



Mapeamento de Estruturas Submersas e Sedimentologia Utilizando Dados SRTM Plus e Landsat 8: Região Adjacente ao Rio Jaguaribe, Plataforma Leste do Ceará

Narelle Maia de ALMEIDA¹, George Satander Sá FREIRE²,
Michael Vandesteem Silva SOUTO², Márcio Nunes NORMANDO³

Resumo: Areias e cascalhos da plataforma continental têm sido amplamente utilizados para a construção civil em países da Europa, Ásia, América e Oceania. Para a investigação sedimentológica superficial do fundo marinho é importante conhecer a relação lateral entre as fácies e a morfologia de fundo. O uso de produtos de sensores remotos possibilita o mapeamento de feições submersas e mostra-se como um método de baixo custo e eficaz. O objetivo desse estudo é mapear estruturas submersas da região adjacente à desembocadura do Rio Jaguaribe, plataforma leste do Estado do Ceará, integrando os dados de morfologia de fundo aos dados de sedimentologia. Foram utilizados dados do sensor orbital OLI/Landsat 8, SRTM plus e 83 amostras sedimentológicas pontuais. O processamento digital de imagens permitiu o zoneamento da área de estudo com base na morfologia e no padrão da distribuição sedimentar do fundo marinho. Cinco zonas foram interpretadas: Zona 1, caracterizada por sedimentos em suspensão e pelas fácies Areia siliciclástica e silicibioclástica; Zona 2, por dunas oblíquas ou áreas de leito plano compostas pelas fácies Areia siliciclástica, Areia siliciclástica com grânulos e cascalhos e Cascalho siliciclástico; Zonas 3, por dunas transversais de Areia bioclástica com grânulos e cascalhos e Areia bioclástica; Zona 4 caracterizada pela mesma composição da zona 3, porém com um fundo rugoso; e Zona 5 com sedimentos da fácies Lama terrígena. A integração de dados de sensores remotos e sedimentológicos mostrou-se apropriada para geração de mapas de zoneamento de áreas submersas os quais podem auxiliar pesquisas para prospecção desses importantes recursos minerais.

Palavras-chave: Morfologia de fundo, Plataforma continental, Sensoriamento remoto, Fácies sedimentares, Sedimentologia.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus de Parelhas

² Departamento de Geologia - Universidade Federal do Ceará

³ Consultor Independente

Autor para correspondência: Narelle Maia de Almeida

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Avançado Parelhas. Programa de Pós Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, Blocos 912/913, Campus Universitário do Pici, 60455-760. Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: narellemaia@gmail.com.

Recebido durante o XXVI SGNE 2015 / Aceito em 21 de junho de 2016.

Abstract: Sands and gravels of the continental shelf have been widely used for construction in Europe, Asia, America and Oceania. For sedimentological investigation of the seabed it is important to know the lateral relationship between the facies and the bottom morphology. The use of remote sensing products enables mapping submerged features and shows up as a method of inexpensive and efficient. The aim of this study is to map underwater structures in the area adjacent to the mouth of Jaguaribe River, eastern shelf of Ceará, integrating the bottom morphology to sedimentology data. Product of OLI / Landsat 8, SRTM plus and 83 sedimentological samples were used. The digital image processing allowed the zoning of the study area based on the morphology and distribution pattern of sedimentary seabed. Five zones were interpreted: Zone 1, characterized by suspended sediments and the facies siliciclastic sand and silicibioclastic; Zone 2, by oblique dunes or areas of flat bed composed by siliciclastic sand, siliciclastic sand with gravel and siliciclastic gravel; Zones 3, by transverse dunes and bioclástica sand with gravel and bioclastic sand; Zone 4, characterized by the same composition of zone 3, but with a rugous background; and Zone 5 with sediments of terrigenous mud. The integration of remote sensing data and sedimentological proved to be suitable for generation of zoning maps of submerged areas which can help research to exploration of these important mineral resources.

Keywords: Seafloor morphology, Continental shelf, Remote sensing, Sedimentary facie, Sedimentology.

1. INTRODUÇÃO: IMPORTÂNCIA DO TEMA

O Governo brasileiro, através do Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC), instituído pelo Decreto nº 98.145, de 15 de setembro de 1989, realizou a delimitação fisiográfica da plataforma continental brasileira, dando um novo limite para a ZEE (Zona Econômica Exclusiva) além das 200 milhas náuticas, em que o Brasil exercerá os direitos exclusivos de soberania para a exploração e o aproveitamento dos recursos naturais do leito e do subsolo de sua plataforma continental (SOUZA, 1999).

De acordo com Coutinho (1995), as margens continentais concentram 90% do potencial econômico marinho, no que diz respeito a alimentos, combustíveis fósseis e minerais de valor econômico, o que evidencia sua importância estratégica nacional. De acordo com Cavalcanti (2011) vários depósitos minerais são amplamente explorados em

algumas ZEE ao redor do mundo. Dentre eles, destacam-se a utilização de areias e cascalhos para construção civil na Europa, Ásia e Oceania; cascalhos e areias carbonáticas na Europa, Ásia, América do Norte e do Sul; minerais pesados (ouro, terras raras, estanho, titânio, zircônio e outros) na Ásia, África, América do Norte e Oceania e diamantes ao largo da costa atlântica da África. Têm-se ainda que depósitos localizados na plataforma continental, devido à maior proximidade à linha de costa (< 200 milhas) e ao mercado consumidor, são mais atraentes e viáveis economicamente.

A chave da investigação sedimentológica é a tentar compreender a relação lateral entre as fácies e sua relação com a morfologia de fundo (RANKEY, 2002; TESTA & BOSENCE, 1999; PURKIS *et al.*, 2005; ARAÚJO & AMARAL, 2016). Os controles sobre a

origem de formas de fundo de grande escala estão relacionados: à história do nível do mar e suprimento de sedimentos clásticos; e à alta energia hidrodinâmica; à produção carbonática e estabilização de comunidades bentônicas (TESTA & BOSENCE, 1999).

Pesquisas sobre a morfologia, controle hidrodinâmico e tectônico nas formas de fundo do assoalho oceânico têm sido conduzidas por vários grupos (engenheiros, geólogos, oceanógrafos, geógrafos físicos) (ASHLEY, 1990). Para o mapeamento da morfologia de fundo tem-se utilizado bastante imagens de satélites, pois estas possibilitam a interpretação de estruturas submersas, indicando feições que podem ser objetos de estudos futuros. Tal método mostra-se eficaz e de baixo custo, como demonstrado por Viana *et al.* (1991), Testa & Bosence (1999), Andréfouët & Riegl (2004), Hamel & Andréfouët (2010), Araújo & Amaral (2016), dentre outros.

O objetivo desse estudo foi, portanto, mapear a morfologia de fundo da região defronte à desembocadura do Rio Jaguaribe, plataforma continental leste do Estado do Ceará (Figura 1), integrando à sedimentologia na tentativa de descrever e interpretar a zonação dos sedimentos plataformais e suas associações às formas de fundo.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na plataforma continental leste do Estado do Ceará (Figura 1). Está sob as influências das correntes Norte Brasileira e Equatorial Sul. A primeira possui águas oxigenadas e salinas, a segunda age no sentido leste-oeste na altura do Equador provinda das proximidades da costa africana para o Brasil (FREINRE, 1985; MONTEIRO, 2011).

As marés no Estado do Ceará são semidiurnas com amplitudes variando

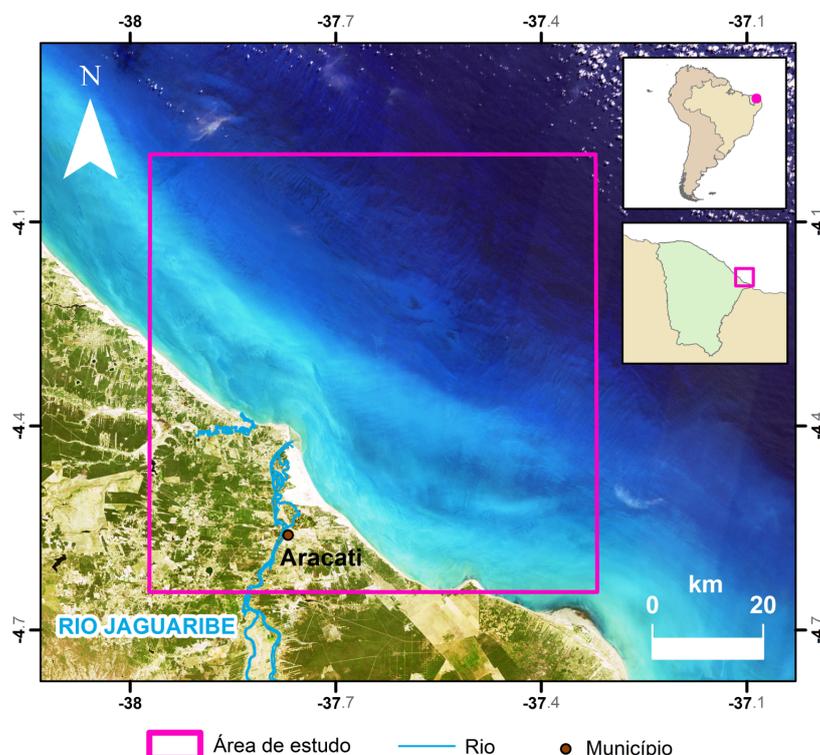


Figura 1. Área de estudo: plataforma continental adjacente ao Rio Jaguaribe. (Imagem Landsat 8, RGB 432, de 08/06/2013).

entre 0,75 m a 3,23 m, onde as ondas apresentam média de altura de 1,15 m e período médio de onda mais frequente de 5,7 segundos (FREIRE, 1985; MAIA, 1998).

A plataforma possui uma largura média de 63 km e foi subdivida em plataforma interna e externa por Freire (1985). A plataforma interna varia de 0 a 20 m de profundidade e é caracterizada por areias quartzosas e sedimentos clásticos. Já plataforma externa vai de 20 m até a quebra da plataforma, com profundidade média de 60 m, sendo sua sedimentação dominada por algas calcárias (FREIRE, 1985; LACERDA & MARTINS, 2006).

Oliveira (2009) e Monteiro (2011), estudaram a morfologia e/ou sedimentologia da plataforma leste do Estado do Ceará utilizando dados sonográficos, batimétricos, de sensoriamento remoto e ROV. Cordeiro *et al.*, (2011) identificaram cordões arenosos longitudinais, campo de dunas oblíquas e a pluma de sedimentos da desembocadura do Rio Jaguaribe em imagens Landsat 5, sem, contudo, efetuar a integração com dados batimétricos e sedimentológicos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados os dados SRTM plus (Shuttle Radar Topography Mission) para modelagem do relevo emerso e da plataforma continental (Figura 2).

Os dados SRTM plus são resultados de um *grid* de resolução topográfica e batimétrica global de 30" (aproximadamente 0,925 km). A batimetria oceânica do SRTM plus é baseada num modelo gravitacional onde a razão gravidade/topografia foi calibrada usando 298 milhões de pontos batimétricos editados (BECKER *et al.*, 2009). Os dados foram obtidos no *site*

http://topex.ucsd.edu/www_html/srtm30_plus.html onde é possível inserir as coordenadas da área que se deseja obter os dados.

Para o processo de geração dos *grids*, foi utilizado o programa ArcGIS® 9.3 o qual tem disponíveis vários interpoladores. Neste trabalho utilizou-se a *krigagem*, que segundo Landim (2000) é o método que resulta numa melhor precisão geral.

Os corpos aquosos se comportam como meios de razoável transparência às radiações eletromagnéticas de comprimento entre 0,38 e 0,7 μm (espectro visível), sendo praticamente nula na faixa do infravermelho, pois nessa faixa de comprimento de onda a radiação é quase que totalmente absorvida pela coluna d'água (Novo, 1992). A escolha pelo satélite Landsat 8, sensor OLI (*Operation Land Imager*), foi devido a existência da banda 1 (também conhecida como banda ultra-azul) que abrange a faixa 0,43 - 0,45 μm do espectro eletromagnético, sendo muito útil em estudos costeiros e de ambientes submersos.

A imagem, órbita/ponto 216/063, de 08 de junho de 2013, foi obtida através do USGS (U.S. *Geological Survey*; USA) pelo *site* <http://earthexplorer.usgs.gov/>. A cena utilizada foi adquirida em período de maré baixa, fato que otimiza o mapeamento de estruturas submersas. Após o recorte da área de estudo, algumas composições foram feitas a fim de ressaltar diferentes estruturas. O processamento digital das imagens foi realizado no programa ER-Mapper® 7.1 e a interpretação das formas de fundo foi realizada de acordo com os conceitos de Ashley (1990) que utiliza parâmetros, tais como tamanho e espaçamento para a classificação das feições.

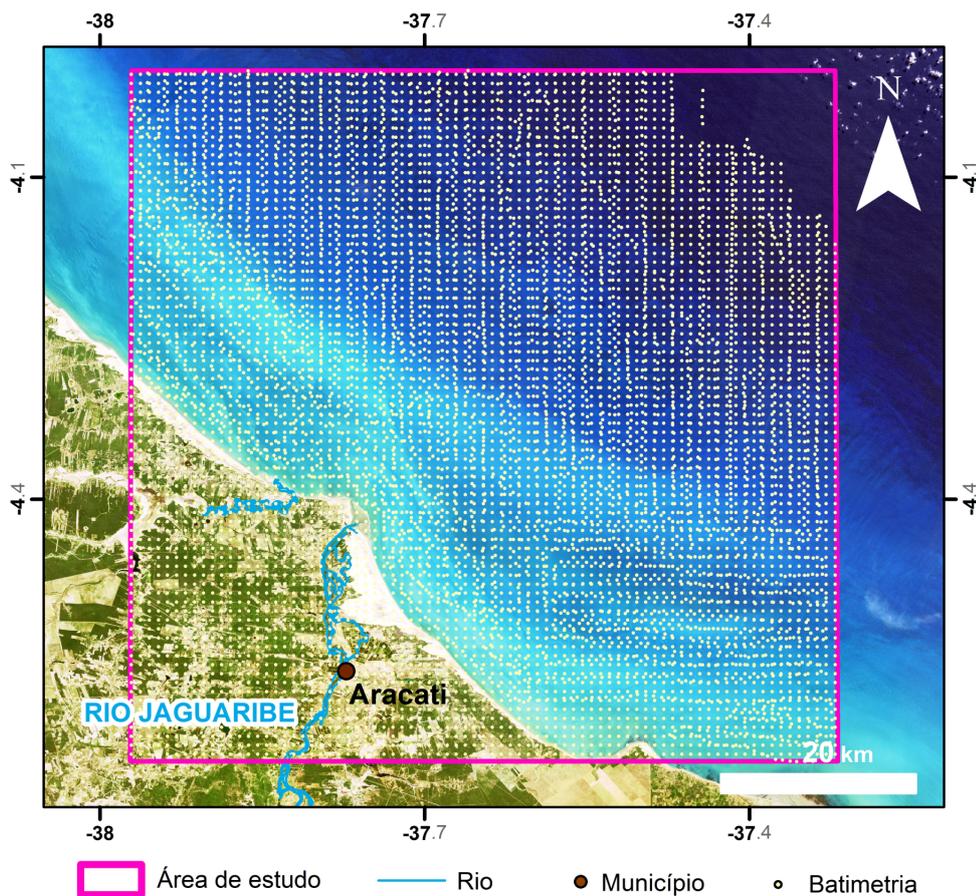


Figura 2. Dados do SRTM plus (total de 12892 pontos) utilizados para a modelagem do relevo da área de estudo.

As amostras sedimentológicas utilizadas são do acervo do Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA – UFC) e são provenientes dos Projetos Geocosta III, Geomar VIII, Mar XV e Remac. As análises granulométricas foram realizadas segundo o método tradicional de peneiramento a úmido, seguido por peneiramento seco e pipetagem. Após a obtenção das várias frações que compõem os sedimentos, prosseguiu-se com a classificação textural das amostras utilizando o programa ANASED.

O teor de CaCO_3 foi determinado pelo método do Calcímetro de Bernard (LAMAS *et al.*, 2005, modificado). Esse dado é integrado à análise granulométrica para definir as fácies dos sedimentos segundo a classificação de Freire *et al.*,

(1997). Neste trabalho, optou-se utilizar o termo siliciclástico ao invés de litoclástico como sugerido por Vital *et al.*, (2005) (Tabela 1).

Os dados foram integrados em ambiente SIG, pela plataforma ArcGIS® 9.3.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processamento digital da imagem Landsat 8 permitiu interpretar várias características e formas de fundo da plataforma continental leste do Ceará. Dentre elas destacam-se campo de dunas subaquosas transversais, campo de dunas subaquosas oblíquas, diferenças texturais, construções recifais e beachrocks (Figura 3).

Tabela 1. Classificação de Freire et al., (1997). As fácies em cores são fácies encontradas na área de estudo e correspondem às mesmas cores das Figuras 3, 4 e 5.

SUBDIVISÕES PRINCIPAIS	SEIXOS, GRÂNULOS, COQUINAS OU RODOLITOS L < 15%; Md > 2mm	AREIAS L < 15% ; areia + lama > 50%; Md < 2mm		SEDIMENTOS LAMOSOS L > 15 %
		15% < superior a 2 mm < 50 %	superior a 2 mm < 15%	
SEDIMENTO LITOCLÁSTICO carbonatos < 30%	CL1 - Cascalho litoclástico	AL1a - Areia litoclástica com grânulos e cascalhos	AL1b - Areia litoclástica	LL1 - Lama terrígena
SEDIMENTO LITOBIOCLÁSTICO carbonatos = 30 a 50%	CL2 - Cascalho litobioclástico	AL2a - Areia litobioclástica com grânulos e cascalhos	AL2b - Areia litobioclástica	LL2 - Marga arenosa
SEDIMENTO BIOLITOCLÁSTICO carbonatos = 50 a 70%	CB1 - Cascalho biolitoclástico	AB1a - Areia biolitoclástica com grânulos e cascalhos	AB1b - Areia biolitoclástica	LB1 - Marga calcária
SEDIMENTO BIOCLÁSTICO carbonatos > 70%	CB2 - Cascalho bioclástico	AB2a - Areia bioclástica com grânulos e cascalhos	AB2b - Areia bioclástica	LB2 - Lama calcária

L = Lama; Md = Mediana

Na coluna d'água da plataforma continental interna até aproximadamente 15 m de profundidade, denominada aqui de **Zona 1** (Figura 4), apresentou sedimentos em suspensão na imagem analisada (Figura 3, item 6), o que impede a penetração das ondas eletromagnéticas até o fundo oceânico. Por isso, foi possível observar nesta região apenas estruturas do fluxo da corrente que segue paralela à costa. A resposta espectral (cores e níveis de cinza claro) do material presente na pluma de material em suspensão desta zona assemelha-se com a resposta espectral dos sedimentos presente no continente, regiões de dunas costeiras, praias arenosas e a desembocadura do Rio Jaguaribe. As fácies **Areia siliciclástica** e **Areia silicibioclástica** se destacaram na imagem para essa zona (Tabela 1 e Figura 4). São sedimentos em que a granulometria varia de areia muito fina a muito grossa, com grande maioria (79%) de granulometria de areia média, pobre a moderadamente selecionados. Duas amostras da fácies **Areia siliciclástica com grânulos** também ocorrem nesta zona as quais podem estar

associados à descarga fluvial.

A Zona 2 foi caracterizada por meio das imagens tratadas como dunas oblíquas e por áreas que possuem o **leito plano e regular**, ou seja, sem nenhuma forma de fundo característica (Figura 4). As dunas oblíquas aparecem localmente na parte oeste da área de estudo (Figura 3, item 2) com 10 km de comprimento e 1 km de espaçamento em média. De acordo com Ashley (1990), essas estruturas são classificadas como dunas oblíquas subaquosas muito grandes. Estas estruturas são chamadas de dunas oblíquas, pois fazem aproximadamente 45° com a linha de costa. Essa orientação sugere que um fluxo local de orientação aproximadamente 0° (N-S) originou estas formas de fundo. Tal fluxo pode existir através de correntes ondas, marés ou tempestades ocasionais (ASHLEY, 1990). A zona 2 é composta por sedimentos siliciclásticos, pois são encontradas as fácies **Areia siliciclástica**, **Areia siliciclástica com grânulos e cascalhos** e **Cascalho siliciclástico** (Tabela 1, Figuras. 3 e 4). Na região das dunas oblíquas (porção oeste, Figura 3)

os sedimentos são da fácies areia siliciclástica, já na parte mais central da área, onde ocorrem as construções

recifais, o tamanho do grão é maior, ocorrendo Areia siliciclástica com grânulos e cascalhos e Cascalho siliciclástico.

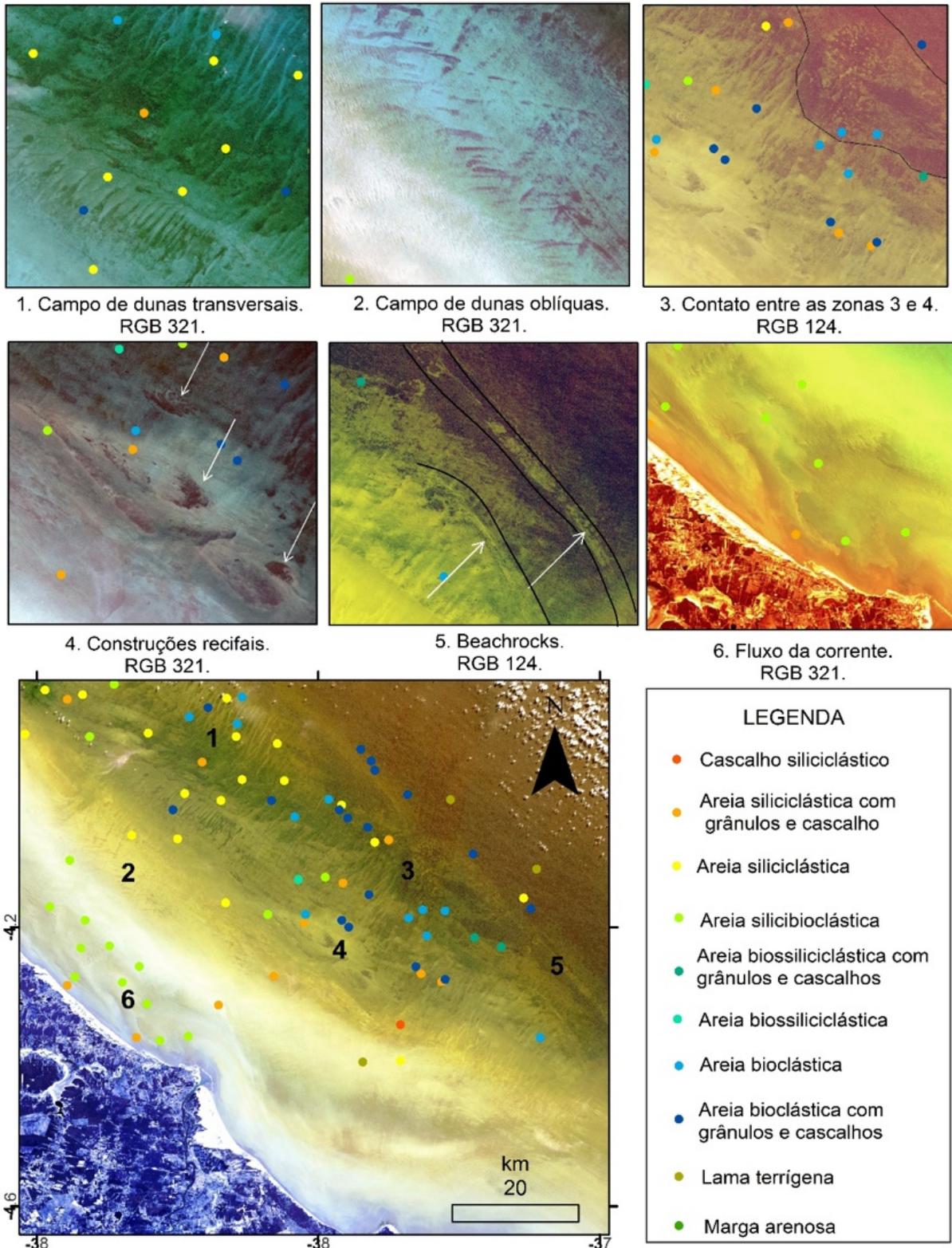


Figura 3. Compilação das características e formas de fundo encontradas na área de estudo.

O item 4 da Figura 3 mostra feições que foram interpretadas como construções recifais (Figura 4). A interpretação foi baseada na morfologia diferenciada, resposta espectral contrastante (cor e textura) e relevo acentuado em relação às regiões circunvizinhas. Mais estudos (side scan sonar, coleta de amostra, ROV e/ou mergulho) precisam ser realizados para constatar a existência, morfologia detalhada e composição desses corpos. Ressalta-se ainda a importância destes estudos já que possivelmente se tornarão áreas de preservação ambiental. Os recifes de corais abrigam uma extraordinária variedade de plantas e animais e são considerados como o mais diverso habitat marinho do mundo, e por isso, possuem grande importância econômica, pois representam a fonte de alimento e renda para muitas comunidades (FERREIRA & MAIDA, 2006).

Os campos de **dunas transversais** à linha de costa são as estruturas mais representativas da área de estudo (**Zona 3**, Figura 3, item 1, e Figura 4), ocorrendo numa faixa entre 20 e 40 m de profundidade. As dunas possuem entre 500 m até 2 km de comprimento, com espaçamento que varia de 400 m até 1 km. De acordo com Ashley (1990), essas estruturas são classificadas como dunas transversais subaquosas muito grandes. Esta zona foi caracterizada principalmente por sedimentos das fácies **Areia bioclástica com grânulos e cascalho** e **Areia bioclástica** (Figura 4). Alguns autores (TESTA & BOSENCE, 1999; VITAL *et al.*, 2005) citam que na plataforma continental potiguar, as Areias bioclásticas tendem a se concentrar nas porções mais altas (cristas das dunas) enquanto as Areias bioclásticas com grânulos e cascalhos concentram-se nas partes mais profundas

entre as formas de fundo.

Entre 40 e 60 m de profundidade foi delimitada a **Zona 4** onde o fundo marinho possui textura rugosa e reflectância característica com tonalidades escuras (Figura 4). Os sedimentos desta zona também são compostos por fácies **Areia bioclástica com grânulos e cascalho** e **Areia bioclástica**, entretanto não estão em formas de dunas. São extensos bancos de sedimentos carbonáticos em leito plano.

A partir de 60 m de profundidade, denominou-se de **Zona 5** (Figura 4). Nesta zona não foi mais possível a visualização do fundo marinho devido ao aumento brusco da profundidade que se reflete no baixíssimo sinal de retorno do fundo marinho, marcando a região de início da quebra da plataforma continental. Esta zona foi caracterizada pela fácies **Lama terrígena**, ou seja, são sedimentos finos que demonstram que o talude continental é um ambiente de mais baixa energia quando comparado à plataforma continental.

As linhas de rochas praias (*beachrocks*) foram interpretadas nas imagens como sendo as estruturas paralelas e contínuas (Figura 3, item 5, e Figura 4). Possuem direção SE-NW e possivelmente originaram-se no mesmo período que os beachrocks mapeados por Gomes *et al.*, (2010) na plataforma continental do Estado do Rio Grande do Norte. A identificação destas rochas na plataforma é de grande importância na correlação entre a variação do nível do mar, pois representam antigas linhas de costa (originadas nas zonas de intermaré). A cimentação das rochas praias é gerada por carbonato de cálcio e ocorre num processo rápido em períodos de 10 a 15 anos, preservando a evidência da posição do nível relativo do mar para a sua formação (GOMES *et al.*, 2010).

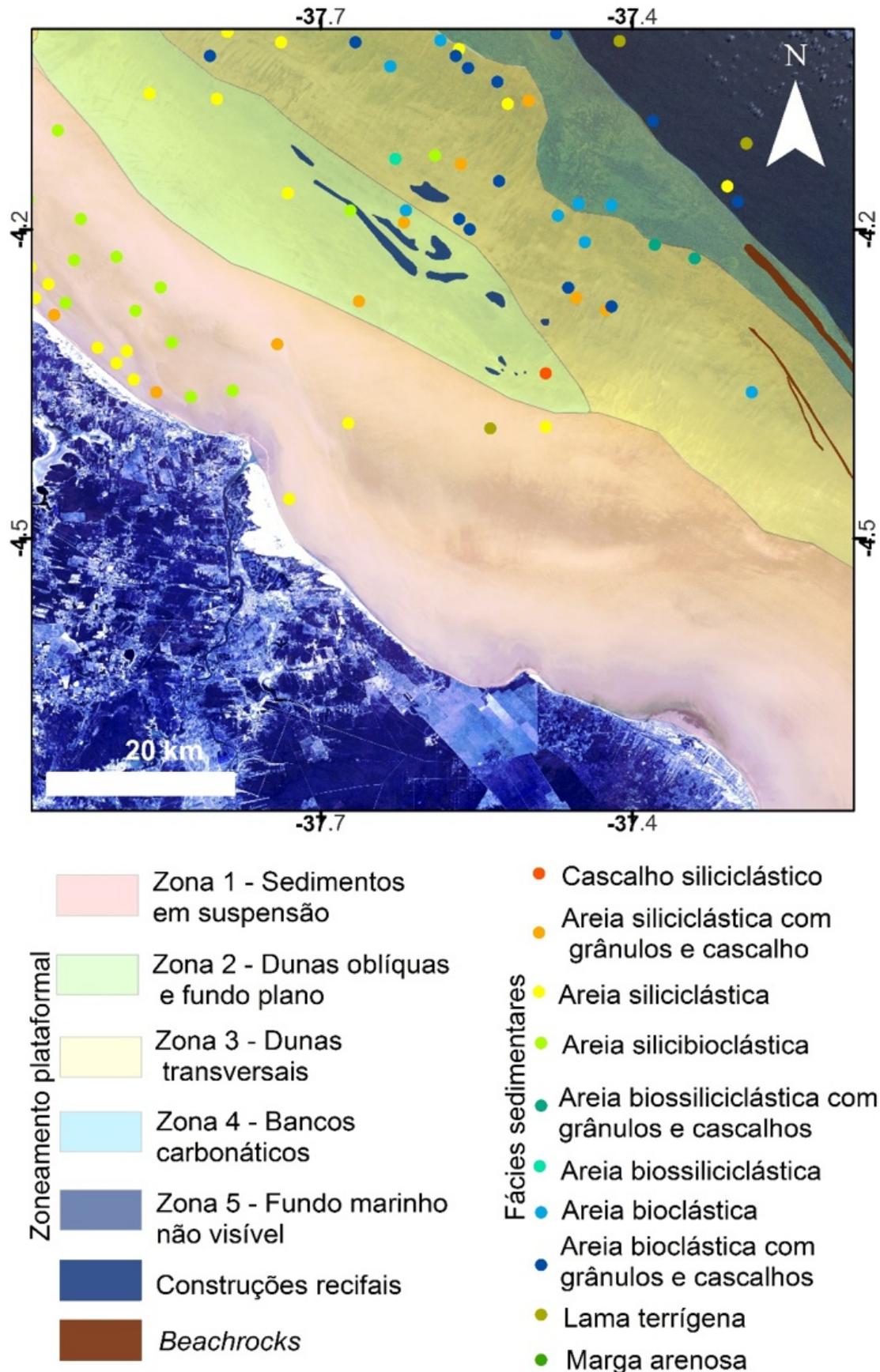


Figura 4. Zoneamento da plataforma continental defronte ao Rio Jaguaribe de acordo com suas formas de fundo e sedimentologia.

Vários trabalhos (TABOSA & VITAL, 2006; SANTOS *et al.*, 2007; CABRAL NETO *et al.*, 2006; GOMES & VITAL, 2010; VITAL *et al.*, 2008, 2010) indicam que tais estruturas estão associadas ao neotectonismo atuante na margem equatorial brasileira, mais especificamente na costa e plataforma continental do Rio Grande do Norte.

Os dados gerado pelo modelo batimétrico (Figura 5) e pelas imagens Landsat 8 processadas (Figura 3) não apresentaram morfologias indicativas de um paleocanal do Rio Jaguaribe, ou seja, a drenagem do Rio Jaguaribe na plataforma gerada em períodos em que o nível do mar estava mais baixo que o atual. Isso pode ter ocorrido devido:

1. À resolução do dado que impossibilita o mapeamento de feições de menor escala;

2. À localização do paleocanal incidido e não preenchido estar restrita a zona que possui grande quantidade de sedimentos em suspensão o que impediu seu mapeamento; e/ou,

3. Ao próprio preenchimento do canal devido à sedimentação e dinâmica da área.

O modelo digital de batimetria revelou a predominância de uma morfologia suave com algumas irregularidades, sendo uma delas bem evidente entre as isóbatas de 10 e 20 m, correspondendo a um relevo negativo alongado de direção paralela à linha de costa (ESE-WNW) (Figura 5). Tal feição pode corresponder a um nível de período de estabilização da linha de costa como os mencionados por Freire (1985) na plataforma continental do Ceará e por Corrêa (1990 e 1996) na plataforma continental entre os estados de São Paulo e Santa Catarina. Níveis do mar mais baixos que o atual podem ser evidenciados pela presença de feições

topográficas submersas, tais como linhas de praias, planícies de maré, cordões arenosos, arenitos de praia (*beachrocks*), planícies lagunares e cursos fluviais, associados às características dos sedimentos que os acompanham, bem como à associação da fauna e flora presente nos sedimentos (CORRÊA, 1996; CALLIARI *et al.*, 1998; CABRAL NETO *et al.*, 2006). Como a feição da área de estudo é um relevo negativo, alongado, sugere-se que seja um canal com aproximadamente 6 km de largura 46 km de comprimento e 10 m de profundidade (ver perfis batimétricos na Figura 5). Entretanto, afirmar que tal feição tem íntima relação com a variação relativa do nível do mar é arriscado, pois apenas estudos mais detalhados com sísmica e testemunhos podem fazer tal afirmação.

5. CONCLUSÃO

A integração de dados de sensores remotos, sedimentológicos e batimétricos mostrou-se apropriada para geração de mapas de zoneamento de áreas submersas e de difícil acesso.

Na área de estudo foram mapeadas estruturas morfológicas superficiais na plataforma continental adjacente ao Rio Jaguaribe, tais como, dunas transversais e oblíquas, construções recifais, linhas de *beachrocks* e um canal de aproximadamente de 10 metros de profundidade.

O processamento digital de imagens permitiu o zoneamento mais preciso do padrão da distribuição sedimentar do fundo marinho tendo em vista as diferentes respostas espectrais em função da composição e textura da cobertura sedimentar, que por sua vez está relacionada à morfologia do fundo marinho.

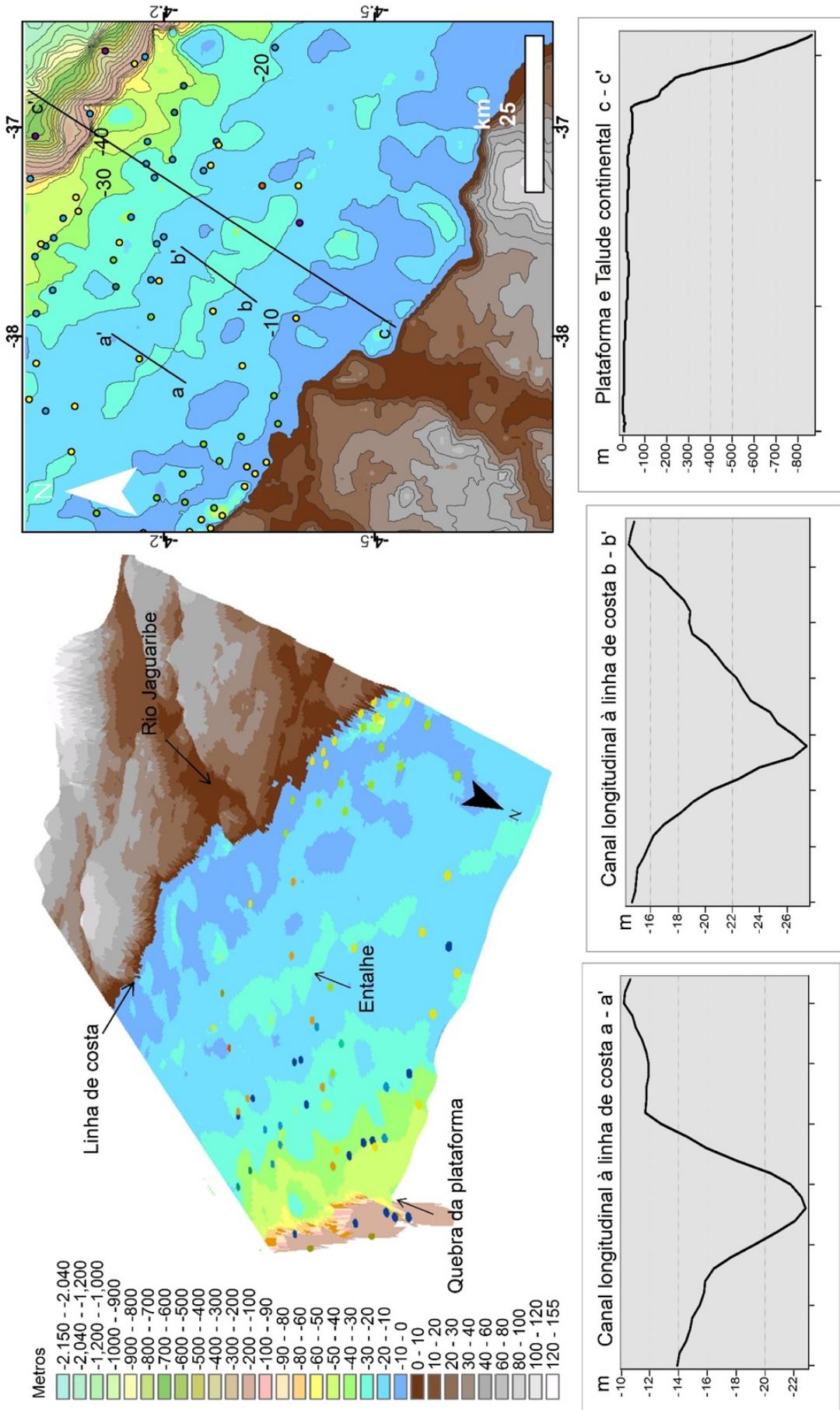


Figura 5. Modelos batimétricos 2D e 3D da área de estudo onde se observa a planície fluvial do Rio Jaguaribe na porção continental e entalhes retilíneos de direção ESSE-WNW na plataforma continental.

A zona 1, caracterizada por sedimentos em suspensão e baixa penetrabilidade do sinal até o fundo marinho, é composta pelas fácies Areia siliciclástica e Areia silicibioclástica. A zona 2 é caracterizada por dunas oblíquas ou áreas de leito plano compostas pelas fácies Areia siliciclástica, Areia siliciclástica com grânulos e cascalhos e Cascalho siliciclástico. As zonas 3 e 4 são compostas por Areia bioclástica com grânulos e cascalhos e Areia bioclástica. Entretanto, a zona 3 é caracterizada por dunas transversais e a zona 4 possui um fundo rugoso. Por fim, a zona 5 é caracterizada pela ausência de sinal do fundo do marinho devido à maiores profundidades desta zona e seus sedimentos são da fácies Lama terrígena.

Vale ressaltar que inúmeros estudos estão sendo desenvolvidos a fim de prospectar jazidas de areia para a construção civil e para reconstrução de praias erodidas e o sensoriamento remoto, integrado à sedimentologia, mostra-se como importante ferramenta para tal prospecção em áreas que as águas sejam rasas e transparentes, tais como a área de estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) pela infraestrutura cedida para o desenvolvimento deste trabalho. A Gomes, M.P. pela disponibilidade e ajuda nas interpretações. Agradecem também ao USGS e ao LGMA/UFC pelos dados disponibilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRÉFOUËT, S., RIEGL, B. 2004. Remote sensing: a key tool for interdisciplinary assessment of coral reef processes. *Coral Reefs*, 23(1):1-4.
DOI: 10.1007/s00338-003-0360-z
- ARAÚJO, P. V. N., AMARAL, R. F. 2016. Mapping of coral reefs in the continental shelf of Brazilian Northeast through remote sensing. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 16, n. 1, p. 5-20.
DOI: 10.5894/rgci629
- ASHLEY, G.M. 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *J. Sedim. Petrol.*, 60, 160-172.
- BECKER, J.J., SANDWELL, D.T., SMITH, W.H. F., BRAUD, J., BINDER, B., DEPNER, J., FABRE, D., FACTOR, J., INGALLS, S., KIM, S-H., LADNER, R., MARKS, K., NELSON, S., PHARAOH, A., TRIMMER, R., VON ROSENBERG, J., WALLACE, G., WEATHERALL, P. Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30_PLUS, *Marine Geodesy*, 32:4, 355-371, 2009.
- CABRAL NETO, I., CORDOBA, V.C., VITAL, H. 2006. Holocene sea-level history and coastal evolution: evidences from coastal sediments of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil. *Marine Geology, Amsterdam*, 228(1-4):39-53.
- CALLIARI, L.J., TOZZI, H.A.M., KLEIN, A.H.F. 1998. Beach morphology and cost line erosion associated with storm surges in southern Brazil. Rio Grande to Chuí. In: *Land-Ocean Interactions in Coastal Zone (LOICZ) Meeting. Academia Brasileira de Ciências, Anais 70 (2): 231-247, Rio de Janeiro, Brasil.*
- CAVALCANTI, V.M.M. 2011. Plataforma continental: a última fronteira da mineração brasileira. Brasília: DNPM.
- CORDEIRO, E.F.; COSTA, J.H.B.A.; DUARTE, C.R.; SILVA FILHO, W.F.; SABADIA, J.A.B. 2011. Caracterização de feições

- morfoestruturais submersas na região do estuário Rio Jaguaribe (CE) a partir do processamento de imagens Landsat 5 TM. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7426-7433.
- CORRÊA, I.C.S. 1990. Analyse Morpho-structurale et Evolution Paléogeographique de la Plate-Forme Continentale Atlantique Sud-Brésilien (Rio Grande do Sul – Brésil). France, 1990. 314 p. Tese (Doutorado). Université de Bordeaux I.
- CORRÊA, I. C. S. 1996. Les Variations Du Niveau de La Mer Durant les Derniers 17.500 Ans BP: l'Exemple de Plate-forme Continentale Du Rio Grande do Sul – Brésil. *Marine Geology, S.I.*, v. 130(1), p. 163-178.
- COUTINHO, P.N. 1995. Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil. PROGRAMA REVIZEE - Oceanografia Geológica.
- FERREIRA, B.P., MAIDA, M. 2006. Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil: Situação Atual e Perspectivas. Brasília, DF.
- FREIRE, G.S.S. 1985. Geologia Marinha da Plataforma Continental do Estado do Ceará. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 162p.
- FREIRE, G.S.S, CAVALCANTI, V.M.M., MAIA, L.P., LIMA, S.F. 1997. Classificação dos Sedimentos da Plataforma Continental do Estado do Ceará. In: Anais do Simpósio de Geologia do Nordeste; Fortaleza, CE. p. 209–211.
- GOMES, M.P., 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.
- HAMEL, M.A., ANDRÉFOUËT, S. 2010. Using very high resolution remote sensing for the management of coral reef fisheries: Review and perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, 60(9):1397–1405. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.07.002
- LACERDA, L.D., MARINS, R.V. 2006. Geoquímica de sedimentos e o monitoramento de metais na plataforma continental nordeste oriental do Brasil. *Geoquímica Brasileira* 20(1):123-135.
- LAMAS, F., IRIGARAY, C., OTEO, C., CHACON, J. 2005. Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls. *Engineering Geology*, 81:32-41. ISSN 0013-7952.
- LANDIM, P.M.B. 2000. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. Texto didático 02. UNESP, Campus de Rio Claro, Departamento de Geologia Aplicada,
- MAIA, L.P. 1998. Procesos Costeros y Balance Sedimentario a lo Largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones para una gestion adecuada de la zona litoral. Tesis. 1998.
- MONTEIRO, L.H.U. 2011. Feições superficiais da plataforma continental cearense entre o litoral de Fortaleza e Icapuí, tese (Doutorado em Geociências), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.
- NOVO, E M.L.M. 1992. Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações. São Paulo: Ed. Edgard Blüncher. 308 pp.
- OLIVEIRA, P.R.A. 2009. Caracterização morfológica e sedimentológica da Plataforma Continental Brasileira adjacente aos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí, CE, dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
- PURKIS, S.J. 2005. A “reef-up” approach to classifying coral habitats from IKONOS imagery: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 43, p. 1375–1390.

- RANKEY, E.C. 2002. Spatial patterns of sediment accumulation on a Holocene carbonate tidal flat, Northwest Andros Island, Bahamas: *Journal of Sedimentary Research*, v. 72, p. 591–601.
- SANTOS, C.L.A., VITAL, H., AMARO, V.E., KIKUCHY, R.K.P. 2007. Mapeamento de recifes submersos na costa do Rio Grande do Norte, NE Brasil: Macau a Maracajau. *Revista Brasileira de Geofísica*, 25(1): 27-36.
- SOUZA, J.M. 1999. Mar territorial, zona econômica exclusiva ou plataforma continental? *Revista Brasileira de Geofísica*. 17(1):79-82.
- TABOSA, W. F., VITAL, H. 2006. Hydrodynamics forces and environmental impacts on the coast and shelf adjacent to São Bento do Norte, NE Brazil. *WIT Transactions on Ecology and Environment*, England, v. 88, p. 165-174.
- TESTA, V., BOSENCE, D.W.J. 1999. Physical and Biological controls on the formation of carbonate and siliclastic bedforms on the north-east Brazilian shelf. *Sedimentology*, 46(2):279-302.
- VIANNA, M.L., SOLEWICZ, R., CABRAL, A.P. 1991. Sandstream on the Northeast Brazilian Shelf. *Continental Shelf Research*, v.11, n. 6, p. 509-524.
- VITAL, H., SILVEIRA, I.M., AMARO, V.E. 2005. Carta sedimentológica da Plataforma Continental Brasileira – Área Guamaré a Macau (NE Brasil), utilizando intergração de dados geológicos e sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(3): 233-241.
- VITAL H., STATTEGGER K., AMARO V.E., SCHWARZER K., FRAZÃO E.P., TABOSA W.F., SILVEIRA I.M. 2008. A modern high-energy siliciclastic-carbonate platform: Continental shelf adjacent to northern Rio Grande do Norte State, northeastern Brazil. In: Hampson G.J., Steel R.J., Burgess P.M. & Dalrymple R.W. (eds.), *Recent Advances in Models of Siliciclastic Shallow-Marine Stratigraphy*. SEPM, 90, 175-188.
- VITAL H., GOMES M.P., TABOSA W.F., FRAZÃO E.P., SANTOS C.L.A., PLACIDO Jr., J.S. 2010. Characterization of The Brazilian Continental Shelf Adjacent to Rio Grande do Norte State, NE Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58, 43-54.