



Beatriz Sabino de Britto Pereira

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO E
CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTAR DO RECIFE DO ARARIPE, BA**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

UFRJ
Rio de Janeiro
2015

UFRJ
Rio de Janeiro
2015



UFRJ

Beatriz Sabino de Britto Pereira

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO
SEDIMENTAR DO RECIFE DO ARARIPE, BA**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

José Carlos Sícoli Seoane

Rio de Janeiro

Abril de 2015

BRITTO PEREIRA, Beatriz Sabino

Geoprocessamento aplicado ao mapeamento e caracterização sedimentar do Recife do Araripe, BA/

Beatriz Sabino de Britto Pereira - Rio de Janeiro: UFRJ/IGEO, 2015.

xvi, 105 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2015.

Orientador: José Carlos Sícoli Seoane

1. Geologia. 2. Geologia regional e econômica – Trabalho de Conclusão de Curso. I. José Carlos, Sícoli Seoane. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Beatriz Sabino de Britto Pereira

GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO
SEDIMENTAR DO RECIFE DO ARARIPE, BA

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane

Aprovada em: 01/04/2015

Por:

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane (UFRJ)

Prof. Dr. Cátia Fernandes Barbosa (UFF)

Prof. Dr. Claudio Limeira Mello (UFRJ)

UFRJ
Rio de Janeiro
2015

Aos meus queridos pais Marcelo e Rosangela e a minha irmã Gabi, cujo apoio e amor incondicional me proporcionaram mais essa conquista.

Agradecimentos

Aos meus pais, Marcelo e Rosangela, meus grandes exemplos de vida, que me ensinaram a amar e apreciar o mundo a minha volta.

A minha irmã Gabi, fonte de inspiração e maior exemplo de determinação que possuo.

Ao Projeto Coral Vivo e toda sua equipe, pela viabilização da execução deste estudo.

Ao Cainho, que além de ser um grande professor e orientador, também se tornou um grande amigo.

Ao meu amor Ian, que além de companheiro, amigo e parceiro de todas as horas, me ajudou durante a execução desse projeto e entendeu as minhas constantes ausências e mudanças de humor.

Aos companheiros de campo Jhone e Márcio, pelas horas de agradável convivência dedicadas a esse projeto.

À Cátia, que disponibilizou tempo e paciência para me auxiliar no desenvolvimento desse projeto.

Aos meus queridos amigos e parceiros de todos os inesquecíveis momentos da graduação, Paula, Diego e Pedro, pela amizade, apoio e risadas.

Aos amigos da turma mais incrível que já passou pela geologia, por toda união e companheirismo.

À minhas queridas amigas Ju e Luba, parceiras e confidentes de muitos anos.

À Talita, amiga que me ajudou prontamente quando necessitei.

Ao LAGESED, por disponibilizar o espaço para a realização das análises granulométricas.

Ao Roberto, técnico do LAGESED, que me auxiliou prontamente durante todas as análises realizadas.

A todos os professores da Geologia (UFRJ), por terem me fornecido todas as informações necessárias para que me transformasse uma profissional melhor.

A cada conquista um novo mundo.

Resumo

BRITTO PEREIRA, Beatriz. **GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTAR DO RECIFE DO ARARIPE, BA.** 2015. xvi,105 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Situado no Parque Municipal Marinho da Coroa Alta próximo à cidade de Santa Cruz de Cabralia no nordeste do Brasil, o Recife do Araripe constitui uma complexa interação entre processos geológicos e biológicos, caracterizando uma área de grande biodiversidade que ainda é pouco estudada. Com o objetivo de identificar as atuais características físicas e sedimentológicas desse recife, este trabalho propõe a integração de técnicas de geoprocessamento ao mapeamento dos tipos de fundo e a análises granulométricas e composicionais do sedimento. Para isso foi realizada a fotointerpretação e a classificação de uma imagem do satélite WorldView II de alta resolução espacial e espectral, que levou à identificação de 11 tipos de fundo representativos da área. A eficiência das técnicas de sensoriamento remoto em representar a realidade foi comprovada através do mapeamento físico e da caracterização sedimentar do ambiente. Durante o mapeamento do recife, foram coletados sedimentos e informações sobre os diferentes tipos de fundo ao longo de 47 pontos, que foram escolhidos de acordo com os resultados da classificação. Adicionalmente, também foi criado um banco de vídeos e imagens para auxiliar na caracterização dos diferentes tipos de fundo identificados. Através das análises granulométricas e composicionais foi possível identificar os principais bioclastos e sua distribuição ao longo da área de estudo, possibilitando a interpretação de padrões de dispersão e deposição sedimentar na área recifal. Nesse contexto, os principais produtores carbonáticos que contribuem efetivamente para a produção de sedimentos nesse recife são as algas calcárias, os briozoários, os corais (corais pétreos, octocorais e hidrocorais), as conchas, os crustáceos, os foraminíferos, os gastrópodes e os ouriços.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Recifes de Coral; Sedimentologia.

Abstract

BRITTO PEREIRA, Beatriz. **GIS TECHNIQUES APPLIED TO BOTTOM TYPE MAPPING AND SEDIMENT CHARACTERIZATION OF THE ARARIPE CORAL REEF, BA.** 2015. xvi,105 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Located within the limits of the “Parque Municipal Marinho da Coroa Alta” near to Santa Cruz de Cabralia city in northeastern Brazil, The Araripe coral reef characterize a complex interaction between geological and biological processes, featuring an area of great biodiversity that has been little studied. In order to identify its current physical and sedimentological settings, this paper proposes the integration of GIS techniques to bottom type mapping and textural and compositional analyzes of the sediments from the reef. Thus, it was performed an interpretation and classification of a high spatial and spectral resolution image from WorldView II satellite, which led to the identification of 11 representative bottom types on the study area. The efficiency of these remote sensing techniques in representing reality was confirmed by the results of the sedimentary characterization and physical mapping of the reef. During the mapping 47 selected dive sites were visited and sampled according to the classification results. Additionally, a video and image database was created in order to assist the characterization of the 11 bottom types identified in the study area. Through the grain size and compositional analysis of the sediments it was possible to identify the main types of bioclasts and its distribution throughout the reef. Therefore, the main carbonate producers that effectively contribute to the reef sediment production are calcareous algae, bryozoans, corals (stony corals, octocorals and hydrocorals), shells, crustaceans, foraminifera, gastropods and sea urchins.

Key-Words: GIS; Coral Reefs; Sedimentology.

Sumário

Agradecimentos	vi
Resumo	viii
Abstract.....	ix
Lista de figuras.....	xiii
Lista de tabelas	xvi
Lista de abreviaturas e siglas	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Apresentação	1
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo geral.....	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	5
2.1. Localização e acessos.....	5
2.2. Clima e oceanografia.....	6
2.3. Geologia e geomorfologia.....	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1. Recifes de coral.....	14
3.1.1. Tipos de recife	14
3.1.2. Importância socioeconômica.....	15
3.1.3. Principais causas da degradação nos recifes mundiais.....	16
3.2. Recifes brasileiros	17
3.2.1. Distribuição e principais estudos.....	17
3.2.2. Biodiversidade	18
3.3. Geologia dos recifes de coral	20

3.3.1.	Desenvolvimento e precipitação carbonática.....	20
3.3.2.	Sedimentologia	24
3.4.	Análises granulométricas.....	29
3.5.	Geoprocessamento	33
3.5.1.	Definição e principais aspectos.....	33
3.5.2.	Geoprocessamento aplicado à recifes de coral	35
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1.	Geoprocessamento	38
4.1.1.	Aquisição	38
4.1.2.	Pré-processamento.....	38
4.1.3.	Fotointerpretação	39
4.1.4.	Classificação.....	40
4.2.	Trabalho de campo.....	40
4.2.1.	Amostragem.....	41
4.2.2.	Mapeamento do tipo de fundo	43
4.3.	Análises granulométricas.....	43
4.3.1.	Peneiramento.....	44
4.3.2.	Pipetagem.....	44
4.3.3.	Análise dos parâmetros estatísticos.....	44
4.4.	Análise composicional	45
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1.	Geoprocessamento	48
5.1.1.	Fotointerpretação	48
5.1.2.	Classificação	51
5.2.	Mapeamento do tipo de fundo	55
5.2.1.	Caracterização geral	55
5.2.2.	Correlação entre as classes e os diferentes tipos de fundo do RA	56
5.2.2.1.	Classe 1 – Fundo cascalho-arenoso muito raso e/ou emerso.....	57
5.2.2.2.	Classe 2 – Fundo arenoso raso	59
5.2.2.3.	Classe 3 – Areia no topo recifal.....	61
5.2.2.4.	Classe 4 – Macroalgas e algas calcárias	63
5.2.2.5.	Classe 5 – Recife morto e cascalhos incrustados por algas calcárias e macroalgas de menor porte.....	65

5.2.2.6.	Classe 6 – Topo recifal.....	67
5.2.2.7.	Classe 7 – Recife morto coberto por algas calcárias, algas turf, esponjas e ouriços	71
5.2.2.8.	Classe 8 – Corais.....	73
5.2.2.9.	Classe 9 – Corais	75
5.2.2.10.	Classes 10 e 11 – Fundo arenoso profundo/ muito profundo.....	77
5.3.	Distribuição dos parâmetros estatísticos	79
5.3.1.	Média	80
5.3.2.	Desvio padrão.....	81
5.3.3.	Curtose	83
5.3.4.	Assimetria	84
5.4.	Distribuição composicional	85
5.4.1.	Algas calcárias.....	91
5.4.2.	Briozoários	91
5.4.3.	Conchas.....	92
5.4.4.	Corais.....	93
5.4.5.	Crustáceos.....	94
5.4.6.	Foraminíferos.....	94
5.4.7.	Gastrópodes	95
5.4.8.	Ouriços.....	95
5.4.9.	Siliciclásticos.....	95
5.4.10.	Outros	96
6.	CONCLUSÕES.....	97
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99

Lista de figuras

- Figura 1** - Distribuição dos maiores recifes de coral no Brasil e no mundo classificados quanto ao nível de ameaça (adaptado de Burke *et al*, 2011).....3
- Figura 2** - Localização e acessos do Parque Municipal Marinho da Coroa Alta. A) Área de estudo localizada no sul da Bahia; B) Principal rota de acesso à Santa Cruz de Cabralia; C) Recifes do PMMCA. (IBGE 2013, *basemap* ESRI, Imagem Worldview II (2013) da *Digital Globe*).6
- Figura 3** - A) Sentido da deriva litorânea ao longo da costa do PMMCA; B) Sentido das principais frentes de ondas que chegam ao PMMCA onde o tamanho da seta indica a intensidade da frente (adaptado de Silva, 2008). Em vermelho está demarcada a localização do RA.8
- Figura 4** – Mapa geológico simplificado da região de estudo. A área demarcada representa a localização do RA (reproduzido de Moraes Filho & Saadi,1999). 11
- Figura 5** - Mapa geomorfológico simplificado da região de estudo e (reproduzido de Dantas et al., 2002). 12
- Figura 6** - Mapa esquemático da Bacia Sedimentar de Cumuruxatiba (reproduzido de Rodovalho et al., 2003) 13
- Figura 7** - Principais fatores que controlam a distribuição e o desenvolvimento dos recifes de coral tropicais. As caixas cinzas representam produtos finais da interação desses fatores (reproduzido de Montaggioni & Braithwaite, 2009).22
- Figura 8** - Mineralogia carbonática de diferentes organismos recifais, ● = comum; R = raro (adaptado de Tucker & Wright, 1990).24
- Figura 9** - Conjunto de técnicas de geoprocessamento (reproduzido de Santos & Souza-Santos, 2007)..... 34
- Figura 10** - Bandas espectrais do satélite WorldView II. (reproduzido de Updike & Comp, 2010).....37
- Figura 11** - Pontos de mergulho e coleta no Recife do Araripe (imagem *pan-sharpened* WVII da Digital Globe). 41
- Figura 12** - Principais bioclastos identificados nas amostras do Recife do Araripe na fração areia muito grossa. A) Algas Calcárias; B) Briozoários; C) Corais; D) Conchas; E) Crustáceos; F) Foraminíferos; G) Gastrópodes; H) Espinhos de Ouriço; I) Siliciclásticos 46
- Figura 13** - Zonas fotointerpretadas através da imagem *pan-sharpened* do satélite WVII na composição de bandas R:4, G:3, B:1. 49

- Figura 14** - Classificação de pixels pelo método de máxima verossimilhança realizada a partir da imagem que foi corrigida atmosféricamente.52
- Figura 15** - Distribuição de fundo cascalho-arenoso muito raso e/ou emerso (Classe 1) no RA. A) Blocos de coral e cascalho no topo da ilha do Araripe; B) Blocos de alga calcária e coral; C) Marcas de onda e macroalga.58
- Figura 16** - Distribuição de fundo arenoso raso (Classe 2) no RA. A) Marcas de onda em sedimento fino; B) Ocorrência pontual de macroalga parda de pequeno porte e presença de marcas de onda.60
- Figura 17** - Distribuição de areia no topo recifal (Classe 3) no RA. A) Sedimento grosso colocado em suspensão pelas ondas; B) Sedimento grosso e cascalho no topo recifal; C) Algas calcárias e macroalgas junto a sedimentos no topo recifal.62
- Figura 18** - Distribuição de macroalgas e algas e calcárias (Classe 4) no RA. A) Grande diversidade de algas; B) Sedimento muito grosso; C) Alga calcária incrustante e macroalga parda.64
- Figura 19** - Distribuição de recife morto (A) e cascalhos incrustados por algas calcárias (B) e macroalgas de menor porte (C) (Classe 5) no RA.66
- Figura 20** - Distribuição do topo recifal (Classe 6) no RA. A) Recife exposto durante a maré baixa (ilha recifal ao fundo); Moréia (B), Coral estrela (C) e algas *turf* encontrados em poças durante a maré baixa.68
- Figura 21** - Visão detalhada da piscina natural localizada no centro do topo recifal.69
- Figura 22** – Diferentes tipos de fundo e a biodiversidade da piscina natural que está localizada no centro do topo recifal. A) *Agaricia agaricites*, coral estrela (*Siderastrea stellata*), Barriguinha amarela (*Favia leptophylla*) e algas *turf*; B) Fundo da piscina recoberto por algas, corais e peixes-frade; C) Corais cérebro (*Mussismilia hispida* e *hartii*), coral estrela (*Siderastrea stellata*), *agaricia agaricites* e algas *turf*; D) Baba-de-boi (*Palythoa caribaeorum*) e guaiúbas; E) Algas no fundo da piscina e um peixe grande em sua toca; F) Baba-de-boi (*Palythoa caribaeorum*) e cardume de peixes.70
- Figura 23** - Distribuição de recife morto recoberto por algas *turf* e calcárias (A), esponjas (B) e ouriços (A e B) no RA (Classe 7).72
- Figura 24** - Distribuição de corais e algas (Classe 8) no RA. A) Baba-de-boi (*Palythoa caribaeorum*), algas calcárias e macroalga verde; C) Baba-de-boi (*Palythoa caribaeorum*), algas calcárias, macroalga verde e gorgônias (*Phyllogorgia dilatata*).74
- Figura 25** - Distribuição de corais (Classe 9) no RA. A) Colônias de coral cérebro (*mussismilia hartii*) e corais de fogo (*Millepora alcicornis*); B) Coral estrela (*Siderastrea stellata*) sendo soterrado por sedimentos finos; C) Gorgônias (*Phyllogorgia dilatata*), algas calcárias e macroalgas; D) Colônia de coral casca de jaca (*Montastrea Cavernosa*).76

Figura 26 - Distribuição de fundo arenoso profundo/muito profundo (Classes 10 e 11) no RA. A) Marcas de onda; B) Coleta de sedimento lamoso; C) Sedimento cascalho-arenoso; D) Recife morto incrustado por algas vermelhas. 78

Figura 27 - Distribuição da média granulométrica no RA de acordo com a classificação de Udden-Wentworth (1922): -1 a 0 ϕ (Areia Muito Grossa), 0 a 1 ϕ (Areia Grossa), 1 a 2 ϕ (Areia Média), 2 a 3 ϕ (Areia Fina), 3 a 4 ϕ (Areia Muito Fina), 4 a 10 ϕ (Silte e Argila). 80

Figura 28 - Distribuição do desvio padrão no RA de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): < 0,35 (Muito Bem Selecionado), 0,35 a 0,50 (Bem Selecionado), 0,5 a 0,71 (Moderadamente Bem Selecionado), 0,71 a 1,0 (Moderadamente Selecionado), 1,0 a 2,0 (Mal Selecionado) e 2,0 a 4,0 (Muito Mal Selecionado). 81

Figura 29 - Distribuição da curtose no RA de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): 0,41 a 0,67 (Muito Platicúrtica), 0,67 a 0,9 (Platicúrtica), 0,9 a 1,1 (Mesocúrtica), 1,1 a 1,5 (Leptocúrtica) e 1,5 a 3,0 (Muito Leptocúrtica). 83

Figura 30 - Distribuição da assimetria no RA de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): < -0,3 (Muito Negativa), -0,3 a -0,1 (Negativa), -0,1 a 0,1 (Quase Simétrica), 0,1 a 0,3 (Positiva) e > 0,3 (Muito Positiva). 84

Figura 31 - Distribuição composicional dos sedimentos do RA classificados em Alga Calcária (AC), Briozoários (BRI), Conchas, Corais, Crustáceos (CRU), Foraminíferos (FORAM), Gastrópodes (GAS), Ouriços (OUR), Siliciclásticos (SILIC) e Outros (grãos não identificados, agregados de grãos e fração não analisada da amostra). Gráficos de pizza menores representam amostras com maior porcentagem de grãos finos. 87

Figura 32 - Relação entre os resultados das análises granulométricas, composicionais e a profundidade das amostras coletadas no RA. Vale ressaltar que as profundidades utilizadas nessa análise (círculos azuis) foram medidas no momento do mergulho através do ecobatímetro da lancha e que os valores apresentados não foram corrigidos para as variações de maré. 89

Lista de tabelas

Tabela 1 - Distribuição das espécies de corais e hidrocorais nos recifes do leste do Brasil (reproduzido de Leao <i>et al</i> , 2010)	20
Tabela 2 - Classes de tamanho baseadas no diâmetro médio das partículas (modificado de Udden-Wentworth, 1922).....	29
Tabela 3 - Classificação das amostras pelo desvio padrão de acordo com o Método Gráfico (Folk & Ward, 1957).....	31
Tabela 4 - Classificação das amostras pela curtose de acordo com o método gráfico (Folk & Ward, 1957)	32
Tabela 5 - Classificação das amostras pela assimetria de acordo com o Método Gráfico (Folk & Ward, 1957).....	33
Tabela 6 - Pontos de coleta e mergulho no Recife do Araripe.....	42
Tabela 7 - Exemplo de análise composicional em uma amostra fictícia.	46
Tabela 8 - Principais características e aspectos das zonas fotointerpretadas.....	50
Tabela 9 - Comparação entre a classificação de pixels e a fotointerpretação.	54
Tabela 10 - Distribuição preferencial dos bioclastos por fração granulométrica analisada.....	90

Lista de abreviaturas e siglas

GCRMN – *Global Coral Reef Monitoring Network*

GPS – *Global Positioning System*

PMMCA – Parque Municipal Marinho da Coroa Alta

RA – Recife do Araripe

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SR – Sensoriamento Remoto

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

Além de constituir um dos ecossistemas de maior biodiversidade na Terra, os recifes de coral formam grandes estruturas rígidas no fundo marinho, caracterizando uma complexa interação entre processos geológicos e biológicos. Apesar de os corais também se desenvolverem em águas profundas, onde a temperatura é mais baixa, os recifes se distribuem preferencialmente na região equatorial/tropical do globo (Figura 1), podendo ser encontrados em mais de 100 países e territórios em uma área de aproximadamente 150000 km² da superfície oceânica (Copper, 1994).

Nas últimas décadas, os recifes de coral têm sido perturbados por consequência de ações antropogênicas, como a pesca, poluição e turismo, além de mudanças climáticas em escala global, como o aquecimento do planeta e a acidificação dos oceanos (Knowlton & Jackson, 2008). De acordo com as últimas análises publicadas pela *Global Coral Reef Monitoring Network* (GCRMN) em 2008, a área efetiva do planeta coberta por recifes já foi reduzida em pelo menos 19% de sua cobertura original (Wilkinson, 2008). Além disso, a previsão é de que dentro de trinta a quarenta anos 35 % dessa cobertura original seja reduzida, e que pelo menos 60% dessa área seja degradada (Wilkinson, 2008).

Por serem ambientes muito sensíveis a pequenas alterações de temperatura (Glynn, 1993), os recifes são historicamente importantes uma vez que fornecem informações sobre mudanças climáticas globais, paleoambiente e variações do nível do mar (Wilkinson, 2008; Woodroffe & Webster, 2014). O quadro atual coloca os recifes como áreas prioritárias de monitoramento e estudo, pois, além de seu papel no meio científico, esses ambientes são extremamente importantes no âmbito

socioeconômico, já que fornecem alimento e recursos econômicos para milhares de pessoas em todo o mundo (Moberg & Folke, 1999).

Os únicos recifes do Atlântico Sul estão localizados nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (Figura 1), estendendo-se por aproximadamente 3000 km do sul da Bahia até o Maranhão (Maida & Ferreira, 1997). Embora seja evidente sua importância ambiental e econômica, esses ambientes ainda são pouco estudados no Brasil, prejudicando a elaboração de planos eficientes de manejo e conseqüentemente sua preservação (Ferreira *et al.*, 1995). Aliado ao uso desordenado que está associado à pesca, turismo e poluição gerada pelo homem (Maida & Ferreira, 1997), tal cenário colabora para a crescente degradação dos recifes brasileiros, em especial os costeiros (Castro, 1999).

Dessa maneira, o constante aprimoramento e desenvolvimento de tecnologias que possibilitem o estudo de áreas extensas, e muitas vezes de difícil acesso, é essencial para melhorar o atual quadro de preservação dos recifes no Brasil. Nesse contexto, a integração de técnicas de geoprocessamento, como o Sensoriamento Remoto (SR), Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), ao mapeamento físico dessas áreas, tem se fortalecido como maneira efetiva de estudar, modelar e monitorar recifes de coral por todo o mundo (Xavier da Silva *et al.*, 2001; Andréfouët *et al.*, 2003; Bello-Pineda *et al.*, 2005).

Através do sensoriamento remoto de áreas recifais é possível identificar a distribuição de um determinado tipo de fundo e quantificar a área que o mesmo ocupa no local de estudo, principalmente em imagens com alta resolução espacial. Além disso, a possibilidade de se obter imagens de satélite com datas diferentes ao longo dos anos permite um monitoramento temporal da área imageada,

identificando, por exemplo, a perda ou aumento de cobertura recifal. Nesse contexto, a integração do mapeamento físico e das técnicas remotas de mapeamento, como o sensoriamento remoto, pode auxiliar na elaboração de modelos de monitoramento ambiental das áreas recifais brasileiras.

Localizado no sul da Bahia próximo à cidade de Santa Cruz de Cabrália (Figura 2), o Recife do Araripe foi escolhido para a realização desse estudo por ser uma área bem preservada e de difícil acesso.

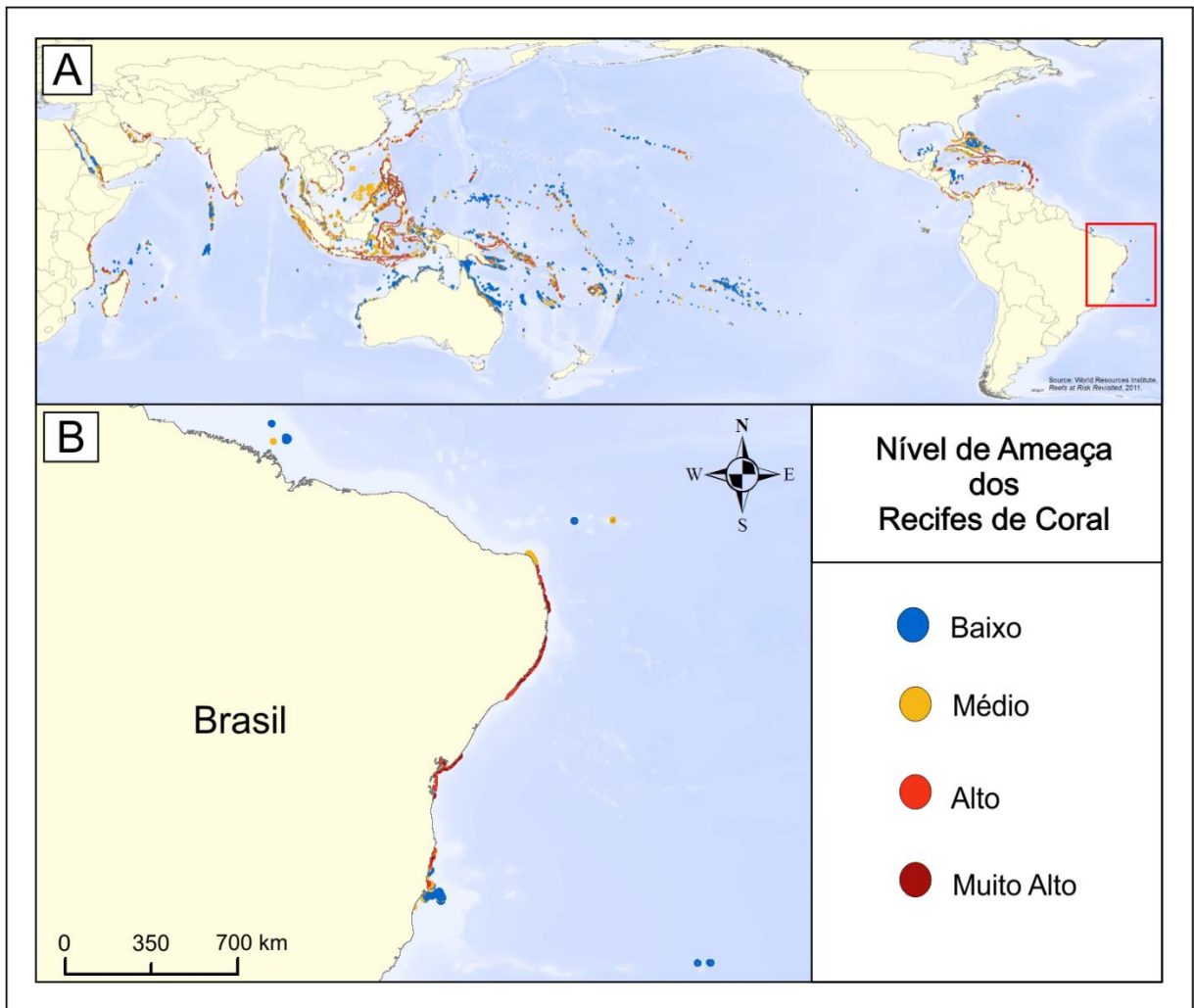


Figura 1 - Distribuição dos maiores recifes de coral no Brasil e no mundo classificados quanto ao nível de ameaça (adaptado de Burke *et al*, 2011).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo o mapeamento dos tipos de fundo do Recife do Araripe, assim como sua caracterização sedimentar e composicional, integrando dados geológicos, biológicos e ambientais através do geoprocessamento.

1.2.2. Objetivos específicos

- Elaborar mapas de fotointerpretação e classificação do tipo de fundo do RA através de imagem de satélite com alta resolução espacial;
- Mapear os diferentes habitats do RA a partir de levantamentos sobre a distribuição dos sedimentos, fauna e flora locais;
- Caracterizar a dinâmica sedimentar do RA através de análises granulométricas e composicionais do sedimento superficial.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização e acessos

Localizado na costa do descobrimento no Sul da Bahia, o Parque Municipal Marinho da Coroa Alta (PMMCA) foi criado em 21 de dezembro 1998, através da Lei Municipal nº 140/98 de Santa Cruz de Cabrália. Abrangendo uma área com cerca de 50 km², o parque é constituído por dois conjuntos principais de recifes que, de Sul para Norte, são a Coroa Alta e o Araripe (Figura 2).

O Recife do Araripe (RA), que está situado nas coordenadas 16°10'41''S e 38°55'2''W, encontra-se a 3,5 km de distância da costa e abrange uma área de aproximadamente 5 km² (Figura 2). O RA é constituído por uma plataforma coralínea principal, que possui uma ilha arenosa, e alguns recifes adjacentes, sendo classificado como um recife em franja (Wilson, 1974).

A principal via de acesso ao município de Santa Cruz de Cabrália é a BR-367, que é ligada a BR-101 na altura de Eunápolis, sendo rota para quem vem do norte ou do sul do país (Figura 2B). Já o acesso por via aérea é feito através do Aeroporto Internacional de Porto Seguro (BA), que está localizado 25 km a sul de Santa Cruz de Cabrália.

O acesso ao PMMCA é feito através de barco e, segundo a prefeitura, a cidade possui uma frota de 9 escunas, levando até 500 turistas por dia durante a alta temporada. Dentre os recifes do parque municipal, o mais visitado é a Coroa Alta por ser de mais fácil acesso. Como se encontra mais distante da costa do que os outros conjuntos recifais, o Araripe possui um ambiente mais preservado, podendo ser acessado por uma viagem de lancha de aproximadamente uma hora e meia saindo de Santa Cruz de Cabrália. No entanto, também é possível acessá-lo partindo de

sítios mais próximos, como a vila de Santo André, Santo Antônio ou a Reserva Guaiú, por intermédio de barqueiros locais.

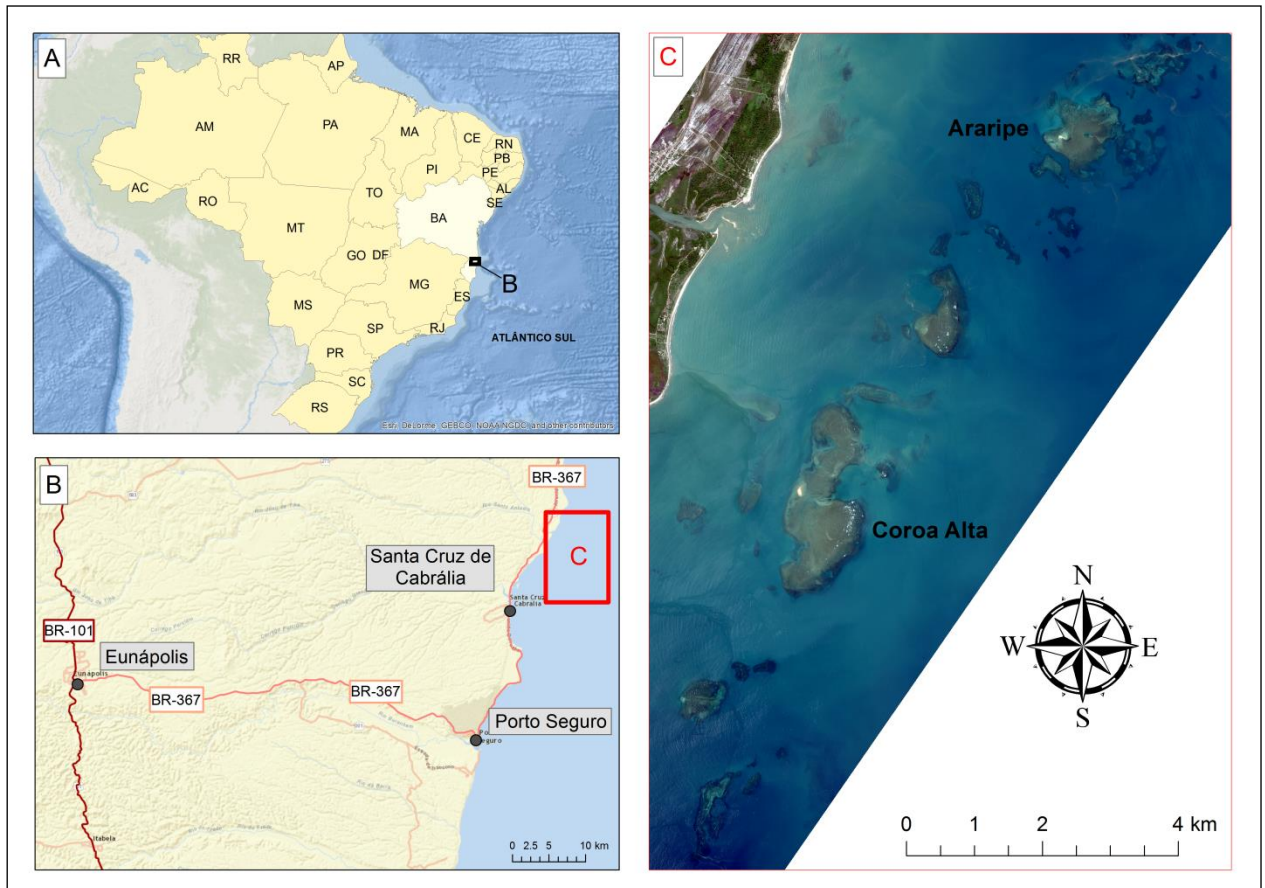


Figura 2 - Localização e acessos do Parque Municipal Marinho da Coroa Alta. A) Área de estudo localizada no sul da Bahia; B) Principal rota de acesso à Santa Cruz de Cabrália; C) Recifes do PMMCA. (IBGE 2013, *basemap* ESRI, Imagem Worldview II (2013) da *Digital Globe*).

2.2. Clima e oceanografia

O Recife do Araripe encontra-se em uma zona de baixa latitude e caráter tropical, com temperaturas médias anuais em torno de 24°C e um índice pluviométrico superior a 60 mm ao mês, caracterizando um clima tropical quente e úmido (Aouad, 1998). A circulação superficial do ar é dominada por ventos provenientes do leste (E, NE e SE), porém frentes frias vinda do sul são constantes

na região e influenciam diretamente seu alto grau de pluviosidade durante o ano todo (Aouad, 1998).

Nesse contexto, o regime anual de ondas correlaciona-se à circulação superficial, sendo controlado preferencialmente por frentes vindas do leste (N090°), nordeste (N045°), sudeste (N135°) e sul-sudeste (N157,5°), com frequências de 35%, 31%, 31% e 13% respectivamente (Silva, 2008). Enquanto as frentes de leste são bem distribuídas durante todo o ano, as ondas vindas de nordeste são predominantes no verão e na primavera, e as ondas vindas de sul e sul-sudeste são mais constantes durante o outono e o inverno (Silva, 2008).

A Figura 3 representa a dinâmica das principais frentes de ondas que chegam à costa do descobrimento, indicando suas alturas e direções ao longo da curva batimétrica de 5 m (Silva, 2008). É possível observar que o conjunto de recifes do Araripe funciona como uma barreira de dissipação energética em relação à costa, e que a face exposta de sua plataforma principal é mais atingida por ondas vindas do sudeste durante o ano todo (Figura 3).

Outro fator importante referente à qualidade de água no recife é o sentido da deriva litorânea e, como observado na Figura 3, o Recife do Araripe está localizado em uma zona de convergência da deriva, propiciando o acúmulo de sedimentos nessa região (Silva, 2008) e conseqüentemente uma maior turbidez na água.

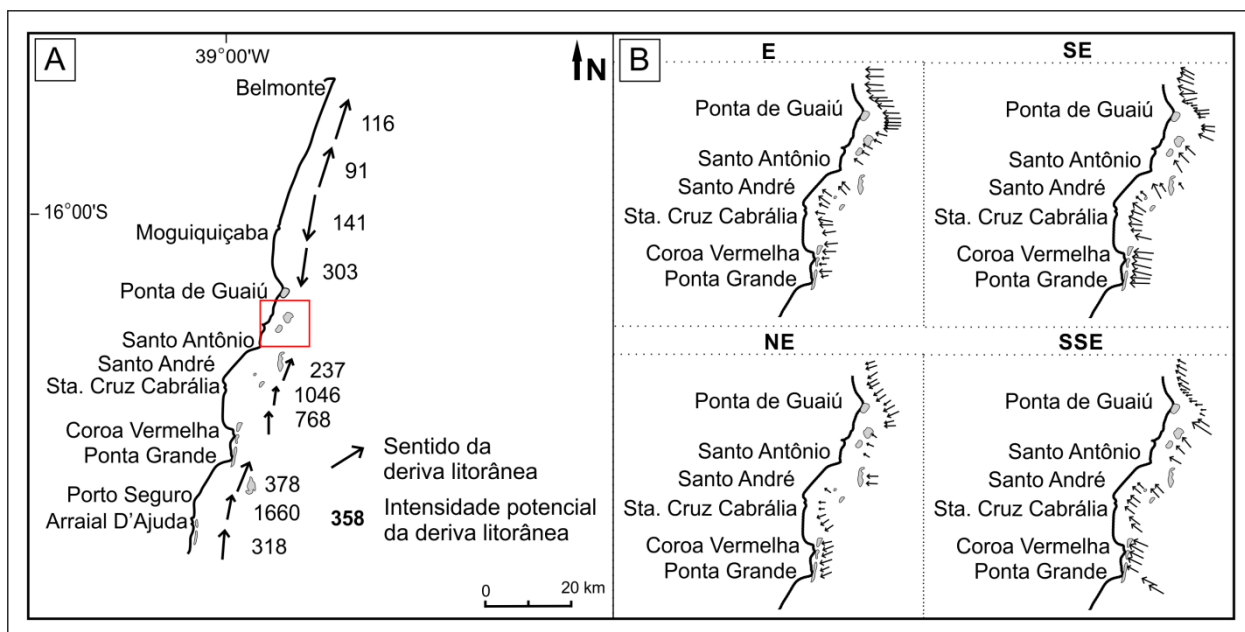


Figura 3 - A) Sentido da deriva litorânea ao longo da costa do PMMCA; B) Sentido das principais frentes de ondas que chegam ao PMMCA onde o tamanho da seta indica a intensidade da frente (adaptado de Silva, 2008). Em vermelho está demarcada a localização do RA.

2.3. Geologia e geomorfologia

A região da costa do descobrimento é caracterizada pela presença de granitóides e gnaisses migmatíticos paleoproterozoicos, rochas supracrustais e granitos neoproterozoicos e uma cobertura superficial cenozoica, representada pelos sedimentos terciários do Grupo Barreiras e os sedimentos do Quaternário (Figura 4) (Moraes Filho & Saadi, 1999).

Localizada entre as províncias estruturais da Mantiqueira e São Francisco, essa região possui três unidades morfoestruturais: A Superfície Pré-Litorânea, os Tabuleiros Costeiros e as planícies flúvio-marinhas (Figura 5) (Dantas *et al.*, 2002). Enquanto a Superfície Pré-Litorânea foi elaborada sobre as formações do embasamento proterozoico e delimita uma morfologia colinosa no interior da região, os Tabuleiros Costeiros e as planícies flúvio-marinhas formaram-se respectivamente

sobre o Grupo Barreiras e os sedimentos quaternários (Moraes Filho & Saadi, 1999; Dantas *et al.*, 2002). Esses tabuleiros muitas vezes formam falésias ativas de até 40m de altura e ocupam uma grande área litorânea no sul da Bahia, situando-se entre as colinas da Superfície Pré-Litorânea e o litoral (Dantas *et al.*, 2002).

Recobrimo cerca de 80% do entorno da região estudada, a cobertura superficial caracteriza estruturalmente o Domínio das Coberturas Cenozóicas, que em sua maior parte é representado pelos arenitos imaturos, areias e argilas do Grupo Barreiras (Moraes Filho & Saadi, 1999; Silva *et al.*, 2001). Nesse domínio são observados alinhamentos estruturais que são refletidos na organização e direção preferencial das drenagens, que varia entre noroeste-sudeste, nordeste-sudoeste e leste-oeste (Moraes Filho & Saadi, 1999).

Já o Domínio das Unidades Proterozóicas é representado pelas rochas do embasamento cristalino e ocorre em menor quantidade no entorno da região estudada. Além disso, também é possível identificar o mesmo alinhamento estrutural regional que existe nas unidades mais recentes nesse domínio, indicando como as rochas do embasamento desempenharam um papel importante na evolução da geologia estrutural da área (Moraes Filho & Saadi, 1999).

Outra importante feição da área de estudo são as rochas de praia (*beachrocks*), que têm uma orientação paralela à linha de costa e estão localizadas preferencialmente na desembocadura dos rios Santo Antônio e João de Tiba, formando ilhas-barreira e altos topográficos ao longo da costa (Dantas *et al.*, 2002). Essas rochas se encontram na unidade morfológica das planícies flúvio-marinhas e representam antigos cordões arenosos que foram cimentados por carbonato e hoje em dia formam áreas protegidas da ação de ondas (Dantas *et al.*, 2002). Também pertencentes a essa unidade morfoestrutural, os recifes de coral são comuns ao

longo da costa do descobrimento e são feições que geralmente são formadas a partir de um substrato rígido no fundo marinho, fixando-se sobre afloramentos rochosos (Leão, 1996). Apesar de o Recife do Araripe estar situado sobre a plataforma continental, ainda não se tem informações sobre a composição de seu embasamento. Vale ressaltar que a presença de recifes de coral próximo à costa, como o Araripe e a Coroa Alta, afeta diretamente a dinâmica de ondas, deriva litorânea e a dispersão dos sedimentos na costa, formando feições erosivas, como a exposição de falésias ativas, e feições de acúmulo sedimentar, como a Ponta do Guaiú e Ponta de Santo Antônio (Figura 3) (Dantas *et al.*, 2002).

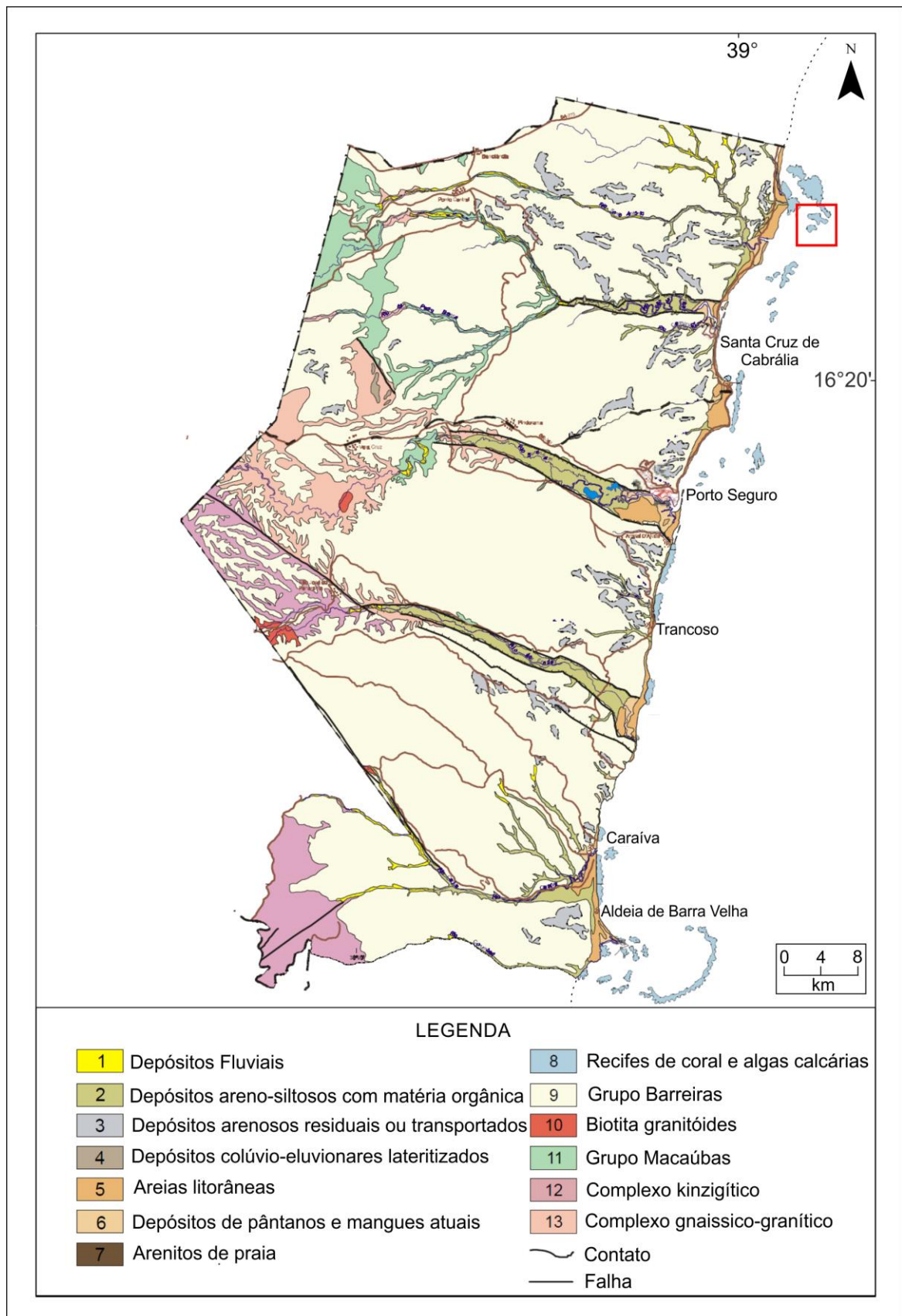


Figura 4 – Mapa geológico simplificado da região de estudo. A área demarcada representa a localização do RA (reproduzido de Moraes Filho & Saadi, 1999).

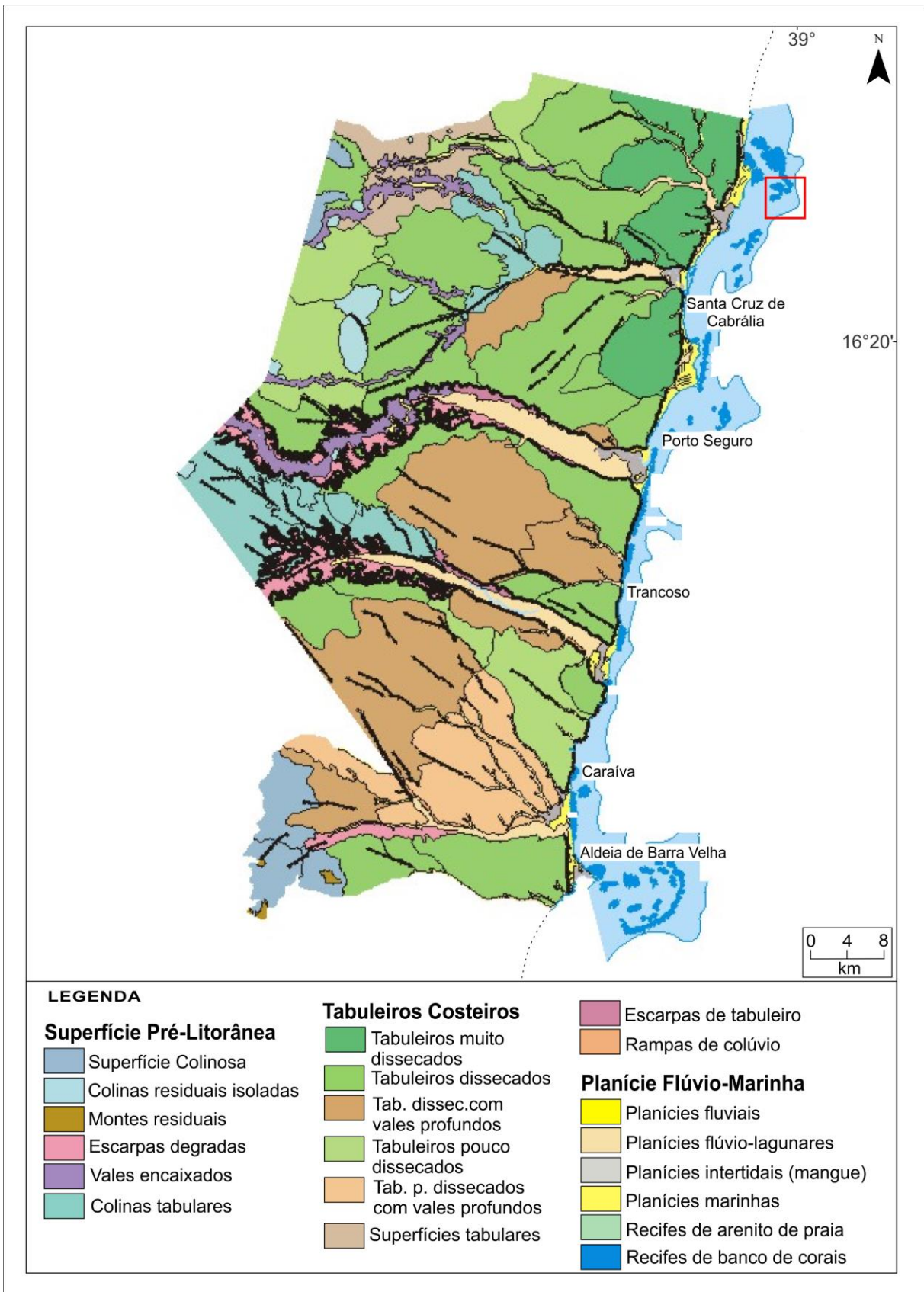


Figura 5 - Mapa geomorfológico simplificado da região de estudo e (reproduzido de Dantas et al., 2002).

Em termos tectônicos esta região está localizada na Bacia Sedimentar de Cumuruxatiba, que abrange uma área total de 21.000 km² no litoral brasileiro (Mohriak, 2003). Esta bacia é circundada por bancos coralíneos a norte, leste e sul, respectivamente Royal Charlotte, Sulphur Minerva e Abrolhos, onde a plataforma continental pode chegar a até 200 km de extensão (Figura 6) (Mohriak, 2003).

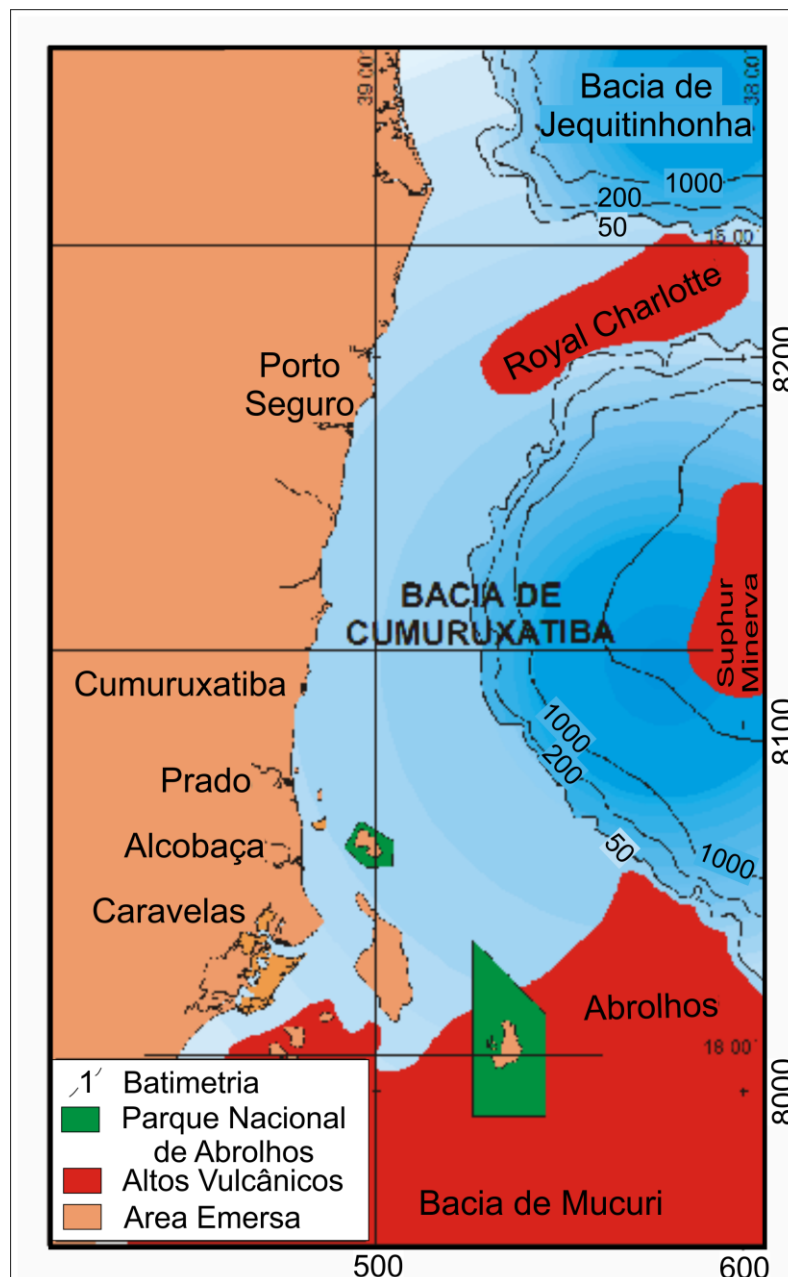


Figura 6 - Mapa esquemático da Bacia Sedimentar de Cumuruxatiba (reproduzido de Rodovalho et al., 2003)

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Recifes de coral

3.1.1. Tipos de recife

Os recifes de coral são áreas de grande biodiversidade que se localizam preferencialmente nos trópicos. A circulação superficial nos oceanos influencia diretamente a temperatura, salinidade e disponibilidade de nutrientes presentes na camada superficial da água, fatores que controlam a precipitação e deposição de carbonato (Schlager, 2005). Em geral, os recifes tropicais desenvolvem-se em áreas que possuem águas claras, profundidades inferiores a 50 m, temperatura média de no mínimo 15°C e salinidade entre 27‰ e 40‰ (Tucker & Wright, 1990) e, de acordo com sua morfologia, podem ser divididos em quatro principais tipos: atóis, recifes de barreira, recifes de banco e recifes de franja (Scoffin & Dixon, 1983; Montaggioni & Braithwaite, 2009).

Os atóis são recifes anelares que se desenvolvem próximo à superfície do mar a partir de uma montanha submarina, podendo ocorrer na plataforma continental ou em mar profundo (Jones, 1977). Ao contrário do que foi proposto por Darwin, o desenvolvimento desses recifes não é controlado por subsidência e sim pelas variações do nível do mar (Montaggioni & Braithwaite, 2009). Em geral, formam-se lagunas que são ocupadas por *patch reefs* e pináculos coralíneos nos grandes atóis (Montaggioni & Braithwaite, 2009).

Já os recifes de barreira são estruturas recifais lineares que são separadas da costa (de uma ilha ou continente) por um canal relativamente profundo (Scoffin & Dixon, 1983). Em geral eles se desenvolvem próximo à quebra do talude continental, porém também são comuns em outros locais da plataforma continental (Jones,

1977). O maior recife de barreira que existe é a Grande Barreira de Corais na Austrália, que também é o maior conjunto recifal do mundo (Jones, 1977).

Os recifes de banco são estruturas recifais isoladas que ocorrem em águas rasas e profundas (Scoffin & Dixon, 1983; Montaggioni & Braithwaite, 2009). Esses recifes geralmente crescem a partir de profundidades entre 115 e 50 m, formando estruturas circulares com poucos quilômetros de diâmetro (Scoffin & Dixon, 1983; Montaggioni & Braithwaite, 2009).

Por último, os recifes de franja localizam-se próximo à costa e se desenvolvem quando há presença de um substrato rígido, temperatura adequada e suprimento de oxigênio. Eles geralmente são separados da costa por uma lagoa interior ou canais incipientes, muitas vezes formando feições assimétricas decorrentes do transporte sedimentar e regime de ondas (Montaggioni & Braithwaite, 2009). Nesse contexto o RA é classificado como um recife de franja e, apesar desse tipo recifal preferir costas rochosas, onde em geral a água é menos turva, eles também se desenvolvem em condições menos favoráveis como deltas (Jones, 1977), como é o caso dos recifes do PMMCA.

3.1.2. Importância socioeconômica

Estima-se que através de atividades pesqueiras, turísticas e de proteção costeira os recifes de coral contribuam com quase 375 bilhões em bens e serviços para a economia mundial (Ferreira & Maida, 2006). Além disso, ainda há áreas inexploradas, como a farmacologia, que têm grande potencial para se desenvolver e fortalecer cada vez mais o papel desses ecossistemas na economia global (Wilkinson, 2004). Das espécies conhecidas nos recifes de coral, apenas uma

parcela muito pequena já foi testada para a detecção de compostos ativos (Adey, 2000).

A crescente degradação dos recifes poderá afetar negativamente 500 milhões de pessoas que dependem desses ecossistemas para proteção costeira e para se sustentar através de atividades turísticas, alimentação e produção de materiais (Wilkinson, 2008).

3.1.3. Principais causas da degradação nos recifes mundiais

O aumento da conscientização sobre a importância de se preservar os ambientes recifais vem intensificando o estudo desses ecossistemas em vários países, promovendo a integração de pesquisadores a nível mundial. Segundo a GCRMN, a atual deterioração dos recifes é causada principalmente pela combinação de impactos antropogênicos e mudanças climáticas globais, como o aumento da temperatura e acidificação dos oceanos (Wilkinson, 2008).

Devido ao aumento da temperatura, eventos como o branqueamento de corais, que se caracterizam pela perda das algas simbiontes que vivem nesses organismos, vêm se tornando cada vez mais frequentes (Wilkinson, 2008). O branqueamento afeta diretamente a produção energética e a saúde do coral, ocasionando muitas vezes a sua morte (Wilkinson 2008). Além disso, a acidificação dos oceanos, que é causada pelo aumento da concentração de CO₂, reduz a capacidade de calcificação dos corais e outros produtores carbonáticos, afetando diretamente a saúde desses ecossistemas (Wilkinson, 2008).

Por fim, o uso inadequado dos recursos recifais, como a pesca desordenada e o turismo insustentável, aliado à redução da qualidade da água nos recifes costeiros, são fatores que auxiliam na crescente degradação desses ambientes. Dessa

maneira, o atual cenário tem fortalecido a urgente necessidade de implementar novas políticas ambientais com o intuito de minimizar as causas da degradação dos recifes e aprimorar seu manejo e preservação.

3.2. Recifes brasileiros

3.2.1. Distribuição e principais estudos

No Brasil, os recifes de coral podem ser divididos em oceânicos, como Fernando de Noronha e Atol das Rocas, e costeiros, entendendo-se por 3000 km do Parcel de Manuel Luís, no Maranhão, aos recifes de Nova Viçosa, no sul da Bahia (Leão, 1982; Ferreira & Maida, 2006). Entretanto, outras importantes comunidades coralíneas são observadas até a Região dos Lagos, no Rio de Janeiro (Castro & Pires, 2001).

Desde o século XIX os recifes brasileiros vêm sendo estudados, quando Darwin descreveu pela primeira vez em 1842 os bancos de arenito que estão em frente à cidade de Recife, durante uma expedição na América do Sul (Ferreira & Maida, 2006). Posteriormente, um estudo superficial sobre a geologia e biologia dos recifes foi elaborado por Hartt (1870) e em seguida desenvolvido por Branner (1904), que descreveu detalhadamente os bancos de arenito do Nordeste. Porém o trabalho mais abrangente sobre os corais de água rasa brasileiros foi realizado por Jacques Laborel em 1970, quando o cientista descreveu de forma qualitativa e semiquantitativa os recifes do nordeste do Brasil em sua tese de doutorado (Ferreira & Maida, 2006).

Estudos sobre a variação do nível do mar durante o Holoceno indicam que no Brasil os recifes começaram a crescer quando houve a inundação da atual plataforma continental há aproximadamente 7000 anos (Leão, 1982; Castro, 1999).

Através de datações pelo método carbono-14, realizadas nos recifes da Coroa Vermelha e de Abrolhos, observou-se que essas construções carbonáticas atingiram um máximo de crescimento há 5000 anos antes do presente, quando o nível do mar estava aproximadamente 5 metros mais alto do que o atual (Leão, 1982; Castro, 1999). Desde então o nível do mar oscilou e, durante os períodos de baixa, expôs o topo de muitas plataformas coralíneas e conseqüentemente levou-as à erosão (Leão, 1982; Castro, 1999). Por falta de espaço de crescimento vertical, os recifes iniciaram uma fase de crescimento lateral, induzindo a formação de bancos recifais e ao espalhamento no topo dos chapeirões encontrados na Bahia (Ferreira & Maida, 2006).

Apesar de esses ecossistemas estarem localizados em uma plataforma continental estável, o que os protege de eventos catastróficos, sua proximidade com a costa facilita a poluição das águas, através do aproveitamento inadequado do solo, e o uso desordenado de seus recursos, aumentando a degradação dessas áreas (Ferreira & Maida, 2006).

3.2.2. Biodiversidade

Os recifes de coral compõe o ambiente com a maior densidade de biodiversidade da Terra, abrigando pelo menos uma em cada quatro espécies marinhas (Ferreira & Maida, 2006). Os recifes brasileiros apresentam uma baixa diversidade de fauna coralínea, possuindo cerca de 8 espécies endêmicas no país (Leão *et al.*, 2010). Além disso, o caráter endêmico dos corais brasileiros fica evidenciado pela presença de formações como os chapeirões baianos, que caracterizam grandes estruturas verticais semelhantes a cogumelos que não são encontradas em nenhum outro lugar do mundo (Ferreira & Maida, 2006).

O litoral brasileiro é uma das principais regiões coralíneas do país e, das 23 espécies de coral e 5 de hidrocoral que são encontradas no Brasil, 18 e 4, respectivamente, ocorrem nessa região (Tabela 1) (Leão *et al.*, 2010). Além da classe dos cnidários, que engloba corais pétreos, hidrocorais, corais negros, octocorais e anêmonas, os recifes são constituídos por uma extensa variedade de seres vivos (Castro, 1999). Os organismos mais comumente encontrados são as algas, esponjas, poliquetos, moluscos, crustáceos, equinodermos, peixes, tartarugas e mamíferos marinhos, dentre os quais a alga calcária pode assumir um papel tão ou mais importante do que os corais na construção da plataforma carbonática recifal (Castro, 1999).

De acordo com Castro e Pires (2001), os recifes brasileiros não formam uma unidade homogênea, podendo ser divididos em 7 áreas que possuem espécies e características físico ambientais distintas, que, de sul para norte, são: Zona de Desaparecimento Meridional, Estado da Bahia, Costa dos Recifes, Ilhas Oceânicas, Grupo de Recifes do Cabo de São Roque, Área não Explorada Norte e Área do Parcel do Manuel Luiz.

Tabela 1 - Distribuição das espécies de corais e hidrocorais nos recifes do leste do Brasil (Reproduzido de Leao *et al*, 2010)

Espécies	Costa Norte	Baía de Todos os Santos	Tinhare/Boipeba	Cabrália	Itacolomis	Costa de Abrolhos	Ilhas de Abrolhos	Abrolhos offshore
<i>Agaricia agaricites</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Agaricia fragilis</i>	X		X	X		X	X	X
<i>Astrangia braziliensis</i>		X						X
<i>Favia gravida</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Favia leptophylla</i>		X		X	X	X	X	X
<i>Madracis decactis</i>	X	X	X	X		X	X	X
<i>Meandrina</i>	X			X	X	X	X	X
<i>Montastrea cavernosa</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Mussismilia</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Mussismilia hartii</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Mussismilia hispida</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Phyllangia americana</i>			X			X		X
<i>Porites astreoides</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Porites branneri</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Scolymia wellsii</i>		X	X	X	X	X	X	X
<i>Scolymia cubensis</i>								X
<i>Siderastrea stellata</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Siderastrea radians</i>	X							
<i>Stephanocoenia</i>								X
<i>Millepora alcicornis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Millepora nitida</i>			X	X	X	X	X	X
<i>Millepora braziliensis</i>					X		X	X
<i>Stylaster roseus</i>			X					X
Número de espécies	14	14	16	16	15	17	17	22

3.3. Geologia dos recifes de coral

3.3.1. Desenvolvimento e precipitação carbonática

Do ponto de vista geológico, os recifes são grandes estruturas formadas por comunidades biológicas que possuem relevo em relação ao fundo marinho adjacente e rigidez durante a deposição, sendo potencialmente mais resistentes à erosão (Heckel, 1974; Montaggioni & Braithwaite, 2009). Mesmo em períodos de nível do mar baixo, os recifes de coral estão entre os mais importantes produtores de carbonato de cálcio nos oceanos (Kleypas, 1997), com taxas de calcificação variando entre 6.8 e 8.3×10^{12} mol/ano (Montaggioni & Braithwaite, 2009). Nesse

contexto, os recifes de coral desempenham um papel importante no ciclo global do carbono, produzindo cerca de um sexto do carbonato depositado anualmente nos oceanos (Langer *et al.*, 1997).

Em geral, o desenvolvimento, a distribuição e a preservação desses ambientes são controlados pela interação de fatores bióticos e abióticos como mostra a Figura 7 (Montaggioni & Braithwaite, 2009). No que se refere aos fatores bióticos, o desenvolvimento dos recifes de coral é diretamente afetado pela eficiência da reprodução dos corais, saturação de espécies no ambiente, competição entre espécies, predação, relações simbióticas e ocorrência de doenças (Montaggioni & Braithwaite, 2009). Em relação aos fatores abióticos, os principais controles atuantes no desenvolvimento recifal são as características físico-químicas da água, disponibilidade de substrato, topografia antecedente, regime tectônico, nível do mar, entrada de sedimentos e presença de carbonato (Montaggioni & Braithwaite, 2009).

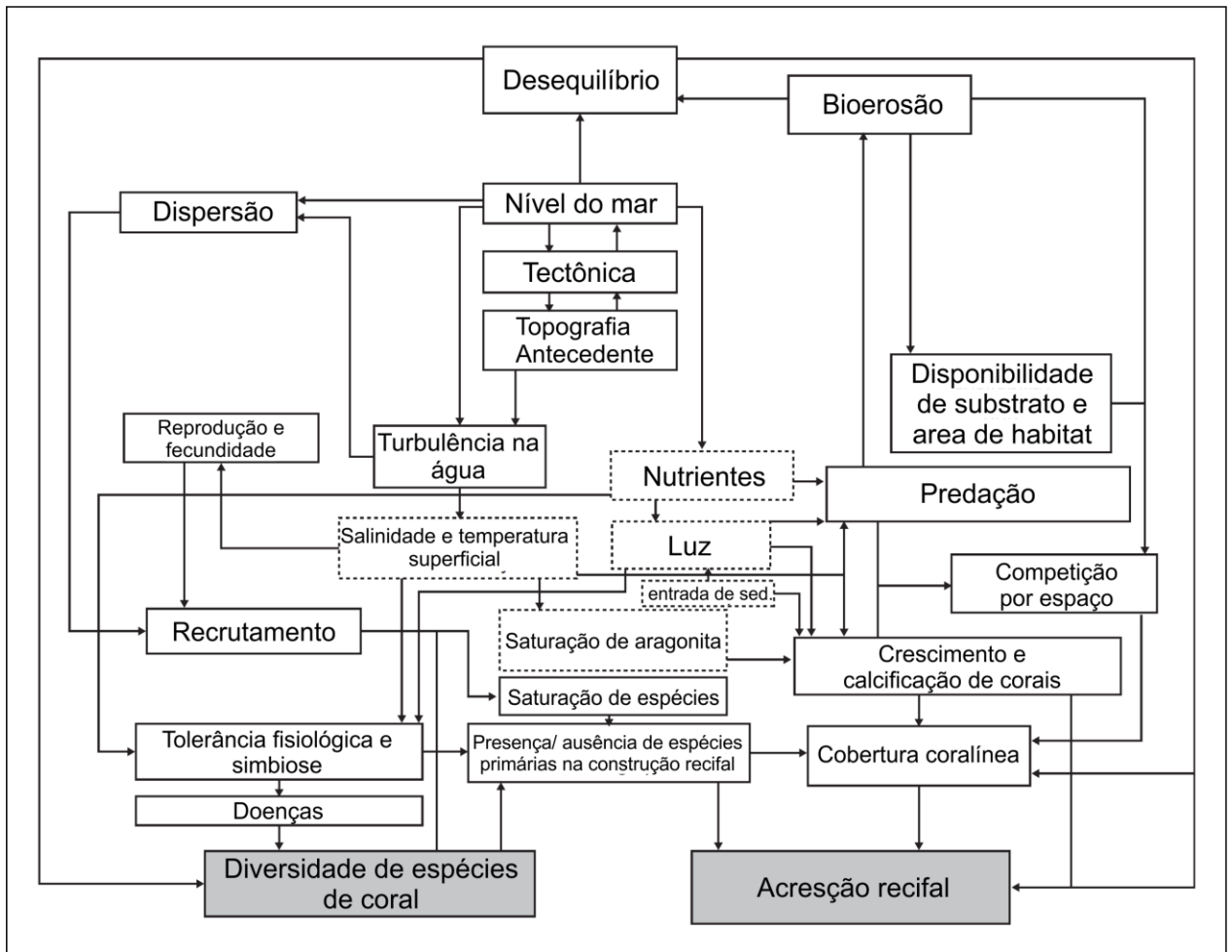


Figura 7 - Principais fatores que controlam a distribuição e o desenvolvimento dos recifes de coral tropicais. As caixas cinzas representam produtos finais da interação desses fatores (reproduzido de Montaggioni & Braithwaite, 2009).

As configurações geotectônicas e o clima têm grande influência na deposição e distribuição faciológica dos carbonatos (Tucker & Wright, 1990). Além de controlar o nível do mar, importante variável na precipitação carbonática, o clima determina padrões de circulação da água, temperatura, salinidade, nutrientes, turbidez, correntes de maré e regime de ondas, dos quais a temperatura e a salinidade são os que mais afetam os produtores carbonáticos (Tucker & Wright, 1990).

O desenvolvimento recifal só acontece em locais com uma temperatura média de no mínimo 15°C e salinidade entre 27‰ e 40‰ (Tucker & Wright, 1990). Além

Organismos	Aragonita	Calcita (%)	Aragonita e Calcita
		0 5 10 15 20 25 30 35	
Alga calcária vermelha	R	● ————— ●	
Alga calcária verde	●		
Foraminíferos bentônicos	R	● ————— ●	
Esponjas	R	● — ●	
Corais	●		
Briozoários	R	● — ●	R
Braquiópodes		● — ●	
Moluscos	●	● — ●	●
Ouriços		● ————— ●	

Figura 8 - Mineralogia carbonática de diferentes organismos recifais, ● = comum; R = raro (adaptado de Tucker & Wright, 1990).

3.3.2. Sedimentologia

Os recifes de coral são o resultado da interação de diversos processos sedimentológicos que acontecem ao mesmo tempo nesse ambiente: (i) construção, (ii) destruição, (iii) transporte, (iv) deposição e (v) unificação (Tucker & Wright, 1990; Dudley, 2003; Montaggioni & Braithwaite, 2009).

i. Construção:

A construção se dá através do crescimento dos organismos calcários e da acresção in situ do substrato recifal, sendo dependente das condições ótimas do

ambiente como já mencionado (Tucker & Wright, 1990; Montaggioni & Braithwaite, 2009).

É importante ressaltar que, enquanto o crescimento individual dos corais pode chegar a 100 mm/ano e 20 mm/ano, para corais ramificados e massivos respectivamente, a acresção recifal varia em função da profundidade, chegando a 10 kg CaCO₃ m²/ano em condições ótimas a 5 m de profundidade (Hart & Kench, 2007; Woodroffe & Webster, 2014). Além disso, a acresção recifal mede a acumulação agregada carbonática na estrutura porosa recifal, englobando corais, algas, sedimentos carbonáticos e estruturas não litificadas (Woodroffe & Webster, 2014). Atualmente os construtores recifais mais importantes (primários) são o corais da ordem *Scleractinia* e as algas calcárias incrustantes (Tucker & Wright, 1990; Woodroffe & Webster, 2014).

ii. Destruição:

Os sedimentos carbonáticos, que em sua maior parte são endógenos, são formados a partir da destruição dos organismos recifais e rochas preexistentes através de processos erosivos físicos, químicos e biológicos. Além disso, estima-se que 50 a 90 % da produção anual de carbonato de cálcio nos recifes de coral seja reduzida a sedimentos (Dudley, 2003).

Os processos de caráter físico são os mais facilmente identificados e podem ser provocados por causas naturais, como a ação de ondas de tempestades, aumento na velocidade de correntes, *tsunamis* e terremotos, e causas antropogênicas, como poluição aquática, ancoragem inadequada, visitação excessiva e a utilização de técnicas nocivas de pesca como as redes de arrasto (Dudley, 2003).

Processos de caráter químico incluem a dissolução do carbonato devido ao contato com águas meteóricas, que pode acontecer durante exposição subaérea, à ação de organismos que secretam substâncias que enfraquecem e dissolvem quimicamente o substrato, como bivalves e vermes marinhos (Dudley, 2003).

Por último, a bioerosão causada pelos organismos nos recifes de coral leva à criação de cavidades, produzindo sedimento durante esse processo. Os principais agentes bioerosivos podem ser divididos em: (a) herbívoros pastadores (*grazers*), que se alimentam de corais vivos, algas calcárias e macroalgas, (b) perfuradores/ raspadores (*borers/ raspers*), que raspam e formam buracos no substrato recifal e (c) escavadores (*burrowers*), que através da bioturbação cavam e reduzem o tamanho dos sedimentos (Tucker & Wright, 1990; Dudley, 2003).

iii. Transporte:

Os sedimentos que são formados através do processo de destruição nos recifes são retrabalhados, selecionados e transportados pelo regime de ondas, correntes e marés (Tucker & Wright, 1990), impedindo que os recifes sejam encobertos por sua própria produção sedimentar (Dudley, 2003). A eficiência desse transporte depende de fatores como a profundidade e energia das ondas incidentes sob o corpo recifal, caracterizando eventos de tempestade como grandes remobilizadores sedimentares (Dudley, 2003). Além disso, o transporte e o retrabalhamento de partículas também podem acontecer pela ação de agentes biológicos, através da bioturbação e ingestão de sedimentos durante sua alimentação (Dudley, 2003).

Ao contrário dos sedimentos terrígenos, que em geral são transportados por longas distâncias antes de serem depositados, a maior parte dos sedimentos

produzidos nos recifes é depositada in situ ou muito próximo a seu local de origem (Tucker & Wright, 1990; Dudley, 2003). A origem biogênica e o pouco transporte sofrido pelos sedimentos recifais possibilita grande densidade e diversidade morfológica a esses bioclastos, que variam de pequenas placas provenientes de algas calcárias a complexos blocos coralíneos (Dudley, 2003).

Em suma, o transporte sedimentar nos recifes é resultado da interação de processos físicos e biológicos, onde sedimentos são retrabalhados e colocados em suspensão devido à ação de ondas e uma grande variedade de organismos (Dudley, 2003).

iv. Deposição

O material depositado nos recifes possui quatro fontes principais: sedimentos originados pelo processo de destruição do substrato; partículas provenientes da decomposição dos organismos recifais; sedimentos precipitados; e sedimentos exógenos trazidos para o recife (Tucker & Wright, 1990). Para que esse material seja depositado é primeiro necessário que haja uma redução na energia do ambiente, permitindo seu assentamento gravitacional e, segundo, que o sedimento seja estabilizado, impedindo seu futuro transporte (Dudley, 2003).

O grau de seleção desses sedimentos é controlado pelo transporte, regime deposicional e tipo de material (Tucker & Wright, 1990). Uma vez que esses grãos possuem diferentes geometrias, estruturas e mineralogia, eles tendem a integrar frações sedimentares distintas e conseqüentemente refletem os níveis energéticos do ambiente em que se depositaram (Tucker & Wright, 1990). Partículas maiores necessitam de uma maior energia para continuar em movimento e em geral, o

gradiente energético nos recifes provoca uma redução no tamanho dos grãos do raso para o fundo e de barlavento para sotavento (Dudley, 2003).

Por outro lado, os efeitos dos processos bioerosivos e a estrutura heterogênea dos bioclastos recifais ocasionam uma ampla variação na densidade das partículas, tendo um comportamento deposicional controlado por variáveis hidrodinâmicas mais complexas do que apenas níveis energéticos (Dudley, 2003). Nesse contexto, além de os sedimentos serem depositados em locais que o estabilizem, como cavidades no recife, a presença de irregularidades na superfície recifal podem levar a uma redução na velocidade da corrente e conseqüentemente à deposição das partículas em suspensão, processo conhecido como *baffling* (Dudley, 2003). Além disso, os sedimentos também podem ser aprisionados e estabilizados pela vegetação e secreções mucosas de animais detritívoros (Dudley, 2003).

v. Unificação

Por último, o processo de unificação consiste na consolidação do material recifal através da ligação (*binding*) e cimentação (*cementation*) das partículas, influenciando diretamente na morfologia recifal (Tucker & Wright, 1990; Dudley, 2003). Em geral, recifes com perfis íngremes e superfícies mais resistentes à ação de ondas tendem a apresentar uma cimentação mais extensa (Tucker & Wright, 1990). Vale ressaltar que as algas calcárias incrustantes são um dos mais importantes agentes unificadores dos recifes, recobrando o substrato coralíneo com resistentes camadas carbonáticas (Tucker & Wright, 1990; Dudley, 2003).

Além disso, os cimentos são precipitados em cavidades e entre sedimentos no recife, sendo mineralogicamente compostos principalmente por aragonita e calcita magnesiana e formando diversas estruturas e texturas deposicionais (Tucker &

Wright, 1990; Dudley, 2003). Materiais precipitados através da interação entre atividades e processos microbiais junto ao meio físico são chamados de *microbialites* (Burne & Moore, 1987).

3.4. Análises granulométricas

Segundo Dias (2004), a análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras e no tratamento estatístico dessa informação, determinando a dimensão e distribuição das partículas individuais através de seu peso, volume ou número de grãos integrados em cada classe. Para facilitar a aplicação dos métodos estatísticos convencionais à sedimentologia utiliza-se a notação adimensional ϕ (phi) (Tabela 2), que corresponde a uma modificação na escala de Udden-Wentworth (1922) e foi criada por Krumbein em 1934 (Dias, 2004). Essa notação pode ser representada pela equação 2:

$$\phi = \log_2 d \quad (\text{Equação 2})$$

(d = diâmetro do grão em milímetros)

Tabela 2 - Classes de tamanho baseadas no diâmetro médio das partículas (modificado de Udden-Wentworth, 1922).

Phi ϕ	d (mm)	CLASSIFICAÇÃO
< -1	> 2	Cascalho
0	2 - 1	Areia Muito Grossa
1	1 - 0,5	Areia Grossa
2	0,5 - 0,25	Areia Média
3	0,25 - 0,125	Areia Fina
4	0,125 - 0,063	Areia Muito Fina
5	0,063 - 0,031	Silte Muito Grosso
6	0,031 - 0,016	Silte Grosso
7	0,016 - 0,008	Silte Médio

8	0,008 - 0,004	Silte Fino
9	0,004 - 0,002	Silte Muito Fino
10	< 0,002	Argila

Além constituir a base para a descrição do sedimento, fornecer informações sobre o ambiente sedimentar e sobre os processos físicos durante a sedimentação, as análises granulométricas são importantes para entender e classificar o ambiente de sedimentação estudado (Suguio, 1973; Dias, 2004). As principais informações extraídas do sedimento através dessas análises são cinco parâmetros estatísticos que neste trabalho foram calculados seguindo o método gráfico de Folk & Ward (1957): a média, a moda, o desvio padrão, a curtose e o grau de assimetria.

A média consiste no diâmetro médio (μ) dos sedimentos pertencentes a uma amostra e, do ponto de vista geológico, reflete informações sobre a proveniência sedimentar, processos de deposição e velocidade da corrente (Folk & Ward, 1957; Dias, 2004). O cálculo desse parâmetro pode ser obtido através da equação 3:

$$\mu = \frac{\phi 16 + \phi 50 + \phi 84}{3} \quad (\text{Equação 3})$$

($\phi 16$ =média dos sedimentos 1/3 mais grossos da amostra; $\phi 50$ =média da amostra total - mediana; $\phi 84$ =média dos sedimentos 1/3 mais finos)

Segundo Krumbein & Pettijohn (1938) a moda pode ser definida como o diâmetro mais frequente da distribuição, constituindo medida de tendência central relevante para a análise de dinâmica sedimentar, já que fornece informações sobre a maturidade do sedimento (Dias, 2004). A principal moda de uma amostra, que pode ser unimodal, bimodal, trimodal e polimodal, é representada pelo ponto de inflexão da curva de distribuição (Dias, 2004).

O desvio padrão (σ) representa a tendência dos grãos em se distribuírem em torno de um determinado valor médio e dessa maneira mostra como os diferentes agentes geológicos são eficazes em selecionar ou não um determinado tipo de grão, traduzindo a constância ou a irregularidade dos níveis energéticos do ambiente como mostra a Tabela 3 (Dias, 2004; Pereira *et al.*, 2008). Esse parâmetro é expresso como mostra a equação 4:

$$\sigma = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6} \quad (\text{Equação 4})$$

Tabela 3 - Classificação das amostras pelo desvio padrão de acordo com o Método Gráfico (Folk & Ward, 1957).

DESVIO PADRÃO (σ)	CLASSIFICAÇÃO
< 0,35	Muito Bem Selecionado
0,35 - 0,50	Bem Selecionado
0,50 - 0,71	Moderadamente Bem Selecionado
0,71 - 1,0	Moderadamente Selecionado
1,0 - 2,0	Mal Selecionado
2,0 - 4,0	Muito Mal Selecionado
> 4	Extremamente Mal Selecionado

A curtose (k) ou angulosidade da curva de distribuição granulométrica representa a diferença entre a altura de uma classe granulométrica em relação às outras, formando de curvas mais achatadas (platicúrticas) à curvas mais angulosas (leptocúrticas) de acordo com seu valor, como mostra a Tabela 4. Esse parâmetro pode ser calculado pela equação 5:

$$k = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})} \quad (\text{Equação 5})$$

Tabela 4 - Classificação das amostras pela curtose de acordo com o método gráfico (Folk & Ward, 1957)

CURTOSE (<i>k</i>)	CLASSIFICAÇÃO
0,41 a 0,67	Muito Platicúrtica
0,67 a 0,9	Platicúrtica
0,9 a 1,1	Mesocúrtica
1,1 a 1,5	Leptocúrtica
1,5 a 3,0	Muito Leptocúrtica

Por último, a assimetria (v) indica a predominância da fração fina ou grossa em relação à porção central através do desvio do pico do gráfico de frequência em relação à média, podendo ser um valor positivo ou negativo como mostra a Tabela 5 (Dias, 2004). Dessa maneira, valores de assimetria que são diferentes de zero informam que uma das caudas de distribuição tem mais expressão que a outra (Dias, 2004). Nesse contexto, assimetrias positivas indicam um enriquecimento em partículas finas e assimetrias negativas indicam o oposto (Dias, 2004). A fórmula que determina a assimetria gráfica é dada pela equação 6:

$$v = \frac{\phi_{84} - \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} - \phi_5 - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \quad (\text{Equação 6})$$

Tabela 5 - Classificação das amostras pela assimetria de acordo com o Método Gráfico (Folk & Ward, 1957).

ASSIMETRIA (v)	CLASSIFICAÇÃO
1,0 a 0,3	Assimetria Muito Positiva
0,3 a 0,1	Assimetria Positiva
0,1 a -0,1	Quase Simétrica
-0,1 a -0,3	Assimetria Negativa
-0,3 a -1,0	Assimetria Muito Negativa

3.5. Geoprocessamento

3.5.1. Definição e principais aspectos

O geoprocessamento é um termo amplo que engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos através de programas computacionais (Avelino, 2004). Dentre estas tecnologias se destacam o Sensoriamento Remoto (SR), o Sistema de Gerenciamento de Banco de dados (SGBD), a Cartografia Digital (CAD) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de Posicionamento Global (GPS) (Figura 9).

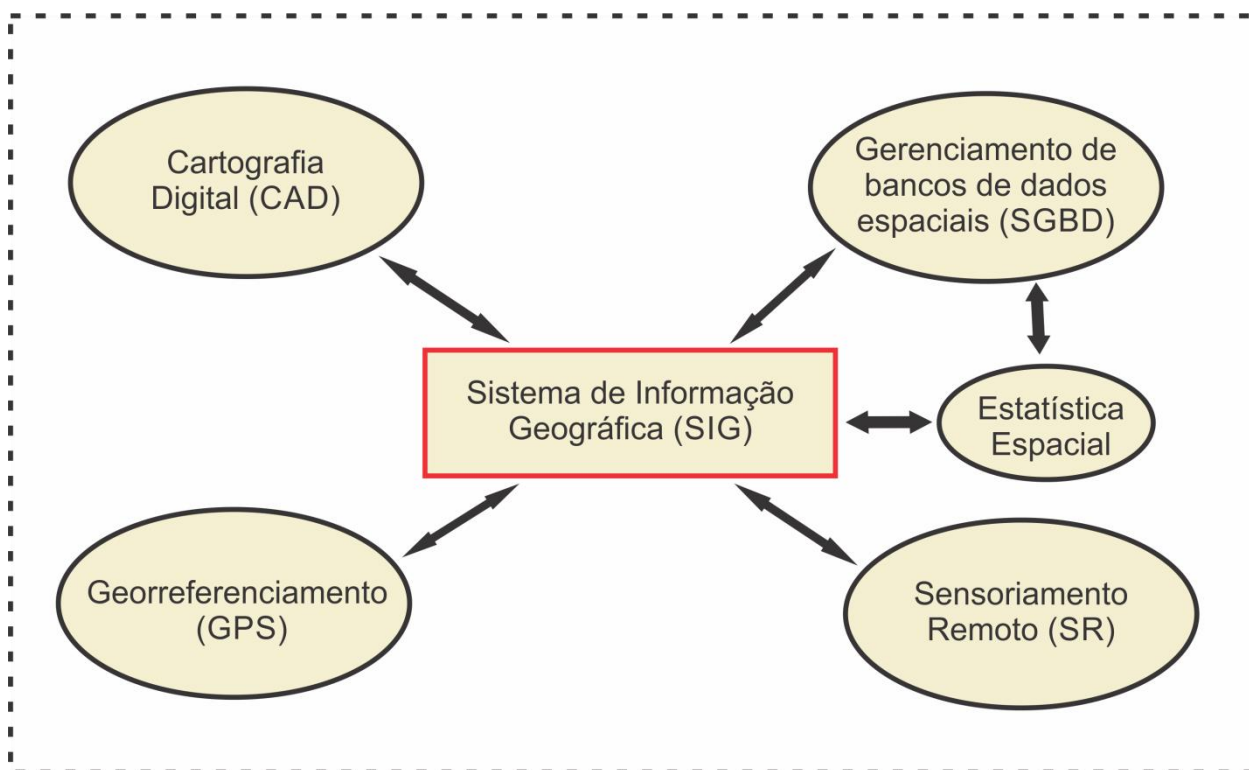


Figura 9 - Conjunto de técnicas de geoprocessamento (reproduzido de Santos & Souza-Santos, 2007)

O Sensoriamento Remoto é um conjunto de técnicas utilizadas para identificar, sem tocar no objeto ou fenômeno, características físicas destes a partir das propriedades das ondas eletromagnéticas emitidas pelos objetos e que atingem um satélite ou radar (Meneses e Almeida, 2012). Os sensores ativos, como os radares, tem capacidade de emitir a própria radiação e captar o sinal de retorno, enquanto os sensores passivos, como satélites, captam a radiação refletida ou emitida na superfície terrestre (Meneses & Almeida, 2012). Uma das características mais importantes dos sensores é a resolução, que é a habilidade que ele possui para discriminar respostas espectrais e espaciais, e que pode ser dividida em quatro tipos: espectral, espacial, temporal e radiométrica (Meneses & Almeida, 2012).

Os SGBD são utilizados para a recuperação e armazenamento de dados tabulares (não gráficos), através de programas direcionados principalmente ao

tratamento de dados numéricos, apesar de também armazenarem dados gráficos (Silva, 2003).

O CAD possui a capacidade de simplificar o processo de atualização, armazenamento e disposição dos objetos cartográficos através da espacialização dos dados em mapas, automatizando e melhorando o processo cartográfico (Silva, 2003).

O GPS é um sistema que fornece coordenadas precisas de posicionamento tridimensional e informação sobre a navegação/ tempo através de equipamentos que utilizam a radio-navegação por satélite (Santos & Souza-Santos, 2007). Dessa maneira, esse sistema permite a aquisição de dados em tempo real e sob quaisquer condições meteorológicas, tornando-se uma importante ferramenta em atividades que necessitem informações de posicionamento (Santos & Souza-Santos, 2007).

Os SIG são sistemas computacionais que permitem o compartilhamento, a atualização, a aquisição, o armazenamento e principalmente o gerenciamento de dados geográficos (Silva, 2003). Além disso, o SIG é a ferramenta mais ampla do geoprocessamento, uma vez que pode englobar todas as suas ferramentas como mostra a Figura 9 (Santos & Souza-Santos, 2007).

3.5.2. Geoprocessamento aplicado à recifes de coral

Ainda que o geoprocessamento seja uma ferramenta utilizada em estudos recifais por todo o globo, sua utilização ainda é incipiente no Brasil, sendo o SR a principal técnica utilizada para estudar e monitorar esses ambientes (Arantes, 2012). Nos últimos 30 anos, essa técnica evoluiu de um simples monitoramento da morfologia recifal às complexas classificações de substrato e investigações sobre a saúde dos corais, já que através de imagens de satélite é possível extrair

informações morfológicas, espectrais e texturais dos recifes de coral (Arantes, 2012; Xu & Zhao, 2014).

As diferentes propriedades de absorção e dispersão da luz dos organismos bentônicos, como algas e corais, controlam as características espectrais dos substratos nos recifes de coral e, dessa maneira, auxiliam na identificação e delimitação dos diferentes habitats desse ecossistema (Xu & Zhao, 2014). Além disso, associados às condições climáticas, aspectos como a resolução (espectral, espacial, temporal e radiométrica) e o tipo de sensor utilizado são fatores decisivos na qualidade dos dados obtidos (Xu & Zhao, 2014).

Neste trabalho foi utilizada uma imagem do satélite WorldView II (WVII), primeiro sensor comercial de alta resolução espacial e espectral, possuindo um pixel de 0.5 m na banda pancromática e 8 bandas multiespectrais, com pixel de 2m, que podem ser fundidas, como mostra a Figura 10 (Updike & Comp, 2010). Dentre as 4 novas bandas apresentadas nesse satélite, que são as bandas azul costeiro (1), amarelo (4), *red-edge* (6) e NIR2 (8), a primeira tem particular interesse nesse estudo, já que é menos absorvida pela água e, dessa maneira, permite melhor identificação de feições subaquáticas em águas rasas (Updike & Comp 2010).

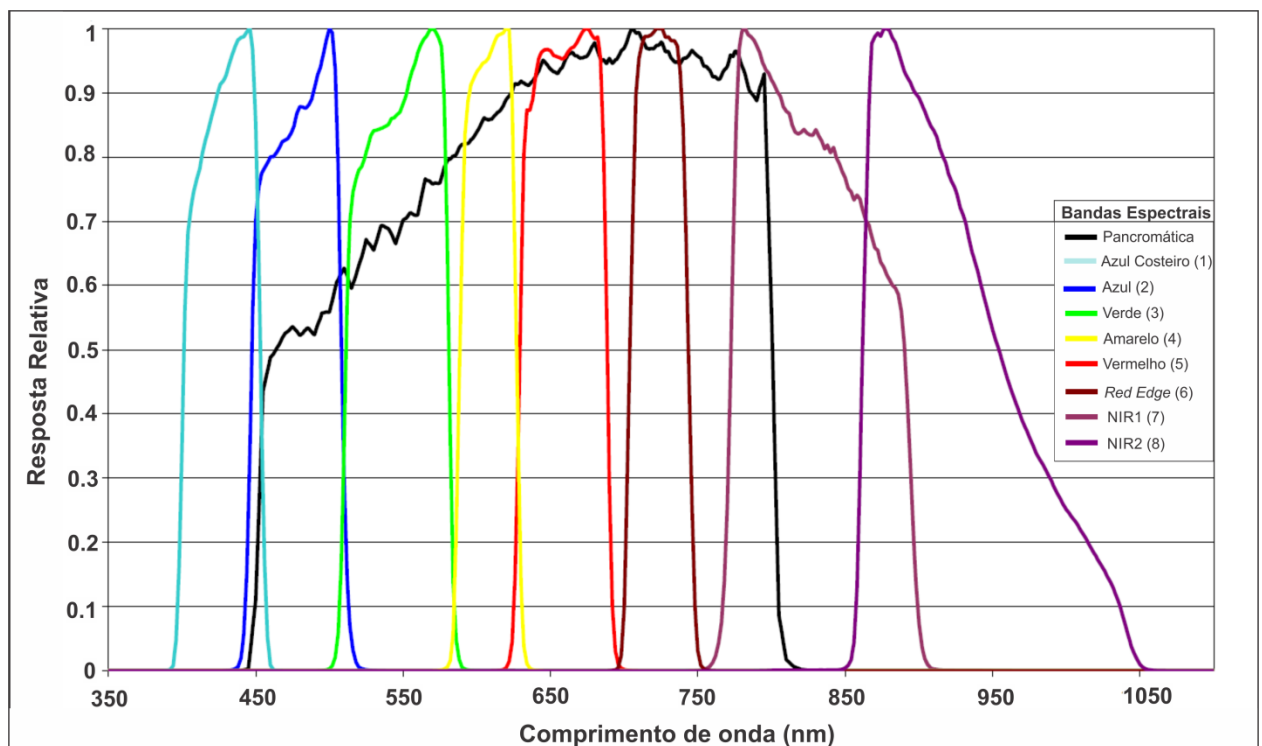


Figura 10 - Bandas espectrais do satélite WorldView II. (reproduzido de Updike & Comp, 2010)

Por ser um ambiente muito diversificado e heterogêneo, a utilização do sensoriamento remoto associada aos dados adquiridos em campo e em laboratório torna a identificação dos tipos de fundo do RA mais eficaz e precisa. Além disso, a espacialização dos dados pontuais adquiridos na forma de mapa possibilita a integração das diversas fontes de informação utilizadas nesse estudo, assim como facilita a visualização das informações coletadas e dos resultados obtidos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Geoprocessamento

4.1.1. Aquisição

A imagem foi no gerada no dia 04/04/2014 às 13:12:17 UTC e capturada através do satélite WorldView II, equipamento lançado em 2009 pela Digital Globe, de alta resolução espacial, com pixel de 0,5 m na banda pancromática, e espectral, com 8 bandas com pixel de 2 m, que podem ser fundidas. O satélite, que está em uma altitude de aproximadamente 770 km, orbita a Terra quase que circularmente e captura dados em nove bandas espectrais como mostra a Figura 10 (Updike & Comp, 2010). A imagem foi adquirida sob licença educacional pelo Projeto Coral Vivo e disponibilizada para este estudo.

4.1.2. Pré-processamento

Uma vez que uma cena uniforme não cria uma imagem uniforme em termos de números digitais (ND) (Updike & Comp, 2010), as imagens do WorldView II são radiometricamente corrigidas antes de serem entregues aos clientes.

Para realizar a classificação dos pixels da imagem foi necessário efetuar uma correção atmosférica, isto é, que minimiza os efeitos de espalhamento atmosférico, fator que pode comprometer e mascarar os dados reais da imagem (Meneses & Almeida UNB, 2012). Para isso foi necessário realizar a conversão dos ND para radiância (Equação 7) e em seguida para reflectância no topo da atmosfera (Equação 8) (770 km no caso do satélite WVII) no software *ENVI 5*, seguindo os procedimentos sugeridos por Updike & Comp, 2010.

$$L_{\lambda \text{ Pixel, Band}} = \frac{K_{\text{band}} \times q_{\text{pixel, Band}}}{\Delta\lambda_{\text{Band}}} \quad (\text{Equação 7})$$

(L_{λ} = Radiância, K = Fator de calibração, q = Números digitais, $\Delta\lambda$ = *Effective bandwidth*)

$$\rho_{\lambda \text{ Pixel, Band}} = \frac{L_{\lambda \text{ Pixel, Band}} \times d_{ES}^2 \times \pi}{E_{\text{sun}} \lambda_{\text{Band}} \times \cos(\theta_s)} \quad (\text{Equação 8})$$

(ρ_{λ} = Reflectancia, L_{λ} = Radiancia, d_{ES}^2 = distancia Terra-Sol, (θ_s) = Angulo zenital do sol)

Por último foi realizada a correção atmosférica pelo método de subtração do objeto escuro (DOS - *dark object subtraction*) através do software *ENVI 5*, método que se baseia na premissa de que objetos escuros possuem zero reflectância (Meneses e Almeida, 2012).

4.1.3. Fotointerpretação

A fotointerpretação da imagem foi realizada no software *ArcGis10* em uma escala de 1:1.500, com a utilização das banda R:4 G:3 B:1 (amarelo-verde-azul costeiro). Espera-se que o amarelo realce feições espectrais associadas à fotossíntese, permitindo separar corais dos demais fundos rochosos, além de destacar algas e gramas marinhas. O verde representado em tons de verde auxilia o fácil reconhecimento “das coisas como elas são” a nossos olhos, enquanto que o mesmo acontece com o azul costeiro, com a vantagem da maior penetração na coluna d’água já mencionada. Como resultado, foi gerado um mapa com 13 zonas

qualitativas de tipo de fundo baseado em características de forma, tamanho, tonalidade, localização e textura identificadas na imagem.

4.1.4. Classificação

Após a fotointerpretação, foram definidas áreas de interesse para caracterizar as 10 classes de pixels utilizadas na classificação supervisionada por máxima verossimilhança realizada no *ENVI 5*. Essa classificação assume que as estatísticas para cada classe em cada banda são normalmente distribuídas e, dessa maneira, calcula a probabilidade que um determinado pixel pertence a uma classe específica. Cada um desses pixels é designado para a classe na qual ele tem a maior probabilidade de existir, isto é, por máxima verossimilhança.

4.2. Trabalho de campo

Foram realizadas duas saídas de campo voltadas para mapeamento, amostragem e batimetria do recife. No total, foram realizados 47 pontos de mergulho distribuídos no RA (Figura 11), de modo a cobrir todos os diferentes tipos de fundo identificados através do sensoriamento remoto. A primeira campanha aconteceu entre os dias 17 e 22 de novembro de 2014 e a segunda entre 14 e 22 de dezembro de 2014. O trabalho foi realizado a bordo da *lamany*, uma lancha bimotor de 7 m de comprimento e casco de fibra de vidro disponibilizada pelo Projeto Coral Vivo (CV). A lancha possui um ecobatímetro *Simrad NSS-7 chartplotter*, operando em 50 kHz, e um ecosonar (*downscan e sidescan*) que opera em 455 KHz e 800 kHz, fornecendo dados de alta qualidade em tempo real. O mapeamento e a amostragem foram orientados pela fotointerpretação e classificação da imagem de

satélite, procurando caracterizar da melhor maneira áreas com diferentes respostas espectrais.

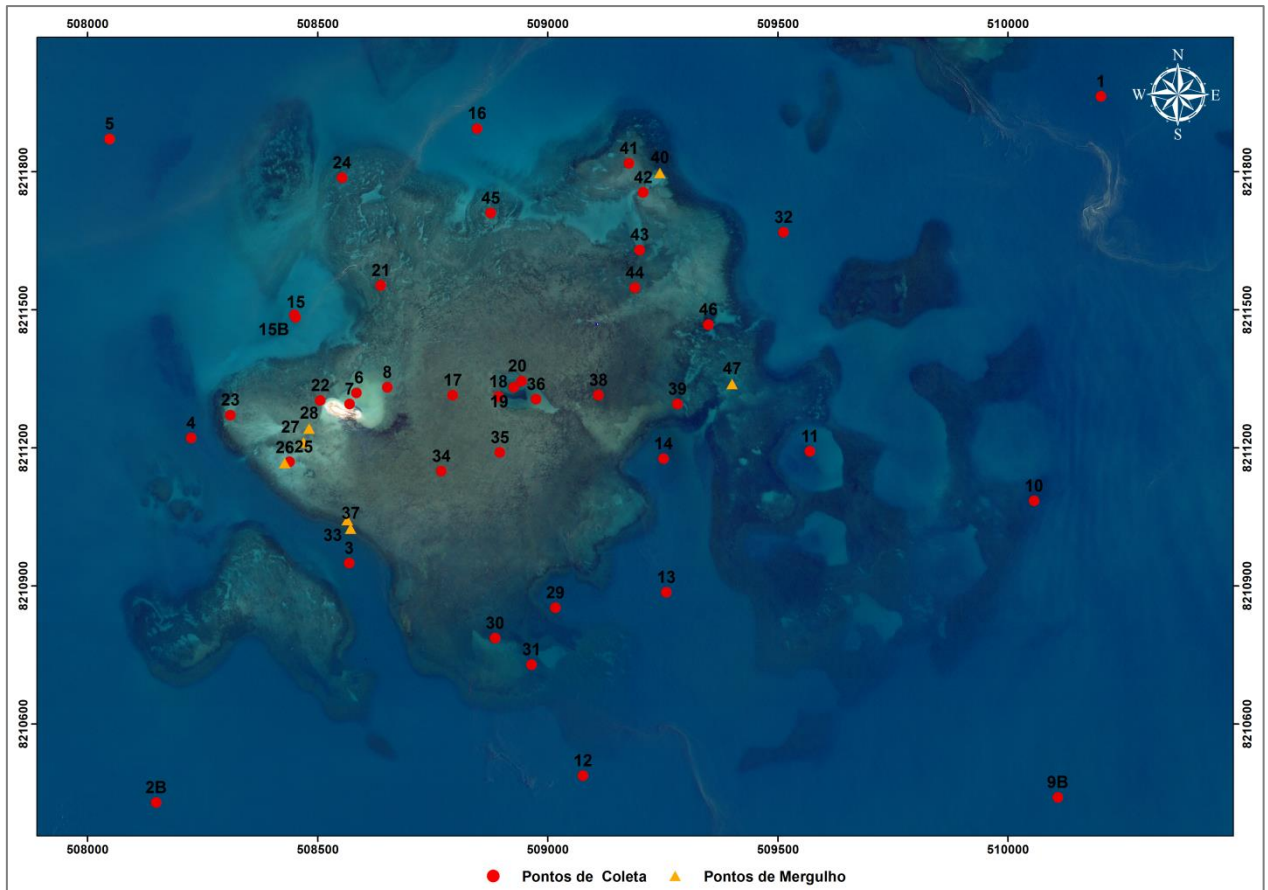


Figura 11 - Pontos de mergulho e coleta no Recife do Araripe (imagem *pan-sharpened* WVII da Digital Globe).

4.2.1. Amostragem

Para a coleta das amostras foram utilizados 1 GPS modelo Mio-550BR, com capacidade de receber dados de 12 satélites e acondicionado em capa impermeável, 1 boia de mergulho com peso, 40 recipientes plásticos, marcadores permanentes e material para mergulho autônomo. Os pontos de coleta (Figura 11) foram transferidos para o navegador da lancha e para o GPS de mão, de modo que a embarcação pudesse se posicionar próxima ao ponto escolhido. Em seguida, boia e GPS eram lançados ao mar para marcar o local exato de coleta. As coletas foram

realizadas em dupla e os mergulhos chegaram a profundidades de até 20m. A Tabela 6 contém as informações sobre todas as amostras coletadas e pontos de mergulho realizados no Recife do Araripe. Vale ressaltar que a profundidade que está na tabela é a profundidade referente ao mergulho e o valor não está corrigido com relação à maré.

Tabela 6 - Pontos de coleta e mergulho no Recife do Araripe.

PONTO	DATA	HORA	PROF_m	VISIBIL_m
ARA_01	18/11/2014	14:00	13.0	0.5
ARA_02B	18/11/2014	15:00	12.5	3.0
ARA_03	19/11/2014	11:17	10.0	1.0
ARA_04	19/11/2014	12:00	10.0	1.0
ARA_05	19/11/2014	12:30	12.0	1.0
ARA_06	19/11/2014	16:00	ilha	-
ARA_07	19/11/2014	16:00	0.0	-
ARA_08	21/11/2014	12:30	0.0	-
ARA_09B	17/12/2014	14:30	18.0	7.0
ARA_10	20/11/2014	11:30	6.0	0.5
ARA_11	20/11/2014	12:21	7.0	1.5
ARA_12	21/11/2014	10:30	16.0	0.5
ARA_13	21/11/2014	10:51	12.0	1.0
ARA_14	21/11/2014	11:10	8.0	1.0
ARA_15	21/11/2014	11:52	3.0	1.0
ARA_15b	21/11/2014	14:30	3.0	2.5
ARA_16	21/11/2014	11:05	4.0	4.0
ARA_17	21/11/2014	12:00	1.5	1.5
ARA_18	21/11/2014	12:30	3.0	1.0
ARA_19	21/11/2014	13:00	3.0	1.0
ARA_20	21/11/2014	13:30	3.0	1.0
ARA_21	16/12/2014	15:00	1.5	4.0
ARA_22	16/12/2014	15:20	1.0	4.0
ARA_23	16/12/2014	15:50	0.5	2.5
ARA_24	18/12/2014	15:30	3.0	2.5
ARA_25	19/12/2014	10:00	3.0	2.0
ARA_26	19/12/2014	10:30	2.5	2.0
ARA_27	19/12/2014	11:00	2.0	2.0
ARA_28	19/12/2014	11:30	1.0	1.0
ARA_29	20/12/2014	9:00	8.0	4.0

ARA_30	20/12/2014	10:30	7.0	4.0
ARA_31	20/12/2014	12:00	6.0	4.0
ARA_32	20/12/2014	13:00	12.0	4.0
ARA_33	21/12/2014	8:10	1.0	1.0
ARA_34	21/12/2014	8:30	0.0	-
ARA_35	21/12/2014	9:00	0.0	-
ARA_36	21/12/2014	9:30	4.0	4.0
ARA_37	21/12/2014	11:10	5.0	5.0
ARA_38	21/12/2014	11:40	2.5	2.5
ARA_39	21/12/2014	12:00	6.0	2.0
ARA_40	21/12/2014	13:00	2.0	2.0
ARA_41	21/12/2014	13:30	1.0	1.0
ARA_42	21/12/2014	13:40	2.2	3.0
ARA_43	21/12/2014	13:50	1.5	3.0
ARA_44	21/12/2014	14:00	1.5	3.0
ARA_45	21/12/2014	14:10	3.0	3.0
ARA_46	21/12/2014	14:30	4.0	3.0
ARA_47	21/12/2014	14:50	6.0	3.0

4.2.2. Mapeamento do tipo de fundo

Para o mapeamento de campo foram utilizadas as imagens fotointerpretadas e classificadas, guia de identificação dos organismos recifais, pranchetas de PVC para anotações, material de mergulho e câmeras fotográficas (duas GoPro e uma Nikon semiprofissional). Totalizando 47 pontos (Figura 11), todos os mergulhos foram videografados e descritos quanto à diversidade de espécies para auxílio na caracterização dos diferentes tipos de fundo encontrados no RA.

4.3. Análises granulométricas

As análises foram realizadas em 40 amostras pesando entre 20g e 55g, tendo em média aproximadamente 40g. De acordo com suas características granulométricas, essas amostras foram analisadas pelos métodos de peneiramento

e/ou pipetagem, sendo o segundo utilizado para amostras com alta porcentagem de finos.

4.3.1. Peneiramento

Após a coleta, cada amostra foi retirada de seu recipiente e colocada para secar ao ar livre durante uma semana. Depois de pesadas, apenas as amostras que possuíam mais de 50g passaram pelo processo de quarteamento. Em seguida os sedimentos foram direcionados para duas peneiras com vibração mecânica por 10 minutos. Após a divisão dos sedimentos por tamanho, o material de cada peneira foi pesado individualmente em uma balança de alta precisão e armazenado por fração.

4.3.2. Pipetagem

Amostras com alto teor de silte e argila foram analisada por esse método. Em primeiro lugar essas frações foram separadas do resto da amostra através da lavagem dos sedimentos uma peneira de 62 μ m. Em seguida o material foi colocado em uma proveta junto a 980ml de água destilada e 20ml de Hexametáfosfato de Sódio, solução utilizada para a defloculação da amostra. Por último foram realizadas coletas em intervalos e profundidades pré-determinados, seguindo o método utilizado no Laboratório de Sedimentologia da UFRJ (LAGESED). Após a secagem em forno a uma temperatura de 50°C, o material coletado foi pesado por fração granulométrica.

4.3.3. Análise dos parâmetros estatísticos

O processamento dos dados adquiridos foi realizado no programa *Gradistat v8*, software que permite que a distribuição granulométrica seja expressa nas formas tabular e gráfica. O programa, que é escrito em *Microsoft Visual Basic* e integrado ao

programa *Microsoft Excel*, requer que o usuário introduza o peso ou porcentagem da amostra referente a cada peneira para o cálculo dos parâmetros estatísticos (mediana, moda, média, desvio padrão e assimetria). Como já mencionado, o método gráfico proposto por Folk & Ward (1957) foi o escolhido para a análise desses parâmetros.

4.4. Análise composicional

A análise composicional consistiu na identificação de aproximadamente 400 grãos das quatro primeiras frações (grânulo a areia média) de cada amostra. Em cada fração foi identificado um máximo de 150 grãos, que foram divididos em 10 classes composicionais como mostra a Tabela 7. Além disso, a Figura 12 mostra as características dos principais bioclastos identificados nos sedimentos do Recife do Araripe.

Em seguida, os valores obtidos por classe em cada fração foram normalizados quanto à expressividade dessa fração na amostra, obtendo assim o valor de uma classe composicional na amostra total e o percentual analisado de cada amostra. As frações que não puderam ser analisadas composicionalmente devido a seu tamanho (Areia fina, areia muito fina, silte e argila) foram contabilizadas junto à classe “Outros”.

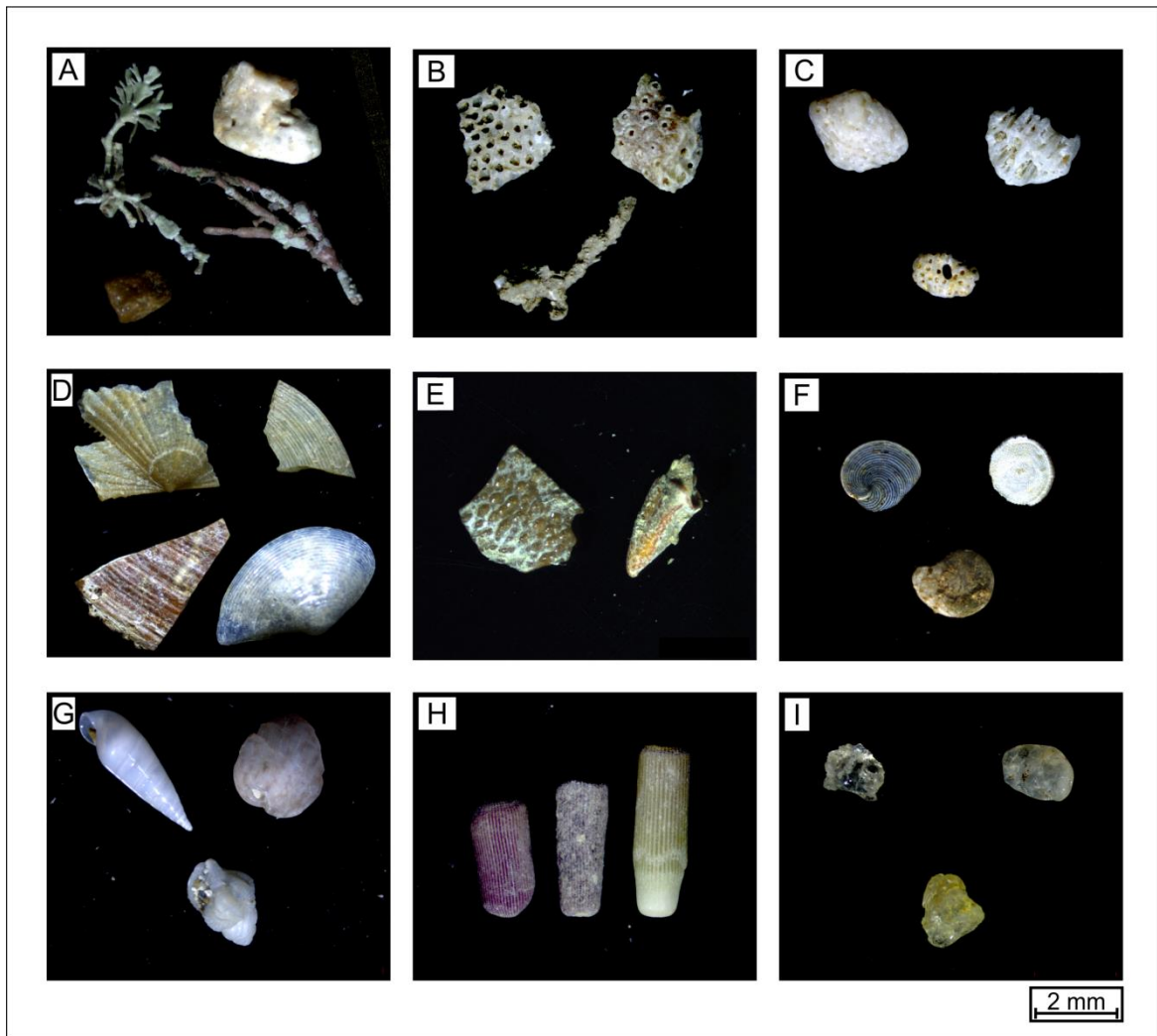


Figura 12 - Principais bioclastos identificados nas amostras do Recife do Araripe na fração areia muito grossa. A) Algas Calcárias; B) Briozoários; C) Corais; D) Conchas; E) Crustáceos; F) Foraminíferos; G) Gastrópodes; H) Espinhos de Ouriço; I) Siliciclásticos

Tabela 7 - Exemplo de análise composicional em uma amostra fictícia.

Tamanho	Bioclastos	Grãos	%	Total (grãos)
Grânulo	Alga Calcária	12	17%	70
	Briozoários	14	20%	
	Conchas	8	11%	
	Corais	15	21%	
	Crustáceos	6	9%	
	Foraminíferos	1	1%	
	Gastrópodes	5	7%	
	Ouriço	2	3%	
	Siliciclásticos		0%	
	Outros	7	10%	

AMG	Alga Calcária	48	44%	110	
	Briozoários	26	24%		
	Conchas	5	5%		
	Corais	15	14%		
	Crustáceos	1	1%		
	Foraminíferos		0%		
	Gastrópodes	5	5%		
	Ouriço		0%		
	Siliciclásticos		0%		
	Outros	10	9%		
	AG	Alga Calcária	54		51%
Briozoários		16	15%		
Conchas		1	1%		
Corais		6	6%		
Crustáceos		1	1%		
Foraminíferos			0%		
Gastrópodes		10	10%		
Ouriço		4	4%		
Siliciclásticos			0%		
Outros		13	12%		
AM		Alga Calcária	75	74%	101
	Briozoários		0%		
	Conchas		0%		
	Corais	2	2%		
	Crustáceos	4	4%		
	Foraminíferos	6	6%		
	Gastrópodes	3	3%		
	Ouriço	1	1%		
	Siliciclásticos	2	2%		
	Outros	8	8%		
Total (grãos)				386	

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Geoprocessamento

5.1.1. Fotointerpretação

O resultado da fotointerpretação da principal construção recifal do Recife do Araripe, que foi realizada em uma imagem *pan-sharpened* com resolução de 50 cm de pixel, foi uma imagem com 13 zonas delimitadas (Figura 13).

Durante a fotointerpretação foram consideradas características de forma, tamanho, tonalidade, localização e textura dos objetos na imagem, como exemplificado na Tabela 8. Vale ressaltar que para definir a localização de determinada zona no recife foi considerado o centro da imagem.

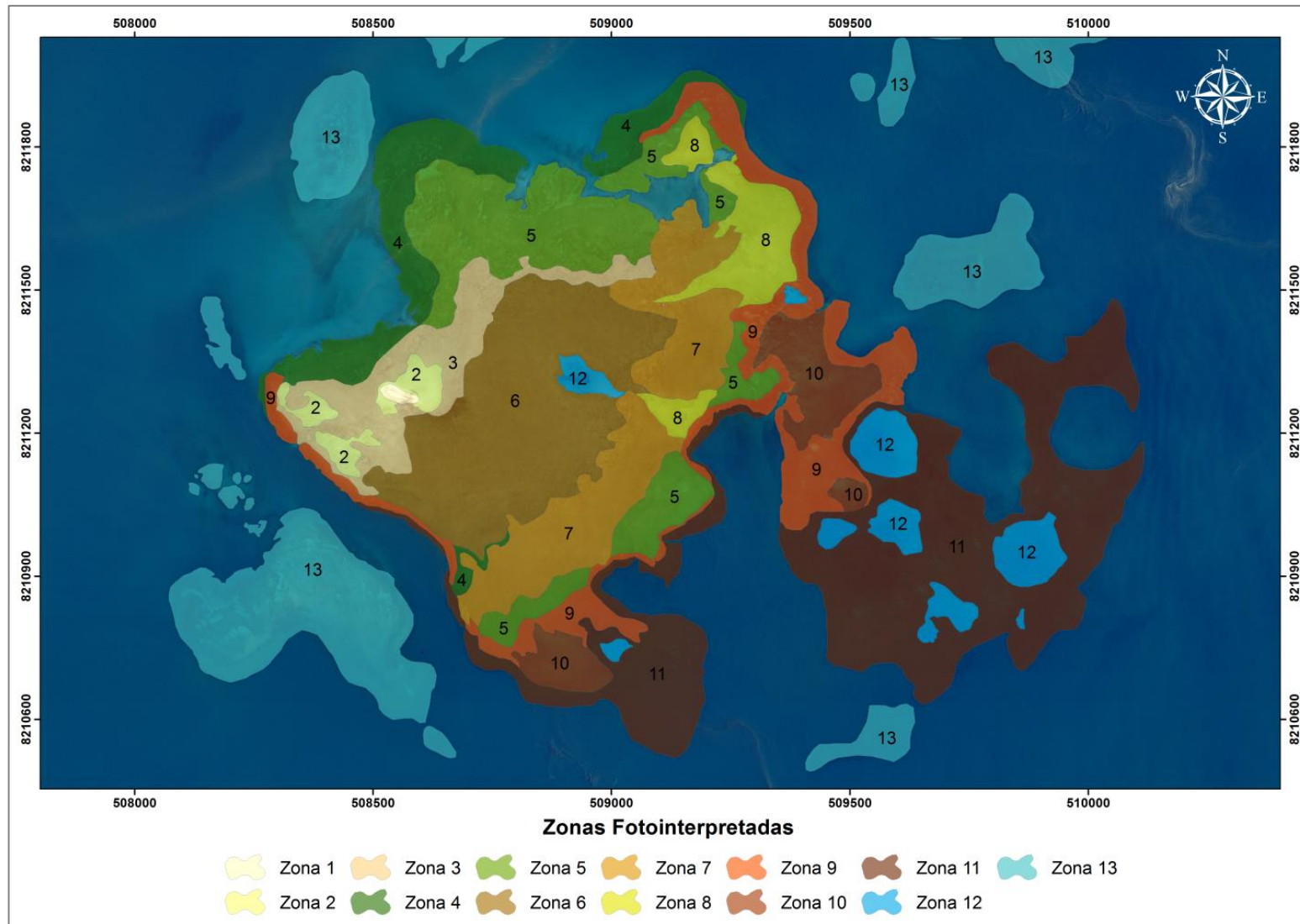


Figura 13 - Zonas fotointerpretadas através da imagem *pan-sharpened* do satélite WVII na composição de bandas R:4, G:3, B:1.

Tabela 8 - Principais características e aspectos das zonas fotointerpretadas.

Zona	Aspectos	Forma	Localização no recife	Tonalidade	Textura
1	Cascalho e areia emersos	Ligeiramente arredondada	SW	Muito clara, tendendo ao amarelo	Homogênea
2	Regiões muito rasas com cascalho e areia	Irregular	SW	Clara, tendendo ao verde-piscina	Densidade Variável
3	Areia, macroalgas e gramas marinhas	Irregular e alongada na direção SW-NE	NW	Varia de média a clara, tendendo ao bege	Heterogênea
4	Macroalgas, calcárias, corais e algumas áreas mais arenosas	Regular e alongada nas direções SW-NE e S-N	NW, N	Varia de média a escura	Densidade Variável
5	Cascalho, algas calcárias, macroalgas e alguns corais	Irregular	NW, N, E, SE	Média, tendendo ao marrom-esverdeado	Heterogênea
6	Topo Recifal	Retangular ligeiramente arredondada	Centro	Média, tendendo ao marrom	Homogênea
7	Macroalgas de grande porte, algas calcárias, e algumas espécies de cnidários	Regular alongada na direção SW-NE	NE, E, SE, S	Escura, tendendo ao cinza	Heterogênea
8	Areia no topo recifal, macroalgas	Ligeiramente triangular	NE	Clara, tendendo ao verde-piscina	Homogênea
9	Corais, algas calcárias e em menor quantidade macroalgas	Regular estreita e alongada	NE, E, SE, S, SW	Escura, tendendo ao azul-marinho	Heterogênea
10	Cascalho, areia e macroalgas	Irregular ligeiramente arredondada	E, S	Varia de média a escura, tendendo ao verde-piscina	Densidade Variável
11	Corais e algas calcárias	Irregular	E, SE, S	Escura, tendendo ao azul-marinho	Heterogênea
12	Piscinas naturais cercadas por corais	Arredondada	Centro e SE	Média, tendendo ao verde-piscina	Homogênea
13	Outros recifes	-	-	-	-

5.1.2. Classificação

A classificação dos pixels foi realizada com base nas zonas fotointerpretadas utilizando as 5 primeiras bandas do visível, o que resultou em uma imagem com 11 classes de pixel como mostra a Figura 14. Já que o processo de classificação considerou toda a imagem, os recifes adjacentes e a ilha não foram considerados como duas classes separadas. Ao comparar as zonas e as classes geradas pela fotointerpretação e classificação respectivamente é possível observar a alta correlação que existe entre os dois métodos de sensoriamento remoto.

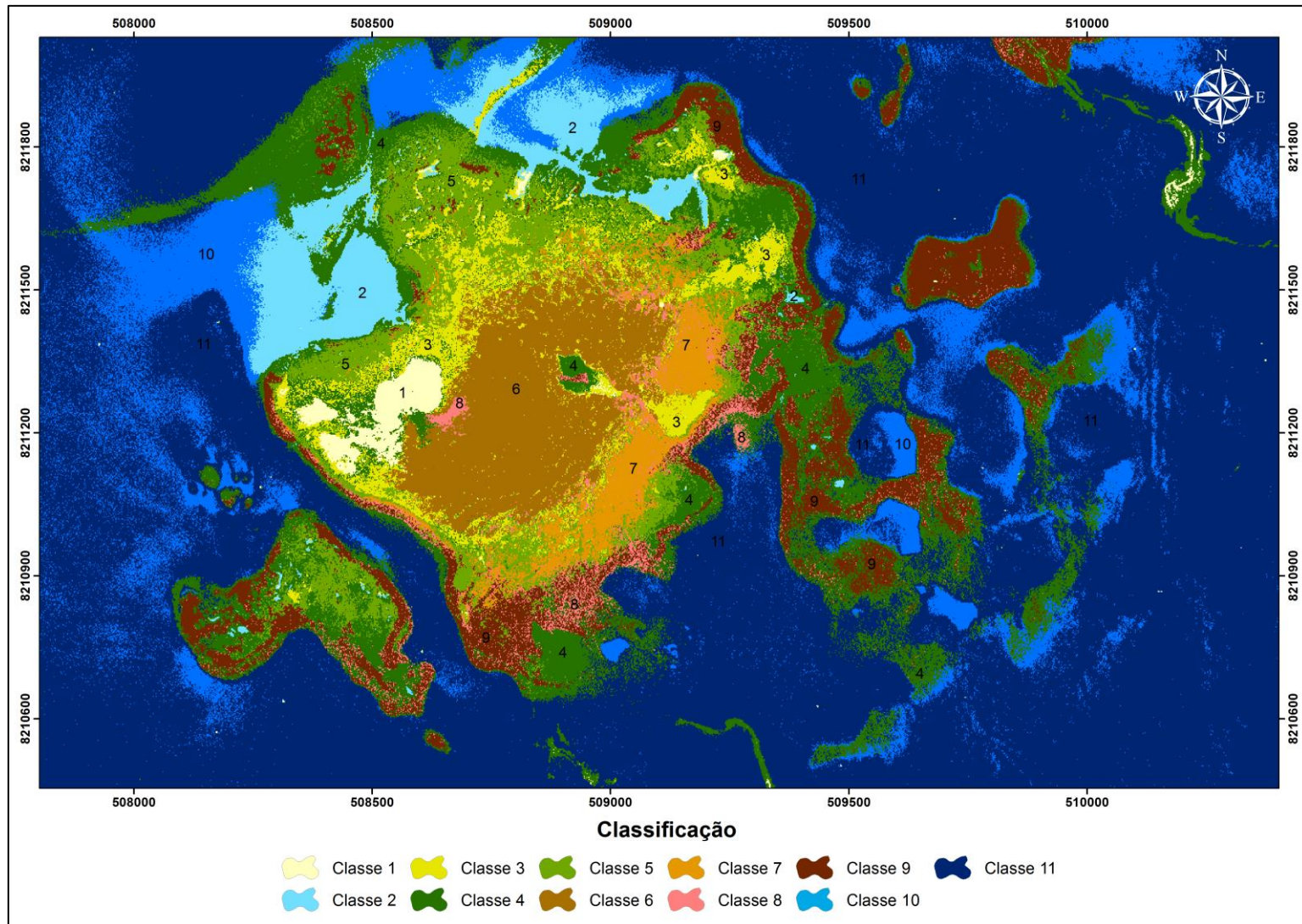


Figura 14 - Classificação de pixels pelo método de máxima verossimilhança realizada a partir da imagem que foi corrigida atmosféricamente.

Por outro lado, em contraste com a fotointerpretação, a classificação da imagem permite uma visualização mais detalhada do caráter transicional e heterogêneo dos vários tipos de fundo do complexo recifal por classificar individualmente os pixels da imagem a partir de suas informações espectrais. Dessa maneira, os pixels classificados podem aparecer em diversas zonas fotointerpretadas como mostra a Tabela 9.

Ao comparar a zona 3 da imagem fotointerpretada com a mesma região na imagem classificada é possível observar que ela representa uma área transicional entre 2 diferentes classes. Além disso, a Tabela 9 mostra que uma mesma classe pode estar presente em até 9 zonas distintas, como é o caso da classe 8, evidenciando o alto grau de detalhamento desse tipo de investigação. Outro fator interessante da classificação supervisionada é a possibilidade de distinguir diferentes profundidades de um mesmo substrato, como é o caso da areia, representada pelas classes 1, 2, 10 e 11.

Ao observar a Figura 14, as feições delimitadas pelas diferentes profundidades desse substrato permitem visualizar atributos da dinâmica sedimentar no complexo recifal, mostrando áreas de acúmulo e retirada de sedimentos. De acordo com a classificação, o pequeno canal localizado na região sudoeste do recife é constituído por areia muito funda, indicando que é uma área onde acontece a retirada de sedimentos. Dentro desse canal é possível observar uma pequena feição que parece representar um acúmulo sedimentar ocasionado pela sombra do recife adjacente, como mostra a Figura 14. Além disso, também é possível observar feições que se assemelham a dunas submarinas formadas pelas ondas que chegam à frente recifal na região leste do RA.

Outra vantagem da aplicação desse método é a distinção de pixels em áreas mais profundas, como no sudeste do recife, possibilitando a visualização de nuances que não puderam ser identificadas através da fotointerpretação. Por outro lado, a importância da fotointerpretação continua presente nesse tipo de estudo, uma vez que sua realização foi o ponto de partida para a distinção das regiões de interesse utilizadas na classificação da imagem.

Tabela 9 - Comparação entre a classificação de pixels e a fotointerpretação.

Classe	Aspectos Esperados	Principais zonas de ocorrência	Aspectos Identificados em Campo (nome da classe)
1	Fundo arenoso muito raso	1, 2	Fundo cascalho-arenoso muito raso e/ou emerso
2	Fundo arenoso raso	12	Fundo arenoso raso
3	Areia no Topo Recifal	3, 8	Areia no Topo Recifal
4	Macroalgas e corais	4, 5, 8, 10	Macroalgas e Algas Calcárias
5	Algas	4, 5	Recife Morto e Cascalhos Incrustados por Algas Calcárias e Macroalgas de Menor Porte
6	Topo recifal	6	Topo Recifal
7	Algas calcárias, macroalgas e corais	7	Recife Morto Coberto por Algas Calcárias, Algas turf, Esponjas e Ouriços
8	Banco de algas	6, 7, 9	Corais e Algas
9	Corais e algas calcárias	9	Corais
10	Fundo arenoso profundo	11, 12	Fundo arenoso profundo
11	Fundo arenoso muito profundo	11, 12	Fundo arenoso muito profundo

5.2. Mapeamento do tipo de fundo

Durante os trabalhos de campo, realizados nos meses de novembro e dezembro de 2014, todos os diferentes tipos de fundo foram visitados e videografados, com o intuito de verificar o quão eficiente é o sensoriamento remoto para estudar e monitorar as áreas recifais.

Os resultados foram excelentes já que as delimitações propostas pela fotointerpretação e classificação do complexo recifal tiveram uma ótima correlação com os ambientes identificados em campo. Como já mencionado, a classificação proporciona uma visão mais detalhada dos diferentes tipos de fundo, ao mostrar o caráter transicional das diferentes classes propostas, o que foi confirmado durante o trabalho de campo. Nesse contexto, a classificação foi o método escolhido para a caracterização dos tipos de fundo e para as próximas interpretações sedimentares.

5.2.1. Caracterização geral

Através do mapeamento foi verificado que o Recife do Araripe é um local com grande biodiversidade de algas, corais, briozoários, esponjas, gastrópodes, ouriços e peixes, caracterizando-o como área prioritária de preservação e monitoramento. A interação entre esses organismos e as diferentes variáveis ambientais, como o regime de ondas, temperatura, salinidade, turbidez, tipo de substrato e nível do mar, induz a formação de complexos microhabitats na estrutura recifal, como já mencionado.

Em relação à distribuição de espécies de macroalgas (calcárias ou não), que são grandes constituintes desse ambiente e se estendem praticamente por todo o complexo recifal, observou-se que as verdes e pardas são mais comuns em

profundidades de até 6 m, enquanto as vermelhas são encontradas de ambientes rasos a muito fundos. Além disso, foi observada grande correlação entre os locais que possuem intensa cobertura algálica e a deposição de sedimentos, variáveis que são diretamente proporcionais. Isso provavelmente acontece pela capacidade que organismos como esses têm em diminuir a velocidade da corrente e/ou aprisionar os sedimentos, induzindo assim sua deposição (Dudley, 2003).

Já os corais distribuem-se preferencialmente nas bordas do recife, principalmente em suas “paredes”, que são os locais onde eles encontram as melhores condições para se desenvolverem uma vez que não ficam expostos às intempéries subaéreas, como acontece no topo recifal, mas ainda permanecem dentro do limite fótico, característica importante para manterem saudáveis as zooxantelas. Nos locais mais fundos do recife, como no ponto 9B, a quantidade de sedimentos finos em suspensão às vezes é tão grande que limita a visibilidade a praticamente zero, mesmo com a utilização de lanternas.

5.2.2. Correlação entre as classes e os diferentes tipos de fundo do RA

A tarefa de delimitar habitats a partir da caracterização do tipo de fundo se torna complexa com a quantidade de variáveis físicas, químicas e bióticas que estão constantemente interagindo nos ambientes recifais. Dessa maneira, procurou-se estabelecer e caracterizar todos os tipos de fundo a partir da simplificação de seus principais constituintes.

Nesse contexto, os organismos recifais não foram diferenciados em nível de espécies. Vale ressaltar que as algas calcárias (verdes e vermelhas) foram englobadas em apenas um grupo, para simplificar a correlação com a caracterização sedimentar e composicional dos sedimentos recifais. As demais macroalgas foram

divididas em três grupos (verde, vermelha e parda) e também foi descrita a presença de algas turf.

5.2.2.1. Classe 1 – Fundo cascalho-arenoso muito raso e/ou emerso

A classe 1 compreende áreas que predominantemente são constituídas por areia e cascalho muito raso e/ou emerso, localizando-se principalmente na região oeste/ sudoeste do recife. Dos 47 pontos mapeados, 6 foram realizados ao longo dessa classe (6, 7, 25, 26, 27 e 28) como mostra a Figura 15.

Além dos sedimentos grossos também foi observada a presença de macroalgas pardas de menor porte, que provavelmente são representadas pelos pixels da classe 4 (verde escuro) que se misturam à classe 1. Em geral, essa classe representa áreas de alta energia constantemente retrabalhadas pelas condições hidrodinâmicas no recife, o que depende diretamente do regime de ondas e do clima.

Durante os trabalhos de campo constatou-se que a ilha recifal do RA (Figura 15A) ainda não é uma ilha estável, mudando de posição ao longo dos anos. A ilha, que fica quase totalmente debaixo d'água durante a maré cheia, aparece na imagem de satélite (abril de 2013) em uma posição diferente da atual, uma vez que o ponto 6 foi coletado no topo da ilha (novembro de 2014) e além disso os pontos 7 e 8 foram coletados nas atuais extremidades da ilha.

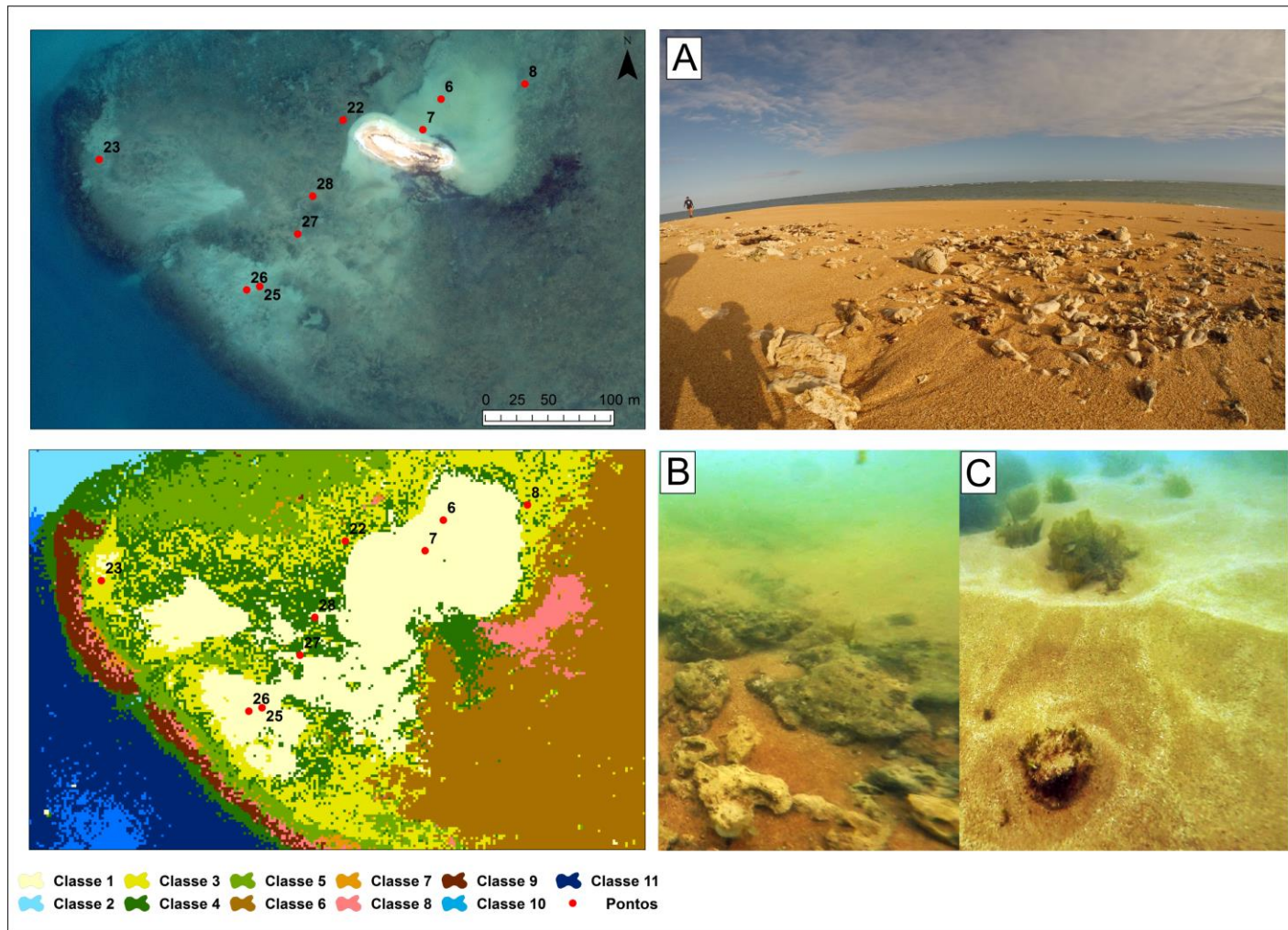


Figura 15 - Distribuição de fundo cascalho-arenoso muito raso e/ou emerso (Classe 1) no RA. A) Blocos de coral e cascalho no topo da ilha do Araripe; B) Blocos de alga calcária e coral; C) Marcas de onda e macroalga.

5.2.2.2. Classe 2 – Fundo arenoso raso

Posicionada predominante na região leste/ norte do recife, a classe 2 representa áreas rasas compostas por areia, com predominância de grãos muito finos. Foram realizados três pontos de mergulho para identificação e coleta de material: 15,15B e 16. Nessa classe, que ocorre em feições mais abrigadas do recife, foi observada a presença de marcas de ondas (Figura 16) em areia fina. Além disso, também há ocorrências pontuais de macroalgas pardas.

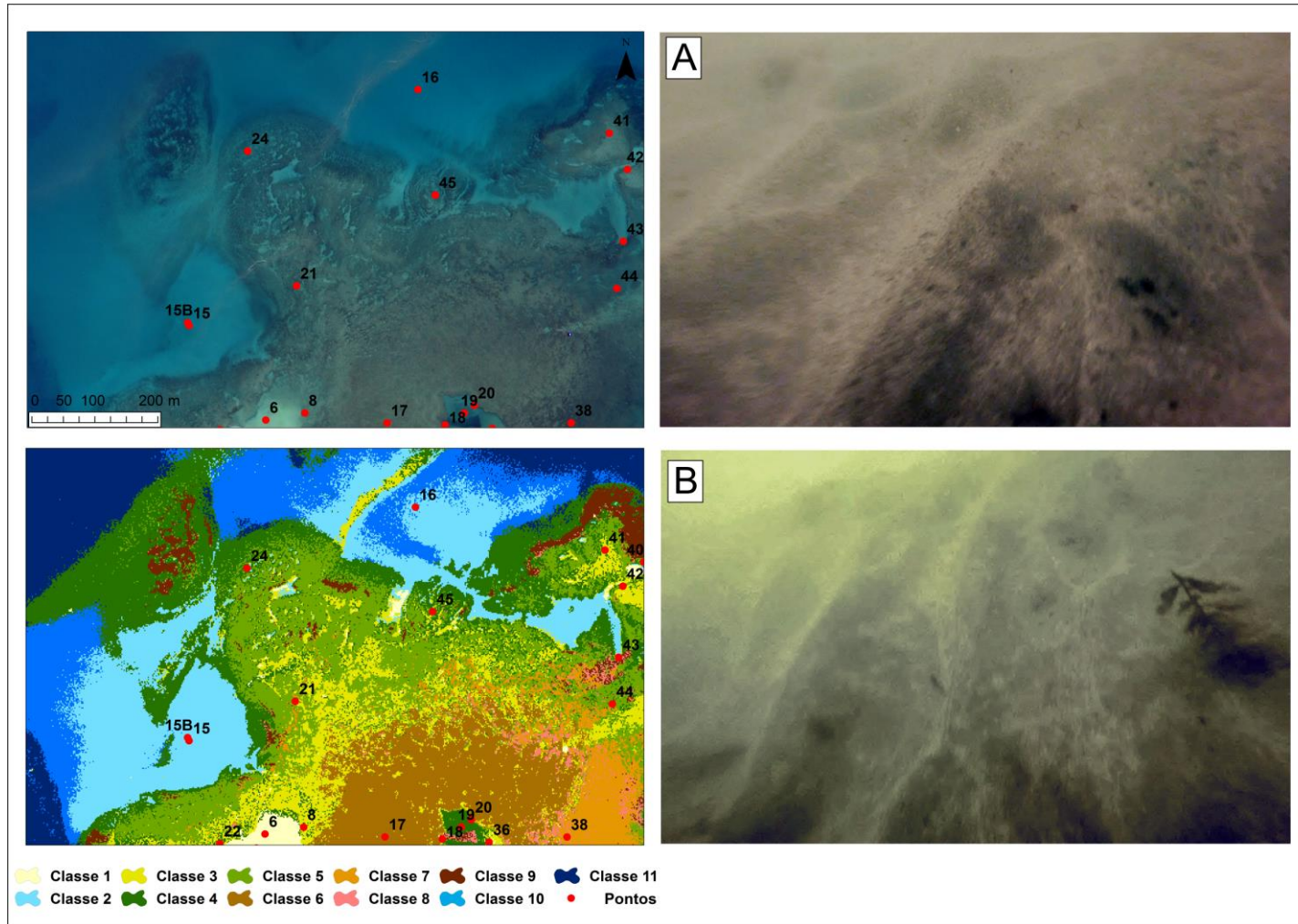


Figura 16 - Distribuição de fundo arenoso raso (Classe 2) no RA. A) Marcas de onda em sedimento fino; B) Ocorrência pontual de macroalga parda de pequeno porte e presença de marcas de onda.

5.2.2.3. Classe 3 – Areia no topo recifal

Essa classe possui ampla distribuição no RA e ocorre principalmente ao redor do topo recifal. São observadas formas triangulares na região leste do recife, como pode ser observado na Figura 17, que parecem ser formadas pela entrada de sedimentos no topo recifal. Foram realizados 5 pontos (8, 22, 23, 36, 41 e 42) de mergulho nessa classe.

Em geral, essa classe representa áreas constituídas por sedimentos, que variam de areia muito grossa a média, algas calcárias e macroalgas (verdes e pardas) de pequeno porte, se sobrepondo ao fundo rochoso (recife morto). Durante o trabalho de campo observou-se que esses locais são fortemente retrabalhados pelas correntes de maré (Figura 17A), que colocam muitos sedimentos em suspensão e tornam esses locais instáveis e mutáveis. Além disso, também é possível observar que esses sedimentos são aprisionados na piscina do platô recifal, como mostra a Figura 17.

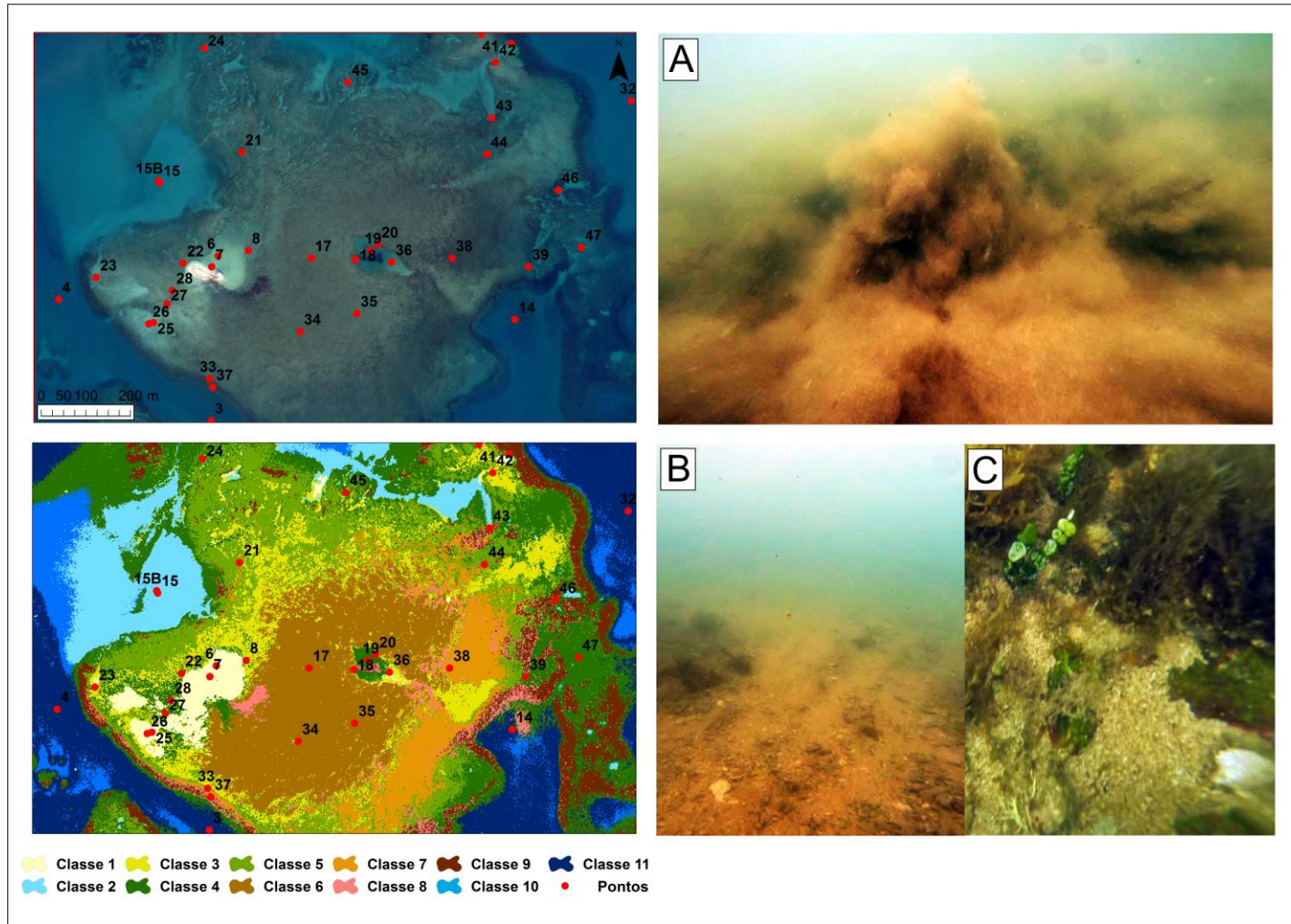


Figura 17 - Distribuição de areia no topo recifal (Classe 3) no RA. A) Sedimento grosso colocado em suspensão pelas ondas; B) Sedimento grosso e cascalho no topo recifal; C) Algas calcárias e macroalgas junto a sedimentos no topo recifal.

5.2.2.4. Classe 4 – Macroalgas e algas calcárias

A Classe 4 representa uma das mais amplas distribuições de pixel na imagem e aparece contornando o recife, na forma de uma estreita faixa, ou compondo platôs, como nas áreas dos pontos 30, 31 e 47. Nesses platôs o substrato é coberto por alga calcária incrustante, sedimento grosso e macroalgas verde a parda de grande porte. Além disso, os pixels dessa classe aparecem de forma intercalada com as classes 3 e 5 em muitos locais, sugerindo grande correlação entre esses três tipos de fundo. Ao todo foram realizados 6 pontos de investigação nessa classe: 24 (transição entre as classes 4 e 5), 30 (transição entre as classes 4, 8 e 9), 31, 45 (transição entre as classes 4 e 5) e 47.

Em geral essa classe representa áreas com alta diversidade e quantidade de macroalgas, em sua maioria de grande porte, algas calcárias e gorgônias de ocorrência pontual. Apesar de a classificação sugerir que o fundo da piscina localizada no centro do platô recifal é constituído basicamente de algas (classe 4), como mostra a Figura 21, foi encontrada uma quantidade menor, porém expressiva, de espécimens recobrando essa área.

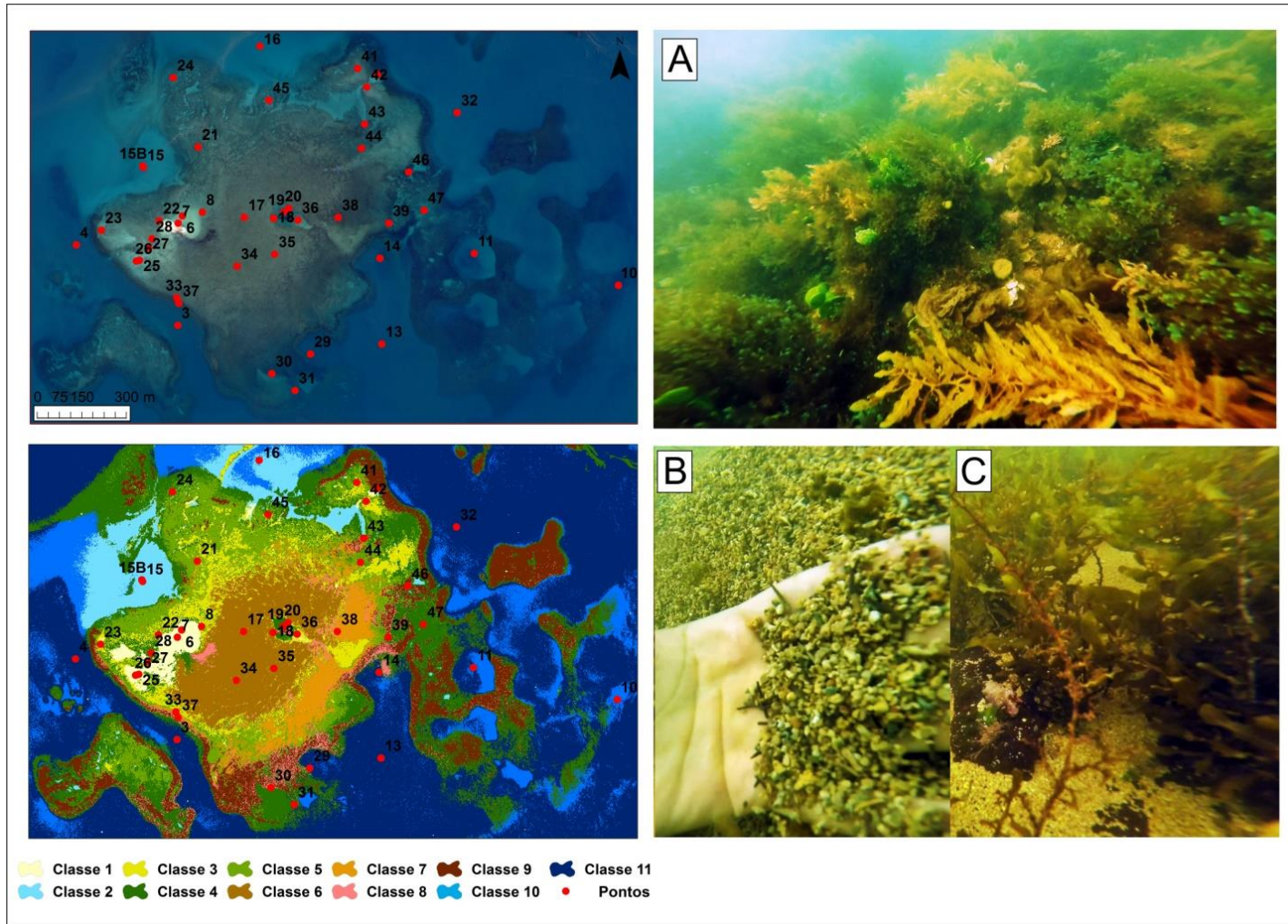


Figura 18 - Distribuição de macroalgas e algas e calcárias (Classe 4) no RA. A) Grande diversidade de algas; B) Sedimento muito grosso; C) Alga calcária incrustante e macroalga parda.

5.2.2.5. Classe 5 – Recife morto e cascalhos incrustados por algas calcárias e macroalgas de menor porte

Assim como a classe anterior, a classe 5 aparece ao redor do recife e, do centro para fora, precede a classe 4. Porém sua maior expressividade se dá na região norte/ noroeste, formando platôs que são cortados pela classe 3 (areia no topo recifal). Em geral representam locais onde há presença de recife morto exposto, muitas vezes incrustado por algas calcárias, e macroalga de menor porte. Além disso, também representam áreas cascalhosas como mostra a Figura 19B. Os pontos 18, 21, 24 (transição entre as classes 4 e 5) e 33 (transição entre as classes 7, 5 e 3) marcam pontos de mergulho nessa classe.

Essa classe também aparece ao redor da piscina que está localizada no centro do platô recifal (Figura 21), porém, durante o trabalho de campo verificou-se que essa área é coberta por corais vivos. Uma possível explicação para esses pixels terem sido atribuídos a outra classe é que suas características não foram diferenciadas em uma classe específica durante a delimitação das regiões de interesse e, dessa maneira, os pixels foram classificados junto às características espectrais que mais se assemelhavam às suas.

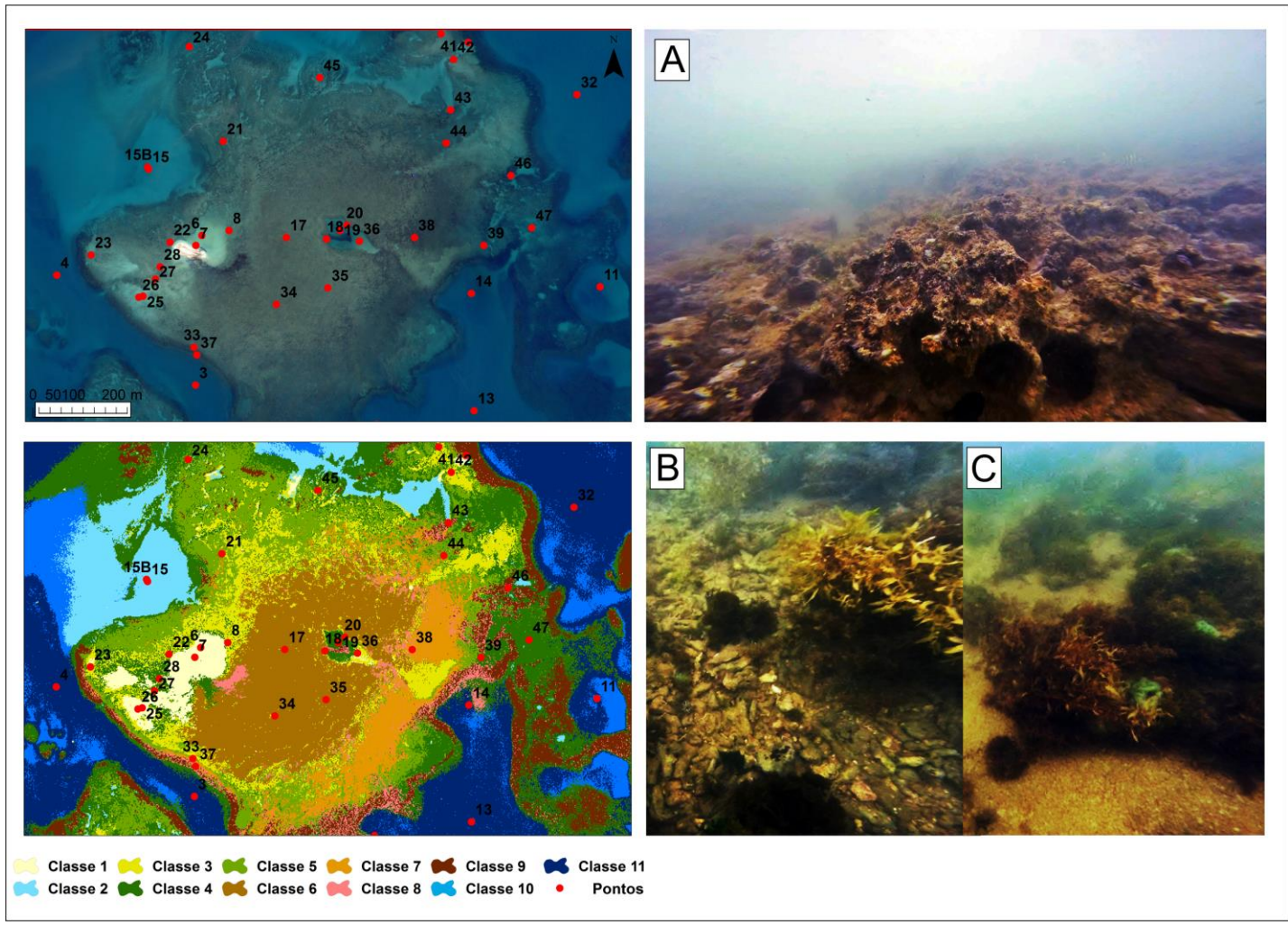


Figura 19 - Distribuição de recife morto (A) e cascalhos incrustados por algas calcárias (B) e macroalgas de menor porte (C) (Classe 5) no RA.

5.2.2.6. Classe 6 – Topo recifal

Localizada no centro do complexo recifal, a classe 6 apresenta um formato circular e é facilmente distinguível pela imagem de satélite, intercalando-se com a classe 3 ao longo de sua extensão. Ao todo foram realizados 3 pontos nessa área: 17, 34 e 35.

Essa área, que fica exposta durante a maré baixa (Figura 20A), caracteriza o topo recifal e é constituída principalmente por recife morto incrustado por alga calcária e algas *turf*, com a presença de um grande número de pequenas poças habitadas principalmente por corais e briozoários. Além disso, também são encontrados gastrópodes, crustáceos, ouriços, bivalves e braquiópodes em grande quantidade nessa região.

Essa classe caracteriza o limite do crescimento recifal, que é controlada pelo nível do mar e produção carbonática. Além disso, por ficar exposto durante as marés baixas, o topo recifal apresenta indícios do intemperismo químico causado por águas meteóricas, que ao entrar em contato com o carbonato provoca sua dissolução.

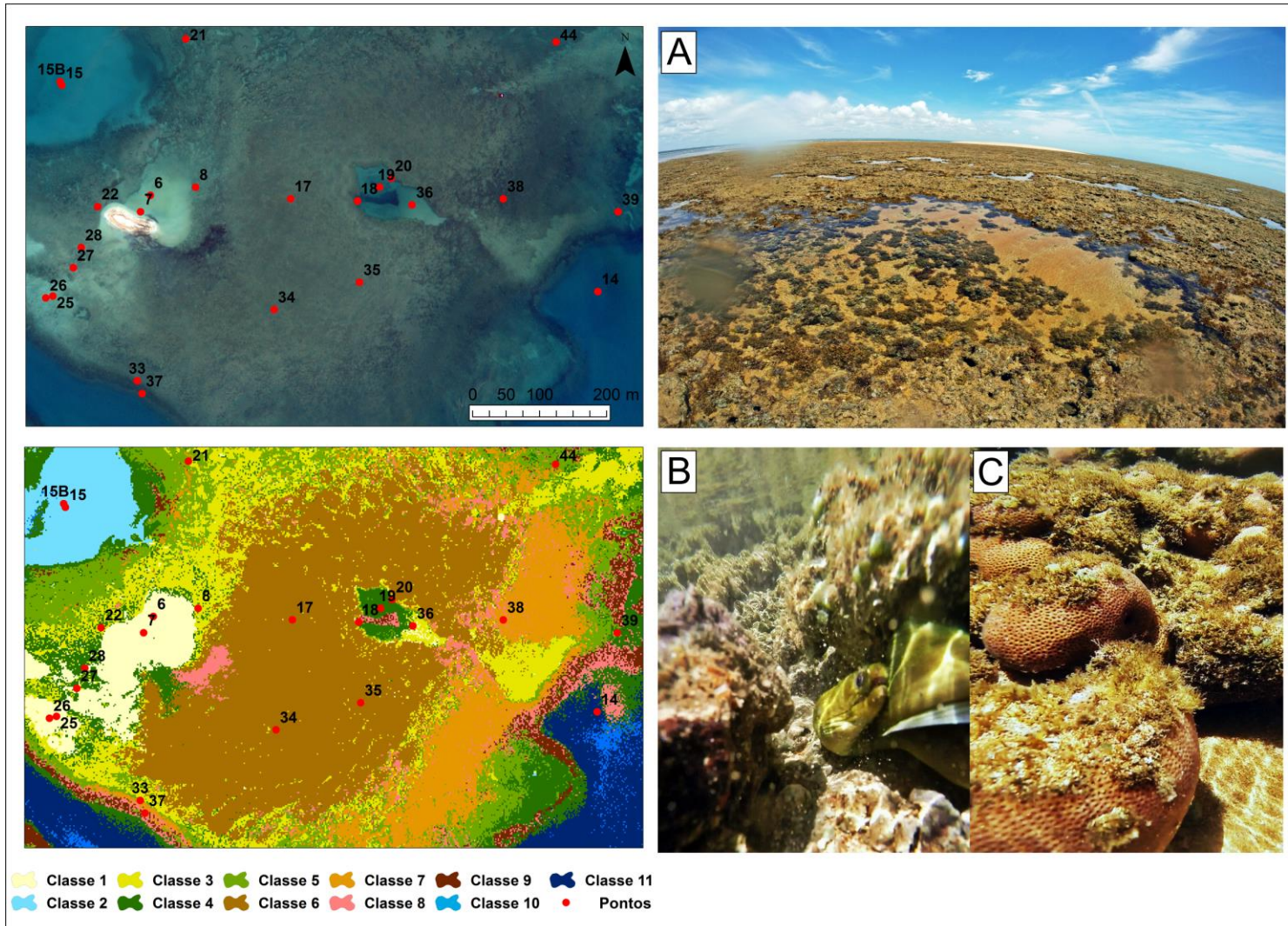


Figura 20 - Distribuição do topo recifal (Classe 6) no RA. A) Recife exposto durante a maré baixa (ilha recifal ao fundo); Moréia (B), Coral estrela (C) e algas *turf* encontrados em poças durante a maré baixa.

Além disso, no centro do topo recifal existe uma piscina natural (Figura 21) que apresenta grande biodiversidade de peixes, corais e algas (Figura 22).

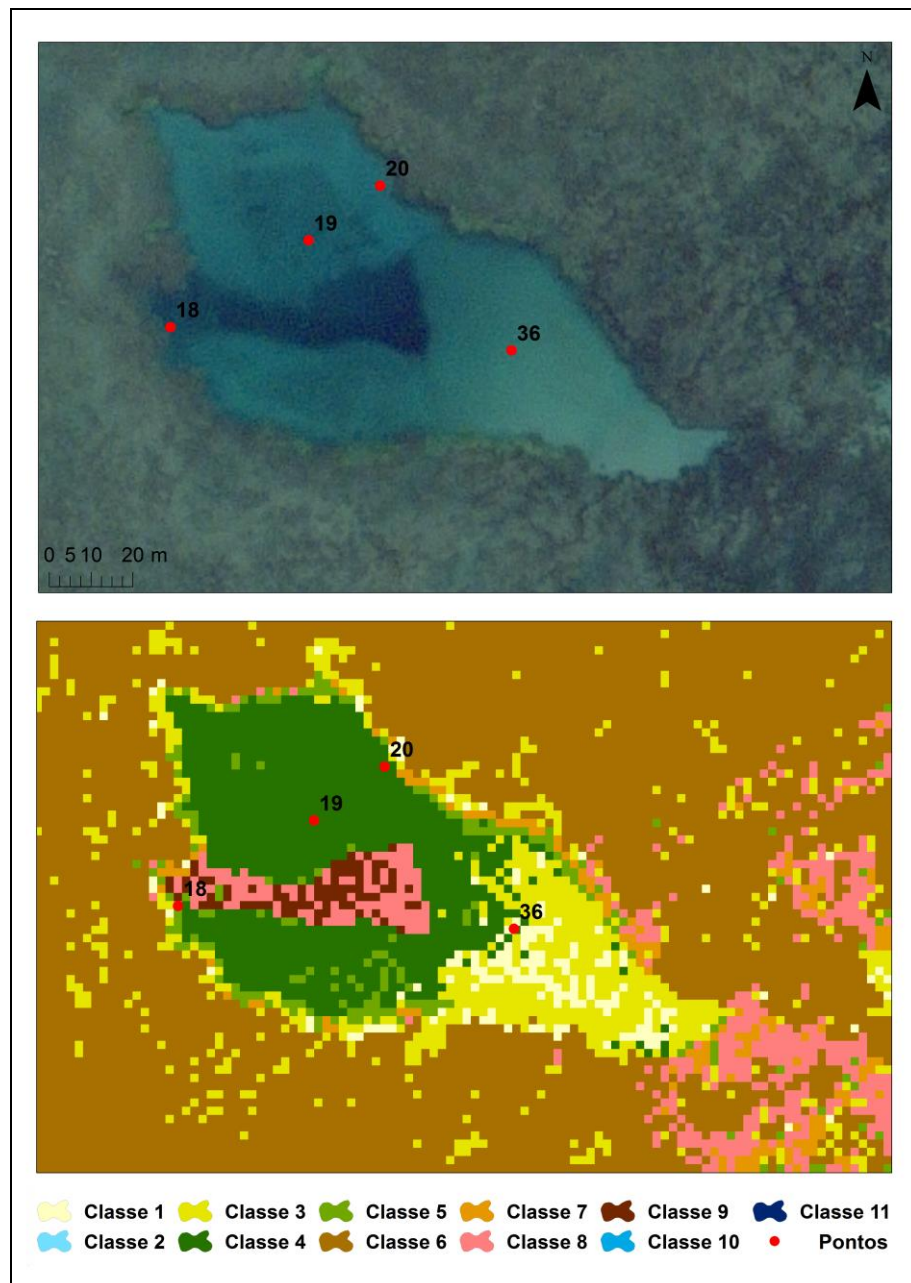


Figura 21 - Visão detalhada da piscina natural localizada no centro do topo recifal.

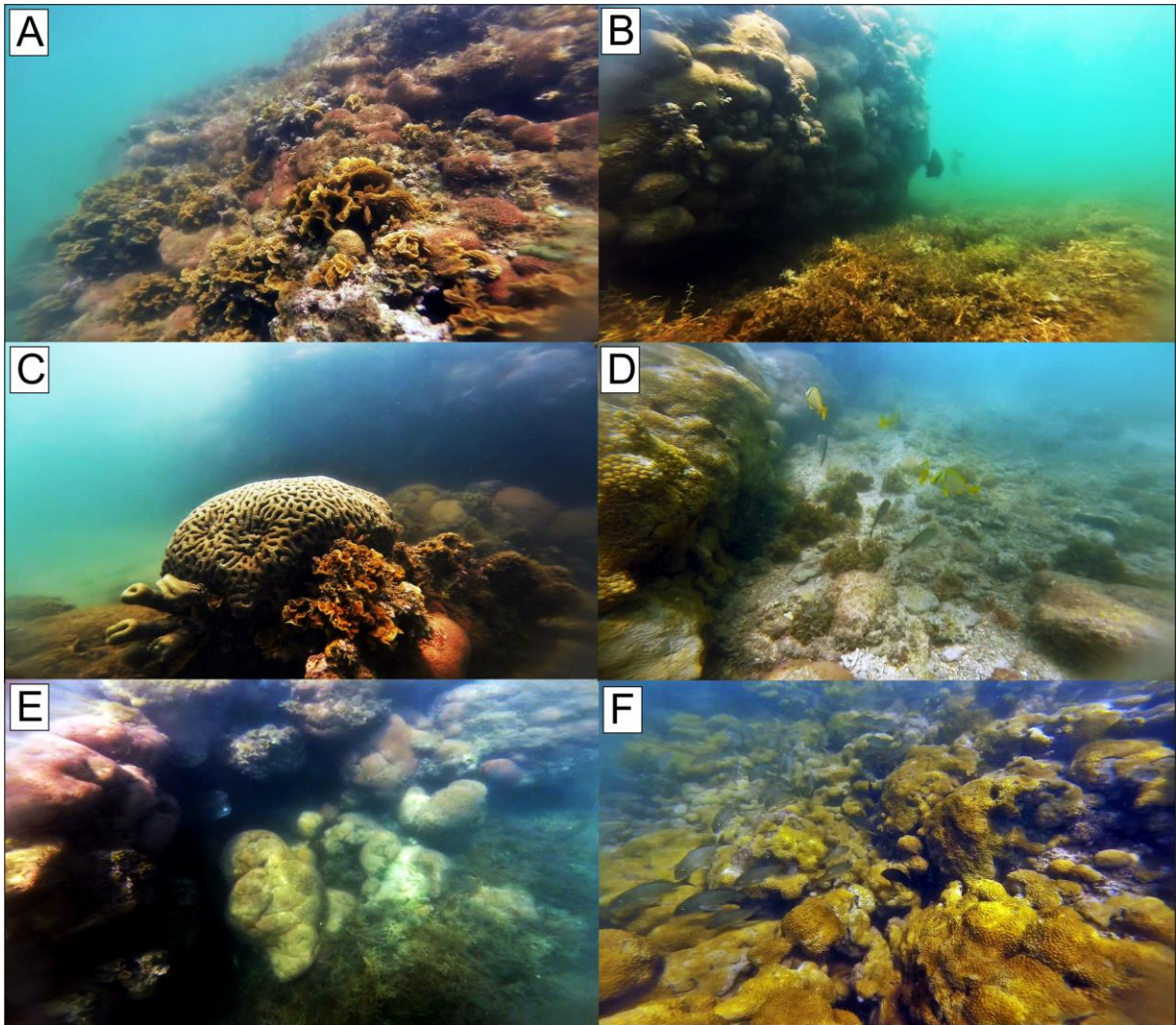


Figura 22 – Diferentes tipos de fundo e a biodiversidade da piscina natural que está localizada no centro do topo recifal. A) *Agaricia agaricites*, coral estrela (*Siderastrea stellata*), Barriguinha amarela (*Favia leptophylla*) e algas turf; B) Fundo da piscina recoberto por algas, corais e peixes-frade; C) Corais cérebro (*Mussismilia hispida* e *hartii*), coral estrela (*Siderastrea stellata*), *agaricia agaricites* e algas turf; D) Baba-de-boi (*Palythoa caribaeorum*) e guaiúbas; E) Algas no fundo da piscina e um peixe grande em sua toca; F) Baba-de-boi (*Palythoa caribaeorum*) e cardume de peixes.

5.2.2.7. Classe 7 – Recife morto coberto por algas calcárias, algas turf, esponjas e ouriços

A Classe 7 tem maior expressão na região leste do recife, formando uma espécie de meio círculo em volta do topo recifal. Foi realizada apenas uma coleta de sedimento superficial (ponto 38), porém o mergulho para reconhecimento abrangeu boa parte da área. Além disso, na região sul do recife, o ponto 33 marca uma zona de transição entre as classes 7, 5 e 3.

De uma forma análoga a região localizada à oeste do topo recifal, essa classe também caracteriza um ambiente com recife morto, porém é bastante heterogêneo e recoberto por algas *turf*, algas calcárias, esponjas e muitos ouriços. Além disso, também foram observadas ocorrências pontuais de coral (Figura 23).

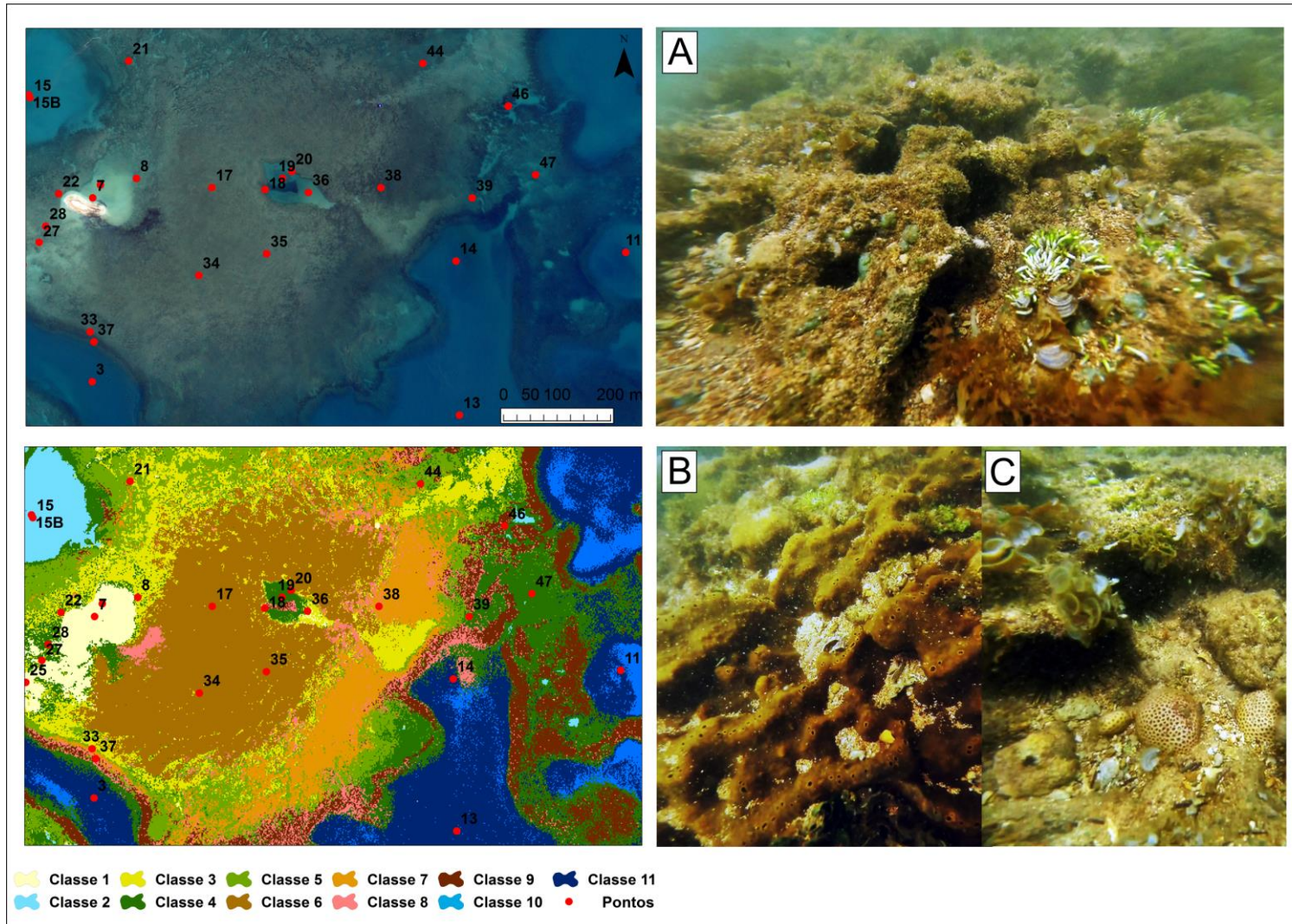


Figura 23 - Distribuição de recife morto recoberto por algas turf e calcárias (A), esponjas (B) e ouriços (A e B) no RA (Classe 7).

5.2.2.8. Classe 8 – Corais e algas

Em geral, a classe 8 representa dois diferentes tipos de fundo dependendo de sua localização na construção recifal: Corais, quando em conjunto com a classe 9 nas bordas do recife, e macroalgas, quando localizada no topo recifal. Nessa classe foram mapeados os pontos 18, 30 (transição entre as classes 4, 8 e 9), 37 (junto à classe 9) e 46 (junto à classe 9).

Uma vez que o banco de algas observado próximo à ilha recifal não foi encontrado durante o campo, não foi possível fotografar tal ocorrência. Porém, em conjunto com a classe 9, a classe 8 representa áreas repletas de corais, algas calcárias e gorgônias, mas supõe-se que a reflectância dos pixels dessa classe esteja associada à presença de Baba de Boi, que é um zoantídeo, como mostra a Figura 24A. Além disso, a classe 9 também é encontrada nas bordas da piscina (Figura 21) em locais onde a presença de baba de boi era muito expressiva (Figura 22B).

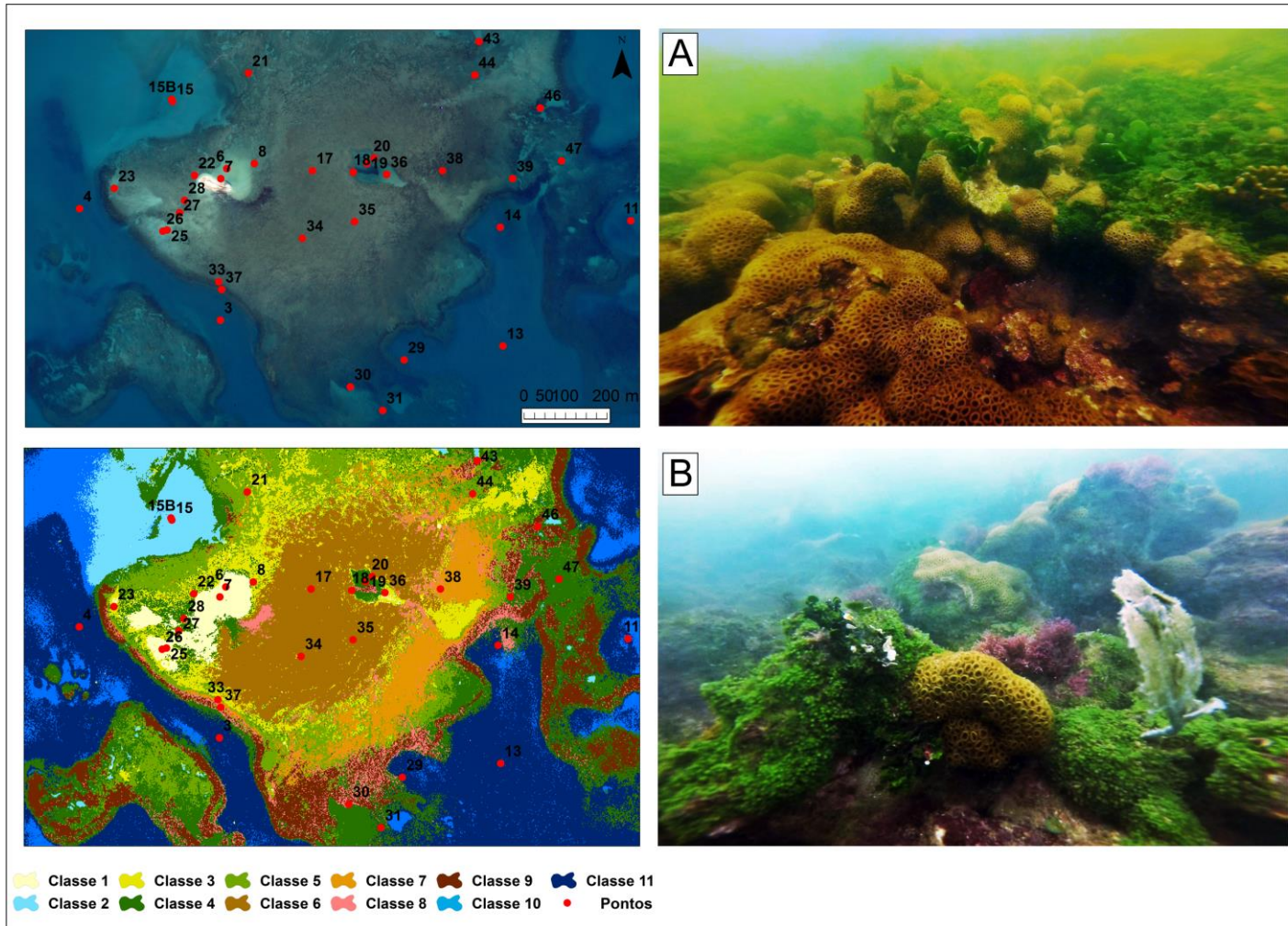


Figura 24 - Distribuição de corais e algas (Classe 8) no RA. A) Baba-de-boi (*Palythoa caribaeorum*), algas calcárias e macroalga verde; C) Baba-de-boi (*Palythoa caribaeorum*), algas calcárias, macroalga verde e gorgônias (*Phyllogorgia dilatata*).

5.2.2.9. Classe 9 – Corais

A classe 9 tem sua distribuição associada à áreas com profundidades entre 3 e 7m e, como pode ser observado na Figura 25, ela aparece ao redor do recife, principalmente nas regiões sudoeste e nordeste. Foram realizados os pontos 30 (transição entre as classes 4, 8 e 9), 37 (junto a classe 8) e 46 (junto a classe 8) e diversos mergulhos para reconhecimento desse tipo de fundo.

Em geral são encontradas colônias de coral de espécies variadas (Figura 25), além de algas calcárias e gorgônias em grande quantidade. Na região sudeste do recife, próximo ao ponto 29, os corais estão sendo soterrados por sedimentos finos como mostra a Figura 25B, porém também são encontradas colônias saudáveis (Figura 25D). Isso provavelmente é decorrente de estarem localizados em uma feição abrigada, que lembra uma pequena baía.

Não foi verificado se os recifes adjacentes realmente possuem essa riqueza de corais como sugere a imagem classificada, sendo necessária a realização de estudos posteriores para validar essa hipótese.

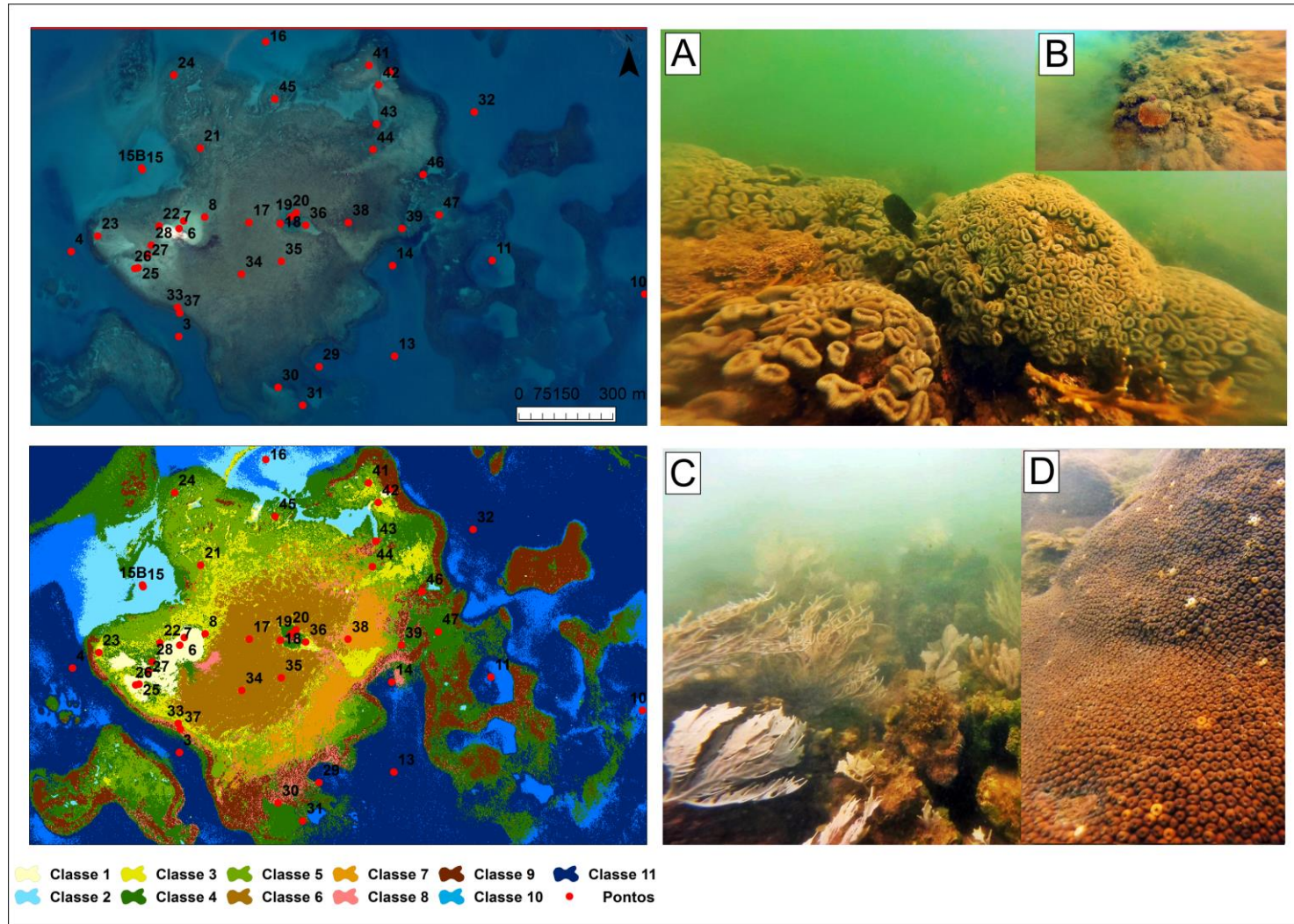


Figura 25 - Distribuição de corais (Classe 9) no RA. A) Colônias de coral cérebro (*mussismilia hartii*) e corais de fogo (*Millepora alcicornis*); B) Coral estrela (*Siderastrea stellata*) sendo soterrado por sedimentos finos; C) Gorgônias (*Phyllogorgia dilatata*), algas calcárias e macroalgas; D) Colônia de coral casca de jaca (*Montastrea Cavernosa*).

5.2.2.10. Classes 10 e 11 – Fundo arenoso profundo/ muito profundo

As Classes 10 e 11 caracterizam tipos de fundos que variam de cascalho a lama, sendo que, em geral, os sedimentos mais finos são encontrados a maiores profundidades. Ao todo foram realizados 13 pontos de coleta (1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 29 e 32) em torno do complexo recifal como mostra a Figura 26, com profundidades variando de 6 a 18 m (Tabela 6).

Em geral, essas classes aparecem integradas e muitas vezes demarcam feições da dinâmica sedimentar, como já mencionado na seção anterior. Enquanto a areia funda é encontrada preferencialmente próxima à construção recifal e dentro das piscinas na região sudeste a areia muito funda é mais expressiva nos locais mais distantes do complexo recifal, sendo caracteristicamente mais lamosa que a areia funda. Em alguns locais, em geral nos mais profundos, o sedimento argiloso em suspensão dificulta e às vezes até impede a visão do que está em volta do ponto coletado.

Por último, vale ressaltar que a profundidade da coluna d'água interfere negativamente na classificação da imagem, como é o caso do ponto 10. Nesse local, o que foi identificado como areia funda na verdade é recife incrustado por macroalgas vermelhas, verdes e algas calcárias (Figura 26D). Dessa maneira, para uma interpretação correta das informações levantadas remotamente é necessário cautela quando se está analisando áreas muito profundas.

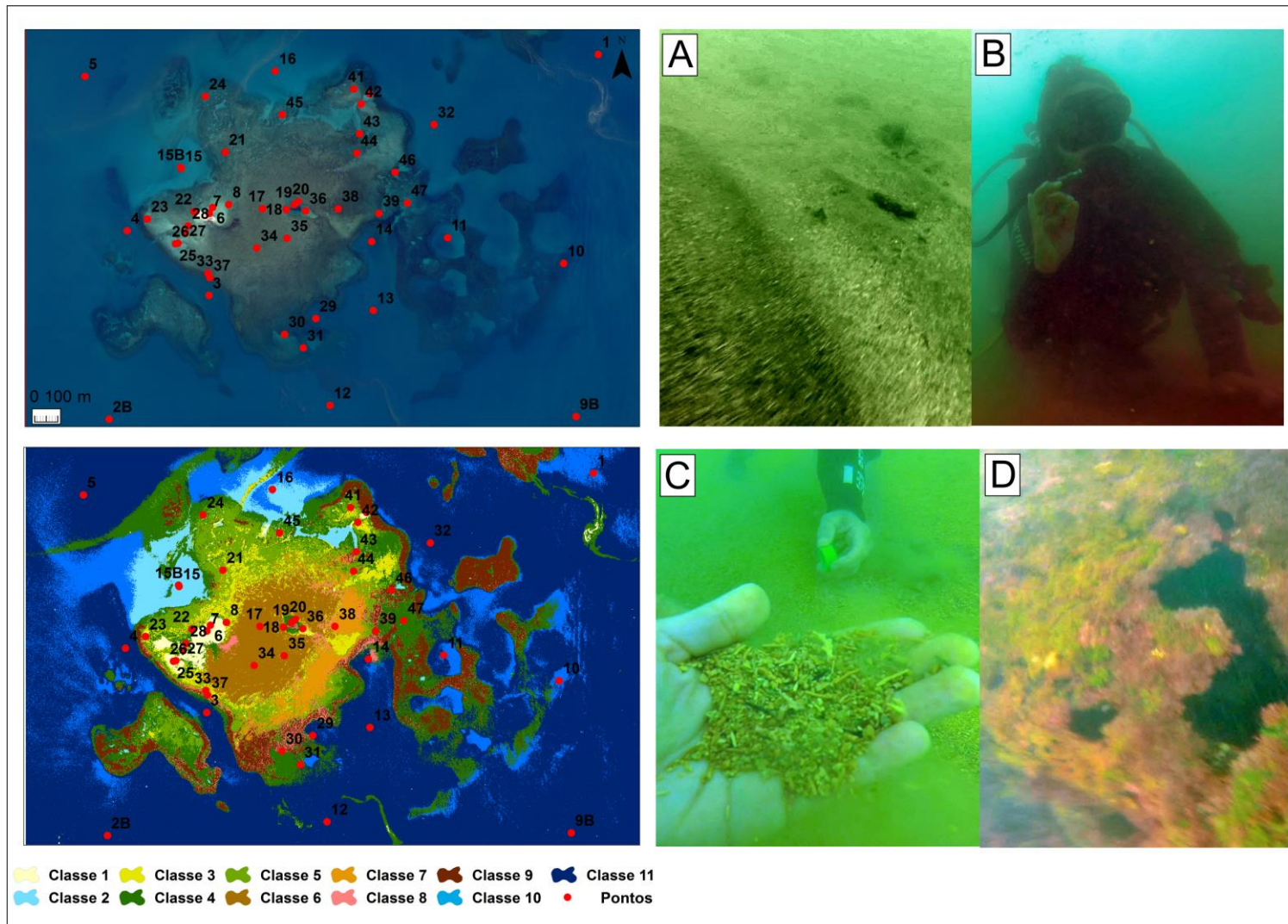


Figura 26 - Distribuição de fundo arenoso profundo/muito profundo (Classes 10 e 11) no RA. A) Marcas de onda; B) Coleta de sedimento lamoso; C) Sedimento cascalho-arenoso; D) Recife morto incrustado por algas vermelhas.

5.3. Distribuição dos parâmetros estatísticos

A partir das análises granulométricas foi possível identificar que das 40 amostras analisada, 78% têm um caráter arenoso e, de acordo com os grupos texturais definidos por Folk & Ward (1957), 2,5% são classificadas como areia cascalho-lamosa, 5% como areia, 27,5% como areia cascalhosa e 57% como areia pouco cascalhosa. Dos 22% de amostras restantes, 7% são classificadas como cascalho arenoso, 2,5% como cascalho lamoso, 2,5% como cascalho e 2,5% como lama cascalhosa. Dessa maneira, o RA é uma área onde não há expressiva deposição de silte e argila, indicando que é um ambiente mais dinâmico e energético (Soares-Gomes *et al.*, 2002).

É importante ressaltar que uma das prerrogativas ao interpretar os níveis energéticos através de análises sedimentares é que o sedimento superficial está em equilíbrio com o regime hidrodinâmico (Tucker & Wright, 1990). Nesse contexto, a interpretação da variação dos níveis energéticos no RA foi realizada através da análise de quatro parâmetros estatísticos resultantes da granulometria: média, desvio padrão, curtose e assimetria. Para a representação espacial desses parâmetros foi escolhido o método de interpolação *Topo to Raster*, método multi-grid simples que garante que a superfície interpolada passe obrigatoriamente pelos valores dos pontos utilizados.

5.3.1. Média

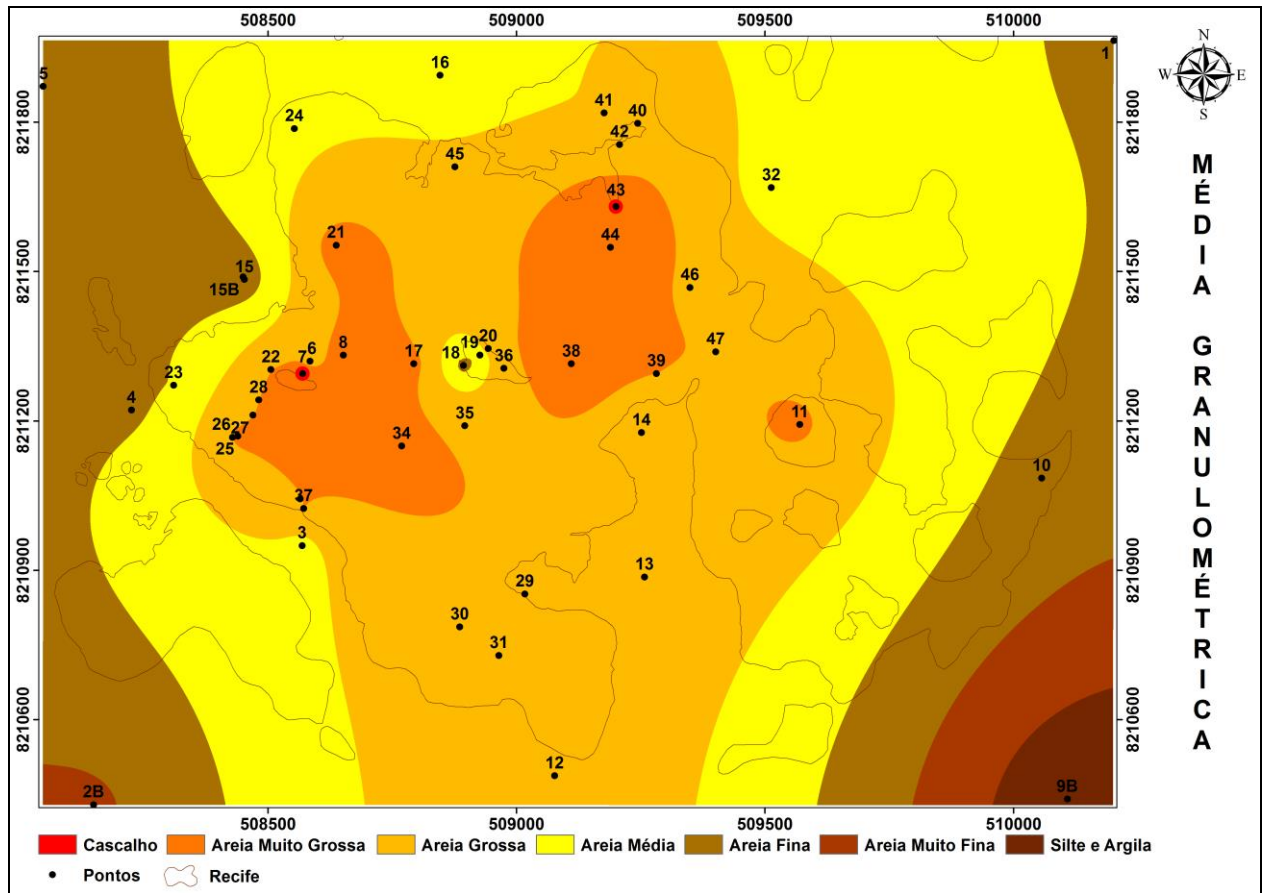


Figura 27 - Distribuição da média granulométrica no RA de acordo com a classificação de Udden-Wentworth (1922): -1 a 0 ϕ (Areia Muito Grossa), 0 a 1 ϕ (Areia Grossa), 1 a 2 ϕ (Areia Média), 2 a 3 ϕ (Areia Fina), 3 a 4 ϕ (Areia Muito Fina), 4 a 10 ϕ (Silte e Argila).

O mapa de distribuição da média granulométrica (Figura 27) mostra que o RA possui sedimentos com classificação variando de cascalho à silte e argila e apresenta um padrão granulométrico decrescente do centro para fora do recife. Dessa maneira, os ambientes com maior deposição de finos estão localizados a sudeste e sudoeste do corpo recifal. Também é possível observar como feições abrigadas, como as piscinas recifais e reentrâncias no corpo recifal, influenciam na deposição diferencial dos sedimentos, ao favorecer o aprisionamento de finos em ambientes de mais alta energia, como mostram os pontos 15, 18 e 19.

Além disso, a fração areia média é encontrada preferencialmente nas bordas do recife, enquanto as frações areia grossa e muito grossa são predominantes no topo recifal e suas proximidades. Essa distribuição espacial sugere que os sedimentos superficiais encontrados no RA são predominantemente bioclásticos e de origem recente, mas que ao afastar-se do complexo recifal também acontece interação desses bioclastos com sedimentos oriundos do continente ou de outras partes do oceano, muitas vezes aprisionados no recife.

5.3.2. Desvio padrão

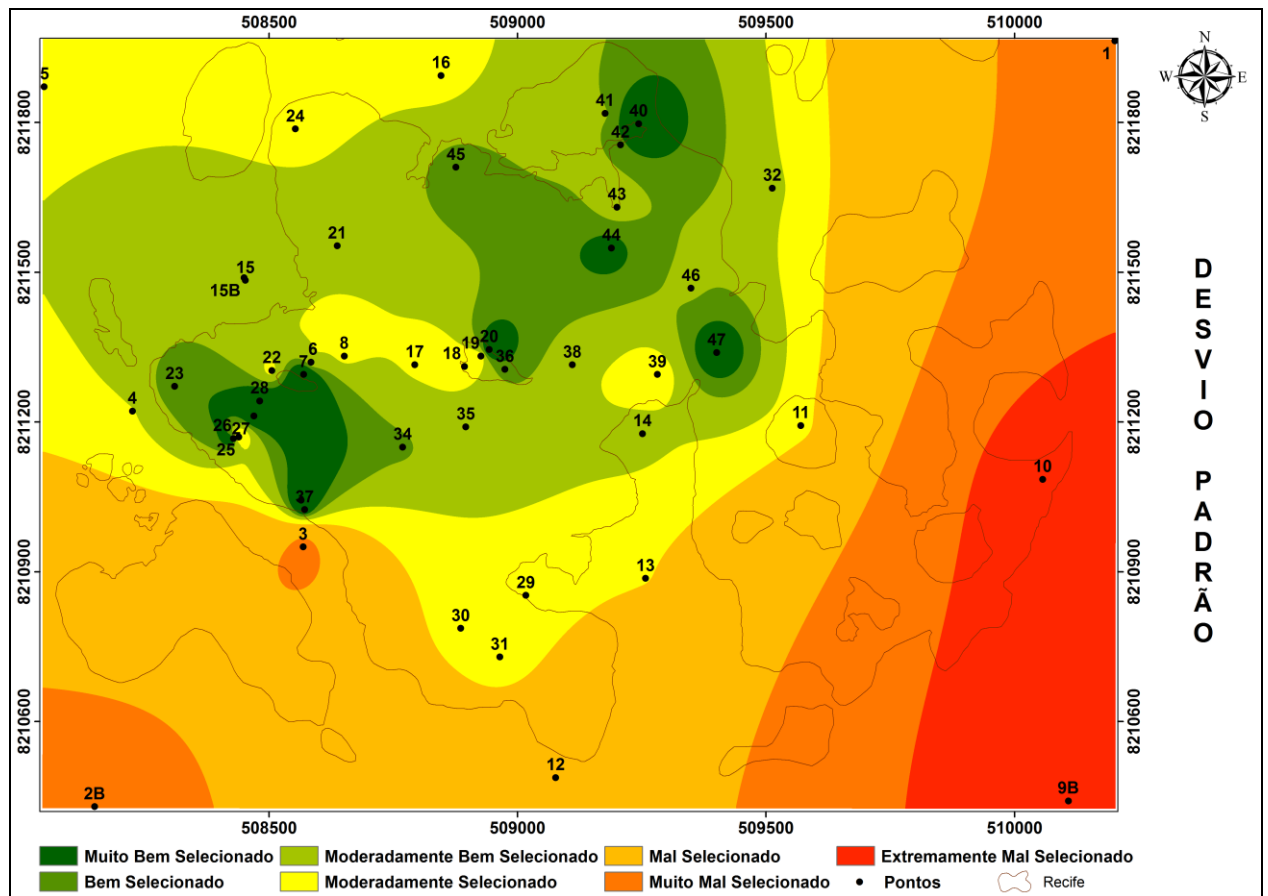


Figura 28 - Distribuição do desvio padrão no RA de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): < 0,35 (Muito Bem Selecionado), 0,35 a 0,50 (Bem Selecionado), 0,5 a 0,71 (Moderadamente Bem Selecionado), 0,71 a 1,0 (Moderadamente Selecionado), 1,0 a 2,0 (Mal Selecionado) e 2,0 a 4,0 (Muito Mal Selecionado).

A distribuição do desvio padrão no RA (Figura 28) mostra que os sedimentos são mais bem selecionados do centro para fora do recife e que os pontos com o pior grau de seleção estão localizados a sudeste, sul e sudoeste do corpo principal. Esse parâmetro indica que, como em geral os sedimentos do RA variam de muito bem a moderadamente selecionados, esse ambiente possui sedimentos que são relativamente maduros e que estão em um ambiente de alta energia, que constantemente os retrabalha e seleciona.

Como era de se esperar, os locais onde o sedimento é mal selecionado caracterizam ambientes mais profundos e de menor energia, possuindo muitas vezes influência terrígena, como será apresentado na seção de distribuição composicional. Um dos motivos para um local de menor energia possuir um baixo grau de seleção é que, como locais de maior energia não permitem a deposição das partículas finas, muitas vezes as plumas de sedimento com essas características são levadas para áreas de menor energia, que em geral já apresentam sedimentos de tamanhos variados (Vieira *et al.*, 2008).

5.3.3. Curtose

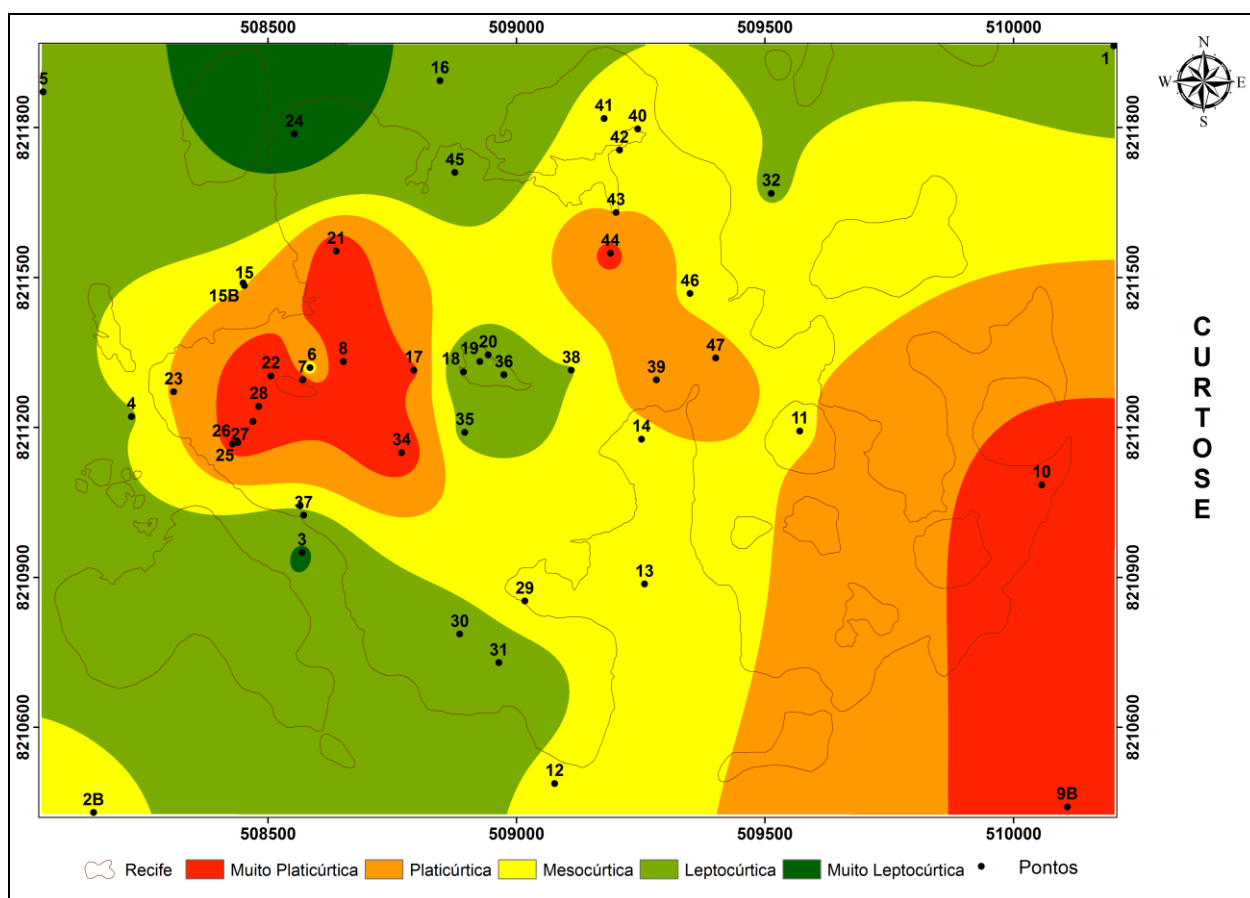


Figura 29 - Distribuição da curtose no RA de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): 0,41 a 0,67 (Muito Platicúrtica), 0,67 a 0,9 (Platicúrtica), 0,9 a 1,1 (Mesocúrtica), 1,1 a 1,5 (Leptocúrtica) e 1,5 a 3,0 (Muito Leptocúrtica).

Através da curtose é possível determinar o grau de mistura das diferentes populações que ocorrem em um ambiente sedimentar (Folk & Ward, 1957). Como pode ser observado na Figura 29, a distribuição da curtose no RA apresenta grande variação e parece ser influenciada pelo regime de ondas da região, que preferencialmente vêm do sudeste.

Uma distribuição platicúrtica indica um sedimento mal selecionado na parte central da distribuição sedimentar (Barros *et al.*, 2008). A partir da Figura 29 é possível observar que a dinâmica em torno da ilha recifal (ponto 6) tem caráter

platicúrtico, sugerindo uma tendência deposicional dos sedimentos nessa área. Além disso, observou-se uma quantidade expressiva de macroalgas nos pontos 21, 22, 23, 25, 26, 27 e 28, organismos que provavelmente estão agindo como catalisadores da deposição sedimentar nessas áreas. A tendência mesocúrtica de grande parte da área indica um caráter transicional, com deposição e transporte sedimentar. Por outro lado, a área no entorno do recife, excluindo-se a região sudeste, apresenta tendência leptocúrtica, sugerindo que nesses pontos ocorre mais transporte do que deposição sedimentar.

5.3.4. Assimetria

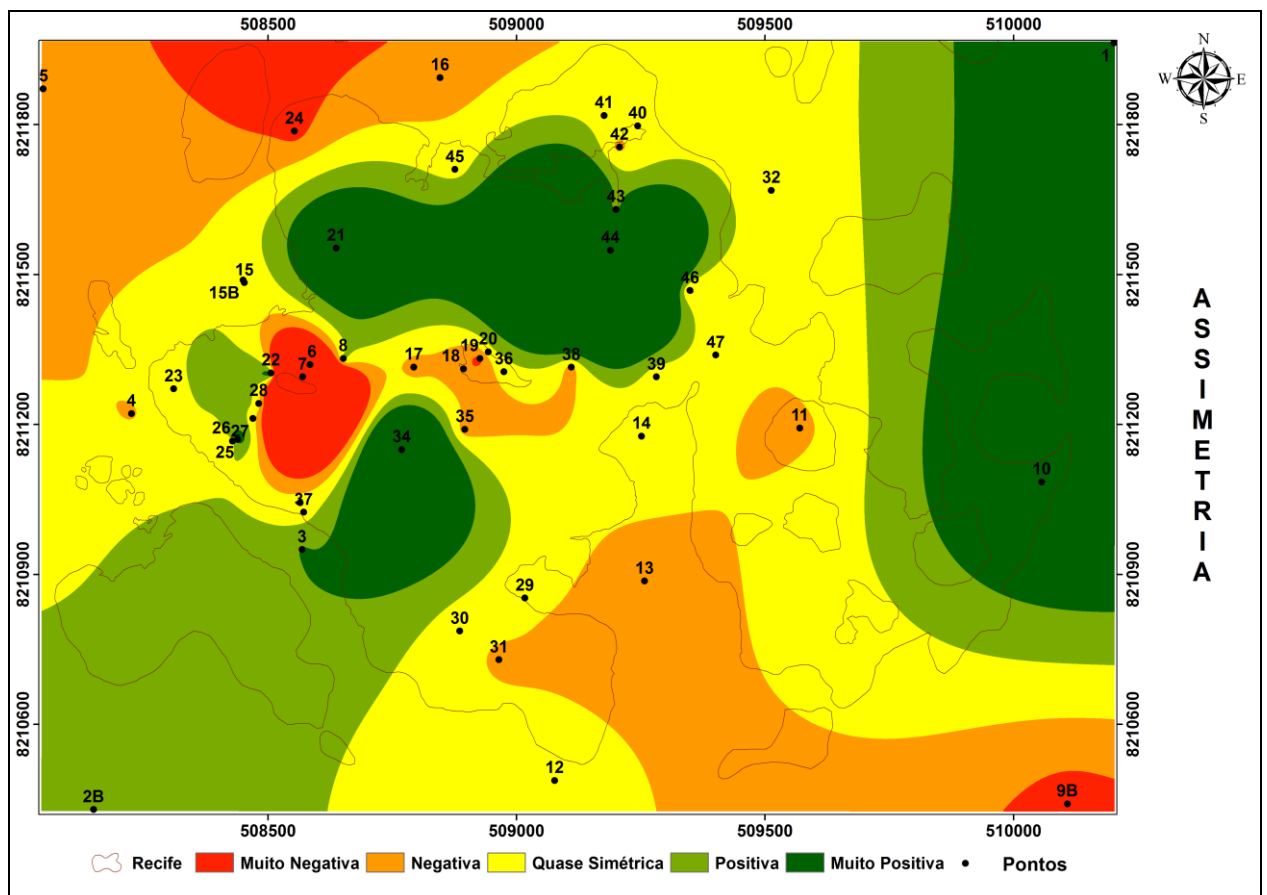


Figura 30 - Distribuição da assimetria no RA de acordo com a classificação de Folk & Ward (1957): $< -0,3$ (Muito Negativa), $-0,3$ a $-0,1$ (Negativa), $-0,1$ a $0,1$ (Quase Simétrica), $0,1$ a $0,3$ (Positiva) e $> 0,3$ (Muito Positiva).

Por último, a Figura 30 mostra que a distribuição da assimetria, parâmetro que indica a tendência para grãos grossos (assimetria negativa) ou finos (assimetria positiva) em uma amostra, não é homogênea no RA. Em geral, assimetrias positivas sugerem deposição de sedimentos enquanto assimetrias negativas indicam a remoção seletiva das frações mais finas.

Como era de se esperar, a área da ilha recifal (pontos 6 e 7) é uma área onde a assimetria é negativa, o que é diretamente correlacionável com a distribuição da média (Figura 27) ao reiterar que essa é uma região onde o sedimento é predominantemente grosso. Por outro lado o ponto 9B, que na Figura 27 representa sedimentos mais finos (silte e argila), também apresenta uma assimetria muito negativa. Isso pode ser explicado pela má seleção dessa amostra, classificando-a como uma lama cascalhosa de acordo com os grupos texturais de Folk & Ward (1957).

As amostras simétricas são observadas principalmente ao redor do corpo recifal, indicando certo equilíbrio entre o acúmulo e retirada de sedimentos nessas áreas. Isso também é reiterado pelo caráter mesocúrtico apresentado por essas amostras, que predominantemente são compostas pela fração areia média.

5.4. Distribuição composicional

Através das análises composicionais foi possível identificar que o sedimento bioclástico do RA é constituído principalmente por algas calcárias, briozoários, conchas de bivalves e braquiópodes, crustáceos, foraminíferos, gastrópodes e ouriços. Além dessas classes, também foram encontrados grãos siliciclásticos, grãos que não puderam ser identificados e grãos que faziam parte de algum animal, como

pequenos dentes e vertebras. Os dois últimos foram enquadrados junto à categoria “outros”.

O sucesso da análise composicional para cada amostra está diretamente relacionado a sua granulometria, já que os grãos que constituem frações inferiores a areia média são muitas vezes difíceis de serem identificados, principalmente quando são fragmentos de um organismo maior e já foram retrabalhados pela hidrodinâmica do local. Nesse contexto, a Figura 31 mostra a distribuição composicional do sedimento de superfície coletado no RA, onde gráficos de pizza menores representam amostras com uma menor parcela analisada por serem constituídas por um maior número de grãos finos.

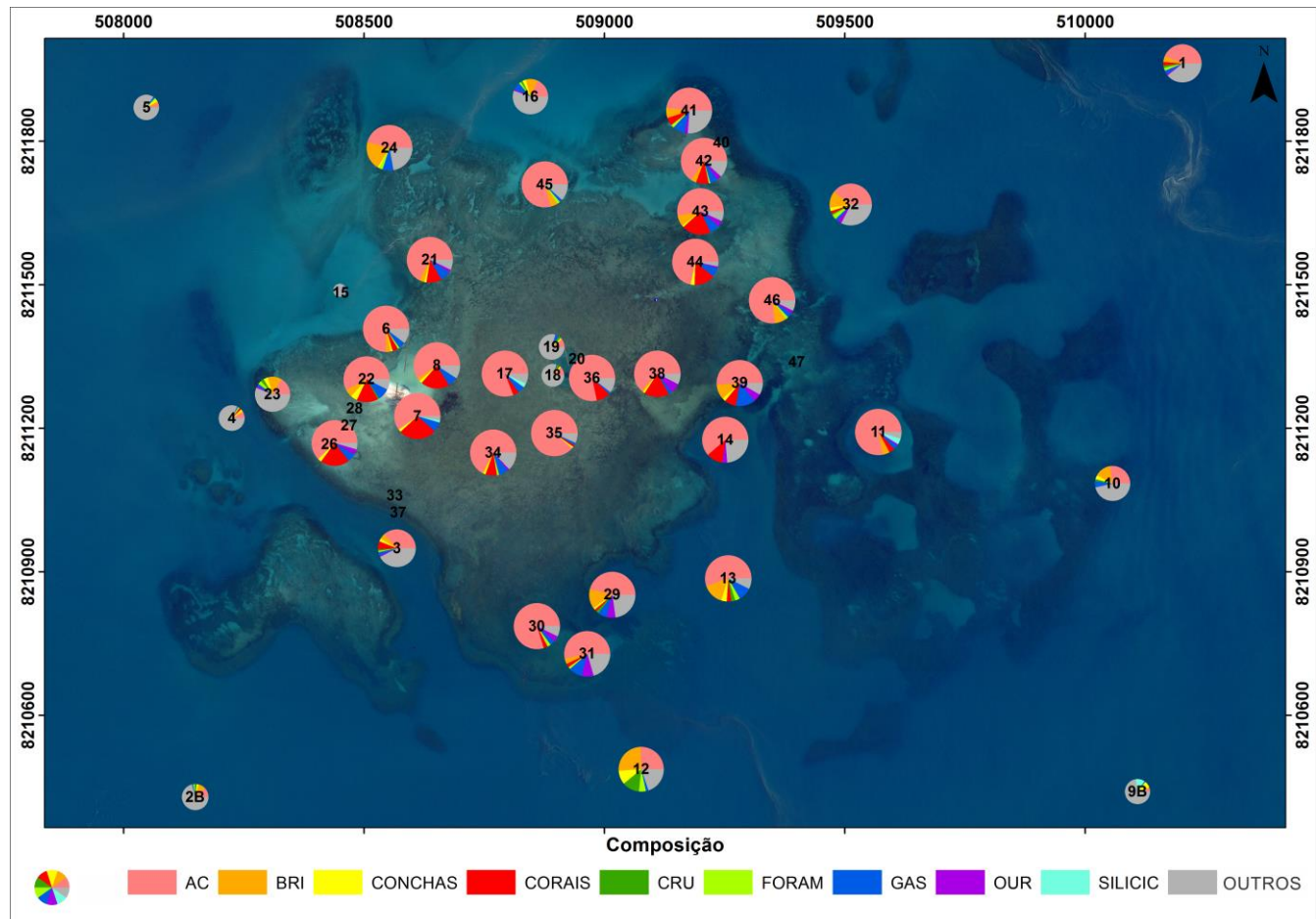


Figura 31 - Distribuição composicional dos sedimentos do RA classificados em Alga Calcária (AC), Briozoários (BRI), Conchas, Corais, Crustáceos (CRU), Foraminíferos (FORAM), Gastrópodes (GAS), Ouriços (OUR), Siliciclásticos (SILIC) e Outros (grãos não identificados, agregados de grãos e fração não analisada da amostra). Gráficos de pizza menores representam amostras com maior percentagem de grãos finos.

Como pode ser observado na Figura 31, os resultados da análise composicional indicam que as algas calcárias (incrustantes e ramificadas) são as maiores constituintes do sedimento coletado no RA, seguidas pelos corais, gastrópodes e briozoários, caracterizando-os como os mais importantes produtores carbonáticos desse ambiente. Vale ressaltar que o termo coral foi empregado para corais pétreos, octocorais e hidrocorais. Além disso, foi observada uma correlação entre os diferentes bioclastos, a profundidade e a variação dos níveis energéticos ao longo do complexo recifal, que será discutida na próxima subseção.

Como já mencionado, a grande diversidade de geometrias e estruturas encontrada nos bioclastos carbonáticos em geral reflete variações energéticas no ambiente em que foram depositados, já que cada tipo de grão tende a integrar frações sedimentares distintas (Tucker & Wright, 1990). Essa relação fica mais clara ao observar a Figura 32 e a Tabela 10, onde visivelmente a composição bioclástica das amostras relaciona-se com a proporção entre as frações sedimentares analisadas e muitas vezes com a profundidade do ambiente.

Por exemplo, enquanto os corais tendem a integrar frações cascalhosas e são depositados em ambientes rasos e de alta energia, os foraminíferos são encontrados predominantemente em frações mais finas, que, em geral, são depositadas em ambientes de mais baixa energia. Nesse contexto, cada tipo de bioclasto será analisado individualmente.

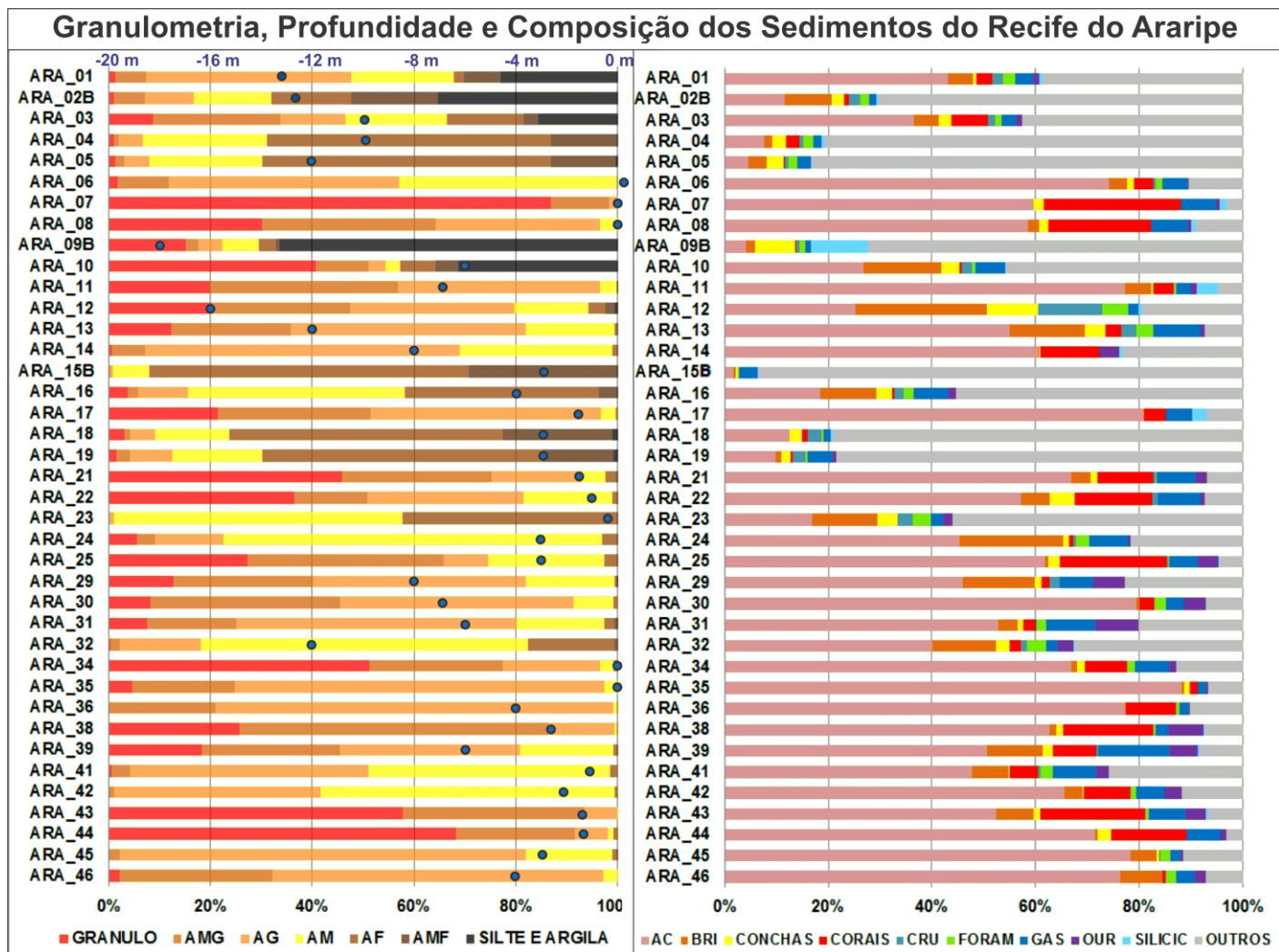


Figura 32 - Relação entre os resultados das análises granulométricas, composicionais e a profundidade das amostras coletadas no RA. Vale ressaltar que as profundidades utilizadas nessa análise (círculos azuis) foram medidas no momento do mergulho através do ecobatímetro da lancha e que os valores apresentados não foram corrigidos para as variações de maré.

Tabela 10 - Distribuição preferencial dos bioclastos por fração granulométrica analisada

Tamanho	Bioclastos	Média de bioclastos por fração
Grânulo	Alga Calcária	42%
	Briozoários	5%
	Conchas	14%
	Corais	9%
	Crustáceos	3%
	Foraminíferos	0%
	Gastrópodes	8%
	Ouriços	2%
	Siliciclásticos	0%
	Outros	6%
	AMG	Alga Calcária
Briozoários		7%
Conchas		7%
Corais		8%
Crustáceos		3%
Foraminíferos		1%
Gastrópodes		8%
Ouriços		2%
Siliciclásticos		2%
Outros		12%
AG		Alga Calcária
	Briozoários	8%
	Conchas	2%
	Corais	5%
	Crustáceos	2%
	Foraminíferos	2%
	Gastrópodes	7%
	Ouriços	4%
	Siliciclásticos	2%
	Outros	14%
	AM	Alga Calcária
Briozoários		6%
Conchas		1%
Corais		2%
Crustáceos		0%

Foraminíferos	3%
Gastrópodes	3%
Ouriços	1%
Siliciclásticos	4%
Outros	12%

5.4.1. Algas calcárias

As algas calcárias são os bioclastos de mais ampla deposição no RA, sendo encontradas em grande quantidade em praticamente todas as frações. Os valores da Tabela 10 indicam uma tendência de aumento em sua quantidade em direção às frações mais finas que foram analisadas.

Essa ampla disposição das algas calcárias pode ser atribuída à grande variedade de espécies encontradas no RA, sendo identificados pelo menos quatro tipos de bioclastos diferentes (Figura 12). Dessa maneira, a disposição da distribuição desses bioclastos em apenas um grupo generalizado acaba sendo ineficiente em demonstrar a real correlação de cada geometria com as diferentes frações sedimentares, uma vez que espécies diferentes podem integrar preferencialmente frações sedimentares distintas. Por outro lado, a ampla distribuição desses organismos no RA foi verificada em campo, como descrito na seção anterior.

5.4.2. Briozoários

Durante as análises composicionais foi observado que os briozoários tendem a ser mais abundantes nas frações de areia muito grossa e grossa, como mostra a Tabela 10. Adicionalmente, sua ocorrência aumenta do centro para as bordas do recife, o que pode ser relacionado à distribuição da média granulométrica nessa área (Figura 27), reiterando a hipótese anterior.

De uma forma geral, briozoários achatados tendem a integrar frações mais grossas, enquanto os que se assemelham a bastões foram encontrados em frações mais finas. Em contrapartida, não foi observada nenhuma relação direta entre a distribuição desses bioclastos e a profundidade da amostra coletada, o que pode ser explicado pela extensa variedade de formas e tamanhos identificados. Além disso, esses organismos tendem a quebrar com certa facilidade e, dessa maneira, sua identificação em frações menores fica comprometida pela falta de estruturas que os identifiquem.

Por outro lado observou-se que amostras que possuem uma quantidade expressiva de briozoários em geral são constituídas por uma menor quantidade de bioclastos coralíneos e, considerando que os sedimentos recifais sofrem pouco transporte (Tucker & Wright, 1990) como mencionado na seção de revisão bibliográfica, essa distribuição característica sugere que há uma competição entre esses dois organismos, uma vez que necessitam de substrato disponível para fixação de suas larvas.

5.4.3. Conchas

Os bioclastos formados pelas conchas de bivalves e braquiópodes em geral são bem distribuídos nas amostras analisadas, tendendo ser mais expressivos em amostras ricas nas frações grânulo e areia muito grossa. A presença desses bioclastos em amostras caracteristicamente mais finas, como é o caso da 9B, é explicada pelo mal selecionamento de algumas áreas, como pode ser observado na Figura 28.

5.4.4. Corais

Através das análises composicionais ficou claro a existência de uma relação direta entre a distribuição dos bioclastos coralíneos, a granulometria e a profundidade do ambiente deposicional. De uma forma geral, os fragmentos de coral são mais encontrados em amostras cuja composição granulométrica é caracterizada pela alta porcentagem de frações grossas (de cascalho a areia grossa), sendo preferencialmente depositados em áreas de baixa profundidade e alta energia. Além disso, a Figura 31 mostra que a distribuição dos bioclastos dessa classe é praticamente restrita ao complexo recifal, diminuindo expressivamente ao afastar-se do centro.

De acordo com a classificação dos tipos de fundo, os corais vivos concentram-se nas bordas do recife, principalmente nas áreas onde se distribuem as classes 8 e 9 (Figura 24 e Figura 25). Porém, ao analisar a Figura 31, é possível identificar que os sedimentos coralíneos são mais presentes nas regiões leste e nordeste do recife e isso pode ser explicado pela integração de duas hipóteses.

A primeira é de que os sedimentos depositados nessas regiões refletem a disposição dos corais nos recifes que foram formados há 5000 anos, momento em que as construções carbonáticas brasileiras atingiram o máximo de seu crescimento (Leão, 1982; Castro, 1999). Quando o nível do mar baixou e essas construções ficaram mais vulneráveis à erosão, os corais foram sendo destruídos, transportados, depositados e selecionados, provavelmente próximos ao seu local de origem por serem de sedimentos caracteristicamente cascalhosos e que necessitam de alta energia para serem remobilizados. Em segundo, as principais frentes de onda que incidem no RA atualmente vêm do sudeste (Figura 3) e, dessa maneira, ajudam a

acumular os sedimentos nessa região, já que ao encontrar uma barreira batimétrica, como é a região da ilha recifal, os sedimentos acabam sendo depositados.

É claro que perto da complexidade que existe na interação entre os diversos processos hidrodinâmicos e biológicos nesses ambientes, essa interpretação se torna superficial, sendo necessário um estudo mais detalhado sobre os padrões de transporte e topografia antecedente no RA. Como já mencionado, ainda não foram publicados estudos que tenham tido sucesso em identificar o embasamento das construções recifais na região do PMMCA.

5.4.5. Crustáceos

Em geral os crustáceos não têm muita expressividade nos sedimentos do RA, distribuindo-se preferencialmente nas frações mais grossas com tendência decrescente em direção às frações mais finas. Em relação à profundidade, esse bioclastos são mais encontrados em amostras que foram coletadas em locais que variam de fundo a muito fundo (aproximadamente 7 à 16 m) e também em locais abrigados, como a piscina natural. Isso pode ser explicado por sua fragilidade, sendo mais preservados preferencialmente em locais de baixa energia.

5.4.6. Foraminíferos

Como pode ser observado na Tabela 10, a presença de aumenta em direção as frações finas, o que na maioria das amostras está diretamente relacionado com a profundidade e níveis energéticos do local de coleta, tendência que fica mais clara na Figura 32.

Analisando superficialmente as frações de areia fina e muito fina na lupa, foi possível identificar predominância de foraminíferos calcários porcelanáceos,

seguidos pelos hialinos e por último aglutinantes. A realização de estudos mais aprofundados sobre a fauna de foraminíferos nas amostras do RA poderia levar a informações sobre a qualidade da água, níveis de oxigenação e paleoprodutividade carbonática do ambiente (Kaiho, 1999; Zhang *et al.*, 2007; Uthicke *et al.*, 2010), possibilitando novas e mais completas interpretações sobre a hidrodinâmica, produção carbonática e deposição sedimentar no RA.

5.4.7. Gastrópodes

Os gastrópodes têm ampla distribuição no RA e foram encontrados em praticamente todas as amostras analisadas, constituindo um dos principais produtores carbonáticos desse ambiente. Sua presença é mais abundante nas frações grossas (Tabela 10) e parece ser extremamente associada a profundidades mais rasas, como pode ser observado na Figura 32.

5.4.8. Ouriços

De acordo com as análises composicionais os espinhos de ouriço são encontrados em maior abundância na fração areia grossa, sendo mais abundantes em amostras coletadas em até 8 m de profundidade. Por outro lado, o formato de bastão fino muitas vezes influencia negativamente na análise granulométrica desses bioclastos, já que possibilita que passem para outras peneiras quando colocados na posição vertical.

5.4.9. Siliciclásticos

De acordo com as análises composicionais os grãos siliciclásticos tendem a ser mais abundantes na fração areia média (menor diâmetro analisado). De todas as amostras analisadas, a amostra 9B foi a que apresentou a maior quantidade de

grãos siliciclásticos e, por ser muito fina, também apresentou a classe “outros” como a mais expressiva.

Ao analisar qualitativamente os diâmetros de areia fina e muito fina verificou-se que a amostra 9B também apresenta grande quantidade de grãos siliciclásticos nessas frações, mas que em geral a lama que a constitui é carbonática. Isso foi verificado ao atacar parte da amostra com ácido clorídrico.

5.4.10. Outros

Por último, a Figura 32 demonstra como a dificuldade em analisar frações mais finas é refletida pela expressividade dessa classe, que em algumas amostras chega a ser maior do que 70%. Dessa maneira a distribuição dessa categoria nas amostras do RA está intimamente relacionada com o tamanho dos grãos, e tende a aumentar com a profundidade, onde estão distribuídos preferencialmente os grãos mais finos. Além disso, essa classe também é expressiva em ambientes rasos de baixa energia, como é o caso da piscina natural e dos pontos 15 e 16, já que a deposição de finos é maior.

6. CONCLUSÕES

O uso combinado das técnicas de geoprocessamento, mapeamento de campo e análises granulométricas e composicionais das amostras coletadas se mostrou eficiente na classificação dos diferentes tipos de fundo e na caracterização sedimentar do Recife do Araripe. De acordo com o que foi observado durante o mapeamento do recife, a compartimentação dessa área em 11 classes através do sensoriamento remoto atingiu as expectativas e conseguiu reproduzir de forma simplificada a realidade do local.

A utilização de um sensor de alta resolução espacial e espectral foi essencial para o sucesso da fotointerpretação e classificação da imagem utilizada, uma vez que o ambiente recifal apresenta grande diversidade de tipos de fundo, que em geral possuem limites transicionais e irregulares. No entanto, mesmo com a utilização de sensores altamente tecnológicos, essas técnicas são limitadas por variáveis ambientais, como: a profundidade do objeto observado, as mudanças sazonais no ambiente, a transparência da água e a presença de obstáculos na atmosfera.

O mapeamento físico do recife foi de grande importância para a confirmação da eficiência das técnicas de sensoriamento remoto utilizadas, possibilitando a aquisição de informações mais detalhadas sobre cada tipo de fundo identificado no RA. Além disso, a interpretação dos resultados das análises granulométricas e composicionais dos sedimentos permitiu caracterizar a distribuição preferencial dos bioclastos do RA em nível de fração granulométrica e determinar os níveis energéticos de diversas áreas do recife.

De maneira geral, o RA apresenta um padrão granulométrico decrescente do centro para fora, o que indica que o topo recifal é uma área de alta energia onde

acontece constante transporte e retrabalhamento dos sedimentos bioclásticos que preferencialmente integram frações mais grossas, como os corais, as algas calcárias e os gastrópodes. Já nas faces abrigadas e expostas do RA a granulometria é mais fina, sendo muitas vezes difícil a identificação dos bioclastos constituintes do sedimento coletado nessas áreas. Porém, de maneira geral, os bioclastos da face exposta possuem um menor grau de seleção e forte influência detrítica, enquanto os sedimentos da face abrigada são visualmente mais homogêneos e selecionados.

Por fim, o resultado do mapeamento físico associado aos parâmetros sedimentares analisados sugere que essa plataforma carbonática está sendo destruída, o que indica que os processos erosivos atuantes no recife, como a ação de ondas, eventos de tempestade e a dinâmica de correntes, estão sendo mais eficientes na modelagem do recife do que a sua capacidade de crescimento e construção. Além disso, a predominância de algas calcárias em relação à cobertura coralínea no RA indica que variáveis como a salinidade e turbidez da água não estejam de acordo com os valores ótimos para um desenvolvimento mais robusto dos corais.

Levando em consideração a complexidade dos processos geológicos, biológicos e hidrodinâmicos que estão constantemente modificando e modelando o Recife do Araripe, ainda há muito a ser estudado para obter uma caracterização geológica mais completa desse ambiente. Nesse contexto, ainda podem ser desenvolvidos estudos mais aprofundados, como: a identificação das principais correntes e padrões de dispersão sedimentar atuantes no local, a quantificação dos sedimentos depositados no complexo recifal e sua mineralogia, a caracterização geomorfológica do RA aplicada à modelagem de habitats e, por fim, a identificação do embasamento dessas construções recifais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADEY, W.H., **Coral reef ecosystems and human health: biodiversity counts!**, Ecosystem health, v.6, n.4, p.227-236, 2000, ISSN 1526-0992.
2. ANDRÉFOUËT, S., *et al.*, **Multi-site evaluation of IKONOS data for classification of tropical coral reef environments**, Remote Sensing of Environment, Elsevier, v.88, n.1, p.128-143, 2003, ISSN 0034-4257.
3. AOUAD, M. **Projeto Porto Seguro – Santa Cruz Cabralia: clima**: Salvador: CPRM. 1998. 147p.
4. ARANTES, R.C.M. **Geoprocessamento aplicado à modelagem ambiental em recifes de coral**. 2012. 196p. Doutorado - IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
5. AVELINO, P.H.M., **A Trajetória da tecnologia de sistemas de informação geográfica (SIG) na pesquisa geográfica**, Três Lagoas, v.1, n.1, p.21-37, 2004.
6. BARROS, L.C., *et al.*, **Estudos sedimentológicos na plataforma continental interna adjacente às desembocaduras sul do Canal de Santa Cruz e do Rio Timbó, norte do Estado de Pernambuco**, v.21, n.2, p.123-134, 2008.
7. BELLO-PINEDA, J., *et al.*, **Using aerial video to train the supervised classification of Landsat TM imagery for coral reef habitats mapping**, Environmental monitoring and assessment, v.105, n.1-3, p.145-164, 2005, ISSN 0167-6369.
8. BRANNER, J.C. **The stone reefs of Brazil, their geological and geographical relations, with a chapter on the coral reefs**. Museum of comparative zoology at Harvard College, 1904.

9. BURKE, L.M., *et al.* **Reefs at risk revisited**. World Resources Institute Washington, DC, 2011. ISBN 1569737622.
10. BURNE, R.V. & MOORE, L.S., **Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities**, v.2, n.3, p.241-254, 1987.
11. CASTRO, C., **Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Zona Costeira e Marinha—recifes de coral**, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, p.101, 1999.
12. CASTRO, C.B. & PIRES, D.O., **Brazilian coral reefs: what we already know and what is still missing**, Bulletin of Marine Science, v.69, n.2, p.357-371, 2001, ISSN 0007-4977.
13. COPPER, P., **Ancient reef ecosystem expansion and collapse**, Coral Reefs, Springer-Verlag, v.13, n.1, p.3-11, 1994, ISSN 0722-4028.
14. DANTAS, M.E., *et al.*, **Geomorfologia da costa do descobrimento – extremo sul da Bahia: Municípios de Porto Seguro e Santa Cruz de Cabrália**, v.7, n.14, 2002.
15. DIAS, J.A. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos: Uma Introdução à Oceanografia Geológica**. Faro: Universidade do Algarve, 2004. v.28, 84p.
16. DUDLEY, W., **Coral Reef Sedimentology**, Mare, Havaí, v.461, 2003.
17. FERREIRA, B.P. & MAIDA, M. **Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil: Situação Atual e Perspectivas**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 250p. ISBN 8587166867.

18. FERREIRA, B.P., *et al.*, **Levantamento inicial das comunidades de peixes recifais da região de Tamandaré-PE**, Boletim Técnico Científico CEPENE, v.3, n.1, p.211-230, 1995, ISSN
19. FOLK, R.L. & WARD, W.C., **Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters**, Journal of Sedimentary Research, v.27, n.1, 1957, ISSN 1527-1404.
20. GLYNN, P., **Coral reef bleaching: ecological perspectives**, Coral reefs, v.12, n.1, p.1-17, 1993, ISSN 0722-4028.
21. HART, D.E. & KENCH, P., **Carbonate production of an emergent reef platform, Warraber Island, Torres Strait, Australia**, Coral Reefs, Springer-Verlag, v.26, n.1, p.53-68, 2007, ISSN 0722-4028.
22. HARTT, C.F. & AGASSIZ, L. **Geology and physical geography of Brazil**. Fields, Osgood, 1870.
23. HECKEL, P.H., **Carbonate buildups in the geologic record: a review**, 1974.
24. JONES, O.A. **Biology and Geology of Coral Reefs** Elsevier, 1977. v.4, 0323154387.
25. KAIHO, K., **Effect of organic carbon flux and dissolved oxygen on the benthic foraminiferal oxygen index (BFOI)**, v.37, p.67-76, 1999.
26. KLEYPAS, J.A., **Modeled estimates of global reef habitat and carbonate production since the last glacial maximum**, Paleoceanography, v.12, n.4, p.533-545, 1997, ISSN 1944-9186.
27. KNOWLTON, N. & JACKSON, J.B., **Shifting baselines, local impacts, and global change on coral reefs**, PLoS biology, v.6, n.2, p.e54, 2008, ISSN 1545-7885.

28. KRUMBEIN, W.C. & PETTIJOHN, F.J., **Manual of Sedimentary Petrology**, Nova York, p.549, 1938.
29. LANGER, M.R., *et al.*, **Global ocean carbonate and carbon dioxide production; the role of reef Foraminifera**, The Journal of Foraminiferal Research, v.27, n.4, p.271-277, 1997, ISSN 0096-1191.
30. LEÃO, Z.M.A.N., **The coral reefs of Bahia: morphology, distribution and the major environmental impacts**, Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.68, n.3, p.439-452, 1996, ISSN 0001-3765.
31. LEÃO, Z.M.A.N. **Morphology, geology and developmental history of the southernmost coral reefs of Western Atlantic, Abrolhos Bank, Brazil**. 1982. Doutorado - Resenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Florida, U.S.A.
32. LEÃO, Z.M.A.N., *et al.*, **Status of Eastern Brazilian coral reefs in time of climate changes**, v.5, n.2, p.224-235, 2010.
33. MAIDA, M. & FERREIRA, B. **Coral reefs of Brazil: an overview**. In: Proceedings of the 8th international coral reef symposium, Anais, 1997, 74p.
34. MENESES, P.R. & ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, CNPQ, 2012. 276p.
35. MOBERG, F. & FOLKE, C., **Ecological goods and services of coral reef ecosystems**, Ecological economics, v.29, n.2, p.215-233, 1999, ISSN 0921-8009.
36. MOHRIAK, W.U., **Bacias sedimentares da margem continental Brasileira**, v.2003, p.87-165, 2003.

37. MONTAGGIONI, L.F. & BRAITHWAITE, C.J.R., **Quaternary Coral Reef Systems: History, Development Processes and Controlling Factors**, Developments in Marine Geology, Elsevier, v. Volume 5, p.iii, 2009, ISSN 1572-5480.
38. MORAES FILHO, J.C.R. & SAADI, A., **Projeto Porto Seguro - Santa Cruz de Cabralia: geologia**, v.3, p.65, 1999.
39. PEREIRA, N.S., *et al.* **Influência do ambiente sedimentar na distribuição dos organismos meiobentônicos do Atol das Rocas**: Estudos geológicos. 2008. 68p.
40. RODOVALHO, N., *et al.*, **Bacias sedimentares brasileiras: Bacia de Cumuruxatiba**, v.5, n.60, p.1-4, 2003.
41. SCHLAGER, W. **Carbonate sedimentology and sequence stratigraphy**. SEPM Society for Sedimentary Geology, 2005. ISBN 1565761162.
42. SCOFFIN, T. & DIXON, J., **The distribution and structure of coral reefs: one hundred years since Darwin**, Biological Journal of the Linnean Society, v.20, n.1, p.11-38, 1983, ISSN 1095-8312.
43. SILVA, A.D.B. **Sistemas de Informação Georeferenciadas: Conceitos e Fundamentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 2003. 232p.
44. SILVA, I.R., **Subsídios para a gestão ambiental para praias da costa do descobrimento, litoral Sul do estado da Bahia, Brasil**, Revista da gestão costeira integrada, v.8, n.2, p.47-60, 2008, ISSN
45. SILVA, I.R., *et al.*, **Principais Padrões de Dispersão de Sedimentos ao Longo da Costa do Descobrimento-Sul do Estado da Bahia**, Revista Brasileira de Geociências, v.31, n.3, p.307-312, 2001, ISSN 0375-7536.

46. SOARES-GOMES, A., *et al.*, **O ambiente marinho**, p.1-33, 2002.
47. SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. Editora E. Blücher, 1973.
48. TUCKER, M.E. & WRIGHT, V.P. **Carbonate sedimentology**. John Wiley & Sons, 1990. ISBN 1444314165.
49. UPDIKE, T. & COMP, C., **Radiometric use of WorldView-2 imagery**, Technical Note, Digital Globe, 2010.
50. UTHICKE, S., *et al.*, **Effectiveness of benthic foraminiferal and coral assemblages as water quality indicators on inshore reefs of the Great Barrier Reef, Australia**, *Coral Reefs*, v.29, n.1, p.209-225, 2010, ISSN 0722-4028.
51. VIEIRA, C.V., *et al.*, **Caracterização morfossedimentar e setorização do complexo estuarino da Baía da Babitonga/SC**, *Paraná*, v.62-63, p.85-105, 2008.
52. WILKINSON, C. **Status of coral reefs of the world: 2008**. Australian Institute of Marine Science Townsville, 2008.
53. WILKINSON, C.R. **Status of Coral Reefs of the World 2004: Summary**. Australian Institute of Marine Science Townsville, 2004.
54. WILSON, J.L., **Characteristics of carbonate-platform margins**, *AAPG Bulletin*, v.58, n.5, p.810-824, 1974, ISSN 0149-1423.
55. WOODROFFE, C.D. & WEBSTER, J.M., **Coral reefs and sea-level change**, *Marine Geology*, Elsevier, v.352, p.248-267, 2014, ISSN 0025-3227.
56. XAVIER DA SILVA, J., *et al.*, **Índices de geodiversidade: aplicações de SGI em estudos de biodiversidade**, *Conservação da biodiversidade em*

ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão novas metodologias de avaliação e monitoramento, Editora Vozes, Petrópolis, p.299-316, 2001.

57.XU, J. & ZHAO, D., **Review of coral reef ecosystem remote sensing**, Acta Ecologica Sinica, Elsevier, v.34, n.1, p.19-25, 2014, ISSN 1872-2032.

58.ZHANG, J., *et al.*, **Western equatorial Pacific productivity and carbonate dissolution over the last 550 kyr: Foraminiferal and nannofossil evidence from ODP Hole 807A**, Marine Micropaleontology, v.64, n.3, p.121-140, 2007, ISSN 0377-8398.