

## **BASE DE DADOS EM SIG APLICADA À MODELAGEM AMBIENTAL EM RECIFES DE CORAL: RECIFE DE FORA, PORTO SEGURO, BAHIA, BRASIL**

*GIS Database Applied to Environmental Modeling in Coral Reef: Recife de Fora,  
Porto Seguro, Bahia, Brazil*

**Renata Carolina Mikosz Arantes<sup>1</sup> & José Carlos Sícoli Seoane<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ  
Departamento de Geologia**

Av. Athos da Silveira Ramos, 275, Bloco G, Cidade Universitária, 21941-916, Rio de Janeiro, Brasil  
arantesre@hotmail.com, cainho@geologia.ufrj.br

*Recebido em 1 de Agosto, 2017/Aceito em 7 de Novembro, 2017  
Received on August 1, 2017/ Accepted on November 7, 2017*

### **RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo atualizar os aspectos fisiográficos, sedimentológicos e biológicos do Parque Municipal Marinho do Recife de Fora (PMMRF), localizado no município de Porto Seguro, Bahia, Brasil, através da construção de um modelo ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento. Foi realizado um levantamento batimétrico empregando um sistema integrado de ecossonda e GPS, com resolução da célula de *grid* de 10 m. Para gerar o modelo batimétrico das áreas submersas do PMMRF foram testados diferentes métodos de interpolação *raster* sendo considerado o *Radial Basis Function* por quadrante o que melhor descreve a batimetria. A composição de uma base cartográfica, com modelo batimétrico e imagem de satélite *QuickBird*, serviram como base para a definição do desenho amostral. Este contou com um total de 234 estações, posicionadas a cada 400 m em malha regular acrescida de pontos a cada 400 m ao longo da quebra de relevo do topo recifal, delimitada pela declividade do modelo batimétrico e pela interpretação da imagem. Nas estações, foram coletadas amostras de sedimento e informações sobre a distribuição das comunidades. O PMMR apresenta alta complexidade ambiental sob influência de aspectos hidrodinâmicos, geomorfológicos, sedimentológicos e ecológicos. A resolução espacial do modelo contemplou o mapeamento de oito feições geomorfológicas (face exposta, face abrigada, platô recifal, piscinas, canal, recifes em mancha, praias de areia, cabeços algálicos) que compõem a área recifal. A sedimentação é caracterizada pela deposição de sedimentos polimodais finos, muito mal selecionados, com distribuição granulométrica platicúrtica a mesocúrtica e assimetria positiva a muito positiva. O grau de seleção e o fato de predominarem amostras polimodais indicam um ambiente típico de plataforma, o qual está sujeito à influência de sedimentos provenientes de outras áreas, carregados pelas correntes de deriva litorânea, e que nem sempre são contemporâneos. A morfologia do recife também influenciou a distribuição dos sedimentos encontrados, visto que diversas feições escavadas como piscinas e canais, podem reter material grosso ou fino. Sendo assim, o ambiente de sedimentação do Recife de Fora é de baixa energia, resultante da ação das marés, de correntes da deriva litorânea. Além disso, a morfologia estrutural do recife serve ainda como barreira para a ação remobilizadora das ondas, ou como armadilhas de sedimento durante períodos de marés vazantes. A análise mineralógica da composição do sedimento superficial do PMMRF demonstra que a área é caracterizada pela predominância de sedimentação carbonática sobre terrígena. O mapeamento de comunidades indicou que o PMMRF abriga uma fauna típica de ambientes coralíneos brasileiros, com a presença de cinco espécies formadoras. A classificação de habitats do PMMRF engloba ambientes

compostos por corais, zoantídeos, algas e gramas marinhas. Esse complexo ecossistema recifal é composto por um mosaico de habitats para o qual foi construído um banco de dados georreferenciados, incluindo vídeos e fotos.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento, Recifes de Coral, Habitats.

## ABSTRACT

The aim of this study was to recognize the current physiographic, sedimentological, and biological aspects of Parque Municipal Marinho do Recife de Fora (PMMRF), located in the city of Porto Seguro, Bahia, Brazil, by building an environmental model using GIS techniques. Bathymetric survey using an integrated GPS and echo sounder was conducted, with a cell grid resolution of 10 m. To generate the bathymetric model of the submerged areas, different raster interpolation methods were tested, with the Radial Basis Function by quadrant considered as the most appropriate to describe the bathymetry. The composition of a base map includes a bathymetric model and a *QuickBird* satellite image, serving as the basis for sampling design. A total of 234 sampling stations, positioned every 400 m, were planned for collection of community distribution data and sediment. The PMMRF is environmentally complex and subject to the interaction of hydrodynamic, geomorphological, sedimentological and ecological factors. The spatial resolution of the model allows the mapping of eight geomorphological feature types (forereef, backreef, reef flat, pools, channel, patch reefs, sandy beaches, algal reefs). Sedimentation is characterized by deposition of fine polymodal, very poorly sorted sediments, with mesokurtic to platikurtic particle size distribution, and positive to very positive asymmetry. These characteristics are typical of carbonate shelf environments, influenced by sediment transported by longshore currents from other areas, which are not always contemporary. The reef morphology also influenced the distribution of sediments, as features as pools and canals can retain coarse and fine material. The sedimentary environment of Recife de Fora is characterized by low energy, resulting from the tidal action of the longshore currents. Furthermore, the structural morphology of the reef also serves as a barrier to the action of wave transport, and as sediment traps during low tides. Mineralogical analysis of the surface sediments characterizes the area as dominated by carbonate sedimentation. The mapping of communities indicated that the PMMRF shelters a fauna typical of Brazilian coral environments with the presence of five reef-forming species. Habitat classification includes environments dominated by corals, zoanthids, algae and seagrass. This complex reef ecosystem is composed of a mosaic of environments, for which a georeferenced database was built, including videos and photos.

**Keywords:** GIS, Coral Reefs, Habitats.

## 1. INTRODUÇÃO

Os recifes de coral são ecossistemas marinhos altamente diversificados, ricos em recursos naturais e de grande importância ecológica, econômica e social (FERREIRA & MAIDA, 2007). Esses ecossistemas abrigam recursos pesqueiros importantes, atuam na proteção da orla marítima e contribuem com seus recursos na economia de várias comunidades tradicionais costeiras (MMA, 2002). Os ambientes recifais são considerados os equivalentes marinhos das florestas tropicais, pois apresentam uma alta complexidade estrutural e elevada diversidade de espécies (WILSON, 1992).

Os corais podem ser encontrados em muitas regiões dos oceanos, mas as construções biogênicas, chamadas de recifes, ocorrem preferencialmente em áreas tropicais onde predominam condições ambientais específicas, tais como água quente, alta intensidade luminosa e baixas variações climáticas (THURMAN

& BURTON, 2001). Os recifes biogênicos correspondem a cerca de 15% do fundo marinho entre 0 e 30 m de profundidade, ou seja, cobrem 0,2% da área oceânica mundial, correspondente a aproximadamente 600.000 km<sup>2</sup> (VILLAÇA, 2002).

A complexidade espacial e ecológica dos recifes de coral e as complicadas relações sociais e econômicas resultantes da convergência de uma infinidade de grupos de “tomadores de decisão” fazem com que o planejamento e a gestão destes ecossistemas sejam uma tarefa particularmente desafiadora (BELLO-PINEDA *et al.*, 2006). Tecnologias como sistema de informações georreferenciadas (SIG) e sensoriamento remoto (SR) provaram ser poderosas ferramentas para auxiliar no desenvolvimento de modelos representativos das áreas recifais em todo o mundo (BELLO-PINEDA *et al.*, 2005). Aplicações de SIG e SR em ambientes marinhos incluem uma infinidade de objetivos, tais como mapeamento de habitats, o monitoramento

através da detecção de mudanças, mapeamento de batimetria, a gestão e avaliação de estoques pesqueiros, dentre outros (GREEN *et al.*, 2000).

O presente trabalho tem como objetivo classificar e mapear diferentes tipos de habitats ao longo do Parque Municipal Marinho do Recife de Fora (PMMRF, localizado no município de Porto Seguro, sul do Estado da Bahia), através da construção de modelos ambientais, utilizando técnicas de geoprocessamento, a partir da integração de dados de batimetria, imagens de satélite de alta resolução, de distribuição das comunidades biológicas e do estudo da dinâmica sedimentar. A geração de modelos representativos, como por exemplo, mapas digitais georreferenciados, permite a identificação espacial dos diferentes tipos de áreas segundo suas características bióticas e abióticas. Uma vez que as áreas estão representadas de forma precisa, as informações geradas tornam-se úteis para os gestores de Unidades de Conservação (UCs) elaborarem planos de manejo melhor embasados.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Levando em consideração a complexidade dos ambientes recifais, foi utilizada uma combinação de diferentes metodologias e em escalas distintas para compor uma avaliação apropriada do ecossistema, possibilitando a criação de diferentes modelos ambientais do Recife de Fora, conforme descrito a seguir.

### 2.1 Base Cartográfica

Uma base cartográfica do tipo carta imagem, composta por imagem de satélite, *QuickBird* em formato *GEOTIFF*, com sistema geodésico de referência WGS-84, projeção UTM, zona 24S, contendo área de 25 km<sup>2</sup> que abrange e circunda o PMMRF foi usada para o planejamento amostral, coleta de dados e análises espaciais. O imageamento do satélite ocorreu no dia 18 de agosto de 2006 13:11:20 (hora local) no início da tarde. A imagem possui 4 bandas multiespectrais (*RGB + VNIR*) com resolução espacial de 2,40 m e banda pancromática com resolução de 0,64 m; a resolução radiométrica é de 11 bits. Adicionalmente, uma imagem do satélite *WorldView-2* igualmente em formato *GEOTIFF*, com sistema geodésico de referência WGS-84, projeção UTM, zona 24S, contendo área de 10,5

km<sup>2</sup> da porção mais costeira do PMMRF foi usada para fotointerpretação dos tipos de fundo. A data da aquisição é 23 de dezembro de 2009 12:53:55 (hora local). A imagem possui 8 bandas multiespectrais (*RGB + VNIR*) com resolução espacial de 2,00 m e banda pancromática com resolução de 0,50 m; a resolução radiométrica é de 11 bits. Ambas as imagens foram obtidas em momento de maré cheia, cerca de 1m acima do nível médio do mar na região (DHN, 2017).

#### 2.1.1 Levantamento Batimétrico

Para a definição da malha amostral foram feitas simulações de modelos batimétricos do PMMRF com base nos dados da carta digital – ENC # 1205 - Baías Cabralia e de Porto de Seguro da Marinha do Brasil (DHN, 2007). As resoluções da célula do *grid* de 10, 12,5 e 50 m foram testadas, e a resolução de 50 m foi considerada suficiente para a determinação detalhada das feições morfológicas da área recifal. A malha definida contou com um espaçamento de 50 m entre linhas, cada uma com cerca de 4 km de extensão, totalizando 109 linhas paralelas sentido leste - oeste, dentro dos limites do Parque (Figura 1).

Para a coleta dos dados foram utilizados os aparelhos GPS Garmim 276C, com precisão média de 15 m, com cabos conectores e ecossonda Garmin GSD-21 acoplados a uma lancha *Runner* de 19 pés. A ecossonda possui dois feixes de ondas sonoras com diferentes frequências para aquisição de dados, 50 kHz e 200 kHz. Como padrão, a 15 m de profundidade o feixe de 50 kHz cria um cone de 40° com uma área de cobertura de 10 m, enquanto que o feixe de 200 kHz cria um cone de 10° com uma área de cobertura de 3 m (GARMIN, 2007).

Para o levantamento foi utilizada uma combinação dos dois feixes, e a amostra foi coletada com um espaçamento médio de 10-12 m entre pontos, para evitar a sobreposição ou ausência de dados. Para a comunicação do conjunto GPS e ecossonda com o computador foi utilizado o *software Mapsourse* da Garmim, cuja conexão com o computador foi feita através de porta USB. Para posterior tratamento dos dados foi usado o pacote *ArcGIS – ArcMap; ArcScene e ArcCatalog*. Detalhes da metodologia, seus motivos, vantagens e limitações são discutidos em De Araújo *et al.* (2015).

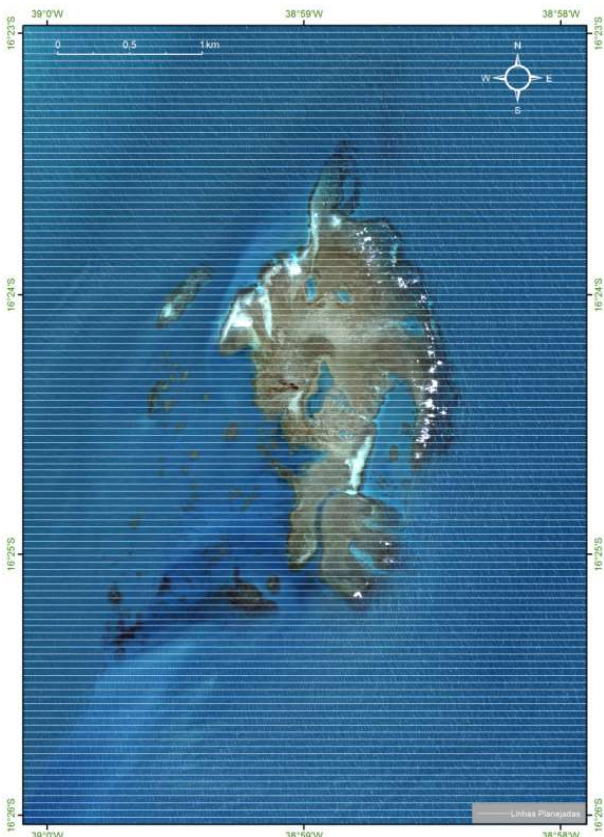


Fig. 1 - Total de linhas planejadas para o levantamento batimétrico das áreas emersas e submersas do PMMRF. Plano de fundo: imagem de satélite QuickBird. O retângulo demarcado em vermelho indica a área recoberta pela imagem World View 2 (Fig. 15).

Foram percorridos 440 km dentro dos limites do PMMRF com registros coletados a cada 10 m, totalizando 47.288 medidas de profundidade. O *output* do GPS, coordenadas e profundidade dos pontos amostrados, foi carregado em uma planilha Excel para correção das informações. Os dados são originalmente relativos à altitude do elipsoide referência. Desta forma, as altitudes geométricas foram convertidas em ortométricas, a profundidade do sensor na quilha da lancha em relação à superfície do mar foi compensada (30 cm), e por fim, realizada a correção de maré. Esta correção foi feita a partir de uma curva senoidal construída com os dados da tábua de maré disponível no sítio da DHN (2017) para a região de Ilhéus.

Por conta de diferenças abruptas de profundidade alguns dos pontos não foram registrados e sua profundidade ficou igual a zero. Para reduzir as discrepâncias e ruídos do modelo, os registros nulos foram substituídos

pelo valor médio dos quatro pontos circundantes. Os valores de profundidade foram classificados em intervalos de 0,5 m.

### 2.1.2 Modelo Batimétrico

Para gerar o modelo batimétrico das áreas submersas do PMMRF foram testados diferentes métodos de interpolação *raster*, processo utilizado para prever valores para células vazias, onde não há pontos amostrados. Foram testadas técnicas determinísticas, que criam superfícies baseadas nas medidas reais dos pontos ou através de fórmulas matemáticas, e técnicas geoestatísticas, baseadas em cálculos estatísticos dos dados de cada ponto da malha para modelagem mais avançada de superfícies, que podem incluir grau de certeza e precisão (DRESSLER, 2009). Os métodos testados foram: *Inverse Distance Weighting* (IDW), *Spline*, *Krigagem*, *Natural Neighbor* e *Topo to Raster*.

Além dos métodos de interpolação *raster*, também foi utilizada a ferramenta *Geostatistical Wizard* encontrada na extensão *Geostatistical Analyst*. A família de métodos *Radial Basis Function* (RBF), que inclui diversos tipos de *Spline*, permite modelar anisotropias (assimetrias) através da alteração do comprimento dos eixos da elipse que representa a área de influência das amostras, número de vizinhos envolvidos no processo e o parâmetro de suavidade da superfície (ESRI, 2017). A partir do modelo batimétrico, exibido com exagero vertical compatível com a feição a ser ressaltada, foram criados mapas temáticos auxiliares como *Hillshade* (sombreamento do modelo digital por iluminação artificial direcionada) e mapa de declividade.

### 2.1.3 Modelo Geomorfológico

O modelo geomorfológico 3-D da área do PMMRF criado no *ArcScene* 9.3 foi confeccionado usando técnicas de fotointerpretação resultantes da sobreposição de imagens *QuickBird* e do Modelo Digital do Terreno (MDT), gerado a partir do modelo resultante da interpolação.

## 2.2 Desenho para amostragem por mergulho autônomo

Foi construído um *grid* com estações para nortear a coleta de sedimento e o mapeamento das

comunidades, através de mergulho autônomo. O critério utilizado na definição das estações foi construir uma malha regular com pontos espaçados a cada 400 metros ao longo de toda a área do parque. Buscando intensificar as amostragens nas estruturas recifais, foi montado um segundo conjunto de estações espaçadas a cada 400 m sobre as bordas recifais. Dessa forma, o *grid* teórico contou com 234 pontos descritos em números sequenciais de 001 a 234; deste *grid* teórico um total de 141 estações foram amostradas (Figura 2).

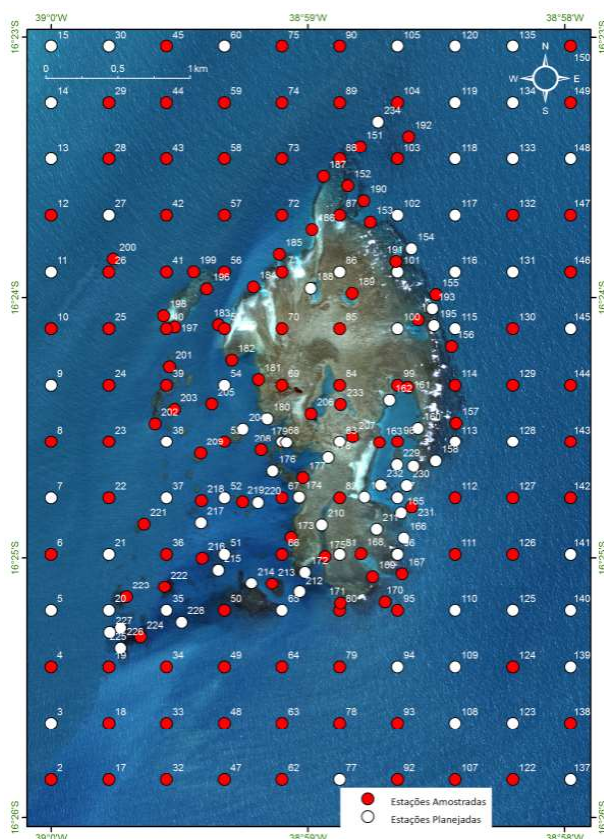


Fig. 2 - Mapa da área do PMMRF indicando o desenho amostral utilizado para o mapeamento das comunidades e coleta de sedimento. Os pontos brancos representam as 234 estações planejadas e os pontos vermelhos indicam as 141 estações amostradas.

### 2.2.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica para determinar as frações entre 0,002 e 500  $\mu\text{m}$  foi feita no analisador de partículas a laser CILAS 1064 e em seu *software The Particle Expert*. Frações acima de 500 *microns* foram descartadas, pois nas poucas amostras em que apareceram eram insignificantes (abaixo de 1%), sendo compostas

apenas por conchas.

O tratamento estatístico das amostras foi feito no *software Gradstat* e seguiu a escala de tamanho de classificação granulométrica adotada por Wentworth (1922). Nesta classificação os tamanhos dos grãos são expressos em  $\phi$  ( $\Phi$ ), que corresponde ao logaritmo negativo de base 2 do valor da granulometria expresso em milímetros.

A partir do conhecimento dos valores em  $\phi$  ( $\phi$ ) de cada amostra, foram utilizados os cálculos dos parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica definidos por Folk e Ward (1957), para obtenção dos valores da média ( $Mz$ ), do desvio padrão ( $\sigma I$ ), da assimetria ( $SkI$ ) (Tabela 4) e da curtose normalizada ( $K'G$ ).

### 2.2.2 Análise Mineralógica

A composição mineralógica de amostras selecionadas a partir dos tipos de fundo amostrado levou em conta a distribuição espacial destas e o modelo geomorfológico, de modo a recobrir as principais feições da área de estudo. A análise foi feita através de análise difratométrica com difratômetro de raio-X *Bruker-AXS D5005*. O processo de preparação das amostras contou com peneiramento (2,0 mm), secagem, desagregamento, quartejamento, pesagem e pulverização.

### 2.2.3. Mapeamento das Comunidades

A matriz biológica foi criada através do levantamento da fauna e flora presentes nas comunidades marinhas locais, com ênfase na distribuição dos corais. Para tanto, foram definidos os grupos a serem levantados, considerando sua importância dentro da comunidade. Os principais grupos são: cnidários, algas marinhas e fanerógamas marinhas (gramas marinhas).

Os representantes do grupo Cnidaria, aqui chamado de forma generalista de corais, incluem espécies da Classe Anthozoa, Sub Classe Hexacorallia e Sub Classe Octocorallia, e Classe Hydrozoa, Família Milleporidae. No que diz respeito à flora, definiu-se que o levantamento se restringisse aos grupos funcionais. Também foram incluídas as duas espécies de fanerógamas marinhas (gramas marinhas) que ocorrem na região.

A metodologia para o mapeamento da distribuição espacial dos organismos foi a

mesma utilizada por Castro *et al.*, (2006), em levantamento efetuado no banco dos Abrolhos, ao sul da Ponta do Corumbau - BA. Estimativas visuais e sistema de hierarquização semi quantitativo, contemplando as categorias raro-esparso, comum, 1-5%, 5-25%, 25-50% e > 50% de cobertura, foram empregados para determinação da distribuição espacial das espécies (adaptado de BRAUN-BLANQUET, 1966 *apud* SCHEER, 1978).

Os transectos, com 20 m de comprimento, foram analisados através de mergulho autônomo, cada um cobrindo uma área total de cerca de 60 m<sup>2</sup>. Foram capturadas imagens de foto e vídeo para cada transecto.

### 2.3 Modelagem Ambiental

A modelagem ambiental do Recife de Fora foi realizada no programa *ArcGIS* utilizando todos os dados coletados, organizados em banco de dados. A classificação de habitats contou com duas abordagens distintas: classificação de habitats automatizada e fotointerpretação dos habitats através de imagem de satélite, conforme descrito a seguir.

#### 2.3.1 Banco de Dados

O banco de dados armazena o objeto de forma relacional, onde um tema é composto de entidades e cada uma delas pode estar vinculada a atributos que a caracterizam. Uma entidade é representada por um conjunto de atributos. Atributos são propriedades descritivas de cada membro de um conjunto de entidades (SILBERSCHATZ *et al.*, 1999) As informações estão dispostas em tabela formada por linhas e colunas, onde cada linha representa uma entidade singular (estação) e cada coluna um atributo desta entidade. O banco de dados foi criado no programa Excel, e depois importado para o *ArcMap* onde foi criado um *geodatabase* (.mdb).

O banco de dados conta com um total 97 atributos referentes aos mais diversos resultados gerados. Para facilitar a descrição, os atributos foram agrupados em blocos cuja abordagem tratou de um tema específico: informações gerais, mineralogia, granulometria e percentual de cobertura das espécies. Além dos dados gerados o banco armazena um total de 50 vídeos e cerca de 1200 fotos (agrupadas em pranchas fotográficas).

#### 2.3.2 Classificação de Habitats

O sistema de classificação de habitats adotado é uma adaptação do esquema de Mumby e Harbone (1999) para os recifes de Belize, consistindo em um sistema hierárquico que emprega critérios organizados em níveis distintos. Os critérios selecionados para se determinar os tipos de habitat no PMMRF foram o substrato, à geomorfologia e a componente bentônica.

A classificação geomorfológica foi feita com base nas feições mapeadas durante a análise do modelo digital geomorfológico. O tipo de substrato foi definido de acordo com os resultados da análise granulométrica e com base nas informações coletadas durante os levantamentos de campo. A classificação bentônica considerou a composição biológica da comunidade bentônica aliada aos seus respectivos percentuais de cobertura. Para a comparação da composição de espécies do Filo Cnidaria entre locais foi realizada uma análise de agrupamentos, feita através de matriz de similaridade utilizando o coeficiente de *Bray-Curtis*, no do programa estatístico PAST versão 2.16. (HAMMER *et al.*, 2001), levando-se em consideração os percentuais de cobertura de todas as espécies. Os demais habitats foram definidos de acordo com os percentuais de cobertura e distribuição das espécies resultantes do mapeamento de comunidades (CASTRO *et al.*, 2006)

#### 2.3.3 Fotointerpretação dos Habitats em imagem *WorldView 2*

Para a fotointerpretação, foram utilizados *Triplets* RGB (uma combinação de três bandas quaisquer exibidas em monitor ou impressa) contendo a nova banda espectral do *WorldView-2*, “*Coastal Blue*”, que tem penetrabilidade na coluna d’água, e foi utilizada no canal B (*Blue*; azul) dos *triplet*. A Tabela 1 resume as características do sensor. As combinações RGB 321, 421 e 531 foram testadas.

Um deslocamento simples de 20.0 m para oeste e de 1.0 m para norte foi suficiente para georreferenciar a imagem *WorldView 2* no formato recebido aos demais dados antes mencionados. A área de interseção entre as cenas *WorldView 2*, *QuickBird* e a batimetria tem cerca

de 10.5 km<sup>2</sup> de área no PMMRF.

O *triplet* RGB 321 (Red, Green, Blue) da cena *QuickBird* previamente discutido foi usado para comparação com os *triplets* selecionados da cena *WorldView 2* e com um processamento do tipo “*decorrelation stretch*”.

A fotointerpretação foi executada diretamente no SIG, pela tela do monitor, com zoom entre as escalas 1:2,500 e 1:5,000. Os *triplets* selecionados foram visualizados alternadamente, por vezes com transparência sobre outros dados como o Modelo Digital de Batimetria, obtido

por levantamento por ecossonda, seu *Hillshade* (sombreado a N45W/45°) e o mapa de declividades dele derivado (SEOANE *et al.*, 2012), gerando os polígonos de cada tipo de habitat.

Assim, foram consideradas as variáveis geomorfológicas além da própria batimetria, representadas por isóbatas selecionadas, mapa de declividades classificadas, e ainda os tipos de fundo registrados nos mergulhos, por videografia e anotações de campo contidas no SIG, generalizados por modelo Inverso da Potência da Distância.

Tabela 1: bandas espectrais do *WorldView 2* com limites de comprimento de onda inferiores, superiores e centrais de cada banda

Banda	Comp. de onda centro (nm)	Borda inferior da banda (nm)	Borda superior da banda (nm)
Pancromática*	625	450	800
1 Azul Costeiro	425	400	450
2 Azul	480	450	510
3 Verde	545	510	580
4 Amarelo	605	585	625
5 Vermelho	660	630	690
6 Verm. Borda*	725	705	745
7 NIR 1*	835	770	895
8 NIR 2*	950	860	1040

(Digital Globe, 2011)

\*não utilizados neste artigo

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A combinação de diferentes abordagens é importante para a elaboração de diagnósticos ambientais consistentes que podem ser usados como base para propostas de zoneamento e manejo em UC’s marinhas. Os resultados indicam que a área do PMMR apresenta alta complexidade ambiental sob influência de aspectos hidrodinâmicos, geomorfológicos, sedimentológicos e ecológicos, conforme descrito a seguir.

#### 3.1 Base Cartográfica

Na carta imagem, a imagem *QuickBird* teve as bandas do visível processadas de modo a realçar o contraste, e foi posteriormente fundida com a imagem pancromática, através da transformada de Brovey (ESRI, 2012) resultando

num *pixel* de 60 cm. O georreferenciamento foi aferido pelos pontos de campo (estações) reconhecíveis na imagem, e o erro sempre se deu dentro dos limites do *pixel*. A imagem resultante (Figura 3) foi utilizada como pano de fundo para a fotointerpretação, análise de distribuição espacial e confecção de mapas e figuras.

##### 3.1.1 Levantamento Batimétrico

Os resultados do levantamento batimétrico demonstram que na área do PMMRF a profundidade variou entre +1 e -15,5 m. Quando considerada a profundidade medida durante os trabalhos de campo, independentemente da maré, a máxima registrada foi de -19 m. Perfis batimétricos gerados para o norte, centro e sul do recife ressaltam as diferentes morfologias e a rugosidade da superfície (Figura 4).



Fig. 3 - Imagem de satélite QuickBird após georreferenciamento e processamento das bandas do visível, utilizada como plano de fundo para a fotointerpretação, análise de distribuição espacial e confecção de mapas e figuras.

Além do recife principal que fica emerso durante períodos de maré baixa, os resultados indicam que ocorrem diversas outras feições dentro dos limites do PMMRF.

Ao planejar o desenho amostral do levantamento batimétrico é necessário considerar a necessidade de detalhamento confrontada com as limitações do equipamento disponível. No Brasil, alguns trabalhos publicados utilizaram levantamentos batimétricos para mapear feições recifais: Lima (2002), Camargo *et al.* (2007), Santos *et al.* (2007), Araújo (2014) e Araújo e Amaral (2016). O objetivo dos autores foi observar as diferenças morfológicas da plataforma continental interna, através da análise de perfis batimétricos, com a finalidade de mapear a presença de formações recifais orgânicas (recifes de coral) ou inorgânicas (recifes de arenito).

Lima (2002) posicionou 9 transectos na área de estudo sem espaçamento regular. Os demais autores realizaram mapeamentos em larga escala, sendo que Camargo *et al.* (2007) e Araújo (2014) utilizaram um espaçamento entre linhas de 500 m enquanto que Santos *et al.* (2007) adotaram um espaçamento de 1 km. No caso do levantamento batimétrico realizado no PMMRF, as linhas espaçadas a cada 50 m com registros a cada 10 m permitiram a geração de um Modelo de Elevação Digital com célula de 10 m e erro compatível.

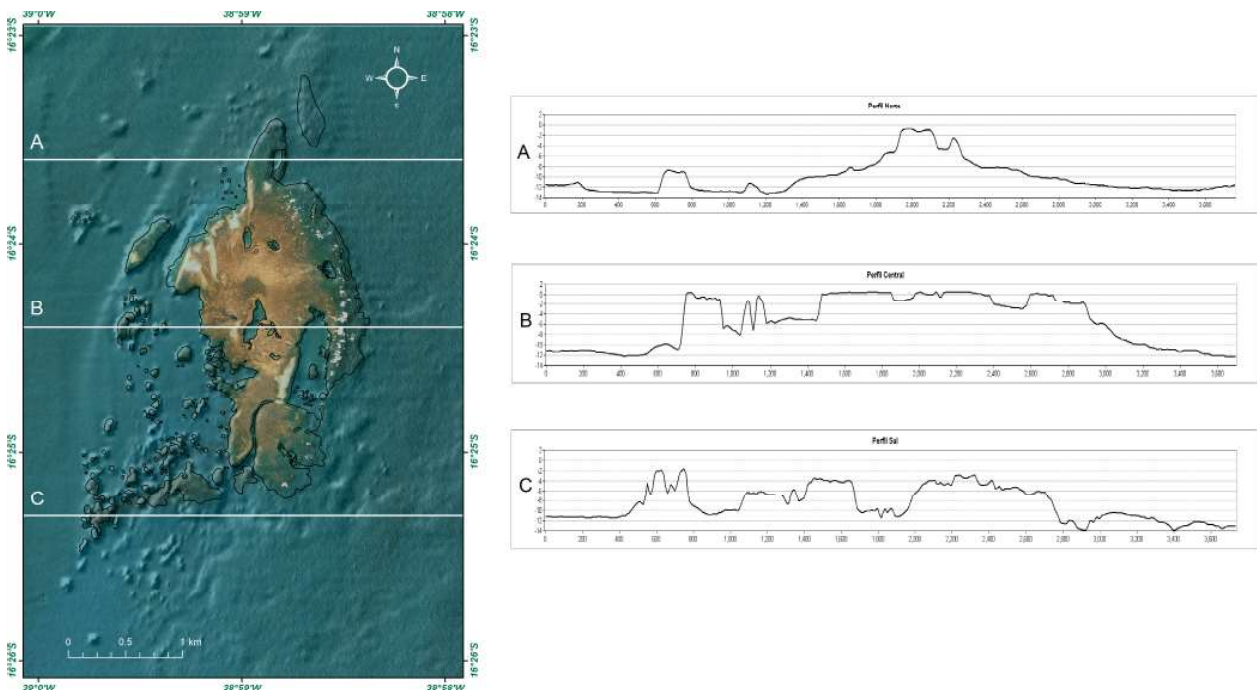


Fig. 4 - Perfis batimétricos das porções norte, central e sul do PMMRF mostrando as diferentes feições encontradas na área.



A obtenção da profundidade usando o ecobatímetro de monofeixe é a mais utilizada quando é levada em consideração a relação custo-benefício para levantamentos nas áreas da plataforma continental interna adjacente (AYRES & NETO, 2004). No caso de levantamentos em áreas recifais de plataforma, o ecobatímetro de monofeixe se mostrou adequado uma vez que para a sua utilização não é necessária uma embarcação de grande porte, o que possivelmente inviabilizaria a navegação sobre as formações. O produto resultante deste tipo de levantamento é uma malha de pontos tridimensionais que, por si só, não é capaz de gerar diretamente a superfície do fundo do mar imageado (SILVEIRA, 2010). Para reproduzir superfícies que representem a morfologia do fundo, é necessário o emprego de técnicas de interpolação.

### 3.1.2 Modelo Batimétrico

Os interpoladores são funções matemáticas usadas na construção de superfícies contínuas a partir de um conjunto de pontos coletados (BURROUGH & MCDONNELL, 1998 *apud* SILVEIRA, 2010) e são utilizados para adensamento de uma amostra que não cobre todo o domínio de interesse.

A aplicação de diferentes métodos de interpolação resultou em superfícies que nem sempre são capazes de ressaltar algumas das feições existentes no ambiente. O valor de saída para cada célula usando o método IDW é limitado pelo intervalo de dados usados para a interpolação. Seus resultados não apresentam os valores reais de profundidade, mas sim a média ponderada destes em relação à distância, o que resulta no achatamento da superfície (Figura 5A). O método *Spline* é um modelo que estima valores usando funções matemáticas que minimizam a curvatura total da superfície (SILVEIRA, 2010). O resultado é uma superfície suavizada que passa exatamente pela medida do ponto. O método *Regularized Spline* gerou superfícies enrugadas (Figura 5B) e o *Tension Spline* gerou uma superfície visualmente próxima à realidade, porém inferior ao ser comparado com outros métodos (Figura 5C).

A *Krigagem* é um método que assume que a distância ou direção entre dois pontos reflete uma correlação espacial, que pode ser usada para explicar variações na superfície, determinada a

partir do semi-variograma. É fixada uma função para um número específico de pontos, ou para todos os pontos dentro de um raio de ação, para determinar o valor de saída para cada local da superfície (Figura 5D). Este método é mais apropriado quando se conhece a distância ou direção de correlação espacial dos dados. Neste caso, o resultado apresentou contornos um pouco mais suavizados do que nos outros métodos, deixando a informação de profundidade menos confiável.

O *Natural Neighbor* foi o método mais simples que pode ser usado tanto para interpolação quanto para extrapolação. É mais um método que utiliza médias ponderadas, e a equação básica usada para interpolação é idêntica àquela usada para interpolação com IDW. Este método pode suportar com eficiência grandes quantidades de dados (Figura 5E). Por fim, *Topo to Raster* é um método de interpolação baseado no programa ANUDEM, desenvolvido por Hutchinson (1988, 1989). Este método garante que a superfície gerada passe exatamente pelos valores dos pontos da malha de dados. Dentre os modelos da ferramenta Interpolação *Raster* testados o método utilizado que resultou em um modelo mais robusto foi o *Topo to Raster*, pois apresentou a melhor representação para a superfície real (Figura 5F).

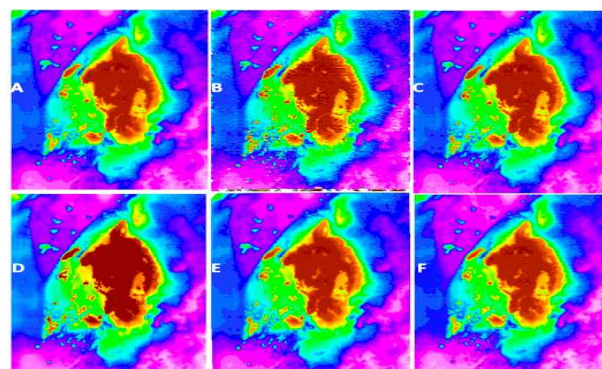


Fig. 5 - Superfícies resultantes dos diferentes métodos de interpolação. A) IDW; B) *Regularized Spline*; C) *Tension Spline*; D) *Krigagem*; E) *Natural Neighbor*; F) *Topo to Raster*.

A ferramenta *GeoStatistical Wizard* (ESRI, 2012) possui outros métodos de interpolação, como, por exemplo, a família de métodos *Radial Basis Function* (RBF) que inclui diversos tipos de *Spline* e produz bons resultados para dados que apresentem pouca variação de altimetria. Esta

ferramenta permite o controle de informações, como o comprimento dos eixos da elipse que determina a área de busca dos pontos utilizados para interpolação, a alteração do ângulo de inclinação do eixo maior da elipse, o número de vizinhos envolvidos no processo e o parâmetro de suavidade da superfície. Estas variáveis podem ser alteradas de modo a reproduzir anisotropias observadas no levantamento dos dados batimétricos, ou podem ser alterados controlando o erro resultante de cada modelo, para que este seja minimizado. Foram utilizados os valores 150 e 200 para o eixo maior (de modo a considerar 3 a 4 linhas amostradas) e 30, 50 e 75 para o eixo menor da elipse, encontrados empiricamente. O erro médio quadrático (*Root Mean Square* – RMS) do modelo variou desde 0,47 m até valores superiores a 1,85 m, chegando a atingir até 5,59 m. Por conta disso, a malha foi dividida em quatro quadrantes (nordeste, noroeste, sudeste, sudoeste), o que possibilitou a diminuição do RMS para 0,33 m por quadrante. Depois de interpolados, os quadrantes foram reagrupados com a ferramenta *Mosaic to New Raster* (Figura 6). Para que o software pudesse reconhecer as variações das casas decimais foi utilizado *pixel* do tipo *32\_Bit\_Float*. O resultado final não apresentou contornos tão suaves quando comparado com os outros métodos, porém, apresenta um intervalo de erros referente aos valores de profundidade menores que 0,33 m.

### 3.1.2 Modelo Geomorfológico

Os resultados do mapeamento das feições geomorfológicas no Recife de Fora indicam que na área existem morfologias distintas, uma vez que a estrutura recifal pode ser considerada uma unidade geomorfológica. A fotointerpretação do *Hill Shade* ressaltou inúmeras feições (Figura 7) que não puderam ser mapeadas através da interpretação visual da imagem de satélite. A declividade variou entre 0 e 25°, predominando na face externa do recife valores de até 5° (máximo de 7,5°). A declividade na face abrigada é bem mais abrupta (até 23°) na quebra do platô recifal. Os valores máximos foram registrados nos pináculos, sendo intermediários nas piscinas (Figura 8).

Através da interpretação do modelo tridimensional confeccionado a partir da fusão do modelo *raster* (Figura 9) e da imagem *QuickBird* foram identificadas 8 compartimentos

geomorfológicos: 3.1.2.1. face exposta (ou face externa), 3.1.2.2. face abrigada (ou face interna), 3.1.2.3. platô recifal, 3.1.2.4. praias de areia, 3.1.2.5. piscina, 3.1.2.6. canal, 3.1.2.7. recife em manchas e 3.1.2.8. cabeço algálico. Após a definição das feições, os perfis batimétricos foram classificados de acordo com a geomorfologia (Figura 10).

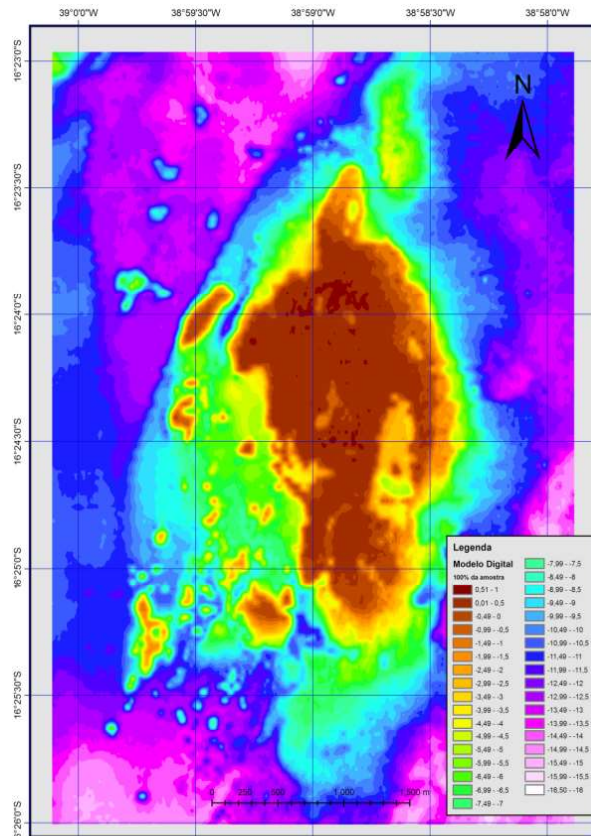


Fig. 6 - Mapa batimétrico digital das áreas submersas do PMMRF gerado através do método de interpolação *Topo to Raster*, que resultou em melhor representação para a superfície real do recife.

#### 3.1.2.1 Face Exposta

Parte frontal do recife, voltada para o oceano, que recebe forte influência das marés e sofre intenso batimento de ondas. A face exposta é alongada, alinhada no sentido N-S, e característica por sua declividade suave (máxima de 7,5°). À face exposta corresponde à porção leste do recife principal, desde o Recanto Norte até o Pedrado do Sul. Sinônimo: frente recifal (KIKUCHI, 1994 *apud* SOARES *et al.*, 2011), pós-recife (LEÃO, 2002); *tombant externe / pente* (LABOREL, 1969); *forereef* (MUMBY & HARBONE, 1999; ROHMANN, 2008). Figura 10, número 1.

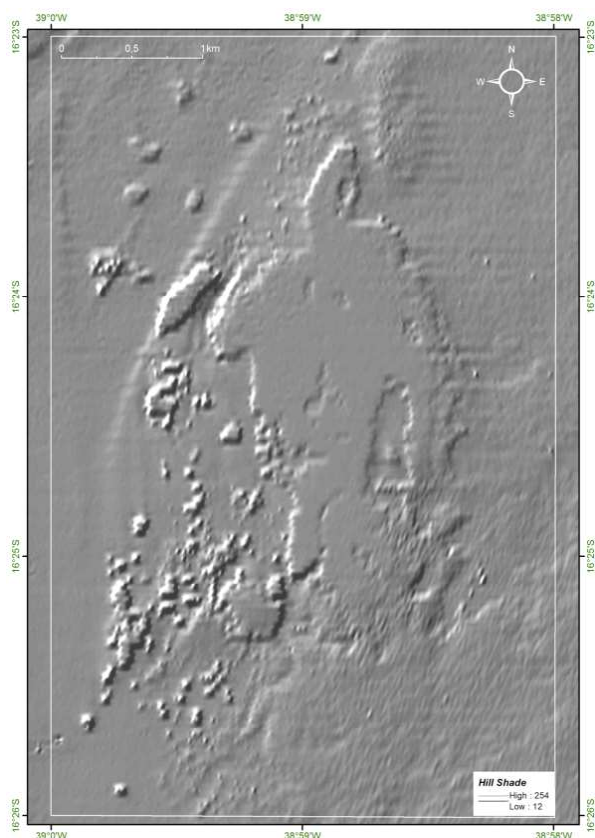


Fig. 7 - Mapa Hill Shade do PMMRF gerado a partir do modelo RBF após reagrupamento dos quadrantes.

### 3.1.2.2 Face Abrigada

Compreende a porção interna do recife, voltada para o continente, que é abrigada da ação de ondas. A face abrigada é alongada, alinhada no sentido N-S, e característica por sua alta declividade que chegou até 23°. À face abrigada corresponde à porção oeste do Recife de Fora propriamente dito, desde a face interna Recanto Norte até a porção sul do recife onde começa o Labirinto. Sinônimo: pré-recife (LEÃO, 2002); *tombant interne / arrière-recif* (LABOREL, 1970); *back reef* (MUMBY & HARBONE, 1999; ROHMANN, 2008). Figura 10, número 2.

### 3.1.2.3 Platô Recifal

Porção superior do recife, ou topo, que apresenta superfície irregular que até forma pequenas tocas. São feições arredondadas na forma e caracterizadas pela declividade baixa ou nula. Estão presentes desde áreas rasas, que ficam expostas durante a maré baixa, até cerca de 3 m de profundidade. Ao ficarem expostos são submetidos à alta intensidade luminosa e água com elevada temperatura e salinidade

variável. Podem ser subdivididos em função da maré (Figura 10, número 3): Platô Recifal Raso: exposto durante a maré baixa, porção central e norte (3.1). Platô Recifal Fundo: sempre submerso, mesmo durante a maré baixa, na extremidade sul. Por vezes são cobertos por lençóis de areia (3.2). Sinônimo: *platier* (LABOREL, 1970); *reef proper* (KIKUCHI & LEÃO, 1997); *reef flat* (ROHMANN, 2008).

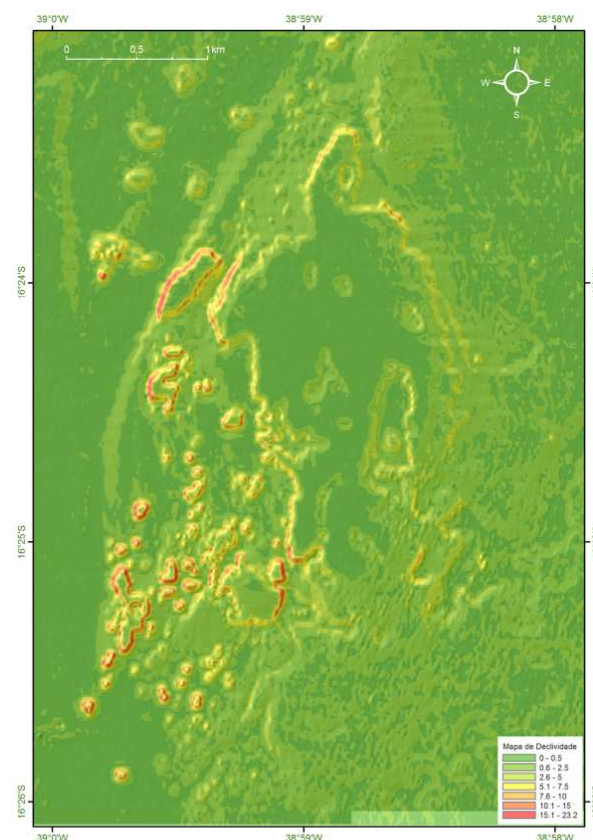


Fig. 8 - Mapa de declividade do PMMRF gerado a partir do método RBF após reagrupamento dos quadrantes.

### 3.1.2.4 Praias de Areia

Lençóis semipermanentes de areia que recobrem a estrutura recifal; ficam expostos durante a maré baixa. Recobrem o platô recifal raso e do Itassepocu de Fora. Acumulam-se em águas calmas como as da face abrigada do recife e do Poço do Taquaruçu. Figura 10, número 4.

### 3.1.2.5 Piscinas de Maré

Compreendem todas as feições escavadas ou descontinuidades no platô recifal que ficam isoladas durante a maré baixa. Nas piscinas ocorrem zonas distintas como bordas e paredes que abrangem a área de transição do

platô raso e fundo, em geral com fundo plano e recoberto por sedimento inconsolidado. Foram identificadas 4 piscinas com tamanhos e profundidades diferenciadas que ocorreram associadas à porção central e norte do platô recifal. Sinônimo: piscinas naturais (SOARES *et al.*, 2011). Figura 10, número 5.

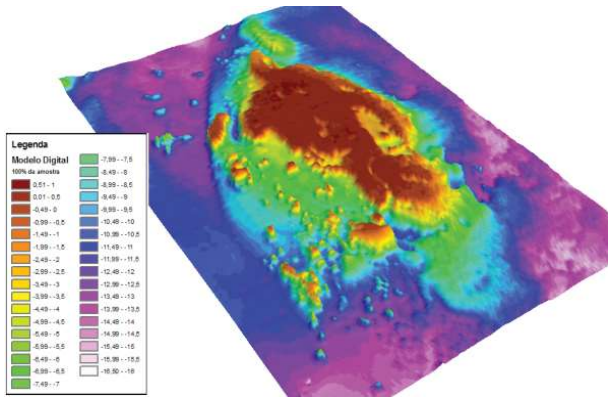


Fig. 9 - Modelo digital 3D do PMMRF gerado a partir do método RBF após reagrupamento dos quadrantes, utilizado para identificação e mapeamento de feições.

### 3.1.2.6 Canal

Antigo paleocanal quando a linha de costa estava mais mar adentro do que hoje. Apenas um canal foi identificado na área, conhecido localmente como Labirinto que não chega a ter contato direto com o Poço do Taquaruçu.

Sinônimo: *chenal* (LABOREL 1970); *channel* (ROHMANN, 2008).

### 3.1.2.7 Recife em Manchas

Feições recifais de porte variado, que ocorrem isoladas de outras formações recifais, por areias, bancos de gramas ou outros habitats. Sua distribuição pode estar associada a fenômenos de bioconstrução ou bioerosão. Podem ser subdivididos em função da sua morfologia (Figura 10, número 7): Pináculo menor com topo afilado, com diâmetros de até 40 m (7.1). Agregado, maior com topo plano e diâmetros maiores que 40 m (7.2). As feições ocorrem associadas à face abrigada do recife. Sinônimo: recifes em mancha = *patch reef* (MUMBY & HARBONNE, 1999; ROHMANN, 2008); Sinônimo para pináculos: *pinacle isolets*, *pinnacles*, ou *knolls* (LABOREL, 1969).

### 3.1.2.8 Cabeço algálico

Feições de pequeno porte, arredondadas, que ocorrem contornando as formações recifais. A estrutura é formada, principalmente, por algas calcárias incrustantes. As feições ocorrem de forma descontínua contornando o recife principal, desde a porção norte até a porção sul. São as feições que predominam na face exposta que apresentam topos com profundidade média em torno de 14 m. Sinônimos: recife de alga calcária (GOREAU, 1963 *apud* AMÂNCIO, 2007). Figura 10, número 8.

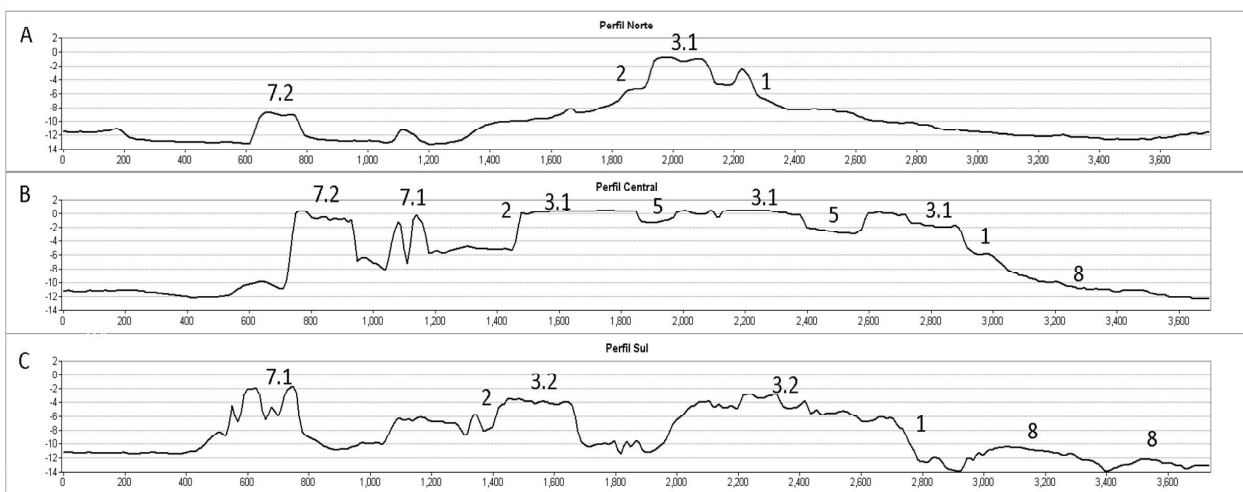


Fig. 10 - Perfis batimétricos classificados de acordo com as feições mapeadas no PMMRF. A) Perfil Norte, B) Perfil Central, C) Perfil Sul. 1.Face exposta 2. Face abrigada, 3.1 Platô recifal raso, 3.2. Platô recifal fundo, 5. Piscina, 7.1. Pináculos, 7.2. Agregados, 8. Cabeço algálico.

### 3.2 Análise Granulométrica

Para a interpretação da variação de energia no ambiente deposicional do PMMRF, foram utilizadas quatro medidas granulométricas: porcentagem de areia e lama, grau de seleção, assimetria e curtose.

Foram avaliadas 119 estações, das quais um terço (N=39) está incluída no intervalo de lama arenosa (*sandy mud*), que é caracterizado por lama “suja” com 10 a 50% de areia. Por outro lado, 42% (N=51) das amostras apresentam porcentagem de areia maior que 50%, classificada como areia a areia lamosa (*sand e muddy sand*), que é representado pelo intervalo de 50 a 100% de areia. As amostras classificadas como lama, caracterizadas por silte mais argila em qualquer proporção, com até 10% de areia em sua composição, ocorreram em 24% das estações (N=29).

O mapa do percentual de areia indica que a distribuição de areia e lama é bem variada por toda área PMMRF, com maior concentração de lama a sudoeste, de areia nas porções nordeste e leste e anomalias de lama em frente à Boca do Poço Taquaruçu e no Lixa Norte (Figura 11A). Ao noroeste e ao sul são identificadas áreas de composição intermediária (entre 20 e 80% de areia). O platô recifal apresenta uma composição variada, com concentração de areia em piscinas naturais e praias (Poço Taquaruçu, Enseada das Âncoras, Porto Norte, etc.), com “ilhas de lama” na parte central (Poço da Panan) e em pontos nas bordas do recife (Poço Lixa do Norte, Enseada do Mourão e Recanto do Norte).

Segundo Soares-Gomes e Figueiredo Jr (2002) sedimentos ricos em partículas finas, como silte, se acumulam sobre condições mais abrigadas, enquanto que as areias refletem um ambiente mais dinâmico e energético. A distribuição espacial dos resultados indica que em grande parte da área ocorrem misturas de materiais mais antigos, oriundos do oceano, com partículas mais novas, provenientes do recife. Por outro lado, os sedimentos encontrados na região dos pináculos são predominantemente finos, com pouca ou nenhuma quantidade de areia em sua composição. Esta tendência está relacionada à baixa energia deposicional que prevalece na

região, por se tratar de uma área abrigada da ação de ondas e por sofrer influência da pluma de sedimentação fluvial do rio Buranhém.

O grau de seleção ou desvio padrão está relacionado ao retrabalhamento dos depósitos e reflete as variações das condições de fluxo, tais como velocidade e turbulência (FERNANDEZ *et al.*, 2000). O mapa de seleção indica que a maioria das estações contem amostras muito pobremente selecionadas, com algumas poucas áreas variando para pobremente selecionadas (Pináculos, Poço e Pedrado do Taquaruçu, etc.) (Figura 11B). Duas estações (Porto Norte e Nordeste do recife) têm sedimentos muito bem selecionados enquanto que em uma das piscinas ocorre uma amostra bem selecionada, indicando a influência do retrabalhamento por ondas. Em geral, o grau de seleção baixo remete a sedimentos imaturos, com baixa energia para retrabalhamento.

A assimetria indica valores positivos a muito positivos para a área do PMMRF, principalmente na porção nordeste e central (Figura 11C). São pontualmente observadas amostras simétricas. No Recanto do Norte, no Pedrado do Poço e no Pedrado do Sul são encontradas as únicas amostras com uma tendência de assimetria negativa. De uma forma geral no PMMRF a predominância de assimetrias positivas indica a acumulação de sedimentos finos em zonas protegidas.

A curtose foi variável, no geral com tendência mesocúrtica a platicúrtica, Destaque para as regiões sul, sudeste e noroeste da área, com as maiores manchas platicúrticas sugerindo uma tendência deposicional. Localmente são observadas tendências extremamente leptocúrticas, como por exemplo, no Poço do Taquaruçu e borda oeste do Recanto do Norte que sugerem transporte (Figura 11D). Já a curtose mesocúrtica indica ambientes de transição.

### 3.3 Análise Mineralógica

Foram analisadas amostras de sedimento provenientes de 26 estações, nas quais foram identificados 8 tipos de minerais (Tabela 2; Figura 12). Dentre os minerais identificados, 2 estiveram presentes em todas as amostras: aragonita e calcita magnesiana, quartzo, caolinita e muscovita são comuns.

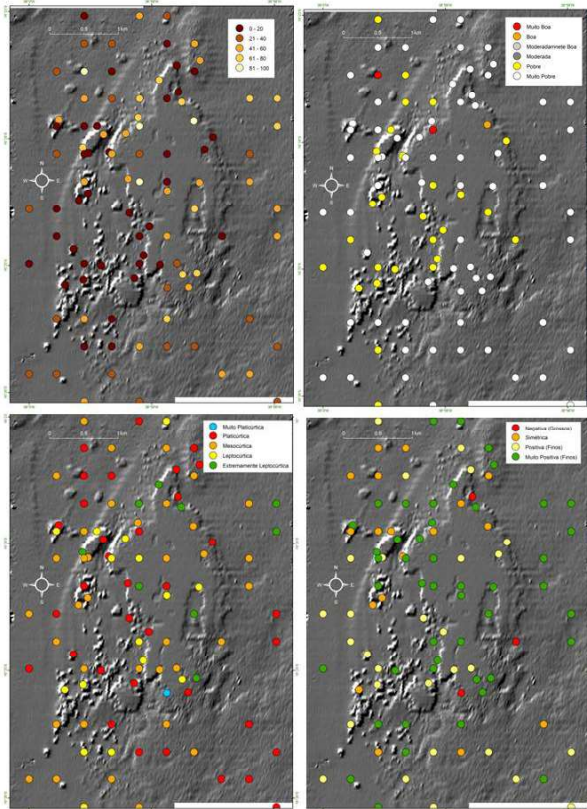


Fig. 11 – A) Mapa de distribuição do percentual de areia; B) Mapa com distribuição do grau de seleção; C) Mapa com distribuição da assimetria; D) Mapa com distribuição da curtose.

Tabela 2: Lista dos minerais encontrados nas amostras analisadas do PMMRF. N = número de estações em que cada mineral foi encontrado

Minerais	Fórmula Química	N
Aragonita	$\text{CaCO}_3$	26
Calcita Magnesiana	$(\text{Ca,Mg})\text{CO}_3$	26
Quartzo	$\text{SiO}_2$	20
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	18
Muscovita	$\text{KA}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH,F})_2$	12
Calcita	$\text{CaCO}_3$	7
Gibbsita	$\text{Al}(\text{OH})_3$	6
Gipsita	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	4

A análise da composição do sedimento de superfície de fundo do PMMRF demonstrou que a área é caracterizada pela presença de dois tipos de depósitos sedimentares, um constituído por sedimentos carbonáticos com contribuição

siliciclástica, e outro por sedimentos carbonáticos de origem biogênica.

A contribuição siliciclástica pode ter duas origens principais: sedimento retrabalhado, oriundo da erosão dos depósitos terciários do Grupo Barreiras, que cobrem grande parte da zona continental e afloram ao longo da costa, e sedimentos fluviais que podem alcançar o recife levados pelas correntes de deriva litorânea (LEÃO, 2002).

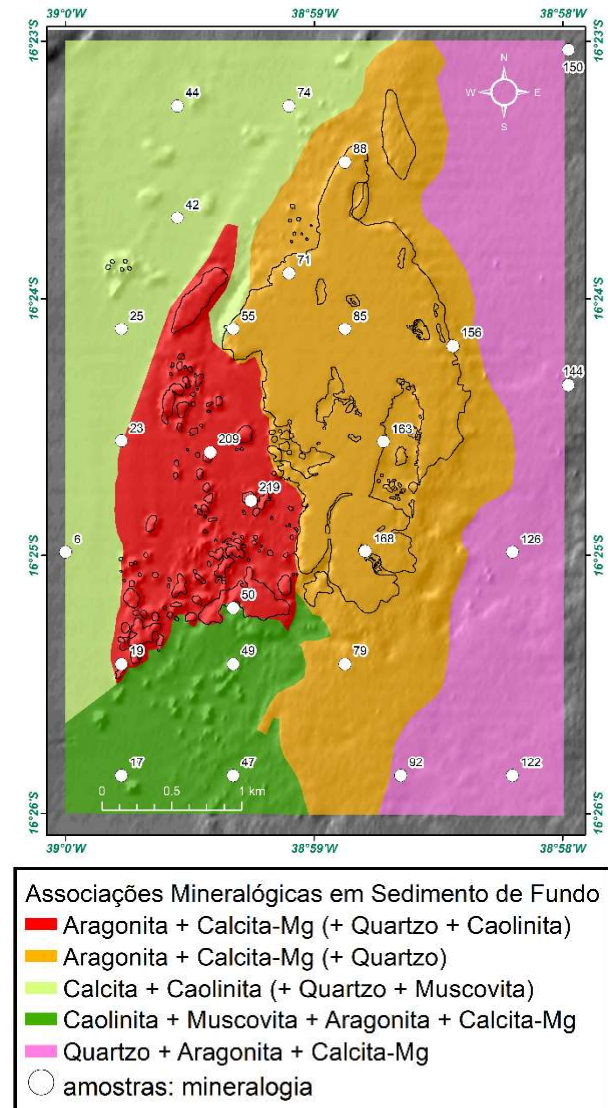


Fig. 12 - Mapa de distribuição das diferentes associações mineralógicas identificadas nas amostras coletadas no PMMRF, interpretadas sobre o sombreamento do Modelo Digital Batimétrico.

O quartzo predominou nas porções nordeste e leste do recife. Sua origem pode estar associada ao intemperismo das rochas proterozoicas, e ao intemperismo e retrabalhamento do Grupo

Barreiras (LEÃO *et al.*, 2006), em especial pelo episódio da Última Transgressão Marinha (+ 5,1 k.a.). Esse mineral terrígeno é transportado pelos rios e, quando desembocado no mar, é retransportado e retrabalhado pela deriva litorânea (LEÃO *et al.*, 2006). Devido à maior concentração de quartzo na região norte/nordeste do recife, é provável que a deriva litorânea associada à presença dos Rios Jequitinhonha e João de Tibá tenha a maior influência no transporte deste mineral. As menores quantidades de quartzo ao longo da porção interna (oeste) e ao sul do recife podem ser provenientes do Rio Buranhém, uma vez que essa região, em determinadas épocas do ano, sofre influência direta da pluma deste rio. A caulinita ocorreu preferencialmente nas porções noroeste e sudoeste do recife, enquanto no restante do PMMRF ela está presente em menor quantidade ou ausente, como no caso do platô recifal. Este mineral terrígeno pode apresentar diversas fontes, em especial os gnaisses e granitoides proterozoicos que foram retrabalhados, juntamente com o Grupo Barreiras, pelas três últimas grandes transgressões do Quaternário (LIMA *et al.*, 2006). Outra fonte expressiva deste mineral é o Rio Jequitinhonha, que é um rio de grande porte que corta várias unidades, inclusive as rochas proterozoicas do embasamento (LIMA *et al.*, 2006). Um pouco menos expressiva, mas não menos importante fonte da caulinita é o Rio Buranhém.

A muscovita apresenta apenas duas áreas de ocorrência: a porção norte e a porção sudoeste do recife, no restante da área ela não ocorre. Por ocorrer apenas em duas porções pontuais e predominar apenas em uma, é mais provável que a fonte da muscovita seja de material carregado pelos rios. Na porção sudoeste o Rio Buranhém é o provável responsável pelo domínio da muscovita, enquanto que na parte norte, o rio Jequitinhonha deve ser responsável pela ocorrência deste mineral em menor proporção.

A gibbsita, uma das formas minerais do hidróxido de alumínio, ocorreu de forma idêntica a muscovita, nas porções norte e sudoeste do PMMRF. Tanto o alumínio quanto o íon hidroxila podem ser provenientes de intemperismo e transporte fluvial que ao desembocar no mar é transportado pelas correntes.

A gipsita não apresentou uma forma regular de distribuição. O mineral ocorreu a sudoeste, norte e nordeste do recife, respectivamente. A

gipsita ocorre em várias regiões do mundo, sendo encontrada em depósitos de origem evaporítica, cuja formação resulta da precipitação de sulfato de cálcio a partir de soluções aquosas concentradas e condições físicas favoráveis (BALTAR *et al.*, 2005). A evaporação e conseqüente concentração do sal são favorecidas em ambiente quente e seco (VELHO, *et al.* 1998 *apud* BALTAR *et al.*, 2005). Devem ter sido formadas em poças de maré, com exposição subaérea nas marés baixas, e possivelmente foi preservada inclusive dentro dos carbonatos de origem biodetrítica.

Na zona costeira, o sedimento carbonático tem origem, principalmente, de restos de esqueletos de organismos bentônicos, tais como moluscos, foraminíferos, briozoários, equinodermos e algas calcárias, que contribuem direta e significativamente para a composição final e textural dos sedimentos (LAPORTE 1975 *apud* POGGIO *et al.*, 2009). Os constituintes biogênicos dos sedimentos que circundam os recifes são predominantemente de natureza esquelética (LEÃO, 2002).

A aragonita teve distribuição idêntica à da calcita magnesiana, ou seja, estes minerais carbonáticos estiveram presentes em toda a área do PMMRF, em menor quantidade na porção a noroeste do recife. Nas estações onde ocorreu a calcita pura em maior quantidade, a aragonita e a calcita magnesiana ocorreram em baixa quantidade. A presença marcante de aragonita é um indicativo da deposição de carbonatos por organismos construtores, principalmente dos corais escleractíneos e dos hidrocorais. Já a presença de calcita magnesiana pode indicar a intensa atividade de algas calcárias.

A interpretação dos pontos analisados sobre o sombreamento do Modelo Digital Batimétrico permitiram o mapeamento da distribuição das diferentes associações mineralógicas identificadas nas amostras coletadas no PMMRF.

### **3.3 Mapeamento de Comunidades**

Dados de cobertura e de distribuição da fauna e flora foram coletados em 88 estações no PMMRF. A coleta de dados foi realizada durante a primavera e o verão dos anos de 2008 e 2009, épocas em que a transparência da água possibilitou a captura de imagens por videografia. A água na região do PMMRF geralmente é turva, principalmente durante os períodos de outono e inverno. A elevada

concentração de sedimento em suspensão na coluna d'água parece não afetar a presença e distribuição das mais variadas espécies de organismos.

O mapeamento das comunidades indicou que o PMMRF abriga uma alta diversidade de táxons. De um total de dezesseis espécies que constituem a fauna de corais escleractíneos registrada para os recifes brasileiros CASTRO & PIRES, 2001; NEVES *et al.*, 2010) quatorze ocorreram no PMMRF. Além dos corais pétreos também foram registradas oito espécies de octocorais e três espécies de corais de fogo.

As algas bentônicas marinhas são componentes importantes nas comunidades do Recife de Fora e, portanto, são os maiores competidores dos corais por substrato para colonização. As macroalgas eretas apresentaram elevados percentuais de cobertura e ampla distribuição espacial no Recife de Fora. Este grupo de organismos predominou em termos geográficos na área estudada, ocorrendo em 68% das estações, sendo este o maior percentual dentre os componentes biológicos avaliados. As macroalgas eretas ocorreram em áreas de alta energia, associadas à face exposta do recife, aos cabeços algálicos e ao platô recifal, ambientes caracterizados pela grande variação de fatores como temperatura, luz e salinidade. A ocorrência das macroalgas também foi comum nos recifes em manchas, principalmente nos agregados, quase sempre associada aos topos, onde a luminosidade é muito alta. Alguns morfotipos de macroalgas habitaram áreas de sedimento associadas aos bancos de gramas marinhas.

Assim como as macroalgas eretas às algas calcárias também apresentaram ampla distribuição no Recife de Fora com as formas crostosas sendo as mais comuns. Os maiores percentuais de cobertura ocorreram em locais batidos, rasos ou profundos. Também foi comum associada aos cabeços algálicos, onde as coberturas médias foram entre 25 e 50%. Poucos registros de espécies nodulares (rodolitos), e quando presentes ocorreram preferencialmente soltos no sedimento. As algas tufo apresentaram ampla distribuição e elevados percentuais de cobertura ao longo de toda a área do Recife de Fora, sendo mais comuns em áreas muito rasas.

Os bancos de gramas marinhas ocorreram preferencialmente em áreas de sedimento entre o recife e a costa (porção oeste), mas foi muito

comum observar a presença destas espécies habitando a base de diversas formações recifais, principalmente dos cabeços algálicos.

As espécies de gramas marinhas brasileiras pertencem a apenas três gêneros: *Halodule* (Família: Cymodoceaceae), *Halophila* (Hydro-charitaceae) e *Ruppia* (Ruppiaceae), com registros de cinco espécies (MARQUES e CREED, 2008). Deste total foram observadas no Recife de Fora a ocorrência de duas espécies, *Halophila decipiens* e *Halodule wrightii*, sendo a primeira mais comum e abundante que a segunda. *Halophila decipiens* foi o principal componente no ambiente denominado banco de gramas marinhas. Em algumas poucas estações as duas espécies ocorreram simultaneamente, formando bancos mistos.

### 3.4 Modelo Ambiental

A criação de modelo ambiental constituiu uma visão de conjunto dos fatores físicos, químicos e biológicos responsáveis pela realidade do ambiente recifal. Os resultados da modelagem ambiental indicam que o PMMRF é composto por um mosaico de habitats muitas vezes sem limites bem definidos, conforme apresentado a seguir.

#### 3.4.1 Banco de Dados

No banco de dados foram armazenados dados provenientes de 141 estações amostradas. Depois de incorporar os resultados ao banco foi gerado um projeto .MXD no *ArcGIS* para a espacialização dos resultados. Neste projeto constam os *shapefiles* ou mapas temáticos.

Os quantitativos das estações por assunto corresponderam a: 100 estações com dados de granulometria e 26 estações com dados de mineralogia; 88 estações com dados de cobertura das espécies, 86 estações com fotos e 51 estações com vídeos.

Os resultados do mapeamento de comunidades armazenados em banco de dados georreferenciados foram facilitadores para a avaliação da distribuição das espécies, bem como para a classificação de habitats.

#### 3.4.2 Classificação de Habitats

Para a classificação de habitats foram testados dois métodos distintos: classificação automatizada e fotointerpretação com imagem de satélite de alta resolução.



Na classificação de habitats automatizada foi criado um esquema que levou em consideração as seguintes categorias: classes geomorfológicas, substratos, categorias biológicas, e classes bentônicas.

As classes geomorfológicas são aquelas apresentadas no item 3.1.2. Os tipos de substratos e categorias biológicas e classes bentônicas, com suas respectivas definições, são apresentados na tabela 3.

Para a definição dos grupos de espécies do Filo Cnidaria foi realizada uma análise de agrupamento do tipo R (Figura 13), levando-se

em consideração os percentuais de cobertura de todas as espécies de corais pétreos, corais de fogo e octocorais. Ao traçar uma linha de corte com aproximadamente 65% de similaridade é possível distinguir 3 agrupamentos principais, sendo A) Espécies de corais pétreos, incluindo duas espécies formadoras; B) Espécie de coral pétreo, formador e coral de fogo; C) Espécies (três) de Octocorais. Um último agrupamento, com mais de 50% de similaridade, foi definido, pois representa uma fauna típica da região, D) Espécies de corais pétreos mais resistentes.

Tabela 3: Tipos de substratos, categorias biológicas e classes bentônicas mapeadas ao longo do PMMRF

Categoria	Descrição
Substrato duro	qualquer área exposta de substrato duro sem a presença visível de estruturas coralíneas. Em geral com algas tufo em áreas rasas.
Areia	definida como sedimento grosso com diâmetro maior que 1 mm
Lama	definida como sedimento fino com diâmetro inferior a 1 mm, ou seja, a combinação das frações silte e argila em qualquer proporção
Coral duro ou verdadeiro	qualquer espécie de coral pertencente à ordem Scleractinia, ou seja, que apresente esqueleto duro composto por carbonato de cálcio
Octocoral	qualquer espécie de gorgônia pertencente à ordem Alcyonacea
Coral de Fogo	qualquer espécie de hidrozoário pertencente ao gênero <i>Millepora</i>
Zoanthideo	definido como a espécie da ordem Zoanthidea, <i>Palythoa caribaeorum</i>
Macroalgas eretas	organismos fotossintetizantes com talo macroscópico e pertencente aos filos Rhodophyta, Phaeophyta e Chlorophyta
Algas calcárias incrustantes	qualquer espécie pertencente à ordem Corallinaceae com esqueleto crostoso
Gramas marinhas	qualquer angiosperma marinha dos gêneros <i>Halophila</i> e <i>Halodule</i>

O sistema de classificação automatizado para o PMMRF foi criado com base nos resultados do agrupamento das principais espécies de Cnidaria, dos percentuais de coberturas dos demais habitats mapeados, associados ao tipo de substrato e unidades morfoestruturais do recife:

1. Habitat Dominado por Corais

- Grupo A. Complexo de espécies de corais pétreos em áreas rasas associadas ao platô recifal fundo.

- Grupo B. Coral pétreo e coral de fogo associados a bordas recifais, presentes na face

exposta do recife.

- Grupo C. Dominado por octocorais que ocorrem associados aos recifes em manchas (agregados e pináculos) e platô recifal.

2. Habitat Dominado por Zoantideo

3. Habitat Dominado por Algas

3.1. Macroalgas (>25%)

3.2. Algas calcárias (>25%)

4. Habitat Dominado por Gramas Marinhas

4.1 Gramas esparsas (cobertura <25%)

4.2 Gramas com densidades médias (cobertura entre 25-50%).

4.3 Gramas em alta densidade (cobertura >50 %).  
- Grupo D. Complexo de espécies de corais pétreos em cabeços algálicos.

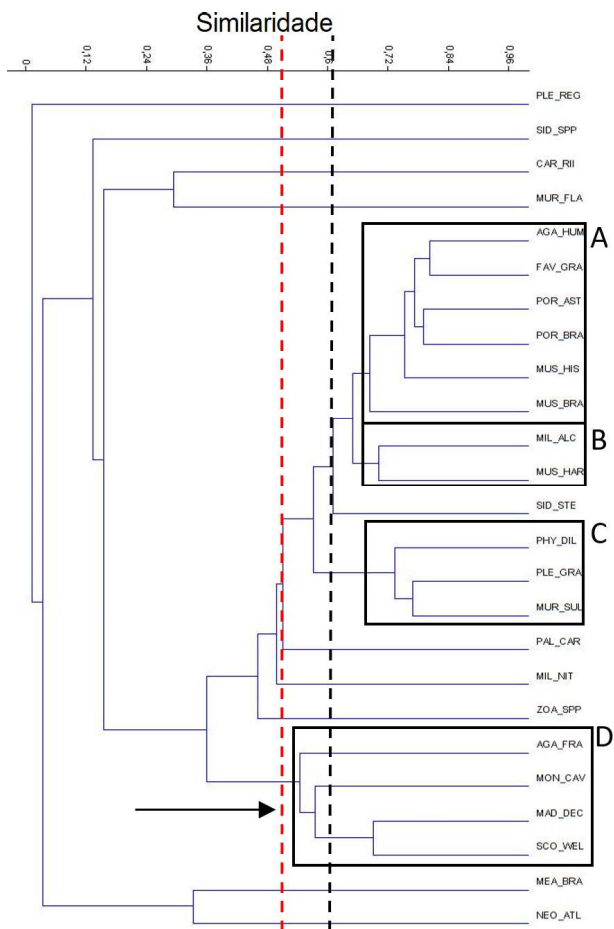


Fig. 13 - Análise de agrupamento (*Cluster*) dos percentuais de cobertura das principais espécies do Filo Cnidaria. Linha de corte em 65% três agrupamentos definidos, A) Agrupamento de espécies de corais pétreos; B) Agrupamento de espécie de coral pétreo; C) Agrupamento de espécies de octocorais, D) Agrupamento de espécies de corais pétreos (linha de corte em 50% - vermelha).

As estações foram classificadas segundo as categorias descritas acima. A espacialização foi realizada através dos polígonos de *Thyessen* (ESRI, 2012) para a área como um todo, criando um mapa de polígonos, distinguindo simultaneamente as categorias Tipo de Substrato, Classificação Geomorfológica e Classificação da Biota (Figura 14).

Posteriormente, para a área interna do recife (incluindo a face abrigada, praias de areia, recifes em mancha e cabeços algálicos, mas não a face exposta, o platô recifal, piscinas de maré ou

o canal), foi produzido um mapa mais detalhado por fotointerpretação, levando em conta as feições morfológicas e seus limites, que não são considerados na espacialização dos polígonos de *Thyessen* (Figura 15, SEOANE *et al.*, 2012).

O ambiente físico influencia na estrutura espacial e na composição de espécies de comunidades sésseis por formar certa combinação de fatores abióticos que condicionam o assentamento larval e promovem a sobrevivência dos organismos (TKACHENKO & ZHIRMUNSKY, 2002 *apud* RABELO, 2007).

Dentre os fatores físicos, a natureza do substrato é um recurso importante para animais sésseis e um dos maiores controladores de sua distribuição, sendo o espaço disponível um fator limitante na distribuição e abundância das espécies sésseis (RABELO, 2007). Além do substrato, fatores abióticos como variações na energia das ondas, intensidade luminosa, salinidade e temperatura também influenciam na distribuição dos habitats.

Os habitats dominados por corais ocorreram associados as mais diversas feições geomorfológicas. O Grupo A, ocorreu associado à face abrigada, platô recifal fundo e canal; o Grupo B ocorreu associado à face exposta, face abrigada, platô recifal fundo, agregados e pináculos; o Grupo C ocorreu associado à face abrigada e aos pináculos, e o Grupo D ocorreu associado aos cabeços algálicos, face abrigada, agregados e pináculos. Desta distribuição podemos destacar a ocorrência de todos os grupos na face abrigada, a ocorrência exclusiva do Grupo B na face exposta, a ocorrência exclusiva do Grupo D nos cabeços algálicos e a ocorrência dos Grupos B, C e D associado aos pináculos.

Os resultados da distribuição espacial dos habitats dominados por corais sugerem que:

- As espécies que compõem o Grupo A preferem ambientes com águas rasas e calmas quando comparado aos demais grupos, apesar dos registros associados ao platô recifal fundo. Esta feição, posicionada ao sul da área do PMMRF, é influenciada por variações na energia das ondas, dependendo da época do ano e do tipo de frente de onda predominante (SILVA *et al.*, 2007).
- O Grupo B pode ocorrer tanto em locais abrigados quanto em locais batidos, com graus de variações na energia das ondas variáveis. Além

disso, a distribuição vertical deste grupo pode se dar em áreas rasas ou mais profundas.

- As espécies de octocorais que compõem o Grupo C não apresentaram um padrão bem definido na sua distribuição, podendo ocorrer em locais abrigados e/ou em áreas um pouco mais profundas, onde pode haver uma maior circulação da água.
- As espécies do Grupo D aparentemente apresentam uma maior tolerância às variações ambientais, principalmente variações na energia das ondas e alta circulação de água. Além disso, este grupo também tende a ocorrer em locais mais profundos, onde a incidência de luz é menor.

Os bancos de zoantídeos foram observados em poucos locais do PMMRF, geralmente posicionados no topo das feições platô raso e pináculos, sendo a principal constituinte desse habitat a espécie *Palythoa caribeorum*. Quando rasos, os topos, principalmente do platô, podem ficar expostos durante a maré baixa, resultando em elevada temperatura, salinidade e luminosidade, fatores que restringem a ocorrência de diversas espécies, principalmente de corais pétreos. Logo, um fator que influencia a distribuição do habitat é a tolerância a condições extremas, como por exemplo, a dessecação. Sebens (1982 *apud* RABELO, 2007) verificou que essa espécie está apta a sobreviver somente durante poucas horas de exposição ao sol devido a sua incapacidade de reter água no celêntero, quando comparada a outras espécies de zoantídeos.

Os habitats dominados por macroalgas colonizando substratos duros predominaram em termos geográficos, além de apresentarem os maiores percentuais de cobertura dentre os componentes biológicos avaliados. Os bancos de macroalgas ocorreram associados a áreas de alta energia, como no caso dos cabeços algálicos e à face exposta, bem como ao platô recifal, caracterizados por variações de temperatura e salinidade, como no caso do platô raso. Já na face abrigada, nos agregados e pináculos este habitat ocorreu em zonas de transição entre os topos e bordas das feições. Vale ressaltar que a ocorrência deste habitat é variável ao longo do ano, uma vez que as macroalgas apresentam variabilidade sazonal na estrutura da comunidade (COSTA JR *et al*, 2000).

O habitat composto por alga calcária

ocorreu apenas em uma estação, na porção noroeste do recife, associado à feição agregado. Apesar do registro em apenas uma estação este grupo está presente em toda a região do PMMRF considerando a sua função estruturante em ambientes recifais.

No caso dos substratos inconsolidados em áreas onde predominaram lamas e areias foi comum observar a ocorrência de bancos de gramas marinhas, esparsos ou em altas densidades. Este habitat ocorreu preferencialmente nas porções noroeste, oeste e sudoeste do PMMRF. Sua distribuição foi intercalada com áreas de lama, sem nenhum componente biótico.

Associado aos fundos de areia os bancos de grama ocorreram no norte, sudoeste a sudeste do PMMRF. Na porção sudeste sua distribuição se deu entre os cabeços algálicos. A ocorrência de gramas marinhas no PMMRF foi reportada pela primeira vez por Marques e Creed (2009).

Segundo Villaça (2002) as gramas marinhas apresentam ampla distribuição batimétrica, desde a zona entre marés até 60 metros de profundidade, aparecendo desde lagunas até a plataforma continental rasa, bem como em áreas adjacentes a recifes de coral. As gramas marinhas são adaptadas para viver completamente submersas, nos limites entre águas continentais, estuarinas, marinhas e hipersalinas, próximo à costa, sendo encontradas em praticamente todos os continentes (DAWES, 1998; SHORT *et al.*, 2001).

Marques e Creed (2009) citam que provavelmente existem muitos bancos de gramas marinhas associados aos recifes costeiros ou em águas profundas mais afastadas da costa brasileira para serem descobertos, e que existe a necessidade de estudos com a finalidade de localização destes habitats.

Além das gramas também foi observada a ocorrência de macroalgas associadas a fundos lamosos e arenosos, sejam fixas ou soltas no fundo.

Como uma importante ferramenta para o planejamento e análise ambiental, o sensoriamento remoto e geoprocessamento permitem a visualização dos componentes do espaço, em escala local, regional e global (MOREIRA & REUSS-STRENZEL, 2009), proporcionando o levantamento de informações (diagnóstico) e a elaboração de medidas de

manejo (prognóstico) em prol da conservação dos ecossistemas (MOREIRA & REUSS-STRENZEL, 2009). O SR é muito eficiente para indicar a extensão dos habitats e a localização das fronteiras entre habitats, mas o é através

do levantamento de campo que se identifica o que os habitats são e o processamento digital da imagem, em seguida, amplia a cobertura do levantamento de campo para toda a área de interesse (GREEN *et al*, 2000).

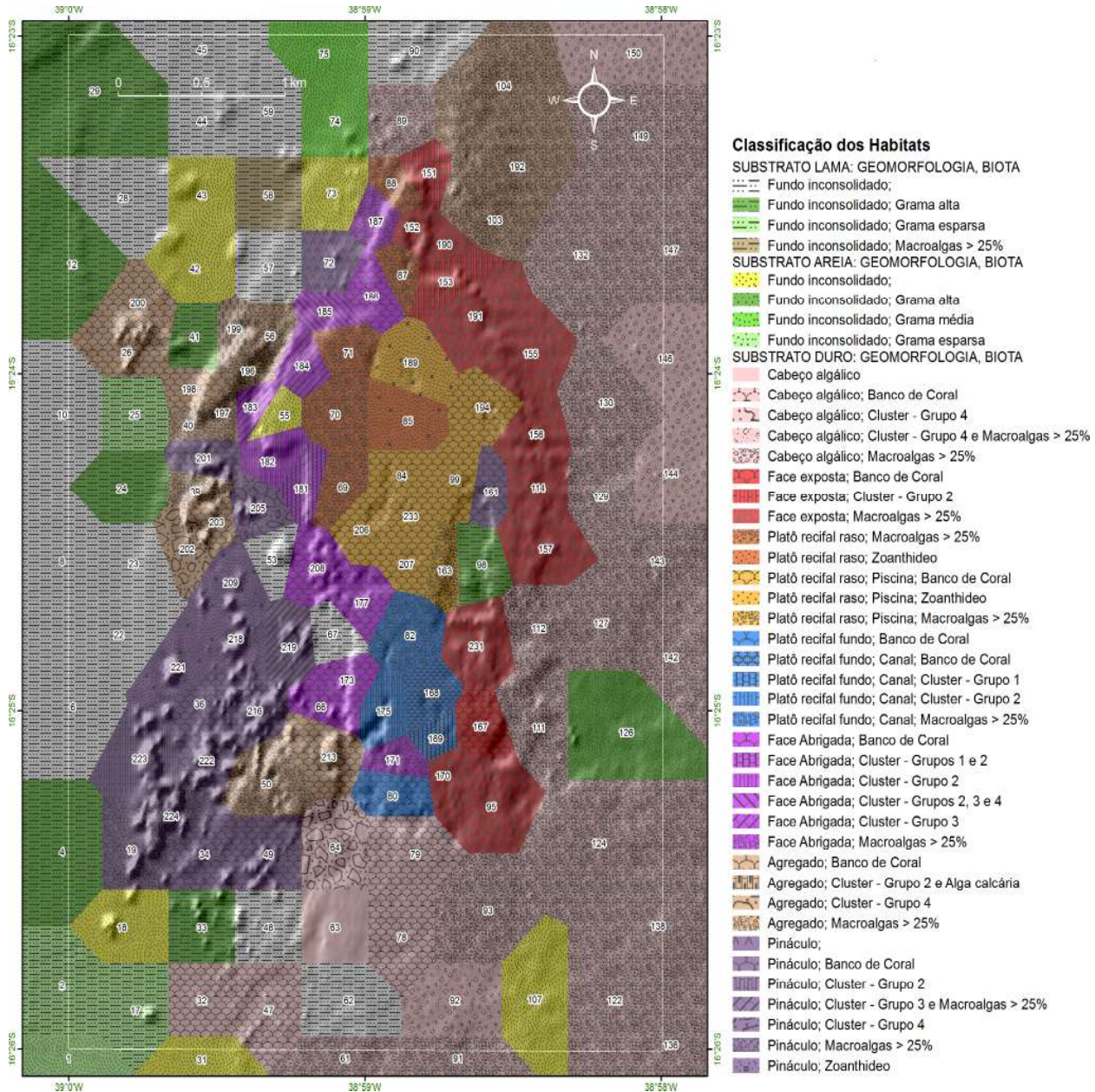


Fig. 14 – Mapa de integração de tipo de substrato, classificação geomorfológica e classificação da biota de todos os habitats classificados para a área do PMMRF, especializado pelo método dos polígonos de Voronoi.

No caso dos recifes distribuídos ao longo da costa brasileira a grande quantidade de material em suspensão na coluna d'água pode ser um fator limitante para a utilização de SR para mapeamento de habitats. No PMMRF a

água é geralmente turva durante os períodos de outono e inverno. A elevada concentração de sedimento em suspensão parece não afetar a presença e distribuição das mais variadas espécies de organismos.

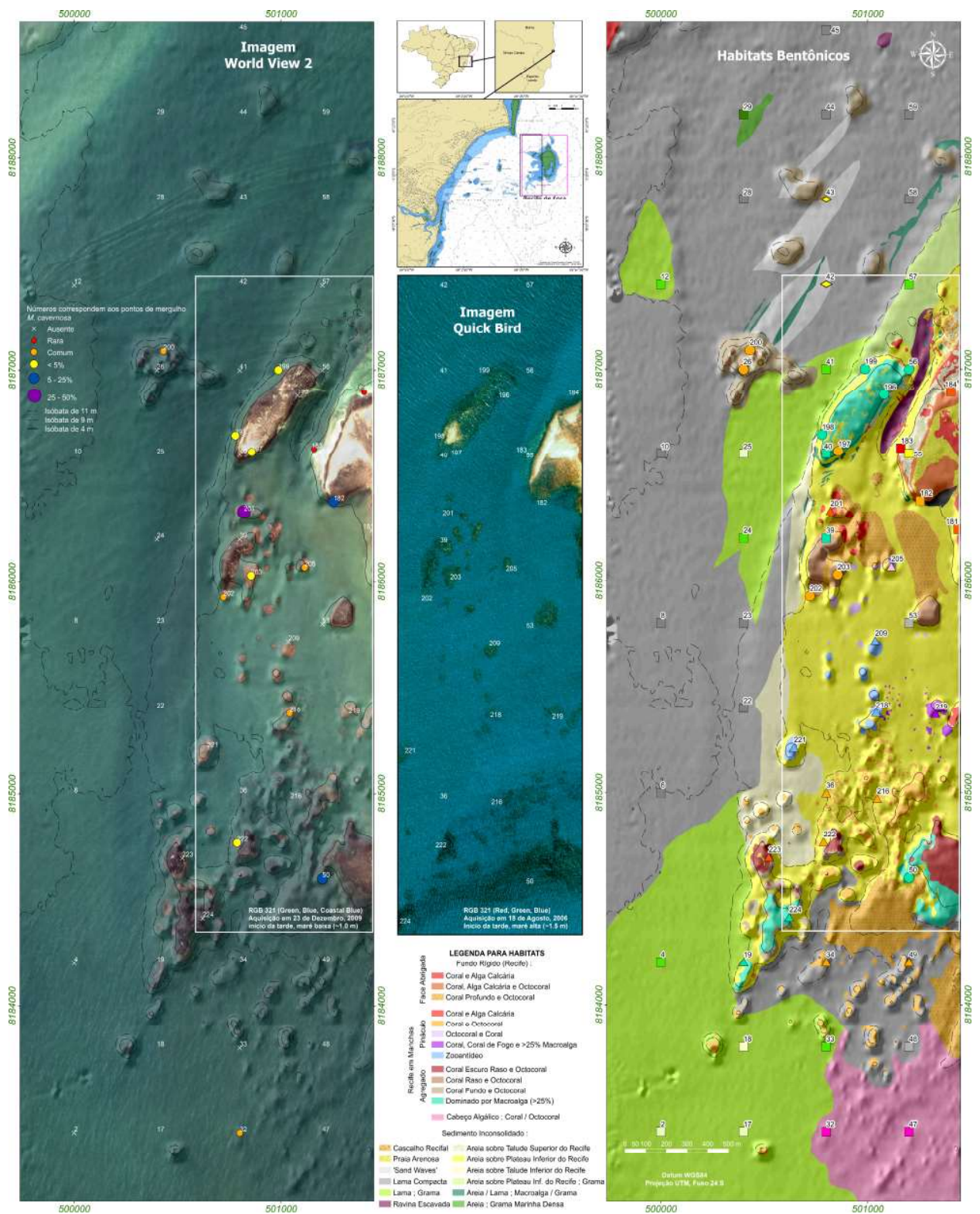


Fig. 15 – Mapa detalhado por fotointerpretação, levando em conta as feições morfológicas e seus limites, não considerados na espacialização dos polígonos de *Thyessen* (direita). São distintas simultaneamente as categorias Tipo de Substrato, Classificação Geomorfológica e Classificação da Biota de todos os habitats classificados para a área leste do PMMRF. À esquerda a imagem *WorldView* 2, RGB 321, com sombreado do Modelo Digital Batimétrico e isóbatas selecionadas de 4, 9 e 11m de profundidade. Os pontos de mergulho para validação dos dados são exibidos com as ocorrências classificadas para a espécie de coral *Montastraea cavernosa*. O retângulo branco denota a área idêntica à da imagem *QuickBird*, ao centro, para comparação da penetratividade na coluna d’água. (modificado de SEOANE *et al.*, 2012).

Além disso, dependendo do sensor, as estruturas submersas não podem ser avaliadas apenas a partir da imagem bidimensional, uma vez que os recifes são unidades tridimensionais e sua caracterização seria parcial. Uma vez interpretada o topo de cada feição, é necessária a verificação no campo de como se distribuem as comunidades nas bordas, paredes e reentrâncias do recife. Quando rasos, os topos podem ficar expostos durante a maré baixa, resultando em elevada temperatura, salinidade e luminosidade, que restringem a ocorrência de diversas espécies, principalmente de corais pétreos. Por causa destas características tão extremas, a probabilidade de ocorrência de espécies com tolerância a estes fatores, como bancos de macroalgas e de zoantídeos, é grande. Associados a estes habitats, são encontradas pequenas colônias de corais pétreos e octocorais. Sendo assim, mesmo realizando a fotointerpretação das imagens, muitas vezes não é possível ter uma visão real do ambiente. Logo, a utilização da imagem necessita ser complementada com informações sobre morfologia e composição e distribuição de habitats.

Mapas de habitats recifais são ferramentas úteis para o planejamento do uso ordenado desses ambientes, pois através da identificação e delimitação de habitats representativos, é possível se identificar e quantificar recursos naturais importantes, habitats para exclusão de pesca, turismo, fundeio de embarcações, dentre outros (MOREIRA, 2008). Segundo Mumby e Harbone (1999) um esquema de classificação de habitat deve ter as seguintes propriedades: ser claro e facilmente compreendido com as classes intuitivamente interpretáveis; ter uma estrutura hierárquica para refletir as necessidades de diferentes usuários; ter uma linha de base objetiva, especialmente em escalas mais refinadas, onde as diferenças entre classes tornam-se progressivamente sutis; e ser facilmente resumido para uso preciso em levantamentos rápidos de campo.

Para realizar um manejo eficiente em áreas recifais no Brasil, é necessário assumir que as espécies e os ambientes possuem graus de importância variados. Por ter sido elaborado de forma detalhada o sistema de classificação de habitats do PMMRF se mostrou complexo, dada à escala adotada neste estudo. Logo, nesta

escala a análise dos percentuais de cobertura e distribuição espacial das espécies parece mais adequada para servir como linha de base para fins de manejo.

#### 4. CONCLUSÕES

A combinação de diferentes métodos como, levantamento batimétrico de baixo custo, fotointerpretação de imagem de alta resolução, levantamentos de campo, coleta de amostras e criação de base de dados georreferenciada se mostraram eficientes para a avaliação adequada do ambiente recifal. O uso de imagem de satélite é indicado para mapeamento em meso escala principalmente para localização e definição de limites geográficos de áreas recifais; em micro escala contempla o mapeamento visual, através de fotointerpretação apenas dos topos recifais, dependendo da experiência do usuário. A ferramenta apresenta limitações como: resolução espacial do sensor, transparência da água e profundidade.

O levantamento batimétrico, tal como o executado, se restringe a áreas recifais de plataforma, onde haja profundidade mínima (maré de meso escala) que permita a navegação sobre as formações, caso que não ocorre nos recifes costeiros.

A confecção de banco de dados georreferenciado permitiu a organização de séries históricas de informações (2008 a 2010) e a aplicação de análises espaciais sem restrições quanto ao tipo de dado avaliado; depois de estruturada a base suporta a inserção de múltiplos atributos dentro das mais diversas abordagens.

A criação de modelo ambiental constituiu uma visão de conjunto dos fatores físicos, químicos e biológicos responsáveis pela realidade do ambiente recifal. A utilização de Modelos comporta a elaboração de diagnósticos ambientais consistentes que podem ser usados como base para propostas de zoneamento e manejo em UC's marinhas.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq pela bolsa de doutorado concedida; ao Projeto Coral Vivo através do Programa Petrobras Ambiental 2006, por ter viabilizado a execução do subprojeto

Gestão Ambiental, e por ter disponibilizado toda a estrutura física, de equipamentos e de recursos humanos, utilizada durante as diversas etapas deste trabalho. Ao Arraial d'Ajuda Eco Parque. Aos colegas pesquisadores associados e demais participantes, alunos e funcionários do Projeto Coral Vivo pelas discussões e pelo continuado entusiasmo pelo trabalho. Por fim, agradecemos ao Editor da Revista Brasileira de Cartografia, Alan Salomão, e a Rosemary Hoff e a um segundo revisor anônimo pelas valiosas contribuições ao documento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, P. V. N. A. **Análise geoambiental da plataforma continental rasa equatorial, por meio de sensoriamento remoto e dados sedimentológicos: Parrachos de Rio do Fogo – RN, Brasil.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 83 p., 2014.

ARAÚJO, P. V. N. A.; AMARAL, R. F. Mapping of coral reefs in the continental shelf of Brazilian Northeast through remote sensing. **Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada.** 16(1): 5–20 p., 2016.

AYRES, A.; NETO, J. A. B. Métodos Diretos e Indiretos de Investigação do Fundo Oceânico. In NETO, J. A. B.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S.E. **Introdução à geologia marinha.** Rio de Janeiro: Interciência. Capítulo 6, 127–151 p., 2004.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. Gipsita. Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações. **Comunicação Técnica. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).** Capítulo 21. 449–470 p., 2005.

BELLO-PINEDA, J.; LICEAGA-CORREA, M. A.; HERNÁNDEZ-NÚÑEZ, H.; PONCE-HERNÁNDEZ, R. Using Aerial Video to Train the Supervised Classification of LandSat TM Imagery for Coral Reef Habitat Mapping. **Environmental Monitoring and Assessment** 105: 145–164 p., 2005.

BELLO-PINEDA, J.; PONCE-HERNÁNDEZ, R.; LICEAGA-CORREA, M. A. Incorporating GIS and MCE for Suitability Assessment Modelling of Coral Reefs Resources.

**Environmental Monitoring and Assessment.** 114: 225–256 p., 2006.

CAMARGO, J. M. R.; ARAÚJO, T. C. M.; MAIDA, M.; USHIZIMA, T. M. Morfologia da Plataforma Continental Interna Adjacente ao Município de Tamandaré, Sul de Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica.** 25 (1): 79–89 p., 2007.

CASTRO, C. B.; PIRES, D. O. Brazilian coral reefs: what we already know and what still missing. **Bulletin of Marine Science.** 69(2): 357–371, 2001.

CASTRO, C. B., SEGAL, B., PIRES, D. O.; MEDEIROS, M. S. Distribution and diversity of coral communities in the Abrolhos Reef Complex, Brazil. In: DUTRA, G. F., ALLENS, G. R., WENER, T. & MCKENNA, S. A. **A Rapid Marine Biodiversity Assessment of the Abrolhos Bank, Bahia, Brazil. RAP Bulletin of Biological Assessment** 38. Conservation International, Washington, DC. Pp 19-39; 96-97, 2006.

COSTA JR, O. S.; ATTRILL, M. J.; PREDINI, A. G. E; DE-PAULA, J. C. Benthic macroalgal distribution in coastal and offshore reefs at Porto Seguro Bay, Brazilian Discovery Coast. **Proceedings 9th International Coral Reef Symposium,** Bali, Indonesia 23-27 October 2000. 1 – 9 p., 2000.

DAWES, C. J. **Marine Botany.** 408p. 2a ed. John Wiley New York. 1998.

DE ARAUJO, J. C.; FORTES, I. S. F. C.; DUARTE, F. C.; PEREIRA, B. S. B. O.; SANTOS, E. E. S.; SEOANE, J. C. S. 2015. Low-cost Bathymetric Survey for Marine Protected Areas: coral reefs and coastal islands. **2015 IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (Rio Acoustics).** DOI10.1109/RIOAcoustics.2015.7473610. Disponível em <http://ieeexplore.ieee.org/document/7473610/?section=abstract>. Acesso em: 20 de dezembro 2017

DHN. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 2007. Porto Seguro. **Carta Náutica Digital em formato rastrear.** Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>. Acesso em: 18 de maio 2017.

- DHN. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Tábua de Marés para o Porto de Ilhéus (BA)**. Disponível em: <http://www.dhn.mar.mil.br>. Acesso em: 25 de maio 2017.
- DRESSLER, M. **Art of Surface Interpolation**. Kunstat. 80 p., 2009.
- ESRI. **ArcGIS Desktop 10 Help**. SITE Acesso em: 19 de maio 2017.
- FERNANDEZ, O. V. Q.; SANTOS, M. L.; FULFARO, V. J. Caracterização e distribuição dos sedimentos de fundo do rio Paraná em Porto Rico (PR). **Revista Ciência Geográfica**. Bauru. 1 (15). 25 – 32 p., 2000.
- FERREIRA, B. P., MAIDA, M.; SOUZA, A. E. Levantamento inicial das comunidades de peixes recifais da região de Tamandaré – PE. **Boletim Técnico-Científico do Cepene**. Tamandaré. 6 (1): 211-230. 1995.
- FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. Características e Perspectivas para o Manejo da Pesca na Área de Proteção Ambiental Marinha Costa dos Corais. In: *Áreas Aquáticas Protegidas como Instrumento de Gestão*. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 29-39 p., 2007.
- FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27(1): 3-26 p., 1957.
- GARMIN GPSMAP® 276C **Owner's Manual**. 48–99 p., 2007.
- GREEN E. P.; MUMBY, P. J.; EDWARDS, A. J.; CLARK, C. D. **Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management**. Paris: Coastal Management Sourcebooks UNESCO, 316 p., 2000.
- HAMMER, Ø; HARPER, D. A. T.; RYAN, P.D. **PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis**. *Palaeontologia Electronica*, 4: 1-9 p., 2001.
- HUTCHINSON, M. F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. **Proceedings of the Third International Symposium on Spatial Data Handling**. August 17-19, Sydney. International Geographical Union, Columbus, Ohio, 117-133 p., 1988.
- HUTCHINSON, M. F. A new method for gridding elevation and streamline data with automatic removal of pits. **Journal of Hydrology** 106: 211-232 p., 1989.
- KIKUCHI, R. K. P; LEÃO Z. M. A. N. Rocas (Southwestern Equatorial Atlantic, Brazil): an atoll built primarily by coralline algae. In: *Proceedings of the 8° ISRS, Int. Coral Reef Symposium, Panama*, 1: 731–736 p. 1997.
- LABOREL, J. Les peuplements de Madréporaires des côtes tropicales du Brésil. **Annales de l'Universite D'Abidjan, Serie E (Ecologie)**, 3: 260 p., 1969.
- LEÃO, Z. M. A. N. Abrolhos, Ba, O complexo recifal mais extenso do Atlântico Sul. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*, 345-359 p., 2002.
- LIMA, W. S. G. **Geologia e geomorfologia dos Recifes de Maracajaú – RN e plataforma rasa adjacente**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 91 p., 2002.
- LIMA, W. S. G.; AMARAL, R. F. Mapeamento de recifes de corais no litoral oriental do Rio Grande do Norte (o Baixo de Maracajaú). In: **Congresso Brasileiro de Geologia, Anais**, 41 p., 2003.
- LIMA, C. C. U.; VILAS BOAS, G. S.; REGO, F. H. Faciologia e Análise Tectônica Preliminar da Formação Barreiras no Litoral Sul do Estado da Bahia, Brasil. **Geologia USP Série Científica**, São Paulo. 6 (2): 71–80 p., 2006.
- MARQUES, L. V; CREED, J. C. Biologia e Ecologia das Fanerógamas Marinhas do Brasil. **Oecologia Brasiliensis**, 12 (2): 315-331 p., 2008.
- MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE.. Biodiversidade Brasileira. Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. **Série Biodiversidade 5**. 340 p., 2002.
- MOREIRA, P. P. **Mapeamento de Habitats d Recife de Coral Pedra de Leste, Abrolhos, Utilizando Imagens Orbitais Quickbird e**



- LANDSAT7 ETM+**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia. 1-117 p., 2008.
- MOREIRA, P. P.; REUSS-STRENZEL, G. M.. Mapeamento de habitats do recife de coral Pedra de Leste, Abrolhos, utilizando uma imagem multiespectral Landsat7 ETM+. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE. 6595 – 6602 p., 2009.
- MUMBY, P. J.; HARBORNE, A. R. Development of a systematic classification scheme of marine habitats to facilitate regional management and mapping of Caribbean coral reefs. **Biological Conservation**, v. 88, 155-163p., 1999.
- NEVES, E. G.; SILVEIRA, F. L.; PICHON, M.; JOHNSSON, R. Cnidaria, Scleractinia, Siderastreaidae, *Siderastrea siderea* (Ellis and Solander, 1786): Hartt Expedition and the First record of a Caribbean siderastroid in tropical Southwestern Atlantic. **Checklist, Rio Claro**, v. 6, n. 4, 505 – 510 p., 2010.
- POGGIO, C. A.; SOUZA, F. B. C.; ALVES, O. F. S.; DOMINGUEZ, J. M. L. Distribuição dos componentes biogênicos nos sedimentos da área do Canal de Salvador, Baía de Todos os Santos, Bahia. **Quaternary and Environmental Geosciences**. 1(1): 10 – 15 p., 2009.
- RABELO, E. F. **Distribuição Espacial e Interações Competitivas em Zoantídeos (CNIDARIA: ZOANTHIDAE) em um Ambiente de Recifes de Arenito no Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. 1 – 101 p., 2007.
- ROHMANN, S. O. A Classification Scheme for Mapping the Shallow-water Coral Ecosystems of Southern Florida. Version 3.2. **Coral Reef Conservation Program, NOAA**. 14 p., 2008.
- SANTOS, C. L. A.; VITAL, H.; AMARO, V. E.; KIKUCHI, R. K. P. Mapeamento de recifes submersos na costa do Rio Grande do Norte, NE do Brasil: Macau a Maracajaú. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25(1): 27-36 p., 2007.
- SCHEER, G. Application of phytosociologic methods. 175–196 p. *In*: Stoddart, D. R. and Johannes, R. E. (Eds). **Coral Reefs. Research Methods**. Paris. UNESCO, 1978.
- SEOANE, J. C. S.; ARANTES R. C. M., CASTRO C. B. Benthic Habitat Mapping at Recife de Fora, Brazil: Imagery and GIS. Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium, Cairns, Australia, 9-13 July 2012. 5A Remote sensing of reef environments. Disponível em: [http://www.icrs2012.com/proceedings/manuscripts/ICRS2012\\_5A\\_8.pdf](http://www.icrs2012.com/proceedings/manuscripts/ICRS2012_5A_8.pdf). Acesso em 20 de Maio de 2017.
- SHORT, F. T.; COLES, R. G.; PERGENT-MANTINI, P. Global Seagrass distribution. p. 141-154. *In*: SHORT, F. T. e COLES, R. G. (eds). **Global Seagrass methods**, Elsevier, New York, 2001.
- SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN, S. **Sistema de Banco de Dados**. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 778 p., 1999.
- SILVA, I. R.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L. Modelagem de Ondas como Subsídio para a Gestão Ambiental das Praias da Costa do Descobrimento, sul do Estado da Bahia. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, INPE, 4691-4697 p., 2007.
- SILVEIRA, T. A. **Modelos de interpoladores aplicados a construção de superfícies batimétricas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 81 p., 2010.
- SOARES, M. O.; LEMOS, V. B. ; KIKUCHI, R. K. P. Aspectos biogeomorfológicos do Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial. **Revista Brasileira de Geociências**. 41(1): 85 – 94 p., 2011.
- SOARES-GOMES, A.; FIGUEIREDO JR, A. G. O ambiente marinho. *IN*: PEREIRA, R. C. & SOARES-GOMES, A. (orgs). **Biologia Marinha**. Interciência. Rio de Janeiro. 1 – 33 p., 2002.
- THURMAN, H. V.; BURTON, E. A. **Introductory Oceanography**. Book, Illustrated Prentice Hall. 1 – 554 p., 2001.
- VILLAÇA, R. Recifes Biológicos. *In*: R. C. PEREIRA; A. S. GOMES (eds). **Biologia Marinha**. Interciência, Rio de Janeiro, 1-350 p., 2002.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology** V. 30, 377-392 p., 1922.

WILSON, E. O. The **Diversity of Life**. Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass. 424 p., 1992.