



Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Centro de Ciências Exatas e da Terra
Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E
MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS NA
PLATAFORMA CONTINENTAL RASA DO RN NOS
LIMITES DA FOLHA TOUROS**

Autor:

LINO PEDRO DE ARAUJO FILHO

Orientador:

Dr. RICARDO FARIAS DO AMARAL

Dissertação n.º 103/PPGG.

Natal-RN, Fevereiro de 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E
MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS NA
PLATAFORMA CONTINENTAL RASA DO RN NOS
LIMITES DA FOLHA TOUROS**

Autor:

Lino Pedro de Araujo Filho

Dissertação apresentada em vinte e oito de fevereiro de dois mil e onze, ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN como requisito à obtenção do Título de Mestre em Geodinâmica e Geofísica, com área de concentração em Geodinâmica.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Ricardo Farias do Amaral (DG/PPGG/UFRN - Orientador)
Prof. Dr. Francisco Pinheiro Lima Filho (DG/PPGG/UFRN)
Prof. Dr. João Thadeu de Menezes (CTTMar/UNIVALI)

Natal-RN, Fevereiro de 2011.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma caracterização geomorfológica e a modelagem de dados espaciais na plataforma continental rasa nos limites da Folha Touros (SB-25-V-C-II), com base na análise/interpretação de dados batimétricos e produtos de sensores remotos orbitais. O Estado do Rio Grande do Norte está localizado na região nordeste do Brasil e a área de trabalho situa-se na região de transição entre as porções oriental e setentrional de sua plataforma. Para o desenvolvimento das análises foram realizados levantamentos batimétricos entre os meses de março e maio de 2009, utilizando-se uma embarcação com 10 metros de comprimento e 0,70 metros de calado, equipada com sistema de posicionamento global e ecossonda (feixe duplo, 200KHz, 14°). A campanha resultou em 44 perfis batimétricos com espaçamento de 1,5 km e extensão média de 30 km. O montante das campanhas foi de 111.200 pontos válidos de profundidade em 1.395,7 km navegados numa área de 1.850 km². Os dados batimétricos foram corrigidos em relação ao nível de maré, calado da embarcação e posteriormente foram inseridos em um sistema de informações geográficas para outros processamentos. Para o desenvolvimento das análises, a partir de produto de sensor remoto orbital, foi utilizada a banda 1 do Landsat 7/ETM+, de 19 de novembro de 1999. A imagem foi utilizada para visualização e mapeamento de feições submersas. Os resultados obtidos evidenciaram, de forma muito expressiva, a presença de feições geomorfológicas características da região em estudo. Foram observados, a partir da análise da batimetria local e imagem orbital sete tipos de feições geomorfológicas. Os canais, com a presença de canais longitudinais (*e. g.* canal de São Roque, Cioba de Dentro e Cioba de Fora) e outros perpendiculares a costa (*e. g.* Touros, Pititinga e Barretas). Os altos costeiros, caracterizados como formações recifais, sendo estes os altos de Maracajaú, Rio do Fogo e Cioba. As ondulações longitudinais, descritas na literatura como sendo dunas longitudinais. Foi verificada a presença de um campo de dunas transversais. Outra feição observada foi o alto oceânico, um alinhamento rochoso paralelo a costa. Foram identificadas quatro riscas, de norte para sul: risca do Liso, Gameleira, Zumbi, Pititinga (esta última sendo descrita pela primeira vez). Por fim, um terraço oceânico foi observado na região mais profunda da área de estudo. A interpretação das imagens corroboraram com os resultados *in situ*, sendo possível visualizar e descrever todas as feições existentes na região. A integração dos resultados, das metodologias aplicadas neste trabalho, foi fundamental para que todas as feições existentes na área fossem amplamente discutidas e possibilitou avaliar quais métodos geraram melhores resultados para descrever certas feições. A partir dos resultados obtidos foi possível comprovar a existência de feições submersas na plataforma continental rasa do litoral oriental do Rio Grande do Norte. Desta forma, foi possível destacar que (1) o presente trabalho contribuiu com a disponibilização de novas informações a respeito da área em questão, principalmente no que diz respeito a coleta de dados *in situ* de profundidades, (2) o método de coleta e interpretação dos dados se mostrou eficiente visto que, por meio deste, foi possível visualizar e interpretar as feições presentes na área em estudo e (3) a interpretação e discussão dos resultados de forma integrada, entre diferentes metodologias, podem fornecer melhores resultados.

Palavras-chave: Batimetria, Sensoriamento Remoto, Geomorfologia Costeira.

ABSTRACT

This work focuses the geomorphological characterization and spatial data modeling in the shallow continental shelf within the Folha Touros limits (SB-25-CV-II), based on bathymetric data analysis and remote sensing products interpretation. The Rio Grande do Norte state is located in northeastern Brazil and the work area is located at the transition region between the eastern and northern portions of their coast. The bathymetric surveys were conducted between march and may 2009, using a 10 meters long vessel and 0.70 meters draught, equipped with global positioning system and echo sounder (dual beam, 200KHz , 14°). The fieldwork resulted in 44 bathymetric profiles espaced 1.5 km and 30 km average length. The bathymetric data amount were 111,200 points and were navigated 1395.7 km within na area about 1,850 km². The bathymetric data were corrected for the tide level, vessel draught and were subsequently entered into a geographic information system for further processing. Analysis of remote sensing products was carried out using Landsat 7/ETM + band 1, from november 1999. The image was used for visualization and mapping submerged features. The results showed the presence of geomorphological features within the study area. Were observed, from the analysis of local bathymetry and satellite image, seven types of geomorphological features. The channels, with two longitudinals channels (*e. g.* San Roque and Cioba channels) and other perpendicular to the coast (*e. g.* Touros, Pititinga and Barretas). Coastal reef formations (Maracajaú, Rio do Fogo and Cioba). Longitudinal waves, described in the literature as longitudinal dunes. The occurrence of a transverse dune field. Another feature observed was the oceanic reefs, an rock alignment parallel to the coast. Were identified four “riscas”, from north to south: risca do Liso, Gameleira, Zumbi, Pititinga (the latter being described for the first time). Finally, an oceanic terrace was observed in the deepest area of study. Image interpretation corroborated with the *in situ* results, enabling visualization and description for all features in the region. The results were analysed in an integrating method (using the diferent methodologies applied in this work) and it was essential to describe all features in the area. This method allowed us to evaluate which methods generated better results to describe certain features. From these results was possible to prove the existence of submerged features in the eastern shallow continental shelf of Rio Grande do Norte. In this way, the conclusions was (1) this study contributed to the provision of new information about the area in question, particularly with regard to data collection in situ depths, (2) the method of data collection and interpretation proves to be effective because, through this, it was possible to visualize and interpret the features present in the study area and (3) the interpretation and discussion of results in an integrated method, using different methodologies, can provide better results.

Key-words: Bathymetry, Remote Sensing, Coastal Geomorphology

DEDICATÓRIA

iv

A Lucélia Garbosa de Araujo e Ilda Garbosa de Araujo.

AGRADECIMENTOS

A Deus!

A minha avó, Ilda Garbosa de Araujo, por tudo o que ela é para mim!

A minha família, pelo amor e carinho que sempre me deram.

Ao amigo, Ricardo Farias do Amaral, pela confiança e oportunidades concedidas.

A funcionária Nilda, pela competência e carinho com que desenvolve suas funções.

Ao Oceanógrafo, Mestre Jonas Ricardo dos Santos.

Aos professores do PPGG com quem tive a oportunidade de evoluir.

Aos acadêmicos e funcionários do DG/CCET/PPGG.

Aos amigos que tive o prazer de conhecer nessa fase da minha vida: Fátima, Karina, Cris, Tati, Clébia, Ângelo, Eduardo, Hanyel, Lucyanno, Vanildo, Francisco e a todos os colegas dos Laboratórios de Estudos Geoambientais e Sedimentologia.

Ao excepcional mestre da embarcação Comandante Saulo, Dédinho, pelo brilhante trabalho nos levantamentos batimétricos e sedimentológicos.

A CPRM pelo financiamento do projeto GranMar – RN, o qual disponibilizou todos os dados batimétricos da região estudada. A CAPES pelo apoio financeiro, através da concessão de bolsa de mestrado.

AGRADECIMENTOS



ÍNDICE DA DISSERTAÇÃO

vii

RESUMO	iii
ABSTRACT	v
AGRADECIMENTOS	vii
ÍNDICE DA DISSERTAÇÃO	x
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABELAS	xiii

Capítulo I – Introdução

1.1. Introdução	15
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo Geral	17
1.2.2. Objetivos Específicos	17
1.3. Área de Estudo	18
1.3.1. Caracterização Geral	18
1.3.2. Contexto Geológico	19
1.4 Condições Oceanográficas	21
1.4.1. Correntes	21
1.4.2. Ondas e Marés	21

Capítulo II - Fundamentação Teórica

2.1. Plataformas Continentais	23
2.2. Plataforma Continental do Rio Grande do Norte	25
2.3. Uso de Sensoriamento Remoto na Caracterização Morfológica de Plataformas Continentais	34
2.4. Interpretação de Imagem de Satélite na Plataforma do Nordeste Oriental	37

Capítulo III – Materiais e Métodos

3.1. Levantamento Batimétrico	46
-------------------------------	----

3.1.1 Perfis Batimétricos	viii
3.1.2 Modelos Digitais de Elevação (MDE)	49
3.2 Sensoriamento Remoto	51

Capítulo IV – Resultados e Discussões

4.1. Modelagem Batimétrica	54
4.1.1. Descrição das Feições Geomorfológicas – Modelagem Batimétrica	57
4.2. Perfilagem Batimétrica	67
4.2.1. Descrição das Feições Geomorfológicas – Perfilagem Batimétrica	71
4.3. Sensoriamento Remoto	82
4.4. Integração dos Resultados	84

Capítulo V – Considerações Finais

5.1. Conclusões	91
Referências Bibliográficas	95
Anexos	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Localização da área de estudo.	19
Figura 2.1. Localização dos perfis batimétricos na região do Baixo de Maracajaú (modificado de Lima, 2002).	30
Figura 2.2. Malha de coleta dos dados batimétricos (modificada de Amaral <i>et al.</i> , 2005).	31
Figura 2.3. Mapa batimétrico interpolado a partir do método Topo to Raster (esquerda) e Kriging (direita) – (modificado de Nogueira e Amaral (2009)).	32
Figura 2.4. Mapa dos contornos dos Parrachos e dos limites da APARC (modificado de Amaral, 2002).	33
Figura 2.5. Tipos de fundo no limite norte da APARC. CZ- zona costeira; STZ – zona turbidítica sub litorânea; SRZ – zona da faixa arenosa; ASZ – zona de algas estabilizadas; LSZ – zona de sedimentos litificados; SDZ - zona de dunas subaquosas. Modificado de Testa e Bonsence (1999).	39
Figura 2.6. Composição colorida em RGB 4-3-2 Landsat 5-TM de 02 de Agosto de 1998. (a) sedimentos de fundo associados aos recifes (b) <i>Millepora Alcornis</i> - Recifes de Maracajaú. Adaptado de Santos (2006).	40
Figura 2.7. (a) Composição colorida em RGB 4-3-2 da Imagem Landsat 5-TM de 02 de agosto 1998; (b) RGB 3-2-1 ressaltando os recifes e os bancos inorgânicos respectivamente; (c) Sedimentos de fundo; (d) <i>Millepora alcornis</i> nos recifes de Maracajaú. Modificado de Santos <i>et al.</i> (2007).	43
Figura 2.8. Composição colorida RGB-1-2-4 imagem do sensor ETM+ do satélite Landsat 7, cena 214-64, de 19/11/1999 com realce de contraste, utilizada para caracterização morfoestrutural e mapeamento das feições elaborado a partir de interpretação de imagens do sensor ETM+ do satélite LandSat 7 (modificado de Oliveira <i>et al.</i> (2009)).	44
Figura 3.1. Distribuição e numeração dos perfis batimétricos ao longo da área de estudo – dividida em três setores: (a) Maracajaú, (b) Rio do Fogo e (c) Cioba.	47
Figura 3.2. Dados batimétricos brutos (A) e malha filtrada de 500 x 1500 metros.	50
Figura 3.3. Imagem Landsat, utilizada neste trabalho, sem processamento.	52
Figura 4.1. Mapa batimétrico da plataforma continental rasa do Rio Grande do Norte apresentando as principais feições geomorfológicas: (1) canais longitudinais – (1a) canal de São Roque, (1b) canal Cioba de Dentro; (2) altos costeiros – (2a) Maracajaú, (2b) Rio do Fogo e (2c)	

Cioba; (3) canais transversais – (3a) canal de Pititinga, (3b) canal Barretas e (3c) canal de Touros; (4) ondulações longitudinais, (5) dunas transversais; (6) alto oceânico – (6a) risca de Pititinga, (6b) risca do Zumbi; (6c) risca da Gameleira, (6d) risca do Liso e (7) terraço oceânico.	56
Figura 4.2. Localização do perfil e perfil interpolado representando os canais transversais de Touros (3c), Barretas (3b) e Pititinga (3a); altos costeiros de Cioba (2c), Rio do Fogo (2b) e Maracajaú (2a), existentes na área de estudo.	58
Figura 4.3. Contornos batimétricos e delimitação da área de ocorrência (isóbata de 5 metros) para o alto costeiro de Maracajaú.	59
Figura 4.4. Contornos batimétricos e delimitação da área de ocorrência (isóbata de 5 metros) para o alto costeiro de Rio do Fogo.	60
Figura 4.5. Contornos batimétricos e delimitação da área de ocorrência (isóbatas de 8 e 9 metros) para o alto costeiro de Cioba.	61
Figura 4.6. Modelo digital do terreno com a localização, contornos batimétricos e delimitação da feição risca de Pititinga, delimitada pela isóbata de 18 metros.	63
Figura 4.7. Modelo digital do terreno com a localização, contornos batimétricos e delimitação feição risca do Zumbi, delimitada pela isóbata de 19 metros.	64
Figura 4.8. Modelo digital do terreno com a localização, contornos batimétricos e delimitação feição risca da Gameleira, delimitada pela isóbata de 19 metros.	64
Figura 4.9. Modelo digital do terreno com a localização, contornos batimétricos e delimitação feição risca do Liso, delimitada pela isóbata de 22 metros.	65
Figura 4.10. Modelo digital do terreno com a localização, contornos batimétricos e delimitação, pela isóbata de 28 metros, da feição terraço oceânico.	66
Figura 4.11. Perfis esquemáticos nas regiões de Maracajaú (perfil 8), Rio do Fogo (perfil 20) e Cioba (perfil 38), apresentando as feições geomorfológicas existentes na área de estudo.	68
Figura 4.12. Figura representando a morfologia do canal longitudinal (Canal de São Roque), obtida a partir dos dados do perfil 20.	71
Figura 4.13. Figura representando a morfologia do canal longitudinal (Canal Cioba de Dentro e de Fora), obtida a partir dos dados do perfil 38.	72
Figura 4.14. Perfil batimétrico da feição alto costeiro de Maracajaú (perfil 8).	73
Figura 4.15. Perfil batimétrico da feição alto costeiro de Rio do Fogo (perfil 20).	74
Figura 4.16. Perfil batimétrico da feição alto costeiro de Cioba (perfil 38).	76
Figura 4.17. Perfil batimétrico da feição ondulações longitudinais (perfil 20).	77

Figura 4.18. Perfil batimétrico da feição dunas transversais (perfil 38) e perfis batimétricos representativos do campo de dunas submersas – modificado de Cabral <i>et al.</i> (2003).	78
Figura 4.19. Perfil batimétrico da feição risca do Zumbi (perfil 20).	80
Figura 4.20. Perfil batimétrico da feição risca da Gameleira obtida pelo perfil 33 e pelo trabalho de Solewicz (1989).	80
Figura 4.21. Perfil batimétrico da feição risca terraço oceânico (perfil 6).	81
Figura 4.22. Localização das feições observadas na imagem de satélite. (1) canais longitudinais – (1a) canal de São Roque, (1b) canal de Cioba de Dentro; (2) altos costeiros – (2a) Maracajaú, (2b) Rio do Fogo e (2c) Cioba; (3) canais transversais – (3a) canal de Pititinga, (3b) canal Barretas e (3c) canal de Touros; (4) ondulações longitudinais, (5) dunas transversais; (6) alto oceânico e (7) terraço oceânico.	83
Figura 4.23. Comparação dos resultados obtidos pelo levantamento batimétrico (A) e por sensoriamento remoto (B): (1) canal de São Roque; (2) altos costeiros – (2a) Maracajaú, (2b) Rio do Fogo e (2c) Cioba; (4) ondulações longitudinais, (5) dunas transversais; (6) alto oceânico e (7) terraço oceânico.	84
Figura 4.24. Contornos batimétricos com intervalo de 5 metros plotados sobre a imagem.	85
Figura 4.25. Localização das feições observadas na área de estudo. (1) canais longitudinais – (1a) canal de São Roque, (1b) canal de Cioba de Dentro; (2) altos costeiros – (2a) Maracajaú, (2b) Rio do Fogo e (2c) Cioba; (3) canais transversais – (3a) canal de Pititinga, (3b) canal Barretas e (3c) canal de Touros; (4) ondulações longitudinais, (5) dunas transversais; (6) alto oceânico – (6a) risca de Pititinga; (6b) risca do Zumbi; (6c) risca da Gameleira e (6d) risca do Liso e (7) terraço oceânico.	86
Figura 4.26. Setores da plataforma continental sobrepostos ao modelo digital do terreno (esquerda) e a imagem de satélite (direita).	87
Figura 4.27. Localização das feições geomorfológicas descritas anteriormente e divisão da plataforma continental setores: (1) plataforma interna, (2) plataforma média e (3) plataforma externa.	88

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1. Características dos perfis batimétricos obtidos: profundidade inicial e final (Z_i e Z_f), profundidade máxima e mínima ($Z_{m\acute{a}x}$ e $Z_{m\acute{i}n}$), comprimento do perfil (Compr) e declividade do perfil (Declive).	69
Tabela 4.2. Profundidades m\acute{i}nimas, m\acute{a}ximas ($Z_{m\acute{i}n}$, $Z_{m\acute{a}x}$), largura da base (Base) e amplitude do relevo (H) para o alto de Maracaja\acute{u} – valores em metros.	73
Tabela 4.3. Profundidades m\acute{i}nimas, m\acute{a}ximas ($Z_{m\acute{i}n}$, $Z_{m\acute{a}x}$), largura da base (Base) e amplitude do relevo (H) para o alto de Rio do Fogo – valores em metros.	75
Tabela 4.4. Qualidade dos resultados obtidos considerando a metodologia empregada e fei\c7\~o~es observadas. 1: Razo\~a~vel; 2: Bom; 3: Excelente.	88

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

A plataforma continental é definida como uma superfície de largura variável, sub-horizontal, que se estende da face de praia até o limite com o talude continental, marcado por uma linha ou zona de brusco aumento de declividade, caracterizado como quebra da plataforma (Komar, 1976).

Devido ao fato de que estes ambientes representam áreas afetadas pelas oscilações do nível do mar no Quaternário é que surge a importância desta região submersa no estudo da evolução litorânea, pois é esperado que, abaixo da atual coluna de água, possam ser observados testemunhos de feições emersas no passado (Amaral, 2000).

Durante a regressão marinha, há cerca de 18.000 anos antes do presente, o nível do mar se encontrava aproximadamente a 110 metros abaixo do atual, tornando emersa quase toda a plataforma continental brasileira. A plataforma exposta subaereamente era então recortada pelos cursos fluviais, esculpindo canais até hoje presentes na topografia da plataforma rasa (Solewicz, 1989).

A plataforma do Rio Grande do Norte está dividida em dois setores: (i) plataforma setentrional, com orientação leste-oeste e (ii) plataforma oriental, com direção norte-sul. A parte setentrional da plataforma continental rasa é intensamente estudada, devido a exploração petrolífera na região. Por outro lado, a porção oriental da plataforma é um ambiente ainda pouco explorado cientificamente.

A plataforma continental, ao longo do litoral oriental Potiguar, apresenta largura variável, sendo mais ampla na região da Ponta do Calcanhar, tornando-se mais estreita ao sul na plataforma de Natal e, em seguida, gradativamente se amplia até a localidade de Guaju, fronteira com a Paraíba. A linha de quebra desta plataforma se situa normalmente entre as isóbatas de 60 e 80 metros, marcada pelo abrupto aumento da declividade verificado com o início do talude (França, 1979).

Estudos recentes na plataforma continental oriental do Nordeste foram desenvolvidos com o objetivo de caracterizar a composição e configuração deste ambiente, utilizando diferentes métodos de obtenção e interpretação de dados.

Segundo Lima *et al.* (2005) a utilização de sistemas de informações geográficas (SIG) e produtos de sensores remotos vem se mostrando como ferramentas muito úteis para auxiliar a tarefa de caracterização dos ambientes costeiros e marinhos.

Esse protocolo de trabalho encontra-se amplamente aplicado no litoral da região Nordeste, principalmente na plataforma rasa, onde existem formações recifais que em alguns casos compreendem áreas de proteção ambiental.

A validação dos dados e informações obtidos de forma remota necessita, no entanto, da verificação da verdade de campo, que é feita *in situ*. Neste caso são adquiridos dados geofísicos (*e.g.* batimetria, sísmica) e métodos diretos como a coleta de amostras, filmagens, fotografias e informações visuais obtidas a partir de mergulhos.

Alguns trabalhos realizados na mesma região tiveram como objetivo disponibilizar, por exemplo, mapas temáticos apresentando e descrevendo a geomorfologia e a composição da plataforma oriental do Rio Grande do Norte (Vianna e Solewicz, 1988; Solewicz, 1989; Testa e Bonsence, 1999; Amaral *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2009; Santos, 2010).

Testa e Bonsence (1999) descreveram um campo com formas de leito longitudinais, identificaram como sendo composto por faixas de areias com comprimentos entre 5 e 10 quilômetros e larguras inferiores a 100 metros.

A existência de linhas de arenitos de praia submersas é relatada em plataformas rasas em várias partes do mundo. Evidências destas linhas de arenito submersas já foram documentadas na plataforma nordestina por diversos autores (*e. g.* Vianna e Solewicz, 1988; Santos *et al.*, 2007).

Estes autores descreveram estes lineamentos rochosos, denominados localmente de “riscas”, em toda a área de abrangência deste estudo, distante cerca de 20 quilômetros da costa, a 20 metros de profundidade e com orientação NW-SE (paralelos a linha de costa).

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Realizar a caracterização geomorfológica da plataforma continental rasa do Estado do Rio Grande do Norte a partir de levantamentos batimétricos e interpretação de produto de sensor remoto orbital.

Objetivos Específicos

- a. Adquirir, processar, e interpretar dados batimétricos;
- b. Processar e interpretar produto de sensor remoto;
- c. Mapear as feições geomorfológicas encontradas na área;
- d. Sugerir o zoneamento para a plataforma em questão;
- e. Analisar de forma integrada os resultados das metodologias aplicadas.

ÁREA DE ESTUDO

Caracterização Geral

O Estado do Rio Grande do Norte está localizado na região nordeste do Brasil e apresenta uma plataforma continental com largura variando entre 50 a 70 quilômetros, profundidades atingindo 80 metros e forma similar ao atual contorno da linha de costa.

A área objeto deste estudo corresponde ao segmento de transição entre a porção oriental e a setentrional da plataforma continental ao largo do Estado do Rio Grande do Norte, em frente à linha de costa que vai do Cabo de São Roque ao Cabo Calcanhar, correspondendo a uma faixa contida entre a linha de costa e a isóbata de 30 metros.

A região onde foram desenvolvidos os estudos está contida nos limites da Folha Touros – carta com articulação compatível com a escala 1:50.000 do IBGE – e compreende uma área de 1.850 km², adjacente aos municípios de Maxaranguape, Rio do Fogo e Touros (fig. 1.1).

Dentro da região estudada encontra-se a Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais (APARC) que está inserida na plataforma continental rasa ao nordeste do Estado do RN, onde se destacam os recifes isolados, alinhamentos rochosos e sedimentos de fundo, prioritariamente carbonáticos. Foi criada pelo Governo do Estado do Rio Grande do Norte, através do Decreto no. 15.476, de 6 de junho de 2001. Esta região corresponde a uma das áreas prioritárias no Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima (Projeto ORLA), SPU/MP e o IDEMA/GERCO/MMA, que visa estabelecer critérios para o uso sustentável de áreas de patrimônio da União.

O projeto GranMar (RN) - Projeto de Avaliação do Potencial Mineral dos Granulados Marinhos da Plataforma Continental Rasa do Nordeste – desenvolvido sob os auspícios da CPRM, também executou estudos sobre esta plataforma e disponibilizou todos os dados batimétricos para esta dissertação.

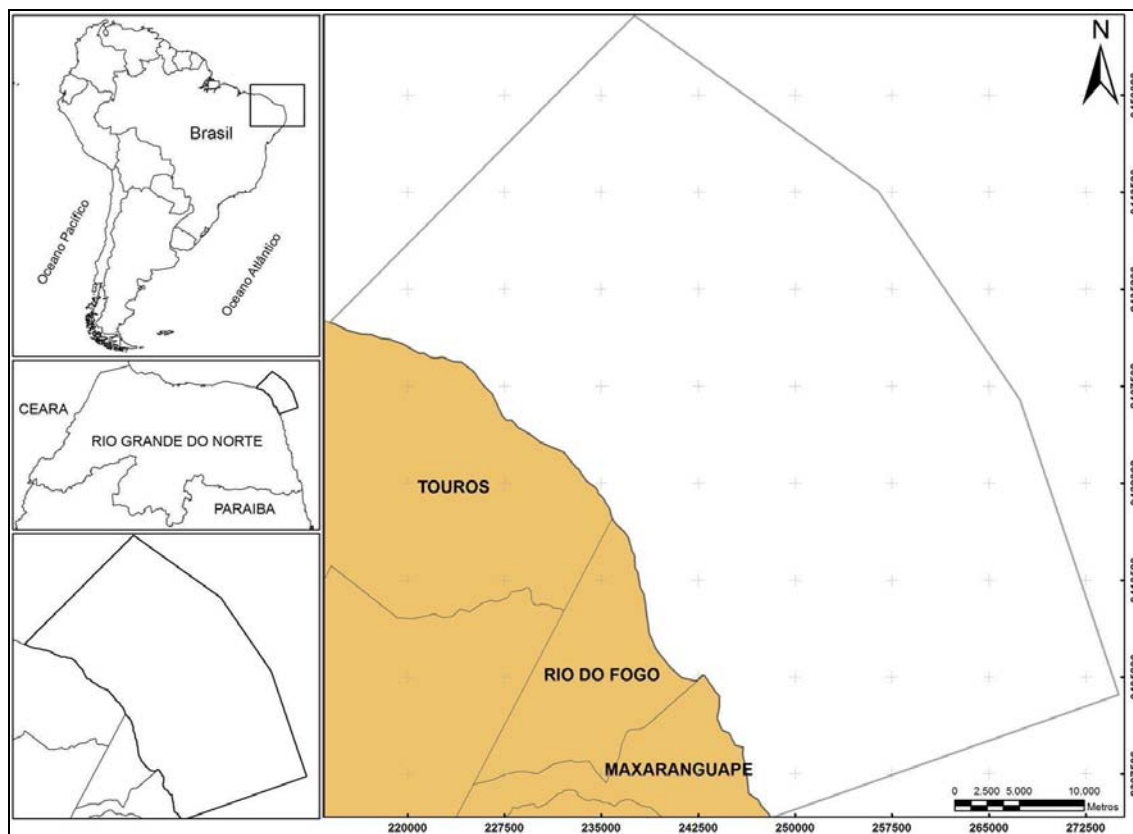


Figura 1.1. Localização da área de estudo.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Arenitos de praia

Os arenitos de praia foram descritos pela primeira vez, na região, por Darwin (1841), quando se referiu a arenitos calcíferos com fragmentos de conchas e raros seixos, alinhados paralelamente à linha de costa. Foi Branner (1904) quem propôs que os arenitos de praia representariam antigas linhas de praia, consolidadas por carbonato de cálcio.

Andrade (1955) considerou os arenitos de praia como sendo *offshore bars* bem consolidados. Ottmann (1960) propôs que estes arenitos de praia representariam antigas zonas de praia submarina, formadas a uma profundidade de 1 a 2 metros, e posteriormente cimentadas.

Coutinho e Farias (1979) perceberam que a cimentação nos arenitos de praia é um processo rápido, podendo ocorrer completamente, em períodos de 10 a 15 anos. Oliveira *et al.* (1990) e Assis (1990) discutiram a origem destes corpos com base em sua petrografia.

Amaral e Bezerra (1996) introduziram o uso sistemático de fotografias aéreas de pequeno formato no estudo da zona costeira no Rio Grande do Norte, permitindo o estabelecimento de padrões geométricos não perceptíveis com os métodos de mapeamento tradicionais. Estes autores dataram duas linhas de arenito de praia na região de Barreta, onde a linha mais interna é a mais recente, com idade média de 4.895 anos AP, enquanto que a linha externa apresenta idade de 6.600 anos AP. Assim, a diferença média de idade entre os dois pacotes de arenitos é de 1700 anos.

Segundo Vianna e Solewicz (1988), a espessura mensurável destes corpos pode atingir 5 metros, e sua largura é bastante variável, estando no litoral estudado a uma média aproximada de 50m, devendo, no entanto, ser maior se considerarmos a cobertura de sedimentos recentes que recobrem tais corpos. Seu posicionamento em relação ao nível do mar é variável, sendo encontrados em três níveis: (1) a cerca de 5m acima do atual nível do mar, (2) ao nível do mar e (3) a 5m, 10m e 35m abaixo do nível atual.

CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS

Correntes

Hazin *et al.* (2008), estudando as condições de correntes marítimas na região de transição entre os litorais oriental e setentrional do Rio Grande do Norte, verificaram que a velocidade das correntes varia entre 1,39cm/s e 24,92cm/s, com valor médio de 6,32cm/s. A direção predominante da corrente nos períodos de maior intensidade foi para noroeste.

No litoral norte do Estado é observado o desenvolvimento de uma corrente de deriva para oeste. Medições de correntes, ao largo do delta do Rio Açu, mostraram velocidades em torno de 30 - 40cm/s, com eventos de 60cm/s (menos de 5 %). As direções predominantes obtidas foram SSW (correntes convergentes à costa) e WSW, NNW, N e NNE (correntes não convergentes e paralelas à costa) (Costa Neto, 1997).

Ondas e Marés

Davies (1964) identificou duas regiões no Oceano Atlântico Sul, onde as ondas são geradas. Destas, apenas uma, o cinturão de ventos alísios, parece exercer uma influência significativa no litoral do Nordeste. São ondas com direção ESE, alturas médias entre 1 e 1,5m e períodos de 5 a 7 segundos, em quase todo o ano.

O clima de ondas característico para o setor que abrange a área do presente trabalho é definido por altura significativa de 1,0 metro e período de 5 segundos para ondas incidentes de ENE e 1,5 metros e 6,5 segundos de período para ondas de SSE. (Bittencourt *et al.*, 2002)

A região possui um regime de maré semidiurna, com uma amplitude média aproximada de 1,5m, podendo chegar a 2,2m, nas marés de sizígia, e de acordo com Davies (1964), pode ser classificada como uma costa de micro a meso-maré.

CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Plataformas Continentais

A primeira expedição científica, com objetivo de estudar a morfologia do fundo oceânico foi entre os anos 1872 e 1876, quando o navio oceanográfico britânico *HMS Challenger* realizava o levantamento das profundidades utilizando um peso de chumbo preso a um cabo, sendo possível constatar que o leito submarino apresentava uma superfície irregular (Baptista Neto e Silva, 2004).

Levantamentos batimétricos com maior detalhamento da morfologia do fundo marinho foram realizados após o término da Segunda Guerra Mundial (1939 – 1945), momento em que equipamentos (*i. e.* ecobatímetro) e métodos de posicionamento nos oceanos estavam sendo aperfeiçoados (Baptista Neto e Silva, 2004).

A partir destas informações, Heezen *et al.* (1959) *apud* Baptista Neto e Silva (2004), publicaram o trabalho que definiu as principais províncias fisiográficas dos oceanos, sendo estas as margens continentais, as bacias oceânicas e as cordilheiras mesoceânicas.

A margem continental existente na costa brasileira é do “tipo Atlântico”, compreendendo uma margem passiva desenvolvida a partir do rompimento e separação de um continente dando origem a um novo oceano e dois blocos continentais. Essa província fisiográfica encontra-se subdividida de acordo com variações do gradiente batimétrico em plataforma, talude e elevação continental (Baptista Neto e Silva, 2004).

A plataforma continental representa a extensão submersa dos continentes. Normalmente apresenta gradientes suaves, inferiores a 1:1000, desde a linha de praia até uma região de aumento substancial do gradiente topográfico, chamada quebra da plataforma continental que se situa em profundidades médias globais de 130 metros. Algumas plataformas são bastante largas, especialmente nas margens passivas, mas suas larguras variam de poucos quilômetros a mais de 400 km, sendo a média global de 78 km. Sua área representa menos do que 8% da área total dos oceanos (Baptista Neto e Silva, 2004).

As variações de relevo ao longo das plataformas continentais são relativamente pequenas, da ordem de 20 metros na média. Sua topografia atual é resultante do efeito cumulativo de erosão e sedimentação relacionada a numerosas oscilações do nível do mar no último milhão de anos (Baptista Neto e Silva, 2004).

A quebra da plataforma demarca fisiograficamente, o limite entre a plataforma continental e o talude superior, sendo uma proeminente feição morfológica da margem continental. Segundo Zembruski *et al.* (1972) a quebra da plataforma pode apresentar-se de diferentes formas, entre elas em degraus irregulares – no caso de carbonatos ou rochas duras aflorantes.

A localização comum da quebra da plataforma entre 100 a 150 metros de profundidade sugere que esta zona representa o nível mais baixo do mar durante o último evento glacial do Quaternário, há cerca de 18.000 anos atrás. Durante este evento, ocorreu a atuação de fenômenos erosivos ou deposicionais nesta região da borda da plataforma, marcando o limite de quebra de gradiente batimétrico (Baptista Neto e Silva, 2004).

Em 1972, foi implantado o Projeto REMAC, que realizou o levantamento sistemático de dados a respeito da margem continental brasileira. As províncias envolvidas no projeto foram a plataforma continental média, talude, sopé continental e bacias oceânicas. A plataforma rasa não foi abordada. O objetivo deste projeto foi desenvolver estudos sobre a morfologia e composição deste ambiente, abrangendo mapeamentos da topografia submarina e a localização de potenciais áreas de exploração mineral (Solewicz, 1989).

Oliveira (2009) caracterizou a morfologia e sedimentologia da plataforma continental do Estado do Ceará, adjacente aos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí. Os resultados obtidos por esta autora, por meio de levantamentos batimétricos e sonográficos, evidenciaram a presença de diferentes formas de fundo, sendo estes: fundos rochosos, paleocanais submersos e campos de dunas longitudinais, transversais e oblíquos.

No litoral de Pernambuco, Manso *et al.* (2003) caracterizaram a morfologia e sedimentologia da plataforma interna entre as praias de Porto de Galinhas e Campos utilizando dados coletados *in situ*. Estes autores encontraram níveis de terraços nas profundidades de 10 metros, 15 metros e 18 metros, concluindo que os mesmos provavelmente estiveram relacionados a ambientes de mais alta energia associados a estabilizações temporárias do nível do mar, durante a última transgressão holocênica.

Manso *et al.* (*op. cit.*) observaram a presença de bancos arenosos alinhados à linha de costa em áreas frontais à desembocadura dos rios Maracaípe, Sirinhaém e Formoso, relacionados a antigas barreiras areno-recifais formadas em nível de mar mais baixo. Estes bancos se encontram localizados a uma profundidade média de 10 metros, estendendo-se por quase toda a área estudada.

Camargo *et al.* (2007) realizaram a caracterização morfológica, da plataforma continental, no município de Tamandaré, combinando dados de sensores remotos e dados *in situ*. Constataram que os relevos positivos encontram-se a profundidades de 16, 20 e 22 m sendo atribuídos a presença de linhas de arenitos de praia. Estas feições morfológicas têm suas formações relacionadas a períodos distintos, nos quais o nível do mar era mais baixo que o atual.

Plataforma Continental do Rio Grande do Norte

A primeira tentativa de divisão da Plataforma do Nordeste deve-se a Kempf *et al.* (1970), que estabeleceram a profundidade de 35-40 m, como sendo o limite entre as zonas infralitoral e circalitoral. Estes autores dividiram parte da plataforma pernambucana em: Zona Litorânea, com recifes como feições topográficas mais proeminentes; uma zona entre as isóbatas de 10 e 40m, sem acidentes topográficos mais importantes; uma zona abaixo dos 40m, com uma depressão longitudinal com profundidades de 70m e pequenas elevações, até a quebra da plataforma, a 70m.

Considerando estas observações, no litoral alagoano, Coutinho (1976) divide a plataforma do Nordeste nos seguintes trechos: Plataforma interna, limitada pela isóbata de 20m. Com relevo suave, a presença de recifes, coberta por areia terrígena e pouco cascalho; os componentes bióticos são muito retrabalhados. Dominam associações de moluscos com ou sem foraminíferos bentônicos e em menor quantidade restos de equinóides e algas coralináceas ramificadas e incrustantes. Corresponde à zona de maior sedimentação carbonática e cobre parte dos depósitos relíquias areno-quartzosos da plataforma pré-Pleistocênica; Plataforma média, a partir da isóbata de 20m, com teor em carbonato de cálcio superior a 90%, que marca o aparecimento do gênero *Litthothamnium*, em formas livres e ramificadas e que se estende até 40m de profundidade. As associações carbonáticas não mostram sinais de retrabalhamento; as algas incrustantes vivas parecem ser mais abundantes; Plataforma externa, a partir de 40m. É coberta por areias biodetríticas, cascalhos de algas e lama cinza-azulada. A *Halimeda sp.* tende a ser mais abundante e o teor em carbonato de cálcio é superior a 75%. As associações carbonáticas são muito retrabalhadas.

Baseando-se nas informações já existentes sobre a plataforma nordestina, algumas feições morfológicas podem ser ressaltadas, no litoral do Rio Grande do Norte, dentre elas: alinhamentos de arenitos, canais, terraços marinhos e formas de fundo.

Alinhamentos de arenito

Um dos traços morfológicos mais marcantes da zona litorânea são os sedimentos arenosos litificados, usualmente recobertos por formações biogênicas, quando encontrados na antepraia. Estas rochas também podem ocorrer acima do nível relativo do mar atual e sob uma lâmina de água de 12 a 20m (Vianna *et al.*, 1989; Costa Neto, 1997), e a 35m de profundidade. Tem expressão morfológica vertical de 3 a 10m, largura entre 100 e 500m e comprimento que pode ultrapassar os 10 km de extensão.

Assis (1990), estudando estes arenitos no litoral do Estado de Pernambuco e Amaral e Assis (1994), analisando os fundos submersos da foz do Rio Formoso, também em Pernambuco, mapearam e separaram fundos associados aos recifes de arenito e a bancos de algas. Os primeiros são predominantemente formados por arenitos estratificados e, em fotografia aérea, apresentam-se orientados paralelamente à costa.

Foram distinguidas duas linhas destes corpos: uma primeira, mais próxima ao continente, com cerca de 300m de largura e uma segunda, afastada cerca de 1000m da anterior, parcialmente submersa. Já os corpos formados por algas não apresentam qualquer orientação preferencial e estão assentados sobre os corpos de arenito (Amaral e Assis 1994).

Vianna *et al.* (1989) com base principalmente em imagens de satélite, identificaram uma série de feições na plataforma rasa na altura da cidade de Touros. Um lineamento externo observado foi relacionado, por sua morfologia, a uma linha de arenito de praia e estaria a aproximadamente 20m de profundidade.

Canais

A superfície da plataforma pode se apresentar ainda, ligeiramente irregular, cortada por um sistema de canais estreitos e pouco profundos, como descreveu (Coutinho, 1976).

Estes canais, situados em frente às atuais lagunas do litoral alagoano, são, provavelmente, associados à existência de antigos rios afogados ou mesmo processos hidrodinâmicos atuais. A profundidade da maioria deles é inferior a 20m. Alguns apresentam vales em forma de “U”, preenchidos com sedimentos acusticamente transparentes, enquanto outros são desprovidos de qualquer sedimentação. Perfis sísmicos da plataforma mostram as camadas sub-horizontais ligeiramente inclinadas para o mar (Zembruski *et al.*, 1971).

Terraços Marinhos

Foram individualizados, na plataforma, terraços entre 23-40m, 50-55m, 90-95m (Boyer, 1969; Summerhayes *et al.*, 1976), sendo que os dois primeiros são mais comumente encontrados (Coutinho,1976). Tais níveis foram interpretados como correspondentes a prováveis superfícies de erosão, associados ao nível do mar pretérito.

Campo de Dunas Subaquáticas

Na plataforma à frente da cidade de Touros, na área em estudo, na isóbata de 20m, foi observado um campo de dunas subaquáticas transversais assimétricas, com alturas entre 5m e 7m, com extensão transversal de 500 m, distância entre as cristas de 1.700m e as faces opostas a direção da corrente com inclinação de 45°. Sobre estas foram vistas ondulações (*ripples*) com 5cm de altura por 20 de comprimento. Um campo com formas de leito longitudinais foi observado e identificado como sendo composto por faixas de areias com comprimentos entre 5 e 10km e larguras inferiores a 100 m. Entre o campo de faixas de areias e o antigo lineamento de face de praia, grandes ondulações de areia e bancos de areias foram identificados (Vianna e Solewicz,1988; Vianna *et al.*, 1993); também foi identificada uma feição alongada e estreita, paralela à costa, correspondente à chamada Risca do Meio, tendo sido considerada como constituída por detritos de algas calcárias.

Trabalhos Recentes

Estudos recentes na Plataforma Continental Oriental do Nordeste foram desenvolvidos com o objetivo de caracterizar a composição e configuração deste ambiente, utilizando diferentes métodos de obtenção e interpretação de dados.

Segundo Lima *et al.* (2005) a utilização de sistemas de informações geográficas (SIG) e produtos de sensores remotos vem se mostrando como ferramentas muito úteis no âmbito de caracterização dos ambientes costeiros e marinhos. Esse protocolo de trabalho encontra-se amplamente aplicada no litoral da região Nordeste, principalmente na plataforma rasa, onde existem formações recifais que em alguns casos compreendem áreas de proteção ambiental.

A validação dos dados e informações obtidas necessita, no entanto, da verificação da verdade de campo, que é feita *in situ*. Neste caso são adquiridos dados geofísicos (e.g. batimetria, sísmica) e métodos diretos como a coleta de amostras, filmagens, fotografias e informações visuais obtidas a partir de mergulhos.

A Área de Proteção Ambiental da Costa dos Corais (APACC), por exemplo, localizada entre os Estados de Alagoas e Pernambuco, foi mapeada a partir do uso de diferentes sensores e imagens com o objetivo de gerar produtos visando a gestão da APACC (Reuss-Strenzel, 2007).

No litoral do Estado do Rio Grande do Norte, na plataforma setentrional e oriental, foram desenvolvidos estudos a partir da interpretação de produtos de sensoriamento remoto e dados coletados *in situ*. Estes estudos abrangeram a área da APACC e regiões adjacentes, como Lima e Amaral (2001); Lima (2002); Lima *et al.* (2005); Amaral *et al.* (2005); Tabosa *et al.* (2007); Nogueira e Amaral (2009) e Oliveira *et al.* (2009).

Lima (2002) analisou a Geologia e Geomorfologia dos recifes de Maracajaú – RN e plataforma rasa adjacente. Entre outros aspectos abordados por este autor, foi realizado o levantamento batimétrico da área em um total de nove perfis (fig. 2.1), objetivando a caracterização de feições presentes na plataforma.

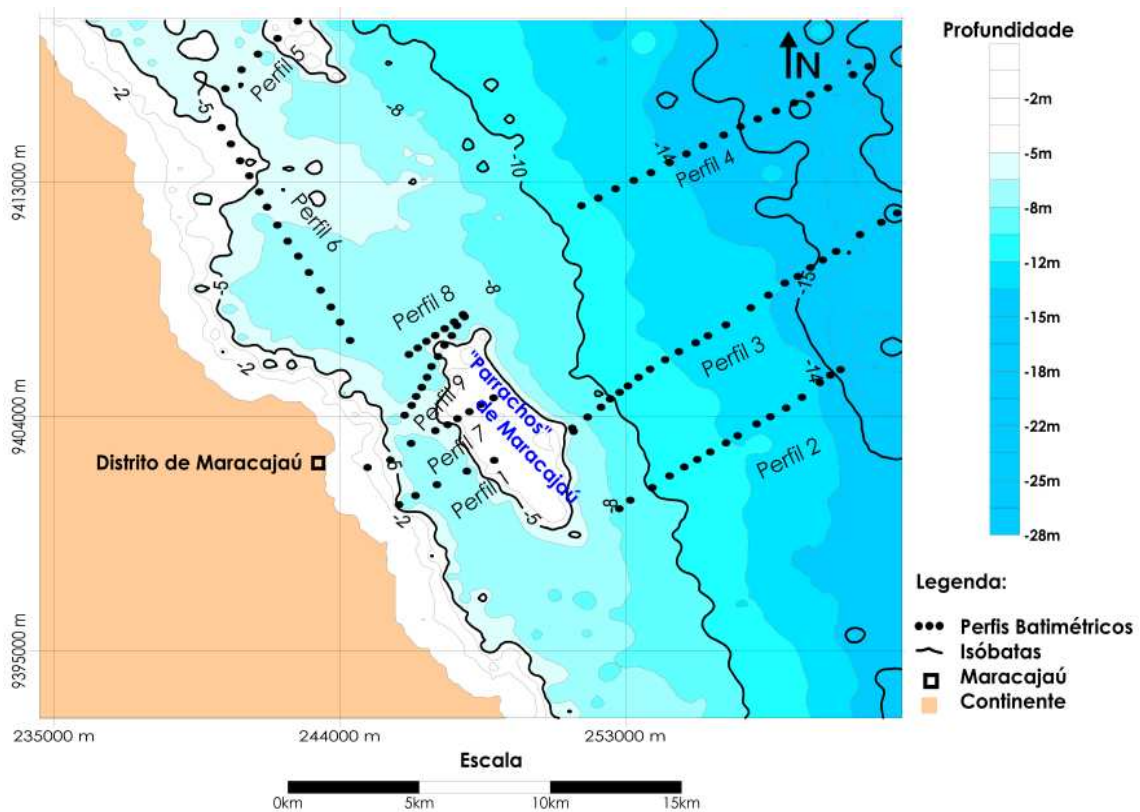


Figura 2.1. Localização dos perfis batimétricos na região do Baixo de Maracajá (modificado de Lima, 2002).

Amaral *et al.* (2005) realizou um diagnóstico ambiental na área de uso turístico intenso – AUTI – no Parracho de Maracajá. O diagnóstico analisou, entre outros aspectos, a geomorfologia da área. Dados batimétricos coletados em doze (12) rotas, sendo onze (11) com orientação NE/SW e uma (1) orientada na direção NW/SE (fig. 2.2), resultaram em 12 perfis onde a variação da profundidade, na AUTI do Parracho de Maracajá, ficou entre 0,4 e 2,4m, com as maiores profundidades localizadas no setor NW da área.

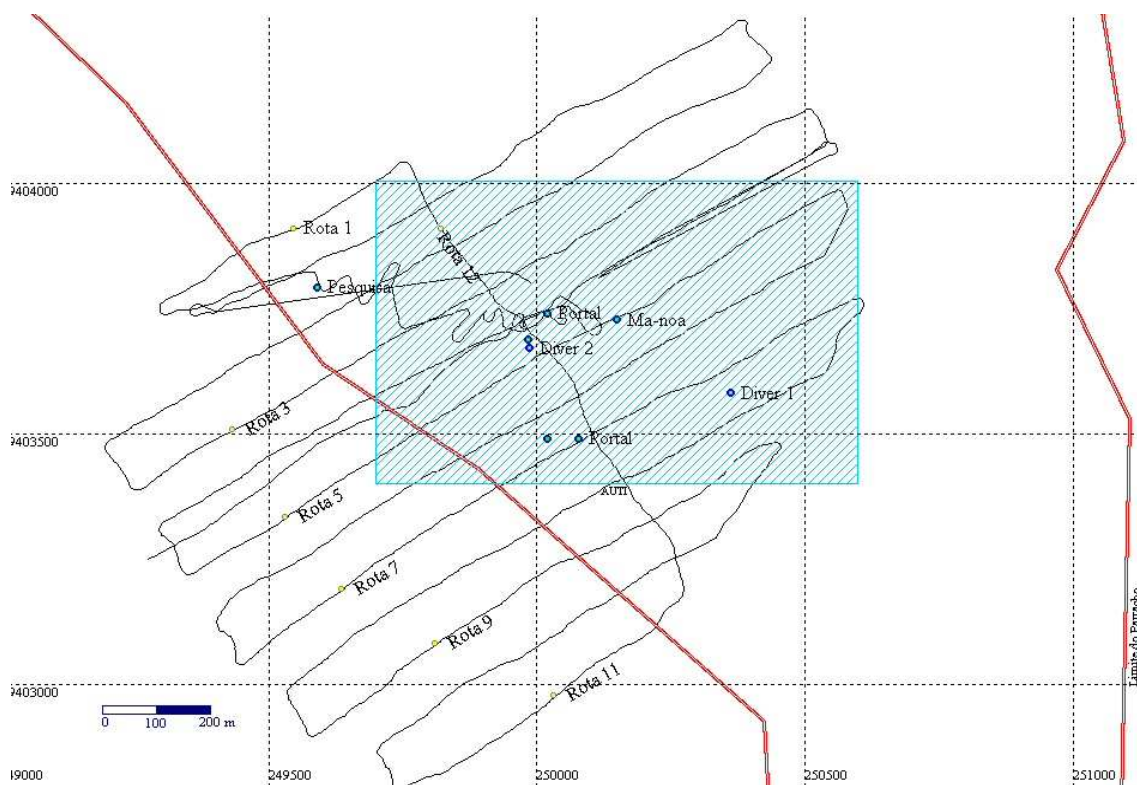


Figura 2.2. Malha de coleta dos dados batimétricos (modificada de Amaral *et al.*, 2005)

Nogueira e Amaral (2009) com o objetivo de comparar os métodos de interpolação *Topo to Raster* e *Kriging* geraram modelos digitais de terreno - MDT (fig. 2.3) – para a região da Folha Touros (SB-25-V-C-II) a partir de dados batimétricos digitalizados da Carta Náutica 803 – Carta do Canal de São Roque. Estes autores chegaram a conclusão de que a aplicação da ferramenta *Topo to Raster* foi a que gerou resultados com maiores informações para a composição da morfologia do fundo oceânico, principalmente para estruturas transversais a linha de costa.

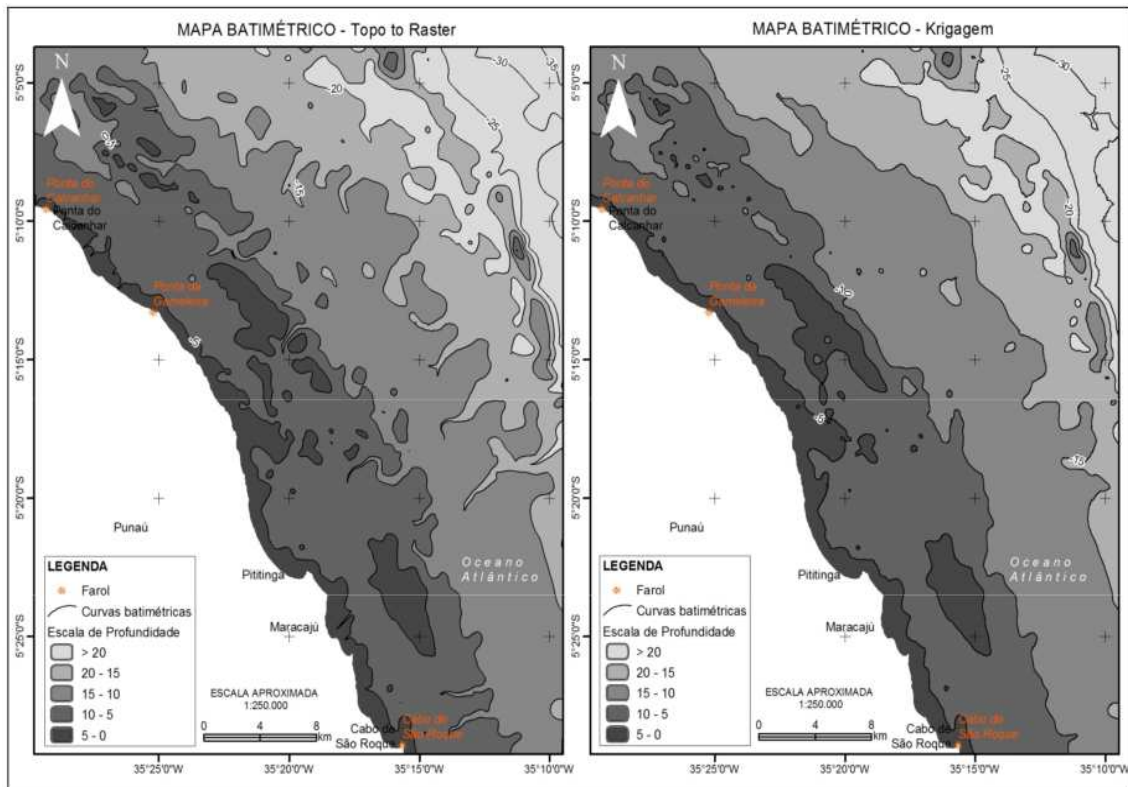


Figura 2.3. Mapa batimétrico interpolado a partir do método Topo to Raster (esquerda) e Kriging (direita) – (modificado de Nogueira e Amaral (2009).

A partir de produtos do sensor ETM+/LANDSAT mapearam feições presentes na APARC como Parrachos, canais e campos de dunas (Amaral, 2002). As feições de Parrachos, como são conhecidos localmente, são formações costeiras alongadas orientadas paralelamente a linha de costa.

A APARC é composta de quatro formações classificadas como Parrachos (fig. 2.4), sendo de norte para sul o Parracho da Cioba, extensão aproximada de 10 km; o Parracho do Cação, cerca de 9 km; o Parracho de Rio do Fogo, aproximadamente 12 km e o Parracho de Maracajaú, como cerca de 8 km de extensão (Amaral, 2002).

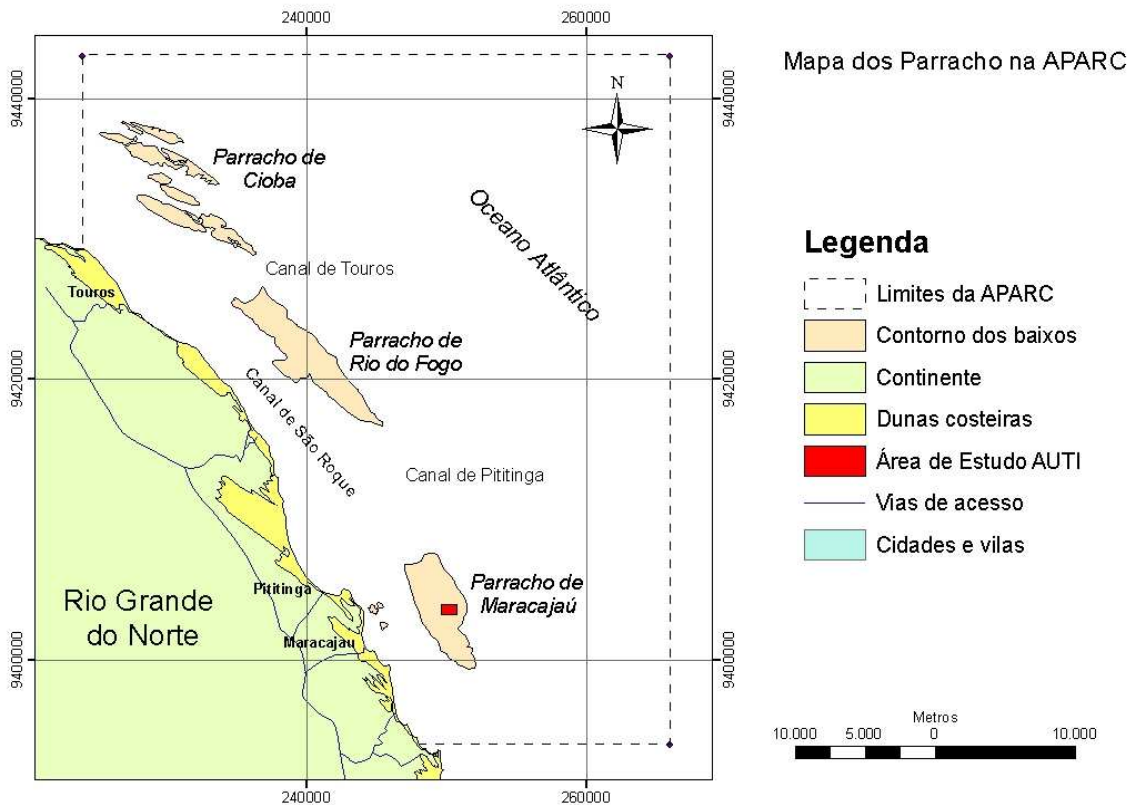


Figura 2.4. Mapa dos contornos dos Parrachos e dos limites da APARC (modificado de Amaral, 2002).

Foram identificados canais entre os Parrachos, de norte para sul, são os canais de Touros e de Pititinga, com orientação perpendicular à linha de costa.

O canal de Touros separa os Parrachos da Cioba e do Cação do Parracho de Rio do Fogo; o canal de Pititinga, que divide Parracho de Rio do Fogo do Parracho de Maracajá. Entre a costa e os Parrachos, encontra-se o canal de São Roque, presente em toda a extensão da APARC.

Outras feições também foram identificadas: lineamentos longitudinais (denominada localmente de riscas) e campos de dunas subaquáticas.

Próximos ao Parracho de Maracajá foram observados dois conjuntos de feições, com alinhamento e disposição transversais à linha de costa, orientados nas direções NW-SE e NE-SW. Em imagens de satélite podem ser identificadas como traços paralelos num intervalo de 100 ou 150 metros.

Santos (2006) e Santos *et al.* (2007) mapearam os recifes submersos na costa do Rio Grande do Norte, desde a região de Macau até Maracajá, objetivando caracterizar as construções carbonáticas, inorgânicas e recifais da área.

Uso de Sensoriamento Remoto na Caracterização Morfológica de Plataformas Continentais

A geometria em plano, de feições subaquáticas em plataformas rasas, é discutida por Stride (1982). As marcas de fundo, produzidas principalmente por correntes de maré, são interpretadas à luz de vários modelos propostos. Neste caso, são utilizadas as informações obtidas principalmente a partir de sísmica de alta resolução sobre os fundos estudados. Os estudos de Polcyn, (1976), Polcyn e Rollin (1969), Lysenga (1981), dentre outros, têm outra aproximação, com o uso das imagens orbitais.

Quando a luz se propaga na água a sua intensidade diminui exponencialmente com o aumento da profundidade e concentração de material em suspensão. Este processo é conhecido como atenuação e exerce efeitos profundos sobre os dados de sensoriamento remoto para ambientes aquáticos. A gravidade da atenuação varia com o comprimento de onda da radiação eletromagnética. Na região do visível, o espectro vermelho atenua mais rapidamente em relação ao comprimento de onda do azul. Conforme a profundidade aumenta, a possibilidade de separar os espectros de habitat diminui (Lozano, 2003).

Segundo Lozano (2003), as respostas espectrais de fundos arenosos a uma profundidade de 2 metros serão muito diferentes das respostas a 20 metros. De fato, a assinatura espectral de areia muito fina a 20 metros, pode ser semelhante ao de capim do mar a 3 metros. As respostas espectrais registradas por um sensor são dependentes da refletância do substrato e da profundidade.

Esta influência pode dificultar a interpretação visual ou classificação multiespectral para mapear o ecossistema. A maioria dos exercícios feitos para mapear ecossistemas marinhos, refere-se apenas aos mapas de características bentônicas, úteis para evitar dificuldades devido à influência da profundidade da água. Esta técnica descreve métodos avançados para compensar profundidade variável, mas só pode ser aplicada em águas límpidas de ambientes de recifes de corais. (Green *et al.*, 2000).

A reflectância do fundo não é diretamente observada pelo sensor em órbita, uma vez que é modificada pelos efeitos de absorção e dispersão da coluna de água. No geral, as interações fundamentais da luz com o ambiente aquático são: a) a reflexão na superfície da água da luz incidente, b) a refração da luz incidente sobre a superfície da água, c) absorção pela água e dispersão ascendente causada pelo fitoplâncton, d) a dispersão pelos materiais inorgânicos em suspensão, e) a reflexão do fundo e a dispersão ascendente pelas moléculas de água (Lozano, 2003).

A transparência dos corpos de água varia em diversas escalas. Por exemplo, muitas zonas costeiras apresentam gradiente de turbidez criado pelo aumento da profundidade e redução de entrada de sedimentos de origem terrestre, tais como rios.

As imagens TM do Satélite Landsat, podem ser processadas para uso como sensor de feições submarinas, através dos seguintes passos: (1) correção atmosférica; (2) desenvolvimento e aplicação de uma máscara no continente; (3) suavização do ruído de transformação e aplicação de filtro Fourier passa-baixa; (4) linearização da absorção de luz na água do mar por transformação logarítmica dos valores de brilho; (5) ajuste do contraste por alongamento do histograma (Reuss-Strenzel, 2007).

Reuss-Strenzel (*op. cit.*) utilizou imagens do satélite Landsat TM, fotografias aéreas e campanhas de mergulho autônomo para mapear uma área de recifes submersos na costa do Estado da Bahia. O autor afirma que estes são métodos viáveis para a caracterização de ambientes recifais em águas rasas, com nebulosidade variável, em que a aplicação de técnicas de detecção hidroacústica não é possível, devido à baixa profundidade e a quebra constante de ondas.

De acordo com Maia e Cavalcante (2005), a composição RGB das bandas 1, 2 e 4 do satélite Landsat TM, permite uma boa visualização da zona costeira, próxima a natural e também uma boa visualização das feições marinhas submersas rasas e plumas de descargas dos rios.

As plumas de sedimentos da deriva litorânea são bem marcadas pela diferença de cor entre os sedimentos em suspensão, que estão próximo à costa e o azul "oceânico" das porções mais distantes. Pode-se notar a variação da coloração azul esbranquiçada mais clara ou mais escura, dependendo da diminuição ou aumento dos períodos chuvosos (Maia e Cavalcante, 2005).

Além da diferença de cores, com esta composição pode-se observar a presença de vórtices na zona costeira, bancos arenosos, dunas submersas e estruturas fixas submersas também podem ser visualizadas nesta composição (Maia e Cavalcante, *op. cit.*).

A partir dos experimentos fotobatimétricos da NASA com o pesquisador Jaques Cousteau (Polcyn, 1976; Vianna & Solewicz, 1988), além de experimentos com mergulhadores, ficou demonstrada a viabilidade do uso de imagens TM no processo de construção de cartas náuticas e visualização de estruturas submersas em águas límpidas e rasas.

Especificamente sobre a análise das formações recentes na plataforma rasa nordestina, despontam os trabalhos que, baseados em imagens dos sensores MSS e TM, obtidas pelo Landsat, detalham aqueles resultados pioneiros, conseguidos a partir da coleta de sedimentos superficiais e de alguns perfis batimétricos. Dentre os trabalhos executados com o uso de imagens de satélite, destacam-se, além do artigo de Vianna & Solewicz (1988), uma série de outros artigos na mesma área geográfica, sempre relacionados ao uso das informações do sensor remoto Landsat (Vianna *et al.*, 1989; Solewicz, 1989; Vianna *et al.*, 1991; Vianna *et al.*, 1993; Testa, 1996; Testa, 1997; Testa *et al.*, 1997; Testa e Bosence, 1998).

O processamento digital de imagens do Satélite Landsat envolve as seguintes etapas: 1) pré-processamento. As técnicas são aplicadas para correção de distorções radiométricas e geométricas introduzidas pelo sensor ou pela atmosfera. 2) processamento digital. Esta fase inclui a utilização de técnicas de realce e transformações espectrais, incluindo o índice para tipos de fundo independente da profundidade e análise dos componentes principais. 3) mapeamento. Etapa de extração de informações através da interpretação visual ou classificação digital, onde são gerados os produtos finais. (Lozano, 2003)

Interpretação de Imagem de Satélite na Plataforma do Nordeste Oriental

A utilização de imagens de satélite para estudo de feições submersas fora da zona de maior turbidez (até 5 km da costa) permite uma boa visualização do fundo marinho, sendo possível observar a profundidades maiores que 10 metros, feições de fundo com clareza, até as proximidades da isóbata de 30 metros. Vianna e Solewicz (1988).

Utilizando-se de uma imagem do sensor TM do Landsat - 5, foi possível determinar-se que a plataforma rasa próxima à costa, não apresenta um fundo tão monótono como se tem notificado e que inúmeras informações inéditas podem ser obtidas com o uso de imagens de satélite (Amaral, 2000).

Amaral (*op. cit.*) interpretou, na plataforma continental ao sul de Natal, utilizando imagens de satélite, pelo menos oito tipos de fundo, marcados por texturas e tonalidades diferentes. Esta diferenciação é função da natureza do fundo, da profundidade e do teor de material em suspensão, que afeta diretamente a visibilidade da água. Destacou ainda que a visibilidade da água seja, em geral, pequena próxima à costa, mas se eleva a partir dos 10 metros de profundidade e se mantém aproximadamente constante em direção ao oceano, conforme medidas tomadas no disco de *Secchi*.

De acordo com Vianna e Solewicz (1988) a existência de linhas de arenitos de praia submersas é relatada em plataformas rasas, em várias partes do mundo e evidências destas linhas de arenito submersas já foram documentadas na plataforma nordestina. Estas linhas, as quais denominaram de “riscas” (utilizando a nomenclatura local) foram observadas no litoral em frente à cidade de Touros (RN), a 20 metros de profundidade e cerca de 20 km afastado da costa.

Estes autores identificaram uma série de feições no fundo marinho da plataforma rasa do Rio Grande do Norte (até 40 metros de profundidade), comprovando o potencial e a eficácia em se utilizar imagens orbitais do satélite Landsat em águas Potiguares. Este estudo utilizou imagens orbitais TM - Landsat 5, no espectro do visível, composição de bandas 1, 2 e 4.

O tratamento das imagens possibilitou a visualização e mapeamento de uma série de estruturas submersas, como: Riscas do Liso, da Gameleira, do Zumbi, antigas linhas de praia, coberturas arenosas invadindo recifes submersos, Parrachos de Cioba, Rio do Fogo e Maracajaú, campos de dunas submersas com orientação transversal à costa, além de antigos leitos de rios submersos (Vianna e Solewicz, 1988).

Vianna *et al.* (1989) com base principalmente em imagens de satélite, identificaram uma série de feições na plataforma rasa na altura da cidade de Touros. Um lineamento externo observado foi relacionado, por sua morfologia, a uma linha de arenito de praia e estaria a aproximadamente 20 metros de profundidade. Mergulhos e análise petrográfica confirmaram a morfologia e características petrográficas de uma fácies de praia

Na plataforma à frente da cidade de Touros, na isóbata de 20 metros, foi observado um campo de dunas transversais assimétricas, com alturas entre 5 e 7 metros, com extensão transversal de 500 metros, distância entre as cristas de 1.700 metros e faces opostas a direção da corrente com inclinação de 45°, sobre estas foram vistos *ripples* com 5cm de altura por 20 de comprimento. Um campo com formas de leito longitudinais foi observado e identificado como sendo composto por faixas de areias com comprimentos entre 5 e 10 km e larguras inferiores a 100 metros (Testa e Bonsence, 1999) (fig. 2.5).

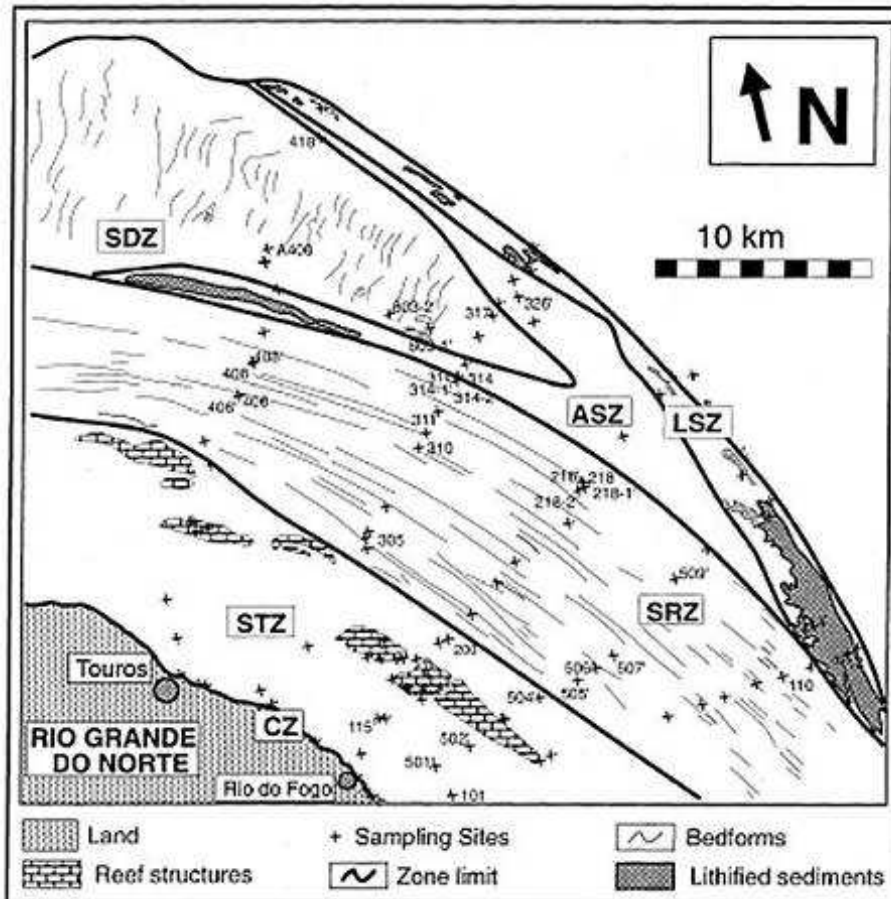


Figura 2.5. Tipos de fundo no limite norte da APARC. CZ- zona costeira; STZ – zona turbidífica sub litorânea; SRZ – zona da faixa arenosa; ASZ – zona de algas estabilizadas; LSZ – zona de sedimentos litificados; SDZ - zona de dunas subaquosas. Modificado de Testa e Bonsence (1999).

Santos (2006) realizou o mapeamento de recifes submersos da plataforma continental desde Macau à Touros/RN, utilizando imagens digitais do Landsat 5-TM de 02 de Agosto de 1998 e Landsat 7-ETM+ de 12 de Junho de 2000 (Condições de baixamar), as bandas utilizadas foram a 1, 5 e 7 do visível-infravermelho (fig. 2.6).

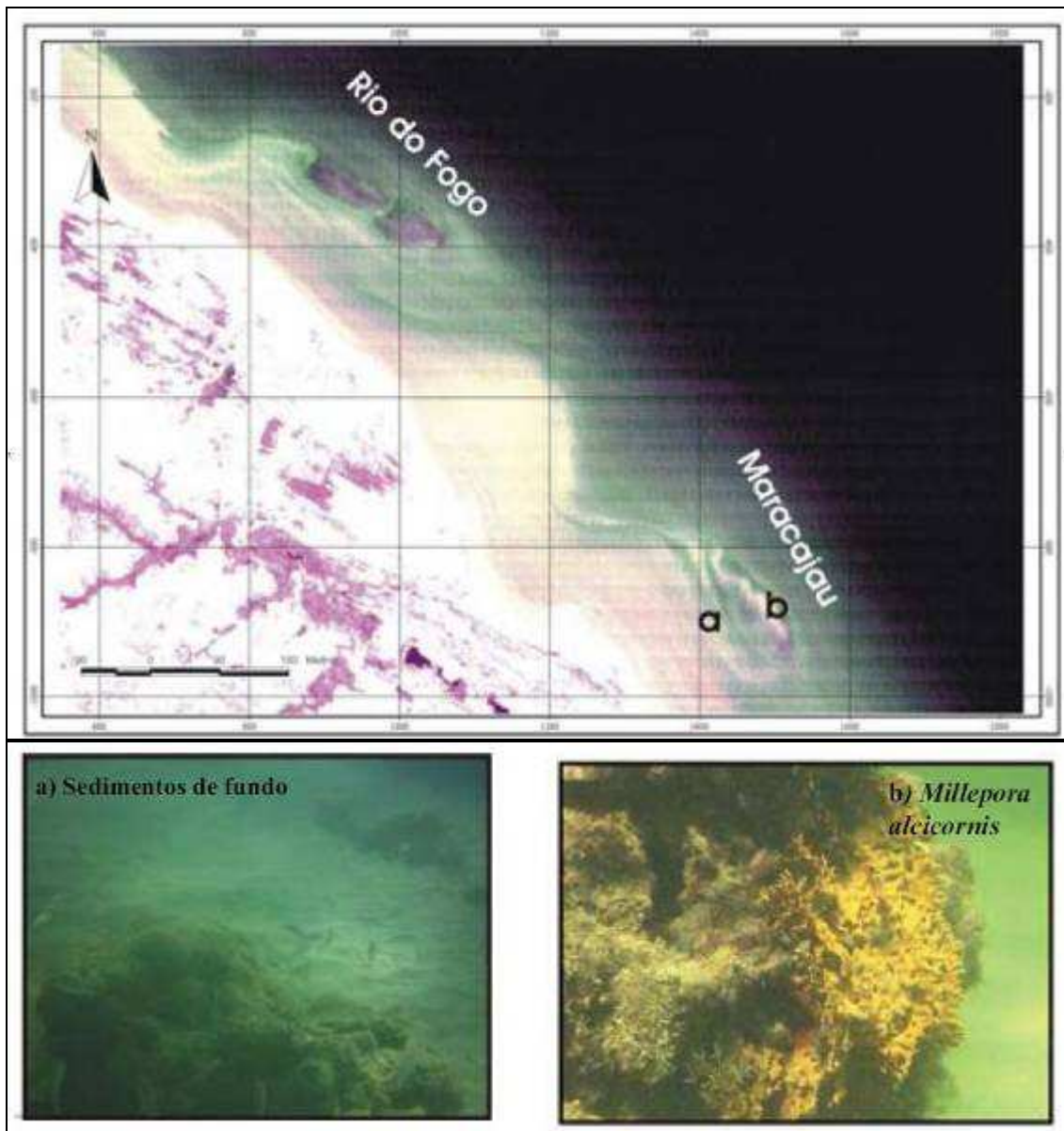


Figura 2.6. Composição colorida em RGB 4-3-2 Landsat 5-TM de 02 de Agosto de 1998. (a) sedimentos de fundo associados aos recifes (b) *Millepora Alcornis* - Recifes de Maracajaú. Adaptado de Santos (2006).

Tabosa *et al.* (2007), empregaram imagens multiespectrais (bandas 1 a 5 e 7, do espectro visível-infravermelho próximo) Landsat 7 ETM+ para visualizar feições de fundo marinho na região de São Bento do Norte - RN.

A interpretação de algumas composições coloridas do sistema Landsat 7 ETM+ das bandas do visível-infravermelho próximo destacou as informações relevantes sobre as unidades geoambientais presentes na área. Assim, foi possível a detecção das principais feições de fundo (dunas, linhas de arenitos de praia, recifes, etc.) impressas na plataforma continental (Tabosa *et al.*, 2007).

Linhas de arenitos de praia foram mapeadas ao longo de praticamente toda a costa Potiguar. Normalmente encontram-se parcialmente fragmentadas e interrompidas por extensas faixas de sedimentos recentes. Estes arenitos de praia (recifes) podem ser identificados nas imagens, como extensos corpos alongados, bordejando a costa atual da região de São Bento do Norte, desde a Ponta dos Três Irmãos até a cidade de Galinhos. Na porção submersa, os arenitos de praia foram observados a cerca de 10 a 20 km da linha de costa atual, compondo longos trechos retilíneos com algumas dezenas de metros de largura e dezenas de quilômetros de extensão (Tabosa *et al.*; *op. cit.*).

Estes autores adotaram como procedimento de processamento de imagens Landsat 7 ETM+ o uso de Análise por Principais Componentes (PCA). A utilização das PCA's facilitou a identificação da morfologia de fundo e contribuiu para minimizar o efeito do sombreamento e dos ruídos existentes. Como o uso da Análise por Principais Componentes reduz a dimensionalidade espectral das imagens, para a área submersa observa-se uma concentração das informações referentes a qualidade/profundidade da lâmina d'água.

Durante o desenvolvimento do estudo, Tabosa *et al.* (2007) elaboraram algumas combinações multiespectrais, porém as melhores respostas foram obtidas nas combinações (RGB-3-2-1 e RGB-5/2-4-1). Os resultados obtidos demonstraram a importância da utilização de produtos de sensoriamento remoto orbitais, submetidas a tratamento digital, na caracterização de feições submersas e zonas costeiras com características similares àquelas do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte.

Santos *et al.* (2007) descreveram a partir de mapeamento com imagens digitais do Landsat 5 TM de 02 de agosto 1998 e Landsat 7 ETM+ de 12 de junho 2000 (condições de baixamar), nas bandas do visível-infravermelho (bandas multiespectrais de 1-5 e 7), a localização das feições predominantes na plataforma interna da região de Touros/RN (complexo dos recifes de Cioba, Cação, Rio do Fogo e Maracajaú) (fig. 2.7).

Laborel (1967, 1969) *apud* Santos *et al.* (2007) descreve-os como grupo de recifes de forma oval, localizados a alguns quilômetros para fora da costa, constituindo-se em estruturas simples, formadas em geral por numerosos pináculos num fundo arenoso raso e número reduzido de espécies. Encontram-se a profundidades menores que 10 metros e a uma distância de 5 a 7 km da costa. Estes recifes geralmente apresentam orientação NW–SE, paralelos a linha de costa e apresentam-se como conjuntos de cômoros (*knoll*) e de canteiros (*patch reefs*). São parcialmente emersos durante a maré baixa, com extensão variando de 8 a 12 km. A aproximadamente 25 metros de profundidade, na borda da plataforma interna, observa-se a presença de uma faixa de bancos areníticos constituídos predominantemente por quartzo com cimento carbonático, apresentando também orientação NW–SE.

O recife de Maracajaú é o maior recife da APA dos Recifes de Corais com 9 km de extensão e 3 km de largura. O topo permanece a uma profundidade média inferior a 5 metros e durante as marés baixas fica parcialmente exposto. É constituído por um agrupamento de edificações biogênicas (cômoros e canteiros) de tamanho variável, superfície irregular, permeadas de reentrâncias. Foram construídos pela acumulação de algas calcárias (coralináceas incrustantes) e corais zooxantelados (Santos *et al.*, 2007).

Estes autores comentam que corredores de largura e extensão diversos, à moda de labirintos e “piscinas”, delimitam essas estruturas concentrando sedimentos terrígenos e fragmentos de carapaças de organismos. O sedimento de fundo varia de acordo com a energia hidráulica predominante entre areias siliciclásticas e argilas com matéria orgânica.

Observa-se um aumento na profundidade e uma diminuição no tamanho dos cômoros e canteiros de oeste para leste. De acordo com a classificação usada neste estudo o complexo enquadra-se na categoria de recifes afastados da costa (Santos *et al.*, 2007).

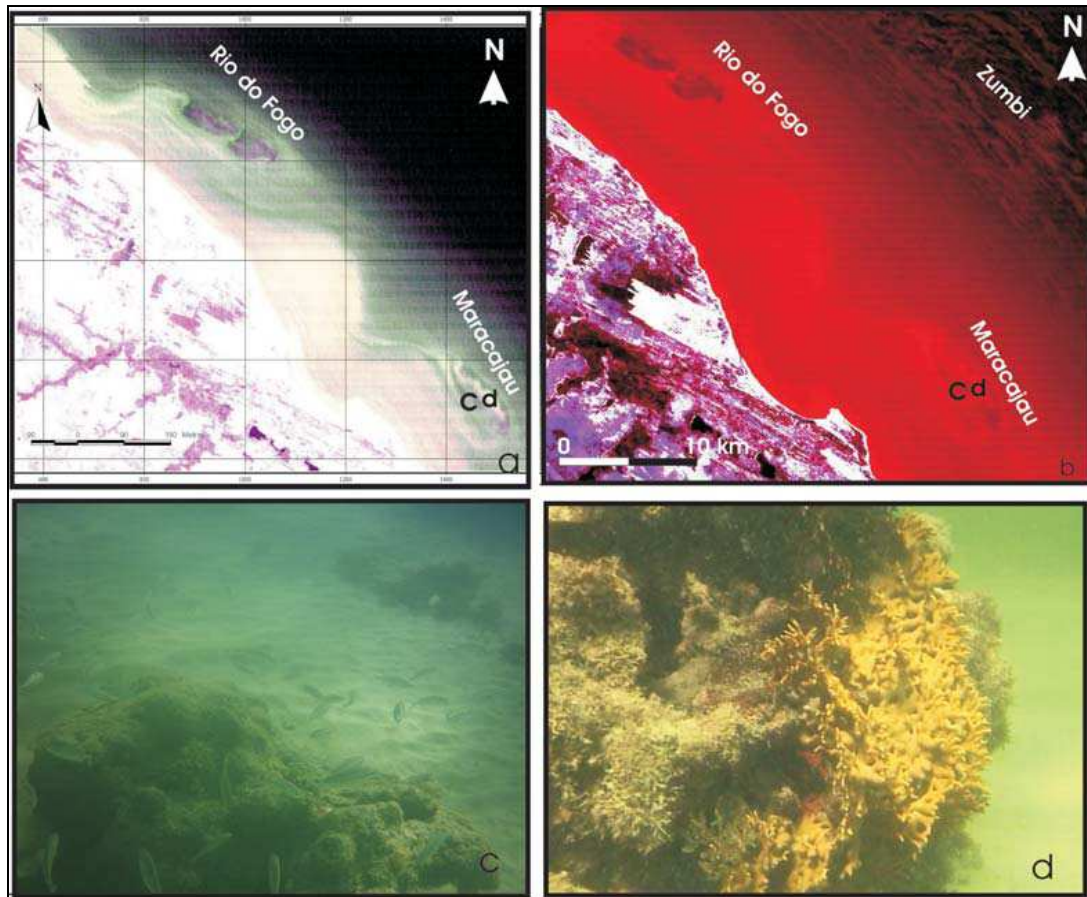


Figura 2.7. (a) RGB 3-2-1 ressaltando os recifes e os bancos inorgânicos respectivamente; (b) Composição colorida em RGB 4-3-2 da Imagem Landsat 5-TM de 02 de agosto 1998 (c) Sedimentos de fundo; (d) *Millepora alcicornis* nos recifes de Maracajaú. Modificado de Santos *et al.* (2007).

Oliveira *et al.* (2009) utilizando imagens do satélite Landsat 7 a partir do sensor ETM+, desenvolveram um estudo visando localizar e classificar as feições submersas da plataforma rasa do Estado do Rio Grande do Norte na área da Folha Touros. Na figura 2.8 é possível visualizar uma composição colorida RGB 124 da imagem do sensor ETM+ do satélite Landsat 7, cena 214-64, de 19/11/1999 com realce de contraste, utilizada para caracterização morfoestrutural da área do Cabo de São Roque ao Cabo do Calcanhar.

Os mesmos autores observaram as seguintes feições (fig. 2.8): estruturas transversais, alinhamentos, riscas, canais de fluxo oblíquo, cristas dunares, zona costeira, zona turbida sublitorânea, faixas de areia, dunas submersas, algas estabilizadas, sedimentos litificados e borda da faixa de areias.

CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico sobre a área de estudo e outras áreas similares. Em seguida, foram executadas campanhas de coleta de dados batimétricos e aquisição da imagem de satélite. Os dados batimétricos e a imagem de satélite foram submetidos a técnicas de processamento visando demarcar as possíveis feições submersas existentes na região. Com os resultados obtidos foi determinado um zoneamento regional preliminar, levando em consideração os resultados de estudos pretéritos.

LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

Para o desenvolvimento das análises foram realizados levantamentos batimétricos nos meses de março, abril e maio de 2009, utilizando-se uma embarcação com 10m de comprimento e calado de 0,70m, equipada com sistema de posicionamento global e ecossonda (feixe duplo, 200KHz, 14°).

O planejamento dos trabalhos de campo foi feito com base nas informações obtidas das referências bibliográficas existentes e do conhecimento empírico da região. Desta forma foi possível determinar a direção (objetivo de maior importância, visto que era necessário levantar informações perpendicularmente as feições geomorfológicas) e o comprimento das rotas.

A campanha resultou em 44 perfis batimétricos com espaçamento entre estes de 1,5km e extensão média de 30km (fig. 3.1). O montante de dados coletados nas campanhas foi de 111.200 pontos válidos de medidas de profundidade com 1.395,7 km navegados em uma área total de 1.850 km².

Os dados batimétricos foram corrigidos em três etapas: (1) verificação da veracidade das informações das profundidades observadas – nesta etapa procedeu-se, por exemplo, a remoção dos registros com valores iguais a zero, isso ocorreu nos casos onde houve a perda do sinal acústico e em momentos de embarcação parada; (2) ajuste ao nível de maré; e (3) ajuste do calado da embarcação.

Posteriormente os dados foram inseridos em um sistema de informações geográficas para outras operações, utilizando a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) com *datum* WGS 84 no meridiano central 33°W.

A partir dos dados de profundidade obtidos em campo foram gerados perfis batimétricos e modelos digitais de elevação utilizados para analisar e delimitar feições geomorfológicas.

A separação das coletas em três campanhas, nas regiões dos baixios de Maracajaú, Rio do Fogo e Cioba (fig. 3.1), levou em consideração a posição da linha de costa, onde se procurou coletar os dados de profundidade em rotas perpendiculares à linha de costa; as condições de maré para a coleta de dados de profundidade, onde se priorizou coletas em marés de quadratura, condições onde ocorreram as menores variações de maré minimizando os erros de coleta e correção dos dados.

Deste modo, estudos específicos para cada região podem ser desenvolvidos sem que haja necessidade de tratar os dados novamente e, principalmente, minimizar os erros.

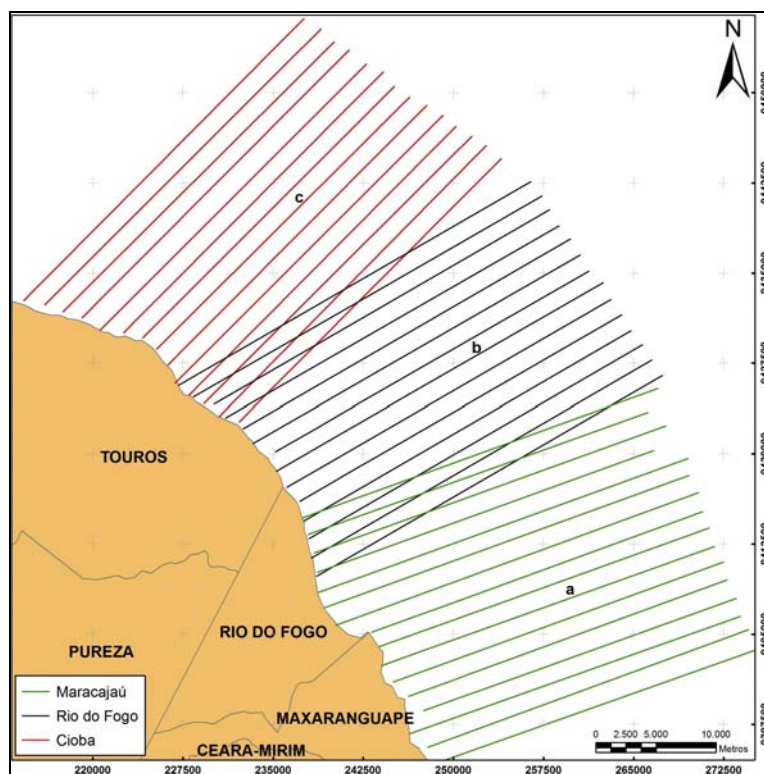


Figura 3.1. Distribuição e numeração dos perfis batimétricos ao longo da área de estudo – dividida em três setores: (a) Maracajaú, perfis 1 a 16, (b) Rio do Fogo, perfis 17 a 30 e (c) Cioba, perfis 31 a 44.

Maracajaú

A coleta de dados no setor denominado Maracajaú (extremo sul da área de estudo) ocorreu entre os dias 18 e 21 de março de 2009, totalizando 35.360 pontos válidos em 504,1 km navegados. Foram obtidos 16 perfis batimétricos orientados aproximadamente para ENE-OSO (67,5° em relação ao norte).

Rio do Fogo

O levantamento das profundidades para o setor de Rio do Fogo (setor locado no centro da área de estudo) ocorreu entre os dias 2-5 e 15-20 de abril de 2009. Foram coletados 31.399 pontos válidos de profundidade em 433,2 km navegados. Obtiveram-se 14 perfis orientados para ENE-OSO (67,5° em relação ao norte).

Cioba

Para o setor de Cioba (extremo norte da área de estudo) os trabalhos de campo foram realizados entre os dias 4 e 8 de maio de 2009. Foram percorridos pela embarcação 458,4 km. O montante total foi de 14 perfis orientados para NE-SO (45° em relação ao norte) e 34.440 pontos válidos de profundidade.

Perfis Batimétricos

A construção dos gráficos utilizou a totalidade de pontos válidos obtidos para cada perfil. De modo a minimizar os ruídos produzidos por pequenas oscilações registradas durante a navegação, as curvas geradas para cada perfil foram ajustadas utilizando-se a média móvel, onde é obtida a média dos dados dentro de um intervalo especificado para ambos os lados de um dado ponto amostral. A largura desta janela foi calculada por avaliação visual, onde foram definidas para cada ponto amostral, a média dos seus 8 valores anteriores e posteriores.

Modelos Digitais de Elevação (MDE)

Para a modelagem espacial dos dados batimétricos foi executada uma filtragem dos dados brutos, reduzindo de 136.584 pontos para 111.200 pontos válidos. Esta filtragem realizou a remoção de registros onde a profundidade anotada foi zero ou apresentava valor incoerente com a realidade – por exemplo, onde a profundidade registrada foi zero.

A partir dos dados válidos de profundidade foram criadas três malhas amostrais, denominadas malhas filtradas, com diferentes densidades, variando apenas o espaçamento entre os pontos coletados, mantendo fixo o espaçamento entre os perfis, sendo estes: 1500 x 1500 metros, 1000 x 1500 metros e 500 x 1500 metros.

Estas malhas foram utilizadas para a realização de testes para a geração do modelo digital de terreno e contornos batimétricos da área em estudo. O objetivo era avaliar qual densidade amostral geraria melhores resultados.

Optou-se por aplicar a malha amostral de 500 x 1500 metros, que totalizou 2.731 pontos válidos de profundidade, e foi a que melhor representou as feições geomorfológicas da plataforma continental do Rio Grande do Norte. A figura 3.2 apresenta a os dados brutos e a malha amostral utilizada para a execução da modelagem.

O método de interpolação utilizado foi Vizinhos Naturais pois os dados estavam dispostos em uma malha regular. A modelagem foi executada com uma malha regular com espaçamento de 100 metros para os dois eixos (x e y).

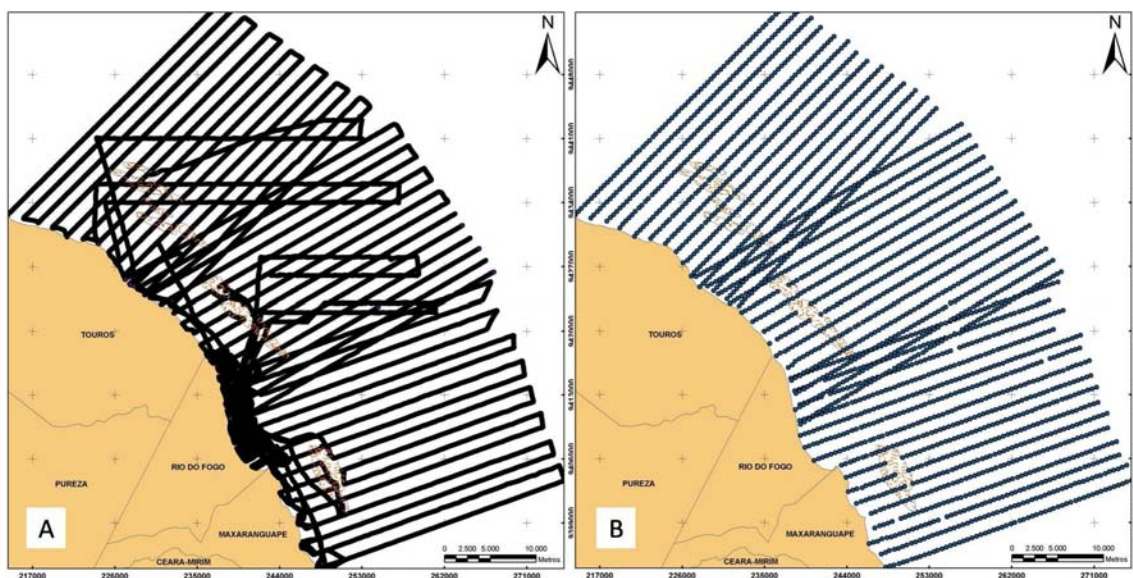


Figura 3.2. Malha original (A) e malha filtrada de 500 x 1500 metros, utilizada para a modelagem.

Correção de Maré

A correção de maré aplicada nos dados batimétricos coletados para o desenvolvimento deste projeto foi realizada utilizando-se as informações da régua maregráfica do Porto de Natal – RN. As medidas horárias da altura da maré foram fornecidas pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos.

A correção dos dados batimétricos, em relação a altura da maré, foi realizada com a variação da maré no intervalo de tempo de uma hora dividido pelo número de pontos amostrados neste período. A variação da maré no período de uma hora foi somada ou subtraída cumulativamente ao valor da profundidade no momento.

SENSORIAMENTO REMOTO

As características ambientais da região, tais como, transparência da água, baixa concentração de materiais em suspensão e ausência de grandes aportes fluviais na faixa litorânea, contribuem para o sucesso da aplicação desta metodologia.

Para a realização desta etapa foram utilizadas as imagens digitais do Landsat 5-TM (órbita 214/064 de 19 de novembro de 1999). O satélite Landsat 5 foi lançado em 01 de março de 1984 e funciona em órbita equatorial a 705 km de altitude. O sensor TM (*Thematic Mapper*) a bordo do satélite Landsat 5 faz o imageamento da superfície terrestre produzindo imagens com 185 Km de largura no terreno, resolução espacial de 30 metros e 7 bandas espectrais. O tempo de revisita do satélite para imagear uma mesma porção do terreno é de 16 dias.

O estudo da plataforma continental rasa a partir de imagem orbital foi feito utilizando-se a banda 1 (0,45-0,52 μm) do sensor, georreferenciada a partir de base cartográfica.

Em seguida foi realizado o ajuste do histograma do tipo desvio padrão, contraste e brilho através de software específico, que possibilitou a melhor visualização das feições de fundo, permitindo analisar e mapeá-las.

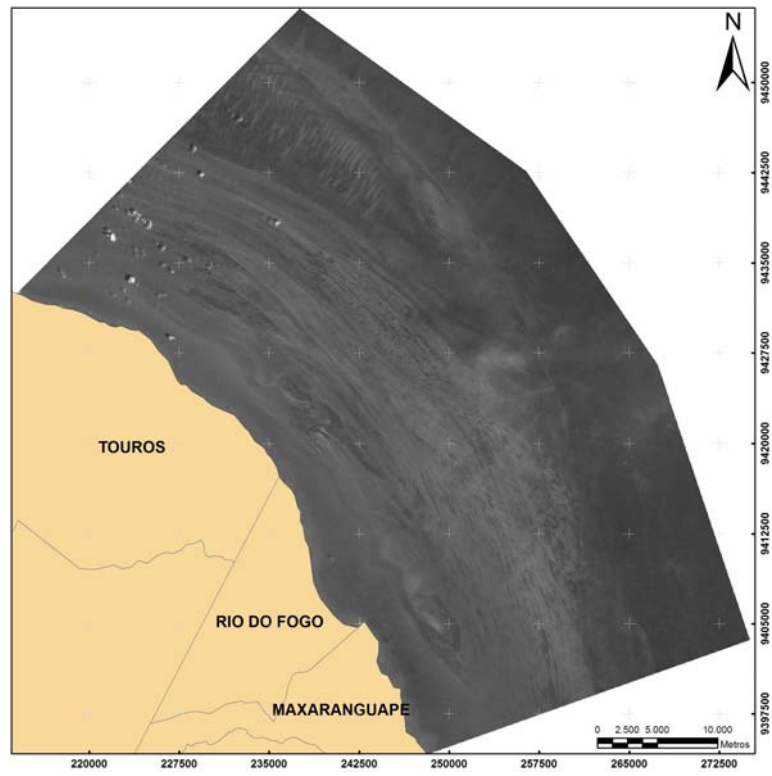


Figura 3.3. Imagem Landsat, utilizada neste trabalho, sem processamento.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

RESULTADOS

A análise dos perfis batimétricos (comportamento geométrico linear) associada ao estudo da modelagem numérica do terreno e a interpretação da imagem de satélite (comportamento geométrico em plano) permite determinar as feições geomorfológicas presentes na área. Os resultados obtidos possibilitaram a observação do comportamento geométrico das feições e a sua quantificação.

A seguir serão apresentadas e descritas, a partir da modelagem dos dados batimétricos e sensoriamento remoto orbital, as feições geomorfológicas existentes na plataforma continental rasa a qual este trabalho objetivou descrever.

As feições geomorfológicas serão apresentadas e descritas de acordo com a metodologia aplicada que possibilitou a visualização e interpretação das mesmas. Desta forma foi possível avaliar os alcances e limitações de cada método utilizado para o estudo da plataforma rasa do Rio Grande do Norte.

MODELAGEM BATIMÉTRICA

A modelagem dos dados batimétricos gerou resultados para a caracterização em planta das feições geomorfológicas da plataforma continental do Rio Grande do Norte. Foi gerado o modelo digital do terreno (MDT) e os contornos batimétricos.

Por essa metodologia foi possível identificar as seguintes feições: canais longitudinais (canal de São Roque, Cioba de Dentro), canais perpendiculares (canais de Pititinga, Barretas e Touros), altos costeiros (Maracajaú, Rio do Fogo e Cioba), ondulações longitudinais, alto oceânico (risca de Pititinga, do Zumbi, da Gameleira e do Liso), dunas transversais e terraço oceânico (fig. 4.1).

As feições de maior relevância estão localizadas entre as profundidades de 12 e 7 metros (alto de Cioba) e 10 e 2 metros (altos de Rio do Fogo e Maracajaú). O alto oceânico está presente em toda a borda leste da área de estudo com profundidades variando entre 30 e 10 metros.

Nogueira e Amaral (2009) realizaram a modelagem de dados batimétricos para uma parte da plataforma continental abrangida por este trabalho. Os dados de profundidade utilizados foram extraídos da carta náutica n° 803 – Canal de São Roque.

Para comparar os dois estudos foi preciso desconsiderar que os métodos de interpolação utilizados foram diferentes, sendo que a modelagem executada por Nogueira e Amaral (*op. cit.*) foi a ferramenta *topo to raster* e para o trabalho atual utilizou-se a técnica dos vizinhos naturais.

Ambos os trabalhos apresentaram resultados mostrando que a plataforma continental desta região tem um relevo muito recortado na faixa de profundidade entre 10 e 25 metros. Esta faixa de profundidade compreende as feições descritas como ondulações longitudinais.

A caracterização da morfologia dos altos costeiros foi diferente para os dois estudos, com exceção do alto costeiro de Maracajaú, o qual foi representado de forma semelhante para ambos. Os altos de Rio do Fogo e Cioba ficaram representados de forma mais satisfatória por este trabalho, pois os dados batimétricos utilizados na modelagem foram coletados em uma malha regular com maior densidade em relação aos dados das cartas náuticas.

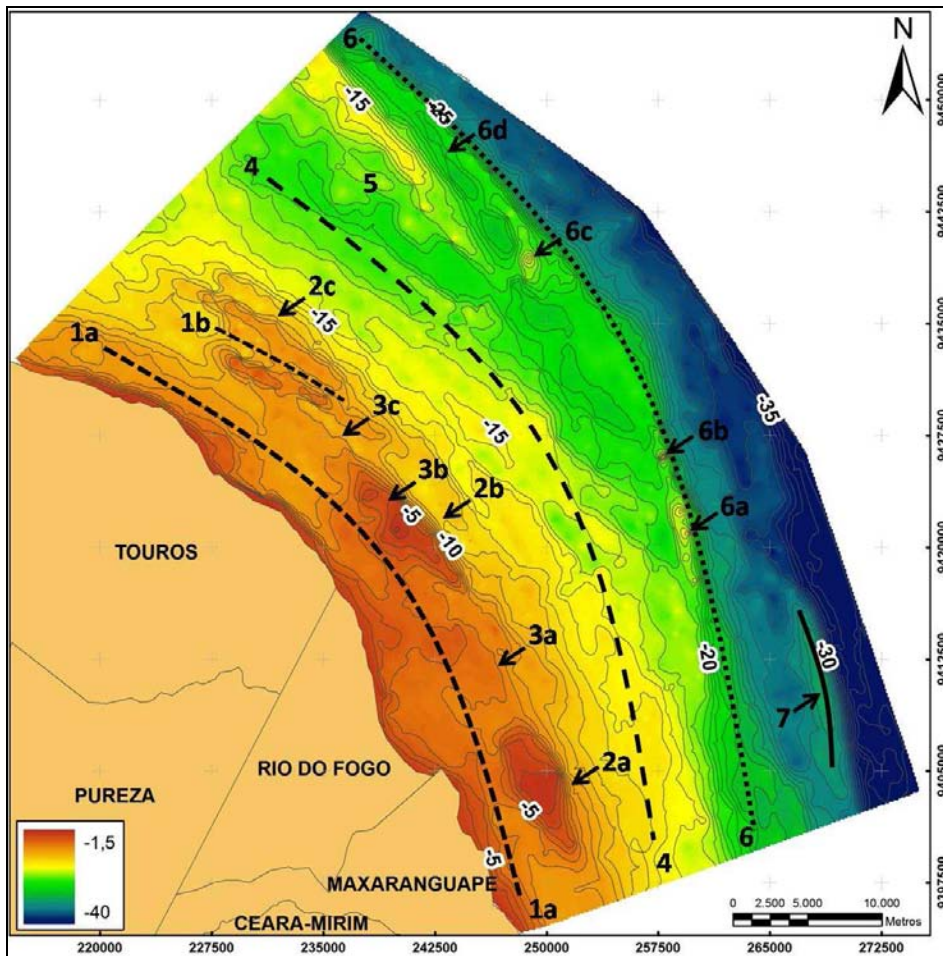


Figura 4.1. Mapa batimétrico da plataforma continental rasa do Rio Grande do Norte apresentando as principais feições geomorfológicas: (1) canais longitudinais – (1a) canal de São Roque, (1b) canal Cioba de Dentro; (2) altos costeiros – (2a) Maracajaú, (2b) Rio do Fogo e (2c) Cioba; (3) canais transversais – (3a) canal de Pititinga, (3b) canal Barretas e (3c) canal de Touros; (4) ondulações longitudinais, (5) dunas transversais; (6) alto oceânico – (6a) risca de Pititinga, (6b) risca do Zumbi; (6c) risca da Gameleira, (6d) risca do Liso e (7) terraço oceânico.

DESCRIÇÃO DAS FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS – Modelagem Batimétrica

CANAIS

Canais Longitudinais

O canal de São Roque ocorre ao longo de toda a área de estudo, atingindo 55.000 metros de extensão no eixo norte-sul, largura média de 4.550 metros e profundidade em torno de 8 metros. Este canal está localizado entre a linha de costa e os altos costeiros (fig. 4.1 – 1a).

Entre o relevo do alto costeiro de Cioba foi identificado um canal longitudinal, o canal Cioba de Dentro (fig. 4.1 – 1b). Os trabalhos anteriores a este não mencionam a existência deste canal, desta forma foi necessário determinar esta nomenclatura para o mesmo. Este canal está orientado na direção sudeste-noroeste, apresentando 845 metros de largura e 6 metros de profundidade.

Canais Transversais

Três canais perpendiculares à linha de costa foram observados estando representados no perfil interpolado obtido a partir do modelo digital de elevação da plataforma estudada (fig. 4.2).

O canal de Touros (3c), entre os altos de Cioba (2c) e Rio do Fogo (2b), com largura aproximada de 8.000 m, orientado na direção sudeste-noroeste, com profundidades entre 6,8 e 12,1 metros; canal Barretas (3b), pequeno canal dividindo o alto de Rio do Fogo, com largura de 1.000 metros na parte central, profundidades entre 3,0 e 7,0 metros e direção nordeste-sudoeste; canal de Pititinga (3a), entre os parrachos de Rio do Fogo e Maracajaú (2a), apresentando aproximadamente 11.000 metros de largura, com profundidades entre 4,5 e 9,5 metros e direção nordeste-sudoeste.

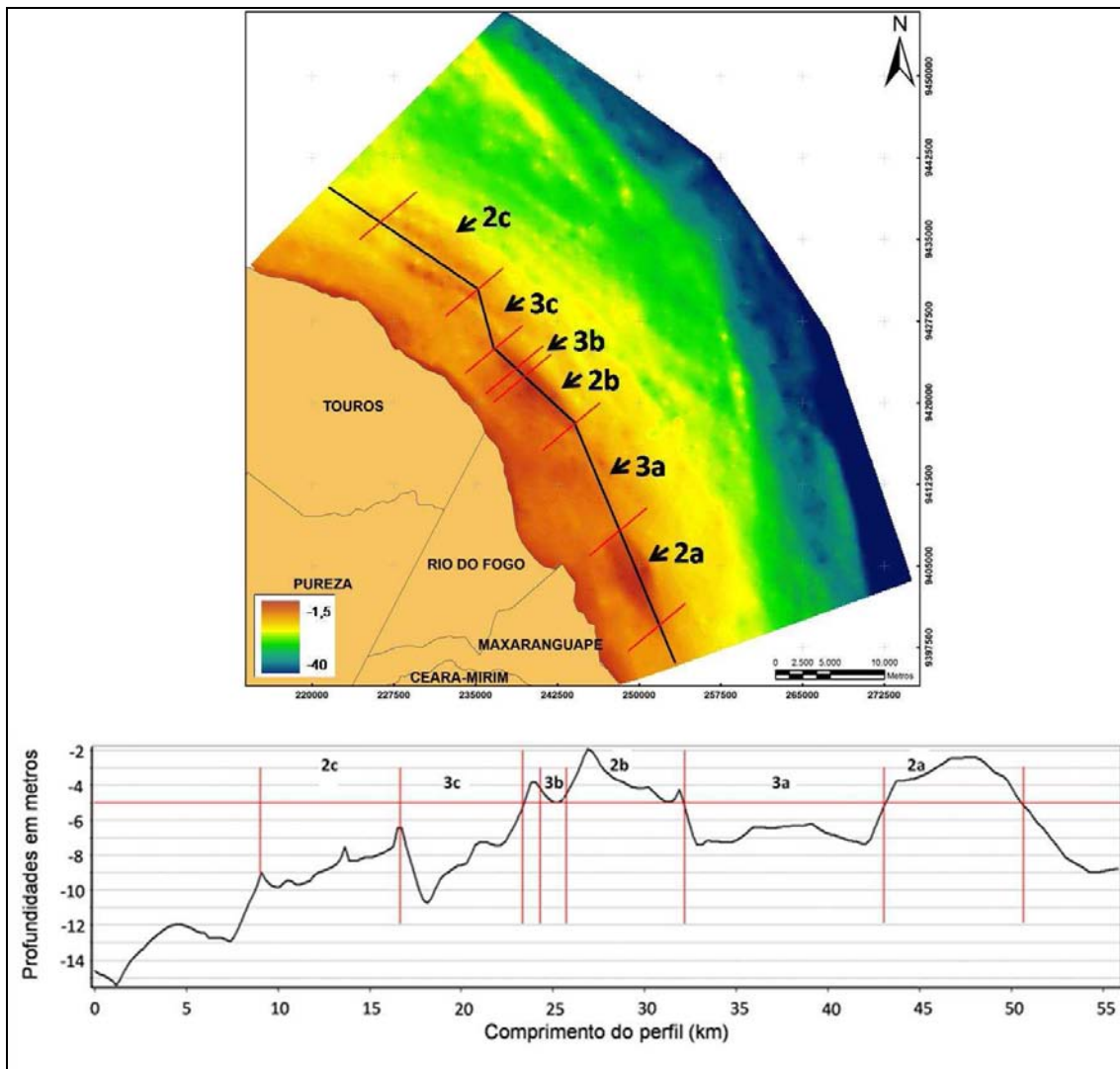


Figura 4.2. Localização do perfil e perfil interpolado representando os canais transversais de Touros (3c), Barretas (3b) e Pititinga (3a); altos costeiros de Cioba (2c), Rio do Fogo (2b) e Maracajaú (2a), existentes na área de estudo.

ALTOS COSTEIROS

Alto de Maracajaú

O alto de Maracajaú está distante aproximadamente 4.000 metros da costa e apresenta as seguintes dimensões: no eixo norte-sul 8.400 metros e no sentido leste-oeste, 3.300 metros, totalizando uma área de 17.000 metros quadrados.

Analisando os contornos batimétricos do alto costeiro de Maracajaú (fig. 4.3) verificou-se que a isóbata de 5 metros delimita a feição, formando uma estrutura única com formato oval.

De acordo com Santos *et al.* (2007) as dimensões para esta feição foram de 9.000 metros de extensão e 3.000 metros de largura. Estes autores comentaram que o topo desta feição permanece a profundidades médias inferiores a -5 metros, ficando parcialmente exposto nas marés baixas.

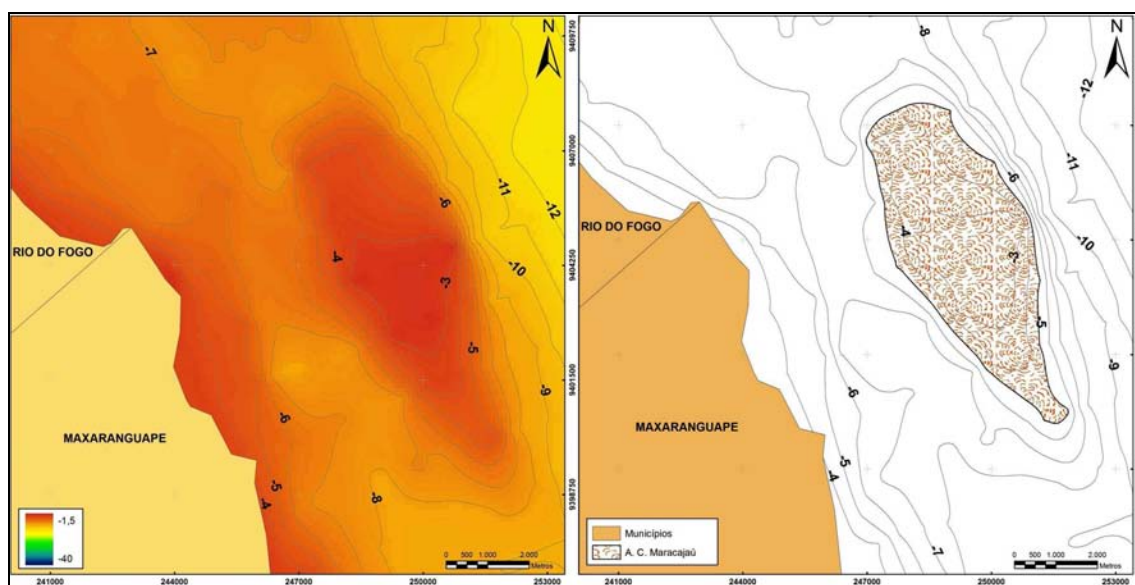


Figura 4.3. Contornos batimétricos e delimitação da área de ocorrência (isóbata de 5 metros) para o alto costeiro de Maracajaú.

Alto de Rio do Fogo

A partir da análise dos contornos batimétricos (fig. 4.4) foi constatado que a feição está delimitada pela isóbata de 5 metros. Com esse limite a estrutura apresentou as seguintes dimensões: 12.000 metros de extensão no eixo sudeste-noroeste, aproximadamente 2.000 metros de largura no eixo nordeste-sudoeste e área total de 15.000 metros quadrados.

Na mesma imagem observam-se dois segmentos divididos pelo canal Barretas, descrito anteriormente. A forma da feição da parte ao norte do canal é similar a um retângulo e a porção sul semelhante a uma cunha.

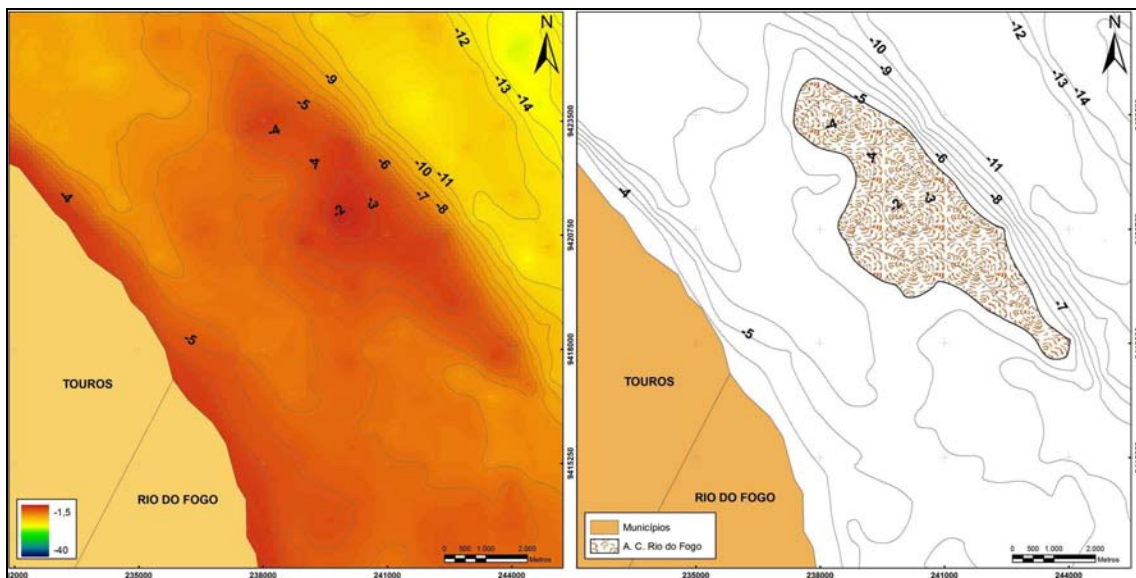


Figura 4.4. Contornos batimétricos e delimitação da área de ocorrência (isóbata de 5 metros) para o alto costeiro de Rio do Fogo.

Alto de Cioba

A delimitação do alto de Cioba foi realizada da seguinte forma: em torno da profundidade de 12 metros na parte externa (voltada para o oceano) e 9 metros para a parte interna.

Desta forma foi possível constatar, analisando os contornos batimétricos (fig. 4.5), que a feição está dividida em dois grandes recifes, o mais profundo com 13.000 metros de extensão e 1.000 metros de largura e o mais raso com 12.000 metros de extensão e 1.500 metros de largura. A área total de ocorrência desta feição foi estimada em 60.000 metros quadrados.

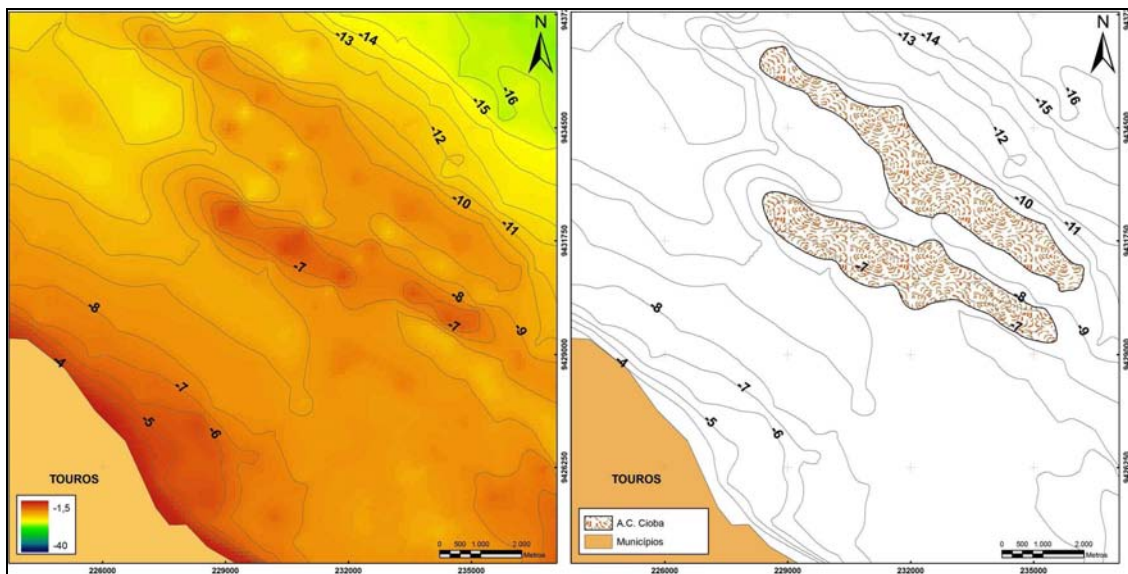


Figura 4.5. Contornos batimétricos e delimitação da área de ocorrência (isóbatas de 8 e 9 metros) para o alto costeiro de Cioba.

ALTO OCEÂNICO

Esta feição encontra-se a 25 quilômetros da costa e se estende por toda a área de estudo, compreendendo aproximadamente 67 quilômetros. A delimitação desta feição ficou entre as isóbatas de 22 e 28 metros.

Analisando os contornos batimétricos e o modelo digital do terreno foi possível observar que a feição apresenta o relevo com maior inclinação na face voltada para leste, principalmente na parte central e norte da área de estudo.

De acordo com Vianna e Solewicz (1988) este alto costeiro foi descrito como sendo uma antiga face de praia. Observando a configuração desta feição nota-se que está paralela a atual linha de costa, podendo ser um indício da descrição feita por estes autores.

As figuras 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9 apresentam os locais onde ocorrem as riscas – denominação local, que também é empregada pelo trabalho de Vianna e Solewicz (1988), utilizada para descrever os locais mais conhecidos pelos moradores locais devido a concentração de peixes e pela elevação do relevo submarino.

Estes autores realizaram o mapeamento das riscas do Zumbi, da Gameleira e do Liso. Devido a delimitação da área de estudo, estes autores não descreveram uma feição que se encontrava mais ao sul, porém o presente trabalho obteve sucesso na caracterização desta e a denominou de risca de Pititinga.

A risca de Pititinga (fig. 4.6), situada de frente a localidade de mesmo nome, encontra-se a 25 km de distancia da costa. Apresenta 6.000 metros de comprimento no eixo norte-sul e em média 1.000 metros de largura. Esta feição foi delimitada pela isóbata de 18 metros.

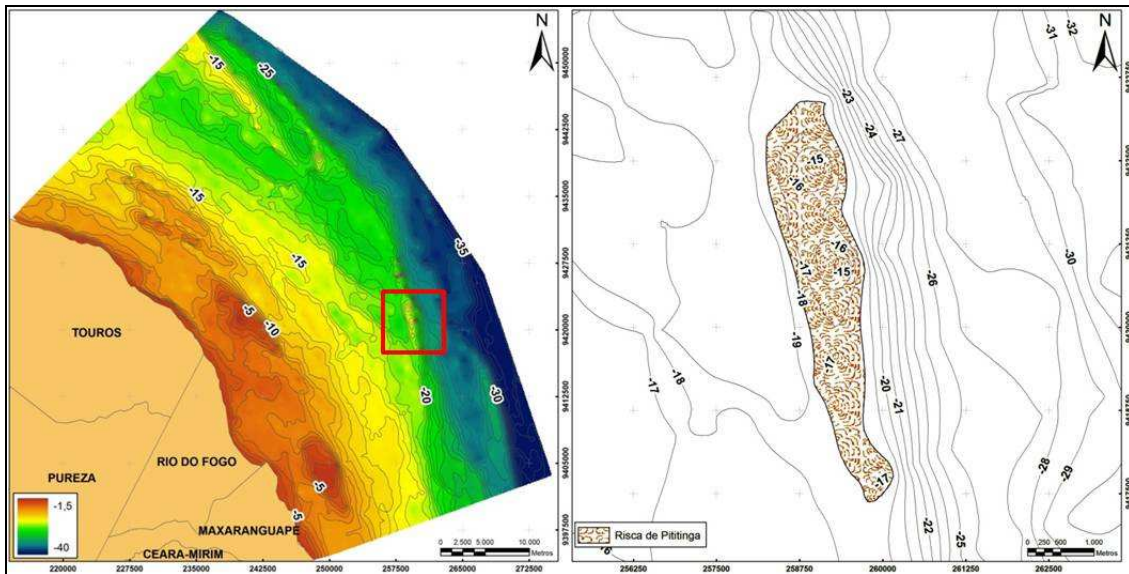


Figura 4.6. Modelo digital do terreno com a localização, contornos batimétricos e delimitação da feição risca de Pititinga, delimitada pela isóbata de 18 metros.

A risca do Zumbi (fig. 4.7), localiza-se no centro da área de estudo, distante aproximadamente 25 km da costa do município de Rio do Fogo. Esta feição apresenta uma forma ovalada, com 1.300 metros no eixo maior (norte-sul).

Na área de ocorrência desta feição ocorre a maior variação da profundidade em relação as demais riscas, em torno de 20 metros (face oeste), por esse fato existem nesta região alguns naufrágios. A delimitação da risca do Zumbi foi pela isóbata de 19 metros.

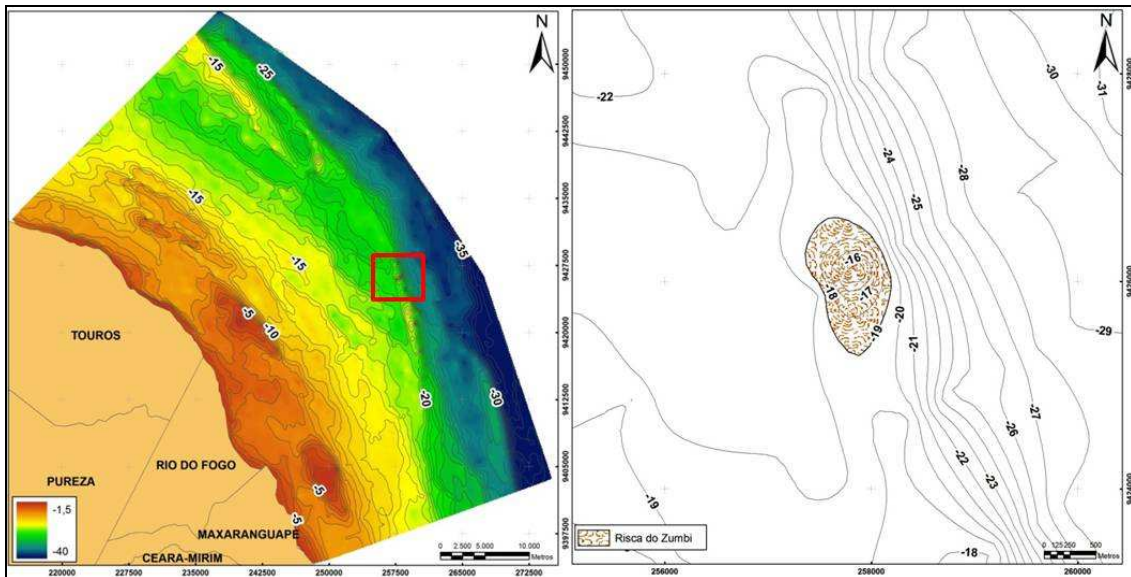


Figura 4.7. Modelo digital do terreno com a localização, contornos batimétricos e delimitação feição risca do Zumbi, delimitada pela isómeta de 19 metros

A risca da Gameleira (fig. 4.8), está localizada na parte norte da área de estudo, a distancia de 25 km da costa, apresentando relevo mais suave entre as demais riscas e está delimitada pela isómeta de 18 metros. As dimensões desta feição são 4.000 metros do eixo longitudinal e 1.600 metros de largura máxima.

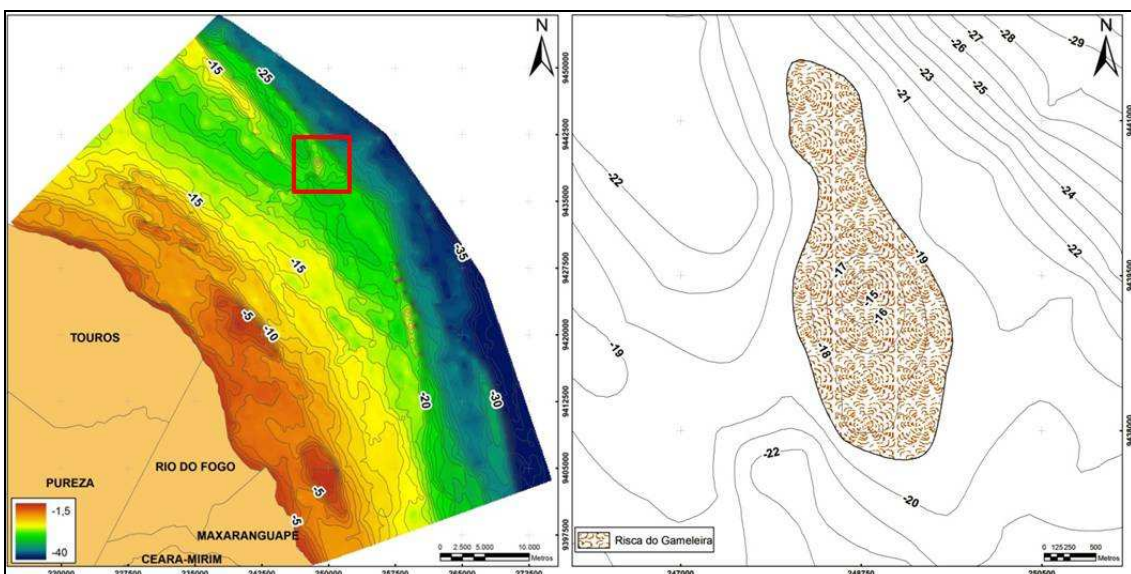


Figura 4.8. Modelo digital do terreno com a localização, contornos batimétricos e delimitação feição risca da Gameleira, delimitada pela isómeta de 19 metros.

A risca do Liso (fig. 4.9), está localizada no extremo norte da área de estudo, distante cerca de 25 km da costa. Esta feição encontra-se entre o alto oceânico e as dunas transversais, sendo delimitada pela isóбата de 22 metros.

A feição apresenta uma forma alongada, ocorrendo no centro da estrutura um estreitamento. As dimensões da risca do Liso foram: para o eixo longitudinal (sudeste-noroeste) 7.000 metros e para o eixo transversal 1.000 metros.

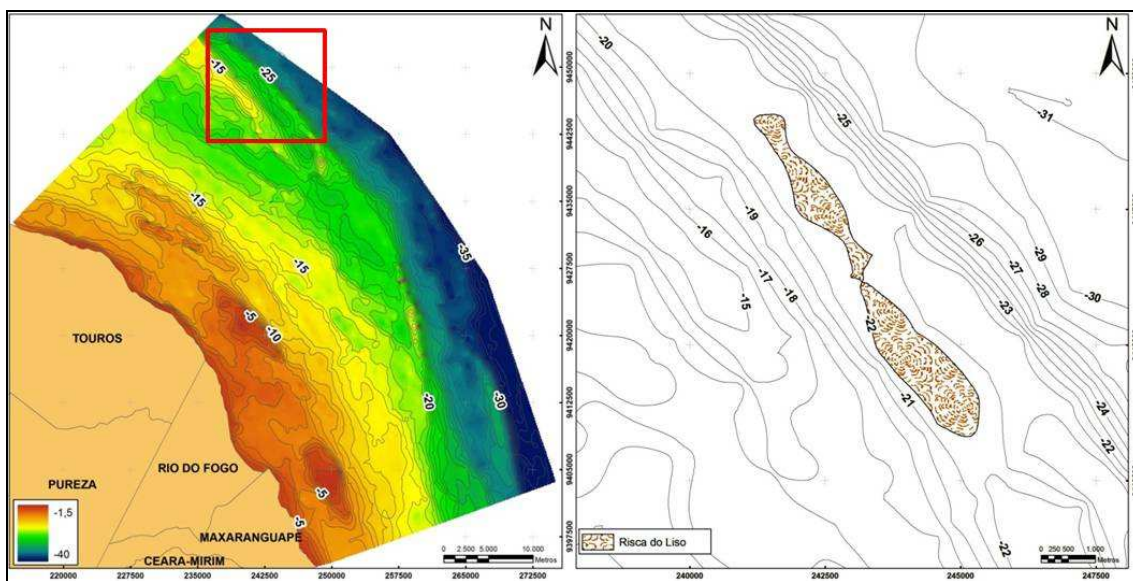


Figura 4.9. Modelo digital do terreno com a localização, contornos batimétricos e delimitação feição risca do Liso, delimitada pela isóбата de 22 metros.

TERRAÇO OCEÂNICO

Analisando os contornos batimétricos da plataforma rasa estudada foi possível observar a presença de uma feição geomorfológica na região mais profunda da plataforma continental em estudo, denominada terraço oceânico (fig. 4.10).

Esta feição ficou delimitada pela isóbata de 28 metros e a partir desta delimitação foram obtidas as seguintes dimensões: 13.000 de comprimento (eixo norte-sul) e 1.500 metros de largura média.

Existem registros na literatura da presença de linhas de arenito relacionado a estabilização do nível do mar próximo a estas profundidades no litoral de Pernambuco (Summerhayes *et al.*, 1976; Camargo *et al.* 2007).

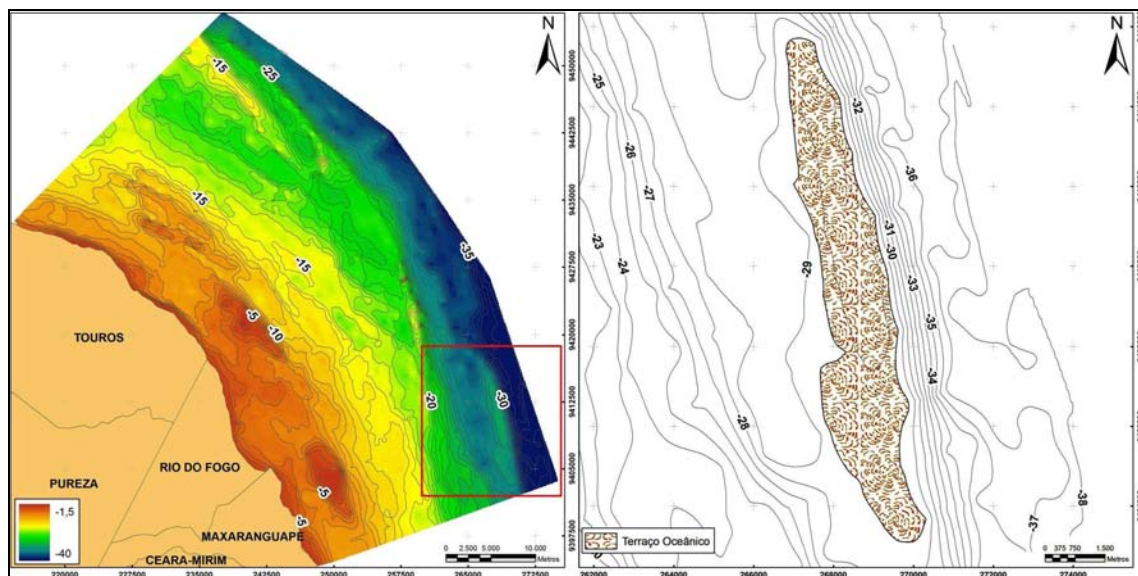


Figura 4.10. Modelo digital do terreno com a localização, contornos batimétricos e delimitação, pela isóbata de 28 metros, da feição terraço oceânico.

PERFILAGEM BATIMÉTRICA

Os resultados referentes aos perfis batimétricos obtidos para caracterização da morfologia da plataforma rasa serão apresentados a seguir. A distribuição dos perfis obedece a divisão de sub-áreas descritas no capítulo de metodologia empregada, as quais são (i) Maracajaú, compreendendo os perfis 1 – 16; (ii) Rio do Fogo, perfis 17 – 30; (iii) Cioba perfis 31 – 44.

Os parâmetros geométricos utilizados neste estudo são: a profundidade mínima e máxima de cada feição identificada, a largura total da feição e a amplitude do relevo das faces extremas, considerando que, por vezes, estes corpos guardam importantes assimetrias. A tabela 4.1 contém informações de cada perfil, tais como profundidades mínimas, máximas, iniciais e finais, além da extensão e declividade.

A figura 4.11 apresenta três perfis batimétricos construídos com os dados coletados, selecionados com o objetivo de detalhar as principais feições geomorfológicas observadas ao largo de toda a área de estudo. Como estas feições se repetem, mas nem sempre podem claramente ser associadas a um mesmo corpo, em plano, decidiu-se considerá-las como “zonas”. Posteriormente cada zona será descrita detalhadamente.

Nestes gráficos as zonas são demarcadas por retângulos. Estas zonas guardam uma relação de profundidade, posição e características geométricas de relevo similares e suas respectivas nomenclaturas.

O canal longitudinal – canal paralelo a costa que ocorre ao largo de toda área de estudo - denominado de canal de São Roque, pôde ser observado em todos os perfis. Os altos costeiros foram caracterizados a partir da análise dos seguintes perfis: Maracajaú (perfis 4 a 9), Rio do Fogo (perfis 20 a 25) e Touros (perfis 32 a 40)

Todos os perfis construídos representaram as ondulações longitudinais, a qual se encontra descrita na literatura como uma região com presença de dunas longitudinais (Testa *et. al*, 1999; Oliveira *et. al*, 2009).

O alto oceânico é um alinhamento rochoso localizado defronte ao município de Rio do Fogo distante cerca de 25.000 metros da costa. Esta feição foi descrita por Vianna e Solewicz (1988) como sendo uma antiga face de praia.

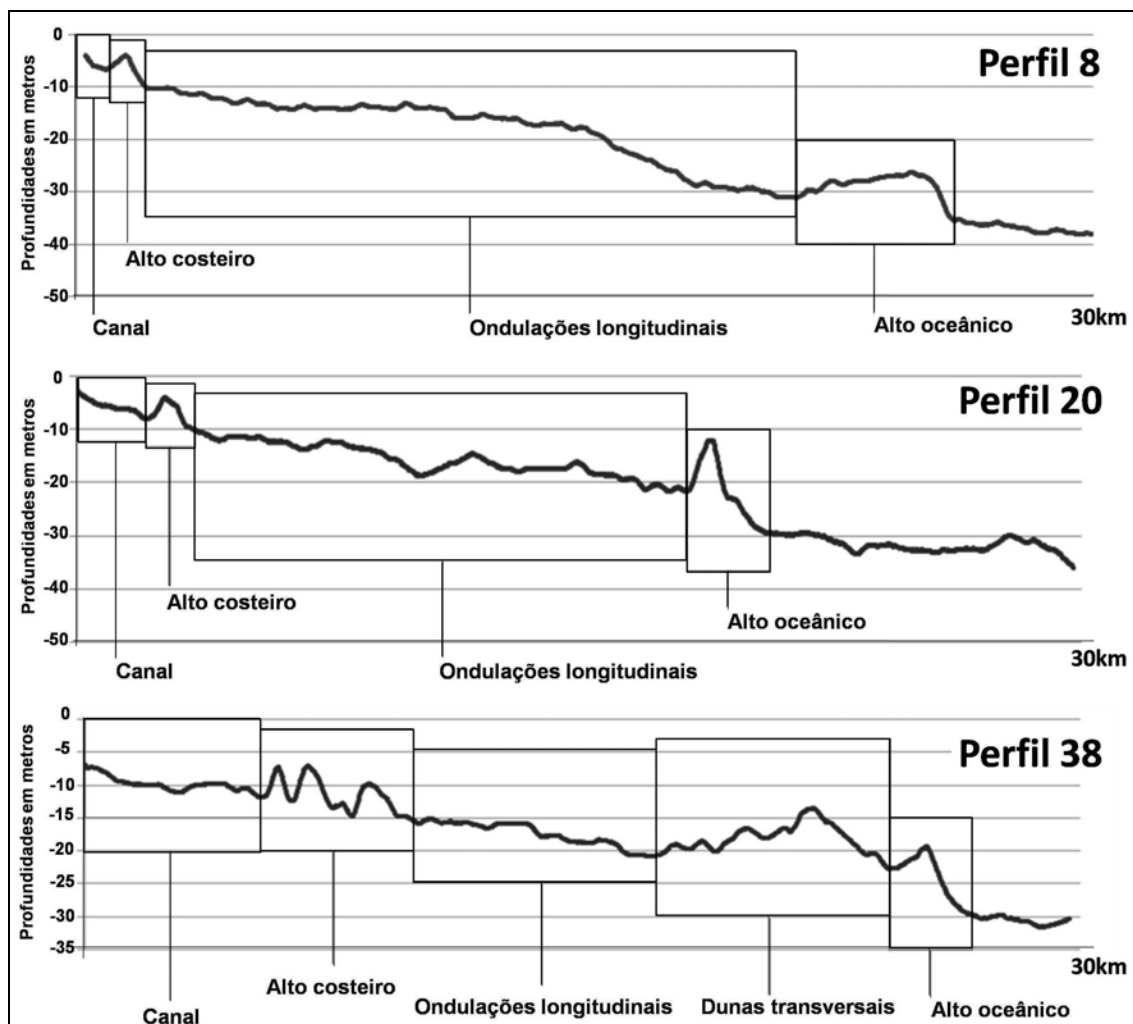


Figura 4.11. Perfis esquemáticos nas regiões de Maracajaú (perfil 8), Rio do Fogo (perfil 20) e Cioba (perfil 38), apresentando as feições geomorfológicas existentes na área de estudo.

A tabela 4.1 apresenta algumas características dos perfis utilizados para as análises desenvolvidas por este trabalho. São descritas, para cada perfil, as profundidades iniciais e finais, profundidades máximas e mínimas, extensão e a relação de declividade.

Os perfis assinalados (*) são aqueles apresentados anteriormente na figura 4.9. Juntos exprimem todas as principais feições observadas e são, por isto, usados como referencia nas descrições e análises destas feições na plataforma estudada.

Analisando estas informações foi possível constatar que as regiões mais profundas e mais rasas atingida pelo levantamento batimétrico foram, respectivamente, 41,8 metros (perfil 2) e 0,6 metros (perfil 27).

A declividade da plataforma variou de 1:718 (perfil 1) a 1:1359 (perfil 43) e ocorre de sul para o norte como era de se esperar. Desta forma, podemos afirmar que a declividade da plataforma diminui para o norte da região e que essa variação pode indicar que a largura da plataforma aumenta no mesmo sentido.

Tabela 4.1. Características dos perfis batimétricos obtidos: profundidade inicial e final (Z_i e Z_f), profundidade máxima e mínima ($Z_{máx}$ e $Z_{mín}$), comprimento do perfil (Compr) e declividade do perfil (Declive). (*) apresentados na fig. 4.6.

ID	Z_i (m)	Z_f (m)	$Z_{máx}$ (m)	$Z_{mín}$ (m)	Compr (km)	Declive
1	-2,03	-41,86	-41,86	-2,03	28,6	1:718
2	-4,12	-40,88	-41,87	-4,12	28,4	1:773
3	-1,99	-37,64	-39,6	-1,99	29,3	1:822
4	-4,43	-36,67	-40,71	-2,64	27,6	1:856
5	-4,22	-38,11	-40,13	-2,77	28,2	1:832
6	-9,07	-39,09	-40,1	-2,07	29,2	1:973
7	-1,59	-38,22	-39,21	-0,88	29,4	1:803
8*	-1,96*	-38,25*	1,96*	39,25*	29,1*	1:802*
9	-4,97	-37,33	-39,33	-1,73	29,3	1:905
10	-1,72	-36,31	-38,3	-1,72	32,1	1:928
11	-3,44	-37,25	-39,25	-3,44	32,3	1:955
12	-1,94	-36,29	-39,3	-1,94	32,7	1:952
13	-1,73	-32,73	-35,75	-1,73	29,7	1:958
14	-4,01	-35,71	-37,7	-3,51	31,1	1:981
15	-3,58	-33,01	-34	-3,47	30	1:1019
16	-1,52	-38,01	-38,01	-1,52	31,4	1:861

Tabela 4.1. Continuação.

ID	Zi (m)	Zf (m)	Z máx (m)	Z mín (m)	Compr (km)	Declive
17	-3,02	-37,94	-38,93	-3,02	33,2	1:951
18	-1,46	-36,93	-38,93	-1,46	32,7	1:922
19	-4,17	-38,1	-39,1	-2,68	32,1	1:946
20*	-1,45*	-38,1*	-38,1*	-1,45*	31,5*	1:859*
21	-3,34	-36,32	-37,31	-2,28	30,9	1:937
22	-2,13	-35,33	-37,34	-2,13	31,1	1:937
23	-1,43	-35,42	-36,42	-1,43	31,4	1:924
24	-5,26	-33,38	-35,38	-1,8	30,1	1:1070
25	-0,69	-32,74	-33,73	-0,69	31,4	1:980
26	-1,02	-34,76	-34,76	-1,02	31,5	1:934
27	-0,64	-31,68	-33,69	-0,64	32	1:1031
28	-5,94	-34,74	-35,75	-5,63	32,3	1:1122
29	-3,56	-34,92	-35,92	-3,56	33,5	1:1068
30	-2,94	-36,91	-36,91	-2,94	33,8	1:995
31	-3,91	-32,04	-34,06	-3,91	30,9	1:1098
32	8,63	-35,04	-35,04	-6,82	31,6	1:724
33	-3,17	-31,53	-32,53	-2,88	31,5	1:1111
34	-2,71	-31,55	-33,57	-2,71	31,5	1:1092
35	-0,99	-31,4	-32,42	-0,99	31,5	1:1036
36	-2,31	-30,39	-32,38	-1,61	30,5	1:1086
37	-5,89	-31,07	-32,07	-3,58	29,7	1:1180
38*	-4,16*	-29,08*	-32,09*	-4,16*	29,6*	1:1188*
39	-2,19	-29,61	-31,64	-1,18	30,6	1:1116
40	-1,96	-30,61	-31,6	-1,96	31,3	1:1092
41	-3,32	-28,9	-32,9	-3,32	31,5	1:1231
42	-5,51	-28,91	-31,92	-5,32	31,8	1:1359
43	-6,41	-30,76	-32,75	-1,92	32,5	1:1335
44	-5,46	-33,78	-33,78	-5,46	33,1	1:1169

DESCRIÇÃO DAS FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS - Perfilagem Batimétrica

CANAIS

Canais longitudinais

No setor oeste de todos os perfis obtidos foi observada uma depressão alongada paralelamente à costa (orientação norte-sul), cuja profundidade variou de 1,0 a 12,0 metros. Sua extensão foi estimada em 55.000 metros, dentro dos limites da área de estudo, como foi mostrado na modelagem dos dados e será visto posteriormente na análise das imagens dos sensores orbitais. Trata-se do Canal de São Roque (fig. 4.12).

As dimensões referentes a largura do canal foram extraídas no espaço entre a costa e os altos costeiros, sendo as seguintes: Maracajá e Rio do Fogo 4.000 metros e Cioba 5.000 metros – valores médios obtidos analisando-se todos os perfis.

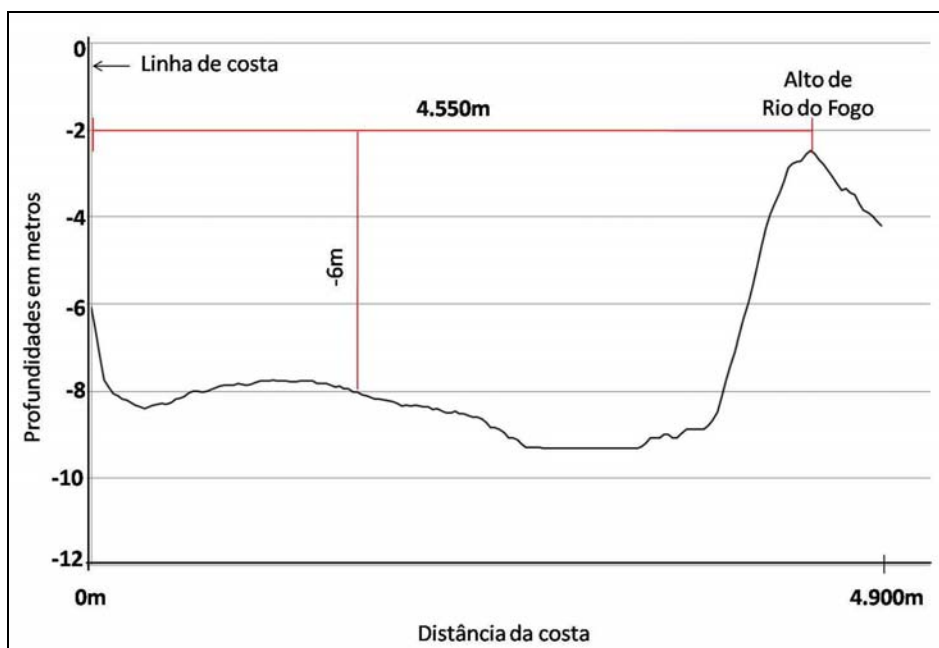


Figura 4.12. Figura representando a morfologia do canal longitudinal (Canal de São Roque), obtida a partir dos dados do perfil 20.

Entre as elevações do alto costeiro de Cioba foram identificados dois canais longitudinais (fig. 4.13), ambos com orientação sudeste-noroeste, sendo: o canal Cioba de Dentro, com 845 metros de largura e 6 metros de profundidade e o canal Cioba de Fora, com 1.700 metros de largura e 8 metros de profundidade. Estas profundidades se referem a diferença entre o topo e a base das elevações do alto de Cioba.

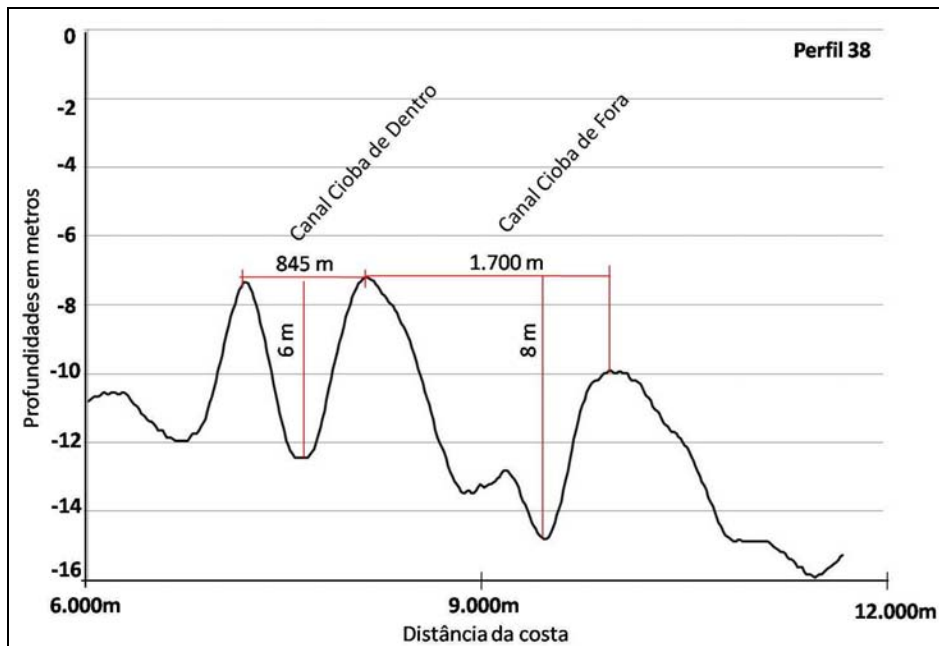


Figura 4.13. Figura representando a morfologia do canal longitudinal (Canal Cioba de Dentro e de Fora), obtida a partir dos dados do perfil 38.

ALTOS COSTEIROS

Alto de Maracajaú

O alto de Maracajaú (fig. 4.14), foi representado nos perfis 4 a 9. Os perfis 1 a 3 e 10 a 16 estão, respectivamente, localizados ao sul e ao norte da feição, onde se encontra o canal de Pititinga.

Os perfis batimétricos para o alto costeiro de Maracajaú mostraram, de forma geral, que a feição tem 4 metros de expressão vertical na face voltada para o continente e 8,5 metros para a face oposta. A largura total da base da estrutura é de 2.840 metros.

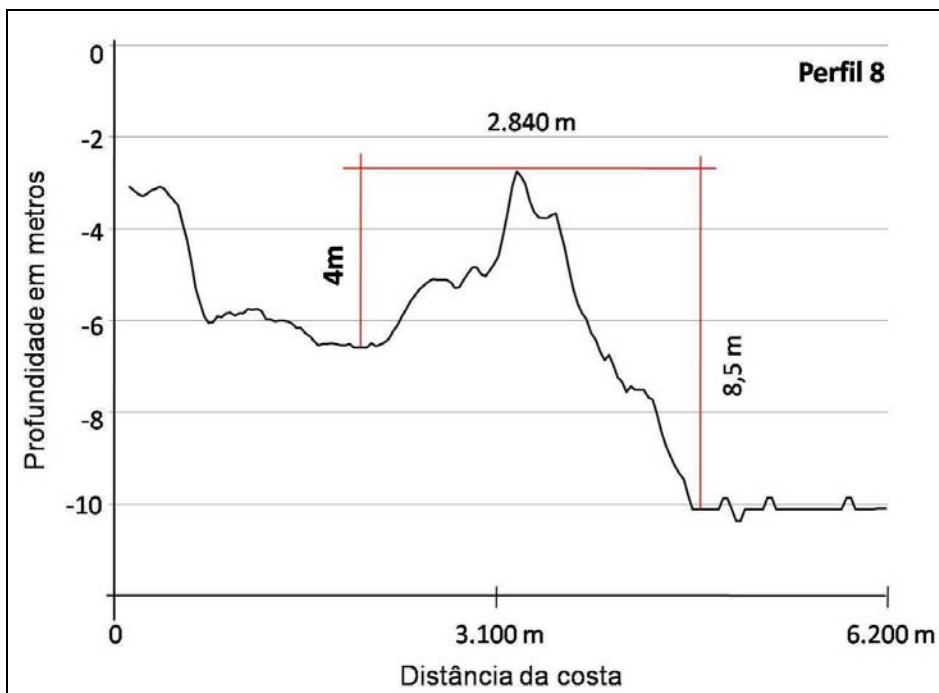


Figura 4.14. Perfil batimétrico da feição alto costeiro de Maracajaú (perfil 8).

Analisando as profundidades próximas ao alto de Maracajaú, foi verificada a variação entre 0,8 metros e 6,1 metros. A tabela 4.2 mostra os valores de profundidades mínimas e máximas obtidos nos perfis contidos sobre a formação recifal (perfis 4 a 9), sendo que os valores apresentados encontram-se dentro dos limites do alto, sendo este a isóbata de 5 metros.

Tabela 4.2. Profundidades mínimas, máximas (Z mín, max), largura da base (Base) e amplitude do relevo (H) para o alto de Maracajaú – valores em metros.

Perfil	Z mín.	Z Max.	Base	H
4	2,6	4,9	589	2,3
5	2,7	4,6	1.412	2,2
6	1,9	5,0	2.500	2,9
7	0,8	5,5	3.410	4,1
8	2,7	6,1	2.747	3,0
9	1,7	5,6	2.126	3,2

Alto de Rio do Fogo

O alto de Rio do Fogo (fig. 4.15) foi representado nos perfis 20 a 25. Os perfis 17 a 19 e 26 a 30 estão, respectivamente, localizados ao sul do alto onde há o canal de Pititinga e ao norte da feição onde se encontra o canal de Touros e o alto de Cioba.

A feição apresenta a face voltada para o continente mais íngreme em relação a face oposta, com 7,5 metros de elevação do relevo em relação as áreas adjacentes. Analisando o perfil batimétrico do alto de Rio do Fogo foi possível verificar que a morfologia do revelo da face leste está segmentada em três nível com diferença de cota da ordem de 3, 5 e 4 metros (no sentido topo-base).

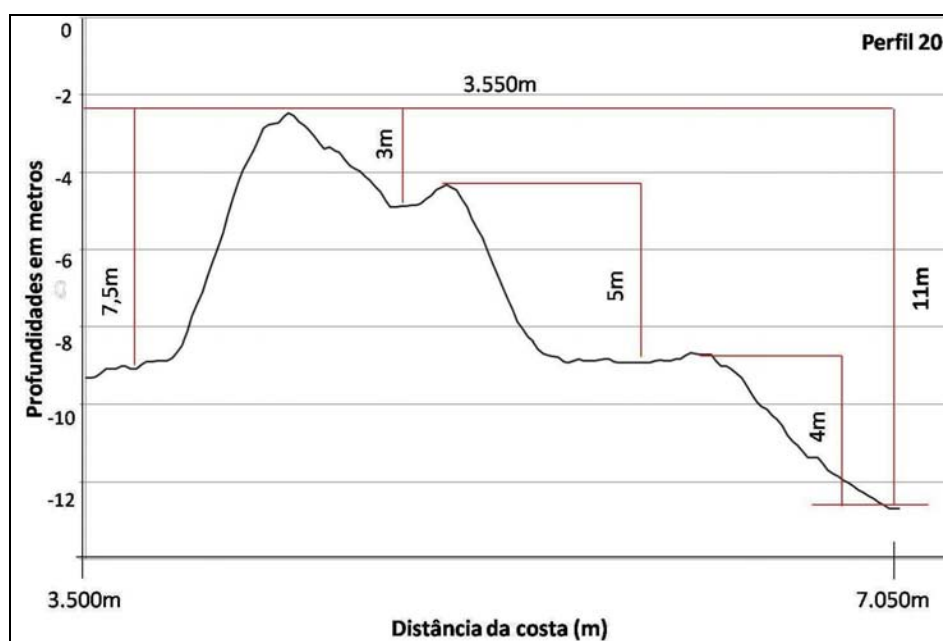


Figura 4.15. Perfil batimétrico da feição alto costeiro de Rio do Fogo (perfil 20).

Analisando as profundidades próximas ao alto de Rio do Fogo, foi verificada a variação entre 1,4 metros e 10 metros. A tabela 4.3 mostra os valores de profundidades mínimas e máximas obtidos nos perfis contidos sobre a formação recifal (perfis 20 a 25), sendo que os valores apresentados encontravam-se dentro dos limites do alto, sendo esta a isóbata de 5 metros.

Tabela 4.3. Profundidades mínimas, máximas (Z mín, max), largura da base (Base) e amplitude do relevo (H) para o alto de Rio do Fogo – valores em metros.

Perfil	Z mín.	Z Max.	Base	H
20	3,2	6,7	659	1,7
21	2,2	5,3	1.167	2,7
22	2,3	7,2	2.866	2,7
23	1,4	5,4	2.925	3,6
24	1,1	6,3	1.613	3,2
25	1,0	6,5	1.554	4,3

Alto de Cioba

O alto de Cioba difere dos demais devido a complexidade de sua morfologia, fato que não permitiu sua delimitação precisa e determinação, utilizando o mesmo procedimento, das características obtidas para os altos de Maracajaú e Rio do Fogo.

A interpretação dos perfis batimétricos desta feição (fig. 4.16), permitiu compreender melhor a morfologia do alto de Cioba, completando as informações obtidas pela modelagem dos dados.

Foi possível verificar que existem três grandes recifes, e não dois como descrito anteriormente. A largura total dos três recifes é de 4.100 metros, sendo que o primeiro está distante 845 metros do intermediário e este distante 1.700 metros do recife mais profundo.

A feição tem início próximo a 15 metros de profundidade, tendo a menor profundidade registrada de 6 metros. A expressão vertical desta estrutura varia de 5 a 7 metros.

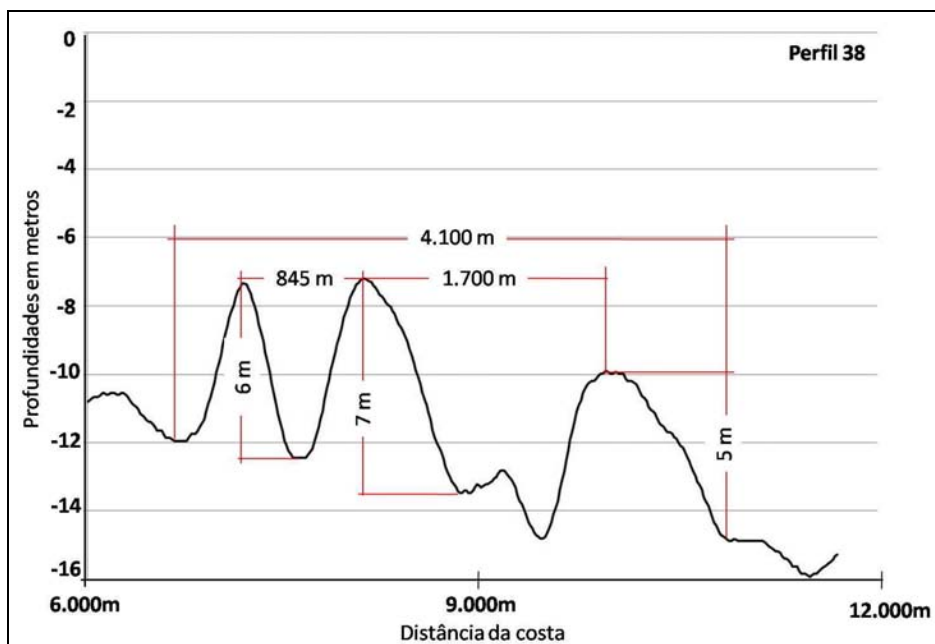


Figura 4.16. Perfil batimétrico da feição alto costeiro de Cioba (perfil 38).

ONDULAÇÕES LONGITUDINAIS

A região denominada por este trabalho de ondulações longitudinais (fig. 4.17) foi registrada em todos os perfis obtidos. Trabalhos anteriores descreveram essa zona como sendo de dunas longitudinais ou faixa de areia com profundidade média de 20 metros (Testa *et. al*, 1999).

A partir da análise dos perfis batimétricos e modelo digital do terreno foi possível verificar que essa parte da área de estudo está compreendida entre o alto próximo a costa e o alto mais profundo.

O início desta feição se dá por volta de 9.000 metros de distância da costa e apresenta extensão no sentido sudeste-noroeste de aproximadamente 60.000 metros e largura na direção nordeste-sudoeste aproximadamente de 17.000 metros.

As elevações do terreno não são expressivas, sendo observadas ondulações com variação positiva do relevo inferior a 2 metros de altura.

Observando o detalhamento de uma das ondulações visíveis nos perfis da área, foi constatado que esta apresenta aproximadamente 1.450 metros de largura, com elevação do relevo de 1,5 metros na face voltada para oeste e 2 metros na face oposta.

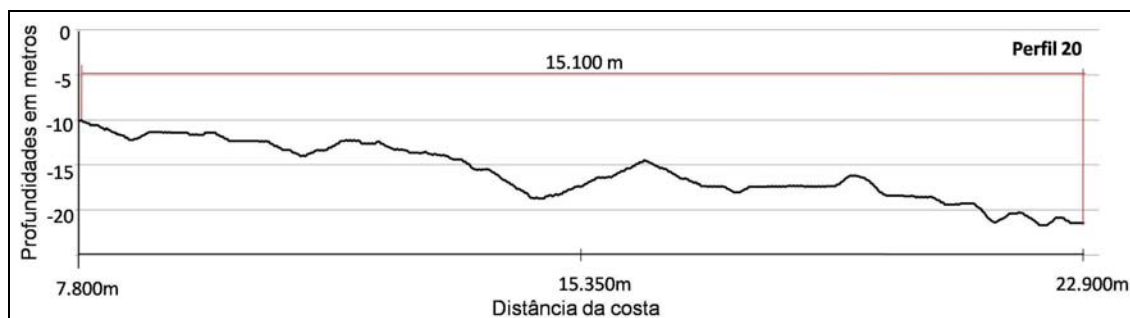


Figura 4.17. Perfil batimétrico da feição ondulações longitudinais (perfil 20).

DUNAS TRANSVERSAIS

Esta feição não apresentou resultados significantes em relação as suas características geomorfológicas quando analisada a partir dos perfis batimétricos. Esta metodologia possibilitou apenas delimitar a área de ocorrência para que posteriormente, utilizando o sensoriamento remoto, a feição pudesse ser descrita com mais detalhes.

Este campo de dunas transversais ou dunas submersas, nomenclaturas extraídas da literatura, está localizado a cerca de 17.000 metros da costa do município de Touros, apresentando as seguintes dimensões: no eixo SE-NO 17.000 metros e no eixo NE-SO, 7.000 metros. As cristas destas estruturas estão distantes entre si entre 300 e 600 metros e a extensão das mesmas variou entre 880 e 3.750 metros.

Comparando os resultados obtidos por Cabral *et al.* (2003) com o presente trabalho, foi possível verificar uma similaridade entre a localização e morfologia da feição.

A figura 4.18 (perfil 38 e Cabral *et al.*, 2003), resultados deste trabalho e de Cabral *et al.* (*op. cit.*) respectivamente, mostram que a feição (descrita da esquerda para

direita) apresenta uma elevação do relevo da face oeste, seguida de um declive para o lado oceânico. A menor profundidade observada para esta estrutura foi em torno de 12 metros.

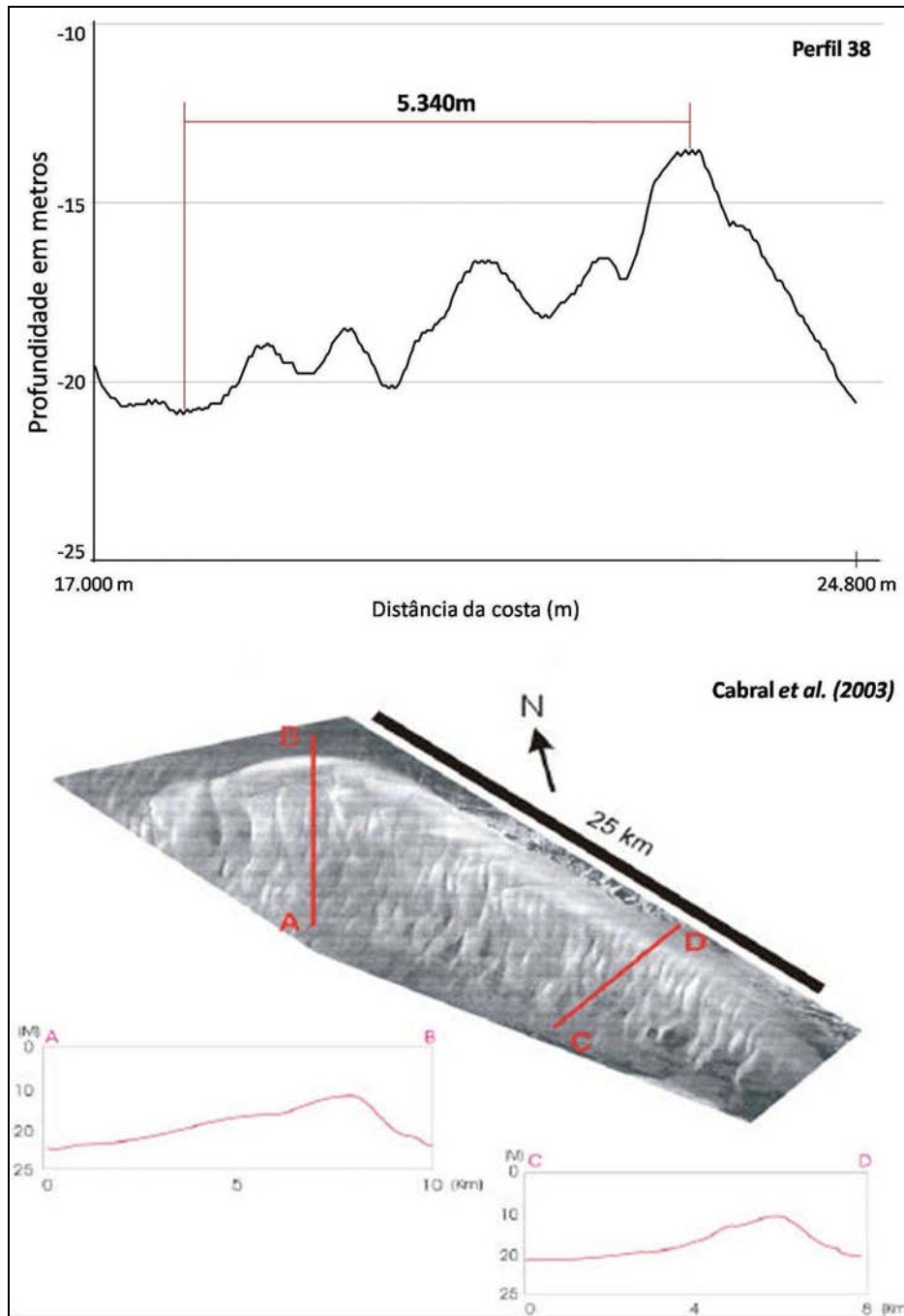


Figura 4.18. Perfil batimétrico da feição dunas transversais (perfil 38) e perfis batimétricos representativos do campo de dunas submersas – modificado de Cabral *et al.* (2003).

ALTO OCEÂNICO

Vianna e Solewicz (1988) descreveram a feição alto costeiro como sendo uma antiga face de praia e concluíram, a partir de observações *in situ* e análises químicas, que a estrutura é um arenito de praia (*beach rock*).

Trata-se de um alinhamento rochoso paralelo a linha de costa, ocorrendo ao longo de toda a área de estudo (adjacente aos municípios de Maxaranguape, Rio do Fogo e Touros) e a distância média de 25.000 metros da costa.

A dimensão aproximada da largura na base da feição, obtida pelo perfil 20 (fig. 4.19), foi de 2.600 metros. A extensão do alto oceânico na área estudada é de aproximadamente 67.000 metros, sendo possível que a feição extrapole os limites de abrangência deste trabalho, tanto para norte quanto para sul. Este perfil registrou a altura mais expressiva desta feição, cerca de 20 metros para o lado voltado a leste e 11 metros para o lado oposto.

O alto oceânico está localizado em profundidades entre 22 e 28 metros. Porém, em alguns casos foram verificados a existência de pontos onde a profundidade diminui abruptamente, estes pontos são denominados pelos nativos de “riscas”.

Foram observadas quatro riscas: do Liso, da Gameleira (fig. 4.20), do Zumbi e de Pititinga (sendo que essa última ainda não tinha sido descrita por trabalhos anteriores). A feição mais conhecida na região é a risca do Zumbi, devido a menor profundidade sobre o alto oceânico, onde as coordenadas UTM em X 257816 e Y 9426056 representam este ponto, com 9 metros (registrado no perfil 20).

A expressão vertical do alto oceânico altera em algumas regiões da plataforma, no extremo sul da área a declividade da feição é menor em relação a parte central e norte. Observando alguns perfis (*e. g.* 1, 2, 12, 25 e 26) a declividade não foi significativa quanto nos demais perfis obtidos por este trabalho, sendo visível apenas uma suave elevação.

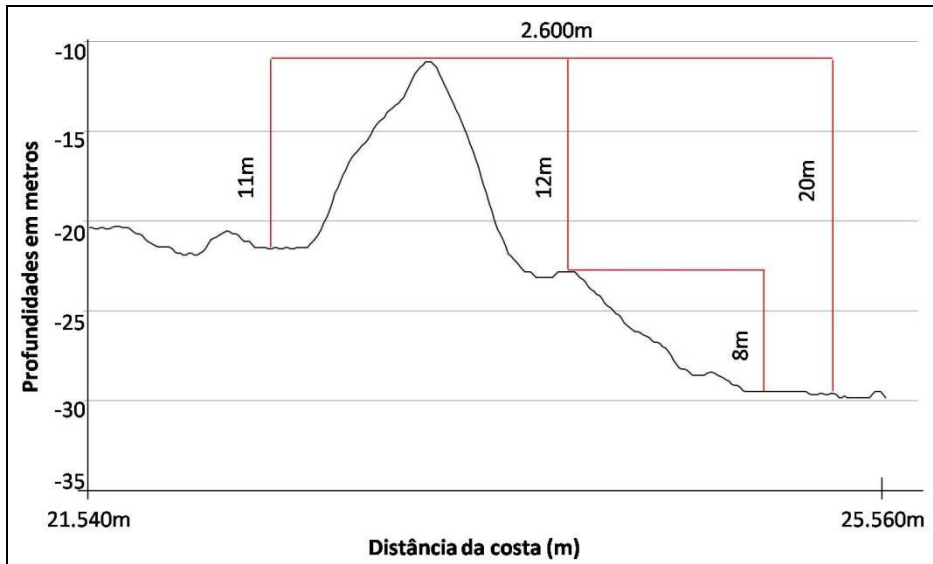


Figura 4.19. Perfil batimétrico da feição risca do Zumbi (perfil 20).

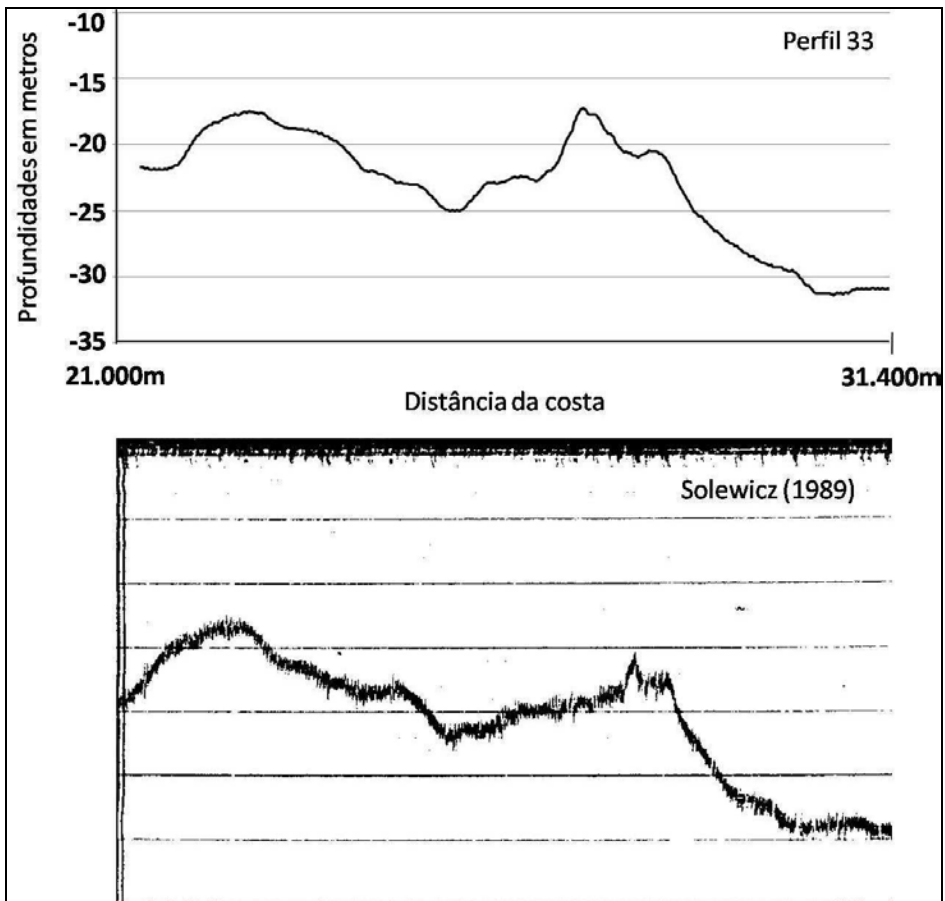


Figura 4.20. Perfil batimétrico da feição risca da Gameleira obtida pelo perfil 33 e pelo trabalho de Solewicz (1989).

TERRAÇO OCEÂNICO

Esta feição (fig. 4.21) está localizada aproximadamente a 25.000 metros da costa, em frente ao município de Maxaranguape. Os perfis batimétricos 2 a 10 localizam-se sobre a estrutura.

A isóbata de 28 metros delimitou a estrutura. Desta forma, foi possível determinar as dimensões da feição apresentando 13.000 metros de extensão no eixo norte-sul e 1.500 metros de largura média no sentido leste-oeste.

Assim como o alto oceânico, esta feição apresentou diferença entre as dimensões do relevo da face oeste e da face leste. Foram observados os seguintes valores: para a face oeste 3,5 metros e para a face leste 8 metros.

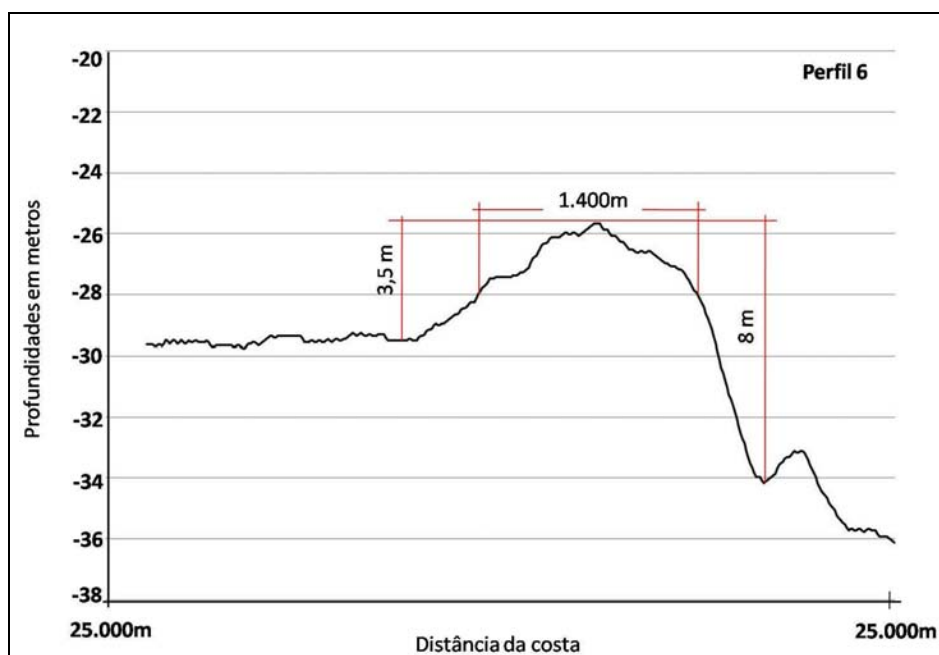


Figura 4.21. Perfil batimétrico da feição risca terraço oceânico (perfil 6).

SENSORIAMENTO REMOTO

Analisando a imagem de satélite da área de estudo foi possível determinar a localização de algumas feições morfológicas. Estas foram marcadas e identificadas de acordo com a descrição feita a partir dos dados batimétricos. A figura 4.22 mostra a imagem de satélite da área de estudo contendo as feições identificadas por este método.

Observaram-se na imagem algumas das feições descritas anteriormente pelos métodos de modelagem e perfilagem batimétrica. Porém, evitou-se delimitar a forma destas feições por esse método.

Foi verificada a presença de canais longitudinais – (1a) canal de São Roque, entre a linha de costa e os altos costeiros e (1b) canal Cioba de Dentro, depressão entre as elevações do alto costeiro de Cioba; e canais transversais – (3a) canal de Pititinga, entre os altos costeiros de Rio do Fogo e Maracajaú, (3b) canal Barretas, canal que divide o alto de Rio do Fogo em dois segmentos e (3c) canal de Touros, entre os altos costeiros de Cioba e Rio do Fogo.

Outras feições observadas na imagem foram os altos costeiros, um alinhamento de recifes localizados a distância média de 5.000 metros da costa, sendo estes: (2a) Maracajaú, (2b) Rio do Fogo e (2c) Cioba.

As ondulações longitudinais (4), localizadas entre os altos costeiros e as feições mais afastadas da costa, como as dunas transversais (5) e alto oceânico (6). Na região mais profunda da plataforma foi constatada a presença de uma forma de fundo, tratada aqui como um terraço oceânico (7).

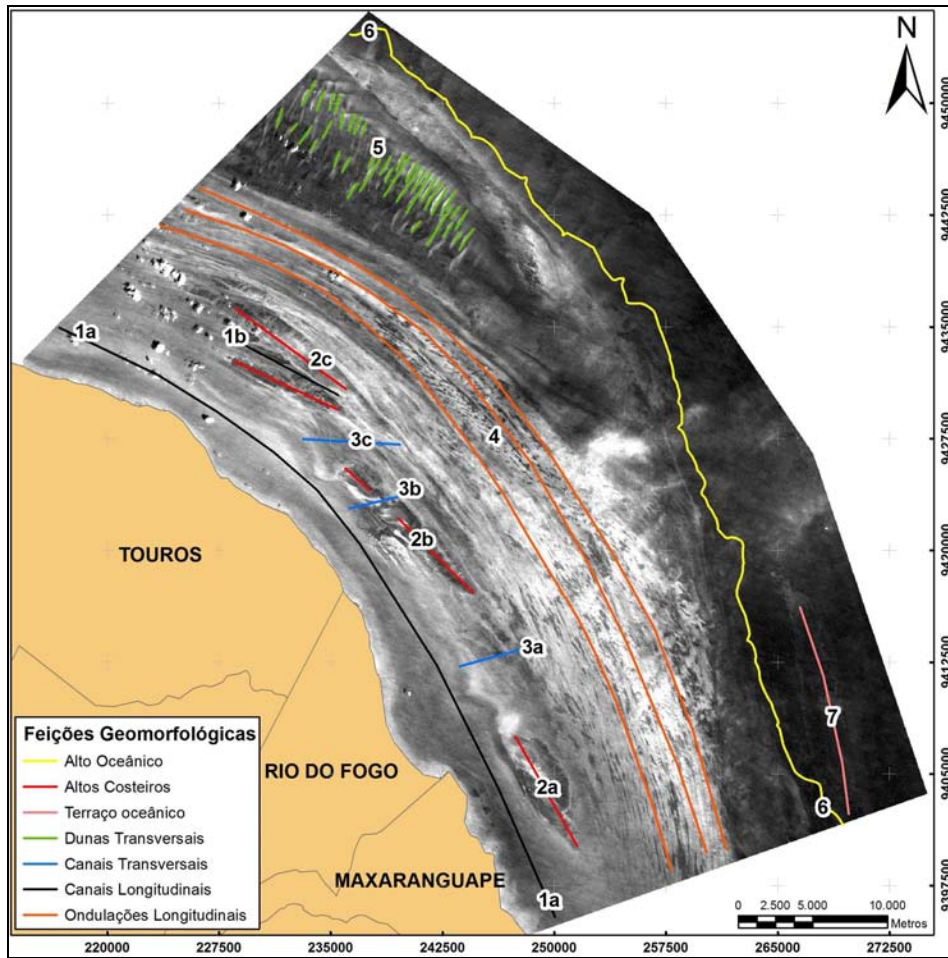


Figura 4.22. Localização das feições observadas na imagem de satélite. (1) canais longitudinais – (1a) canal de São Roque, (1b) canal de Cioba de Dentro; (2) altos costeiros – (2a) Maracajaú, (2b) Rio do Fogo e (2c) Cioba; (3) canais transversais – (3a) canal de Pititinga, (3b) canal Barretas e (3c) canal de Touros; (4) ondulações longitudinais, (5) dunas transversais; (6) alto oceânico e (7) terraço oceânico.

INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS

MODELAGEM BATIMÉTRICA – PERFILAGEM BATIMÉTRICA – SENSORIAMENTO REMOTO

A interpretação dos resultados de forma integrada possibilitou constatar que ambas as metodologias foram suficientes para caracterizar a geomorfologia da plataforma continental rasa do Rio Grande do Norte.

Analisando a figura 4.23 podemos destacar a similaridade da morfologia da plataforma ao longo de toda área de estudo, tanto para o modelo de elevação, quanto para o sensoriamento remoto, permitindo identificar as feições geomorfológicas existentes na região.

Em ambas as figuras podemos verificar as áreas de ocorrência das diferentes feições geomorfológicas da plataforma estudada: (1) canal longitudinal; (2) altos costeiros – (2a) Maracajaú, (2b) Rio do Fogo e (2c) Cioba; (4) ondulações longitudinais, (5) dunas transversais; (6) alto oceânico e (7) terraço oceânico.

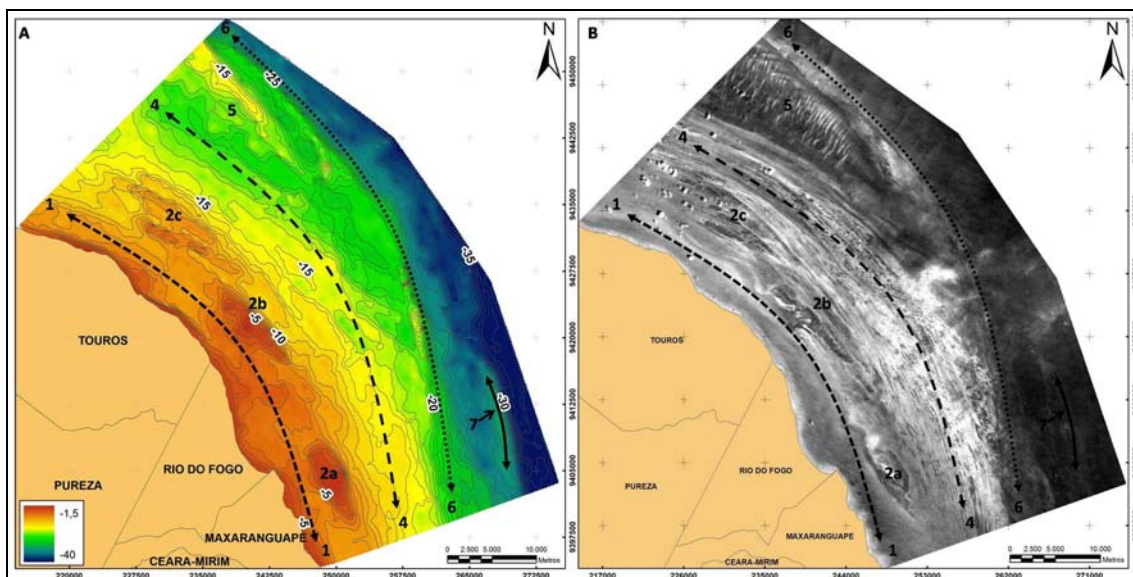


Figura 4.23. Comparação dos resultados obtidos pelo levantamento batimétrico (A) e por sensoriamento remoto (B): (1) canal de São Roque; (2) altos costeiros – (2a) Maracajaú, (2b) Rio do Fogo e (2c) Cioba; (4) ondulações longitudinais, (5) dunas transversais; (6) alto oceânico e (7) terraço oceânico.

Plotando as isobatimétricas com intervalo de 5 metros – profundidade variando de 5 a 35 metros – sobre a imagem processada (fig. 4.24), foi observado que a isóbata de 5 metros acompanha o contorno da linha de costa e delimita os altos costeiros de Maracajaú e Rio do Fogo. O alto costeiro de Cioba foi marcado pela profundidade de 10 metros.

A isóbata de 15 metros ficou localizada na região denominada de “ondulações longitudinais” e se distribui sem muitos recortes ao longo de toda a plataforma estudada. O limite externo da plataforma, caracterizado pela presença do “alto oceânico” – Risca do Zumbi – foi bem definido pela profundidade de 25 metros.

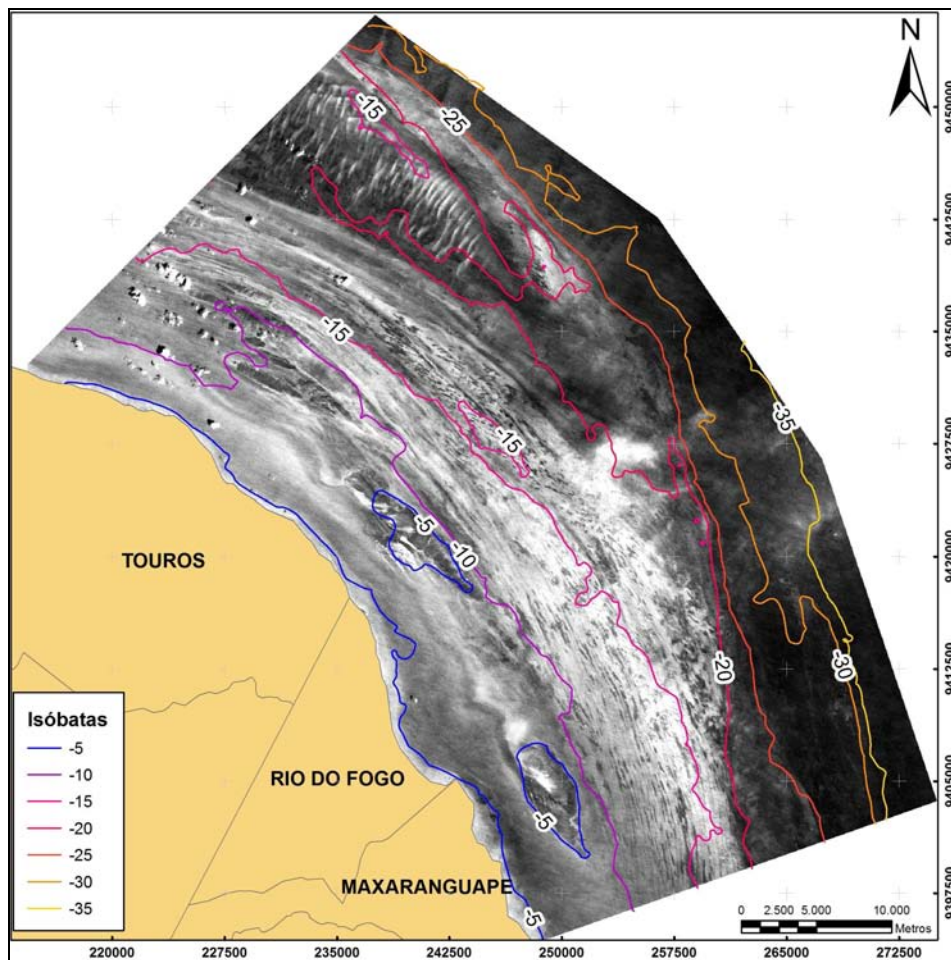


Figura 4.24. Contornos batimétricos com intervalo de 5 metros plotados sobre a imagem.

Visto que a delimitação da área de ocorrência e a forma das feições não foram possíveis de ser realizadas apenas pelo método de interpretação da imagem de satélite, integraram-se estas informações com a batimetria da plataforma.

Desta forma, foi possível identificar e isolar todas as feições existentes na região, tendo como referência as isobatimétricas, determinando assim a morfologia em planta e a localização mais precisa destas estruturas (fig. 4.25).

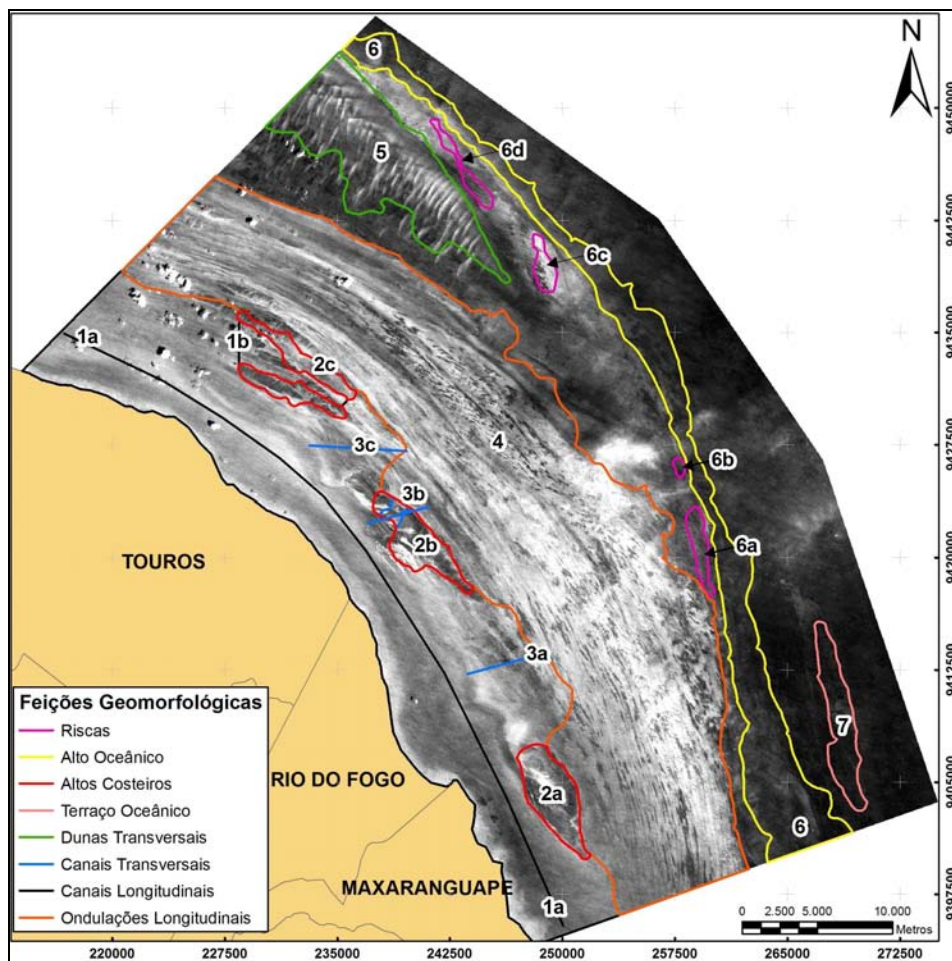


Figura 4.25. Localização das feições observadas na área de estudo. (1) canais longitudinais – (1a) canal de São Roque, (1b) canal de Cioba de Dentro; (2) altos costeiros – (2a) Maracajaú, (2b) Rio do Fogo e (2c) Cioba; (3) canais transversais – (3a) canal de Pititinga, (3b) canal Barretas e (3c) canal de Touros; (4) ondulações longitudinais, (5) dunas transversais; (6) alto oceânico – (6a) risca de Pititinga; (6b) risca do Zumbi; (6c) risca da Gameleira e (6d) risca do Liso e (7) terraço oceânico.

Outro produto resultante da integração dos dados de diferentes métodos foi a elaboração de uma divisão local da plataforma continental com base nas características geomorfológicas da área e a classificação descrita por Coutinho (1976).

Foram definidos três setores para a plataforma em estudo: (1) plataforma interna, compreendendo a porção desde a linha de costa até a região dos altos costeiros, profundidades entre 0-12 metros; (2) plataforma média, partindo dos altos costeiros até a área de ocorrência do alto oceânico, profundidades entre 12-22 metros e (3) plataforma externa, com início na região do alto oceânico, profundidades superiores a 22 metros – o limite externo deste setor não foi definido por este trabalho devido as características do levantamento de dados.

Os setores definidos por este trabalho podem ser observados na figura 4.26, onde estes estão sobrepostos ao modelo digital do terreno e a imagem de satélite. Nesta figura, assim como na 4.23, foi possível verificar a similaridade entre o modelo e a imagem e a localização dos setores na geomorfologia da área.

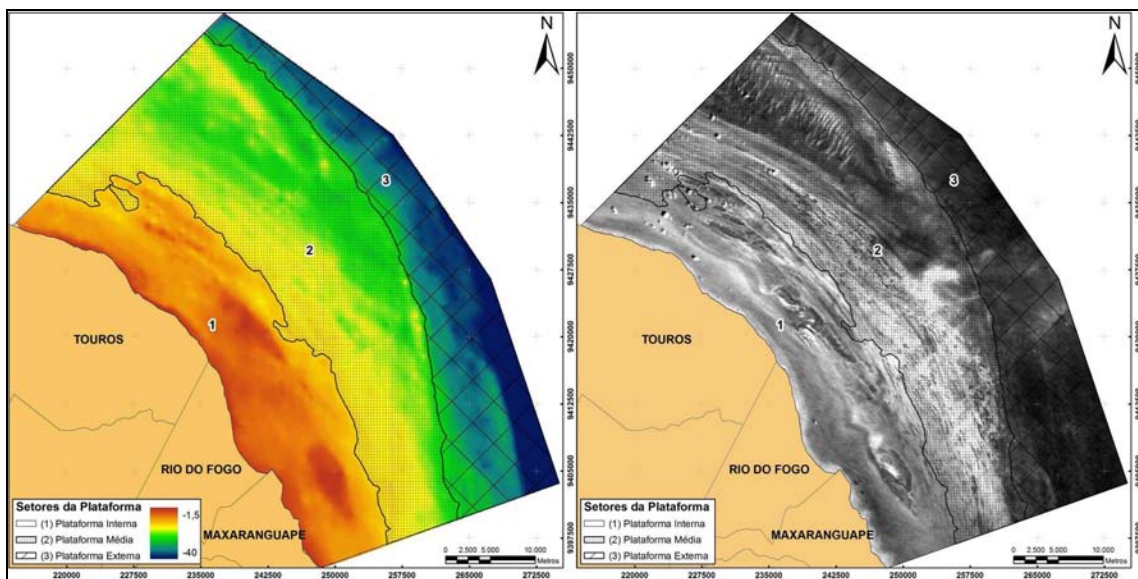


Figura 4.26. Setores da plataforma continental sobrepostos ao modelo digital do terreno (esquerda) e a imagem de satélite (direita).

A figura 4.27 mostra a distribuição das feições geomorfológicas ao longo da área de estudo e em qual setor da plataforma ocorrem.

O canal longitudinal (São Roque), os canais transversais (Pititinga, Barretas e Touros) e os altos costeiros (Maracajaú, Rio do Fogo e Cioba) estão presentes na plataforma interna.

Na região da plataforma média foi constatada a ocorrência das ondulações longitudinais e dunas transversais. O alto oceânico marca a divisa entre os setores médio e externo da plataforma.

A partir dos resultados obtidos com os métodos aplicados por este estudo, foi possível observar a existência de uma feição geomorfológica para a plataforma externa, o terraço oceânico.

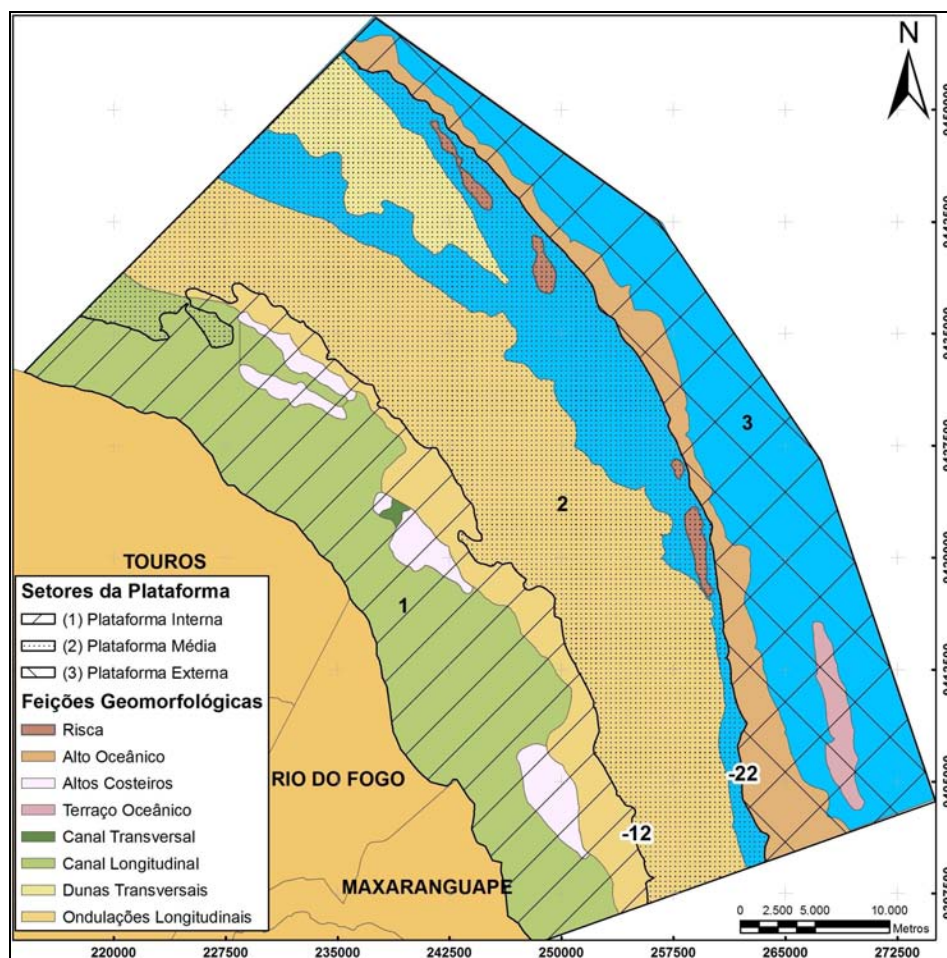


Figura 4.27. Localização das feições geomorfológicas descritas anteriormente e divisão da plataforma continental setores: (1) plataforma interna, (2) plataforma média e (3) plataforma externa.

Com a integração dos resultados das diferentes metodologias aplicadas neste trabalho foi possível realizar uma comparação entre os métodos visando identificar qual deles foi mais sensível na detecção de cada uma das feições geomorfológicas encontradas na plataforma rasa da região estudada.

A tabela 4.4 apresenta uma comparação entre as metodologias e a qualidade dos resultados gerados por cada uma delas. Foi utilizada uma escala de 1 a 3 para classificação, sendo o valor 1 considerado razoável e 3 excelente.

Tabela 4.4. Avaliação dos resultados obtidos para a caracterização das feições geomorfológicas.. 1: Razoável; 2: Bom; 3: Excelente.

Método Utilizado	Modelagem	Perfilagem	Sensoriamento
Feições Observadas	Batimétrica	Batimétrica	Remoto
Canal Longitudinal	3	3	3
Canais Transversais	3	1	3
Altos Costeiros	3	3	3
Altos Oceânicos	3	3	3
Ondulações	1	2	1
Dunas Transversais	1	1	3
Terraço Oceânico	2	2	1

Os resultados obtidos para os canais foram classificados como excelentes para todas as metodologias aplicadas. Entretanto, os canais transversais foram delimitados de forma razoável pelo método da perfilagem, devido a estrutura encontrar-se paralela ao levantamento batimétrico.

Os altos costeiros e oceânico foram delimitados por todas as metodologias de forma excelente. As ondulações longitudinais foram melhor delimitadas pelo método da perfilagem, as demais metodologias não geraram bons resultados. Isso pode ter ocorrido pelo fato de que a estrutura apresentou pequena variação na morfologia e não foi sensível ao método.

O sensoriamento remoto foi o único método utilizado neste estudo capaz de delimitar a ocorrência das dunas transversais. A batimetria (modelagem e perfis) não geraram resultados satisfatórios pela disposição paralela das estruturas em relação ao levantamento batimétrico.

O resultado obtido para o terraço oceânico foi classificado como bom para os métodos da modelagem e perfilagem batimétrica. O método de sensoriamento remoto não apresentou resultados satisfatórios, sendo uma das causas a localização da estrutura em região profunda e o processamento da imagem impediu a sua visualização.

CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONCLUSÕES

A partir da análise e interpretação dos dados batimétricos obtidos e a comparação dos resultados com a imagem de satélite e informações pré-existentes, foi possível identificar e parametrizar a geometria de uma série de feições presentes na área de interesse.

A análise dos dados batimétricos e imagem de satélite evidenciaram a presença das seguintes feições: canais longitudinais, canais transversais, altos costeiros, ondulações longitudinais, dunas transversais, alto oceânico e terraço oceânico.

Observou-se a presença de um canal longitudinal ao longo de toda a área de estudo (canal de São Roque) e dois entre as elevações do alto costeiro de Cioba (canais Cioba de Dentro e Cioba de Fora). Três canais perpendiculares a costa (Pititinga, Barretas e Touros). Destaque para o canal Barretas que divide o alto de Rio do Fogo, com profundidades entre 3 e 7 metros, com 270 metros de largura.

Foi possível verificar a expressão morfológica das formações recifais contidas na área de estudo, como Maracajaú, Rio do Fogo e Cioba. Os altos costeiros de Maracajaú e Rio do Fogo estão delimitados pela isóbata de 5 metros. O alto de Cioba não apresentou uma delimitação precisa, porém ocorrem entre as profundidades de 12 e 9 metros.

As ondulações longitudinais, descritas na literatura como uma região de dunas longitudinais, se estende por 17.000 metros no eixo nordeste-sudoeste (dimensão superior a relatada por Oliveira *et al.* (2009) com extensão entre 8 a 10 quilômetros) e aproximadamente 60.000 metros no sentido sudeste-noroeste. A profundidade média foi de 20 metros e as elevações do terreno não ultrapassaram os 2 metros.

Foi possível observar a presença de um campo de dunas transversais, a profundidade de 15-20 metros, localizado a 17.000 metros da costa. A morfologia apresentada para esta feição foi longitudinal, devido as características do levantamento batimétrico, e por esse motivo não mostrou resultados relevantes.

A expressão morfológica do alto oceânico foi observada em todos os perfis, porém foi verificado que a feição apresenta variações nas dimensões ao longo da área de estudo. A menor profundidade desta feição foi 9 metros, obtida pelo perfil 20 (risca do Zumbi). Neste ponto a altura desta feição é cerca de 20 metros para a face leste e 11 metros para o lado oposto.

Para o alto oceânico foram descritas e mapeadas as riscas existentes na plataforma da região. Vianna e Solewicz (1989) descreveram três riscas na região centro-norte da área de estudo (Liso, Gameleira e Zumbi) e o presente trabalho identificou uma nova feição, a risca de Pititinga.

Foi observada a presença de um terraço oceânico, localizado no extremo sul da área de estudo, a profundidade de 28 metros. Esta feição está relacionada a estabilização do nível do oceano.

Com as informações e resultados obtidos por este estudo foi possível criar uma divisão local da plataforma continental do Rio Grande do Norte, levando em consideração as características geomorfológicas da mesma e a classificação descrita por Coutinho (1976).

Foram definidos três setores: (1) plataforma interna, compreendendo a porção desde a linha de costa até a região dos altos costeiros, profundidades entre 0-12 metros; (2) plataforma média, partindo dos altos costeiros até o início do alto oceânico, profundidades entre 12-22 metros e (3) plataforma externa, com início na região do alto oceânico, profundidades superiores a 22 metros – o limite externo deste setor não foi definido por este trabalho visto que o levantamento de dados está limitado a uma determinada área e não se observou nenhuma outra feição que pudesse delimitá-lo.

A integração dos resultados obtidos permitiu que todas as feições pudessem ser descritas de forma satisfatória. Algumas características não claramente verificadas nas imagens puderam ser descritas e interpretadas a partir dos perfis e modelagem batimétrica.

Desta forma, o presente trabalho contribuiu com a disponibilização de novas informações a respeito da área em questão, principalmente no que diz respeito a coleta de dados *in situ* de profundidades.

O método de coleta e interpretação dos dados se mostrou eficiente visto que, por meio deste, foi possível visualizar e interpretar as feições geomorfológicas presentes na área em estudo. Isso pode ser constatado observando os resultados comparados entre o modelo de elevação gerado a partir dos dados batimétricos e a imagem de satélite.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, R. F., Bezerra, F. H. 1996. Geometria, sistema deposicional e idade dos *beachrocks* entre Ponta de Tabatinga e Tibau do Sul - Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Salvador. Anais... Salvador: [s.n.]. p. 164-165.

Amaral, R. F. 2000. Contribuição ao Estudo da Evolução Morfodinâmica do Litoral Oriental Sul do Rio Grande do Norte, Entre Ponta de Búzios e Baía Formosa. Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 252 p.

Amaral, R. F. 2002. Mapeamento da Área de Proteção Ambiental dos Recifes de Corais – Fase Exploratória. UFRN, Departamento de Geologia/ IDEMA, SUGERCO. Relatório Interno. Ilustrado. Natal. 50 p.

Amaral, R. F., Feitosa, B. M., Attayde, J. L., Arantes, S. V., Batista, D. S., Costa Neto, L. X., Figueiredo L., Martin, F. S., Silva, I. B., Soriano, E. M., Ziggmnod, M. 2005. Diagnóstico Ambiental da Área de Uso Turístico Intensivo (AUTI) no Parracho de Maracajau. IDEMA-RN. Relatório Interno. 128p.

Andrade, G. O. 1955. Itamaracá: contribuição para o estudo geomorfológico da costa pernambucana. Recife: Ofic. Est. Pernambuco, 84p.

Assis, H. M. B. 1990. Estudo dos *beachrocks* do Litoral Sul de Pernambuco com base em evidências petrográficas e isotópicas. Recife, 1990. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco. 84p.

Baptista Neto, J. A. 2004. Métodos diretos e indiretos de investigação do fundo oceânico. In.: Baptista Neto, J. A., Ponzi, V. R. A., Sichel, S. E. Introdução à geologia marinha. Ed. Interciência, Rio de Janeiro. 279 p.

Bittencourt, A. C. S. P., Martin, L., Dominguez, J. M. L.; Silva, I. R., Sousa, D. L. A. 2002. *Significant longshore transport divergence zone at the Northeastern Brazilian coast: implications on coastal Quaternary evolution*. Anais da Academia Brasileira de Ciências. V. 74 (3), p. 505-518.

Boyer, P. R. 1969. *Structure of the continental margins of Brazil, Natal to Rio de Janeiro*. Thesis Univ. Illinois, Urbana, 93 p.

Branner, J. C. 1904. *Geology of the Northeast coast of Brazil*. Geol. Soc. America B. Colorado, v.13 p.41-98.

Branner, J. C. *The stone reefs of Brazil, their geological and geographical relations with a chapter of the coral reefs*. Harvard Coll. Mus. Comp. Zool. Bull., v. 44, p. 1-285. 1904.

Cabral, A. P., Robinson, I. S., Collins, M. B., Vianna, M. L. 2003. *Multisensor remote sensing data applied to coastal process and bedform dynamics relationship analysis at the NE Brazilian continental shelf*. Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 de abril 2003, INPE, p.1501-1508.

Camargo, J. M. R., Araújo, T. C. M., Maida, M., Ushizima, T. M. 2007. Morfologia da plataforma continental interna adjacente ao município de Tamandaré, sul de Pernambuco – Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica* 25(Supl. 1): 79-89.

Costa Neto, L.X. 1997. *Evolução Geológica-Geomorfológica Recente da Plataforma Continental Interna ao Largo do Delta do Rio Açú, Macau-RN*. 1997. Dissertação de Mestrado em Geociências. Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro. 212 p.

Coutinho, P. N., Farias, C. C. 1979. Contribuição à origem dos recifes do Nordeste. In.: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 9. Natal-RN, 1979. Atas... Natal-RN:[s.n.], p.236-240.

Coutinho, P. N. 1976. *Geologia marinha da plataforma continental Alagoas-Sergipe*. Recife, 112p. 1976. Tese (Livre docência) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de pernambuco.

Darwin, C. 1841. *On a remarkable bar of sandstone of Pernambuco on the coast of Brazil*. In: *Magazin & Journal Sciences*, London, p.257-261.

Davies, J. L. 1964. *A morphogenetic approach to world shorelines*. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 8. p. 127-42.

França, A. M. C. 1979. *Geomorfologia da margem continental leste brasileira e da bacia oceânica adjacente*. In: *Projeto REMAC*, v. 7, p. 89-127.

Green, E. P.; Mumby, P.J.; Edwards, A.J.; Clark, C.D.; (Ed. A.J. Edwards). 2000. *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management. Coastal Management Sourcebook 3*, UNESCO, Paris. p. 1-316.

Hazin, F. H. V., Wor, C., Oliveira, J. E. L., Hamilton S., Travassos, P.; Geber, F. 2008. Resultados obtidos por meio do fundeio de um correntógrafo na plataforma continental do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Arq. Ciên. Mar, Fortaleza*. 41(1): 30 – 35.

Kempf, M., Mabesoone, J. M.; Tinoco, I. M. 1970. Estudo da plataforma continental da área do Recife; I - Generalidades sobre o fundo. *Trab. Oc., Univ. Fed. PE* 9/11: 125-148.

Komar, P. D. 1976. *Beach Process and Sedimentation*. Prentice Hall, New Jersey.

Laborel, J. 1967. *Les peuplements de Madréporaires des côtes tropicales du Brésil*. *Thèse Docteur (Université d'Aix-Marseille)*, Marseille, 313 p.

Laborel, J. 1969. *Les peuplements de Madréporaires des côtes tropicales du Brésil*. *Ann. Univ. D'Abidjan, Serie E (Ecologie)*, 3: 260 p.

Lima, W. S. G.; Amaral, R. F. 2001. Mapeamento dos Recifes de Corais de Maracajaú/RN com o uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato. *Pesquisas em Geociências*, 28(2): 417–425.

Lima, W. S. G. 2002. Geologia e Geomorfologia dos Recifes de Maracajaú – RN e Plataforma Rasa Adjacente. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado. 91p.

Lima, F. B., Amaro, V. E., Vital, H. 2005. Sistema de informações geográficas e sensoriamento remoto como ferramentas para a caracterização da geomorfologia em áreas submersas no litoral setentrional do RN (Bacia Potiguar). In.: *Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE*, p. 2689 - 2691.

Lozano, C. P. 2003. *Aplicación de la Corrección de Columna de Agua en una Imagen Landsat ETM para Identificación de Fondos Marinos en un Segmento de la Costa entre los Estados de Río Grande do Norte y Ceará, Brasil. Dissertação de Mestrado, INPE.*

Lyzenga, D. R. 1981. *Remote Sensing of bottom reflectance and water attenuate parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. International Journal of Remote Sensing*, 2(1): 71-82.

Maia, L. P., Cavalcante, M. D. 2005. Mapeamento das Unidades Geoambientais da Zona Costeira do Estado do Ceará. Programa Zoneamento Ecológico e Econômico da Zona Costeira do Estado Ceará. LABOMAR.

Manso, V. A. V., Corrêa, I. C. S., Guerra, N. C. 2003. Morfologia e Sedimentologia da Plataforma Continental Interna entre as Praias Porto de Galinhas e Campos – Litoral Sul de Pernambuco, Brasil. *Rev. Pesq. Geociências*, 30(2): 17–25.

Nogueira, J. D. L.; Amaral, R. F. 2009. Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE*. p.4117-4123.

Oliveira, M. I. M., Bagnoli, E., Farias, C. C. 1990. Considerações sobre a Geometria, Petrografia, Sedimentologia, Diagênese e Idades dos *Beachrocks* do Rio Grande do Norte. In: *CONG. BRAS. GEOL.*, 36. Anais... Natal [s.n.]. v. 2. p. 621-634.

Oliveira, V. C. B. de; Dutra, R. R.; Amaral, R. F.; Faria, V. F. 2009. Caracterização das feições morfoestruturais da plataforma continental do RN com o uso de processamento digital de imagens do Landsat-7. In.: *Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE*, p. 4117 - 4123.

Oliveira, P. R. A. 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 – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado. 112p.

Ottmann, F. 1960. *Une hypothèse sur l'origine des "arrecifes" du Nordeste Brésilien*. Seanc. Soc. Geol. France, v.7, p.175-176.

Polcyn, F. C., Rollin, R. A. 1969. *Remote sensing techniques for the location and measurement of shallow-water features*. In: NASA-WRL-8973-10-P. Ann Arbor, 66p.

Polcyn, F. C. NASA/Cousteau Ocean Bathymetry Experiment – remote bathymetry using high gain Landsat data. In: ERIM- 118500-1-F, Ann Arbor, 1976. 131p.

Reuss-Strenzel, G. M. 2007. Cartografia de arrecifes de coral en el Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais, Brasil, mediante fusión de imágenes. In.: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4667- 4673.

Santos, C. L. A. 2006. Mapeamento de recifes no Rio Grande do Norte: Touros a Macau/RN. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado. 66 p.

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 Maracajaú. *Revista Brasileira de Geofísica*. 25 (Supl. 1): 27–36.

Solewicz, R. 1989. Feições fisiográficas submarinas da Plataforma Continental do Rio Grande do Norte visíveis por imagens de satélite. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP. 163p.

Stride, A. H. 1982. *Offshore Tidal Sands: Process and Deposits*. London: Chapman & Hall. 222p.

Summerhayes, C. P., Fainstein, R., Ellis, J. P. 1976. *Continental margin of Sergipe and Alagoas, Northeastern Brazil: a reconnaissance geophysical study of morphology and structure*. *Mar. Geol.*, v.20, p.345-361.

Tabosa, W. F., Amaro, V. E., Vital, H. 2007. Análise do ambiente costeiro e marinho, a partir de produtos de sensoriamento remoto na região de São Bento do Norte, NE Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 25, supl. 1, pp. 37-48.

Testa, V. 1996. *Quaternary Sediments of the Shallow Shelf, Rio Grande do Norte, NE Brazil*. PhD thesis, University of London.

Testa, V. 1997. *Calcareous algae and corals in the inner shelf of Rio Grande do Norte, NE Brazil*. Proc. 8th Int. Coral Reef Symp. Panama, 1, 737-742.

Testa, V.; Bosence, D. W. J.; Vianna, M. L. 1997. *Submerged lithologies as indicators of relative sealevel oscillations in Rio Grande do Norte, NE Brazil*. Proc. 4th Cong. Brasileiro de Estudos do Quaternario, 155- 160.

Testa, V., Bosence, D. W. J. 1998. *A distally steepened, high energy, tropical ramp from the northeast Brazilian shelf*. In: *Carbonate Ramps: Oceanographic and Biological Controls, Modelling and Diagenesis*. (Ed. by V. P. Wright and T. P. Burchette), Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., 149, 55-71.

Testa, V., Bonsence, D. W. J. 1999. *Large-scale bedform generation and carbonate siliciclastic interactions on the tropical shelf of northeast Brazil*. In: *Sedimentology*, 46, 279-302.

Vianna, M. L., Solewicz, R. 1988. *Feições fisiográficas submarinas da plataforma continental do RN visíveis por imagens de satélite*. In: *SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, Natal, 1988. Anais... Natal: [s.n.], v.3. p. 581-587.

Vianna, M. L., Solewicz, R., Cabral, A. P. 1989. *Early Holocene stillstands in the brazilian northeast mapped by satellite*. In: *International Symposium on Global Changes in South America During the Quarternary: Past- Present-Future*, São Paulo. Anais... São Paulo: [s.n.]. p. 250-254.

Vianna, M. L., Solewicz, R., Cabral, A., Testa, V. 1991. *Sandstream on the Northeast Brazilian Shelf*. *Continental Shelf Research*, 2: 509–524.

Vianna, M. L., Cabral, A. P., Gherardi, D. F. M. 1993. *TM-Landsat imagery to the study of the impact of global climate change on a tropical coastal environment during the last deglaciation*. *Int. Journal Remote Sensing*. v. 14, n.14, p. 2971-2983.

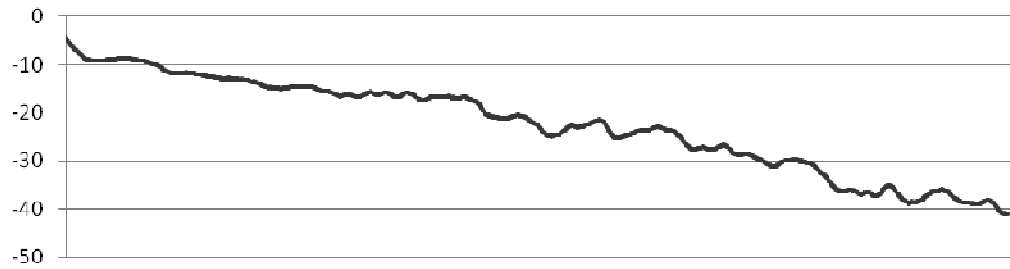
Zembruski, S. G., Barreto, H. T., Palma, J. C., Milliman, J. D. 1972. *Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental brasileira* An. XXVI Congr. Bras. Geol., Belém, 2:187-209.

ANEXOS

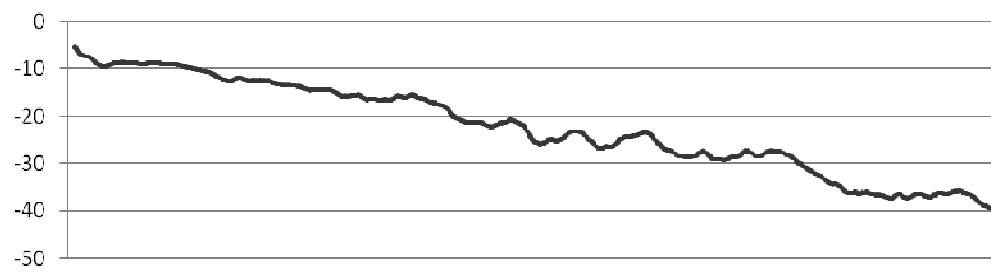
ANEXO I – PERFIS BATIMÉTRICOS

MARACAJAÚ

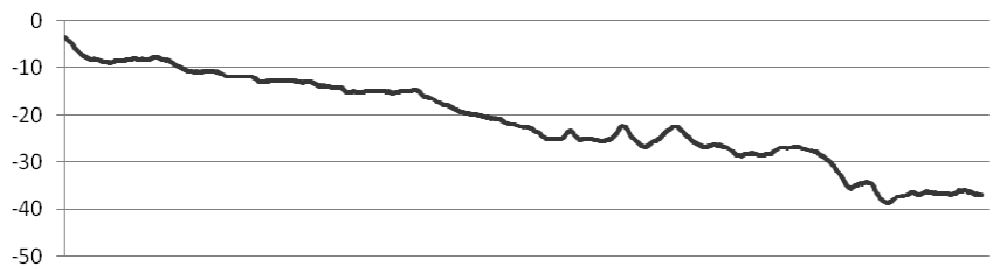
Perfil 1



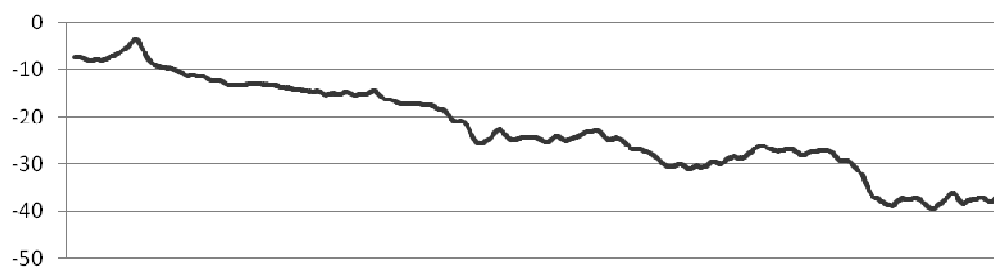
Perfil 2



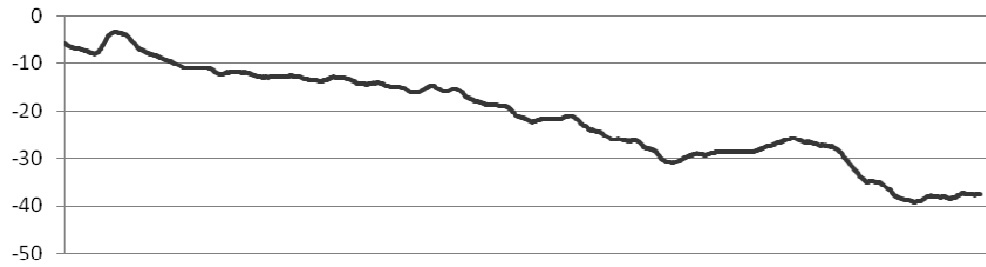
Perfil 3



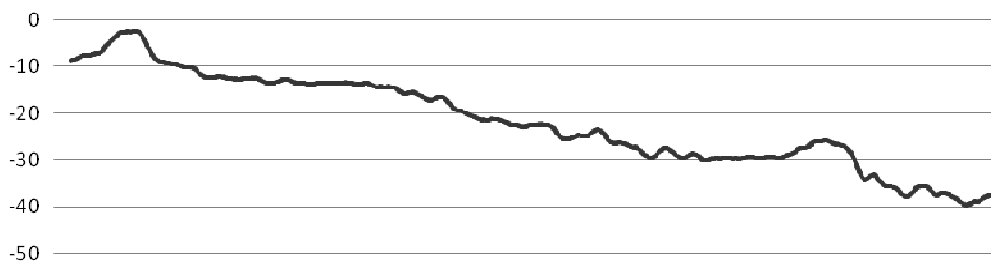
Perfil 4



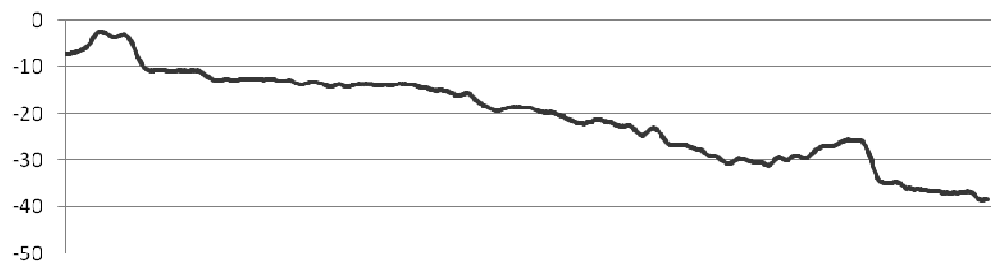
Perfil 5



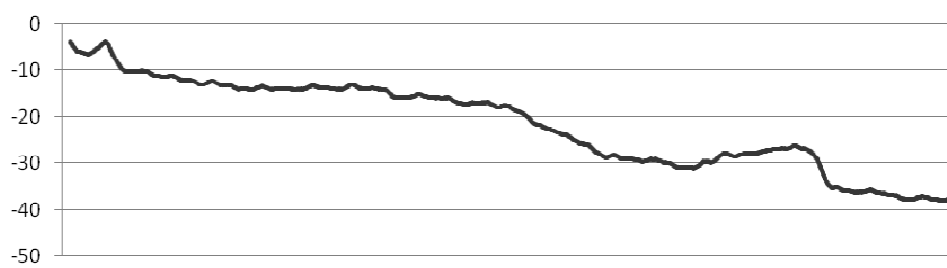
Perfil 6



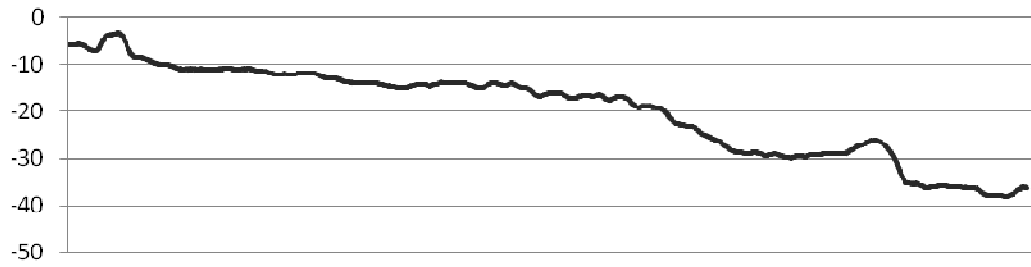
Perfil 7



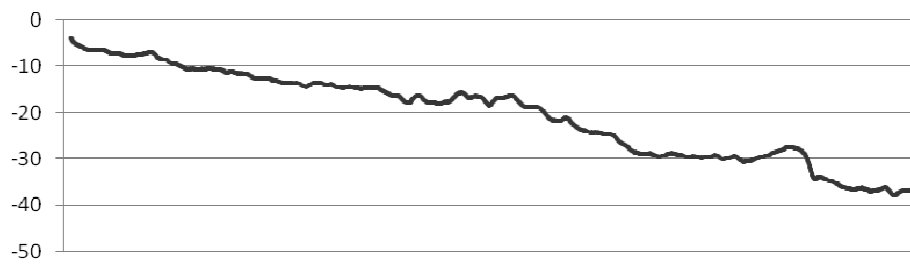
Perfil 8



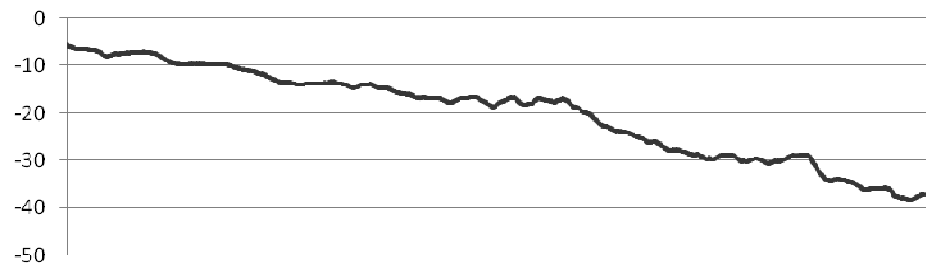
Perfil 9



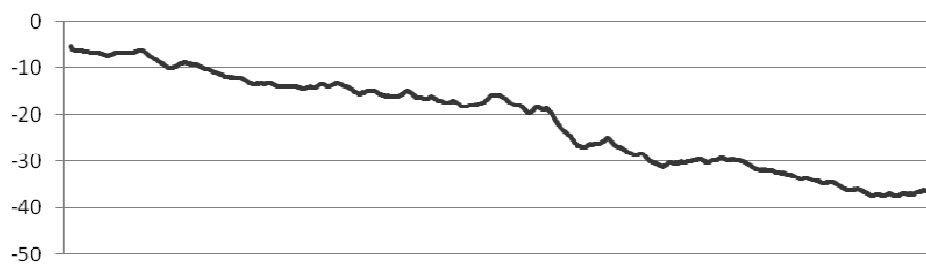
Perfil 10



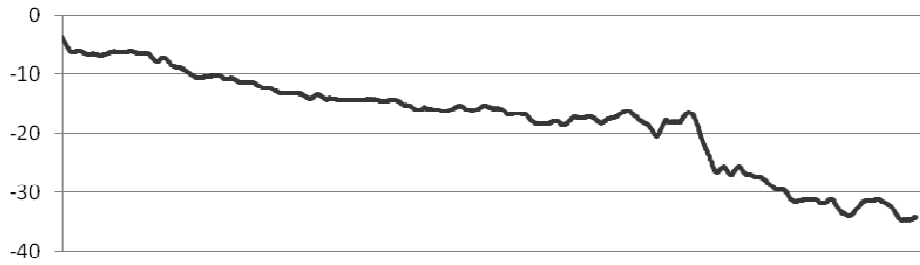
Perfil 11



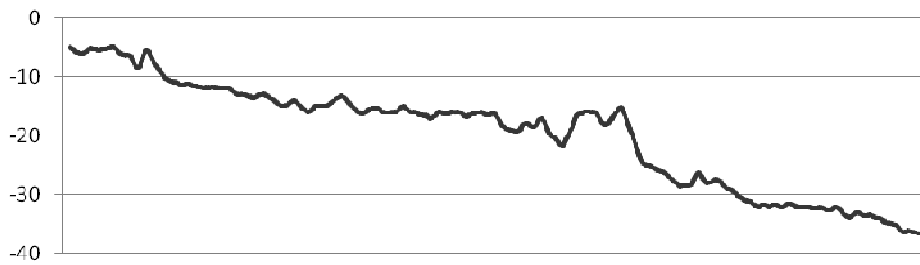
Perfil 12



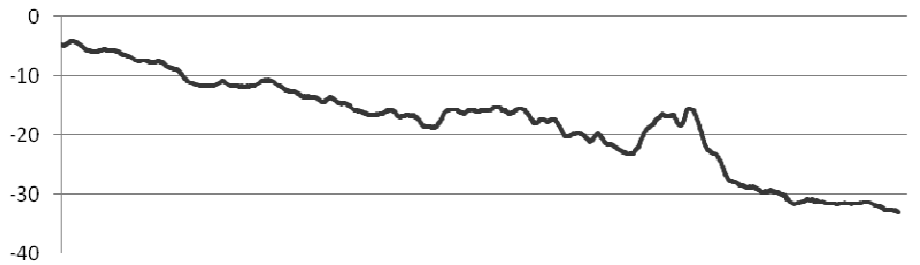
Perfil 13



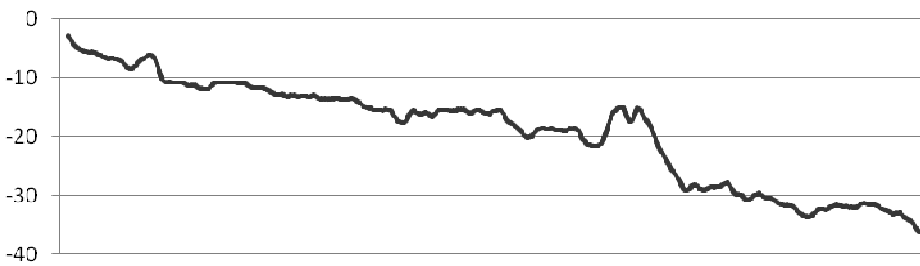
Perfil 14



Perfil 15

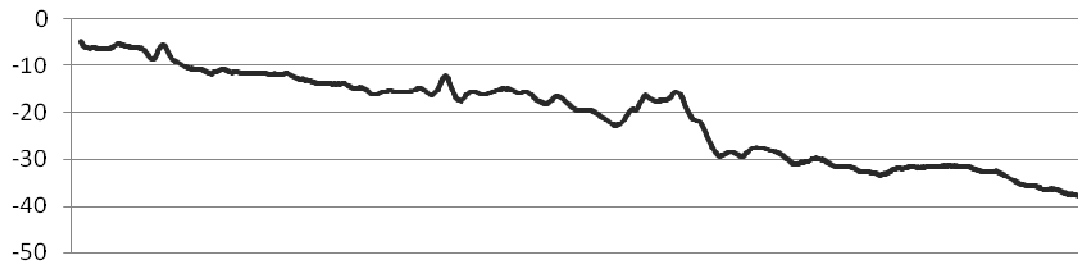


Perfil 16

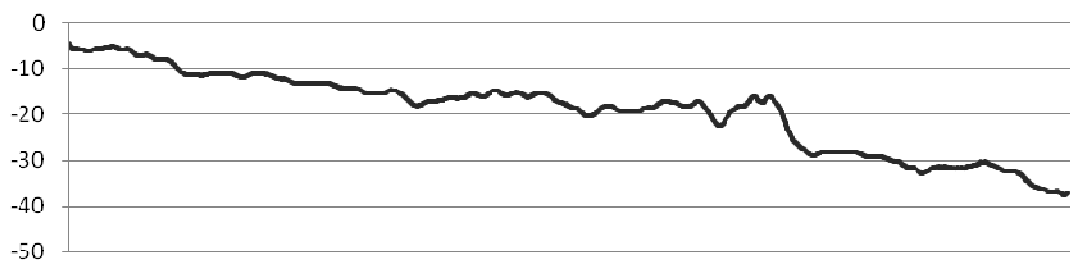


RIO DO FOGO

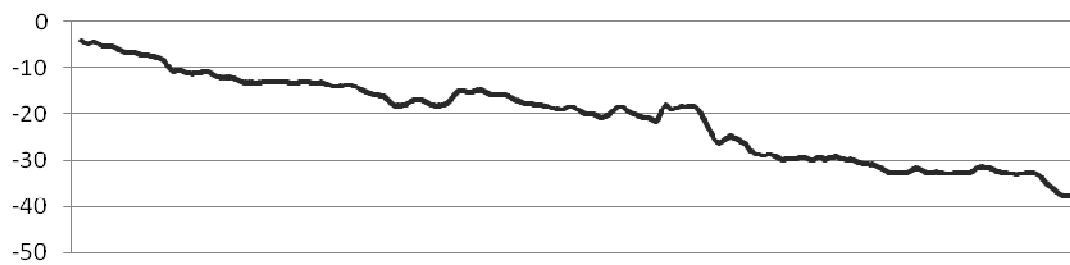
Perfil 17



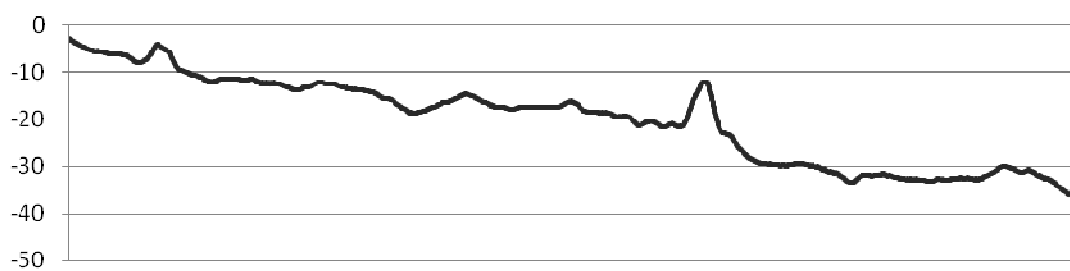
Perfil 18



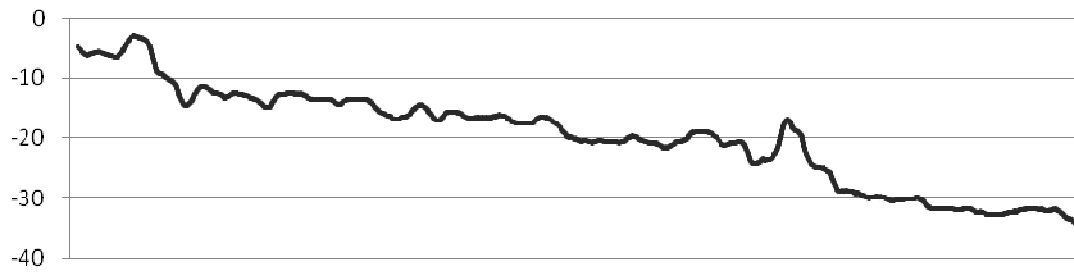
Perfil 19



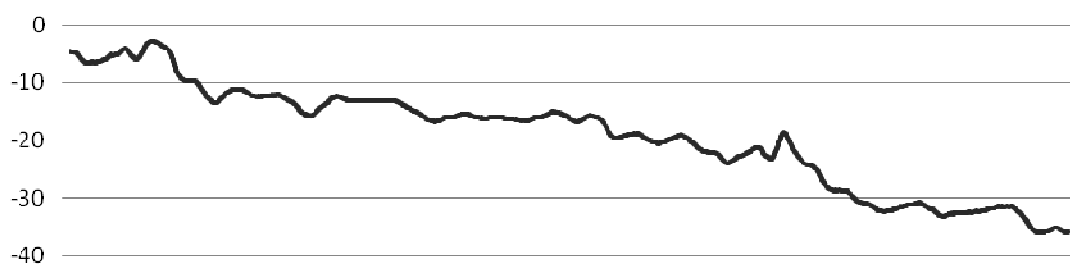
Perfil 20



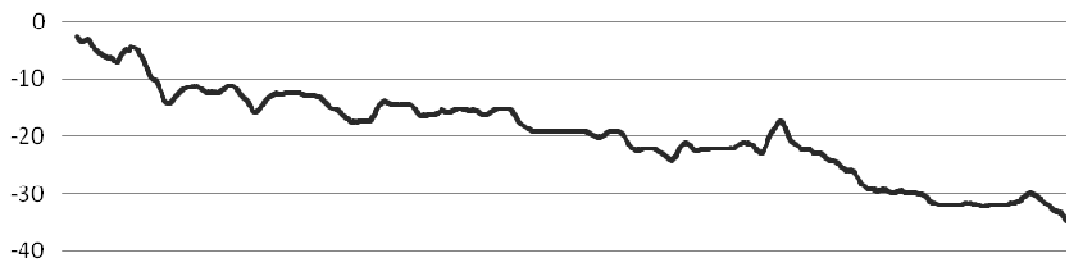
Perfil 21



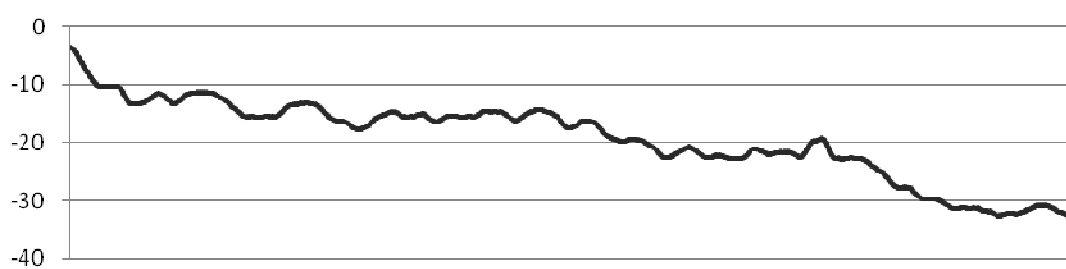
Perfil 22



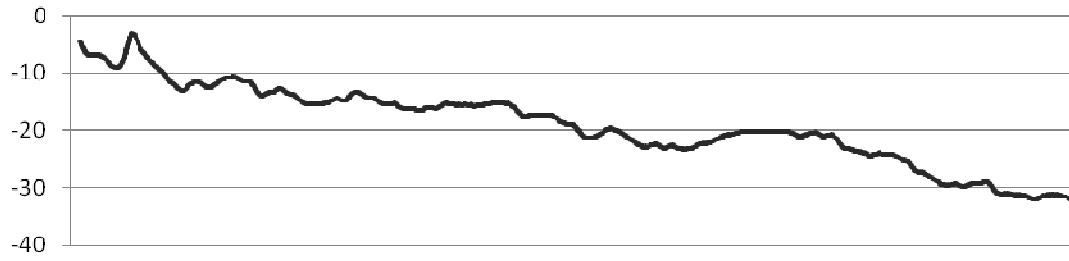
Perfil 23



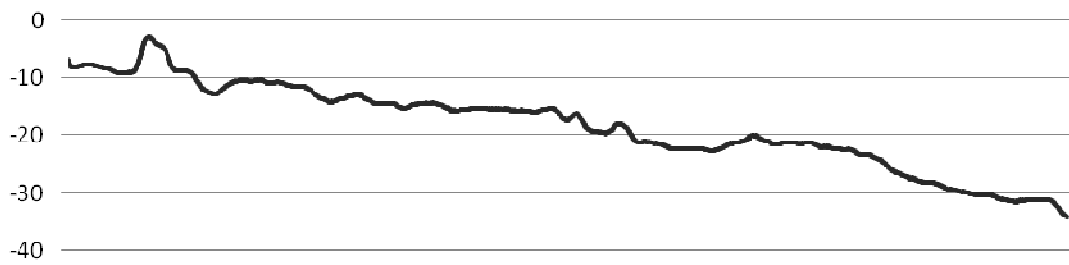
Perfil 24



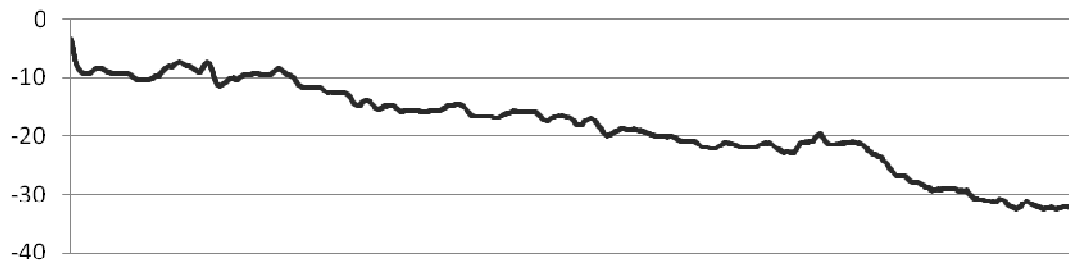
Perfil 25



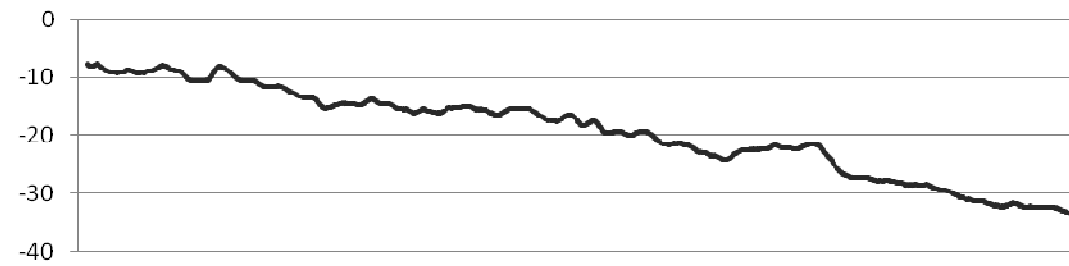
Perfil 26



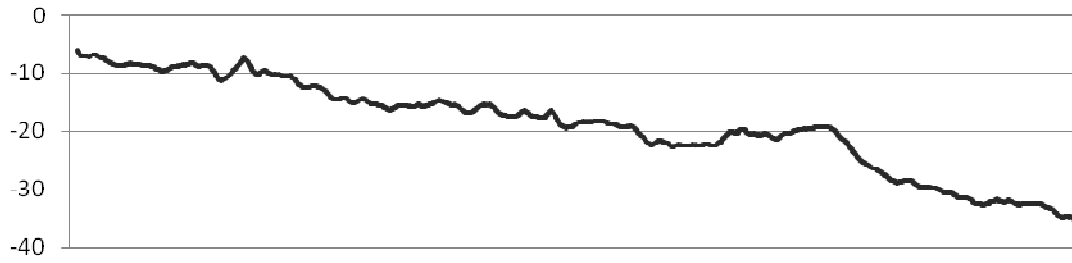
Perfil 27



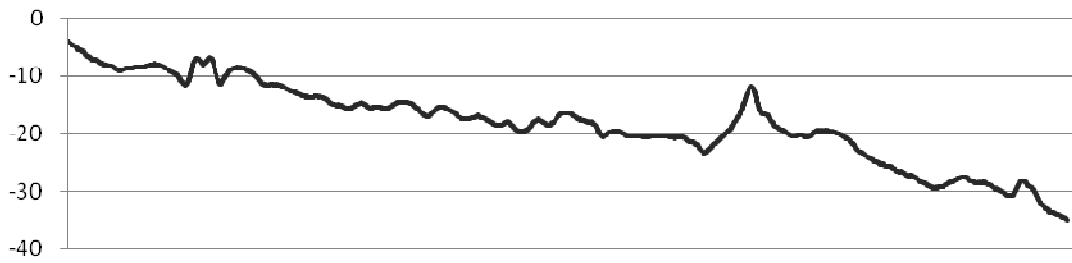
Perfil 28



Perfil 29

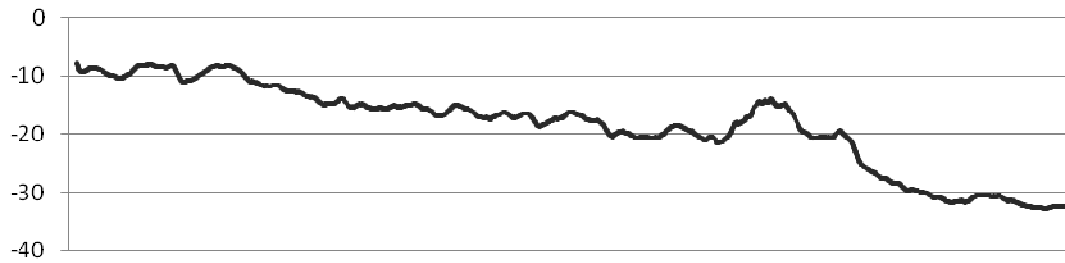


Perfil 30

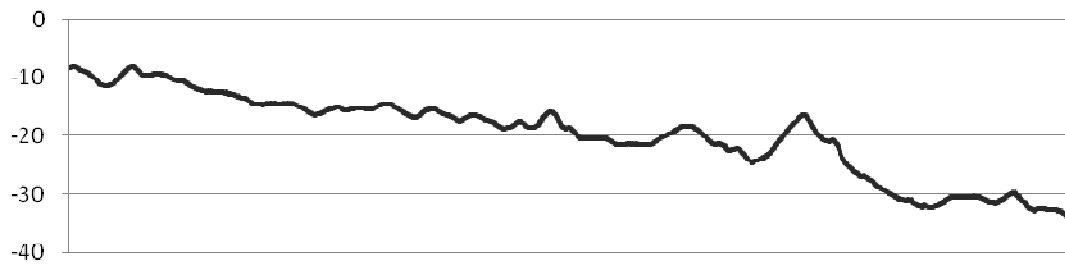


TOUROS

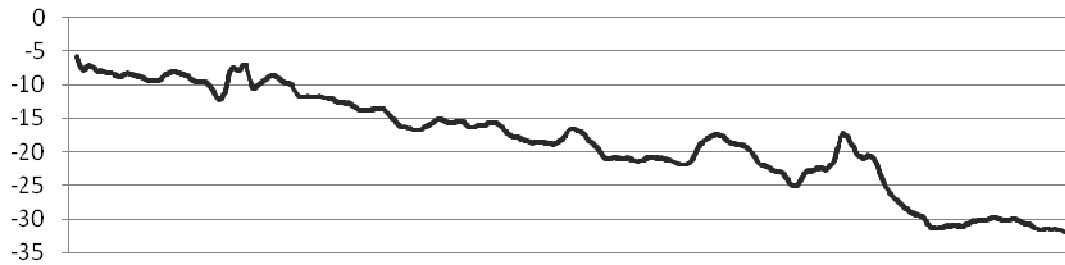
Perfil 31



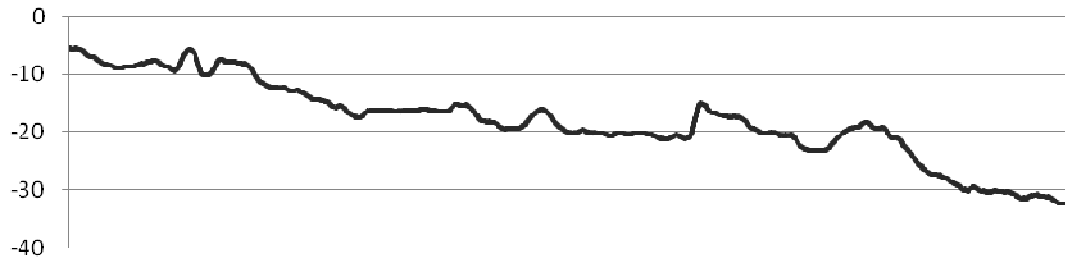
Perfil 32



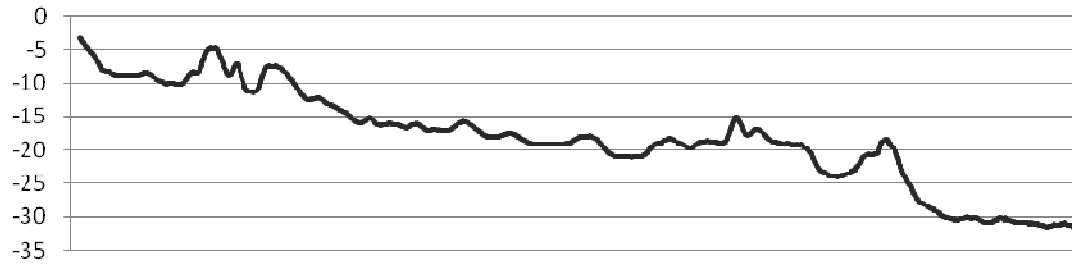
Perfil 33



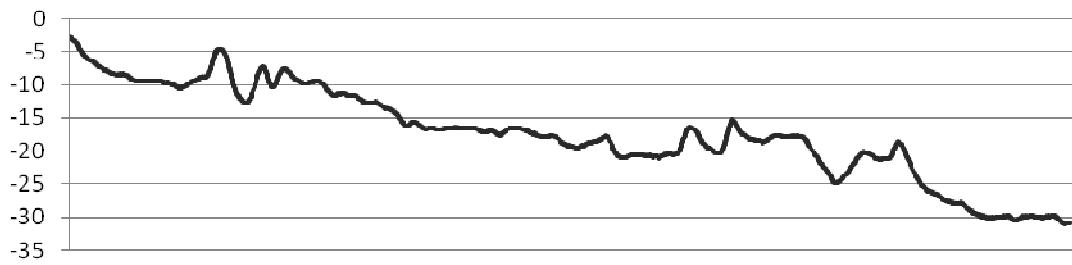
Perfil 34



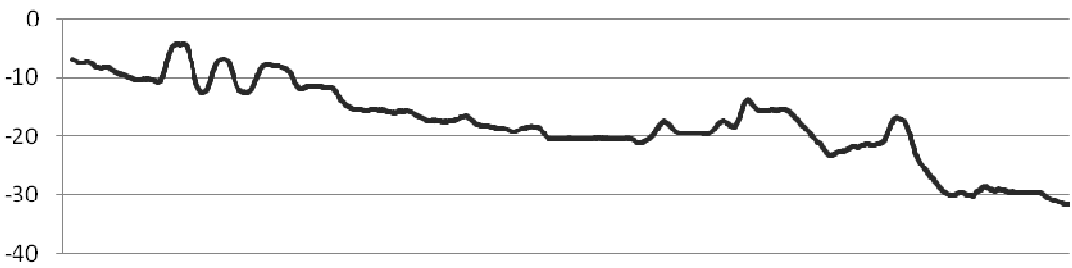
Perfil 35



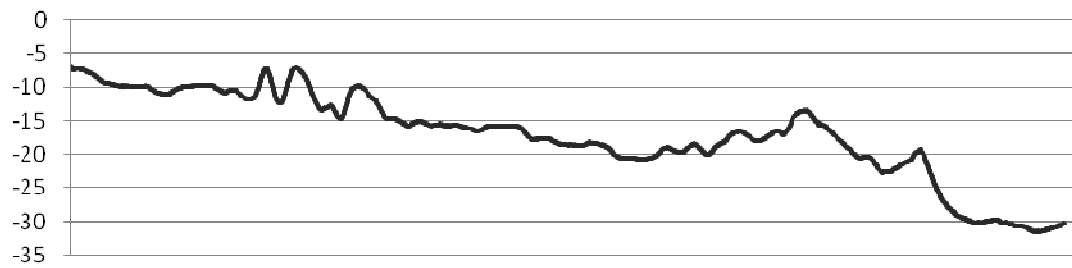
Perfil 36



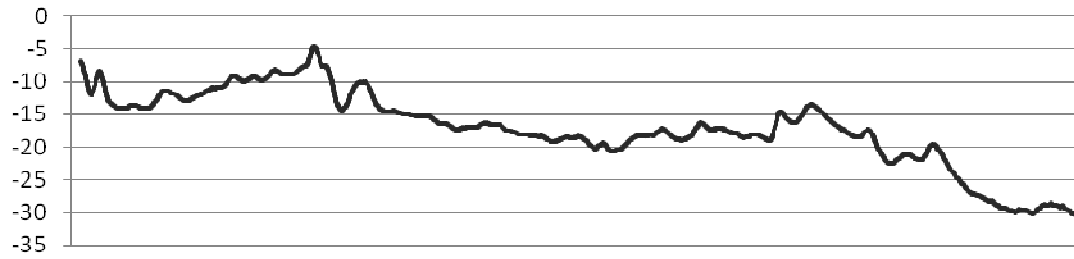
Perfil 37



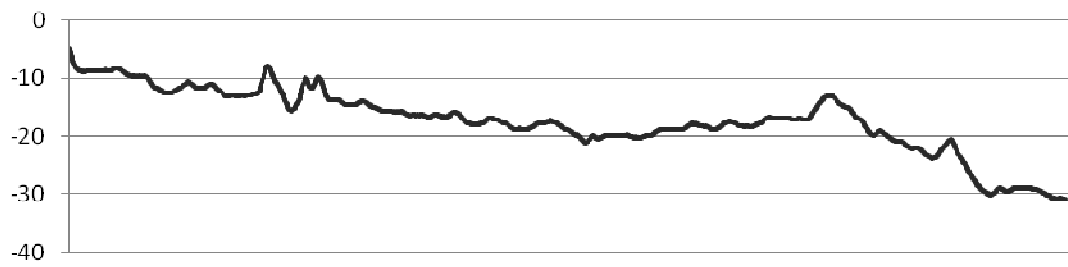
Perfil 38



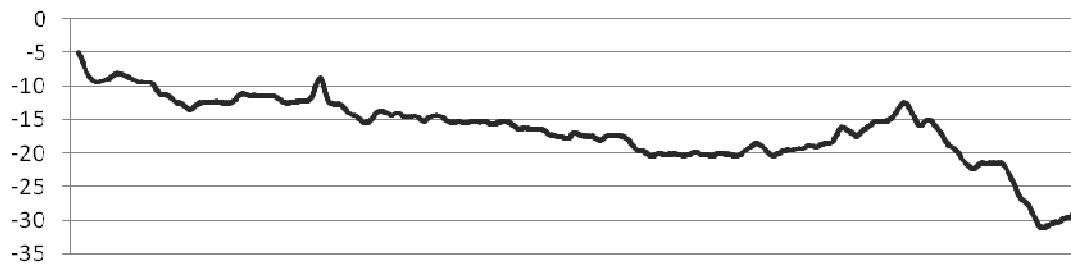
Perfil 39



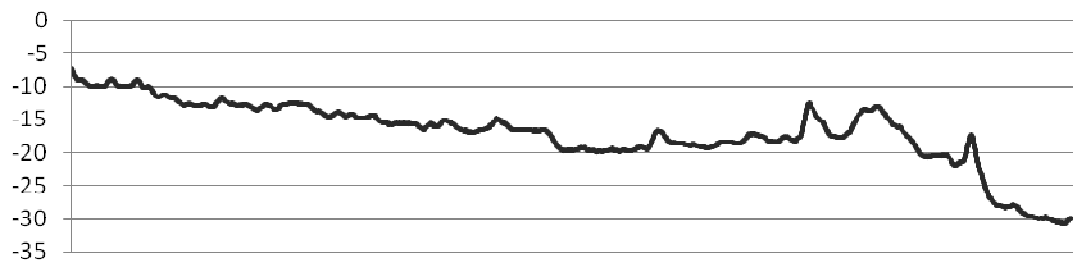
Perfil 40



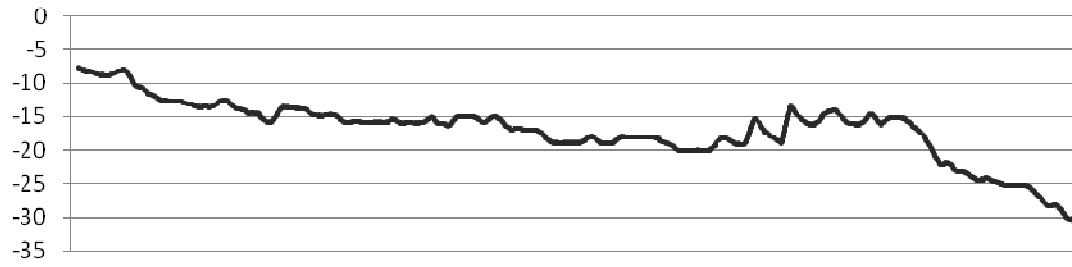
Perfil 41



Perfil 42



Perfil 43



Perfil 44

