

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Mapeamento dos Recifes de Corais de Maracajaú/RN com o uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato

Williams da Silva Guimarães de Lima, Ricardo Farias Do Amaral

Pesquisas em Geociências, 28 (2): 417-425, maio/ago., 2002.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20316>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - maio/ago., 2002.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Mapeamento dos Recifes de Corais de Maracajaú/RN com o uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato

WILLIAMS DA SILVA GUIMARÃES DE LIMA¹ & RICARDO FARIAS DO AMARAL²

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG
Bolsista CNPq/PPGG – williams@geologia.ufrn.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN – Centro de Ciências Exatas e da Terra – CCET
Departamento de Geologia – Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG
Grupo de Estudos em Geotecnologia e Meio Ambiente – GEOTEC – Campus Universitário
59072 970 – Natal/RN – ric@ufrnet.br

(Recebido em 10/01. Aceito para publicação em 05/02)

Abstract - The Rio Grande do Norte State has many attractive natural resources. One of them is its large coast, which still contains many native beaches. Due the tropical weather, beaches of the Rio Grande do Norte can be visited by local people and tourist nearly all seasons of the year. The Maracajaú Coral Barrier, located at the shallow platform of Maxaranguape-RN, consists of a region that has turned into a touristic attraction in the last decades. The principal reason for the increasing in the touristic exploration of the region is the favorable conditions of temperature of water, transparence and the shallow depth of the region that surround the Maracajaú Coral Barrier. Despite of supporting a large part of the local finances, the disorganized exploration of the touristic activities, specially at the adjacencies of the coral barrier, has produced several damages to the environment. The first step to a prudent exploration of the touristic activities, and other ways of exploration of the coral barrier, is the identification of the protected areas by developing of an appropriate cartographic basis that can be used to aid planning for the exploration of the environment. The development of maps began with the interpretation of *small format* aerial photographs (scale near of 1:5000), which were used to delimitate the geometry and morphologic features of the coral reef. The acquisition of small format photographs depends of climatic parameters, such as influence of tides, winds and the limpidity of the sky. Respecting these parameters, it is possible to investigate many features. In this work was identified sand waves, submerged and emerged coral reef bodies and submerged channels. Thus, it is necessary to improve the knowledge of the coral barriers of Maracajaú in the way to support more specific researches on this ecosystem, which can establish the potentialities of the area, allowing the exploration with minimized environmental damages.

Keywords - coral reef mapping, small format aerial photographs, Rio Grande do Norte.

INTRODUÇÃO

O interesse de vários países pelo manejo de áreas costeiras tem aumentado nessas últimas décadas. O principal objetivo destas nações é assegurar a manutenção da diversidade biológica e a utilização sustentável de seus componentes, bem como avaliar técnicas para viabilização de Programas de Gerenciamento Costeiro.

As regiões litorâneas acolhem várias atividades humanas devido a características que são peculiares, tais como: as práticas de pesca comercial e recreativa, o transporte marítimo, os esportes aquáticos, o uso dos terminais portuários, as indústrias de pesca e o turismo, entre muitas outras.

Além de absorver todas essas atividades, os ecossistemas costeiros são também grandes berçários naturais, tanto de espécies do próprio ambiente, quanto de outras espécies que migram para estas áreas em época da fase reprodutiva. Além dessas espécies, o homem também usufrui desse ecossistema, pois se trata

de uma rica fonte de alimento para sua sobrevivência, tais como: peixes, crustáceos e aves aquáticas, que compõem essa significativa biomassa.

O ecossistema costeiro é uma grande fonte dos recursos naturais e ambientais. No entanto, ele vem sofrendo impacto não só causado pelo homem (em decorrência da intensidade do processo de ocupação desordenada nessas últimas décadas), mas também através de processos “naturais”, como por exemplo, as mudanças climáticas devido ao aquecimento global (Lins, 1999).

Os ecossistemas de recifes coralinos formados por restos de carapaças de seres marinhos que vivem fixos no fundo do mar, existem há cerca de 250 milhões de anos. Ao lado de algas calcárias e outros organismos, eles formam os recifes de corais, que são os ambientes mais ricos do planeta em número de espécies animais e vegetais. Devido ao impacto da ação humana (poluição, pesca descontrolada etc.) e das mudanças climáticas (aquecimento global), os recifes de corais no mundo inteiro sofrem grande ameaça. Estudos coordena-

nados pela *Global Coral Reef Monitoring Network*, organização internacional que monitora recifes de corais, estimam que 27% dos corais do mundo já foram destruídos, representando uma ameaça para todo o ecossistema marinho. O mesmo estudo revela algumas áreas afetadas, como é o caso da Flórida, nos Estados Unidos da América, onde alguns recifes perderam aproximadamente 95% de seus corais vivos desde 1975, e o Oceano Pacífico, onde morreram cerca de 90% dos recifes de corais que vivem em águas rasas (Fernandes, 2001).

No Brasil a pesquisa sobre recifes de corais ainda é recente, e não há dados quantitativos sobre quantos deles estariam ameaçados (Fernandes, 2001). Por isso, o estudo aprofundado dos recifes de corais torna-se importante, principalmente se esse ambiente vem sofrendo risco de degradação ambiental, tanto do ponto de vista biótico quanto abiótico, como é o caso da área do presente estudo. Os recifes de corais no Baixo de Maracajaú (Parrachos) têm uma área de aproximadamente 13 km² e estão inseridos na plataforma rasa em frente ao município de Maxaranguape-RN, correndo sérios riscos de sofrer os mesmo impactos ambientais que estão ocorrendo em outros ecossistemas recifais.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E VIAS DE ACESSO

Os recifes de corais do Baixo de Maracajaú localizam-se no litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte, na plataforma rasa em frente ao distrito de Maracajaú (município de Maxaranguape), distante 64 km ao norte de Natal-RN (Fig. 1).

A região dos recifes de corais está delimitada pelas seguintes coordenadas: Latitude 5° 25' e 5° 45' S e longitude 35° 14' e 34° 34' W. O principal acesso à área é feito pela rodovia BR 101, partindo de Natal-RN em direção ao litoral norte, no sentido do município de Touros-RN, até ao acesso pela rodovia RN 064.

MAPEAMENTO DE RECIFES DE CORAIS E DA PLATAFORMA RASA

Os estudos sobre mapeamento e conservação de ecossistemas de recifes, cresceram significativamente nas duas últimas décadas. De acordo com o *U. S. Coral Reef Task Force* (1999), para se executar um monitoramento efetivo de um ecossistema de recifes

de corais é necessário entender a extensão e localização dos recursos a serem protegidos, sendo essencial o desenvolvimento de um mapa base.

O mapa de áreas protegidas dos ecossistemas de recifes de corais torna-se muito útil, pois delimita essas áreas (recifais), sendo possível complementá-lo adicionando posteriormente outras informações sobre o manejo do ecossistema.

Para desenvolver um mapa de ecossistemas recifais, o uso das fotografias aéreas de pequeno formato, com escala aproximada de 1:5.000 mostrou-se satisfatório. A partir dessas fotografias é possível identificar feições submersas como recifes de corais e ondulações arenosas dependendo das condições das águas turbídas, por exemplo, podem ser um problema) e meteorológicas (presença de nuvens e ventos fortes devem ser evitados). Cabe ainda ressaltar que se a extensão e localização dessas feições não são ainda documentadas, as fotografias aéreas fornecem um bom ponto de partida para uma inspeção geral dos ecossistemas recifais.

Quando se desenvolve um mapa base de comunidades bentônicas¹ em recifes através de fotografias aéreas de alta resolução espacial, o ideal é que as mesmas sejam georreferenciadas e apresentem escala conhecida. Essas fotografias irão permitir uma detalhada identificação das zonas de recife e habitats bentônicos. Contudo, informações como mudanças nas condições ou na abundância de organismos no interior dessas zonas não podem ser observadas. As inspeções subaquáticas através de mergulho são importantes para determinar quais feições subaquáticas podem estar significativamente representadas nas fotografias aéreas.

Quando há dificuldades logísticas e o custo é alto para adquirir as fotografias aéreas, as imagens de satélite podem ser usadas para se fazer o mapa geral dos habitats bentônicos em ambientes de recifes de corais. As imagens de satélites asseguram a continuidade de cobertura das áreas quando não é possível por meio de pequenas aeronaves. Sendo assim, essas imagens são mais bem aproveitadas em mapeamento de amplas áreas de plataformas rasas.

Os estudos sobre plataforma rasa nas últimas décadas, precisamente entre as décadas de 80 e 90, foram intensificados com a evolução das imagens orbitais, pois o uso dos satélites permitiu ainda mais

¹ Relativo aos bentos. A parte do ambiente marinho habitado por organismos que vivem livremente sobre o fundo oceânico (Magliocca, 1987).

pesquisas voltadas para o mapeamento do fundo oceânico. De acordo com Amaral (2000), as imagens mais utilizadas nesse tipo de mapeamento são as dos sensores HRVI/Spot e ETM+/Landsat 7.

Pesquisas anteriores próximas à área de estudo, com a aplicação de produtos de sensores remotos, foram desenvolvidas por Vianna *et. al.* (1993), utilizando imagem do sensor TM/Landsat 5 na plataforma rasa em frente ao município de Touros-RN,

que identificaram faixas de areias, face de praia, grandes ondulações de areia e bancos de areias formados desde a última deglaciação. Testa & Bonsense (1999), realizaram trabalho na mesma região e encontraram sedimentos superficiais caracterizados por cascalhos e areias carbonáticas e siliciclásticas. Estes autores sugerem 6 zonas estruturalmente distintas, na plataforma interna, as quais foram definidas a partir da interpretação de imagens de satélite.

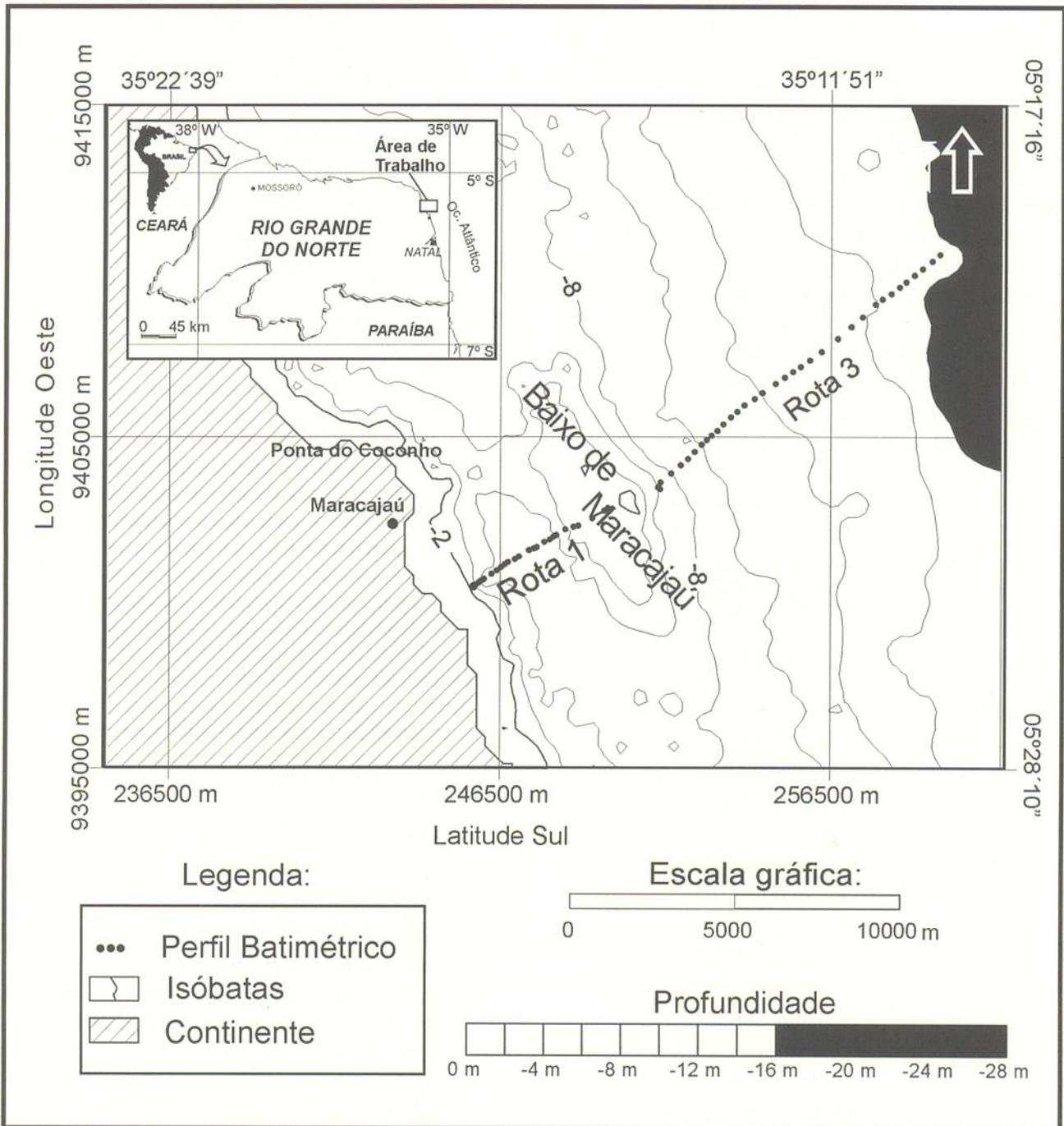


Figura 1 - Localização da área de estudo e das rotas seguidas nas campanhas batimétricas. A isóbata de 5 metros, no centro da figura, define o contorno do Baixo de Maracajá.

ÁREA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL DOS RECIFES DE CORAIS

Os recifes de corais são privilégio dos mares tropicais e patrimônio de poucos países no mundo e no Atlântico Sul, apenas o Brasil foi contemplado com esse ecossistema. O ecossistema de recifes de corais é formado por organismos vivos que depositam seus esqueletos de carbonato de cálcio em camadas sucessivas e formam as estruturas coralíneas que protegem a linha de costa ao formarem um dique (barreira) natural que evita o avanço do mar sobre o continente.

Os recifes de corais são submetidos à destruição antrópica através da poluição das águas costeiras, da coleta predatória de corais e da má utilização dos recifes pelos banhistas. De acordo com o IBAMA (2000), existem aproximadamente três mil quilômetros de recifes de corais no litoral do Nordeste, desde o Maranhão até o sul da Bahia. Preocupado com o risco ambiental que vem sofrendo esse ecossistema, foi criada no litoral norte do Rio Grande do Norte, a *Área de Proteção Ambiental Estadual dos Recifes de Corais*, instituída através da lei nº 7.871 de 20 de Julho de 2000. Segundo o Art. 1º, esta Lei estabelece as diretrizes de ordenamento territorial do Litoral Oriental, nos termos da Lei nº 6.950, de 20 de agosto de 1996, que institui o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro. Foi criada uma parceria entre a Secretaria de Patrimônio da União (SPU), o Ministério Público (MP) e o Instituto de Desenvolvimento Econômico do Meio Ambiente (IDEMA) e Universidade Federal do Rio Grande do Norte dentre outros, que visa estabelecer critérios para o uso sustentável de áreas de patrimônio da União. Neste contexto, pesquisadores do Departamento de Geologia da UFRN, através do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG), iniciaram estudos sobre a caracterização, diagnóstico e monitoramento do meio físico dessa área.

MATERIAS E MÉTODOS

Modelo Digital de Elevação do fundo da plataforma (MDT)

Utilizando-se os dados obtidos na carta náutica 803 da Marinha do Brasil, foi gerado um modelo digital do terreno do fundo da plataforma. Os dados foram obtidos a partir da digitalização da carta em scanner de rolo e da vetorização semi-automática das isóbatas e das profundidades medidas nos pontos de

coletas na plataforma. Para esse fim foi usado o *software* R2V. O MDT foi gerado utilizando-se o método da krigagem (*kriging*), neste caso, foram usados os *softwares* Idrisi32 e Surfer.

Mapeamento da área de estudo

As fotografias aéreas de pequeno formato foram adquiridas usando-se câmara de 35mm SLR, filme ISO 100 colorido com objetiva de 50mm, usando-se como plataforma um pequeno avião monomotor especialmente adaptado. As fotografias foram obtidas em seis sobrevôos: cinco sobrevôos a uma altura de 2.100 m, resultando em fotos com escala aproximada 1:5.000, e um sobrevôo com altura de 900 m, resultando em fotos com uma escala aproximada 1:3.000. Esses sobrevôos ocorreram no dia 08/02/2001 entre 10:30 h. e 12:00 h. A montagem das fotografias foi feita analogicamente e sua interpretação ocorreu diretamente sobre "overlays", que posteriormente foram digitalizados, para que se procedesse a uma justaposição digital de cada folha gerando-se assim um mosaico da área.

Além das fotografias, foram realizadas também campanhas de perfilagem batimétrica, totalizando 9 perfis (rotas), com uma ecossonda digital (Furuno). Na obtenção desses perfis a área de estudo foi dividida em três setores: ao Norte da área de estudo, dois registros, ao Leste (após a zona de arrebentação sobre os recifes), três registros e sobre o Parrachos de Maracajaú (Baixo de Maracajaú), quatro registros. Em todas as campanhas utilizou-se para navegação o GPS (*Global Position System*), admitindo-se um erro de posicionamento aproximado de 10 metros.

RESULTADOS OBTIDOS

Análise dos registros batimétricos

Os registros batimétricos aqui interpretados representam o comportamento da morfologia de fundo da plataforma da área. Através deles, foi possível identificar feições como ondulações e as elevações próximas à linha de costa, correspondente ao banco de recifes e corais.

Foram selecionadas duas rotas com registros obtidos através da batimetria, para fins de análise preliminar e executados nove perfis, a representação de cada um se dá através de registros gráficos. Esses perfis (rotas), têm extensões que variam de 3 km a 10,8 km. A rota de menor extensão corta transversalmente os recifes corais de Maracajaú e a rota mais extensa

está localizada a leste da área, com 10,8 km de extensão. Serão analisados em seguida dois dos 9 registros batimétricos obtidos na área (perfis 1 e 3), com a finalidade de se apresentar o comportamento da morfologia de fundo nessa região (Figs. 2 e 3).

O perfil 1 (Fig. 2) representa uma rota com extensão aproximada de 4,9 km e corta transversalmente os recifes de corais (que ficam a 7 km da linha de costa). A profundidade máxima encontrada nesse registro foi de 9 metros. Pode-se observar a presença

do canal principal de São Roque (A) próximo a isóbata de 9 metros e uma elevação (B) na isóbata de 4 metros, que corresponde aos recifes de corais de Maracajaú, onde as profundidades oscilam em torno de 2 a 5 metros com marés baixas.

O perfil 3 (Fig. 3) representa uma rota localizada a Leste da área, com extensão aproximada de 10,8 km. O registro exibe um plano de fundo muito irregular e na isóbata de 20 metros observa-se uma rápida queda do relevo até a isóbata de 25m.

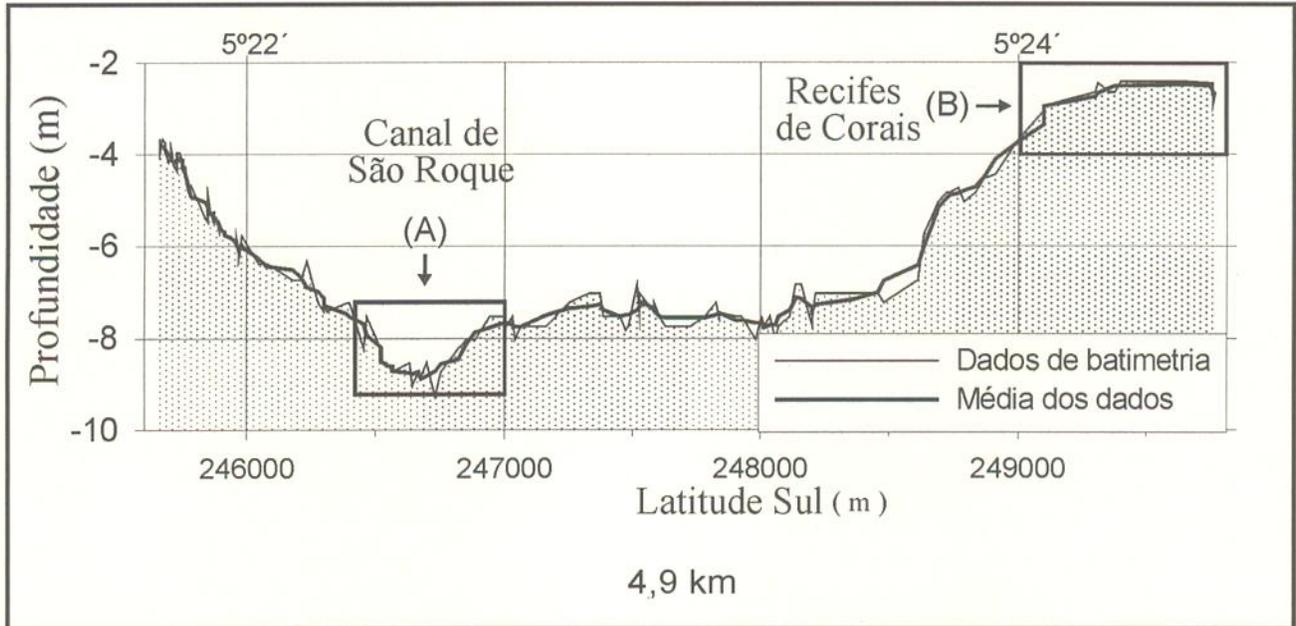


Figura 2 - Perfil 1. Este registro corresponde a um trecho da rota 1. No registro observa-se uma depressão (A), que corresponde ao Canal de São Roque que se aprofunda até a profundidade de 9 metros e uma elevação (B) cuja superfície, horizontal, situa-se entre as profundidades de 3 a 2 metros. Esta feição corresponde ao Baixo de Maracajaú. A extensão desse registro é de 4,9 km. Ver localização na figura 1.

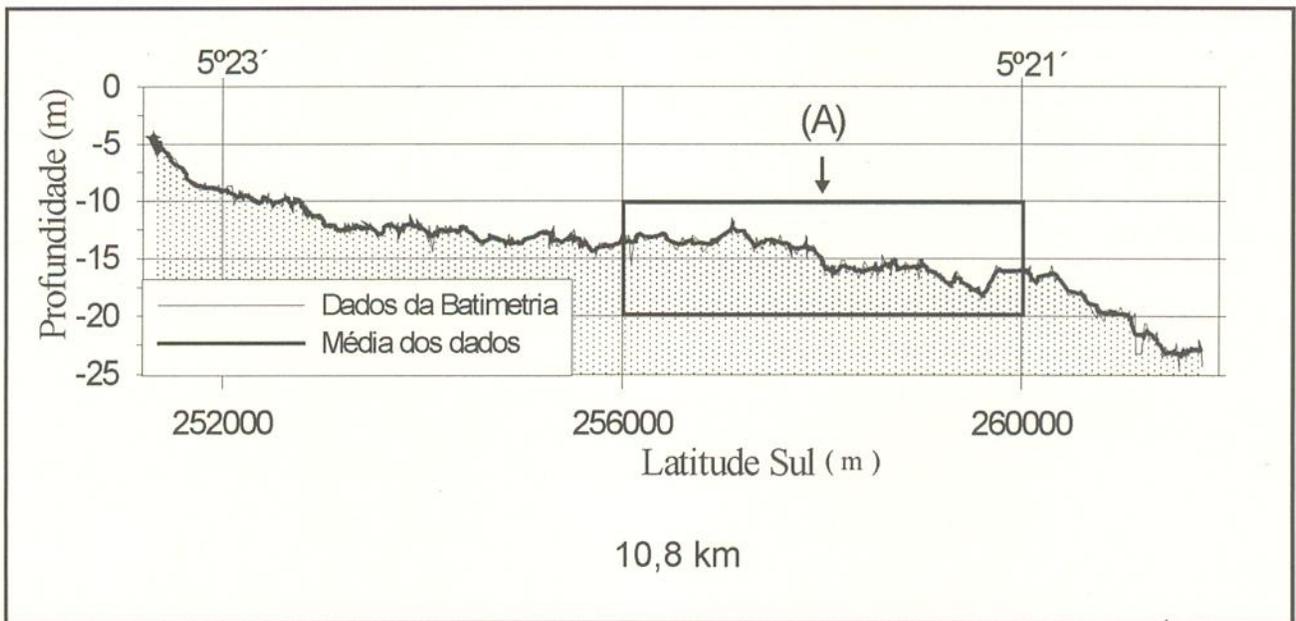


Figura 3 - Perfil 3. Este registro corresponde a um trecho da rota 3, na plataforma ao norte do banco de recifes de corais de Maracajaú, sua extensão é de quase 10,8 km. Exibe uma inclinação suave no sentido do oceano e algumas ondulações (A). Esta inclinação acentua-se a partir de aproximadamente 25 metros de profundidade. Ver localização na figura 1.

Mapeamento dos recifes de corais de Maracajá-RN através de fotografias aéreas de pequeno formato

As fotografias aéreas coloridas de pequeno formato com escala aproximada de 1:5.000 foram utilizadas na identificação das seguintes feições: recifes emersos e submersos, canais submersos e ondulações arenosas.

Através de uma montagem analógica das fotografias aéreas, foi possível identificar recifes emersos e submersos. Além disso, foi possível destacar outras feições de fundo oceânico, tais como: fundo arenoso e canais (sendo um principal – Canal de São Roque).

Os recifes de corais foram identificados nas fotografias aéreas por sua coloração clara (emersos) ou mais escura (submersos), levando em consideração que as fotos foram obtidas entre 10:30h ao 12:00h no

dia 08/02/01 quando a altura da maré estava entre 0,1 e 0,7 metros (DHN). Através dessas fotos, ainda pôde-se fazer uma identificação preliminar das feições subaquáticas, onde a concentração dos cabeços de recifes de corais e as ondulações arenosas são as que mais se destacam.

Área fotografada dos recifes de corais

Descrição das fotografias aéreas:

Foram interpretadas as seguintes feições: recifes de corais emersos, recifes de corais submersos, canais (canal principal de São Roque), ondulações, além de outras feições submersas que não foi possível identificar nessa montagem analógica e que foram denominadas como *demais áreas submersas ainda não classificadas* (Fig. 4).

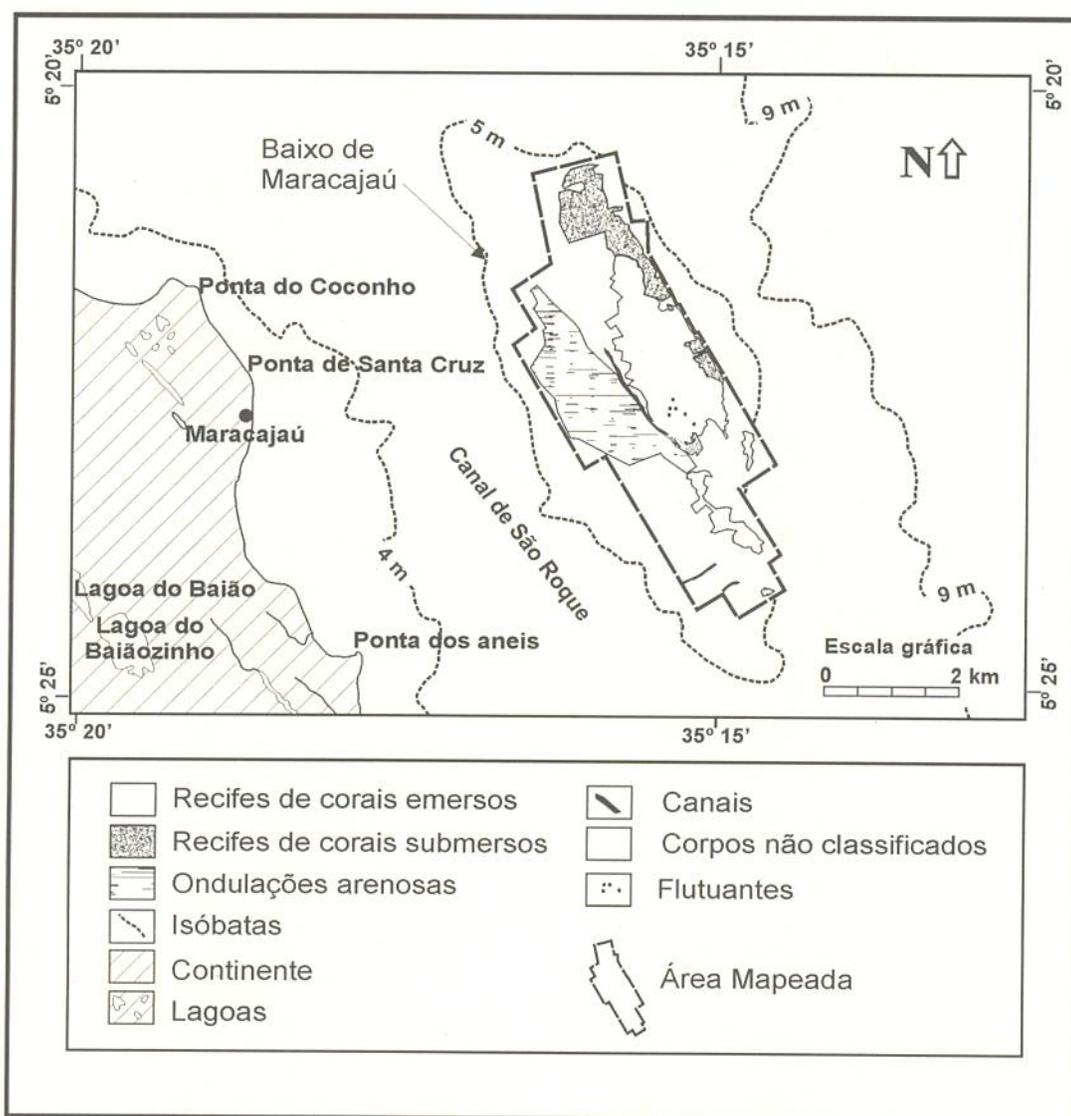


Figura 4 - Mapa de localização da área onde foram adquiridas as fotografias aéreas verticais de pequeno formato. No centro da figura observa-se o Baixo de Maracajá, destacando as principais feições de fundo.

Descrição do primeiro Sobrevôo:

A fotografia aérea do primeiro sobrevôo foi obtida a uma altitude de 2.100 metros com escala aproximada 1:5.000. Neste sobrevôo é possível identificar algumas feições de fundo, onde se destaca a zona de recifes de corais, canais submersos, e a zona de fundo arenoso (Fig. 5).

As feições observadas nesse sobrevôo foram classificadas em: zonas de recifes emersos, zonas de recifes submersos e um canal, que passa entre a zona dos recifes de corais e a zona das ondulações arenosas. Bem próximo a esse canal, encontra-se a zona das ondulações arenosas e as demais áreas submersas encontra-se vetorizada por um polígono de cor branca.

Descrição do quarto Sobrevôo:

Nesse sobrevôo (Fig. 6) as feições que se destacam são as ondulações arenosas. Além destas feições, ainda é possível observar algumas outras até então não identificadas. Possivelmente sedimentos de fundo com tonalidades mais escuras ou até mesmo recifes submersos.

Observa-se que a maior zona submersa encontrada, corresponde à zona das ondulações arenosas. As demais feições encontradas nesse sobrevôo são os recifes (recifes emersos e submersos) e o canal submerso, que é considerado a segunda feição mais relevante apresentada nesse sobrevôo.

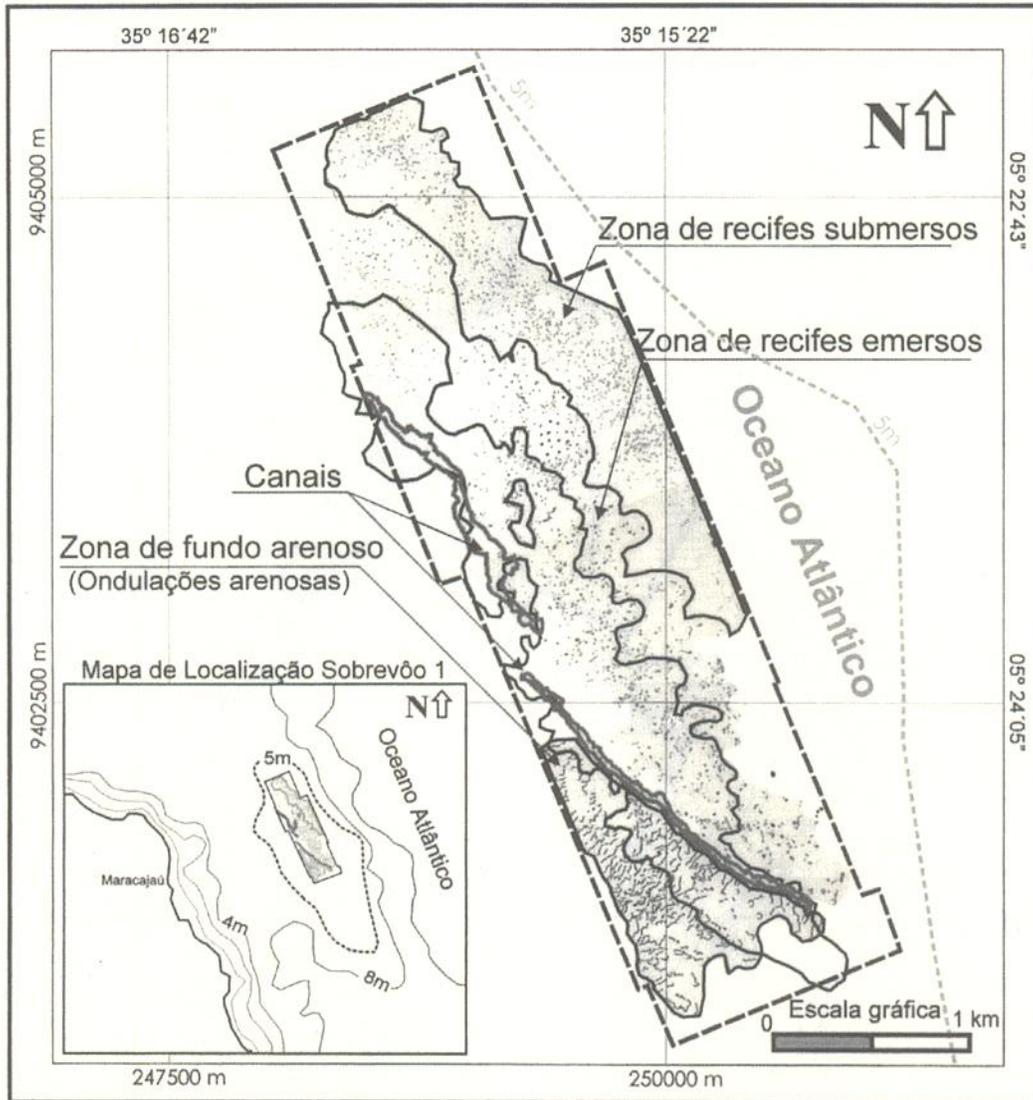


Figura 5 - Sobrevôo 1. As feições observadas a partir das fotos obtidas nesse sobrevôo foram analisadas e desenhadas usando-se interpretação visual. Em seguida os resultados obtidos foram digitalizados. As feições foram classificadas em de recifes de corais emersos e submersos, canal e ondulações arenosas. Destaca-se neste sobrevôo a zona dos recifes de corais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados no Baixo de Maracajaú com o uso de fotografias aéreas de pequeno formato, associados a trabalhos de campo possibilitaram um mapeamento detalhado preliminar de uma série de feições presentes neste ecossistema, foram elas: recifes submersos, recifes emersos, ondulações arenosas e canais. Alguns trechos do Baixo de Maracajaú não tiveram a sua interpretação concluída e, por isto, receberam a denominação de corpos “não classificados”.

Os perfis batimétricos complementaram os trabalhos de coleta de dados em campo e permitiram uma

visualização mais clara das relações morfológicas entre o Baixo de Maracajaú e o relevo submerso adjacente.

Apesar das dificuldades encontradas, principalmente no que concerne à navegação aérea, no georreferenciamento e na mosaicagem das fotos, o uso das fotografias aéreas de pequeno formato mostrou-se uma ferramenta eficaz quando utilizada para o mapeamento e monitoramento de ecossistemas recifais, principalmente se usada em conjunto com outras ferramentas de pesquisa. Seu maior mérito é permitir a visualização, em plano, das relações espaciais entre as várias feições presentes nos recifes de corais.

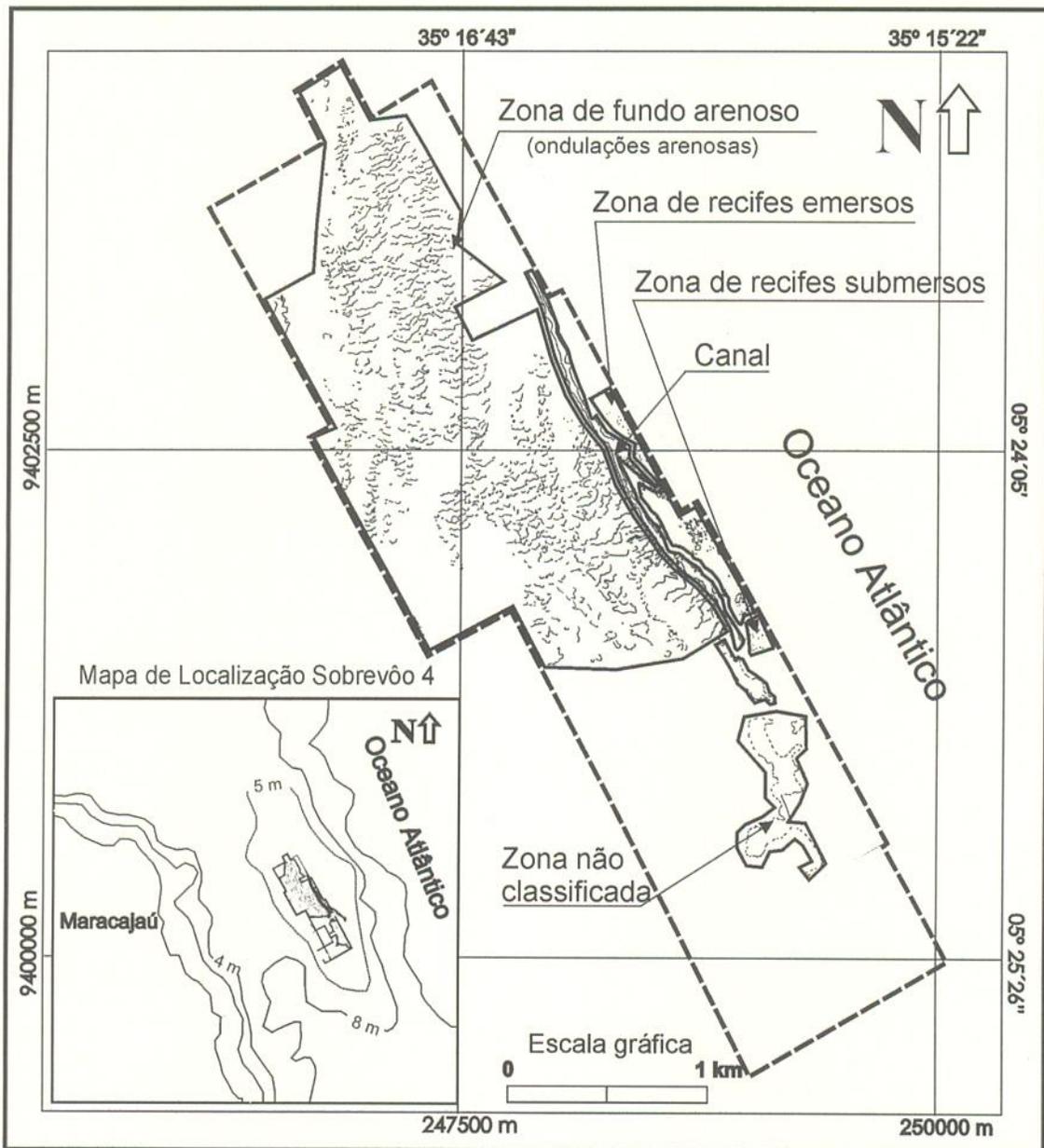


Figura 6 - Sobrevôo 4. A área representada neste sobrevôo tem como destaque à zona de ondulações arenosas. As demais feições encontradas são os recifes de corais emersos e submersos, além de um canal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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**. Porto Alegre. 252 p. Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Costa Neto, L. X. 1997. **Evolução Geológica-Geomorfológica Recente da Plataforma Continental Interna ao Largo do Delta do Rio Açu, Macau-RN**. Rio de Janeiro. 212 p. Dissertação de Mestrado em Geociências. Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 1971. **Carta Náutica do Canal de São Roque**. 1:50.000.2ª ed. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 2001. **Tabuas das marés para o ano de 2001 da costa norte do Brasil**. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil.
- Fernandes, T. 2000. Recifes de Corais Ameaçados. Impacto da Ação Humana Gera Iniciativas de Conservação. **Revista Ciência Hoje** www.uol.com.br/cienciahoje/chdia/n277.htm.
- IBAMA *et. al.* 2000. **Corais**. <http://www2.ibama.gov.br/programas/centros/cepene/corais.htm>.
- Lins, J. 1999. **Caracterização dos Ecossistemas Costeiros dos Estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí**. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. www.bdt.org.br/workshop/costa/nordeste.
- Magliorca, A. 1987. **Glossário de Oceanografia**. São Paulo. 353 p.
- Suguió, K. 1992. **Dicionário de Geologia Marinha: Com Termo Correspondente em Inglês, Francês e Espanhol**. São Paulo. 171 p.
- Testa, V. & Bosence, D.W.J. 1999. Large-scale bedform generation and carbonate siliciclastic interactions on the tropical shelf of northeast Brazil. **Sedimentology**, **46**: 279-302.
- U.S.Coral Reef Task Force. November 1999. Coral Reef Mapping Implementation Plan (2nd Draft), **Mapping and Information Synthesis Working Group**. Washington, DC: NOAA and USGS (Work Group Co-chairs). 17p.
- Vianna, M. L.; Cabral, A. P. & Gherardi, D. F. M. 1993. TM – Landsat Imagery Applied to the Study of the Impact for Global Climate Change on a Tropical Coastal Environment During the Last Deglaciation. **Inst. Journal of Remote Sensing** **14**(14): 2971–2983.