usados, respectivamente, os softwares *Hypack 2009* e *Oasis Montaj 6.4.2*.

Na primeira fase, onde foi realizada a filtragem e edição dos dados, no software *Hypack 2009*, foi utilizado o fluxograma mostrado na Figura 3.

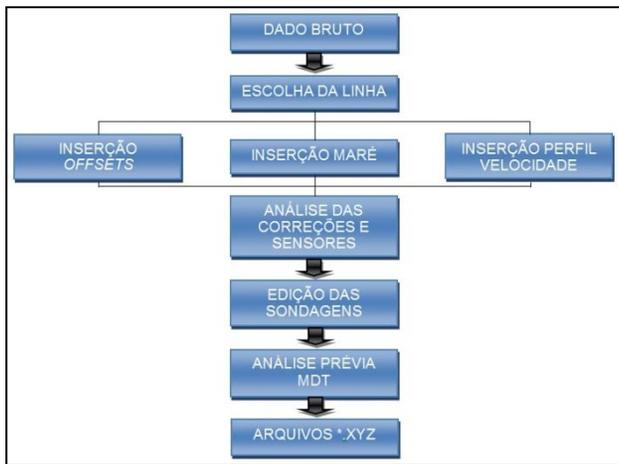


Figura 3 – Fluxograma de processamento utilizado na filtragem e edição dos dados batimétricos.

Foram adquiridas 60 linhas de batimetria multifeixe e esta fase do processamento é realizando individualmente, por isso a segunda caixa do fluxo é a escolha da linha; após a linha ter sido determinada, é necessário inserir no software os valores das medições de *offsets* realizadas na etapa de instalação do equipamento; são inseridos também os valores da variação da maré do dia referente àquela linha e o perfil de velocidade do som que foi executado mais próximo temporalmente.

Na caixa “Análise das correções e sensores” é feita uma análise visual (gráficos) e quantitativa dos valores mostrados, tanto das correções de maré e perfil de velocidade do som (correções), para saber se está tudo dentro do esperado, como também dos sensores de movimentos e posição da embarcação, na busca de suprimir possíveis erros.

Passa-se, então, para a “**edição das sondagens**”, que pode ocorrer de maneira manual ou automática (configurando filtros para agir automaticamente). Neste ponto do processamento, analisando-se grupos de feixes recebidos pelo transdutor (*sweeps*), realiza-se basicamente a retiradas de erros aleatórios (*spikes*) nos valores de profundidades, que podem ser positivos ou negativos; positivos quando informam, alguns feixes, uma profundidade errônea muito menor do que o restante do grupo de *sweeps* analisados; e negativos quando esses *spikes* apresentam profundidades muito altas, que fogem à média do restante dos feixes do grupo que está sendo analisado. A Figura 4 exhibe um grupo de 200 *sweeps* antes (Figura 4 A) e após (Figura 4 B e C) a retirada dos *spikes* positivos.

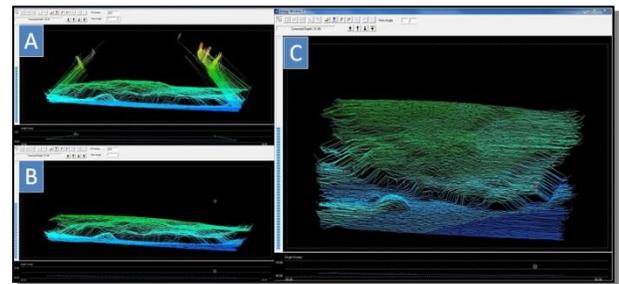


Figura 4 - Edição manual das sondagens. A) Trecho do dado antes da retiradas dos *spikes*; B) Mesmo trecho após a retirada dos *spikes*. C) Mesmo trecho mas com ângulo de visão diferente.

Após ter sido aplicado à linha, escolhida no início desse processo, as devidas correções e terem sido os *spikes* retirados, é realizada uma nova visualização e análise geral do dado, em 3D (MDT - Modelo Digital de Terreno prévio), sendo ainda possível a edição e retirada de algum ponto errôneo que possa ter passado despercebido (Figura 5).

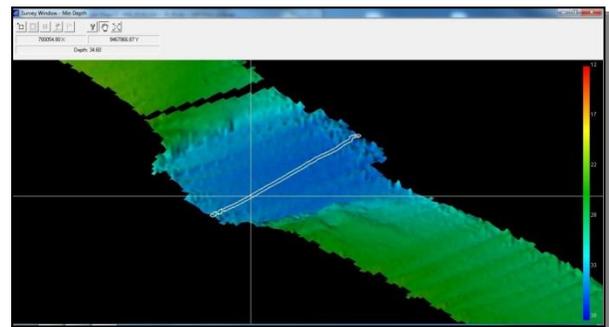


Figura 5 - Etapa de “Análise prévia do MDT”.

O último procedimento desta primeira fase do processamento é a exportação de cada linha em arquivos \*.xyz. Esses arquivos servirão de dado base para a segunda etapa, descrita a seguir.

O software utilizado nessa etapa (Geração dos Modelos Digitais de Terreno) foi o *Oasis Montaj 6.4.2* da empresa *Geosoft*, ambiente que possibilitou a união de milhões de medições de profundidades, associadas às devidas coordenadas X e Y, em modelos digitais de terreno, através do método da *krigagem* com células quadradas de 10 m.

O método de interpolação através da *krigagem*, de maneira simples, parte do princípio que pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados; segundo Landim (2000) é o método que resulta uma melhor precisão geral. Inúmeros outros autores também usaram a *krigagem* como método interpolador para gerar MDT's de regiões submersas (ARAÚJO, 2011; OLIVEIRA, 2009; SILVA FILHO *et al*, 2007; RESCK *et al*, 2007; LIMA, 2006, entre outros). O fluxograma utilizado nesta etapa, executado no *software Oásis Montag*, está representado na Figura 6.

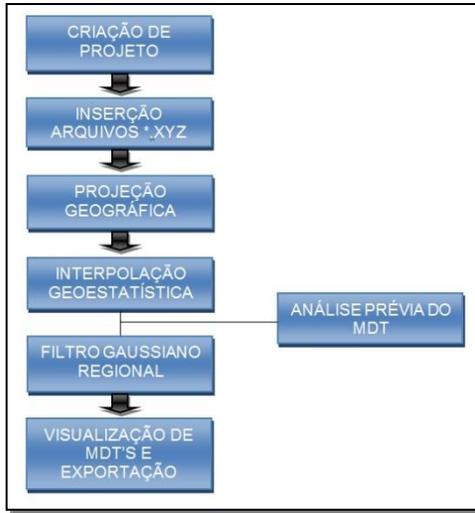


Figura 6 – Fluxograma de processamento utilizado na etapa de “Geração dos Modelos Digitais de Terrenos”.

Para a criação do projeto foi utilizado o *software Oásis Montag*. Os arquivos \*.xyz foram importados na forma de tabelas com três colunas: X, Y e Z (profundidade). Após a inserção dos dados foi necessário a configuração das planilhas para determinar as informações geográficas das colunas X e Y, como tipo de projeção, *datum* de referência e zona UTM a que pertencem.

Após as projeções terem sido determinadas, foi realizado o processo de interpolação do dado, utilizando o método da *krigagem* (interpolação geoestatística). O resultado obtido é mostrado na Figura 7.

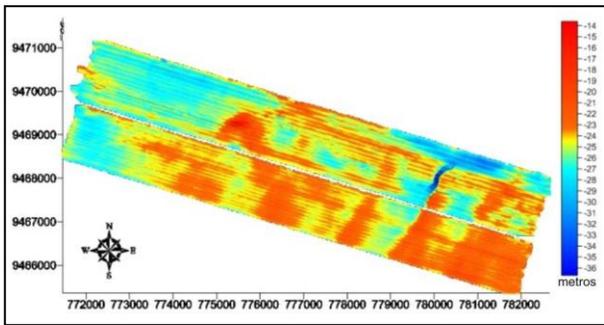


Figura 7 – Modelo Digital de Terreno “prévio” (sem filtro).

O MDT da Figura 7 foi visualizado na “Análise Prévia do MDT”, que constitui-se basicamente de uma análise visual do comportamento geral dos dados e sua disposição espacial; nesta etapa identificou-se a

necessidade da utilização de algum procedimento para a atenuação dos lineamentos paralelos as linhas de aquisição, aos quais não se tem certeza a origem (provavelmente algum desvio na adaptação do equipamento à embarcação).

Com o objetivo de atenuar esses lineamentos, foi utilizado o filtro Gaussiano Regional, aplicado com o *software Oasis Montag*, em seu módulo *Magmap*. O filtro Gaussiano é suave e funciona como um passa banda. O ponto de corte (*cutoff point*) escolhido é o desvio padrão da função gaussiana. No domínio da frequência, o operador matemático é definido pela equação (1):

$$L(r) = 1 - e^{-\left(\frac{r}{r_0}\right)^2} \quad (1)$$

Onde  $r_0$  é o desvio padrão da função gaussiana em ciclos/metro (Figura 8).

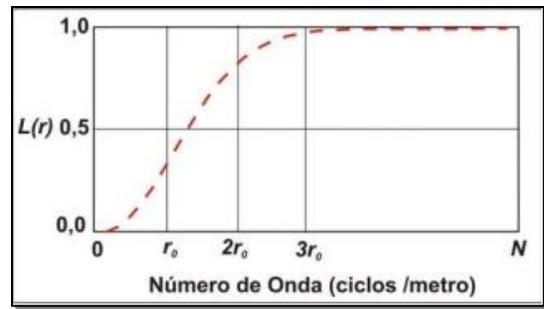


Figura 8 – Representação gráfica do filtro gaussiano (Geosoft, 2004).

Uma vez que os maiores números de onda foram atenuados e até retirados do espectro original, foi possível obter uma boa suavização dos lineamentos citados anteriormente, facilitando, assim, futuras interpretações e análises do Modelo Digital de Terreno. Na Figura 9 têm-se, em planta, o MDT filtrado.

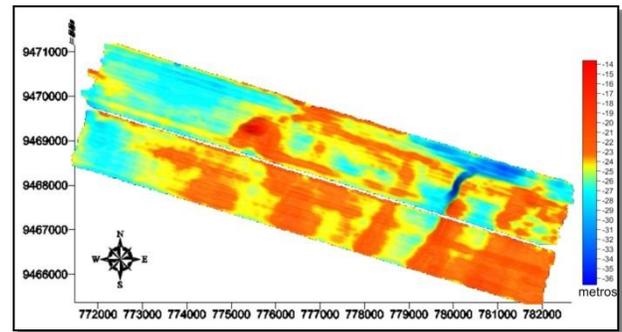


Figura 9 – MDT filtrado com Gaussiano Regional

A partir deste ponto, o dado já está pronto para a confecção de mapas, visualizações em 3D, e construção de perfis de profundidade.

### Apresentação e discussão dos resultados

Neste tópico serão apresentados e discutidos os produtos finais obtidos (MDT's e perfis de profundidade), assim como as interpretações sobre a geomorfologia da área onde foi realizado o levantamento.

Para a etapa da caracterização geomorfológica, além da interpretação dos próprios resultados obtidos pela batimetria multifeixe, tomou-se como base trabalhos pretéritos desenvolvidos na região (e.g. Costa Neto, 1997; Testa & Bosence, 1998; Vital *et al.*, 2008; Gomes & Vital, 2010; Cabral Neto *et al.*, 2010).

Inicialmente, sob um caráter geral, serão mostrados os perfis 1 e 3 na Figura 10. No perfil 1 se destacam duas feições principais: um corpo recifal e um canal submarino, apresentando, respectivamente, profundidades muito abaixo e acima da média; no perfil 3 chama-se a atenção para a continuidade do canal costa afora (*offshore*), agora com uma abertura mais extensa (marcado no perfil 3 da Figura 10 por uma elipse azul), e uma região a extremo noroeste da área, próximo ao ponto E do perfil, e que possui uma baixa média de profundidade (marcada no perfil 3 da figura 10 por um elipse preta).

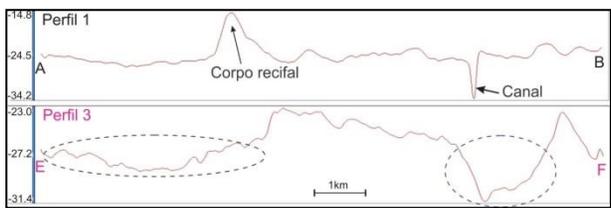


Figura 10 – Perfis 1 e 3 retratando de maneira geral as feições que se destacaram na área.

Na Figura 11 encontra-se a disposição espacial de onde foram realizados os perfis de profundidade na área de estudo.

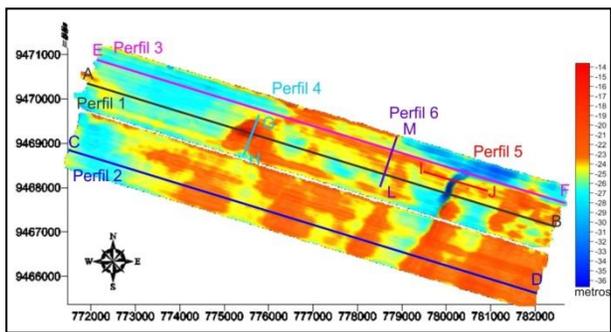


Figura 11 - Disposição dos perfis de profundidade ao longo da área estudada.

Uma análise conjunta dos modelos digitais de terreno e perfis de profundidade, além de uma correlação com trabalhos pretéritos realizados na área, possibilitou a interpretação de um conjunto de feições denominadas **dunas transversais**, também identificadas anteriormente na literatura (e.g. Santos *et al.* 2007; Vital *et al.*, 2008, Gomes & Vital, 2010), mas não com tanta precisão, já que os métodos utilizados não permitiam tais avaliações em pequena escala.

Cinco feições foram destacadas nos MDT's e perfis, como corpos de dunas transversais, classificadas segundo padrão internacional estabelecido por Ashley (1990), como dunas grandes a muito grandes, por possuírem mais de 100 m de extensão e entre 4,5 a 5 m de altura. Apresentam cristas retas a levemente

sinuosas, no limite entre 2D e 3D. As cristas apresentam preferencialmente direção NE-SW; também é possível notar, na Figura 12, que algumas são mais expressivas que outras.

É possível, ainda, fazer uma correlação da forma que estas feições estão dispostas e as correntes locais. Vital *et al.* (2008) e Gomes (2012) realizaram medições de direção e velocidade das correntes com sensores tipo S4, e obtiveram resultados que mostraram uma direção preferencial das correntes para oeste-noroeste, com velocidades variando entre 10 e 40 cm/s.

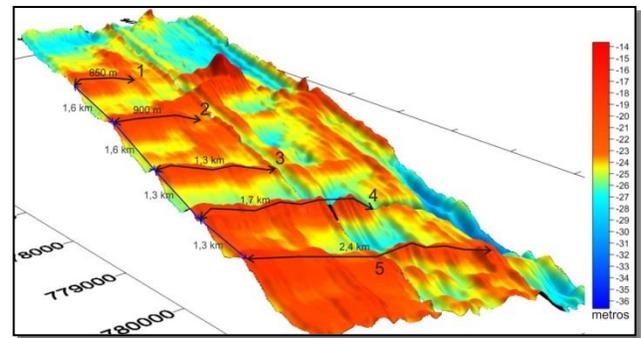


Figura 12 – Interpretação da disposição dos corpos de dunas transversais, além das análises quantitativas.

Essa direção de correntes é compatível com a direção de transporte do material inconsolidado que forma as dunas submersas, onde é possível diferenciar uma face mais suave de menor inclinação e outra mais íngreme (efeito mais visível nas feições 3 e 4, Figura 12), evidenciando, assim, a direção e o sentido de fluxo dos sedimentos.

Em relação às análises quantitativas, também na Figura 12, em comprimento, os corpos 3, 4 e 5 são mais expressivos, medindo, respectivamente, 1,3 km, 1,7 km e 2,4 km, enquanto 1 e 2 apresentam extensão de 850 m e 900 m, respectivamente. A distância entre as cristas de 1 e 2, 2 e 3, é da ordem de 1,6 km, enquanto que entre 3 e 4, 4 e 5, têm-se aproximadamente 1,3 km.

Em relação às profundidades, têm-se representado, na Figura 13, o perfil 2 que foi realizando cortando as dunas transversais, onde suas cristas apresentaram os seguintes valores de profundidade: 1 – 22,2 m; 2 e 5 – 21 m; 3 e 4 – 21,5 m.

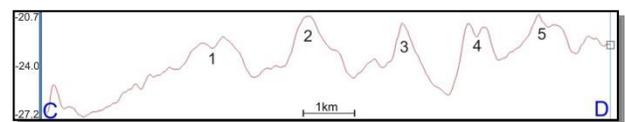


Figura 13 – Perfil de profundidade com as dunas transversais numeradas de 1 a 5.

Outra feição que pôde ser imageada foi um cordão de rochas praias (**beachrocks**) que se encontram dispostas paralelamente às linhas de aquisição, no limite imageado costa afora, com direção aproximadamente oeste-noroeste. São corpos mais elevados que suas adjacências. Na Figura 14 têm-se a interpretação (linhas pontilhadas), no MDT, desses **beachrocks** longitudinais identificados na área.

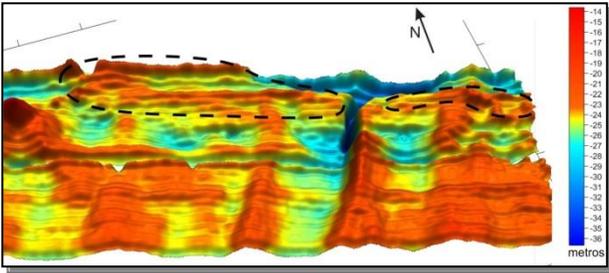


Figura 14 – Interpretação dos *beachrocks* no Modelo Digital de Terreno.

Foi realizado um perfil transversal a essas feições e constatou-se a diferença de profundidades da seguinte ordem (Figura 15).

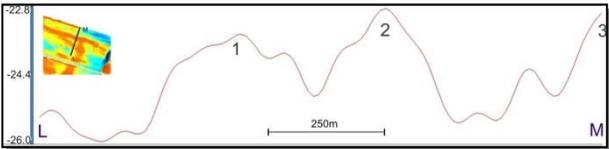


Figura 15 – Perfil 6 cortando a linha de *beachrocks*.

Em dados quantitativos, ainda na Figura 15, as profundidades nos pontos 1, 2 e 3, marcados no perfil são respectivamente 23,4 m, 22,9 m e 23 m, até onde foi possível imagear.

Foi identificado na porção NE da área uma feição em forma de **canal submarino**, com profundidade bastante acima da média, chegando a 34,1 m, com extensão de aproximadamente 1,5 km (até onde foi realizado o levantamento) seguindo um *trend* NE-SW, e que se alarga de forma abrupta da ordem de 140 m para 2,5 km em direção *offshore* (Figura 16). Este canal secciona a linha de rocha praia descrita anteriormente.

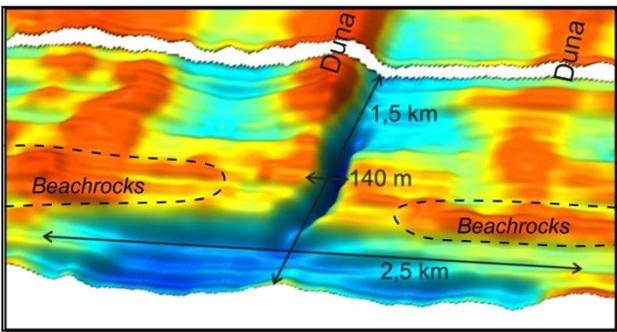


Figura 16 – Disposição espacial e análises quantitativas do canal submarino.

Para reforçar o entendimento a respeito desta feição, é apresentado um perfil transversal ao canal, demonstrando sua elevada profundidade em relação às áreas adjacentes (Figura 17).

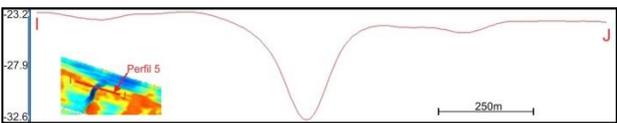


Figura 17 – Perfil 5 que corta transversalmente o canal.

Neste ponto do canal, a profundidade máxima foi de 32,6 m, mais profundo aproximadamente 9,2 m de sua borda oeste e 7,8 m de sua margem leste.

Outra feição que também se destacou em relação as suas adjacências, e sem qualquer ligação com outras estruturas, pelo menos, tão expressivas quanto ele, foi interpretado como um **corpo recifal**; possui forma aproximadamente arredondada e sem qualquer direção preferencial. Segue abaixo sua representação em 3D, em quatro ângulos distintos de visualização, todos com 90° de diferença. (Figura 18).

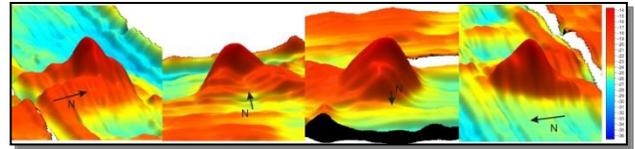


Figura 18 – Representação em 3D do corpo recifal.

Foi realizado um perfil específico para esta feição (Perfil 4), para que fosse possível ter uma melhor dimensão de seu comportamento em relação à profundidade (Fig. 19).

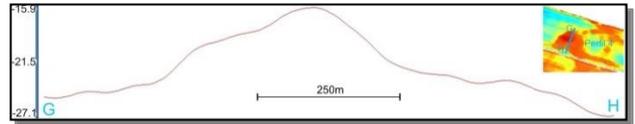


Figura 19 – Perfil de profundidade do corpo recifal.

O topo do corpo recifal encontra-se, no ponto onde o perfil foi traçado, a 15,8 m de profundidade, o que representa uma variação de 8 a 12 m para suas adjacências.

Em relação às suas dimensões, o corpo recifal apresenta suas maiores distâncias perpendiculares mostradas na Figura 20.

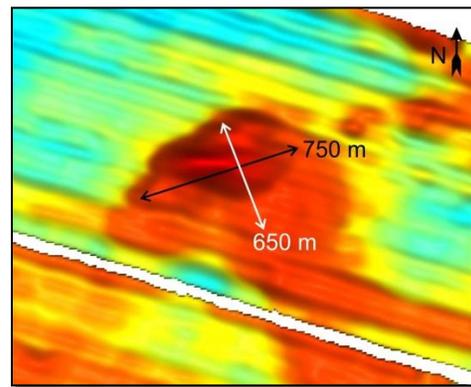


Figura 20 – Representação espacial das dimensões do corpo recifal.

### Considerações finais

Considera-se que o método de aquisição de dados batimétricos em regiões imersas, adotado por este trabalho, a ecobatimetria multifeixe, configurou-se extremamente adequado para alcançar o objetivo proposto inicialmente: a caracterização geomorfológica de uma área da plataforma continental norte do estado do RN.

Toda a etapa de aquisição dos dados, desde o planejamento, teste de bancada, instalação do equipamento à embarcação (etapas pré-campo), e as atividades em campo propriamente ditas, foram imprescindíveis e decisivas para o efetivo aproveitamento do potencial que o sistema multifeixe apresenta, por si só, como o mais moderno método de levantamento batimétrico da atualidade.

O processamento dos dados mostrou-se ferramenta indispensável para que fosse possível a interpretação e caracterização geomorfológica da área escolhida por este trabalho, atenuando ao máximo medições errôneas de profundidade, na medida em que foram aplicadas correções automáticas, provenientes de equipamentos acessórios (compensador de movimentos da embarcação, DGPS, bússola digital e perfilador de som) ao sistema hidroacústico utilizado, e feitas as edições manuais das sondagens, além da utilização do filtro Gaussiano que proporcionou uma suavização dos ruídos paralelos às linhas de aquisição, provavelmente causados por algum desvio na adaptação do transdutor à embarcação.

A geração dos produtos finais como Modelos Digitais de Terreno (3D), perfis de profundidade em pontos específicos da área, mapas em planta e georreferenciados, correlação com trabalhos pretéritos da mesma região, foram essenciais para a realização das interpretações morfológicas subaquáticas, tanto em caráter qualitativo, quanto quantitativo.

As feições mais expressivas, caracterizadas com maior detalhe na etapa da interpretação dos dados foram: um conjunto de dunas transversais, dispostas preferencialmente seguindo um *trend* NE-SW, com extensões e profundidades variadas, mas da ordem de centenas e dezenas de metros, respectivamente; uma linha de rocha praial; um corpo recifal isolado, mais raso que suas adjacências 9 a 10 m, com forma aproximadamente arredondada e sem qualquer direção preferencial; e um canal submarino, na porção NE da área, que apresentou até 34,1 m de profundidade e extensão de aproximadamente 1,5 km (até onde têm-se dados), seguindo uma direção NE-SW, e que se alarga de maneira brusca, em direção *offshore*, da ordem de 140 m para 2,5 km.

## Referências

ARAÚJO MV. 2011. Modelo Batimétrico da Plataforma Continental Interna de Acaraú – Ceará – Brasil. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.7682.

ASHLEY GM. 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Journal of Sedimentary Petrology* 60: 160-172.

CABRAL NETO I, CORDOBA VC, VITAL H. 2010. Petrography of offshore beachrock adjacent to the north coast of Rio Grande do Norte state, Brazil. *Quaternary and Environmental Geosciences* (2010) 02(2):12-18.

COSTA NETO LX. 1997. Evolução geológica-geomorfológica recente da plataforma continental interna ao largo do delta do Rio Açu, Macau - RN. Dissertação

de Mestrado - Programa Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense. 214p.

GOMES MP & VITAL H. 2010. Revisão da compartimentação geomorfológica da Plataforma Continental Norte do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 40(3): 321-329.

GOMES MP. 2012. Geomorfologia e arquitetura interna do vale inciso do rio Açu na bacia potiguar imersa (NE Brasil). Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica – UFRN.

LANDIM PMB. 2000. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. Texto didático 02. UNESP, Campus de Rio Claro, Departamento de Geologia Aplicada, Laboratório de Geomatemática.

LIMA SF. 2006. Caracterização geomorfológica e paleogeográfica da plataforma continental adjacente a foz do Rio Apodi Mossoró, RN/Brasil. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, UFRN.

OLIVEIRA PRO. 2009. Caracterização morfológica e sedimentológica da plataforma continental brasileira adjacente aos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí – CE. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, UFRN.

RESCK RP, BEZERRA NETO JF, COELHO RMP. 2007. Nova batimetria e avaliação de parâmetros morfométricos da Lagoa da Pampulha (Belo Horizonte, Brasil). *Geografias Artigos Científicos*, 03(2): 17-23.

SANTOS CLA, VITAL H, AMARO VE, KIKUCHY RKP. 2007. Mapeamento de recifes submersos na costa do Rio Grande do Norte, NE Brasil: Macau e Maracajau. *Revista Brasileira de Geofísica*. 25(1): 27-36.

SILVA FILHO WS, CASTRO DL, CORRÊA ICS & FREIRE GSS. 2007. Estruturas Rasas na Margem Equatorial ao Largo do Nordeste Brasileiro (Estado Do Ceará): análise de Relevo e Anomalias Gravimétricas Residuais. *Revista Brasileira de Geofísica*, 25(1): 65-77.

TESTA V & BOSENCE DWJ. 1998. Carbonate-siliciclastic sedimentation on high-energy, ocean-facing, tropical ramp, NE Brazil. In: WRIGHT VP & BURCHETTE TP. (Ed.) Carbonate Ramps. Geological Society London Special Publications, 149: 55-71.

VITAL H, STATTEGGER K, AMARO VE, SCHWARZER K, FRAZÃO EP, TABOSA WF, SILVEIRA IM. 2008. A modern high-energy siliciclastic-carbonate platform: Continental shelf adjacent to northern Rio Grande do Norte State, north-eastern Brazil. In: HAMPSON GJ; STEEL RJ; BURGESS PM; DALRYMPLE RW. (Ed.) Recent advances in models of siliciclastic shallow-marine stratigraphy. SEPM Special Publications, 90: 175-188.