

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E ECOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL

LUCAS CABRAL LAGE FERREIRA

Orientador: Dr ALEX CARDOSO BASTOS

**Recifes submersos da Plataforma de Abrolhos: Morfologia e
distribuição espacial**

VITÓRIA

2017

LUCAS CABRAL LAGE FERREIRA

**Recifes submersos da Plataforma de Abrolhos: Morfologia e
distribuição espacial**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

Orientador: Alex Cardoso Bastos

Vitória

2017

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Alex Cardoso Bastos, meu orientador, pelos ensinamentos, oportunidade, confiança e trocas de ideias que foram fundamentais para execução dessa dissertação. À toda equipe do LaboGeo que com muita amizade e trabalho conseguimos nos ajudar e crescer juntos. Em especial para o Geandré por todo o suporte no campo e processamento dos dados de batimetria. O meu muito obrigado a todos pelos os ensinamentos e tantas contribuições proveitosas.

À tripulação do Armando que com muito trabalho e alegria conseguimos completar o trabalho de campo no Recife Califórnia. Ao Zé e a tripulação do Scuba pela sagacidade e competência. À equipe do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos pela concessão de licença e apoio no arquipélago.

À minha família, Pai, Mae e irmã por sempre me apoiarem nos meus sonhos e darem o suporte para que eu possa lutar por eles. À nova família capixaba em que nesses anos de convivência me fizeram crescer e amadurecer.

Ao CNPQ pelo financiamento do projeto: “Recifes afogados da plataforma de abrolhos: geomorfologia, evolução e indicadores de variação do nível do mar”. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pela concessão de bolsa de mestrado.

“O mar é para quem o sabe amar...”

Milton Nascimento

RESUMO

O objetivo deste trabalho é fazer um estudo detalhado da morfologia e distribuição espacial dos recifes submersos de Abrolhos e propor um primeiro modelo da distribuição dos recifes submersos na Plataforma de Abrolhos. Para estudar a distribuição espacial dos recifes submersos de Abrolhos foi apresentado um mapeamento em escala regional realizado a partir do sonar de varredura lateral, foram coletados 964 Km² de registro sonográficos que vão desde a plataforma interna até a quebra de plataforma. Além disso, trazemos de forma inédita um mapeamento detalhado da morfologia de pináculos e bancos recifais na região do Recife Califórnia utilizando batimetria multifeixe. Foi coletado um mosaico de 4,5 x 9 Km de dados sobrepostos de sonar de varredura lateral e batimetria multifeixe. Foram definidos três padrões recifais: i) Pináculos; ii) Bancos recifais e iii) bioconstruções associadas aos Paleovales, sendo que pináculos e bancos recifais foram divididos em estruturas de alto e baixo relevo de acordo com o tamanho das sombras nos registros sonográficos. Pináculos e bancos recifais são as principais estruturas recifais de Abrolhos e estão distribuídos ao longo da plataforma. Na região da plataforma interna, principalmente no Canal dos Abrolhos, predominam pináculos e bancos de alto relevo. A região externa ao arco externo é uma região de transição entre estruturas recifais de alto para estruturas de baixo relevo. A partir dos 30 metros de profundidade, predominam estruturas de baixo relevo, principalmente os bancos de baixo relevo, que são as principais estruturas mesofóticas da Plataforma em termos de área superficial. A partir da batimetria multifeixe foi possível fazer um estudo detalhado da altura e morfologia dos recifes submersos. Na região do Recife Califórnia os pináculos apresentam uma grande variabilidade de tamanho, com altura média de 8,9 metros. Foram mapeados pináculos de 2 a 20 metros de altura e áreas superficiais médias de 190,7 m². Os bancos possuem altura média de 2,7 metros e áreas superficiais médias de 8.608 m². A Plataforma de Abrolhos possui características únicas no mundo não se encaixando nos modelos clássicos de plataformas carbonáticas, a partir desse estudo vamos apresentar o modelo recifal da Plataforma de Abrolhos. Leao e Ginsburg, (1997) descreveram os dois arcos de recifes emersos, conhecidos como arco interno e arco externo. Na região do Canal dos Abrolhos apresenta a maior concentração de estruturas submersas, com predomínio dos recifes de alto relevo. A região externa ao Canal dos Abrolhos é uma região de transição de recifes de alto relevo para baixo relevo e a partir dos 30 metros predominam os bancos recifais de baixo relevo na plataforma. Sugerimos que a morfologia e distribuição dos recifes submersos na Plataforma de Abrolhos é condicionada pelas variações do Nível Relativo do Mar na última transgressão marinha. Os bancos submersos de baixo relevo estão na plataforma média e apresentam alinhamento NE-SO. Baseado na sua morfologia sugerimos duas hipóteses para a sua formação i) se desenvolveram durante a última transgressão marinha durante uma fase estabilização do nível do mar e posteriormente uma rápida subida do nível do mar pode ter afogado esses recifes; ii) Os bancos seriam "*hardground*" ficaram expostos e foram colonizados por uma fauna mesofótica. Não há estudos ecológicos, nem datações nos bancos de baixo relevo, é preciso avaliar o papel ecológico desses recifes no complexo recifal de Abrolhos. Os pináculos também apresentam mudanças morfológicas em relação ao gradiente batimétrico. Pináculos mais profundos possuem morfologia colunar e baixas taxas de crescimentos quando comparados com os pináculos de alto relevo.

Palavras-chave: Morfologia de Recifes; Mapeamento de recifes; Batimetria multifeixe; Sonar de Varredura Lateral.

ABSTRACT

Abrolhos shelf has a great diversity of reef structures, such as fringing reefs, emerged reefs, pinnacles, reef banks and bioconstructions associated with paleychannels. Emerged reefs compose two reef arcs known as inner arc and outer arc. The submerged reefs extend from the inner shelf to the outer shelf and have been recently described. The goal of this study is show the morphology and spatial distribution of the Abrolhos submerged reefs in detail. To present a regional scale side-scan mapping of the shelf were collected 964 Km² of sonographic dataset. In addition we present unprecedentedly detailed mapping of pinnacles and reef banks morphology in the California reefs using multibeam bathymetry. Sonographic and bathymetric mosaic (4.5 x 9 Km²) were collected. Three reef patterns were defined: i) Pinnacles; (ii) Reef Banks and (iii) Bioconstructions Associated with Paleychannels. Pinnacles and reef banks were divided into High or Low Relief according with their shadows size in the sonographic records. These are the main reef structures and are wide distributed along the Abrolhos shelf. In the inner shelf (mainly in the Abrolhos Channel) the high relief reefs predominates. A transitional region is between 20 and 30 meters with High and Low Relief structures. The Low Relief banks predominate under 30 meters depth. The multibeam bathymetry made possible a detailed study of the submerged reefs morphology (height). In the California reefs the pinnacles presents great size variability with average height of 8.9 meters. Were mapped pinnacles with heights between 2 and 20 meters and average surface areas of 190,7 m². The banks have 2.7 meters height (average) and average surface areas of 8.608,8 m². Leao and Ginsburg, (1997) described the two emergent reef arcs, known as the inner arc and outer arc. In the region of the Abrolhos Channel presents the highest concentration of submerged structures, with predominance of high relief reefs. The region seaward outer arc is a region of transition from reefs of high relief to low relief and from the 30 meters predominate the reefs of low relief on the shelf. We suggest that the morphological change in the submerged reefs was conditioned by the last marine transgression. In the last glacial maximum the shelf was exposed and became to be progressively drowned. The Meltwater pulses (relatively quickly sea level rise) are the main agents that cause these submerged reefs drowning. The low-relief submerged banks are on the middle platform and have NE-SO alignment. Based on their morphology we suggest two hypotheses for their formation (i) they developed during the last marine transgression during a stabilization phase of sea level and later a rapid rise in sea level may have drowned these reefs; li) The banks would be "hardground" exposed and colonized by a mesophotic fauna. There are no ecological studies or dating in low relief banks, it is necessary to evaluate the ecological role of these reefs in the Abrolhos reef complex. Pinnacles also exhibit morphological changes in relation to the bathymetric gradient. Deeper pinnacles have columnar morphology and low growth rates when compared to high relief pinnacles.

Keywords: Reef Morphology; Reef mapping; Multibeam bathymetry; Side-scan sonar.

Lista de Figuras

- Figura 1: Batimetria da Plataforma de Abrolhos. Adaptado de Bastos, et. al.,(2015)..... 14
- Figura 2: Localização da área de estudo. Foram coletados registros sonográficos ao longo da Plataforma de Abrolhos. Os sonogramas Regional, Mosaico interno e Mosaico externo foram coletados e interpretados por Secchin (2011) e Moura et. al.,(2013). Os sonogramas do Canal dos Abrolhos e arco externo foram coletados e interpretados por Leite (2015)..... 15
- Figura 3: Metodologia de mapeamento de pináculos. (a) Sonograma com predominância de pináculos; (b) delimitação da área a ser estudada; (c) retirada da área da coluna d'água que corresponde a uma área sem dado do sonograma; (d) Marcação e delimitação dos pináculos. 17
- Figura 4: Área de estudo do mapeamento de pináculos. Foram selecionadas três áreas com diferentes distâncias da costa para avaliar a área superficial de topo dos pináculos e a porcentagem de cobertura. A região (A) está localizada no Canal dos Abrolhos; (B) região externa ao Arco externo; (C) região da plataforma externa.... 17
- Figura 5: O Recife Califórnia está localizado no limite Sudeste do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. A área mapeada tem 4,5 x 9 Km e foi coletado um mosaico com 100% de cobertura de dados de Sonar de Varredura Lateral e Batimetria Multifeixe..... 20
- Figura 6: Mosaico sonográfico coletado na região do Recife Califórnia. Foi utilizado um sonar de varredura lateral, modelo EdgeTech 4100, operando em frequência de 500 KHz..... 21
- Figura 7: Área em que os dados batimétricos foram exportados com resolução de 1 x 1 metros. Foram selecionados 6 áreas retangulares para medir a altura dos pináculos e 3 perfis longitudinais (A-A'), (B-B') e (C-C'). 23
- Figura 8: Distribuição espacial dos recifes submersos de Abrolhos. Os recifes submersos foram mapeados ao longo da Plataforma. Pináculos e Bancos recifais de alto relevo predominam na porção mais rasa da Plataforma, enquanto que recifes de baixo relevo predominam na porção mais profunda. 26
- Figura 9: Distribuição dos recifes submersos por zonas batimétricas. A partir das isóbatas de 10 em 10 metros foram calculadas as áreas de cada tipo de estrutura recifal. 27
- Figura 10: Distribuição espacial das diferentes morfologias dos recifes submersos de Abrolhos. Os recifes de altos são encontrado em profundidade menores que 30 metros. Recifes de baixo relevo se concentram em profundidades maiores. (a) Pináculos de alto relevo; (b) Bancos de alto relevo; (c) Pináculos de baixo relevo; (d) Bancos de baixo relevo; (e) Paleovales..... 28
- Figura 11: Diversidade morfológica de Pináculos submersos de Abrolhos. Em (a) temos pináculos do tipo "Patch reef"; (b) Pináculos de baixo relevo sob bancos de

rodolitos; (c) Pináculos de alto relevo, com morfologia colunar; (d) Pináculos de baixo relevo no topo de Paleovales. 29

Figura 12: Variabilidade morfológica de Bancos recifais. (a) e (e) foram interpretados como bancos de baixo relevo. (b) (c) e (d) foram interpretados como bancos recifais de alto relevo. 30

Figura 13: Recifes associados à paleovales, foram mapeados diferentes recifes e morfologias de canais. Existem bioconstruções nas paredes dos canais e pequenos pináculos concentrados nas margens dos canais. No fundo dos canais é comum encontrar bancos de baixo relevo. 31

Figura 14: Mosaico de batimetria multifeixe coletado no Recife Califórnia, com resolução de 1 x 1 metro . (1) (2) (3) Mostram exemplos dos dados de batimetria multifeixe (1') (2') (3') mostram exemplos dos sonogramas coletados nos recifes Califórnia. (1) e (1') é uma região com alta concentração de pináculos; (2) e (2') é uma região com menor concentração do pináculos; (3) e (3') apresentam a região dominada por bancos de baixo relevo 36

Figura 15: Foram realizados 3 perfis longitudinais na região do Recife Califórnia. Os perfis (A-A') e (B-B') são semelhantes com pináculos de alto relevo na região próxima ao Parcel dos Abrolhos e os pináculos vão ficando menores até que a área passa a ser dominada por bancos de baixo relevo. 37

Figura 16: Distribuição espacial dos Pináculos submersos da região dos Recifes Califórnia. As imagens (a) e (b) são de Batimetria Multifeixe, enquanto (c), (d) e (e) são dados de Sonar de Varredura Lateral. A região (a) e (c) apresenta maiores concentrações de pináculos; (b) e (d) média concentração de pináculos e a região (e) apresenta pequenos recifes isolados. 38

Figura 17: Diferentes morfologias e concentrações de pináculos submersos mapeados através de batimetria multifeixe na região do Recife Califórnia. 39

Figura 18: Morfologia de Bancos recifais mapeados na região dos Recifes Califórnia. A figura (a) mostram bancos de alto relevo com pináculos no topo. (b) e (c) são bancos de baixo relevo mapeados na região dos recifes Califórnia. (A) (B) e (C) apresentam dados de batimetria multifeixe; (A') (B') e (C') apresentam dados de sonar de varredura lateral. 41

Figura 19: Morfologia dos bancos recifais mapeados na região dos Recifes Califórnia com batimetria multifeixe. (a) pequenos bancos de baixo relevo. (b) e (c) bancos recifais com pináculos no topo. (d) extensos bancos de baixo relevo. 41

Figura 20: Distribuição espacial dos recifes submersos de Abrolhos sob a batimetria da Plataforma de Abrolhos. A região (A) corresponde ao Canal dos Abrolhos aonde os recifes são bem desenvolvidos e concentrados. A região (B) está associada a depressão de Abrolhos e a borda de canais que levam à Depressão. 46

Figura 21: Modelo recifal clássico da Plataforma de Abrolhos. Os arcos internos e externos foram descritos por Leão e Ginsburg (1997), o arco interno é constituído de pináculos emersos que podem coalescer formando extensos bancos recifais. A

região do Canal dos Abrolhos apresenta uma grande concentração de recifes submersos com pináculos e bancos recifais de alto relevo. O arco externo é constituído de pináculos gigantes que atingem a superfície nas marés mais baixas. A região dos recifes Califórnia é uma região de transição entre recifes de alto relevo e baixo relevo. A partir dos 30 metros predominam bancos recifais de baixo relevo. A partir dos 40 metros aparecem os paleovales como uma importante feição recifal.
 47

Figura 22: Curva de variações do NRM proposta por Lambeck, et. al., (2014). 48

Figura 23: Bancos de baixo relevo mapeados no Recife Califórnia. O mapeamento contínuo indica uma orientação Nordeste dos bancos. Os perfis batimétricos (A-A' e B-B') indicam a morfologia dos bancos com extensas áreas superficiais de topo e pequenos pináculos no seu topo. Nos pontos 1 e 2 foram realizada filmagens panorâmicas para avaliar de forma qualitativa a cobertura bentônica nesses recifes. Fotos (P1) Lucas Cabral Lage Ferreira; Fotos (P2) Dilson Cajueiro, ZÁ. 50

Lista de Tabelas

Tabela 1: Descrição dos sonogramas coletados na Plataforma de Abrolhos. Os sonogramas regional, mosaico interno e mosaico externo foram interpretados e discutidos por Secchin, (2011) Moura et. Al.,(2013). Já os sonogramas Canal dos Abrolhos e Arco externo foram interpretados por Leite (2015). 16

Tabela 2: Polígonos em que foram medidas as áreas superficiais dos topos dos pináculos submersos de Abrolhos. 18

Tabela 3: Descrição dos principais padrões recifais mapeados na Plataforma de Abrolhos. Foram definidos cinco padrões baseado na morfologia dos recifes. 24

Tabela 4: Descrição dos dados de cobertura e área de topo média dos pináculos submersos de Abrolhos. 32

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
2. METODOLOGIA.....	13
2.1 Área de estudo	13
2.2 Métodos geofísicos	14
2.2.1 Base de dados - Sonar de Varredura Lateral	15
2.2.2 Mapeamento de pináculos	16
2.2.3 Arco externo – Recife Califórnia	19
3. RESULTADOS	23
3.1 Distribuição espacial dos recifes submersos da Plataforma de Abrolhos	23
3.2 Mapeamento de pináculos.....	31
3.2.1 Área superficial de topo dos pináculos	33
3.3 Arco externo – Recife Califórnia	34
3.3.1 Distribuição dos recifes submersos do Recife Califórnia	34
3.3.2 Pináculos submersos	37
3.3.3 Bancos recifais submersos.....	40
4. DISCUSSÃO	43
4.1 Morfologia Recifal: Um modelo de distribuição espacial para Abrolhos	43
4.2 A distribuição recifal e a variação relativa do nível do mar.....	47
4.3 Importância para a conservação.....	52
5. Conclusão	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

1. INTRODUÇÃO

Recifes podem ser chamados de estruturas biogênicas construídas a partir de organismos bentônicos, que junto com a ação microbiana podem mineralizar carbonato de cálcio ou induzir a precipitação do mesmo. A definição e classificação de recife é uma questão complexa que envolve não só a composição essencial da estrutura mas também conceitos que englobam a resistência a ação de ondas, a variação do nível mar, entre outros (Riding, 2002). Entre as várias classificações de recifes, podemos considerar a relação do mesmo com a superfície do nível do mar, reconhecendo então recifes emersos e submersos. Recifes emersos são recifes que ficam emersos nas marés baixas, enquanto que recifes submersos possuem seu topo sempre abaixo da linha da maré mais baixa. Por outro lado, geologicamente, o termo recifes afogados é amplamente usado para definir recifes que se desenvolveram em condições de nível relativo do mar (NRM) mais baixo que o atual e não acompanharam a subida do NRM, tendo sido então afogados (MacIntyre, 1972; Hopley, 1982; Vecsei, 2003; Abbey and Webster, 2011). Esses recifes ocorrem em muitas plataformas do mundo e tem sido bem descritos no Oceano Índico (Vora et al., 1996; Rao et al., 2003), Pacífico (Harris and Davies, 1989; Webster et al., 2004a; Beaman, et. al., 2007; Harris et al., 2008; Woodroffe et al., 2010; Abbey et al., 2011), e no Caribe (Fairbanks, 1989; Macintyre, 1972; Jarrett et al., 2005).

A posição, geomorfologia e extensão dos recifes submersos refletem a geomorfologia da plataforma, mas também podem fornecer informações importante sobre mudanças ambientais e variações relativas do NRM (Hopley, 2007). Os recifes podem crescer com diferentes morfologias e taxas de crescimento, de acordo com a superfície kárstica, espécie construtora, grau de energia do ambiente, entre outros (Montaggioni, 2005).

Recifes submersos podem apresentar uma ampla variabilidade morfológica, incluindo terraços, barreira de recife, pináculos, plataformas e "*Patch reefs*" (Hopley, 2007). Recifes submersos geralmente são encontrados em margens continentais passivas, tais como Flórida, Belize e Austrália, onde se desenvolvem principalmente na quebra da Plataforma Continental, conhecidos como barreira

de recife (Jones, 1977; Purd, 1974; Harris and Davies, 1989). Esses recifes submersos modernos se desenvolveram em condições do NRM mais baixo que o atual e acompanharam a subida do NRM na última grande transgressão marinha (Beaman, et. al., 2008). Os recifes de borda de plataforma oferecem proteção à plataforma adjacente, diminuindo a hidrodinâmica e favorecendo o desenvolvimento carbonático na plataforma adjacente (Hopley, 2007). Na Grande Barreira de Corais da Austrália, são encontrados uma cadeia de pináculos unidos na quebra de plataforma, formando a barreira recifal. Em direção ao mar, depois da quebra de plataforma podem ser encontrados terraços recifais, que possuem topo plano e representam superfícies de baixo gradiente batimétrico no talude continental. Em direção à terra são encontrados pináculos ou *Patch reefs* na região conhecida como lagoa (Harris and Davies, 1989; Beaman, et. al., 2008).

A Plataforma de Belize é uma plataforma mista siliciclástica-carbonática, sendo o maior sistema recifal moderno do Atlântico (Purd, 1974; Purd e Gischler, 2003). Em Belize são encontradas diferentes morfologias recifais, desde recifes em franja, barreira recifal, atóis e pináculos associados a plataforma interna. Recife de Barreira são recifes modernos, bem desenvolvidos e que estão na quebra da plataforma continental. Em direção à terra, são encontrados pináculos isolados associadas à uma região de menor energia. Em direção ao mar são encontrados terraços recifais e três plataformas isoladas que se desenvolveram em forma de atóis (James e Ginsburg, 1979; Gischler e Hudson, 1998).

Diferentemente de outras plataformas carbonáticas do mundo, Abrolhos é uma plataforma rasa e aberta, composta por dois arcos de recifes emersos e recifes submersos (Leão e Ginsburg, 1997; Moura et. al., 2013; Bastos, et. al., 2015). Os recifes submersos se estendem desde a plataforma interna até regiões mais profundas, mais de 50 metros de profundidade (Moura et. al., 2013). Além disso, a plataforma tem uma sedimentação terrígena significativa, sendo uma plataforma mista, com grande influência terrígena na porção interna e carbonática na plataforma média e externa (Melo, et. al., 1975; Leão e Ginsburg, 1997; D'Agostinni et. al., 2015).

Sendo assim, o objetivo desta dissertação é compreender a variação morfológica, a distribuição espacial dos diferentes tipos de recifes submersos de Abrolhos e

propor um primeiro modelo de distribuição dos recifes submersos de Abrolhos. O estudo está baseado em dados geofísicos de mapeamento de fundo marinho com sonar de varredura lateral e batimetria multifeixe

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O complexo recifal de Abrolhos é o maior e mais rico ambiente recifal do Atlântico Sul (Leão, 2002) e possui uma área estimada de 8.844 Km² (Moura *et al.*, 2013). Nele é encontrada uma grande diversidade de estruturas recifais, com recifes em franja, parcéis, pináculos, bancos recifais, paleovales com bioconstruções associadas e buracas (Leão, *et al.*, 2003; Moura *et al.*, 2013; Bastos *et al.*, 2013). A Plataforma de Abrolhos se destaca por possuir uma alta riqueza de espécies de corais endêmicas, recifes com uma morfologia única com estruturas que crescem em forma de cogumelos, e a presença de dolinas, descritas como “buracas”, que são depressões circulares que ocorrem em profundidades de 25 a 60 metros (Leão, 2002; Hartt, 1870; Bastos *et al.*, 2013). Os pináculos de Abrolhos podem crescer como colunas em direção à superfície e seus topos expandem-se lateralmente como cogumelos. Essas estruturas foram denominadas de “chapeirões” (Hartt, 1870) e seus topos podem coalescer próximo à superfície formando extensos bancos recifais (Leão e Ginsburg, 1997). Além das estruturas recifais, a plataforma externa de Abrolhos é formada por um extenso banco de rodolitos, mostrando sua grande importância na produção mundial de carbonato de cálcio (Amado-Filho *et al.*, 2012). Na plataforma externa, associado aos bancos de rodolitos, também são encontradas as “buracas” que se desenvolveram por processo kársticos durante nível de mar baixo. Essas feições são consideradas pontos de agregação de grandes peixes e lagosta, sendo um “hotspot” pesqueiro (Bastos, *et al.*, 2013; Cavalcanti, *et al.*, 2013; Bastos, *et al.*, 2016)

As porções sul e norte da plataforma de Abrolhos apresentam diferenças marcantes (Figura 1), sendo a porção norte a parte mais rasa da plataforma onde se tem um grande desenvolvimento carbonático. Por outro lado, na porção sul está a Depressão de Abrolhos, que foi descrita por Vicalvi, *et al.*, (1978).

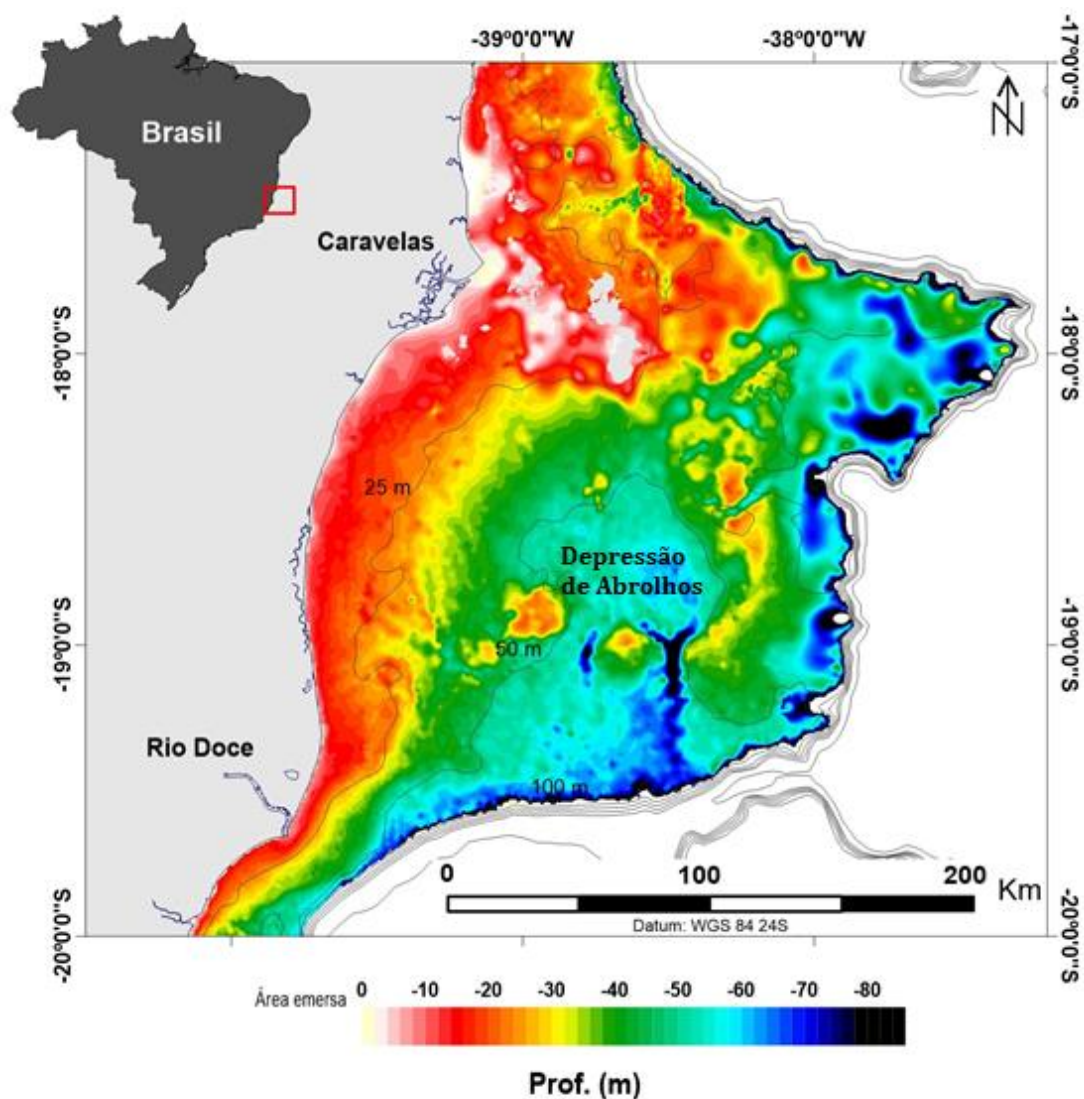


Figura 1: Batimetria da Plataforma de Abrolhos. Adaptado de Bastos, et. al.,(2015).

2.2 Métodos geofísicos

Para estudar a morfologia dos recifes submersos foram utilizados diferentes métodos de investigação acústicos, incluindo Sonar de Varredura Lateral (SVL) e Batimetria Multifeixe (BM). O sonar de varredura foi utilizado uma extensa base de dados, coletados em escala regional. Além disso, foram coletados dados inéditos de sonar de varredura lateral e batimetria multifeixe sobrepostos, na região do Arco Externo, conhecida como Recife Califórnia. Essa região apresenta grande diversidade morfológica de estruturas recifais e foi coletado um mosaico contínuo de 4,5 x 9 km com 100% de cobertura de dados geofísicos.

2.2. 1 Base de dados - Sonar de Varredura Lateral

Foram coletados dados de Sonar de Varredura Lateral, modelo Edge Tech 4100, ao longo da Plataforma de Abrolhos. Os dados foram obtidos em frequência de 100 e 500 KHz e a varredura lateral variou de 200 a 400 metros. As coletas ocorreram entre 2007 e 2013, cobrindo uma área de 964 Km² que vão desde a plataforma interna até a quebra da Plataforma Continental. Na região do Canal dos Abrolhos e na região externa ao Parcel dos Abrolhos há um mosaico com maior detalhamento. O mapeamento em escala regional foi apresentado e discutido por Secchin (2011) e Moura, et. al., (2013). Além disso, dois mosaicos com maior detalhamento, um na região do Canal dos Abrolhos e outro externo ao Arco externo foram interpretados por Leite (2015) e incorporados à base de dados (Figura 2).

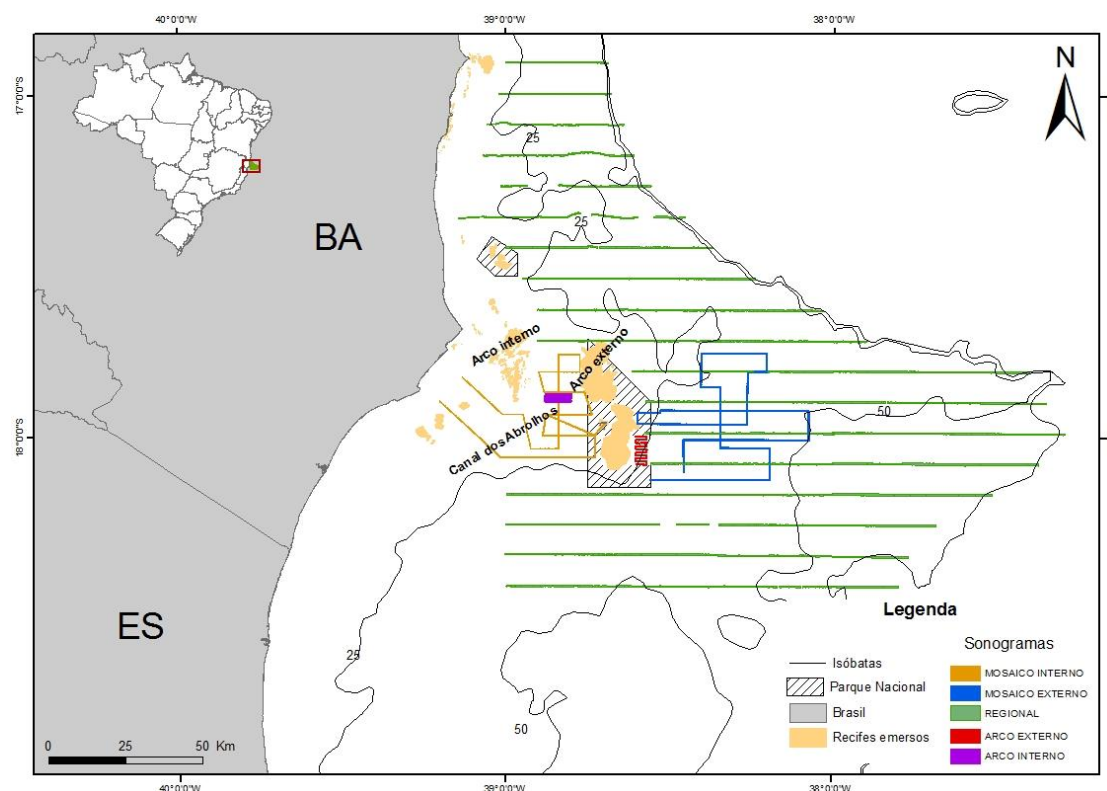


Figura 2: Localização da área de estudo. Foram coletados registros sonográficos ao longo da Plataforma de Abrolhos. Os sonogramas Regional, Mosaico interno e Mosaico externo foram coletados e interpretados por Secchin (2011) e Moura et. al.,(2013). Os sonogramas do Canal dos Abrolhos e arco externo foram coletados e interpretados por Leite (2015).

Os sonogramas foram interpretados e os padrões acústicos definidos baseando-se na intensidade de retorno do sinal acústico, rugosidade, morfologia, altura e textura. Ambientes recifais são caracterizados por possuir um retorno acústico variado, com a presença de sombras e rugosidade. Os recifes foram organizados

de acordo com a morfologia, espaçamento e as sombras nos registros sonográficos. A extensão e localização das linhas está descrita na tabela 1.

Tabela 1: Descrição dos sonogramas coletados na Plataforma de Abrolhos. Os sonogramas regional, mosaico interno e mosaico externo foram interpretados e discutidos por Secchin, (2011) Moura et. Aa.,(2013). Já os sonogramas Canal dos Abrolhos e Arco externo foram interpretados por Leite, (2015).

Linhas	Descrição	Área (Km ²)
Regional	Linhas na direção E-W; Espaçadas em 10 Km	751
Mosaico interno	Linhas alternadas paralelas e perpendiculares	65
Mosaico externo	Linhas alternadas, paralelas e perpendiculares.	115
Canal dos Abrolhos	Linhas perpendiculares à linha de costa.	18
Arco externo	Linhas alternadas, paralelas e perpendiculares.	15
Total		964

2.2.2 Mapeamento de pináculos

Foram selecionadas três regiões com diferentes distâncias da costa para avaliar se existe uma mudança na área superficial de topo dos pináculos submersos com o distanciamento da linha de costa. Em cada área, polígonos foram selecionados aleatoriamente e foram medidas as áreas superficiais de todos os pináculos. Inicialmente, foi delimitado o polígono a ser medido (Figura 3b), foram selecionadas aleatoriamente áreas com predomínio de pináculos, e retiradas as áreas correspondentes à coluna d'água para se calcular a área do polígono medido (Figura 3c). Finalmente, as áreas dos pináculos foram medidas individualmente a partir da área interpretada como topo do pináculo no sonograma (Figura 3d).

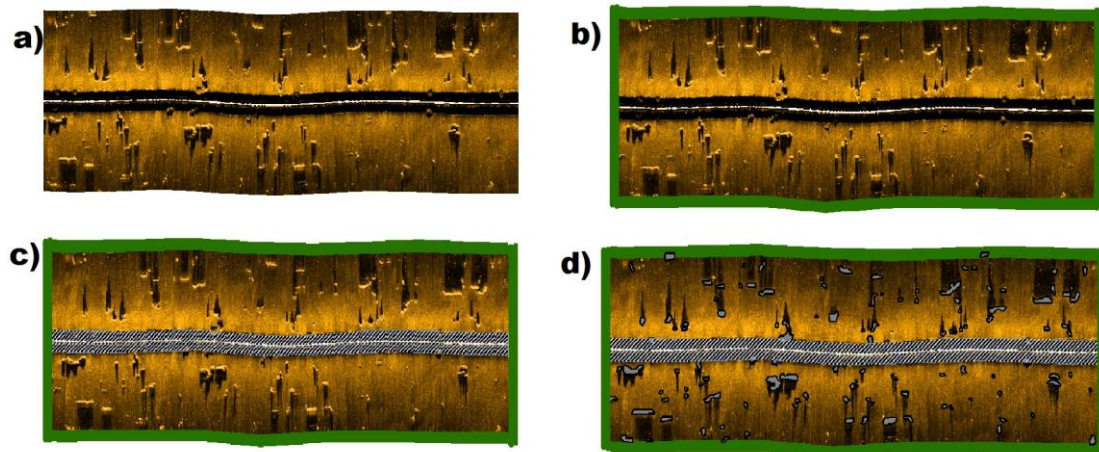


Figura 3: Metodologia de mapeamento de pináculos. (a) Sonograma com predominância de pináculos; (b) delimitação da área a ser estudada; (c) retirada da área da coluna d'água que corresponde a uma área sem dado do sonograma; (d) Marcação e delimitação dos pináculos.

A região (A) está situada no Canal dos Abrolhos entre 40-50 km da costa e profundidades que variam entre 0 a 20 metros. A região (B) está localizada na região externa ao arco externo, entre 60 e 70 km da costa, com profundidades que variam de 10 a 30 metros. Por último, a região (C) é a mais distante, entre 90 e 100 km da costa e profundidades entre 25 e 40 metros (Figura 4).

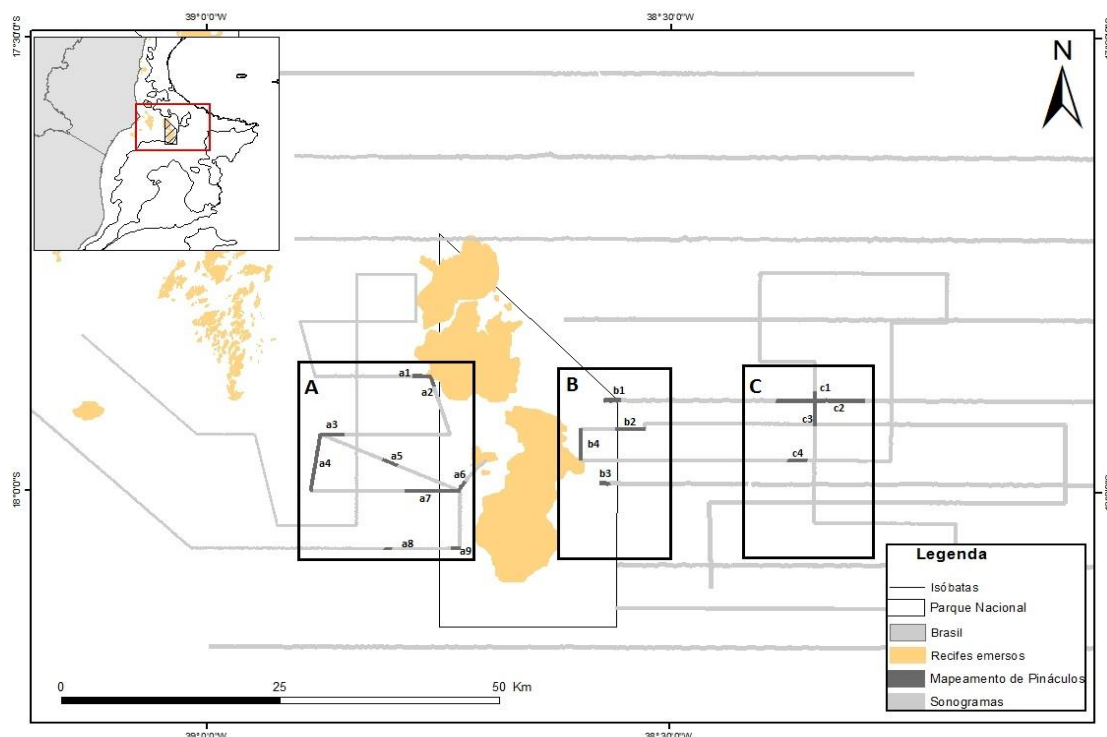


Figura 4: Área de estudo do mapeamento de pináculos. Foram selecionadas três áreas com diferentes distâncias da costa para avaliar a área superficial de topo dos pináculos e a porcentagem de cobertura. A região (A) está localizada no Canal dos Abrolhos; (B) região externa ao Arco externo; (C) região da plataforma externa.

Os pináculos foram medidos individualmente e posteriormente foram calculadas as áreas médias de topo dos pináculos para cada polígono, com uma determinada distância da costa. Na região (A) foram medidos 2.048 pináculos, região (B) 2.730 pináculos e na região (C) 872 pináculos, totalizando 5.681 pináculos medidos nas três diferentes áreas (Tabela 2).

Como a quantidade de pináculos varia em cada área, a área superficial do topo do pináculo foi normalizada. Para as análises estatísticas foram excluídos os valores de áreas de topo de pináculos maiores que 1900 m². A relação entre a área de topo dos pináculos e a distância da costa foi investigada através de regressões lineares e testes não paramétricos de Mann-Whitney (M-W) e Kruskal-Wallis (K-W).

$$\text{Área normalizada} = \frac{(\text{Área do pináculo} - \text{área média da mostra})}{\text{Desvio Padrão da amostra}}$$

Tabela 2: Polígonos em que foram medidas as áreas superficiais dos topos dos pináculos submersos de Abrolhos.

Polígono	Distância da costa (km)	Área do polígono (m ²)	Número de pináculos medidos
a1	44	609224,2	97
a2	45	363004,1	62
a3	39	798433,7	95
a4	40	2056801,7	759
a5	47	603026,0	81
a6	53	2344521,2	600
a7	55	365116,8	144
a8	54	163735,7	27
a9	59	311366,5	183
TOTAL		7615229,9	2048
b1	66	665765,1	244
b2	69	1000780,7	647

b3	65	444952,7	335
b4	69	1145011,0	1504
TOTAL		3256509,5	2730
c1	86	233845,8	14
c2	87	4190495,7	300
c3	86	876420,2	59
c4	87	610519,0	66
c5	93	659690,8	433
TOTAL		6337125,6	872
TOTAL GERAL		17208865,0	5681

Além disso, foi calculada a porcentagem de cobertura de pináculos em cada polígono e em cada região. Foi somada a área superficial de todos os pináculos em cada polígono e a partir da relação entre a soma das áreas dos pináculos e área do polígono foi calculada a porcentagem do substrato que é coberta por pináculos submersos. Para avaliar se existe influência da distância da costa na cobertura de Pináculos foi realizada uma regressão linear.

2.2.3 Arco externo - Recife Califórnia

Dados de sonar coletados em escala regional mostram que a região dos Recifes Califórnia apresenta uma grande diversidade de estruturas recifais com um alto gradiente batimétrico (Moura et al., 2013, Ferreira, 2013). Para se estudar em detalhes a morfologia de pináculos e bancos recifais foi coletado um mosaico sobreposto de sonar de varredura lateral e batimetria multifeixe na região do Recife Califórnia (Figura 5).

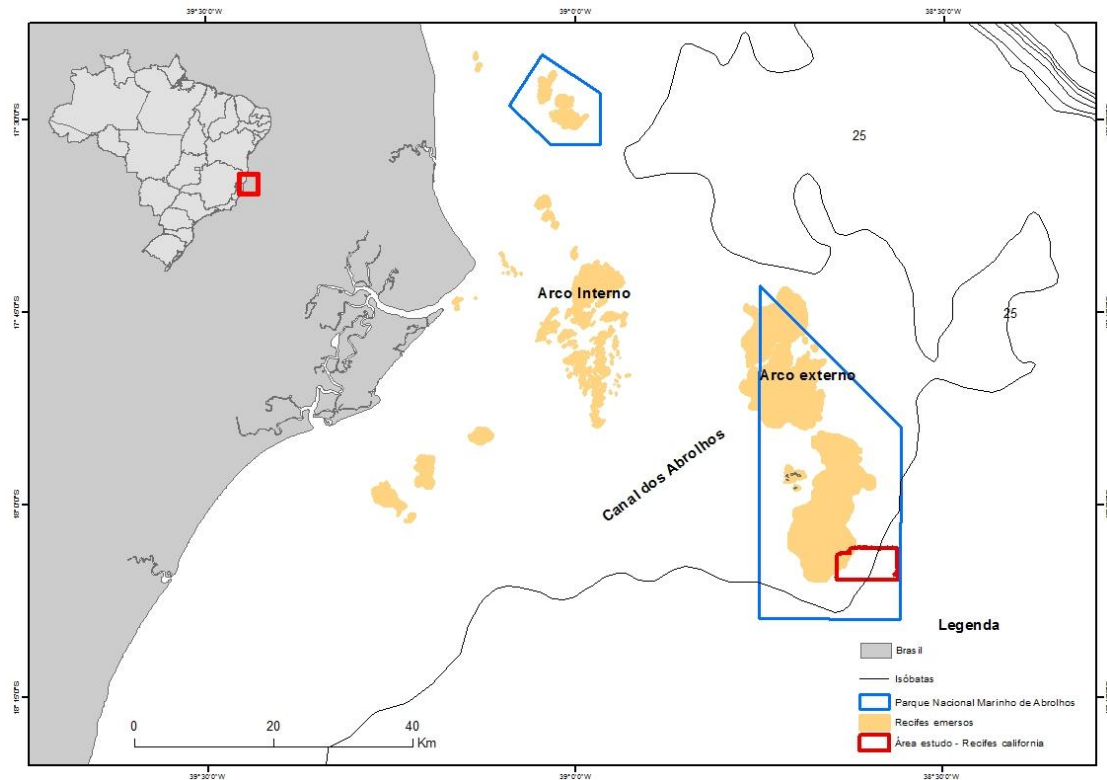


Figura 5: O Recife Califórnia está localizado no limite Sudeste do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. A área mapeada tem 4,5 x 9 Km e foi coletado um mosaico com 100% de cobertura de dados de Sonar de Varredura Lateral e Batimetria Multifixe.

2.2.3.1 Sonar de varredura lateral

Foi coletado um mosaico sonográfico de 4,5 x 9 Km no Recife Califórnia (Figura 6). Os dados sonográficos foram coletados utilizando um sonar modelo EdgeTech 4100, varredura média de 100 metros e frequência de 500 KHz. Os dados foram coletados utilizando o *software* Discovery® 4100. O processamento foi realizado no *software* SonarWiz® 5.0 onde foram aplicados filtros de compensação de ondas e atenuação do sinal acústico. Posteriormente, os dados foram exportados para plataforma GIS. O mosaico sonográfico foi projetado sob o mosaico da batimetria multifixe.

A partir dos dados geofísicos foi avaliada em detalhe a morfologia dos diferentes tipos de pináculos e bancos recifais submersos de Abrolhos, onde foram avaliados padrões de rugosidade, área superficial dos recifes, profundidade e forma das estruturas. No *software* ArcGis 10.2, inicialmente, os recifes foram identificados e definidos os padrões recifais encontrados na área de estudo.

Posteriormente, os recifes foram individualmente marcados e medidos. Cada estrutura recifal foi classificada de acordo com o tipo de estruturas recifal e medida a sua área superficial. Os dados de altura dos recifes foram extraídos da Batimetria Multifeixe.

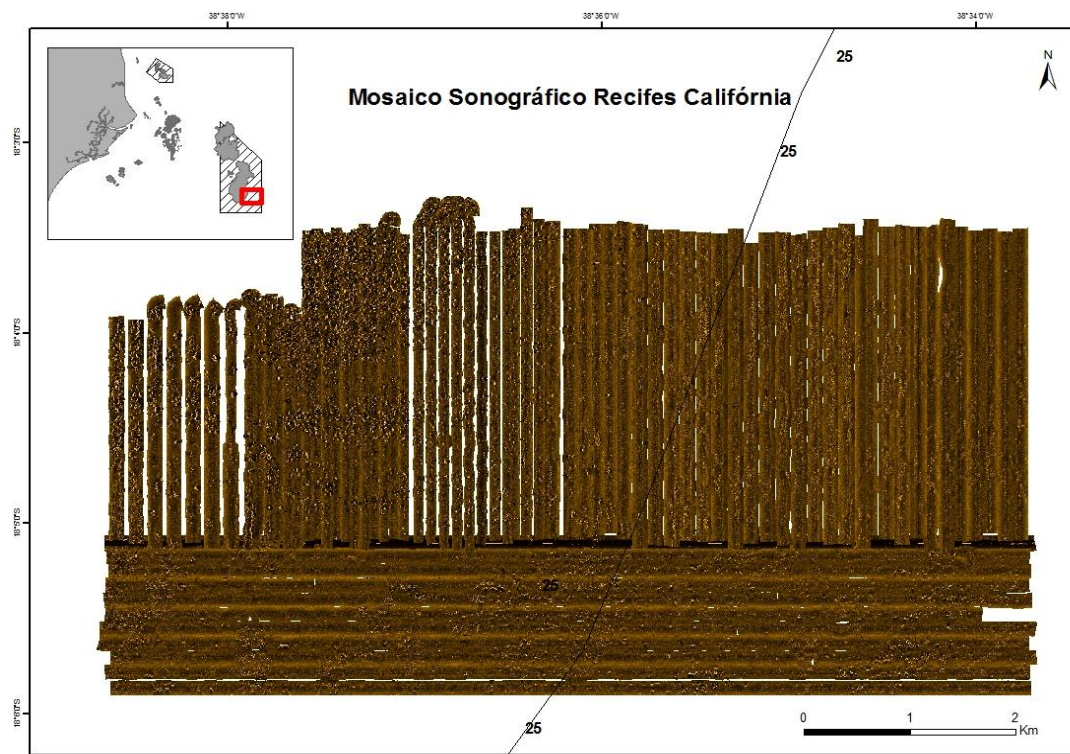


Figura 6: Mosaico sonográfico coletado na região do Recife Califórnia. Foi utilizado um sonar de varredura lateral, modelo EdgeTech 4100, operando em frequência de 500 KHz.

2.2.3.2 Batimetria multifeixe

Foi utilizado um ecobatímetro Reson, MODELO 7001, varredura média de 60 metros que operou com uma frequência de 240 KHz. A aquisição, processamento e exportação dos dados foram realizados utilizando o software PDS 2000®. Durante a aquisição foi utilizado um sistema de *IMU* (sigla em inglês, “*Inertial Measurement Unit*” – compensador de movimentos), responsável por mensurar a movimentação da embarcação. Para a correção dos ângulos referentes ao desalinhamento da instalação do sistema na embarcação foi realizada a calibração do mesmo (*Patch Test*). Além disso, durante as coletas foi utilizado um perfilador de velocidade do som (sigla em inglês: CTD – “*conductivity, temperature and depth*”) para se obter dados precisos de profundidades. Foram

realizados 12 perfis de velocidade de som e aplicados durante o processamento dos dados.

A seguir, os dados batimétricos corrigidos, foram exportados para plataforma GIS. No ArcGis 10,2 os recifes foram demarcados, medidos e definidas as morfologia recifais.

2.2.3.3 Resolução dos dados

Após todas as correções e calibrações dos dados batimétricos, os dados foram exportados para plataforma GIS. Foi exportado um grid completo do mapeamento e pontos batimétricos de toda a área de estudo e sobrepostos ao mapeamento dos recifes, onde foram medidas as alturas das estruturas recifais. Foi gerado um grid geral de todo o mosaico, com resolução de 10 metros, para extrair os valores de altura dos bancos recifais. Os pináculos são estruturas bem menores do que os bancos e exige um maior detalhamento para se obter suas alturas. Para os pináculos foram definidas aleatoriamente seis áreas distintas em que os dados foram exportados em uma resolução de 1 metro e foram medidas as alturas de pináculos em cada uma dessas áreas (Figura 2). Cada recife foi individualmente medido para se obter a altura do recife, profundidade de base e de topo do recife. Para avaliar a relação entre a altura do recife com a profundidade de base e área superficial foram geradas regressões lineares.

Além disso, foram gerados três perfis batimétricos longitudinais, com resolução também de 1 x 1 metro, o primeiro na área norte (A-A'), segundo central (B-B') e, por último ao sul (C-C') do Recife Califórnia (Figura 7).

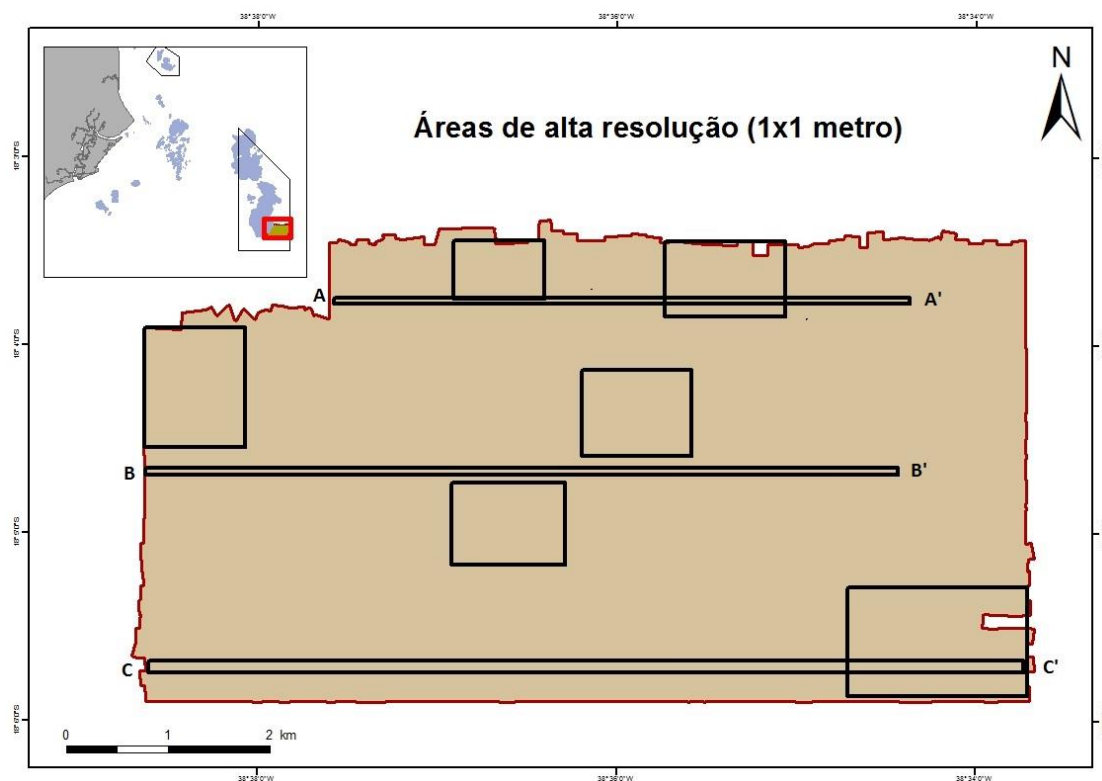


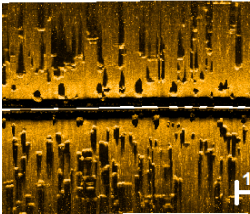

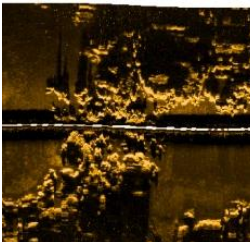
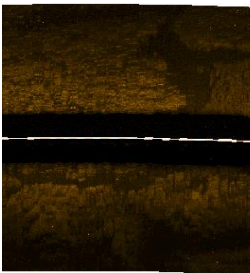
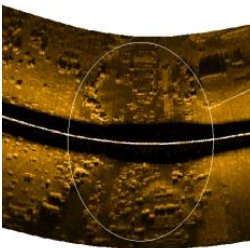
Figura 7: Área em que os dados batimétricos foram exportados com resolução de 1 x 1 metros. Foram selecionados 6 áreas retangulares para medir a altura dos pináculos e 3 perfis longitudinais (A-A'), (B-B') e (C-C').

3. RESULTADOS

3.1 Distribuição espacial dos recifes submersos da Plataforma de Abrolhos

Foram identificados três principais tipos de estruturas recifais submersas na Plataforma de Abrolhos: i) Pináculos; ii) Bancos Recifais; iii) Bioconstruções associadas aos Paleovales. Pináculos e Bancos foram diferenciados a partir da interpretação sonográfica, considerando pináculos como estruturas recifais isoladas de forma circular ou oval. As medições mostram que a área superficial do topo dos pináculos é menor que 1900 m². Pináculos e bancos foram classificados em termos de altura de sombras nos sonogramas, em que recifes com sombras médias e grandes foram classificados como recifes de alto relevo e com sombra pequena ou inexistente como recifes de baixo relevo. A tabela 3 descreve e ilustra cada tipo de morfologia recifal.

Tabela 3: Descrição dos principais padrões recifais mapeados na Plataforma de Abrolhos. Foram definidos cinco padrões baseado na morfologia dos recifes.

Estrutura recifal	Definição	Morfologia	Profundidade de ocorrência (m)	Cobertura (%)	Exemplos
Pináculos de alto relevo	Estrutura recifal isolada, com área de topo <1900 m ² .	Forma circular ou oval. Alta rugosidade e grandes sombras nos registros sonográficos	0 – 40 metros	25,2	
Pináculos de baixo relevo	Estrutura recifal isolada, com área de topo <1900 m ² .	Forma circular ou oval. Baixa rugosidade e pequenas sombras nos registros sonográficos	10 – 50 metros	28,5	
Bancos de alto relevo	Estruturas recifais agrupadas, com áreas de topo >1900 m ²	Grandes áreas superficiais e topos relativamente planos. Grande rugosidade nos registros sonográficos	5-40 metros	15,4	
Bancos de baixo relevo	Estruturas recifais agrupadas, com áreas de topo >1900 m ²	Grandes áreas superficiais e topos relativamente planos. Baixa rugosidade nos registros sonográficos	10 – 50 metros	26,7	
Paleovales	Bioconstruções associadas à paleovales	Na parede desses canais são encontradas bioconstruções. Também existem pináculos e bancos no topo e fundo dos canais	30 -50 metros	4,2	

Pináculos e Bancos recifais estão amplamente distribuídos na plataforma interna e média, com topos em profundidades que variam de 5 a 50 metros de profundidade. Na porção mais rasa da plataforma predominam pináculos e bancos de alto relevo (Figura 8). Nessa região são encontradas as maiores concentrações de estruturas recifais. Com o distanciamento da costa, os recifes vão ficando mais espaçados e a plataforma passa a ser dominado por rodolitos. Na plataforma média e externa predominam os recifes de baixo relevo.

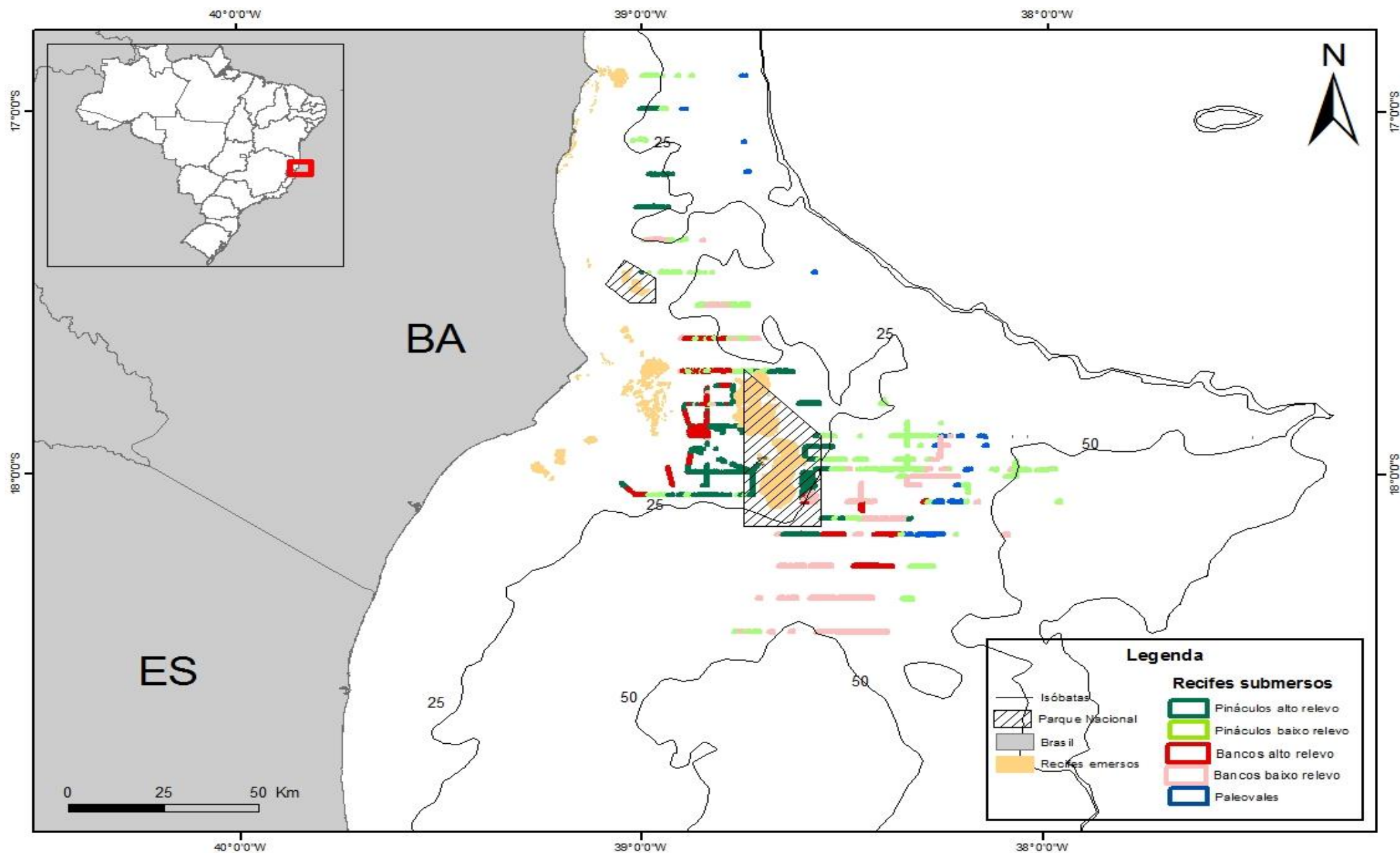


Figura 8: Distribuição espacial dos recifes submersos de Abrolhos. Os recifes submersos foram mapeados ao longo da Plataforma. Pináculos e Bancos recifais de alto relevo predominam na porção mais rasa da Plataforma, enquanto que recifes de baixo relevo predominam na porção mais profunda.

A figura 9 apresenta a distribuição das diferentes morfologias recifais ao longo de faixas batimétricas. Nos primeiros 20 metros predominam pináculos e bancos de alto relevo. Pináculos predominam na plataforma até os 30 metros de profundidade. A região entre 20 e 30 metros é uma transição entre recifes de alto relevo e baixo relevo, sendo mapeados tanto pináculos como bancos de alto e baixo relevo. A partir dos 30 metros bancos de baixo relevo tornam-se a feição recifal mais representativa da plataforma. Nessa profundidade ainda são encontrados alguns pináculos de baixo relevo e aparecem os recifes associados aos paleovales. Os recifes associados aos paleovales estão concentrados entre as profundidades de 40 e 50 metros.

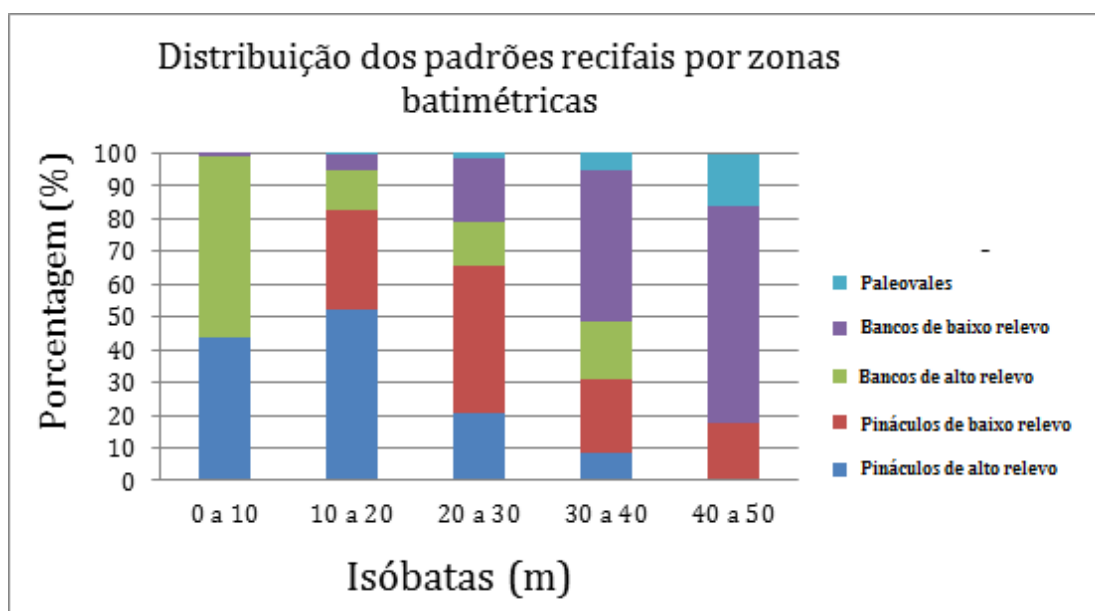


Figura 9: Distribuição dos recifes submersos por zonas batimétricas. A partir das isóbatas de 10 em 10 metros foram calculadas as áreas de cada tipo de estrutura recifal.

A figura 10 apresenta a distribuição dos recifes submersos diferenciando-os em recifes de alto relevo e baixo relevo. Os recifes de alto relevo se concentram até a isóбата de 30 metros. A partir dos 30 metros são encontrados principalmente pináculos e bancos de baixo relevo e recifes associados aos Paleovales.

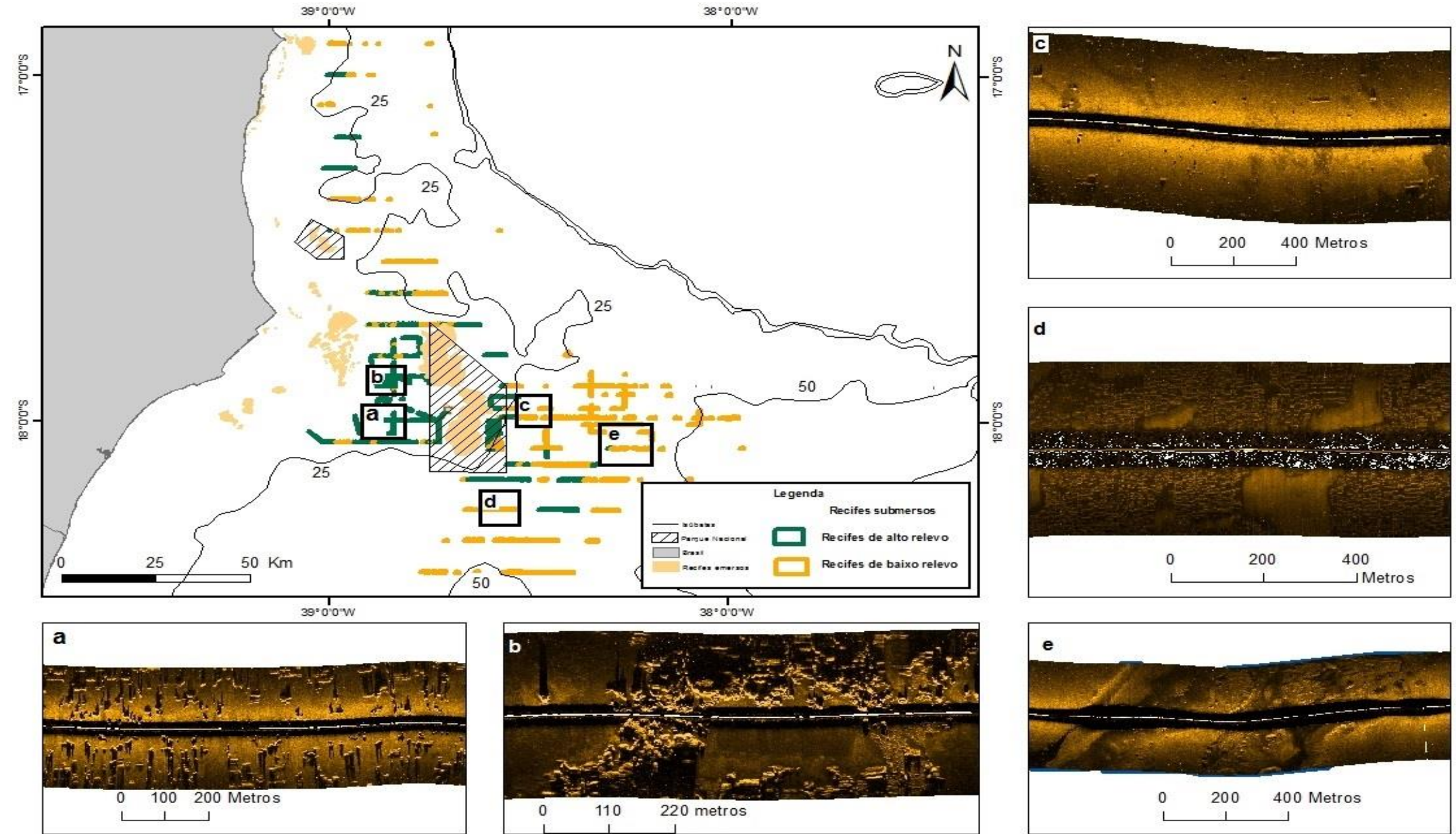


Figura 10: Distribuição espacial das diferentes morfologias dos recifes submersos de Abrolhos. Os recifes de altos são encontrados em profundidades menores que 30 metros. Recifes de baixo relevo se concentram em profundidades maiores. (a) Pináculos de alto relevo; (b) Bancos de alto relevo; (c) Pináculos de baixo relevo; (d) Bancos de baixo relevo; (e) Paleovales.

O mapeamento dos recifes mostra uma grande variação morfológica quando se observa a relação entre área do topo e altura. A Figura 11 apresenta exemplos dos padrões mapeados, ilustrando estes contrastes de pináculos com pequena área superficial de topo e grande altura, até pináculos do tipo “*Patch reef*” que possuem grandes áreas superficiais e alturas proporcionalmente menores. Observou-se ainda a ocorrência de pequenos pináculos muito espaçados em áreas em que o fundo é dominado por rodolitos. Além disso, na plataforma externa pináculos de baixo relevo estão associados ao topo de Paleovales

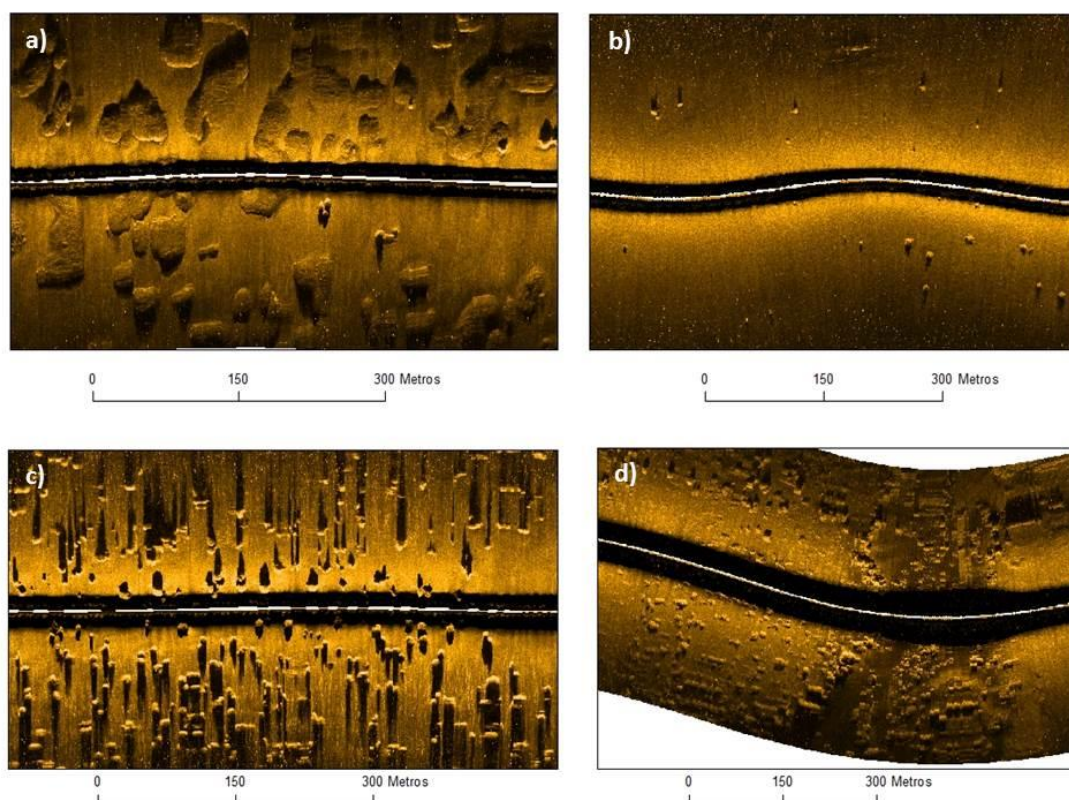


Figura 11: Diversidade morfológica de Pináculos submersos de Abrolhos. Em (a) temos pináculos do tipo “*Patch reef*”; (b) Pináculos de baixo relevo sob bancos de rodolitos; (c) Pináculos de alto relevo, com morfologia colunar; (d) Pináculos de baixo relevo no topo de Paleovales.

Os bancos recifais também apresentam ampla variedade morfológica (Figura 12). Bancos de alto relevo apresentam grande rugosidade e grandes sombras nos registros sonográficos. Por sua vez, bancos de baixo relevo apresentam baixa rugosidade e sombras pequenas.

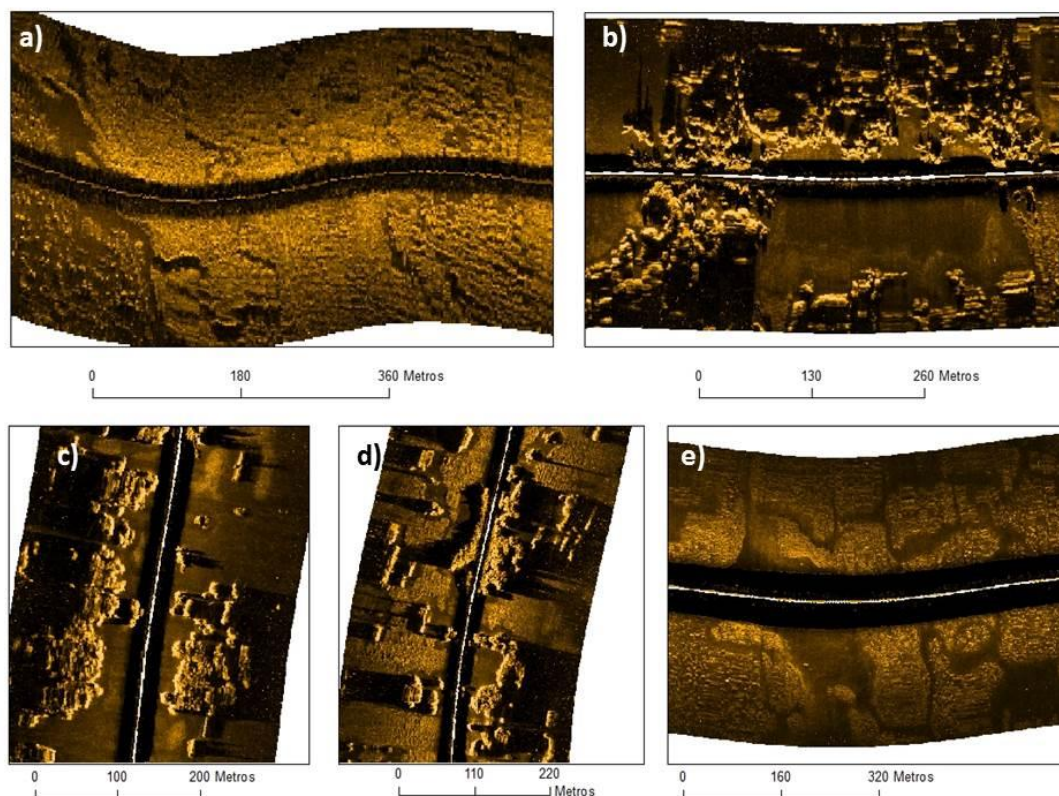


Figura 12: Variabilidade morfológica de Bancos recifais. (a) e (e) foram interpretados como bancos de baixo relevo. (b) (c) e (d) foram interpretados como bancos recifais de alto relevo.

Na plataforma média de Abrolhos foram mapeados vários Paleovales, que seriam antigos sistemas de drenagem formados em condição de nível de mar mais baixo. Esses recifes correspondem a 4% das estruturas recifais e foram mapeados entre as isóbatas de 30 e 50 metros. Nas paredes e margens desses canais são encontradas bioconstruções. Além disso, no topo e no fundo desses canais são encontrados pináculos e bancos recifais de baixo relevo (Figura 13). Próximo da parede, esses recifes são mais concentrados, com o distanciamento do canal as estruturas vão ficando mais espaçadas e menores. Geralmente, no topo desses canais são encontrados extensos bancos de rodolitos e os recifes se desenvolvem sob os rodolitos.

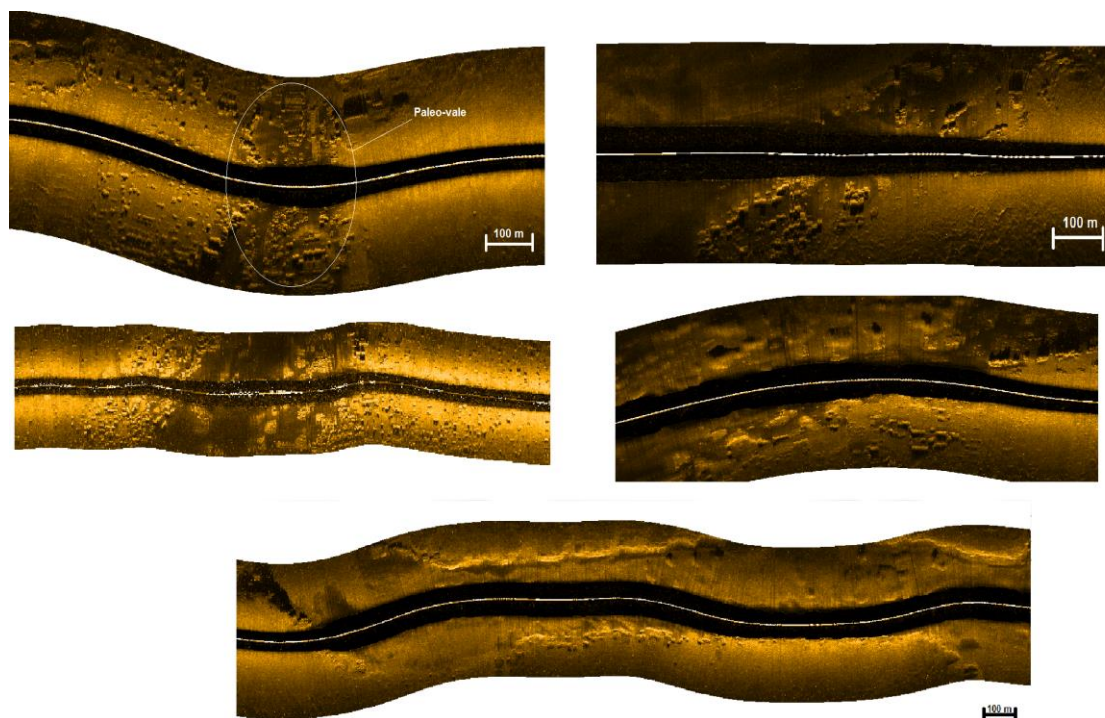


Figura 13: Recifes associados à paleovales, foram mapeados diferentes recifes e morfologias de canais. Existem bioconstruções nas paredes dos canais e pequenos pináculos concentrados nas margens dos canais. No fundo dos canais é comum encontrar bancos de baixo relevo.

3.2 Mapeamento de pináculos

Foi realizado um estudo da relação entre variação da área de topo dos pináculos e a distância da costa. A tabela 4 apresenta os valores das áreas médias de topo dos pináculos e seus respectivos desvios padrões, além das concentrações do substrato que é composto por pináculos em cada polígono.

Tabela 4: Descrição dos dados de cobertura e área de topo média dos pináculos submersos de Abrolhos.

Distância da costa (km)	Polígono	Número de pináculos	Cobertura (%)	Área de topo média dos pináculos (m²)	Desvio Padrão das médias dos pináculos (m²)	Área média normalizada dos pináculos	Desvio Padrão das médias normalizadas
44	a1	97	8,9	558,3	481,0	0.97	1.42
45	a2	62	4,6	266,7	353,7	0.46	1.30
39	a3	95	3,2	269,3	233,0	2.73	2.88
40	a4	759	6,7	182,8	213,9	0.89	1.81
47	a5	81	2,7	200,4	198,1	0.57	1.21
53	a6	600	3,1	120,9	125,1	0.09	0.76
55	a7	144	4,7	118,5	91,2	0.19	0.69
54	a8	27	2,3	138,9	112,6	0.06	0.51
59	a9	183	12,8	218,3	241,7	0.68	1.47
66	b1	244	2,5	69,1	83,4	0.14	0.61
69	b2	647	2,5	38,0	47,1	-0.23	0.48
65	b3	335	9,8	129,9	100,0	-0.42	0.32
69	b4	1504	6,7	51,3	62,3	-0.34	0.38
86	c1	14	0,3	53,4	33,2	-0.32	0.20
87	c2	300	0,6	81,7	73,2	-0.25	0.24
86	c3	59	0,4	66,1	38,5	-0.16	0.42
87	c4	66	1,0	90,8	86,8	-0.10	0.53
93	c5	433	0,6	51,1	74,6	-0.34	0.45

3.2.1 Área superficial de topo dos pináculos

Observa-se que nas três regiões analisadas as áreas de topo dos pináculos apresentam diferenças significativa, (K-W; $p < 0,001$) (M-W; $p > 0,001$). Em todas as regiões foram encontrados pináculos dos mais diferentes tamanhos. A região (A) apresenta os maiores valores de área média de topo dos pináculos com grande variabilidade no tamanho dos pináculos. Por sua vez, a região (b) e (c) os pináculos com grande área superficial tornam-se escassos, predominando pináculos com menos de 200 m² (Gráfico 2). Na região (c) os pináculos apresentam os menores valores de áreas superficiais, em todos os polígonos a área de topo média não excedeu 100 m².

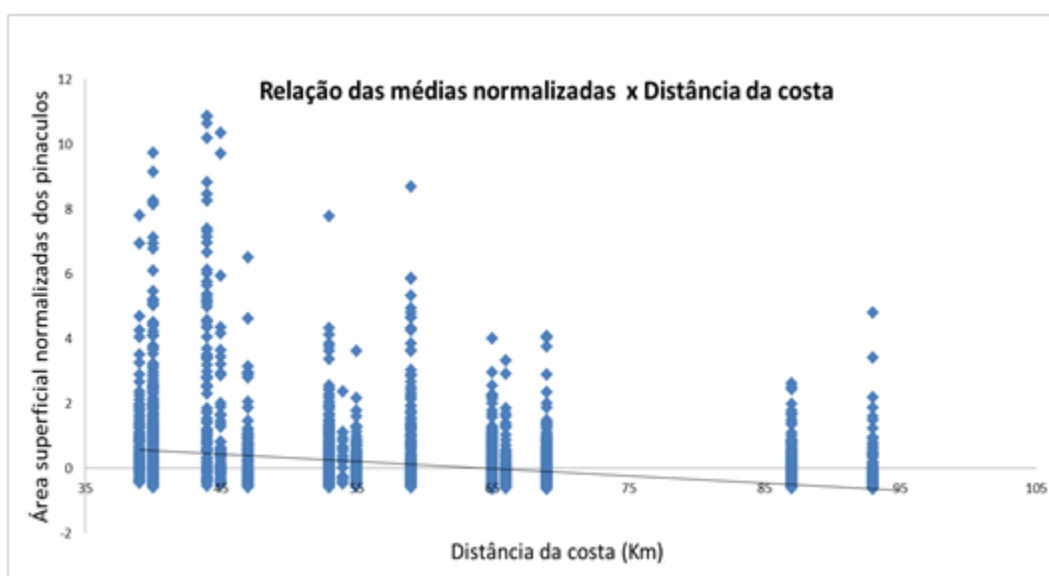


Gráfico 1: Relação da área superficial dos pináculos com a distância da costa.

3.2.2 COBERTURA

Observa-se que a relação entre a concentração de pináculos por área mapeada com a distância da costa é significativa ($p < 0,01$). A região (A) apresenta os maiores valores de cobertura de pináculos submersos, nessa região os pináculos podem ocupar de 2,3% até 12,8 % do substrato. A região (B) apresenta valores intermediários de concentração, com áreas onde a concentração varia de 2,5 % a 9,8% do substrato coberto por pináculos. Por sua vez, a região (C) apresenta valores significativamente menores de concentração, sempre menores que 1%.

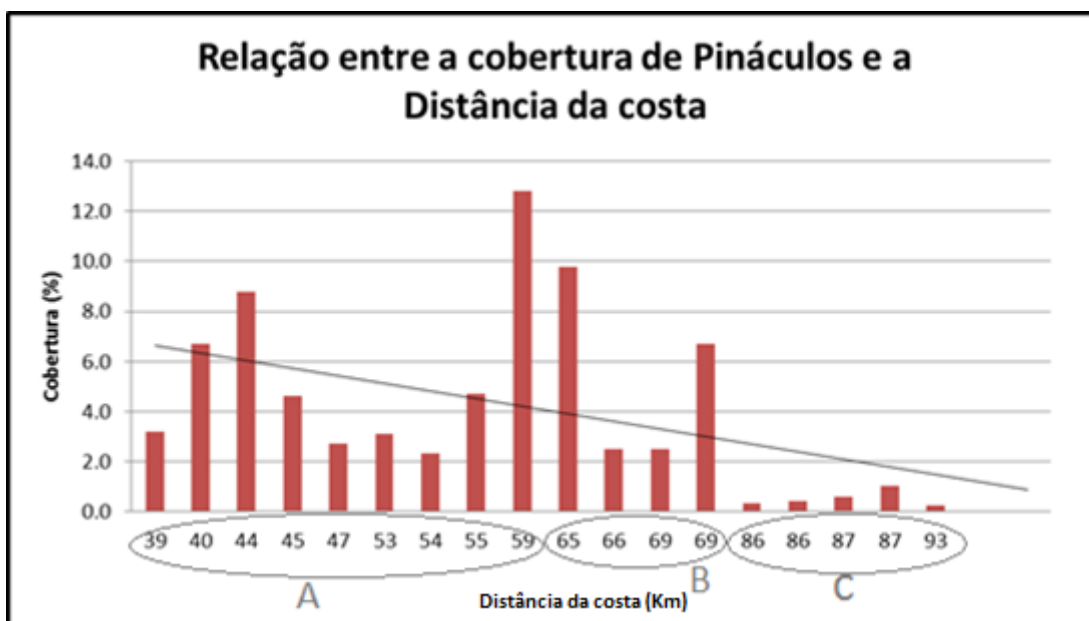


Gráfico 2: Relação da cobertura dos pináculos com a Distância da costa.

3.3 Arco externo – Recife Califórnia

3.3.1 Distribuição dos recifes submersos do Recife Califórnia

A região do Recife Califórnia apresenta uma grande variabilidade morfológica de estruturas recifais associadas a um gradiente batimétrico onde as profundidades variam de 5 a 35 metros. A Figura 14 apresenta o mapa batimétrico onde observa-se a variabilidade morfológica com a presença de pináculos e bancos. Foram identificados 8.332 pináculos e 421 bancos recifais de diferentes tamanhos e formas distribuídos em toda a área de estudo. A região mais próxima do Parcel dos Abrolhos é a região mais rasa mapeada e apresenta uma alta concentração de pináculos, com alturas médias de 12 metros, podendo chegar a 20 m. Nessa área a base dos pináculos está a uma profundidade média de 28 metros, podendo-se observar canais com profundidades superiores a 30 metros. Com o distanciamento do Parcel dos Abrolhos, os pináculos vão diminuindo de tamanho e ficando mais espaçados. Nessa região, os pináculos apresentam uma profundidade média de base de 30,2 metros e alturas médias de 7 metros. A partir dos 30 metros de profundidade, a ocorrência de pináculos passa a ser rara (sempre de pequena altura) e o fundo recifal dominante passa a ser de bancos.

Esses bancos recifais são estruturas com baixa altura (1 a 3 metros), porém grande área superficial com uma área média de 8.608 m² (dp = 23.660,6 m²)

Este padrão descrito é claramente observado nos perfis (A-A') e (B-B') onde a mudança na morfologia dos recifes ocorre ao longo de um gradiente batimétrico. Por outro lado, o perfil batimétrico mais ao sul (C-C') apresenta um padrão diferente dos demais. Nele são encontrados estruturas de alto relevo tanto na região mais rasa quanto na porção mais profunda. Além do que em todo o perfil são encontrados tanto pináculos quanto bancos recifais, sem apresentar um padrão claro de distribuição espacial. Nesse perfil as profundidades de base dos recifes não variam muito, entre 33 e 35 metros de profundidade. Nas regiões mais profundas ainda são encontrados pináculos de alto relevo e não foram encontrados mapeados os extensos bancos de baixo relevo.

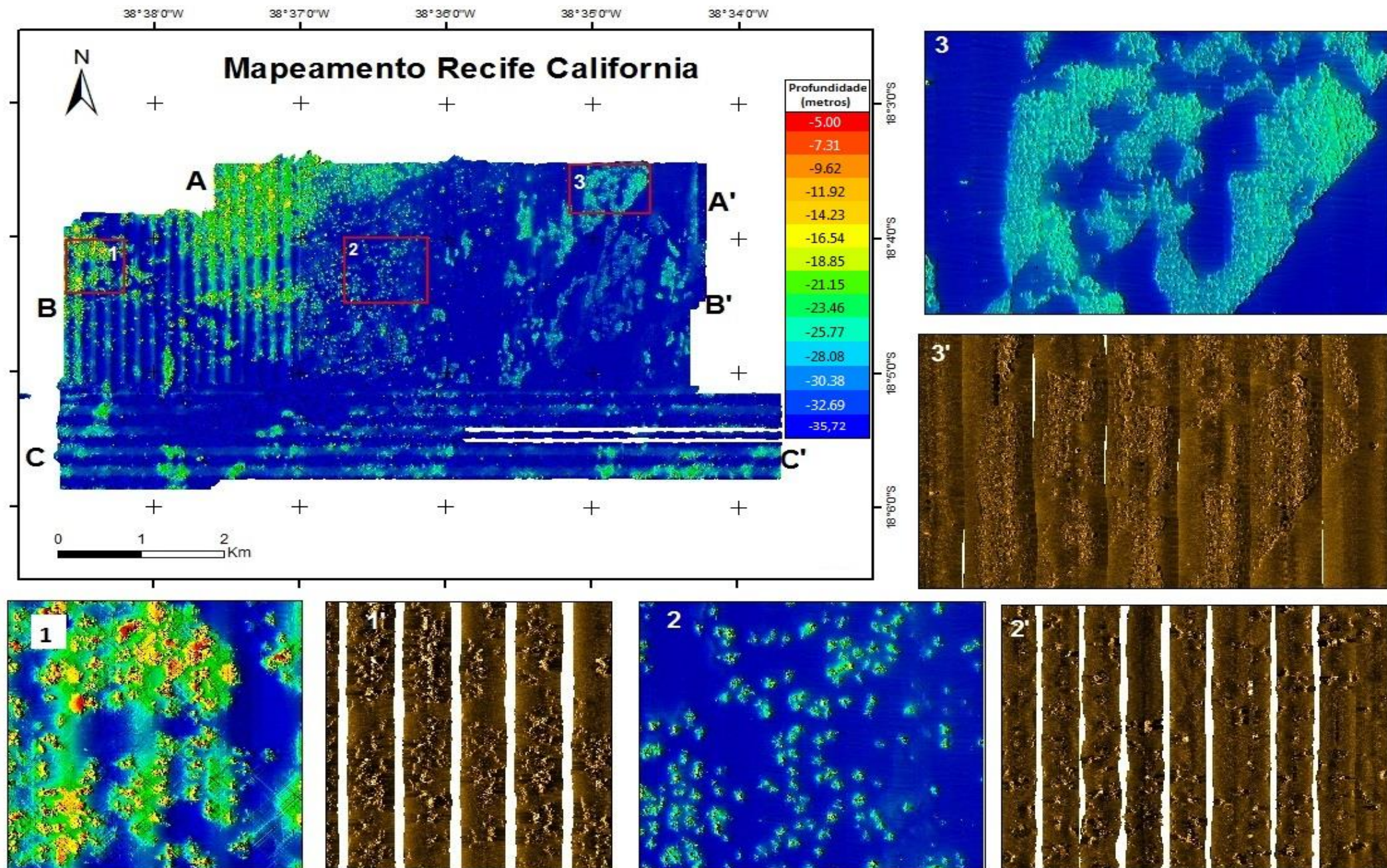


Figura 14: Mosaico de batimetria multifeixe coletado no Recife Califórnia, com resolução de 1 x 1 metro. (1) (2) (3) Mostram exemplos dos dados de batimetria multifeixe (1') (2') (3') mostram exemplos dos sonogramas coletados nos recifes Califórnia. (1) e (1') é uma região com alta concentração de pináculos; (2) e (2') é uma região com menor concentração do pináculos; (3) e (3') apresentam a região dominada por bancos de baixo relevo

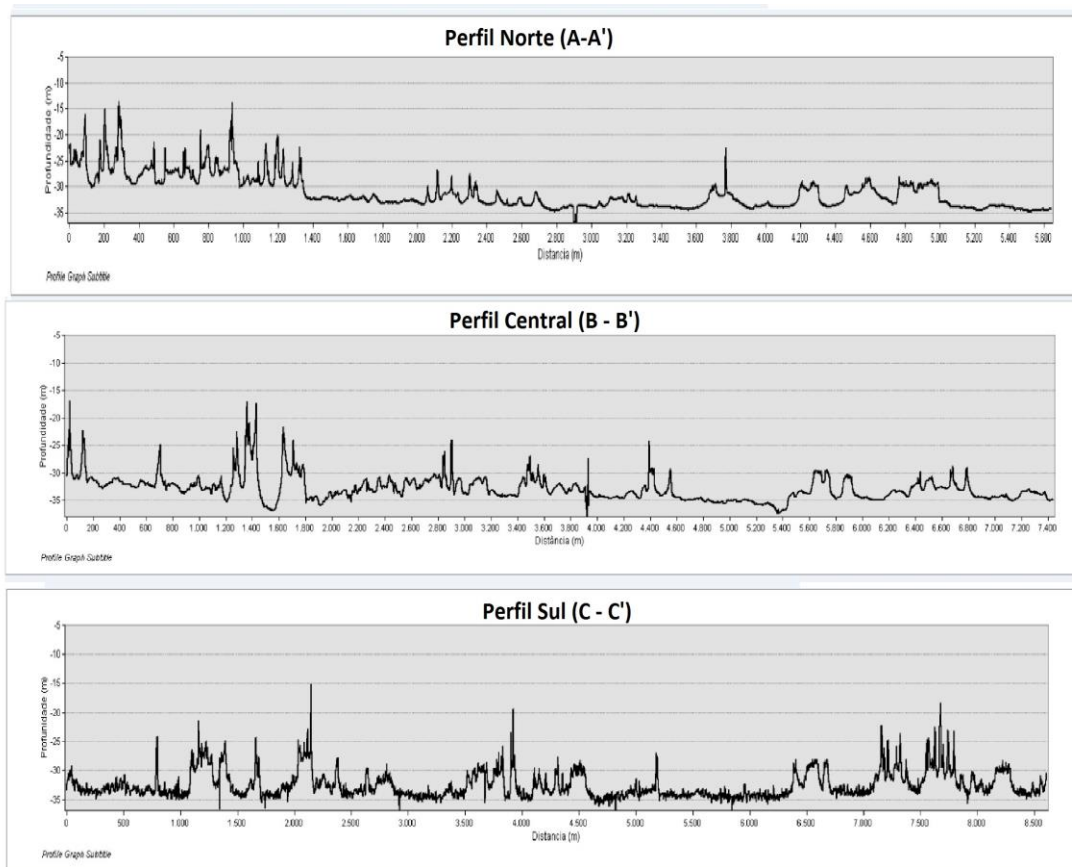


Figura 15: Foram realizados 3 perfis longitudinais na região do Recife Calífornia. Os perfis (A-A') e (B-B') são semelhantes com pináculos de alto relevo na região próxima ao Parcel dos Abrolhos e os pináculos vão ficando menores até que a área passa a ser dominada por bancos de baixo relevo.

3.3.2 Pináculos submersos

Foram mapeados 8.332 pináculos submersos na região dos Recifes Calífornia com diferentes tamanhos e áreas superficiais (Figura 16 - 17). Em média os pináculos apresentam uma área superficial de $190,7 \text{ m}^2$ (Desvio padrão = $305,4 \text{ m}^2$). Foram medidas as profundidades de base, de topo e alturas de 433 pináculos submersos em diferentes áreas do Recife Calífornia. A profundidade de base dos pináculos não varia muito ao longo da área de estudo, de forma geral, a base desses pináculos se encontra entre 28 e 33 metros. Por sua vez, a altura de cada pináculo varia consideravelmente, foram mapeados desde pináculos grandes, com alturas que podem atingir 20 metros até pináculos pequenos com 2 ou 3 metros de altura em relação ao fundo. Os pináculos de alto relevo podem atingir até 20 metros de altura e possuem uma altura média de 8,9 m (Desvio padrão = $+3,9 \text{ m}$). Esses pináculos possuem profundidade de topo média de 21,7

m (DP = $\pm 4,8$ m). Os maiores pináculos se encontram próximo ao Parcel dos Abrolhos, onde a concentração de pináculos pode atingir 20% do substrato, sendo a região com maior concentração de pináculos submersos do Recife Califórnia. Com o distanciamento do Parcel, os pináculos vão ficando mais espaçados e menores. Por outro lado, os pináculos de baixo relevo possuem uma altura média de 3,4 m (DP = $\pm 1,5$ m) e estão relativamente mais profundos que os pináculos de alto relevo, possuindo uma profundidade de base de 32,8 m (DP = $\pm 0,7$ m).

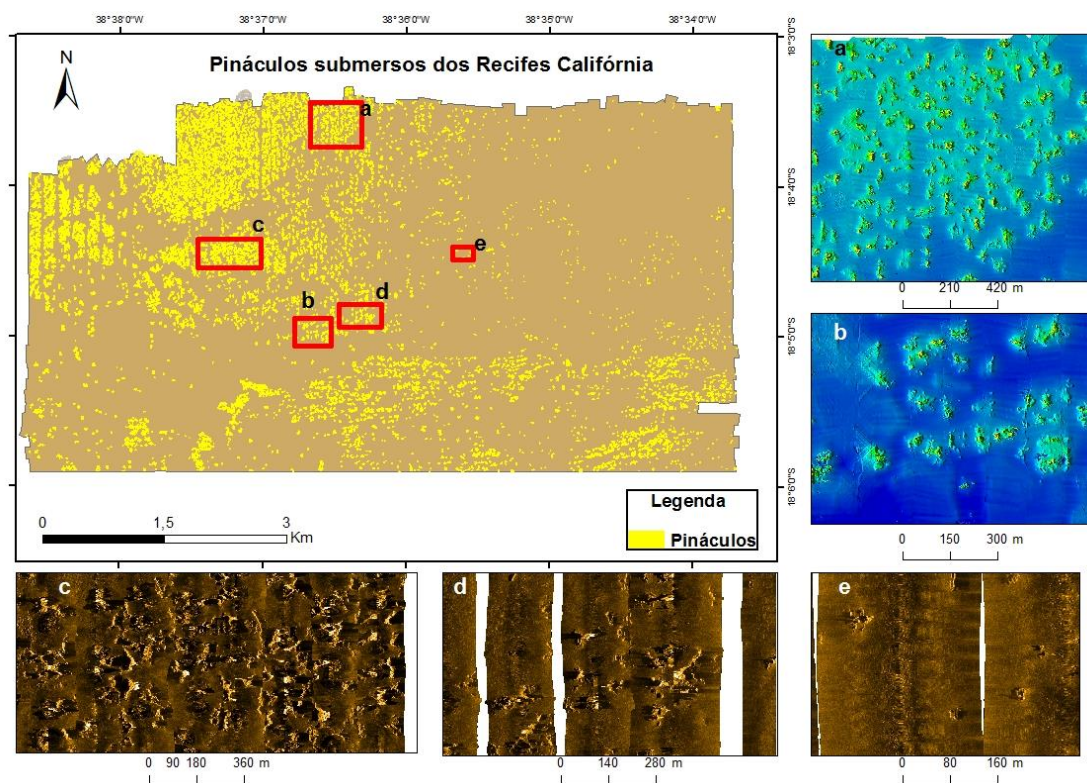


Figura 16: Distribuição espacial dos Pináculos submersos da região dos Recifes Califórnia. As imagens (a) e (b) são de Batimetria Multifeixe, enquanto (c), (d) e (e) são dados de Sonar de Varredura Lateral. A região (a) e (c) apresenta maiores concentrações de pináculos; (b) e (d) média concentração de pináculos e a região (e) apresenta pequenos recifes isolados.

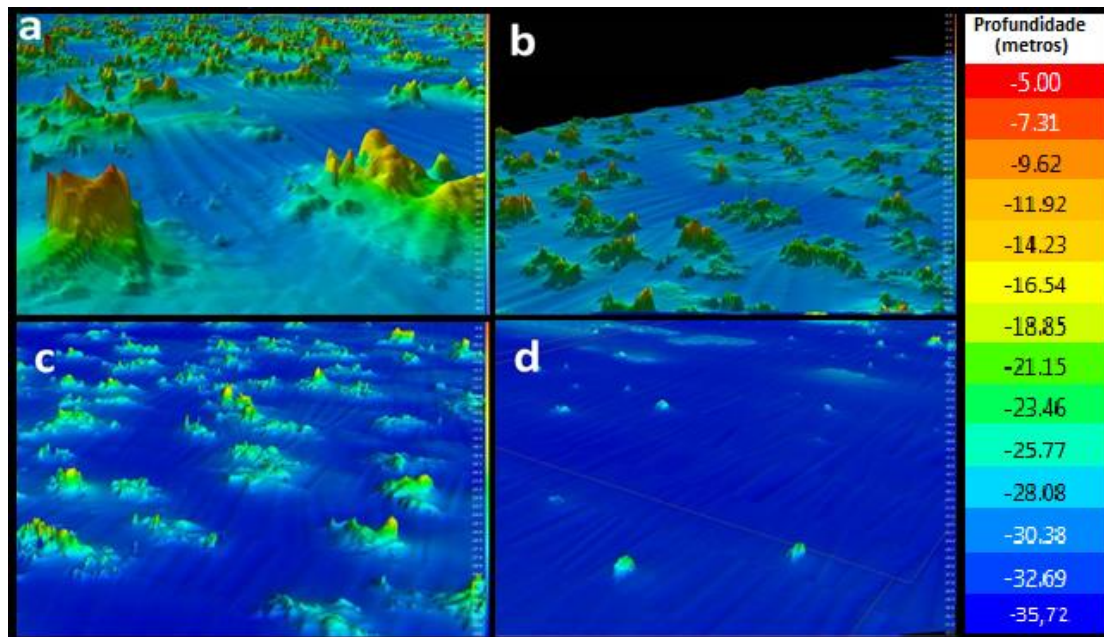


Figura 17: Diferentes morfologias e concentrações de pináculos submersos mapeados através de batimetria multifeixe na região do Recife Califórnia.

O gráfico 4 apresenta a relação entre a altura e área superficial de cada pináculo submerso medido no Recife Califórnia. A regressão foi significativa ($p < 0,01$) e observa-se uma baixa tendência dos pináculos com maiores alturas possuírem maiores áreas superficiais ($r^2=0,1219$). Alguns pináculos, 14 dos 432 medidos apresentam área superficial maiores que 1.900 m^2 . Esses pináculos apesar de terem áreas superficiais maiores que a maioria dos pináculos apresentam características morfológicas semelhantes à pináculos, com forma circular ou oval e grande rugosidade nos registros sonográficos.

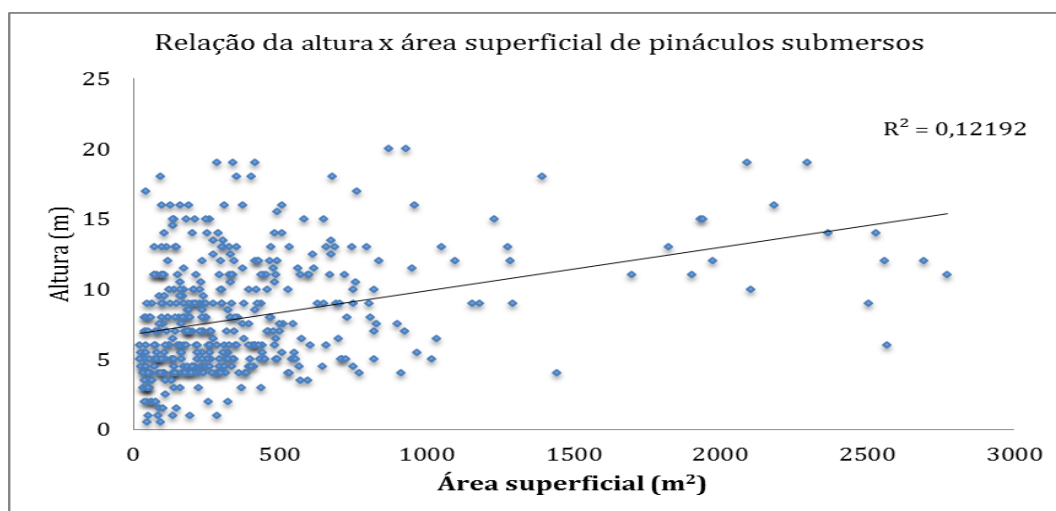


Gráfico 3: Relação entre a altura e áreas superficiais de pináculos submersos mapeados no Recife Califórnia.

Por sua vez, o gráfico 5 relaciona a altura dos pináculos com a profundidade de base dos recifes. A regressão foi significativa ($p < 0,01$). Pode-se observar a grande variabilidade das alturas dos pináculos em cada profundidade, mostrando que pináculos grandes e pequenos podem coexistir em uma determinada região, porém eles possuem uma tendência negativa, em que os pináculos tornam-se menores com o aumento da profundidade de base em que está inserido. Em profundidades maiores pináculos grandes tornam-se escassos.

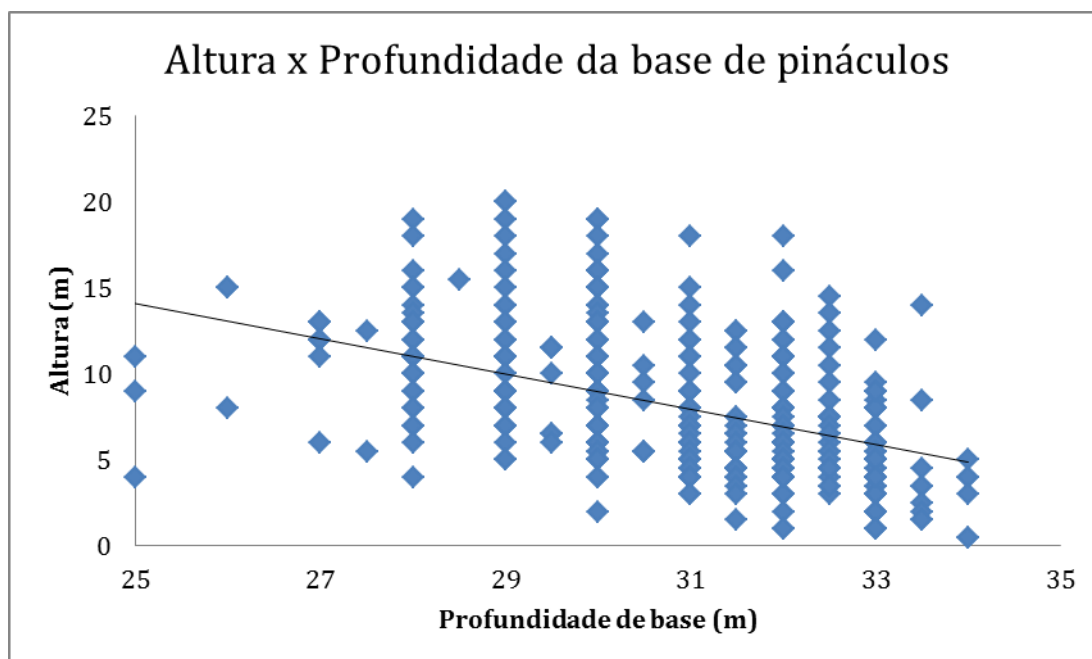


Gráfico 4: Relação entre as alturas e profundidade de base dos diferentes pináculos medidos na região dos Recife Califórnia.

3.3.3 Bancos recifais submersos

Os bancos recifais também estão distribuídos em toda a área de estudo, porém concentrado em profundidades de base superiores a 30 metros. Foram mapeados 421 bancos recifais de diversos tamanhos e padrões de rugosidade em que foram medidas as áreas superficiais médias e a área total dessas estruturas (Figura 18-19). Os bancos apresentam área superficial média de $8.608,8 \text{ m}^2$ ($DP = 23.660,6 \text{ m}^2$), o alto desvio padrão indica uma alta variabilidade dos valores de área superficial. Foram identificados X bancos recifais que possuem pináculos no seu topo, geralmente esses pináculos foram encontrados na borda dos bancos.

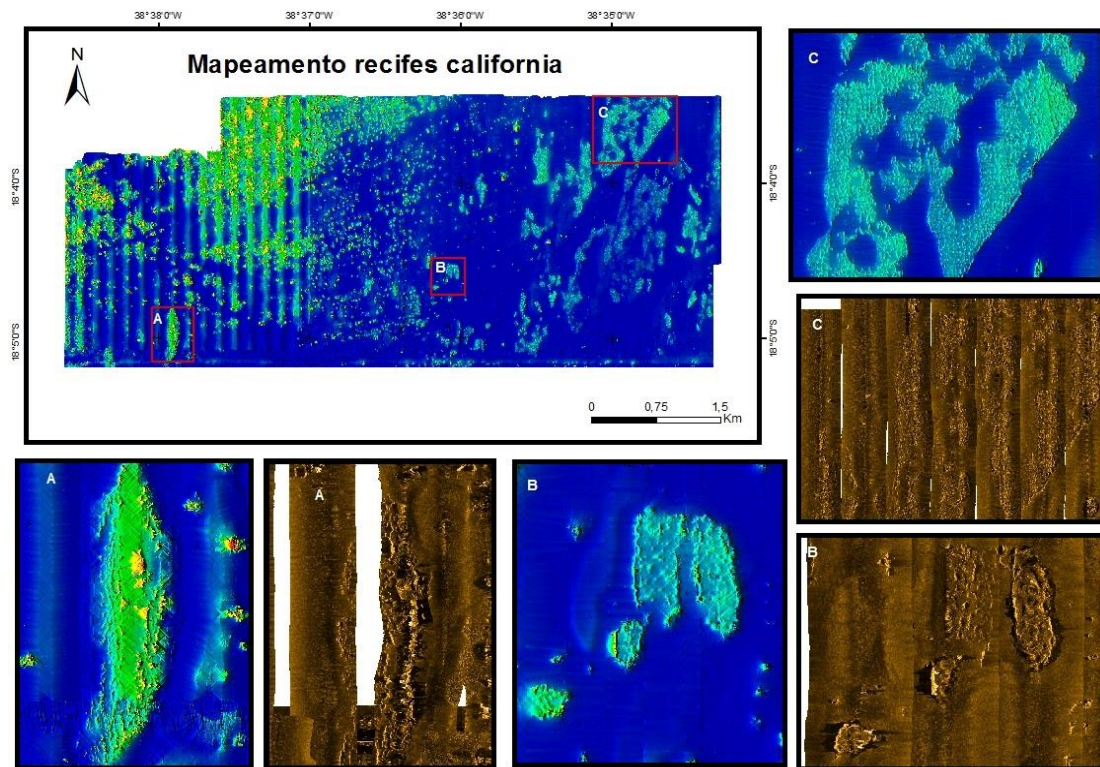


Figura 18: Morfologia de Bancos recifais mapeados na região dos Recifes Califórnia. A figura (a) mostram bancos de alto relevo com pináculos no topo. (b) e (c) são bancos de baixo relevo mapeados na região dos recifes Califórnia. (A) (B) e (C) apresentam dados de batimetria multifeixe; (A') (B') e (C') apresentam dados de sonar de varredura lateral.

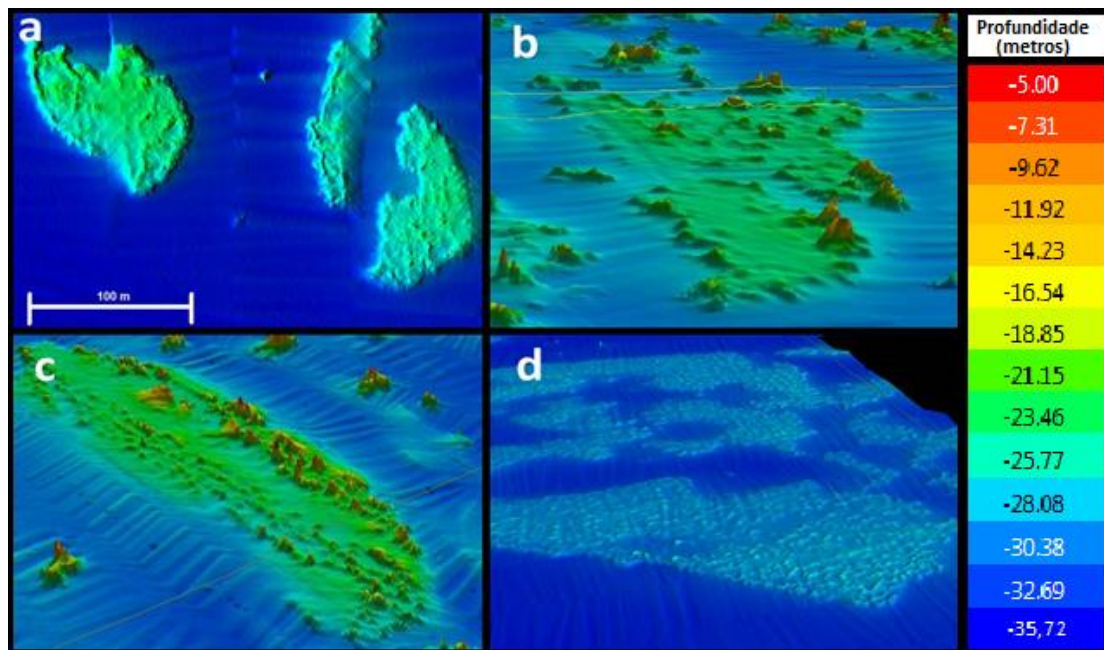


Figura 19: Morfologia dos bancos recifais mapeados na região dos Recifes Califórnia com batimetria multifeixe. (a) pequenos bancos de baixo relevo. (b) e (c) bancos recifais com pináculos no topo. (d) extensos bancos de baixo relevo

Foram medidas as profundidades de base, topo e altura de 224 bancos. O gráfico 6 apresenta a relação entre a altura e a área superficial dos bancos submersos. A regressão foi significativa ($p < 0,01$) e os bancos não apresentam relação entre altura e área superficial ($R^2=0,0203$). Pode-se observar alguns bancos com área superficial menores que 1900 m^2 , apesar de apresentarem pequena área superficial, essas estruturas apresentam características morfológicas de bancos, com baixa rugosidade nos registros sonográficos e sem uma morfologia circular.

Os bancos possuem grandes áreas superficiais, porém não são contínuos, foram encontradas estruturas recifais intercaladas de sedimentos inter-recifal. No topo desses bancos podem ser encontrados pequenos pináculos/cabeços, essas estruturas são pequenas, com cerca de 1 metro de altura.

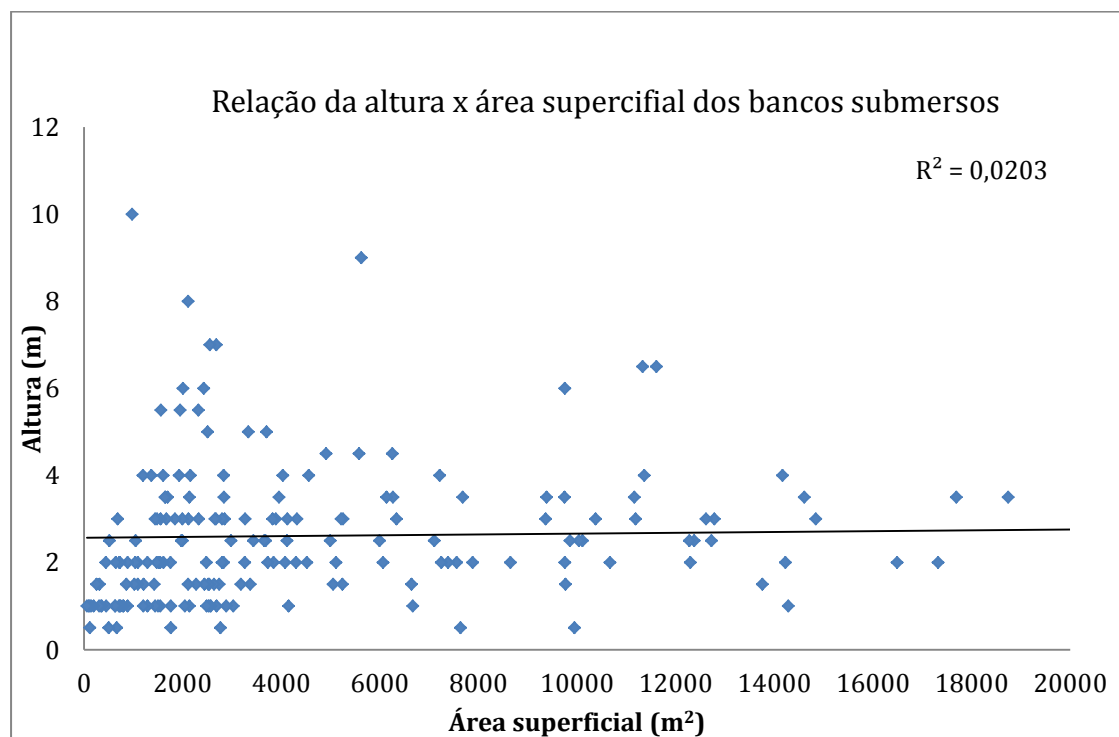


Gráfico 5: Relação entre a altura e áreas superficiais de Bancos submersos na região dos Recifes Califórnia.

O gráfico 7 apresenta a relação entre a altura e a profundidade de base dos bancos submersos, os bancos não apresentam uma clara relação entre altura e área superficial nas diferentes profundidades foram mapeados bancos de baixo relevo e bancos de alto relevo.

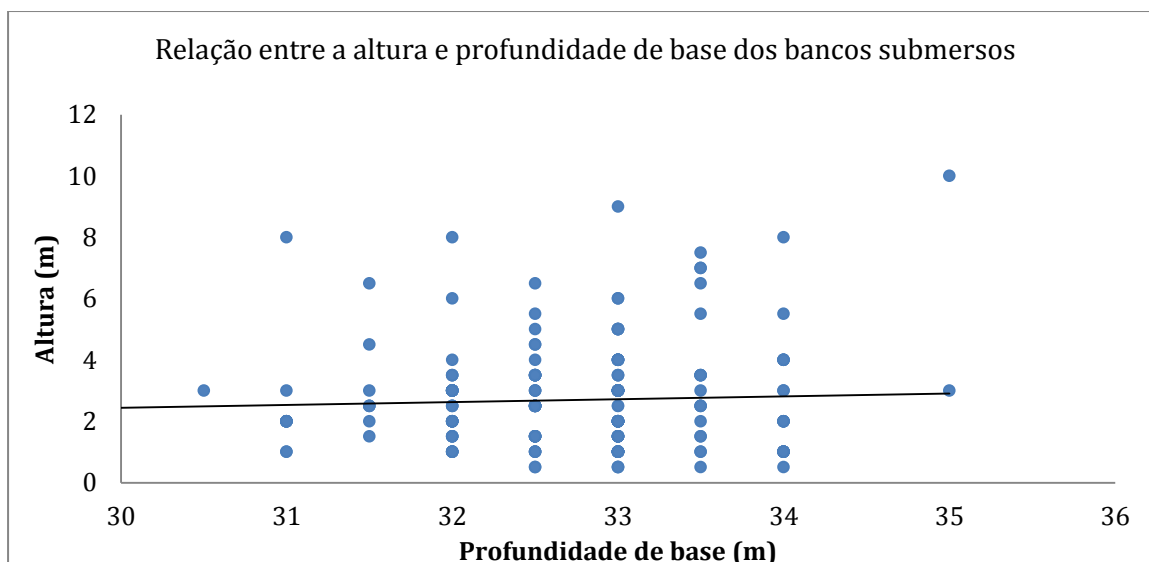


Gráfico 6: Relação entre a altura e a profundidade de base dos Bancos submersos dos Recifes Califórnia.

4. DISCUSSÃO

4.1 Morfologia Recifal: Um modelo de distribuição espacial para Abrolhos

A Plataforma de Abrolhos apresenta características únicas entre as plataformas carbonáticas do mundo. Primeiramente porque é uma plataforma aberta, não sendo tipicamente em rampa e não apresenta estruturas recifais modernas na quebra da plataforma. Alguns trabalhos relatam a presença de estruturas recifais ao longo da quebra de plataforma no Brasil, incluindo a região da foz do rio Amazonas (Collette e Rutzler, 1977; Cordeiro et. al., 2015; Moura et. al., 2016), plataforma do Rio Grande do Norte, Paraíba (Rocha et. Al., 2000) e Bahia (Kikuchi e Leão, 1998). Esses complexos recifais seriam formados principalmente por esponjas e algas calcárias e é possível que sejam contínuos em boa parte da costa brasileira (Rocha et. Al., 2000). É possível que a Plataforma de Abrolhos apresente recifes de borda de Plataforma, porém diferentemente de outras plataformas do mundo, esses recifes de borda não apresentariam grande complexidade estrutural e seriam recifes de baixo relevo de até 4 metros (Kikuchi e Leão 1998). A ocorrência de recifes de borda de plataforma na margem brasileira, incluindo Abrolhos, seria de recifes afogados.

A morfologia das áreas recifais de Abrolhos é descrita por Leão e Ginsburg (1997) e Leão e Kikuchi (1998). Estes autores descrevem um modelo recifal da Plataforma de Abrolhos baseado na morfologia e distribuição dos recifes emersos. Um arco recifal interno, a cerca de 10-20 km de distância da costa é formado por pináculos isolados e bancos recifais extensos, quase paralelos a linha de costa formando os parcéis de Abrolhos (Nova Viçosa, Coroa Vermelha, Sebastião Gomes, Paredes). Estes mesmos autores argumentam que estes parcéis ou bancos recifais são formados pela coalescência de pináculos/chapeirões que crescem lateralmente. A cerca de 70 km da costa ocorre o arco recifal externo, conhecido como Parcel dos Abrolhos, formado por pináculos isolados com até 25 m de altura. Completando a ocorrência de tipos recifais em Abrolhos, os autores ainda descrevem recifes em franja na região do arquipélago (Leão e Ginsburg, 1997; Leão e Kikuchi, 1998).

Moura et. al. (2013) já haviam apontado para o fato de que a distribuição recifal em Abrolhos seria muito maior do que era descrito até então. Esta grande diferença de cobertura de área recifal em Abrolhos foi função do mapeamento da ocorrência e distribuição de recifes submersos. Os resultados aqui apresentados detalham este modelo de distribuição de tipos morfológicos de recifes em Abrolhos, ao incluir os tipos de recifes submersos e sua distribuição espacial (Figura 20).

A distribuição dos recifes, a partir da costa começa com os parcéis do arco interno, formado por grandes pináculos, em que seus topos podem coalescer formando os extensos bancos recifais de alto relevo emersos. Na região do Canal dos Abrolhos há a maior concentração de pináculos e bancos recifais de alto relevo encontrados na plataforma de Abrolhos. Esses bancos possuem grande rugosidade e altura, o que pode indicar que também sejam formados pela coalescência de pináculos. A região do Canal dos Abrolhos apresentou os maiores valores de áreas superficiais e concentração de Pináculos. Leite (2015) descreveu pináculos com profundidades de base variando entre 18 e 24 metros. O topo desses pináculos está entre 8 e 13 metros. O arco externo é constituído de pináculos gigantes isolados que podem atingir a superfície nas marés mais baixas na região do Parcel dos Abrolhos, conforme descrito por Leão e Ginsburg

(1997). A partir do Parcel dos Abrolhos em direção offshore ainda se observa pináculos com alto relevo (>10m) na região conhecida como Recife Califórnia. Nesta área foram mapeados pináculos dos mais diferentes tamanhos, desde pequenas estruturas com apenas 2 metros de altura até grandes recifes que podem atingir 20 metros. Com o aumento da profundidade, os pináculos se tornam mais espaçados e observa-se uma mudança na sua morfologia, perdendo a forma cogumelar que caracteriza o chapeirão. Esses recifes possivelmente não atingiram o NRM e, conseqüentemente, não expandiram o seu topo lateralmente. Esta região marca uma transição entre os pináculos bem desenvolvidos, de alto relevo, para recifes de baixo relevo. Vale destacar que mapeando o topo dos pináculos, observou-se que as áreas de topo tendem a diminuir com o aumento da distância da costa. Isso pode ser função deles serem relativamente menores, quando comparados com pináculos mais próximos da costa, mas também pode indicar uma mudança morfológica nas estruturas apresentando o formato colunar. Diferentemente dos pináculos emersos, os submersos não apresentam alinhamento, sendo encontrados dispersos ao longo da plataforma.

A partir dos 30 metros de profundidade, os bancos recifais de baixo relevo tornam-se a principal estrutura recifal da plataforma. Pináculos e bancos recifais de baixo relevo representam boa parte da plataforma média e começam a ocorrer de forma intercalada com fundos de rodolitos (Moura, et. al., 2013). Estes bancos podem ser descritos como recifes mesofóticos considerando que estão em profundidades superiores a 30m. Moura et.al., (2013) descrevem estes recifes mesofóticos de Abrolhos com pouca ou nenhuma biomineralização por corais. Esses recifes seriam formados principalmente por algas calcárias, macroalgas e esponjas (Moura et. Al., 2013). Os bancos de baixo relevo são estruturas com grandes áreas superficiais, podendo atingir centenas de m²s. O mapeamento detalhado e contínuo (100% de cobertura) nos Recifes Califórnia indica que os bancos possuem uma orientação Nordeste-Sudoeste (Figura 23), assim como os arcos internos e externos, acompanhando a direção prioritária de ventos e correntes do Banco dos Abrolhos (Teixeira, et. al., 2013).

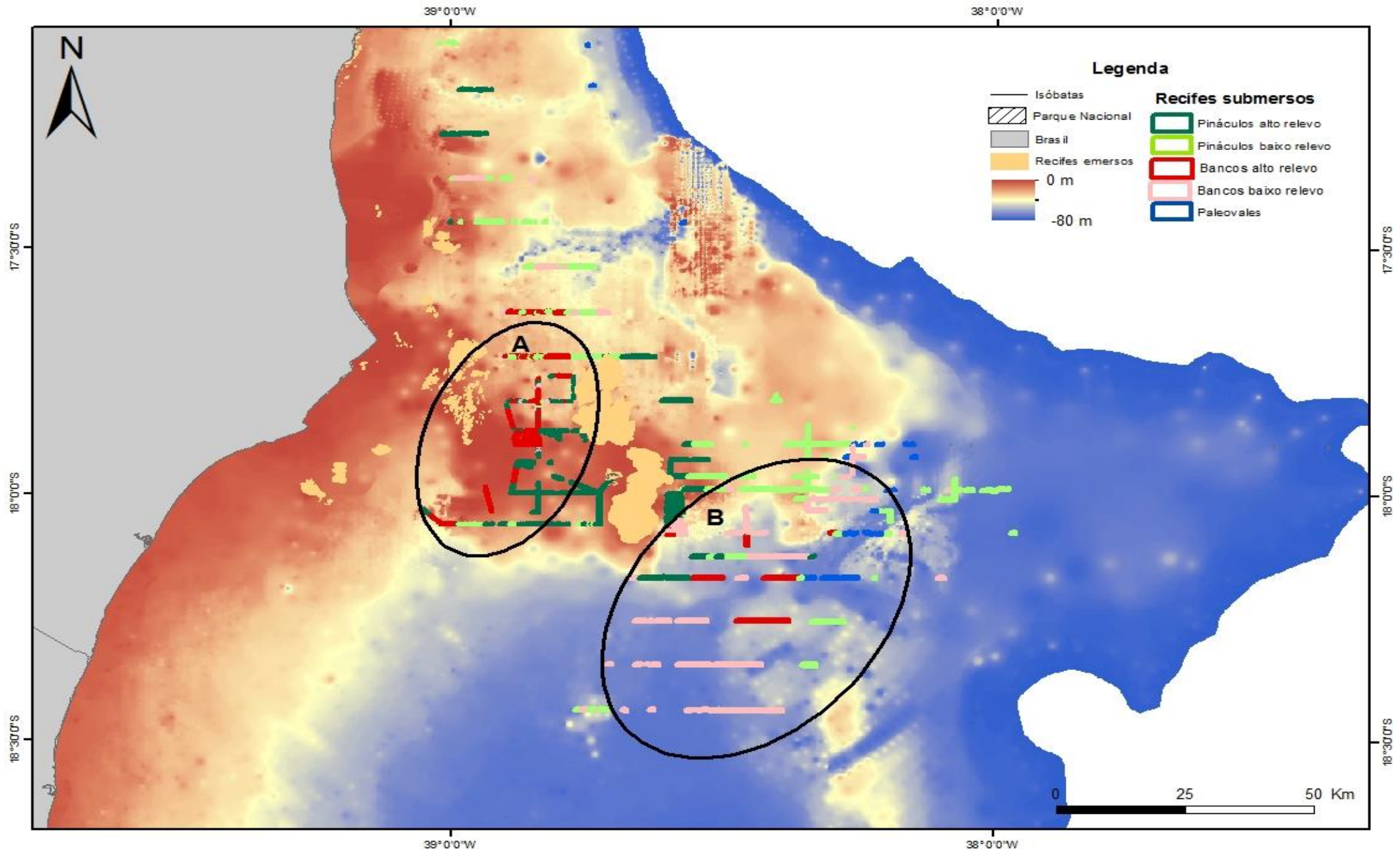


Figura 20: Distribuição espacial dos recifes submersos de Abrolhos sob a batimetria da Plataforma de Abrolhos. A região (A) corresponde ao Canal dos Abrolhos aonde os recifes são bem desenvolvidos e concentrados. A região (B) está associada a depressão de Abrolhos e a borda de canais que levam à Depressão.

Além disso, são encontrados recifes associados aos diversos paleovales incisos observados na região. A Figura 21 apresenta um modelo recifal simplificado da Plataforma de Abrolhos, incluindo recifes emersos e submersos.

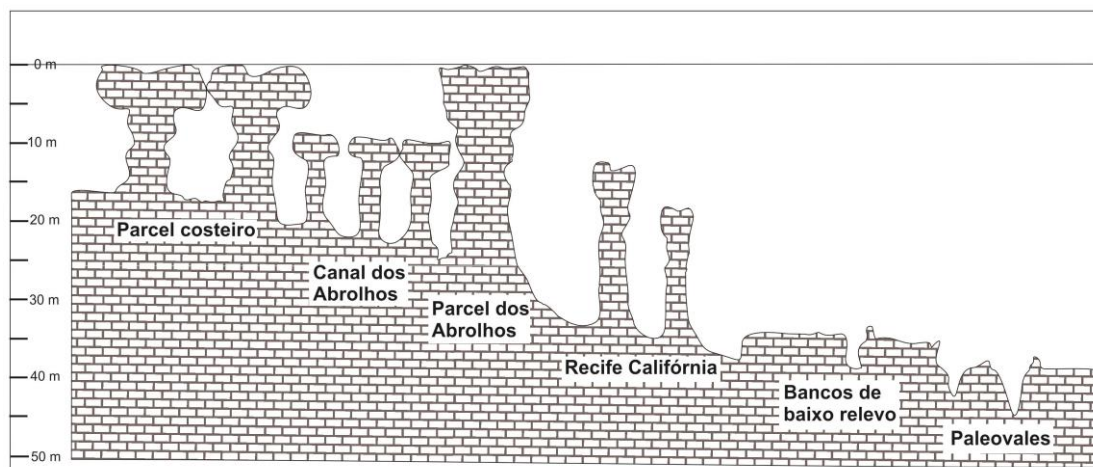


Figura 21: Modelo recifal clássico da Plataforma de Abrolhos. Os arcos internos e externos foram descritos por Leão e Ginsburg (1997), o arco interno é constituído de pináculos emersos que podem coalescer formando extensos bancos recifais. A região do Canal dos Abrolhos apresenta uma grande concentração de recifes submersos com pináculos e bancos recifais de alto relevo. O arco externo é constituído de pináculos gigantes que atingem a superfície nas marés mais baixas. A região dos recifes Califórnia é uma região de transição entre recifes de alto relevo e baixo relevo. A partir dos 30 metros predominam bancos recifais de baixo relevo. A partir dos 40 metros aparecem os paleovales como uma importante feição recifal.

4.2 A distribuição recifal e a variação relativa do nível do mar

O modelo de distribuição dos tipos morfológicos de recifes descrito acima mostra claramente que existe uma compartimentação de tipos recifais ao longo do gradiente morfológico. Dentre os tipos morfológicos descritos neste trabalho, podemos destacar o grande contraste de bancos recifais no arco interno e canal dos Abrolhos com os bancos recifais mesofóticos (baixo relevo) dominando a partir dos 30m de profundidade, e a variação da morfologia dos pináculos, conhecidos por sua forma cogumelar nas áreas mais rasas, passando para uma forma colunar. Estes contrastes morfológicos apontam para um possível condicionamento associado ao processo evolutivo e de afogamento da plataforma continental de Abrolhos após o último máximo glacial.

A Plataforma de Abrolhos esteve exposta há cerca de 20.000 anos AP., quando o NRM esteve 120 metros abaixo do atual. Com o início da última transgressão

marinha a plataforma foi sendo progressivamente afogada (Vicalvi et al, 1978) o que favoreceu o desenvolvimento carbonático na plataforma externa sob uma superfície kárstica pleistocênica (D'Agostinni et al., 2015). Curvas globais de variações do NRM na última transgressão marinha indicam uma rápida subida do NRM até cerca de 7.600 anos AP. Mesmo durante esse são identificados pulsos de rápida subida do NRM e fases de estabilizações. Esses pulsos de rápida subida são os principais agentes responsáveis pelo afogamento dos recifes no Holoceno (Fairbanks, 1989; Blanchon and Shaw, 1995). Os pulsos mais conhecidos são os Meltwater pulse 1A e 1B . Usando a curva proposta por Lambeck et al. (2014) podemos observar que após o Meltwater Pulse 1B, existe uma estabilização do NRM em torno de 25-30m (Figura 22). Em Abrolhos, Vicalvi et al. (1978), através de um testemunho coletado na Depressão de Abrolhos, observou uma mudança na sedimentação de terrígena para carbonática que ocorreu entre 10,3 a 8,2 mil anos AP. O total afogamento da Depressão se deu quando o nível do mar atingiu 30 metros (Vicalvi et al., 1978).

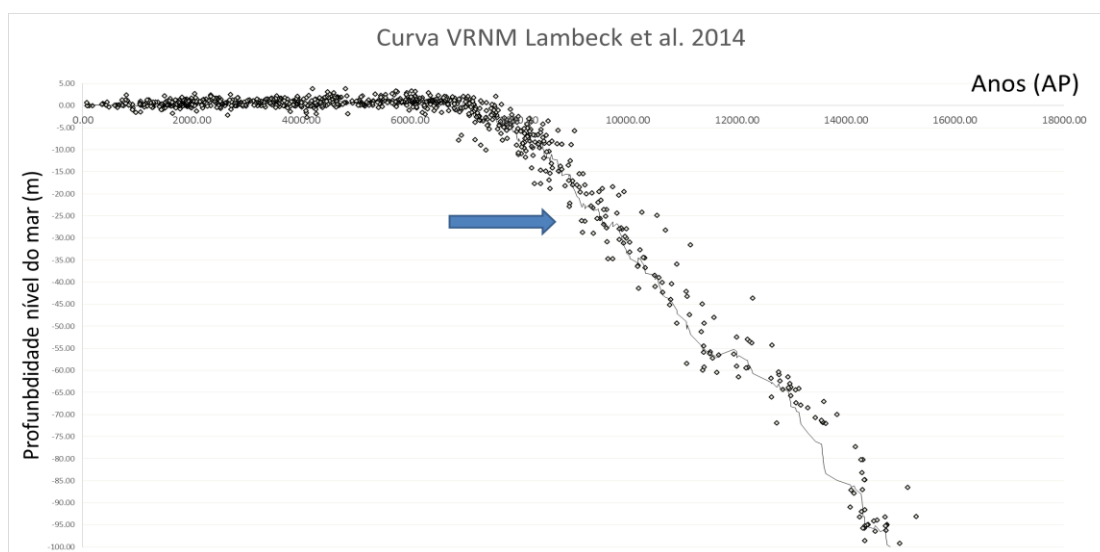


Figura 22: Curva de variações do NRM proposta por Lambeck, et. al., (2014).

Os bancos submersos de baixo relevo estão distribuídos “*offshore*” do Parcel dos Abrolhos, onde a profundidade é superior a 30m, sendo que neste estudo chegou a mapear recifes de baixo relevo em até 45m de profundidade. Os bancos estão localizados principalmente no fundo de canais que levam à depressão de Abrolhos ou em bordas, conforme mostra a Figura 20. A sua morfologia rasa indica que não foram formados pela coalescência de pináculos, logo a hipótese

conceitual para a formação destes bancos é distinta do que se descreve para os bancos/parcéis costeiros. Não existem estudos de datação, composição e taxas de crescimento nos bancos mesofóticos de Abrolhos, mas baseado na morfologia e distribuição dos bancos de baixo relevo podemos sugerir duas hipóteses para sua formação: i) Os bancos foram formados em condições de NRM mais baixo que o atual e com a rápida subida do NRM esses recifes cessaram o seu crescimento vertical e tornaram-se recifes afogados; considerando a sua distribuição e orientação (Figura 23), os mesmos podem ter sido recifes de franja de uma paleolinha de costa ou terraços recifais rasos desenvolvidos durante uma estabilização do NRM; Bastos et al. (2015) apontam que ao longo de toda a plataforma leste brasileira, a isóbata de 30m parece indicar um nível de estabilização do NRM durante a transgressão. ii) Esses bancos correspondem a “*hardground*” pleistocênicos que, com o afogamento da plataforma foram preservados e recobertos por espécies recifais construtoras e estão se desenvolvendo atualmente com uma comunidade bêntica mesofótica. Como estão em profundidades mesofóticas é possível que esses recifes possuam baixa taxa de crescimento vertical ou até mesmo estejam em processo erosivo. Foram realizados dois mergulhos nos bancos de baixo relevo na região do Recife Califórnia que indicam uma baixa cobertura de corais construtores no topo dos recifes (Figura 23). Os bancos são intercalados com sedimentos inter-recifal e do topo surgem pequenos pináculos “cabeços” que possuem grande diversidade de espécies bentônicas. A figura 23 apresenta dois perfis detalhados da região dos bancos.

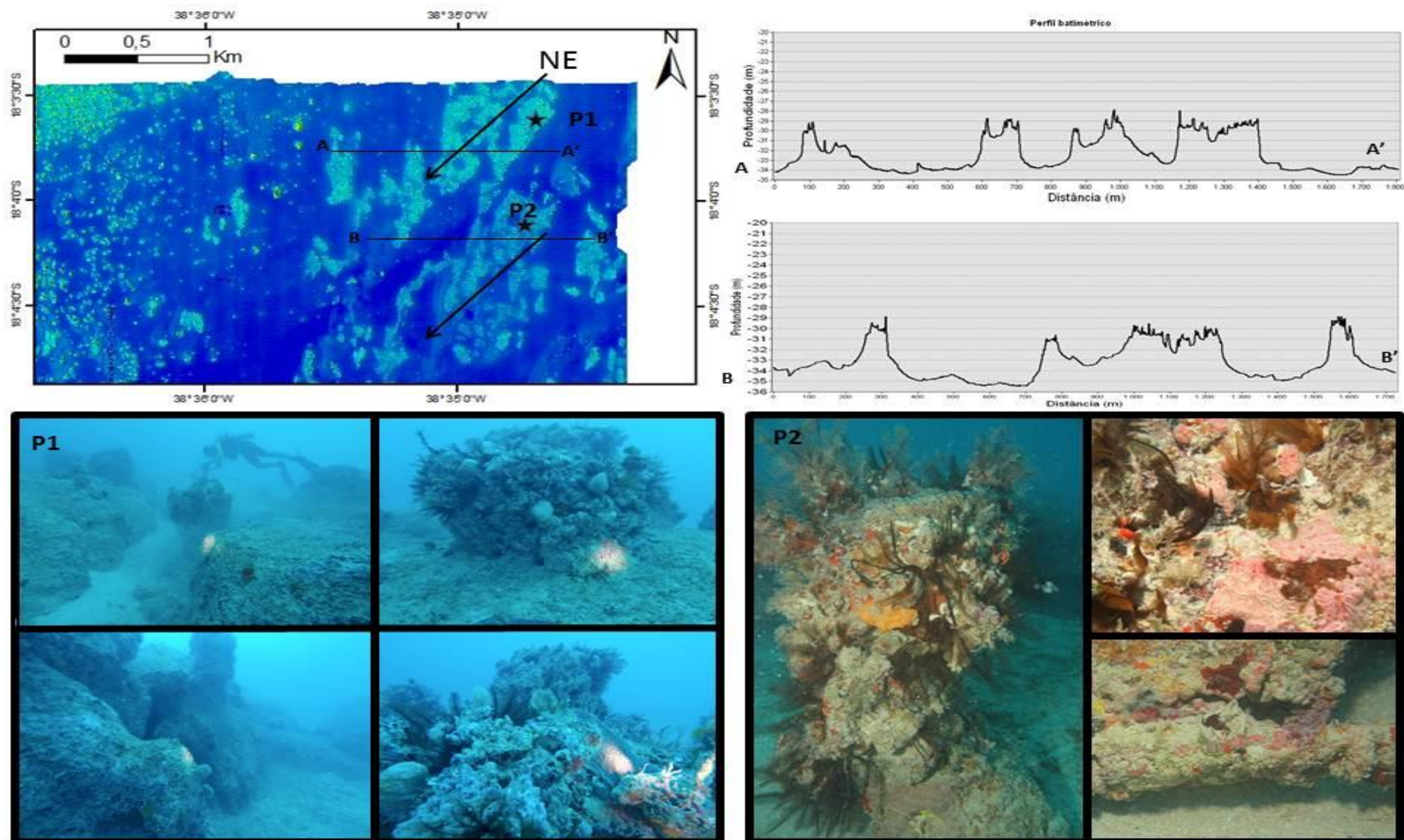


Figura 23: Bancos de baixo relevo mapeados no Recife Califórnia. O mapeamento contínuo indica uma orientação Nordeste dos bancos. Os perfis batimétricos (A-A' e B-B') indicam a morfologia dos bancos com extensas áreas superficiais de topo e pequenos pináculos no seu topo. Nos pontos 1 e 2 foram realizada filmagens panorâmicas para avaliar de forma qualitativa a cobertura bentônica nesses recifes. Fotos (P1) Lucas Cabral Lage Ferreira; Fotos (P2) Dilson Cajueiro, ZÁ.

Em termos da variação morfológica dos pináculos, a hipótese de que a forma cogumelar do chapeirão represente o limite de crescimento vertical dos recifes, produzindo então uma acresção lateral do mesmo, é usada para explicar os contrastes observados no gradiente de profundidade.

Os pináculos do Recife Califórnia estão próximos dos pináculos emersos do Arco externo. Os pináculos do PAB, que formam chapeirões, apresentam alta taxa de crescimento (de 2,5 metros a cada 1000 anos) (Vieira, 2015) e uma grande cobertura de corais escleractíneos na sua composição (Francini Filho et al., 2013). Os pináculos do tipo chapeirão também apresentam diferenças marcantes comunidade bentônica que habita o topo e as paredes dos recifes. O topo dos pináculos possuem alta cobertura de corais escleractíneos enquanto que a parede apresenta além de corais, alta cobertura de esponjas, ascídeas, octocorais, briozoários e algas calcárias (Francini Filho et al., 2013).

Por outro lado, os pináculos que estão em profundidades intermediárias (com topos que variam de 15 a 25 metros) não apresentam a mesma morfologia de topo que vemos nos chapeirões e ainda possuem baixa taxa de crescimento vertical (1,3 metros a cada mil anos) e uma baixa cobertura de corais escleractíneos (Francini-Filho et. al., 2013). Em maiores profundidades corais construtores podem se desenvolver, porém com pouca acresção vertical, de forma geral as taxas de crescimento vertical tendem a diminuir com o aumento da profundidade (Montaggioni, et. al., 2005; Woodroffe and Webster, 2014). Sendo assim, fica a indicação de que os pináculos do Recife Califórnia possivelmente não atingiram a superfície a ponto de estarem limitados de crescimento vertical. Embora as taxas sejam menores do que em regiões rasas e recifes emersos, os resultados de Vieira (2015) mostram que estes recifes têm acresção vertical. O que foi observado aqui é que a morfologia é distinta. É plausível que com a rápida subida do nível do mar a partir de 8 mil anos AP, estes pináculos puderam se desenvolver a taxas mais baixas, com pouco ou sem crescimento lateral do topo.

Nos últimos 8000 anos as taxas de variações do NRM foram pequenas e o NRM passou a sofrer pequenas oscilações (Martin, et. al., 1985), o que favoreceu o

desenvolvimento recifal na plataforma interna e nas regiões mais rasas. Leão e Ginsburg (1997) afirmam que o desenvolvimento dos recifes modernos se iniciou a partir dos 8000 anos AP, quando a plataforma de Abrolhos foi totalmente afogada. Esses recifes cresceram em uma média de 3,7 m/1000 anos, A partir dos últimos 5000 anos os recifes emersos atingiram a fase clímax no seu desenvolvimento, enquanto que os recifes da plataforma externa foram totalmente afogados e se deu o desenvolvimento dos extensos bancos de rodolitos na plataforma externa (Amado-Filho et. al., 2012).

4.3 Importância para a conservação

O Parque Nacional Marinho foi criado em 1983 e foi o primeiro Parque Nacional Marinho do Brasil. Quando o Parque foi criado o conhecimento a respeito dos recifes era restrito aos arcos de recifes emersos. Foram criados dois polígono, um na região do arco interno e outro ao redor do Parcel dos Abrolhos e das ilhas do Arquipélago de Abrolhos. Em 2012 foi realizada pelo Instituto Chico Mendes de conservação da Biodiversidade (ICMBio) uma proposta de ampliação do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, mas a proposta não seguiu adiante. Atualmente está sendo discutida novamente a ampliação do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos.

Com uma relevante importância no cenário mundial, os recifes de Abrolhos vêm sofrendo muito com pressões antrópicas, tais como, a alta sedimentação, turismo excessivo, poluição dos ambientes, eutrofização e disseminação de doenças (Dutra et al, 2006; Spano et al. 2008; Segal & Castro, 2011; Francini-Filho et al., 2008). Estudos indicam que os ecossistemas de recifes mesofóticos (MCE, sigla em Inglês) podem servir de refúgio ou serem colonizados por organismos marinhos (peixes, invertebrados e algas) de recifes de águas rasas quando esse último ambiente sofre com atividades antrópicas (Glynn 1996; Armstrong *et al.* 2006). Os MCEs podem ser importantes na recuperação e restauração dos recifes rasos (Puglise *et al.* 2008; Lesser *et al.* 2009).

Em alguns lugares do mundo são encontrados picos de diversidade de espécies de corais entre 15 e 30 metros (Burns, 1985; Huston, 1985; Cornell and Karlson, 2000) e de peixes recifais ao redor dos 30 metros (Cappo et al., 2007, Brockovich et al., 2008). Em Abrolhos, não se tem conhecimento quanto à ecologia ou a

capacidade dos recifes profundos servirem de refugio ou serem colonizados por espécies de águas rasas ou espécies ameaçadas. Recifes mais profundos possuem a coluna d'água como um “amortecedor” dos impactos gerados pelo aquecimento global e acidificação dos oceanos, podendo ser importantes na restauração e resiliência dos recifes mais rasos, quando esses se encontram degradados. Aqui nesse trabalho apresentamos de forma inédita e detalhada a morfologia e distribuição dos recifes submersos de Abrolhos, contribuindo para o conhecimento integrado dos diferentes habitats presentes na Plataforma de Abrolhos. A partir daqui é preciso avaliar as espécies que habitam esses recifes e compreender o papel ecológico desses recifes para o ambiente recifal de Abrolhos.

5. Conclusão

Este trabalho trás de forma inédita a distribuição e morfologia dos recifes da Plataforma de Abrolhos. A Plataforma de Abrolhos apresenta características únicas no mundo não se encaixando nos modelos clássicos de plataformas carbonáticas. A mudança na morfologia dos recifes submersos de alto relevo para baixo relevo, ocorre entre a isóbata de 30 e 30 metros, e aponta para um possível condicionamento relacionado com o afogamento da plataforma continental de Abrolhos na última grande transgressão marinha. A região entre 20 e 30 metros é a região. Apresentamos aqui o modelo de distribuição dos recifes da plataforma de Abrolhos integrando a distribuição e morfologia dos recifes emersos e submersos. Os bancos de baixo relevo é a principal feição recifal mesofótica da Plataforma de Abrolhos e não há estudo da comunidade e do papel ecológico que essas estruturas exercem no complexo recifal de Abrolhos. Os recifes submersos do Canal dos Abrolhos são bem desenvolvidos e concentrados, sendo essa uma importante área do complexo recifal de Abrolhos por conectar os dois arcos de recifes emersos. A partir desse trabalho é preciso avaliar importância dos recifes submersos de Abrolhos para o complexo recifal de Abrolhos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abbey, E., Webster, J.M. and Beaman, R.J., (2011). **Geomorphology of submerged reefs on the shelf edge of the Great Barrier Reef: The influence of oscillating Pleistocene sea-levels**: Marine Geology, v. 288, pp. 61–78
2. Amado-Filho, G.M., Moura, R.L., Bastos, A.C., Salgado, L.T., Sumida, P.Y., Guth, A.Z., Francini-Filho, R.B., Pereira-Filho, G.H., Abrantes, D.P., Brasileiro, P.S., 2012. **Rhodolith beds are major CaCO₃ bio-factories in the tropical south west Atlantic**. PloS ONE 7, e35171.
3. Armstrong R. A. , Singh H., Torres J., Nemeth R. S., Can A., Roman C., Eustice R., Riggs L., Garcia-Moliner G. (2006). **Characterizing the deep insular shelf coral reef habitat of the Hind Bank Marine Conservation District (US Virgin Islands) using the Sea bed autonomous underwater vehicle**. Continental Shelf Research
4. Banks, K., Riegl, B., Shinn, E., Piller, W., Dodge, R., 2007. **Geomorphology of the Southeast Florida continental reef tract (Miami-Dade, Broward, and Palm Beach Counties, USA)**. Coral Reefs 26, 617–633
5. Bard, E., Hamelin, B., Arnold, M., Montaggioni, L.F., Cabioch, G., Faure, G., Rougerie, F., 1996. **Deglacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global meltwater discharge**. Nature 382, 241–244.
6. Bastos A. C., Moura R.L., Amado-Filho G. M., D'Agostini D. P., Secchin N. A., Francini-Filho R. B., Guth A. Z., Sumida P.Y., Mahiques M., Thompson F. L. (2013). **Novel and unusual sinkhole-like reef structures in the Abrolhos Bank**. Continental Shelf Research
7. Bastos, A. C.; Quaresma, V. S.; Marangoni, M. B.; D'Agostini, D. P.; Bourguignon, S. N.; Cetto, P. H.; Silva, A. E.; Amado-Filho, G. M.; Moura, R. L.; Collins, M.: **Shelf morphology as an indicator of sedimentary regimes: A synthesis from a mixed siliciclastic-carbonate shelf on the eastern Brazilian margin**, Journal of South American Earth Sciences, Vol. 63, Nov. 2015, PP: 125-136, ISSN 08959811, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2015.07.003>.
8. Beaman, R.J., Webster, J.M., Wüst, R.A.J., 2008. **New evidence for**

- drowned shelf edge reefs in the Great Barrier Reef, Australia.** *Marine Geology* 247, 17–34
9. Blanchon, P., Shaw, J., 1995. **Reef drowning during the last deglaciation: evidence for catastrophic sea-level rise and ice-sheet collapse.** *Geology* 23, 4–8.
 10. Brockovich E., Einbinder S., Shashar N., Kiflawi M., Kark S.. **Descending to the twilight zone: changes in coral reef fish assemblages along a depth gradient down to 65 m,** *Marine Ecology Progress Series* , 2008, vol. 371 (pg. 253-262)
 11. Burns, T. P. **Hard-coral distribution and cold-water disturbances in South Florida: variation with depth and location,** *Coral Reefs*, 1985, vol. 4 (pg. 117 - 124)
 12. Cappo, M.; De'ath, G., Speare, P: **Inter-reef vertebrate communities of the Great Barrier Reef Marine Park determined by baited remote underwater video stations,** *Marine Ecology Progress Series* , 2007, vol. 350 (pg. 209-221)
 13. Camoin, G.F., Seard, C., Deschamps, P., Webster, J.M., Abbey, E., Braga, J.C., Iryu, Y., Durand, N., Bard, E., Hamelin, B., Yokoyama, Y., Thomas, A.L., Henderson, G.M., Dussouillez, P., 2012. **Reef response to sea-level and environmental changes during the last deglaciation: Integrated Ocean Drilling Program Expedition 310, Tahiti sea level.** *Geology* 40, 643–646. <http://dx.doi.org/10.1130/G32057.1>.
 14. Collette, B. B.; Rützler, K.: **Reef fishes over sponge bottoms off the mouth of the Amazon river.** Proceedings of the 3rd International Coral Reef Symposium, Miami, FL, (1977) May.
 15. Cordeiro, R. T.S.; Rosa-Filho, J. R.; Pérez, C. D.: **Mesophotic coral ecosystems occur offshore and north of the Amazon River.** *Bull. Mar. Sci.* 91, 491–510 (2015).
 16. Cornell, H. V., Karlson, R. H. **Coral species richness: ecological versus biogeographical influences,** *Coral Reefs*, 19, 2000 (pg. 37-49).
 17. D'Agostini, D.P., Bastos, A.C., dos Reis, A.T., (2015). **The modern mixed carbonate siliciclastic Abrolhos shelf: implications for a mixed depositional model.** *J. Sediment. Res.*85, pp 124–139.

18. Dutra, L. X. C.; Kikuchi, R. K. P. & Leão, Z. M. A. N. (2006) **Effects of sediment accumulation on reef corals from Abrolhos, Bahia, Brazil.** *Journal of Coastal Research*, SI 39 (Proceedings of the 8 International Coastal Symposium): 633-638
19. Fairbanks, R.G., 1989. **A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation.** *Nature* 342, 637–642.
20. Fairbanks, R. G., Mortlock, R. A., Chiu, T.-C., Cao, L., Kaplan, A., Guilderson, T. P., Fairbanks, T. W., Bloom, A. L., Grootes, P. M., and Nadeau, M.-J., 2005. **Radiocarbon Calibration Curve Spanning 0 to 50,000 Years B.P. Based on Paired $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ and ^{14}C Dates on Pristine Corals.** *Quaternary Science Reviews* 24, 1781-1796.
21. Ferreira, L. C. L. (2013). **Caracterização geomorfológica dos recifes submersos da porção centro-norte do Banco dos Abrolhos (Bahia-Brasil).** Monografia em Oceanografia, UFES.
22. Francini-Filho R. B, Coni E. O. C.; Meirelles P. M, Amado-Filho G. M, Thompson F. L, et al. (2013) **Dynamics of Coral Reef Benthic Assemblages of the Abrolhos Bank, Eastern Brazil: Inferences on Natural and Anthropogenic Drivers.** *PLoS ONE* 8(1): e54260. doi:10.1371/journal.pone.0054260
23. Gischler, E. & Hudson, J. H. (1998) **Holocene development of three isolated carbonate platforms, Belize, Central America.** *Marine Geology*, 144: 333-347
24. Glynn, P. W. (1996) **Coral reef bleaching: facts, hypotheses and implications.** *Global Chang Biol* 2:495–509
25. Harris, P.T., Davies, P.J., 1989. **Submerged reefs and terraces on the shelf edge of the Great Barrier Reef, Australia—morphology, occurrence and implications for reef evolution.** *Coral Reefs* 8, 87–98.
26. Harris, P. T.; Davies, P. J. & Marshall, J. F. (1990) **Late Quaternary sedimentation on the Great Barrier Reef continental shelf and slope east of Townsville, Australia.** *Marine Geology*, 94: 55-78

27. Harris, P.T., Heap, A.D., Wassenberg, T., Passlow, V., 2004. **Submerged coral reefs in the Gulf of Carpentaria, Australia.** *Marine Geology* 207, 185–191.
28. Harris, P.T., Heap, A.D., Marshall, J.F., McCulloch, M.T., 2008. **A new coral reef province in the Gulf of Carpentaria, Australia: colonisation, growth and submergence during the early Holocene.** *Marine Geology* 251, 85–97
29. Hartt, C.F. (1870). **Geology and Physical Geography of Brazil.** Boston, Fields, Osgood and Co., Boston. 620 p.
30. Hine, A.C., Steinmetz, J.C., 1984. Cay Sal Bank — a partially drowned carbonate platform. *Mar. Geol.* 59, 135–164.
31. Hopley, D., 1982. *The Geomorphology of the Great Barrier Reef: Quaternary Development of Coral Reefs.* Wiley-Interscience, New York.
32. Hopley, D., (1987). **Holocene sea-level changes in Australasia and the southern Pacific.** In: Devoy, R.J.N. (Ed.), *Sea surface studies: A global view.* Croom Helm, London, pp. 375-408.
33. Huston, M. A. **Patterns of species diversity on coral reefs,** *Annual Review of Ecology and Systematic*, 1985, vol.16 (pg. 149-177).
34. Hopley D, Smithers S. G, Parnell K. E (2007) **The Geomorphology of the Great Barrier Reef.** Cambridge University Press, Cambridge, p 532
35. James, N. P. & Ginsburg, R. N. (1978). **The seaward margin of Belize barrier atoll reefs, morphology, sedimentology, organism distribution and late Quaternary history.** *Spec. Publs int. Ass. Sedimentol.*, No. 3.
36. Jarrett, B.D., Hine, A.C., Halley, R.B., Naar, D.F., Locker, S.D., Neumann, A.C., Twichell, D., Hu, C., Donahue, B.T., Jaap, W.C., Palandro, D., Ciembronowicz, K., 2005. **Strange bedfellows—a deep-water hermatypic coral reef superimposed on a drowned barrier island; southern Pulley Ridge, SW Florida platform margin.** *Marine Geology* 214, 295–307.

37. Jones JA. (1977): **Morphology and development of southeastern Florida patch reefs**. Proceedings of third international coral reef symposium, vol. 2; Penang. 1977. pp. 231–235.
38. KIKUCHI, Ruy Kenji Papa de ; LEÃO, Zelinda Margarida de Andrade Nery . **The effects of Holocene sea-level fluctuation on reef development and coral community structure, Northern Bahia, Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências **JCR**, Rio de Janeiro, v. 70, n.2, p. 159-171, 1998.
39. Lambeck, K., Rouby, H., Purcell, A., Sun, Y., Sambridge, M., 2014. **Sea level and global ice volumes from the last glacial maximum to the Holocene**. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 111 (43), 15296–15303)
40. Leão, Z.M.A.N. & Ginsburg, R. (1997). **Living reefs surrounded by siliciclastic sediments: the Abrolhos**. *Coastal reefs, Bahia, Brazil*. Proceeding of the 8th International Coral Reef Symposium, Panamá 2: 1767-1772.
41. Leão, Z. M. A. N. (2002). **O complexo recifal mais extenso do Atlântico Sul**. Sítios Geológicos E Paleontológicos Do Brasil. Brasília: DNPM, p 345-359.
42. Leão, Z. M. A. N.; Kikuchi, R. K. P. & Testa, V. (2003). **Corals and coral reefs of Brazil**. *Coral Reefs*. Elsevier Science, Amsterdam, pp 9-52
43. Leão, Z.M.A.N., e Kikuchi, R.K.P., (2005), **A relic coral fauna threatened by global changes and human activities, Eastern Brazil**: Marine Pollution Bulletin, v. 51, p. 599– 611.
44. Leite, M. D. A. (2015): **Faciologia inter-recifal e geomorfologia dos recifes submerses da Plataforma interna de Abrolhos, Bahia - Brasil**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação Oceanografia Ambiental, UFES.
45. Lesser, M. P. (2009). **Depth-dependent photo acclimatization to solar ultraviolet radiation in the Caribbean coral *Montastraea faveolata***. Marine Ecology Progress Series 192:137-151.
46. MacIntyre, 1972: Submerged reefs of eastern Caribbean. American Association of Petroleum Geologist 56: 720-738
47. Marshall, J.F., 1977. **Marine geology of the Capricorn Channel area**. B.

- M. R. *Journal of Australian Geology and Geophysics Bulletin* 163, 1–81.
48. Martin, L., Dominguez, J.M.L., And Bittencourt, A.C.S.P., 2003, **Fluctuating Holocene sea levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators**. *Journal of Coastal Research*, v. 19, p. 101–124.
49. Melo, U; Summerhaes, C. P. & Ellis, J. P. (1975) **Parte IV: Salvador to Vitória, Southeastern Brazil**. *Contr. Sedimentology*. 4: 78-116
50. Montaggioni, L.F., 2005. **History of Indo-Pacific coral reef systems since the last glaciation: development patterns and controlling factors**. *Earth-Science Reviews* 71, 1–75.
51. Moura, R.L., Secchin, N.A., Amado-Filho, G.M., Francini-Filho, R.B., Freitas, M.O., Minte-Vera, C.V., Teixeira, J.B., Thompson, F.L., Dutra, G.F., Sumida, P.Y.G., Guth, A.Z., Lopes, R.M., and Bastos, A.C., (2013). **Spatial patterns of benthic megahabitats and conservation planning in the Abrolhos Bank**: *Continental Shelf Research*, v. 70, p. 109-117.
52. Moura, R. L.; G. M. Amado-Filho, F. C. Moraes, P. S. Brasileiro, P. S. Salomon, M. M. Mahiques, A. C. Bastos, M. G. Almeida, J. M. Silva Jr., B. F. Araujo, F. P. Brito, T. P. Rangel, B. C. V. Oliveira, R. G. Bahia, R. P. Paranhos, R. J. S. Dias, E. Siegle, A. G. Figueiredo Jr., R. C. Pereira, C. V. Leal, E. Hajdu, N. E. Asp, G. B. Gregoracci, S. Neumann-Leitão, P. L. Yager, R. B. Francini-Filho, A. Fróes, M. Campeão, B. S. Silva, A. P. B. Moreira, L. Oliveira, A. C. Soares, L. Araujo, N. L. Oliveira, J. B. Teixeira, R. A. B. Valle, C. C. Thompson, C. E. Rezende, F. L. Thompson, **An extensive reef system at the Amazon River mouth**. *Sci. Adv.* 2, e1501252 (2016). doi: 10.1126/sciadv.1501252
53. Neumann, A.C., Macintyre, I., 1985. **Reef response to sea level rise: keep-up, catch-up or give-up**. *Proceedings of the 5th International Coral Reef Congress* 3, pp. 105–109.
54. SILVA, Raphael, 2016 **Comunidades coralíneas mesofóticas: Refúgios profundos de biodiversidade?** Monografia, Instituto de Biologia, Departamento de Biologia Marinha , Universidade Federal do Rio de Janeiro
55. Prates, A.P. (2006). **Atlas dos recifes de coral nas unidades de conservação**. 2 ed. Ampliada. Brasília: MMA, SBF.

56. Puglise K. A., Hinderstein L. M., Marr J. C. A., Dowgiallo M. J., Martinez F. A. (2009.)
Mesophotic coral ecosystems research strategy: International workshop to prioritize research and management needs for Mesophotic Coral Ecosystems. Jupiter, Florida.
57. Purdy, E. G., Pusey, W. C. & Wantland, K. F. (1975). **Continental shelf of Belize--regional shelf attributes. In Belize shelf carbonates, sediments, clastic sediments and ecology**, ed. by K. F. Wantland and W. C. Pusey. Am. Ass. Petrol. Geol. Studies in Geology, 2, 1-40.
58. Purdy, E.G. and E. Gischler, 2003, **The Belize margin revisited; 1, Holocene marine facies:** International Journal of Earth Sciences 1999, v. 92/4, p. 532-551.
59. Rao, V.P., Montaggioni, L., Vora, K.H., Almeida, F., Rao, K.M., Rajagopalan, G., 2003. **Significance of relic carbonate deposits along the central and southwestern margin of India for late Quaternary environmental and sea level changes.** Sedimentary Geology 159, 95–111.
60. Rocha LA, Rosa IL, Feitoza BM (2000) **Sponge-dwelling fishes of northeastern Brazil.** *Environmental Biology of Fishes*, **59**, 453–458.
61. Secchin, N. A. (2011) **Mapeamento de Habitats Marinhos na Plataforma dos Abrolhos.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação Oceanografia Ambiental, UFES, 72 pp
62. Segal, B. & Castro, C. B. (2011) **Coral community structure and sedimentation at different distances from the coast of the Abrolhos Bank, Brazil.** *Brazilian Journal of Oceanography*, 59 (2): 119-129.
63. Spano, S., Leão, Z. M. A. N., Kikuchi, R. K. P., **Diagnóstico do estado de conservação dos recifes em franja do Parque Nacional Marinho dos Abrolho.** OLAM Ciência e Tecnologia – Rio Claro/SP. Vol. 8 Nº 2. 2008
64. Teixeira, C. E.P.; Lessa, G. C.; Cirano, M.; Lentini, C. A. D.; **The inner shelf circulation on the Abrolhos Bank, 181S, Brazil.** *Continental Shelf Research*, (2013) .
65. Vecsei, A. 2003. **Systematic yet enigmatic depth distribution of the world's modern warm-water carbonate platforms: the 'depth**

- window'**. Terra Nova, 15: 170–175.
66. Veeh, H.H., Veevers, J.J., 1970. **Sea-level at –175 m off the Great Barrier Reef 13,6000 to 17,000 years ago**. Nature 226, 536–537
67. Vicalvi, M.A., Costa, M.P.A., Kowsmann, R.O., 1978. **Depressao dos Abrolhos: uma paleolaguna Holocênica na plataforma continental leste brasileira**. Bol. Tecnico Petrobras 21 (4), 279e286.
68. Vieira, L. S. (2015) **Registro geológico Holocênico de Recifes Submersos na Plataforma de Abrolhos**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação Oceanografia Ambiental, UFES
69. VORA KH & ALMEIDA F. 1990. Submerged reef systems on the central western continental shelf of India. Mar. Geol., 91: 255-262.
70. Vora, K.H., Wagle, B.G., Veerayya, M., Almeida, F., Karisiddaiah, S.M., 1996. **1300 km long late Pleistocene-Holocene shelf edge barrier reef system along the western continental shelf of India: occurrence and significance**. Marine Geology 134, 145–162
71. Wagle, B.G., Vora, K.H., Karisiddaiah, S.M., Veerayya, M., Almeida, F., 1994. **Holocene submarine terraces on the western continental-shelf of India—implications for sea-level changes**. Marine Geology 117, 207–225.
72. Webster, J.M., Clague, D.A., Riker-Coleman, K., Gallup, C., Braga, J.C., Potts, D., Moore, J.G., Winterer, E.L., Paull, C.K., 2004a. **Drowning of the –150 m reef off Hawaii: a casualty of global meltwater pulse 1A?** Geology 32, 249–252.
73. Webster, J.M., Davies, P.J., Beaman, R.J., Williams, S., Byrne, M., 2008b. **Evolution of drowned shelf edge reefs in the GBR; implications for understanding abrupt climate change, coral reef response and modern deep water benthic habitats— RV Southern Survey—voyage summary**. Marine National Facility, Hobart, Tasmania.
74. Webster, J.M., Braga, J.C., Clague, D.A., Gallup, C., Hein, J.R., Potts, D.C., Renema, W., Riding, R., Riker-Coleman, K., Silver, E., Wallace, L.M., 2009. **Coral reef evolution on rapidly subsiding margins**. Global and Planetary Change 66, 129–148.
75. Woodroffe, C.D., Brooke, B.P., Linklater, M., Kennedy, D.M., Jones, B.G.,

- Buchanan, C., Mleczko, R., Hua, Q.A., Zhao, J.X., 2010. **Response of coral reefs to climate change: expansion and demise of the southernmost Pacific coral reef.** *Geophysical Research Letters* 37.
76. Woodroffe, C. D. & Webster, J. M. (2014). **Coral reefs and sea-level change.** *Marine Geology*, 352 248-267.