



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

NATACHA DE OLIVEIRA

**VALES INCISOS E SEU PAPEL COMO RECIFES
MESOFÓTICOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL
DO ESPÍRITO SANTO**

VITÓRIA

2021

NATACHA DE OLIVEIRA

**VALES INCISOS E SEU PAPEL COMO RECIFES
MESOFÓTICOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL
DO ESPÍRITO SANTO**

**Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Oceanografia
Ambiental da Universidade Federal do
Espírito Santo, como requisito parcial
para obtenção do título de Doutor em
Oceanografia Ambiental.**

**Orientador: Prof. Dr. Alex Cardoso
Bastos**

VITÓRIA

2021

TESE DE DOUTORADO

**VALES INCISOS E SEU PAPEL COMO RECIFES MESOFÓTICOS NA
PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESPÍRITO SANTO**

Por

NATACHA DE OLIVEIRA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Oceanografia Ambiental.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Alex Cardoso Bastos – Orientador- Universidade Federal do Espírito Santo/UFES

Prof. Dra. Tereza Cristina Araújo - Universidade Federal do Pernambuco/UFPE

Prof. Dra. Helenice Vital – Universidade Federal do Rio Grande do Norte/ UFRN

Prof. Dra. Renata Cardia Rebouças- Universidade Estadual do Rio de Janeiro/ UERJ

Prof. Dra. Leila Longo/ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB

Dedico este manuscrito a ele que me
proporcionou tanto, que transformou
o ser humano e a profissional que
sou.

Que moldou minha visão da vida e
de mundo, que me fez rodar por aí
com malas nas mãos e sonhos a
perder de vista.

Que me acalmou, me carregou e
re carregou. Que me levou à muitas
das pessoas que mais admiro e amo,
que me trouxe a mim mesma.

O Mar.

AGRADECIMENTOS

Os últimos quatro anos foram desafiadores tanto profissionalmente quanto pessoalmente. Profissionalmente tive que me reinventar, sair da minha zona de conforto e me integrar ao mapeamento de habitats em um novo lugar. Por esta oportunidade, por toda confiança depositada em mim e por acreditar que eu conseguiria, sou imensamente grata ao meu orientador Alex Cardoso Bastos.

E por permitirem que esta etapa tenha sido concluída da melhor forma, pelos aconselhamentos e ideias, agradeço a minha banca formada por mulheres incríveis, professoras cientistas que lutam pela ciência e certamente inspiram outras mulheres, como eu.

Este processo de doutorado em uma cidade nova sem muitos rostos familiares não foi dos mais fáceis, como cabe a todos os começos. Tudo foi relativamente complicado, mas poderia ter sido mais difícil se não tivesse encontrado pessoas para deixar tudo mais leve, sempre me apoiando e levantando.

À minha mãe, minha inspiração para tudo, que sempre esteve me incentivando, apoiando minhas mudanças, andanças e jornadas pessoais, minha gratidão mais profunda.

Às minhas amigas da vida, mulheres inspiradoras, adeptas das chamadas de vídeo muito antes do mundo colapsar, obrigada por estarem juntas de mim, mesmo longe!

Aos amigos que o doutorado me presenteou, minha família com membros de cada canto do país (e que hoje estão aí espalhados pelo mundo me enchendo de orgulho), obrigada por tudo! Os momentos mais difíceis só não foram tão difíceis graças a vocês!

Aos colegas que fiz no Labogeo, muito obrigada pela ajuda, conversas e risadas! Muito desse trabalho não seria possível sem o auxílio de vocês.

Ao meu amor, obrigada por todo o companheirismo e incentivo desde o início. Muito obrigada por sempre lembrar que sou uma mulher forte, capaz de conseguir alcançar meus objetivos sempre.

Por fim, meu doutorado só foi possível graças ao apoio dos órgãos que financiaram minha bolsa de estudos. Foram eles a CAPES (Ciências do Mar-II), reponsável pelo pagamento

da minha bolsa no primeiro ano de doutorado e a FAPES, responsável pelo pagamento dos três anos seguintes.

“Pon tu piel al viento...”

(Autor desconhecido)

RESUMO

A pressão sobre o ambiente marinho, crescente com o decorrer dos anos, tem levado à estudos para melhor conhecer e assim gerenciá-lo levando em conta fatores ecológicos, ambientais e humanos. Nesse sentido, tem-se o mapeamento de habitat o qual é baseado em uma análise interdisciplinar do fundo do mar para entender quais são as variáveis dominantes e determinantes que controlam a distribuição dos habitat bentônicos e assim auxiliar em políticas de gestão destes sistemas. Sendo assim, este trabalho traz uma análise multi-escalar da Plataforma Continental do Espírito Santo (PCES), com finalidade de identificar os habitats presentes nela, destacando os habitats mesofóticos, e compreender o papel da geomorfologia, principalmente de vales incisos, como estruturadora na ocorrência destes habitat distintos. Esta tese combinou métodos indiretos como geomorfometria (*Benthic Terrain Modeler*), segmentação de imagem (*Object Based Image Analysis*) e amostragem geoacústica (eco-sonda multifeixe), com métodos de amostragem diretas, sendo estes vídeo-imageamento (*Dropcams*), dados físico-químicos da coluna d'água e cobertura sedimentar (por meio de resultados de trabalhos pretéritos). No decorrer dos capítulos e com a combinação dos métodos supracitados foi possível observar uma grande variedade de classes de habitat, 17 classes no total. Nos três modos de detalhamento da área de estudo (macro, meso e micro escala), ficou evidente que a morfologia da plataforma derivada das flutuações do nível do mar junto a entrada de sedimentos e as taxas de produção de carbonato definem a heterogeneidade e o padrão de distribuição dos habitat. Quanto mais heterogênea mostrou ser cobertura sedimentar e quanto mais variado o gradiente morfológico, maior foi o potencial das áreas para o desenvolvimento de habitats epibentônicos e sua diversidade. As principais feições morfológicas foram os vales incisos com suas paredes íngremes considerados um legado de regressão e transgressão marinha. Junto aos vales, bancos de rodolitos também foram considerados habitat mesofóticos importantes, e ambos desempenham funções ecológicas fundamentais para a manutenção da biodiversidade. O estudo multi-escalar aqui aplicado bem como a combinação de métodos foi muito importante para evidenciar determinados habitat, permitindo aumentar a complexidade de cada habitat a cada mudança de detalhamento.

Palavras-chave: Mapeamento de habitats; Mapeamento de multi-escala; Comunidades mesofóticas; Geomorfologia marinha; Vales incisos.

ABSTRACT

The pressure on the marine environment, increasing over the years, has led to studies to better understand and thus manage it, taking into account ecological, environmental and human factors. In this sense, there is the habitat mapping which is based on an interdisciplinary analysis of the seabed to understand which are the dominant and determining variables that control the distribution of benthic habitats and thus assist in management policies for these systems. Therefore, this work brings a multi-scale analysis of the Espírito Santo Continental Shelf (ESCS), in order to identify the habitat presents in it, highlighting the mesophotic habitats, and to understand the role of geomorphology, especially of incised valleys, as a structuring in the occurrence of these distinct habitat. This thesis combined indirect methods such as geomorphometry (Benthic Terrain Modeler), image segmentation (Object Based Image Analysis) and geoaoustic sampling (multibeam echo sounder), with direct sampling methods, these being video-imaging (Dropcam), water parameters and sedimentary coverage (through results of past works). In the course of the chapters and with the combination of the aforementioned methods, it was possible to observe a wide variety of habitat classes, 17 classes in total. In the three modes of detailing the study area (macro, meso and micro scale), it was evident that the shelf morphology derived from sea level fluctuations along with sediment input and carbonate production rates define the heterogeneity and pattern of habitat distribution. The more heterogeneous the sedimentary cover and the more varied the morphological gradient, greater potential of the areas for the development of epibenthic habitats and their diversity. The main morphological features were the incised valleys with their steep walls considered a legacy of marine regression and transgression. Along the valleys, rhodolith beds were also considered important mesophotic habitats, and both play fundamental ecological functions for the maintenance of biodiversity. The multi-scale study applied here, as well as the combination of methods, was very important to evidence certain habitats, allowing to increase the complexity of each habitat with each change in detail.

Keywords: Habitat mapping; Multi-scale mapping; Mesophotic communities; Marine geomorphology; Incised valleys.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Introdução ao tema da tese:

Figura 1. Representação da área de estudo de cada capítulo: A) Plataforma Continental do Espírito Santo; B) Área de Proteção Ambiental Costa das Algas; e C) Vales incisos e áreas adjacentes da APA Costa das Algas.....21

Capítulo 1:

Figure 1. Location of the study area: a) morphological map with the compartments described by Bastos et al., (2015); b) sediment classes distribution based on grain size and carbonate content (data processed in Vieira et al., 2019).28

Figure 2. Maps showing the terrain variables: A) BTM classes; B) Slope; C) Rudgeness; D) BPI broad; E) BPI fine.....32

Figure 3. Map showing the final distribution of physical habitats defined by combining BTM and seabed sediment classes.35

Figure 4. (A) Map of the BTM classes with the location of ground truth information; (B) Side-scan sonar showing the high backscatter data related to reefs along the margin and flanks of the Vitoria paleovalley.....40

Capítulo 2:

Figure 1. Location of the study area. Sedimentary facies is based on the data base provided by Bourguignon et al., 2018 (black triangles) and Vieira et al., 2019 (black dots). Map shows dropcam (black crosses) and areas surveyed by multibeam (hatched polygons A, B, C). Shore-perpendicular black lines are side scan sonar transects.49

Figure 2. a) DBM of the MPA Costa das Algas. b) Slope; c) Fine BPI; d) Broad BPI; e) BTM classification.54

Figure 3. a) BTM classes map; b) side scan sonar image showing hard-ground structures associated with Crest and Rough Bottom classes; c) side scan sonar image showing reef structures associated with Rough Bottom class; d) side scan sonar image illustrating the valley morphology, being associated with Valley Flank and Valley Bottom classes. HG-hardground.57

Figure 4. Bathymetric map combined with geomorphometric classes (BTM) and seabed sediment classes. A) Unconsolidated sediments on flat bottom; B) Mixed sediments on

flat bottom; C) Rhodoliths on flat bottom; D) Unconsolidated sediments with sparse rhodoliths on flat bottom; E) Rhodoliths on rough bottom; F) Unconsolidated sediments on valley bottom; G) Mixed sediments on valley bottom; H) Bioconcretions/Hardgrounds on valley flank; I) Rhodoliths on valley flank; J) Mixed sediments on depression; K) Unconsolidated sediments on depression; L) Mixed sediments on crest.	60
Figure 5. Box plot showing the water depth range for each mapped seabed sediment classes. CGR: carbonate gravel with rhodoliths, HG: Hardground, MX: Mixed sediment, RD: Rhodoliths, TM: Terrigenous mud, TS: Terrigenous sand.....	62
Figure 6. Clustering showing the relation between Depth, BTM classes and Seabed Sediment Classes and their variation in Euclidian distance terms (between -2 and 2)	63
Figure 7. I Model of geomorphological evolution of the Espírito Santo continental shelf and development model of potential physical habitats.....	71
Figure 8. Illustrative model of the distribution of habitats on the shelf adjacent to the MPA Costa das Algas, constructed from the results of multiple mapping tools.....	72

Capítulo 3:

Figura 1. Área investigada dos incised valleys da APA Costa das Algas com representação da malha amostral (Dropcam points, SVP points, área de aquisição por eco-sonda Reson 7101 e área de aquisição por eco-sonda R2 Sonic)	83
Figura 2. Levantamento batimétrico destacando os vales incisivos da APA Costa das com representação das classes de fundo determinadas por vídeo imageamento.....	89
Figura 3. Os cinco tipos de fundo classificados por vídeo imageamento: A) Bioincrustations (BIOC); B) Unconsolidated sediment (SED); C) Rhodoliths (R>40%); D) Mäerl; and E) Rhodoliths with sediments (R<40%)	91
Figura 4. Exemplos de organismos encontrados na região dos vales da APA Costa das Algas. A) Flanco de vale coberto por esponjas, biofilme e corais negros; B) Briozoários e ascídias; C) Rodolitos cobertos por Peyssonelia sp. (alga vermelha); D) Esponjas e biofilme sobre flanco de vale; E) Rodolitos e Codium sp. (alga verde); F) Algas coralíneas geniculadas, algas verdes e ouriço-do-mar; G) Briozoários e estrela-do-mar; H) Biofilme, CCAs sobre hardbottom e corais negros.....	92
Figura 5. Distribuição da ocorrência de organismos por intervalo de profundidade.....	93
Figura 6. Resultado da segmentação por OBIA, onde estão definidas 6 classes baseadas no resultado do levantamento batimétrico.....	95

Figura 7. Análise de cluster onde é possível observar as seguintes classes (sentido horário, iniciando pelo C06): Bioincrustation on paleovalley margin (em ciano), Rhodoliths on paleovalley margin and depression (em azul escuro), Bioincrustation on shallower valley bottom (em azul petróleo), Rhodoliths on deeper valley bottom (em marrom), Unconsolidated sediment on deeper valley bottom (em verde escuro), Rhodoliths on flat bottom (em rosa), Unconsolidated sediment on flat bottom (em laranja), Rhodoliths with sediments on flat bottom (em ciano), Mäerl on flat bottom (em vermelho), Rhodoliths with sediments on shallower valley bottom (em verde claro), Rhodoliths with sediments on depression and paleovalley margin (em verde escuro), Rhodoliths with sediments on deeper valley bottom (em marrom), Mäerl on paleovalley margin and depression (em laranja), Unconsolidated sediment on depression and paleovalley margin (em ciano), Unconsolidated sediment on shallower valley bottom (em preto), Mäerl on shallower valley bottom (em rosa) e Rhodoliths on shallower valley bottom (em preto).....96

Figura 8. Mapa de habitat como resultado da análise de cluster.....98

Figura 9. Perfis de Temperatura (°C) e Salinidade (PSU) para A) Fundo de vale no verão; B) Área marginal de vale no verão; C) Área marginal de vale no outono/ inverno.....104

Figura 10. Análise de similaridade entre o fundo do vale, flanco do vale e áreas adjacentes do vale quanto à composição biótica, utilizando índice de Bray Curtis.....105

Figura 11. Resultados da Análise dos Componentes Principais: A) Análise integrada dos dados inseridos no fundo do vale, flanco e áreas adjacentes; B) Análise do fundo do vale; C) Análise do flanco do vale; D) Análise das áreas adjacentes aos vales.....108

Considerações finais:

Figura 1. Paralelo entre a geomorfologia resultante do levantamento batimétrico e as classes de habitats encontradas, evidenciando que onde a topografia foi mais heterogênea (fundo e flanco dos vales incisos) ocorreu um maior número de classes de habitats, em comparação aos fundos planos.....126

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1:

Table 1. BTM Dictionary Classification. BPI superior and inferior limits varied between positive and negative amounts of grid units analyzed (100). When negative, this number refers to amounts below the default curve and when positive the inverse. Slope limit was defined as 0.2° , based on the mean slope value, separating flat and steeper beds.....	30
Table 2. List and area coverage of each BTM class.....	32
Table 3. Area and percentage of each mapped physical habitat.....	34
Table 4. Underwater images of rhodolith beds in association with different BTM classes and Physical Habitats. Figure 4 shows the location of the stations.....	38

Capítulo 2:

Table 1. Dictionary utilized for the classification of the zones established by the BTM, showing the parameters used along with their lower and upper limits.....	51
Table 2. Geomorphometric classes and their representation in area (km and %)	55
Table 3. Parametrization between BTM classes, Sediment classification and Image-based seabed types.....	58
Table 4. Contingency table. The number of existing samples for each possible combination of seabed sediment and geomorphometric classes.....	61
Table 5. Cluster result showing the distribution of depth range, BTM and seabed sediment variables for each defined group.....	64

Capítulo 3:

Tabela 1. Sistemas de sondagem utilizados na aquisição de dados de batimetria.....	85
Tabela 2. Classes de segmentação, intervalo de profundidade (m), feições morfológicas, e sua área de ocorrência.....	94
Tabela 3. Descrição das classes de habitats quanto à cobertura do fundo sedimentar, parâmetros geomorfológicos e físicos da água e grupos biológicos presentes.....	99

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO AO TEMA DA TESE.....	17
1. Introdução.....	17
1.1. Hipótese.....	19
1.2. Objetivo.....	20
1.2.1. Objetivos específicos.....	20
1.3. Área de estudo.....	20
1.4. Estrutura da tese.....	22
Capítulo 1: THE USE OF BENTHIC TERRAIN MODELER (BTM) IN THE CHARACTERIZATION OF CONTINENTAL SHELF HABITATS.....	25
1. Introduction.....	26
2. Study Area.....	27
3. Material and Methods.....	28
3.1 Bathymetric Data Set	28
3.2 Geomorphometric Analysis.....	29
3.3 Geomorphometry and Seabed Ground Truth.....	30
4. Results.....	31
4.1 Benthic Terrain Classes.....	31
4.2 Physical Habitats: Morphological + Sediment Classes.....	33
5. Discussion.....	35
6. Conclusion.....	40
7. References.....	41
Capítulo 2: SHELF GEOMORPHOLOGY AND PHYSICAL HABITAT DISTRIBUTION AS A LEGACY OF MARINE TRANSGRESSIONS AND REGRESSIONS.....	46
1. Introduction.....	47
2. Regional Setting.....	48
3. Material and Methods.....	50

3.1 Geomorphometry: Benthic Terrain Modeler (BTM).....	50
3.2 High Resolution Seabed Acoustic Data.....	51
3.3 Seabed Images.....	52
3.4 Seabed Sediment Distribution.....	52
3.5 Data Clustering.....	53
4. Results.....	53
4.1 Broad-scale Seabed Morphology and Geomorphometry.....	53
4.2 Seabed Physical Habitats.....	56
4.3 Data Clustering.....	61
5. Discussion.....	62
5.1 Seabed Features and Sea-level Fluctuations.....	65
5.2 Geomorphometry and Physical/Benthic Habitats.....	66
6. Conclusion.....	73
7. References.....	74

Capítulo 3: SHELF-INCISED VALLEYS AS MESOPHOTIC REEFS.....80

1. Introdução.....	81
2. Área de estudo.....	83
3. Material e Métodos.....	84
3.1 Mapeamento acústico do fundo.....	84
3.2 Verdade de fundo – Vídeo imageamento.....	85
3.3 Mapa de habitat e Segmentação.....	86
3.4 Parâmetros da água.....	87
3.5 Análises estatísticas.....	87
3.5.1 Similaridade.....	87
3.5.2 Análise de componentes principais.....	87
4. Resultados.....	88
4.1 Morfologia do fundo marinho.....	88
4.2 Imagens de fundo.....	90
4.3 Segmentação e mapa de habitats.....	94
4.4 Parâmetros da água.....	102
4.5 Análises estatísticas.....	105
4.5.1 Similaridade.....	105
4.5.2 Análise de Componentes Principais (PCA).....	105

5. Discussão.....	108
6. Conclusão.....	114
7. Referências bibliográficas.....	116
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	124
Referências bibliográficas.....	129

INTRODUÇÃO AO TEMA DA TESE

1. Introdução

A crescente pressão sobre o ambiente marinho, sendo esta devido as atividades antrópicas que refletem direta e/ou indiretamente sobre o meio e a comunidade biológica que o integra, permitiu o desenvolvimento de muitos estudos para melhor conhecimento e assim manejo deste ambiente (Beaman & Harris, 2005; Pandian et al., 2009; Brown et al., 2011; Baffreau et al., 2017; Strong et al., 2019). Logo, a análise e monitoramento de sistemas marinhos costeiros e oceânicos, bem como o planejamento espacial para fins de uso e conservação se tornaram questões importantes para avaliar impactos e prover um uso sustentável do ambiente. Para isso, o mapeamento de habitats tornou-se uma ferramenta de uso essencial (Pandian et al., 2009; Brown et al., 2011; Micallef et al., 2012, Baffreau et al., 2017; Strong et al., 2019; Harris & Baker, 2020; Jansen et al., 2020).

O termo habitat é definido como um local onde uma planta ou animal é normalmente encontrado (Harris & Baker, 2012). Seu estudo parte do pressuposto de que as comunidades biológicas se distribuem ao longo de gradientes ambientais e que seus agrupamentos são definidos por conjuntos distintos de tais fatores (Brown & Blondel, 2009). Logo, o mapeamento destes grupos de organismos dá-se através de uma análise interdisciplinar para melhor entender a área estudada.

Embora a distribuição da fauna bentônica seja controlada por uma combinação de fatores ambientais (físico-químicos) e biológicos (Kostylev et al., 2001), padrões sedimentares e geomorfológicos de fundo são conhecidos como os principais atores que ditam a estrutura física do meio ao qual os organismos se adequam e habitam. Portanto, a caracterização do leito marinho pode oferecer uma ferramenta valiosa para determinar variações espaciais da geodiversidade que possam suportar uma fauna específica e fornecer um habitat distinto (Jerosch et al., 2015; Kaskela et al., 2017).

Para tal finalidade, muitos autores têm feito uso de modelos digitais de terrenos associados a métodos acústicos, tais como eco-sondas de feixe único e multifeixe (Lundbland et al., 2006; Micallef et al., 2012; Wienberg et al., 2013; Ismail et al., 2015; Jerosch et al., 2015; Ierodionou et al., 2018; Goes et al., 2019). Tais meios representam uma ferramenta potencial para o desenvolvimento das representações de biotipos (habitat físicos e a biota associada) quando usados em conjunto com métodos de captura direta e amostragem visual (Anderson et al., 2008).

Entre os habitats marinhos que refletem alta biodiversidade e estão entre os menos protegidos, temos os recifes mesofóticos (Hinderstein et al., 2010; Moura et al., 2013; Kahng et al., 2014; 2017; Pinheiro et al., 2019; Soares et al., 2020). Estes sistemas são caracterizados pela presença de comunidades associadas dependentes da luz que normalmente são encontrados na zona de transição entre fótico e afótico, variando de 30 a 40 m de profundidade e podendo se estender para mais de 150 m de profundidade em regiões tropicais e subtropicais (Hinderstein et al., 2010). Além da luminosidade ser determinante para estas comunidades, outros fatores, como o ângulo de inclinação do substrato, a microtopografia e as forçantes oceanográficas (físico-química da água), também parecem desempenhar um papel importante na sua estruturação (Bridge et al., 2011), tendo estes habitats sido considerados mais estáveis que os recifes mais rasos (Lesser et al. 2009, Bridge et al., 2011).

Devido a sua maior profundidade e distância da costa, muitos autores acreditam que as comunidades mesofóticas tendem a ser menos impactadas por fatores continentais (Appeldoorn et al., 2016) e até mesmo podem fornecer refúgio para espécies raras (Bongaerts et al. 2010; Kahng et al., 2010; Baker et al., 2016, Kahng et al., 2017). Contudo, hoje sabe-se que estes habitats não estão imunes à distúrbios, sejam eles naturais ou por fatores antrópicos (Rocha et al., 2018; Pinheiro et al., 2019; Soares et al., 2020).

Trabalhos pretéritos identificaram estes conjuntos recifais associados a diferentes morfologias de fundo geradas durante os processos de variabilidade do nível do mar no decorrer do Quaternário (Kostylev et al., 2001; Harris et al., 2005; Lesser et al., 2009; Locker et al., 2010; Sherman et al., 2010; Brown et al., 2011; Sherman et al., 2019). Estudos realizados na plataforma continental (PC) brasileira mostram a relação entre comunidade biológica e características geológicas do fundo marinho. Estes estudos identificaram comunidades mesofóticas nas adjacências de arranjos de paleodrenagens e associados a pináculos e dolinas (Dominguez et al., 2013; Moura et al., 2013; Bastos et al., 2015; Teixeira et al., 2015; Moura et al., 2016).

O segmento sudeste da PC brasileira, mais precisamente a plataforma continental do Espírito Santo (PCES), apresenta uma geomorfologia do assoalho marinho que varia entre porções mais planas com a presença da frente deltaica e prodelta do Rio Doce, áreas com paleovales ou vales incisivos, e um extenso fundo de rodolitos (Bastos et al., 2015; Bourguignon et al., 2018, Vieira et al., 2019; Rocha et al., 2020). Sendo assim, essa característica heterogênea da PCES, com um regime caracteristicamente misto de sedimentação, com aporte terrígeno e amplo domínio de fundos carbonáticos na

plataforma externa define um grande potencial para um mosaico de diferentes habitats rasos e profundos.

Dentre as diferentes feições existentes no fundo marinho da área, destaca-se o conjunto de vales incisos da Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas. Estes vales afogados são distinguidos das áreas adjacentes quanto à morfologia e composição sedimentar, sugerindo que estas feições podem apresentar agrupamentos biológicos mesofóticos distintos e variados. Ainda, uma vez que habitats recifais em topografias complexas apresentam maior diversidade comparado às porções mais planas do assoalho (Bridge et al., 2011), os vales incisos presentes em uma plataforma carbonática como a PCES poderiam representar uma área propícia para formação e evolução destas comunidades.

O objetivo dessa tese de doutorado é definir a distribuição e caracterizar os habitats na Plataforma do ES, considerando a morfologia da plataforma como um legado de processos transgressivos e regressivos, influenciando assim a distribuição dos habitats. Nesse contexto, o foco da investigação é compreender o papel dos vales incisos na plataforma como habitats recifais mesofóticos. O estudo se desenvolveu com uma abordagem em diferentes escalas de observação, combinando métodos indiretos como geomorfometria (*Benthic Terrain Modeler*) com amostragem geocústica (eco-sonda multifeixe), e métodos de amostragem diretas, sendo estes vídeo-imageamento (*Dropcams*), dados físico-químicos da coluna d'água e cobertura sedimentar (por meio de resultados de trabalhos pretéritos).

1.1 Hipótese

Neste trabalho assumem-se as seguintes hipóteses:

- A diversidade de habitats bentônicos está diretamente relacionada a feições geológicas e geomorfológicas formadas em eventos transgressivos e regressivos do nível do mar.

- Dentre as feições formadas a partir das flutuações do nível do mar, os vales incisos formam estruturas tridimensionais que podem induzir a um habitat associado a uma maior riqueza de biodiversidade comparado a um fundo plano, podendo formar um habitat específico na plataforma continental.

1.2 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é entender o papel da geomorfologia, principalmente de vales incisos, como estruturadora na ocorrência de habitats distintos, dentre eles, recifes mesofóticos na plataforma continental do Espírito Santo.

1.2.1 Objetivos específicos

- Analisar e distinguir os elementos geomorfométricos da Plataforma Continental do Espírito Santo (PCES);
- Investigar a morfologia de sistemas de vales incisos na plataforma continental por meio de geomorfometria e geoacústica e a ocorrência de fundos recifais associados;
- Definir e quantificar a comunidade bentônica ao longo dos diferentes habitat morfométricos dos vales incisos e regiões adjacentes;
- Correlacionar variáveis bióticas e abióticas, com intuito de verificar quais são determinantes no comportamento dos grupos bentônicos revelados;
- Discutir o papel das variações eustáticas na construção dos habitat na PCES;
- Propor um modelo de distribuição e tipos de habitat para os vales incisos.

1.3 Área de estudo

Objetivando mostrar um panorama geral da área de estudo, e em função da abordagem multi-escala realizada neste trabalho, onde em cada capítulo a PCES é explorada de modo a diminuir a área de enfoque e aumentar a escala do estudo, a figura 1 traz uma representação em diferentes escalas da área de estudo conforme foi abordada em cada capítulo. Nela expõe-se a área de estudo em macro-escala (menor detalhe) abordada no capítulo 2 (Fig. 1A), em meso-escala abordada no capítulo 3 (Fig. 1B) e um maior detalhamento na área dos vales incisos, objetos de estudo do capítulo 4 (Fig. 1C).

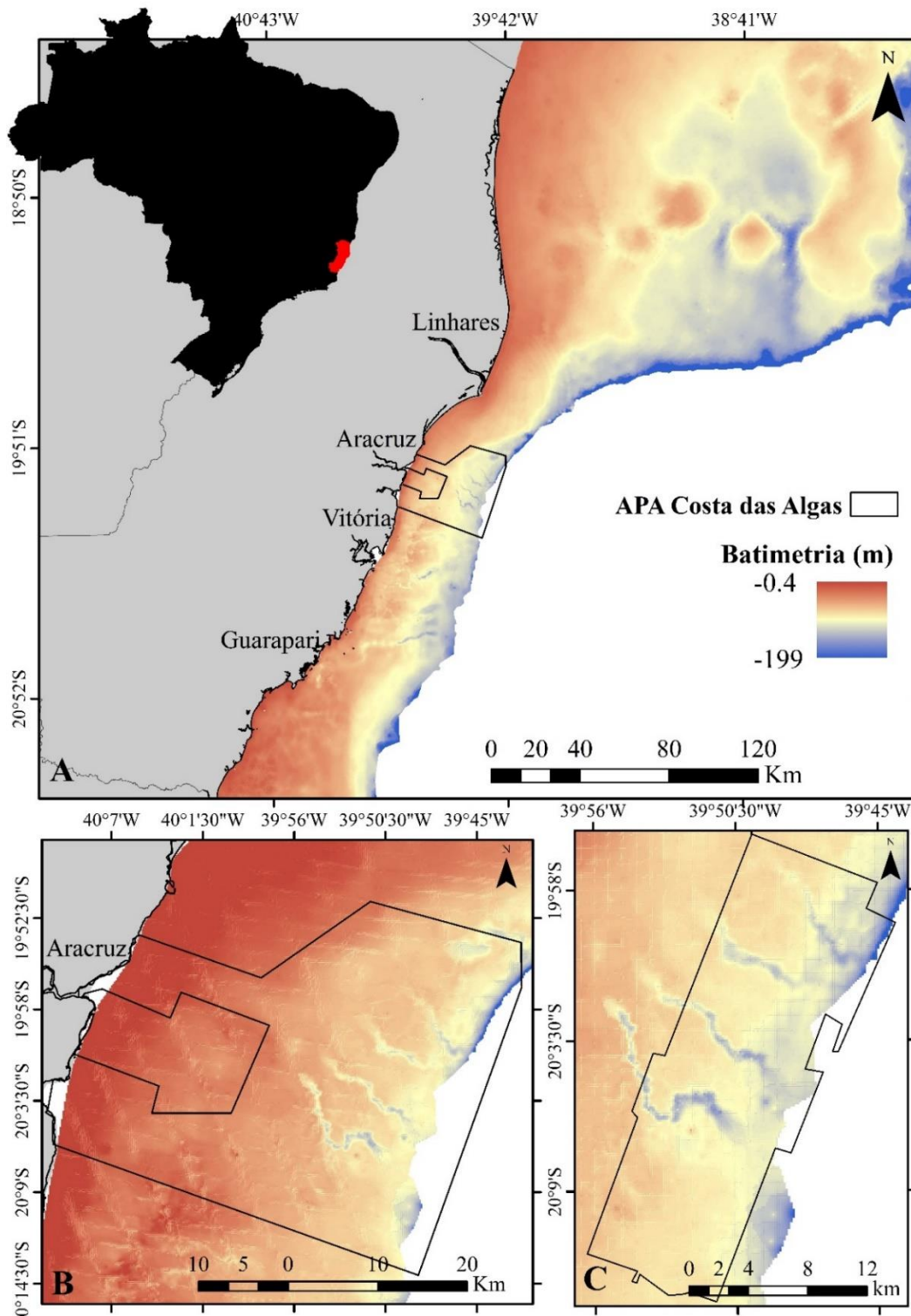


Figura 1. Representação da área de estudo de cada capítulo: A) Plataforma Continental do Espírito Santo; B) Área de Proteção Ambiental Costa das Algas; e C) Vales incisos e áreas adjacentes da APA Costa das Algas.

A área investigada compreende a plataforma continental do Espírito Santo (PCES), na costa sudeste do Brasil, entre a foz do Rio Itapemirim (21°03'00" S) e o delta do Rio Doce (19°21'00" S), com largura média em torno de 60 km e um gradiente suave (Fig. 1a). A PCES encontra-se em uma zona de clima tropical quente e úmido, sendo caracterizada por verões chuvosos, com ventos soprando do NE e E e por invernos secos, com freqüentes tempestades do S e SE (Niemer 1977, Vera et al., 2002). A circulação dominante dá-se pela corrente Sul do Brasil, que traz para a área água tropical mais quente que 22° C e mais salina do que 36 PSU (Paloczi et al., 2016). A micro maré atuante é de regime semi-diurno, durante o verão é observada ocorrência de ressurgência parcial na porção central da plataforma (Paloczi et al., 2016).

A atual conformação da plataforma continental está relacionada com os eventos transgressivos e regressivos do nível do mar durante o Quaternário, os quais levaram não somente a estruturação geomorfológica, mas também coordenaram os regimes sedimentares, que variam entre acomodação e suprimento (Quaresma et al., 2015). Bastos et al. (2015) investigaram a PCES junto à Plataforma de Abrolhos, e segmentaram esta área em três tipos distintos sob caráter morfológico: plataforma de Abrolhos, plataforma do Rio Doce e plataforma dos Paleovales. Tratando-se de cobertura sedimentar, a área é composta por sedimentos terrígenos e carbonáticos, havendo predomínio de fundo de rodolitos na porção externa de toda a plataforma (Bastos et al., 2015).

Inserida na PCES e estendendo-se desde a linha de costa em direção à plataforma continental e declive, até profundidades de aproximadamente 700 m, encontra-se a Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas. A APA é conhecida pela alta diversidade de algas calcárias crustosas e extensos leitos de rodolitos (Vieira et al., 2019; Holz et al., 2020) e foi criada com o objetivo principal de proteger, conservar e recuperar os ambientes naturais e a biodiversidade da região, uma vez que a mesma está sujeita a forte pressão da indústria de óleo e gás, da indústria pesqueira e da potencial mineração de agregados de carbonato nas proximidades. Esta área, assim como a PCES, também é caracterizada por sua geodiversidade relevante, marcada por uma morfologia de plataforma irregular, apresentando vales incisivos parcialmente preenchidos, e processos sedimentares mistos (Bastos et al., 2015).

1.4 Estrutura da tese

Esta tese está dividida em introdução, três capítulos e considerações finais descritos a seguir.

A introdução ao tema abordado pela tese aborda o mapeamento de habitats junto ao estudo de comunidades mesofóticas e sua relevância. Esta mesma porção também conta com apresentação das hipóteses, objetivos, área de estudo e estruturação do trabalho.

O **primeiro capítulo**, transformado no primeiro artigo deste trabalho, integra uma análise geomorfométrica através do *Benthic Terrain Modeler* (BTM) para toda a Plataforma Continental do Espírito Santo (PCES). O modelo foi rodado sobre a base batimétrica regional, isto é, a partir de um Modelo Digital de Terreno e os resultados obtidos foram validados através de verdade de fundo (vídeo-imageamento). Neste capítulo foi realizada uma associação entre as classes morfométricas obtidas com o modelo e o tipo de sedimento da área em questão, resultando assim nas classes de habitats físicos descritas. Este capítulo, “*The use of Benthic Terrain Modeler (BTM) in the characterization of continental shelf habitats*”, foi publicado na revista *Geo-Marine Letters* em fevereiro de 2020.

O **segundo capítulo** concentra sua atenção em uma porção menor da PCES. Nele apresenta-se o estudo da influência da geomorfologia relacionada à flutuação do nível do mar na distribuição de habitats bentônicos marinhos na Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas e Refúgio de Vida Selvagem (Santa Cruz), inserido na APA. A análise de geomorfometria em larga escala, produto do BTM, é combinada com dados de sonar de varredura lateral de alta resolução (resultados de trabalhos pretéritos) e dados de verdade do campo para reconhecer os habitats presentes e revelar o papel desempenhado pela morfologia relíquia na sua distribuição. Intitulado “*Shelf Geomorphology and Physical Habitat Distribution as a Legacy of Marine Transgressions and Regressions*”, este capítulo foi submetido em forma de artigo à revista *Geomorphology*.

O **terceiro capítulo** tem sua atenção concentrada em uma área ainda menor da PCES, sendo a área de paleovales da Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas. Aqui são combinados os resultados obtidos dos métodos indiretos tais como análise geomorfométrica (BTM) e de batimetria multifeixe junto aos métodos diretos, como vídeo imageamento do fundo e cobertura sedimentar. Como o intuito aqui foi reconhecer os grandes grupos de organismos epifaunais presentes na área estudada e associá-los às feições de fundo que compõem a região dos paleovales, também compuseram este capítulo resultados de medições dos parâmetros físico-químicos da coluna da água

(salinidade e temperatura), a fim de corroborar com a distribuição da epifauna observada. Nesta última sessão da tese, o propósito foi de produzir um mapa de habitats considerando os produtos dos capítulos anteriores, resultando em um terceiro artigo intitulado provisoriamente de “*Shelf-incised valleys as mesophotic reefs*”.

Nas considerações finais a relação dos resultados apresentados nos três capítulos que o antecedem é apresentada. Aqui, discute-se sobre as mudanças nos resultados obtidos referente ao mapeamento de habitats em cada escala, sendo elas a macro (PCES), meso (APA Costa das Algas e Refúgio da Vida Selvagem Santa Cruz) e micro (Paleovales da APA Costa das Algas). Também, a relevância de feições tais como paleovales no desenvolvimento e suporte de comunidades mesofóticas é comentada.

Capítulo 1:

THE USE OF BENTHIC TERRAIN MODELER (BTM) IN THE CHARACTERIZATION OF CONTINENTAL SHELF HABITATS

Natacha de Oliveira¹, Alex Cardoso Bastos.¹, Valéria da Silva Quaresma¹, Fernanda Vedoato Vieira¹

- (1) Laboratory of Marine Geosciences, Department of Oceanography, Postgraduate Program in Environmental Oceanography, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari, 514, CEP 29075-910, Vitória, Brasil.

ABSTRACT

We applied a combined approach of benthic terrain modelling with sediment type distribution, using regional available data sets in order to map the distribution of seabed physical habitats along the Espírito Santo Continental Shelf, Brazil. The Benthic Terrain Modeler (BTM) was used to define benthic terrain classes, which were combined with ground truth data (sediment samples and seabed images) to produce physical habitats (seascapes). Eight BTM classes were defined: flat bottom, rough, depression, valley flank, valley bottom, shelf break, crests, deep crests. The combination of the BTM classes with sediment distribution produced 17 types of physical habitats. Analysis showed that shelf morphology controls the pattern of habitat distribution, combined with two major sedimentary processes: riverine sediment input and carbonate sedimentation. Seven types of physical habitats area associated with the Flat bottom morphometric class and five types of physical habitats are associated with rough/irregular morphometric classes. These are the two main broad categories observed along the shelf, when combined with the presence of rhodoliths. Shelf-incised valleys, combined with rhodolith beds, are the most conspicuous seascape along the ESCS. This seascapes add slope and roughness to the shelf seabed, producing great morphological complexity and potentially supporting diverse benthic communities.

Key words: Benthic Terrain Modeler; geomorphometry; shelf-incised valleys; marine benthic habitats;

1. Introduction

The growing anthropic pressure on the marine environment calls for multi-disciplinary studies for a better understanding of how ecological services are being impacted (Beaman & Harris, 2005, Buhl- Mortensen et al., 2009). Knowing the marine habitats spatial and temporal variability is the basis to apply spatial planning tools for the use and conservation of the oceans, aiming to promote a sustainable use of the environment.

In this sense, mapping the seafloor is one of the most basic tools to start understanding spatial variation of benthic habitats (Harris & Baker, 2012). In order to address industrial and government management requirements and scientific demands, robust methods and applications that can integrate distinct parameters and improve the accuracy of surrogates are under development. Such methods and applications include geomorphometric analysis (Lecours et al., 2016), multispectral backscatter (Brown et al., 2018), machine learning and object-based image analysis (Diesing et al., 2016), among others. All of these applications associate specific benthic habitats with physical seafloor properties (Harris & Baker, 2012).

Geomorphometry can be a suitable preliminary analysis tool in areas of the continental shelf where a more comprehensive data set is not available (Lecours et al., 2016; Bourguignon et al., 2018). This analysis can be applied to existing and extensive regional bathymetric data, providing a first interpretation of the potential distribution of distinct benthic habitats and seascapes. Continental shelf morphology and sedimentology are the products of short and long-term processes, including prevailing hydrodynamic conditions, relative sea-level changes, sediment input rates, antecedent geology, biological activity, etc (Stern and Nowell, 1999, Pratson et al., 2007 Schartetner et al., 2010, Brothers et al., 2013, Bastos et al., 2015). At a regional scale, the continental shelf can present distinct sedimentary regimes and morphological variability, combining morphological features associated with lowstand, transgressive and highstand phases, and also combine high input/supply regimes with erosive/low input/accommodation regimes (Bastos et al., 2015).

The Espírito Santo continental shelf (ESCS, southeast Brazil) presents contrasting morpho-sedimentary regimes, that reflect the transgressive and regressive sea-level phases during the Late Pleistocene-Holocene epochs (Bastos et al., 2015). According to Bastos et al., (2015), the modern morphology of the ES shelf represents sedimentary

processes acting in multiple scales. Shelf morphology is characterized by the presence of incised valleys, hard-grounds, delta fronts and prodeltas. Considering that these features can support distinct benthic communities by forming different physical habitats, our objective is to use geomorphometric analysis as a technique to investigate the morphological influence on the spatial distribution of potential benthic habitats along the ESCS, and to evaluate the use of regional data sets as a first approach to map habitat distribution.

2. Study Area

The study area is the Espírito Santo continental shelf (ESCS), on the southeastern coast of Brazil, located between the latitudes of 17°53'S and 21°18'S (Fig. 1). The shelf presents a gentle gradient, an average width of 60 km, reaching up to 240 km in the northernmost portion (Bastos et al., 2015). The ESCS is located in a warm and humid tropical zone, being characterized by rainy summers, with winds blowing NE and E, and by dry winters, with frequent storms from the S and SE (Niemer 1977, Vera et al., 2002). The micro-tidal regime (<2 m) is semi-diurnal (Bastos et al., 2015). The dominant geostrophic circulation is controlled by the Brazil current, that brings to the area tropical waters that are warmer than 22°C and more saline than 36 ppt (Palóczy et al., 2016). Partial upwelling is also observed during summer in the central part of the shelf (Palóczy et al., 2016).

Shelf morphology represents contrasting sedimentary regimes associated with shelf flooding during the last deglaciation and regressive processes after the Holocene highstand (~ 5 kYr BP, Angulo et al., 2006; Bastos et al., 2015). Bastos et al. (2015) divided the shelf into three compartments based on morphological characteristics: Abrolhos shelf, Rio Doce shelf and the Paleovalley shelf. In terms of sediment distribution, the shelf is typically a mixed-system with terrigenous and carbonate sediments, with an extensive rhodolith bed along the outer shelf (Bastos et al., 2015; Vieira et al., 2019) (Figs. 1a, b).

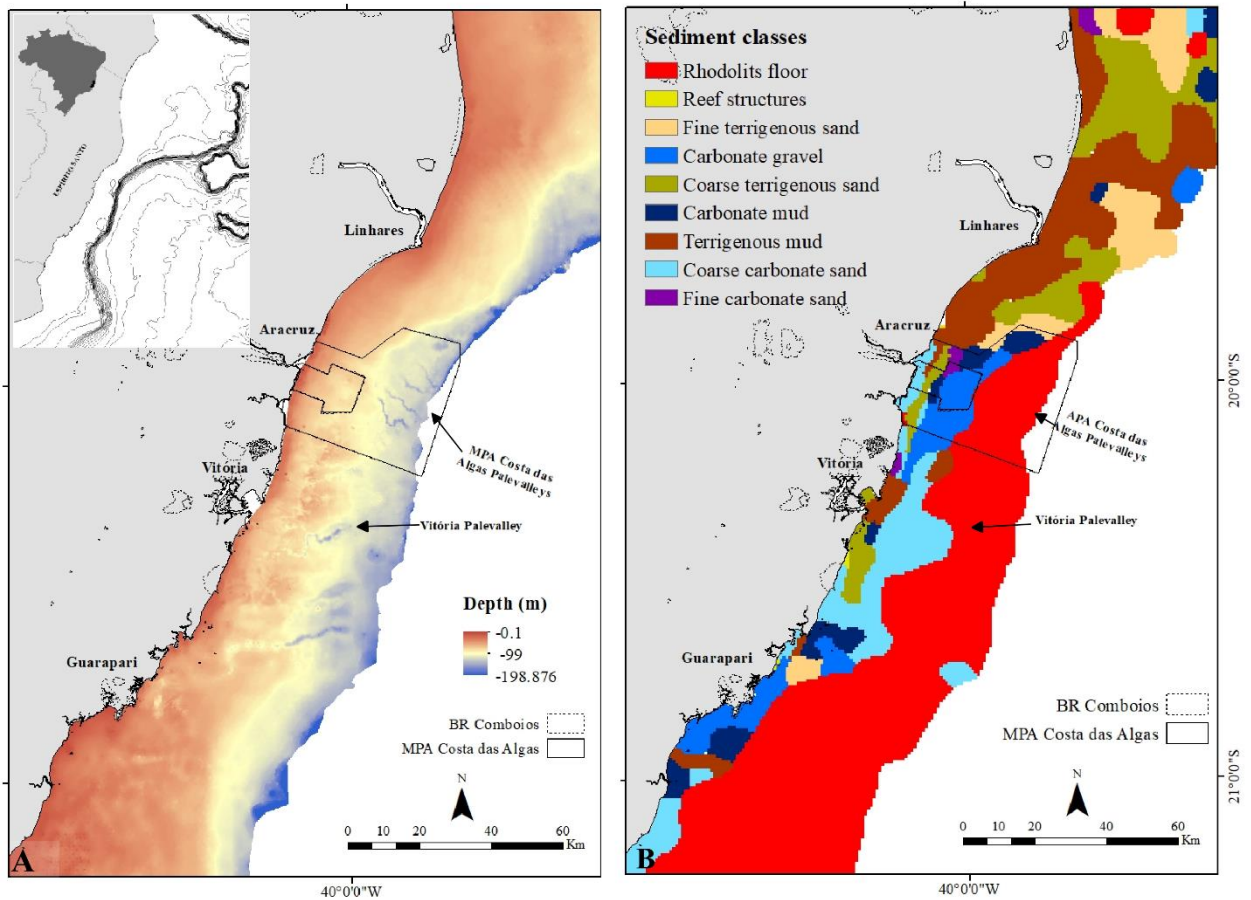


Figure 1. Location of the study area: a) morphological map with the compartments described by Bastos et al., (2015); b) sediment classes distribution based on grain size and carbonate content (data processed in Vieira et al., 2019).

The Rio Doce shelf is characterized by a gentle morphology associated with terrigenous sedimentation, while the Paleovalley shelf is marked by an irregular morphology, with partially infilled, shelf-incised valleys, and carbonate sedimentation.

In terms of its importance for conservation planning, the shelf houses a number of marine protected areas with different purposes (Fig. 1): Marine Protected Area Costa das Algas (MPA-CA), Wildlife Refuge Santa Cruz (WR-SC), Biological Reserve Comboios (BRC).

3. Material and Methods

Bathymetric Data Set

Seabed morphology was obtained from a regional bathymetric data set provided by the Brazilian Navy Hydrographic Office (DHN- Diretoria de Hidrografia e Navegação) and published in Bastos et al. (2015). The bathymetric grid was produced from a xyz file with more than 100,000 points, with a resolution of 150m. The interpolation method used was Inverse Distance Weighting (IDW).

The final grid presents a few artifacts, defined here as distinct erratic characteristics that are made of improbable and incorrect numbers (Reuter et al., 2009). Despite these features, the bathymetry is considered adequate for the study.

Geomorphometric Analysis

Geomorphometric classification of the ESCS was carried out using the Benthic Terrain Modeler 3.0 (BTM). The BTM is a tool in ArcGIS Software 10.1 that combines descriptive terrain parameters, such as Slope, and Bathymetric Positioning Index (BPI) to classify the seabed according to a supervised definition of seabed benthic classes (Wright et al., 2005; Lundblad et al., 2006).

The BPI, adapted from the topographic index (TPI) of Weiss (2001), is a result of a neighbor analysis between the elevation of a cell in relation to the average cell elevation of adjacent cells of a defined area. A positive BPI value represents a cell of higher elevation compared to its neighbors (a crest), while a negative value represents a lower cell (depression); flat areas or areas with constant inclination originated near zero value (Ludbland et al., 2006; Micallef et al., 2012). The BPI algorithm analyses the terrain at “broad” and “fine” scales. The scales used here were from a 6 cell area for the Broad-BPI and 3 cells for the Fine-BPI. The range of cells used was chosen after several tests, which was the one that best represented the investigated features, mainly the paleovalleys and associated features.

Terrain Ruggedness was also used in this study, but it is not an input parameter to BTM. Terrain Ruggedness Index measures the amount of elevation difference between adjacent cells of a digital elevation grid (Riley et al., 1999). This parameter expresses how flat or rugged the terrain is.

The BTM supervised classification is based on a user-defined dictionary that states the inferior and superior limit values of the applied parameters (BPI, slope and depth range). Usually, the supervised classification is built based on morphological classes, like

depressions, crests, flat beds, and depth ranges. Table 1 presents the limits applied in this study.

Thus, the BTM combines, in a map, the regions with distinct morphological attributes, deriving generic classes, but not describing the geological or biological processes at work (Jerosch et al., 2015). The processes at work are an interpretation carried out by the user.

Table 1. BTM Dictionary Classification. BPI superior and inferior limits varied between positive and negative amounts of grid units analyzed (100). When negative, this number refers to amounts below the default curve and when positive the inverse. Slope limit was defined as 0.2°, based on the mean slope value, separating flat and steeper beds.

Zone	Broad BPI Lower	Broad BPI Upper	Fine BPI Lower	Fine BPI Upper	Slope Lower	Slope Upper	Depth Lower	Depth Upper
1 Crests	100		100				- 25	
2 Valley bottom		- 100			0.1		- 88	- 10
3 Flats	- 100	100	- 100	100		0.25		
4 Rough	- 100	100	- 100	100	0.25			
5 Valley flanks	- 100		- 100		0.3		- 60	- 35
6 Break shelf		100					- 198	- 96
7 Depressions	- 100		- 100				- 190	
8 Deep crests		100						- 26

Geomorphometry and Seabed Ground Truth

The final benthic terrain classes derived from BTM were combined with seabed sediments. A data set of sedimentary samples and facies maps were used together with a data set of dropcamera video footages and side-scan sonar data (Vieira et al., 2019). Sediment composition and grain size were compiled and integrated to produce a sediment class map (Fig. 1b). The sediment map was produced based on 380 surficial sediment samples collected with a van veen grab sampler and available side-scan sonar data (Vieira et al., 2019). The sampling stations were located from 10 to 50 m water depth, with a sample collected at every 5m according with isobaths (Fig. 4). Sediment classes were defined based on carbonate content and grain sizes. Carbonate sediments represent >50% of calcium carbonate content, and terrigenous sediments < 50% calcium carbonate. Side-scan data were used to map the distribution of reefs and rhodolith beds.

Underwater videos were recorded using a dropcameras that was launched over the same sediment sampling stations. The dropcamera is mounted in a metal frame with two high-resolution cameras and two underwater torches. One camera was positioned orthogonally and the other laterally. Video records were processed and frames were obtained to qualitatively describe the seabed. The orthogonal camera filmed an area of 60x60 cm.

Sediment and benthic classes were clustered using the Combine tool from the ArcGIS platform. This tool combines the elements of interest by using factorial analysis. A combined class map of morphology and seabed types were produced. During this stage, some of the classes having fewer than ~100 pixels were either not considered or added to similar classes of broader abundance. The underwater images were used to provide ground-truth and a panoramic view of the final habitats classification. The final map, combining sediments and benthic classes, is described here as a physical habitat or seascape map.

4. Results

Benthic Terrain Classes

The terrain analysis showed that there is a more complex or irregular morphology between Aracruz and Guarapari (Fig.2). The four indexes (BPI broad and fine, slope and ruggedness) show a higher terrain variability in this part of the shelf, when compared to the shelf north from Aracruz (Fig 2 b-e). This higher variability corresponds to more changes in relief per shelf area, indicating a more irregular bathymetry formed by a combination of crests and depressions.

Following the terrain analysis, the BTM mapped 8 classes in the Espírito Santo continental shelf: Flat Bottom, Shelf Break, Crests, Deep Crests, Depressions, Valley Bottom, Valley Flanks and Rough. Figure 2a presents the final classification and the associated products (Slope, Ruggedness and Benthonic Positioning Index). Table 2 presents the main characteristics of each class, the area covered and their relative percentage over the ESCS.

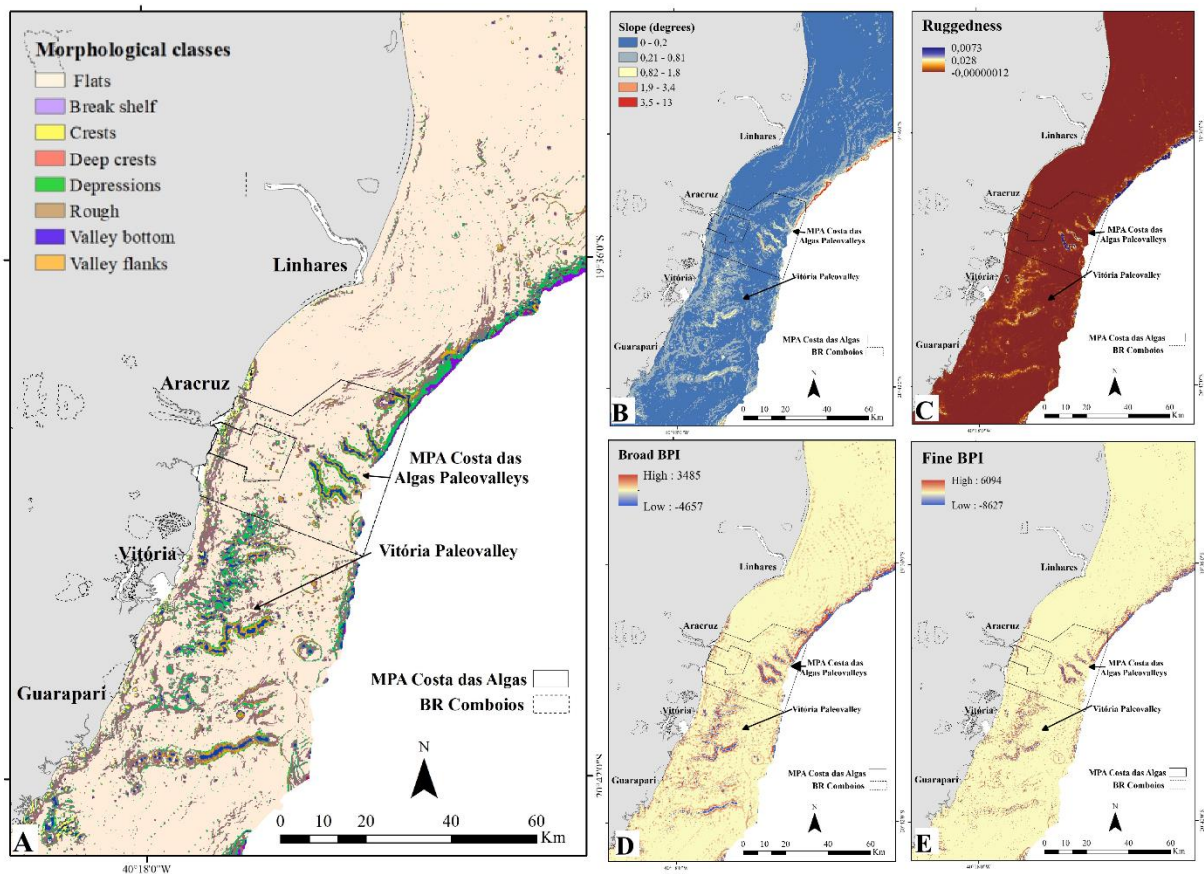


Figure 2. Maps showing the terrain variables: A) BTM classes; B) Slope; C) Rugdeness; D) BPI broad; E) BPI fine.

Table 2. List and area coverage of each BTM class.

Classes	Class description	Area (km ²)	Percent
Flat bottom	Extensive flat plain with slope angles lower than 0.2°	56,046	83.4
Shelf break	Deepest class, with slope angles between 3.5 and 13°	1073	1.6
Crests	Positive relief feature shallower than 26 m	315	0.5
Deep crests	Positive relief feature deeper than 26 m	305	0.4
Depressions	Negative relief feature occurring from inner to outer shelf, with slope angles 0.21° and 1.8°	3222	4.8
Rough	Positive relief with steep angles 0.21 to 0.81°	5163	7.7
Valley bottom	Negative relief with gentle slope occurring in a valley system	502	0.8
Valley flanks	Steep slope feature (0.3 to 3.4°) occurring deeper than 40 m, forming a valley/channel flank	534	0.8

The distribution of the BTM classes follows the same pattern of the terrain indexes, i.e., the central part of the shelf (from Guarapari to Aracruz) contains all defined classes and is also associated with the highest values of ruggedness. The flat bottom is the main BTM class over the entire shelf comprising 83.4% of total area, but it dominates the northern part (north from Aracruz) of the shelf, when compared to the sector between Aracruz and Guarapari.

The combination of crests, depressions and rough bottoms represent the main variability in BTM classes along the central part of the shelf. This combination is related to a more rugged and irregular seafloor. The shelf-incised valleys were also depicted in the BTM. The valley bottom and valley flank classes define these morphological features as distinct benthic habitats, compared to crest, depression and rough bottoms. Valley flanks exhibit locally steep gradients, representing a greater heterogeneity and potential greater biodiversity (Tews et al., 2004, Stein et al., 2014, Kaskela et al., 2017).

Physical Habitats: Morphological + Sediment Classes

The combination of geomorphological and sedimentary classes resulted in 17 classes, that are defined here as potential physical habitats or seascapes (Fig. 3). Seven potential physical habitats are related to flat bottom, 5 to rough bottom (merged with crests), 2 to depression, 1 to valley bottom and 1 to valley flank. A shallow reef structure was also identified, as it was observed in previous side scan sonar studies (Vieira et al., 2019).

Flat bottom-combined classes range from terrigenous mud to rhodoliths, showing that the dominant morphological class is representative of multiple sedimentary facies. Conversely, rhodoliths, which are the dominant sedimentary facies along the shelf, occur associated with 4 distinct morphological classes, also showing that one sedimentary facies can be associated with several morphological classes. Rhodoliths are associated not only with flat bottoms, but also with valley and rough classes (Table 3).

Table 3. Area and percentage of each mapped physical habitat.

<i>Habitat classes</i>	<i>AREA (km²)</i>	<i>Percentage</i>
Carbonate mud on flat bottom	7140	10.3
Fine terrigenous sand on flat bottom	10170	14.7
Terrigenous mud on flat bottom	12068	17.5
Rhodoliths on flat bottom	19345	28.0
Coarse terrigenous sand on depressions	2695	3.9
Rhodoliths on rough bottom	4237,5	6.1
Rhodoliths on valley flanks	732,5	1.1
Coarse carbonate sand on depressions	1100	1.6
Rhodoliths on valley bottom	595	0.9
Carbonate mud on rough bottom	1075	1.3
Fine carbonate sand on flat bottom	2372,5	3.4
Carbonate sand on flat bottom	2622,5	3.8
Coarse terrigenous sand on rough bottom	845	1.2
Carbonate gravel on flat bottom	2840	4.1
Shallow reefs structures	322,5	0.5
Coarse carbonate sand on rough bottom	1062,5	1.5
Fine carbonate sand on rough bottom	77,5	0.1

Physical habitat distribution shows that flat bottom related classes predominate northward from Aracruz, whereas higher terrain variability associated classes (rough, valley and crests) are distributed and concentrated southward of Aracruz.

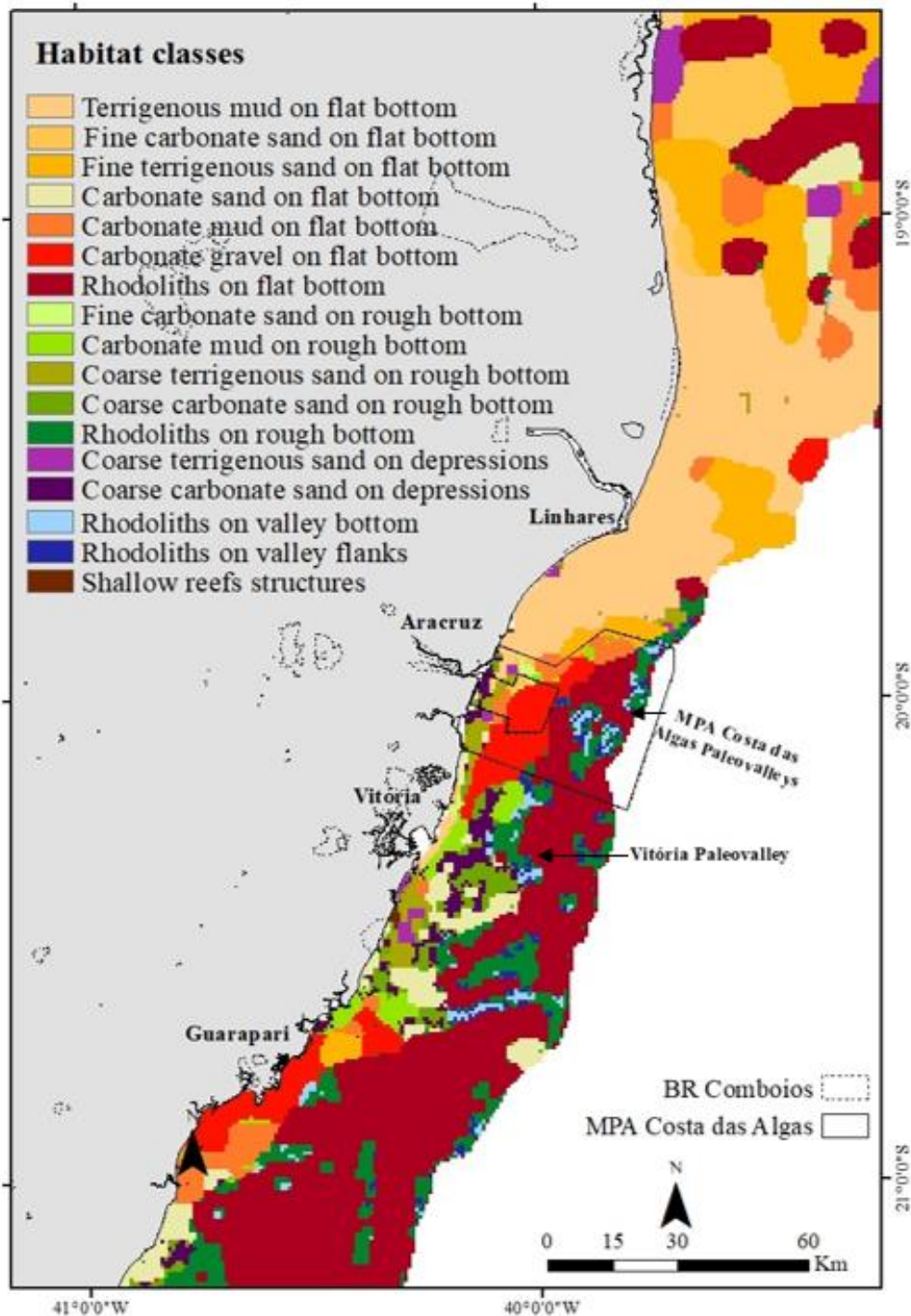


Figure 3. Map showing the final distribution of physical habitats defined by combining BTM and seabed sediment classes.

5. Discussion

The use of terrain variables has proven to be a powerful tool to define physical habitats that could be a surrogate for the occurrence of specific benthic fauna and flora (Erdey-Heydorn, 2008; Pinard et al., 2012). Although many habitat mapping studies have

used high technology systems such as multibeam sonars, combining bathymetry and backscatter data, the use of regional available data sets provides a first approach and analysis of potential physical habitat distribution. The application of the BTM in a regional bathymetric data set has produced an understanding of morphology influence on potential habitat distribution. Analysis of the terrain variable details (slope, ruggedness and neighborhood analyzes to get morphology) proved to be a powerful tool in mapping habitat distribution along the continental shelf.

The 8 geomorphologic classes identified using the BTM and the 17 physical habitats derived from the combination of BTM and sediment distribution showed the diversity of seascapes along the ESCS. The morphological diversity is well illustrated by the presence of flat and rough bottoms and the occurrence of valley-related classes (bottom and flank). Physical habitats showed that this diversity can be even greater and complex, as, for instance, the flat bottom morphological class can be subdivided into 7 physical habitats based on the sediment cover. The rhodolith sediment facies occurs in 4 distinct morphological classes.

It is known that the benthic community distribution is controlled by physical (environmental) and biological processes (Cartes and Carrasson 2004; Locker et al., 2010; Kaskela et al., 2017). Although we did not describe the benthic community or any ecological index for each physical habitat, the complexity provided by the combined morphology and sediment distribution is a first approach to indicate the potential high diversity in benthic communities along the ESCS. A first insight into the influence of the ESCS complex morphology on habitats was shown by Bourguignon et al. (2018). These authors pointed out that the morphological and sediment cover diversity in the ESCS directly influences the distribution of distinct fishing grounds and fisheries types.

Thus, in terms of seascapes, it is possible to characterize the ESCS as being mainly a flat bottom shelf with distinct associated sedimentary facies and a rugged/irregular terrain shelf associated with distinct morphologies, such as crests, depressions and incised valleys. The distinction is that the rugged shelf is mainly associated with carbonate sediments, usually bioclastic gravel and rhodoliths. Such contrasting seafloor types, were inherited from relative sea level changes, fluvial incision, sediment input and carbonate deposition through the Late Quaternary (Bastos et al., 2015). Following Bastos et al. (2015) ESCS morphological compartments, the Rio Doce shelf is characterized by a flat and regular morphology, presenting a deltaic lobe with a regressive terrigenous mud facies. The mid- and outer- shelf of the Rio Doce are marked by transgressive sands in a

flat bottom (Bastos et al., 2015). These regressive and transgressive facies are shown in the physical habitat classification presented here, as “terrigenous mud on flat bottom” and “fine terrigenous sand on flat bottom”, respectively.

Southward, the Paleovalley shelf presents an irregular morphology with the presence of hardgrounds and shelf-incised valleys, partially filled (Bastos et al., 2015). Terrigenous sediments are restricted to the coast and shelf sedimentation is carbonate-dominated. This is a sediment-starved area, with no significant terrigenous sediment input and carbonate production, forming extensive rhodolith beds. (Bastos et al., 2015).

The defined paleovalley presents the highest potential to host a higher benthic biodiversity. It comprises a larger number of BTM classes, higher ruddgeness values and, consequently, a larger number of physical habitats, including rhodoliths.

Paleovalley Shelf: Hardgrounds, Incised-Valleys and Rhodoliths



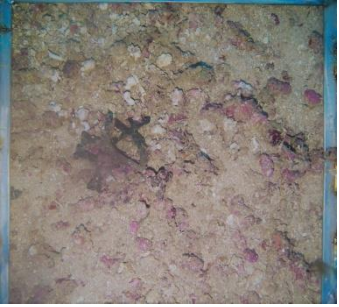
Rough, depression and crest BTM classes comprise the irregular morphology that runs almost parallel to the coast and is interpreted as submerged terraces or hardgrounds. These can be associated with lateritic marine terraces formed during the last transgression (Bastos et al., 2015). The rigid substrate forms a suitable surface for sessile organism.

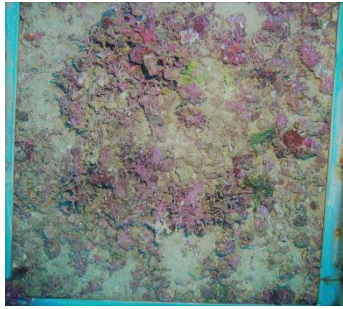
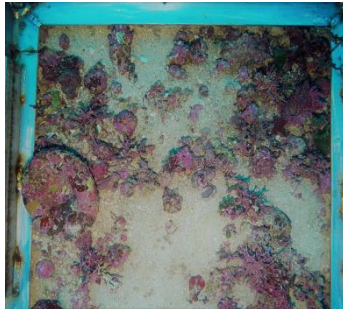

However, the shelf-incised valleys defined by the BTM classes, valley flank and valley bottom, are one of the most conspicuous and least described potential physical habitat along the continental shelf worldwide (Stemann and Donovan, 2008; Lozach and Dauvin, 2012; Tosi et al., 2017;). Shelf-incised valleys can be defined as elongated low topographies of eroded relief caused by fluvial incision during a fall in base level or during forced regression events (Dalrymple et al., 1994; Catuneanu, 2002; Harris et al., 2005; Weschanfelder et al., 2014). The incised valleys of the MPA-CA and Vitória and their adjacent areas, are not only associated with other features but exhibit distinct morphologies. While the Vitória paleovalley exhibits a lower gradient on flanks and the presence of intermediate ruggedness areas, it is evident that the complex valleys of the MPA-CA have steeper walls, greater ruggedness and is set in deeper water depths. In addition, Vitória valley is observed in shallower bathymetry, with its path becoming less distinct towards the outer portion of the shelf. The MPA-CA valleys, on the other hand, is well observed on the mid shelf, and it is possible to identify its path to shelf break.

Furthermore, in the ESCS, the valleys are associated with rhodolith beds. Rhodoliths are free-living nodules formed mainly by crustose coralline algae (CCA), not

geniculated of the genre Corallinales and Sporolithales (Henriques et al., 2011; Amado-Filho & Pereira-Filho, 2012). Rhodoliths are bioengineers; the living nodule can host a high biodiversity of endo- and criptofauna (Steller & Foster, 1995; Amado-Filho et al., 2012). Interactions with sponges or low seabed dynamics can cause nodules to merge, forming CCA crusts, leading to the formation of reefs (Pereira-Filho et al., 2011). Therefore, rhodoliths can exhibit greater biodiversity than sandy or muddy flat benthic habitats because of their greater complexity. Table 4 shows examples of rhodolith beds associated with distinct BTM classes and physical habitats.

Table 4. Underwater images of rhodolith beds in association with different BTM classes and Physical Habitats. Figure 4 shows the location of the stations.

<i>Point</i>	<i>Depth (m)</i>	<i>BTM classes</i>	<i>Sediments and BTM classes</i>	<i>Picture</i>
A04	61,1	Valley flanks	Rhodolits on valley bottom	
A30	48,8	Flat	Rhodolits on flat floor	
B06	58,7	Valley flanks	Rhodolits on valley flanks	

B15	62,3	Flat	Rhodolits on flat floor	
B25	59	Flat	Rhodolits on flat floor	
C06	69,2	Valley bottom	Rhodolits on valley bottom	

A first qualitatively analysis of the seabed images showed the presence of CCA crusts forming reefs associated with the valley flanks BTM class. This observation is also corroborated by acoustic images from side-scan sonars (Fig.4). The more rugged and steeper topographies, such as those of the valley flanks, showed a more diverse epifauna forming reefs. Ruggedness and inclination normally have a strong relationship with biodiversity (Kaskela & Kotilainen, 2017). Steepness affects the speed of water currents and consequent erosion, slumping potential, and distribution of benthic fauna (Kostylev et al. 2003). Gradient may allow for the intrusion of water masses onto the shelf which can result in locally enhanced nutrients and larvae fluxes (Harris et al., 2005, Wilson et al., 2008). Reefs mapped using underwater cameras coincide with pixels in the BTM that represented deep crests over the valley flanks.

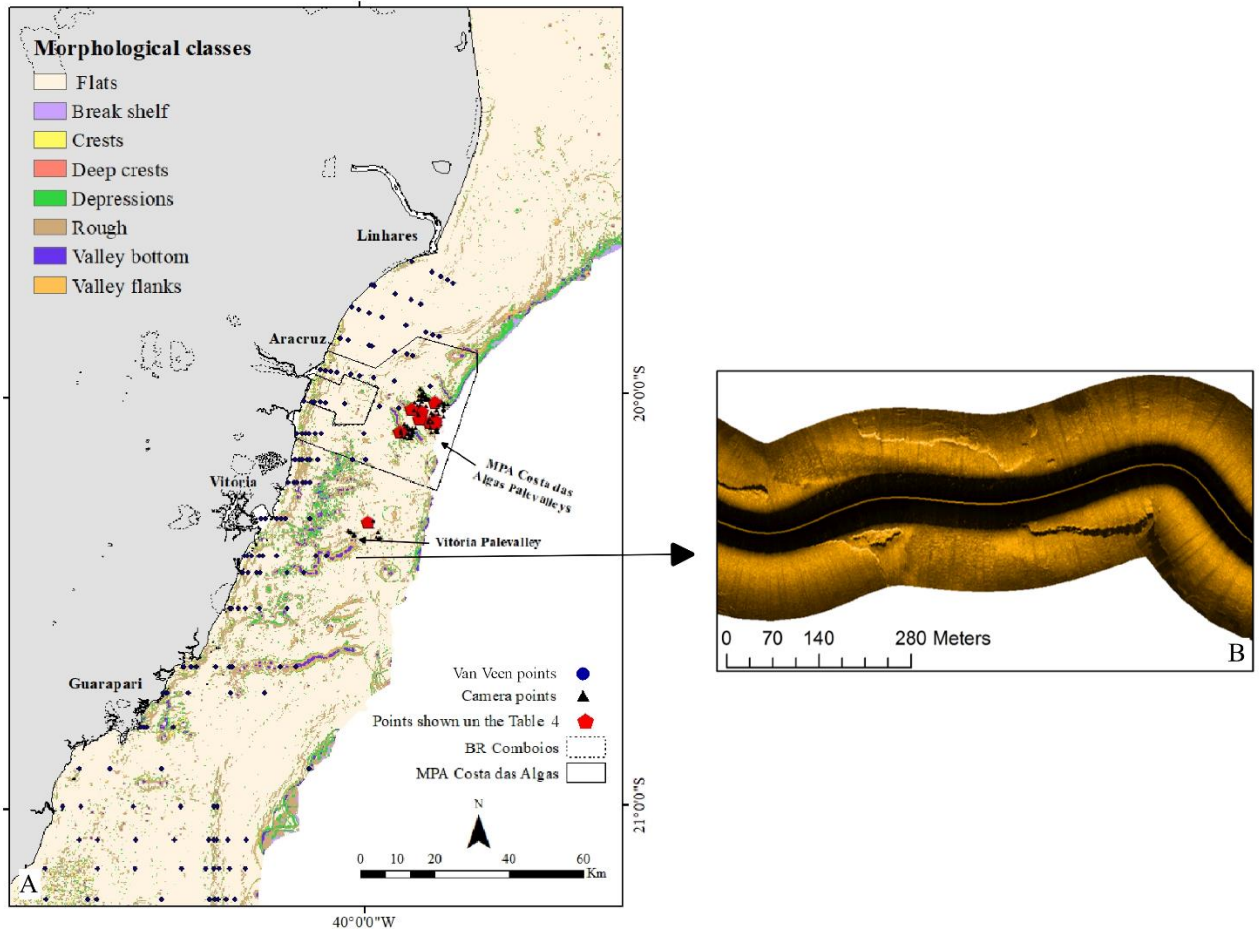


Figure 4. (A) Map of the BTM classes with the location of ground truth information; (B) Side-scan sonar showing the high backscatter data related to reefs along the margin and flanks of the Vitória paleovalley.

Seabed images have, qualitatively, shown a difference in physical habitats when comparing the MPA-CA and Vitória valleys. In the Vitória valley, finer sediments with smaller organisms are more common on the seabed, flanks and the adjacent valley flat beds. The MPA-CA valleys presented a more sandy and carbonate sediments with a larger variation of epifauna groups in the flanks and the adjacent flat beds. Both valleys and adjacent flat beds present rhodoliths with varying coverage densities.

6. Conclusion

By combining sediment type with seabed morphology, the local geodiversity and its influence on habitat distribution has been studied. The regional bathymetric data set was used with the analysis of terrain variables (slope, BPI and ruggedness) to define

seascape benthic classes. Combining the morphological-derived benthic classes with sediment types, a group of potential physical habitats is established, producing a first map of seascape distribution.

The results show that morphology, combined with two major sedimentary processes (riverine sediment input and carbonate sedimentation) controls the pattern of ESCS habitat distribution. Flat-bottom associated habitats and rough/irregular associated habitats are the two main categories observed along the shelf. Sediment distribution seems not to be a major controlling factor affecting potential habitats pattern. Shelf-incised valleys, combined with reef grown plus rhodolith beds are recognized as the most complex and biodiversity habitat along the ESCS.

A highlight from this approach is the mapping of incised-shelf valleys as a major habitat class that has not been widely described in the literature. Shelf-incised valleys can be a morphological habitat of great complexity, because they add slope (significant changes in water depth) and roughness to the shelf seabed, and may influence oceanic fluxes. This combination of factors means that shelf valleys are a seascape can support diverse benthic communities.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was financially supported by FAPES grant PPE Gerenciamento Costeiro and FAPES/CAPES/CNPq grant PELD Abrolhos. ACB is a CNPq fellow scientist. This paper is a contribution to Rede Abrolhos. The first author has a PhD scholarship provided by FAPES. We are very much thankful to two anonymous reviewers.

REFERENCES

- Amado-Filho GM, Pereira-Filho GH (2012) Rhodolith beds in Brazil : a new potential habitat for marine bioprospection. *Rev Bras Farmacogn.* 22(4):782–788. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-695X2012005000066>
- Amado-Filho GM, Pereira-Filho GH, Bahia RG, Abrantes DP, Veras PC, Matheus Z (2012) Occurrence and distribution of rhodolith beds on the Fernando de Noronha Archipelago of Brazil. *Aquat Bot.* 101: 41–45. <http://doi.org/10.1016/j.aquabot.2012.03.016>

- Angulo RJ, Lessa GC, Souza MCD (2006). A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quat. Sci.Rev**, 25, 486- 506. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.008>
- Bastos AC, Costa Moscon DM, Carmo D, Neto JAB, Quaresma VS (2015) Modern sedimentation processes in a wave-dominated coastal embayment: Espírito Santo Bay, southeast Brazil. **Geo-Mar Lett** .35(1): 23–36. <http://doi.org/10.1007/s00367-014-0387-x>
- Beaman RJ, Harris PT (2008). Geophysical Variables as Predictors of Megabenthos Assemblages from the Northern Great Barrier Reef , Australia. *Mapping the Seafloor for Habitat Characterization: Geological Association of Canada*, 241–258. Retrieved from <http://ecite.utas.edu.au/57041>
- Bourguignon SN, Bastos AC, Quaresma VS, Vieira FV, Pinheiro H, Amado-Filho GM, Moura R, Teixeira JB (2018) Seabed Morphology and Sedimentary Regimes defining Fishing Grounds along the Eastern Brazilian Shelf. **Geosciences**. 8(3): 2-17. <http://doi:10.3390/geosciences8030091>
- Brothers DS, ten Brink US, Andrews, BD, Chaytor JD (2013). Geomorphic characterization of the U.S. Atlantic continental margin. **Mar. Geol.** 338:46 - 63. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.12.008>
- Brown CJ, Beaudoin J, Brissette M, Gazzola V(2018) Multispectral Multibeam Echo Sounder Backscatter as a Tool for Improved Seafloor Characterization. **Geosciences** 9(3): <https://doi.org/10.3390/geosciences9030126>
- Buhl-Mortensen P, Dolan M, Buhl-Mortensen L (2009). Prediction of habitats on a fishing bank off Northern Norway using a combination of multivariate analysis and GIS classification. **ICES J. Mar. Sci.** 66: 2026–2032. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp200>
- Cartes JE, Carrasson M (2004) Influence of trophic variables on the depth-range distribution and zonation rates of deep-sea megafauna: the case of the Western Mediterranean assemblages. **Deep-Sea Res I**. 51:263–279. doi:10.1016/j.dsr.2003.10.001
- Catuneanu, O., 2002. Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. **J. Afr. Earth Sci.** 35 (1): 1- 43. [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(02\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(02)00004-0)
- Dalrymple RW, Boyd R, Zaitlin BA (1994) Incised-valley systems: origin and sedimentary sequences. **Spec Publ Econ Paleont Miner.** 51:3-10.
- Diesing M, Mitchel P, Stephens D (2016). Image-based seabed classification: what can we learn from terrestrial remote sensing? **ICES J Mar Sci.** 73 (10): 2425-2441. <http://doi:10.1093/icesjms/fsw118>
- Erdey-Heydorn MD (2008) An ArcGIS Seabed Characterization Toolbox Developed for Investigating Benthic Habitats. **Mar Geod.** 31: 318–358. <http://dx.doi.org/10.1080/01490410802466819>
- Harris PT, Baker EK (2012) Why Map Benthic Habitats? In: Harris PT, Baker EK (Eds.), *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat*. Elsevier, Amsterdam, pp 3–22.
- Harris PT, Heap A, Passlow V, Hughes M, Daniell J, Hemer M, Anderson O (2005). Tidally incised valleys on tropical carbonate shelves: An example from the northern Great Barrier Reef, Australia. **Mar Geol.** 220(1–4): 181–204. <http://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.06.019>

- Henriques MC, Villas-Boas A, Rodriguez RR, Figueiredo MAO (2011) New records of rhodolith-forming species (Corallinales, Rhodophyta) from deep water in Espírito Santo State, Brazil. **Helgoland Mar Res.**66(2): 219–231. <http://doi.org/10.1007/s10152-011-0264-1>
- Jerosch K, Kuhn G, Krajnik I, Scharf FK, Dorschel B (2015) A geomorphological seabed classification for the Weddell Sea, Antarctica. **Mar Geophys Res.** 37(2):127–141. <http://doi.org/10.1007/s11001-015-9256-x>
- Kaskela AM, Kotilainen AT (2017) Seabed geodiversity in a glaciated shelf area, the Baltic Sea. **Geomorphology**, 295:419–435. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.07.014>
- Kaskela AM, Rousi H, Ronkainen M, Orlova M, Babin A, Gogoberidze G, et al. (2017). Linkages between benthic assemblages and physical environmental factors: The role of geodiversity in Eastern Gulf of Finland ecosystems. **Cont Shelf Res.** 142: 1–13. <http://doi.org/10.1016/j.csr.2017.05.013>
- Kostylev VE, Courtney RC, Robert G, Todd BJ (2003). Stock evaluation of giant scallop (*Placopecten magellanicus*) using high-resolution acoustics for seabed mapping. **Fish. Res.** 60 (2–3): 479–492. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(02\)00100-5](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(02)00100-5)
- Lecours V, Dolan MFJ, Micallef A, Lucieer VL (2016) A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor. **Hydrol Earth Syst Sci.** 20: 3207–3244. <https://doi.org/10.5194/hess-20-3207-2016>
- Locker SD, Armstrong RA, Battista TA, Rooney JJ, Sherman C, Zawada DG (2010) Geomorphology of mesophotic coral ecosystems: current perspectives on morphology, distribution, and mapping strategies. **Coral Reefs.** 29: 329–345. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0613-6>
- Lozach S, Donovan JC (2012) Temporal stability of a coarse sediment community in the Central Eastern English Channel Paleovalleys. **J Sea Res.** 71: 14–24. <http://doi:10.1016/j.seares.2012.03.007>
- Lundblad ER, Wright DJ, Miller J, Larkin EM, Rinehart R, Naar DF, et al. (2006) A benthic terrain classification scheme for American Samoa. **Mar Geod.** 29(2): 89–111. <http://doi.org/10.1080/01490410600738021>
- Micallef A, Le TP, Huvenne VAI, Blondel P, Deidun A, Veit H (2012) A multi-method approach for benthic habitat mapping of shallow coastal areas with high-resolution multibeam data. **Cont Shelf Res.** 39(40): 14–26. <http://doi.org/10.1016/j.csr.2012.03.008>
- Niemer E (1977). Climatologia da região sudeste do Brasil. **Rev. Bras. Geogr.** 34: 3–48.
- Palóczy A, Brink KH, da Silveira ICA, Arruda WZ, Martins RP (2016) Pathways and mechanisms of offshore water intrusions on the Espírito Santo Basin shelf (188S–228S, Brazil). **J Geophys Res Oceans.** 121: 5134–5163. <http://doi:10.1002/2015JC011468>.
- Pratson LF, Nittrouer ACA, Wiberg PL, Steckler MS, Swenson JB, Cacchione DA, Karson JÁ, Murray AB, Wolinsky MA, et al. (2007) Seascapes evolution on clastic continental shelves and slopes, In *Continental margin Sedimentation : from Sediment Transport to Sequence Stratigraphy*/edited by C.A. Nittrouer... [et al.]. p. cm. e (Special publication number 37 of the International Association of Sedimentologists) 339.
- Pereira-Filho GH, Amado-Filho GM, Moura RL, Bastos AC, Guimarães SMPB, Salgado LT, Francini Filho RB, Bahia RG, Abrantes DP, Guth AZ, Brasileiro PS (2011). Extensive

- rhodolith beds cover the summits of southwestern Atlantic Ocean Seamounts. **J Coast Res.** 28: 261–269. <https://doi.org/10.2112/11T-00007.1>
- Pinard V, Dussault C, Ouellet J-P, Fortin, D, Courtois R (2012) Calving rate, calf survival rate, and habitat selection of forest-dwelling caribou in a highly managed landscape. **J Wildl Manag.** 76, 189–199. <http://doi: 10.1002/jwmg.217>
- Reuter HI, Hengl T, Gessler P, Soille P (2009) Preparation of DEMs for geomorphometric analysis. In: Hengl T, Reuter HI (Eds). *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Developments in Soil Science, vol. 33, pp 87–120. Elsevier, Amsterdam.
- Riley SJ, DeGloria SD, Elliot R (1999) A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermt J Sci.* 5: 23–27.
- Schattner U, Lazar M, Tibor G, Ben-Avraham Z, Makovsky Y (2010). Filling up the shelf and a sedimentary response to the last post-glacial sea rise. **Mar. Geol.** 278: 165-176. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2010.10.006>
- Stein A, Gerstner K, Kreft H (2014). Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. **Ecol. Lett.** 17(7): 866–880. <https://doi.org/10.1111/ele.12277>
- Steller DL, Foster MS (1995) Environmental factors influencing distribution and morphology of rhodoliths in Bahía Concepción, B.C.S., México. **J Exp Mar Biol Ecol.** 194:201–212. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(95\)00086-0](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(95)00086-0)
- Stemann T, Donovan SK (2008) Paleo-channel or sinkhole? Reinterpretation of an enigmatic structure near Discovery Bay, north central Jamaica. **Caribb J Sci.** 44(2): 242-246. <http://dx.doi.org/10.18475/cjos.v44i2.a13>
- Sternberg RW, Nowell ARM (1999) . Continental shelf sedimentology: scales of investigation define future research opportunities. **J. Sea Res.** 41 (1): 55-71. [https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(98\)00037-9](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(98)00037-9)
- Tews J, Brose U, Grimm V, Tielbörger K, Wichmann MC, Schwager M, Jeltsch F (2004). Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. **J. Biogeogr.** 31, 79–92. <https://doi.org/10.1046/j.0305-0270.2003.00994.x>
- Tosi L, Zecchin M, Franchi F, Bergamasco A, Da Lio C, Baradello L, et al. (2017) Paleochannel and beach-bar palimpsest topography as initial substrate for coralligenous buildups offshore Venice, Italy. *Scientific reports*, 7(1): 1321 – 1330. <http://doi:10.1038/s41598-017-01483-z>
- Vera CS, Vigliarolo PK, Berbery EH (2002). Cold season synoptic- scale waves over subtropical South America. **Mon. Weather Rev.** 130: 684–699. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2002\)130<0684:CSSSWO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2002)130<0684:CSSSWO>2.0.CO;2)
- Vieira FV, Bastos AB, Quaresma VSQ, Leite MD, Costa Jr A, Oliveira KSS, Dalvi CF, Bahia RG, Holz VL, Moura RL, Amado Filho GM (2019) Along-shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns **Continental Shelf Research** 187, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.103964>.
- Weiss AD (2001) Topographic position and landforms analysis. Poster Presentation, ESRI Users Conference, San Diego, CA.

- Weschenfelder J, Baitelli R, Corrêa ICS, Bortolin EC, Santos CB (2014) Quaternary incised valleys in the southern Brazil coastal zone. **JS Am Earth Sci.** 55: 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.07.004>
- Wilson MFJ, O'Connell B, Brown C, Guinan JC, Grehan AJ (2007) Multiscale terrain analysis of multibeam bathymetry data for habitat mapping on the continental slope. **Mar Geod** 30: 3–35. <https://doi.org/10.1080/01490410701295962>
- Wright DJ, Lundblad ER, Larkin EM, Rinehart RW, Murphy J, Cary-Kothera L, Draganov K. (2005) ArcGIS Benthic Terrain Modeler, Corvallis, OR: Oregon State University, Davey Jones Locker Seafloor Mapping/Marine GIS Laboratory. Retrieved June 4, 2008, from <http://www.csc.noaa.gov/products/btm/>

Capítulo 2:

SHELF GEOMORPHOLOGY AND PHYSICAL HABITAT DISTRIBUTION AS A LEGACY OF MARINE TRANSGRESSIONS AND REGRESSIONS

Natacha de Oliveira¹, Kyssyane Samihra Santos¹, Pedro Smith Menandro¹, Fernanda Vedoato Vieira¹, Marcos Daniel de Almeida Leite¹, Tarcila Franco Menandro¹, Gabriella Aleixo Rocha¹, Geandré Carlos Boni¹, Valéria Silva Quaresma¹, Alex Cardoso Bastos¹

¹ Laboratory of Marine Geosciences, Postgraduate Program in Environmental Oceanography, Dept Oceanography, Universidade Federal do Espírito Santo, Brazil

Abstract

Short to long term derived shelf morphology can be crucial for benthic habitat distribution. Sea-level fluctuations determine shelf exposure and flooding, which combined with sediment input and carbonate production rates defines shelf morphology heterogeneity. Thus, geomorphology-controlled habitats can be a legacy of sea-level rise and fall cycles. Here, we investigate the role played by relict geomorphology in benthic habitat distribution along the southeast Brazilian shelf and also discuss the influence of sediment type and water depth in habitat distribution, in comparison with shelf morphology. Broad-scale geomorphometric analysis was combined with fine-scale seabed acoustic mapping and ground-truth data in order to define geomorphology-controlled habitats. Geomorphometric results show 8 benthic terrain classes (Flat, Rough, Crests, Valley Flank, Valley Bottom, Depression, Deep Crest, Shelf Break), while 6 seabed sediment classes were defined (Hardground, Carbonate Gravel, Rhodolith, Mixed Sediments, Terrigenous Mud and Terrigenous Sand). Cluster analysis established that geomorphometry and sediment classes are related, but separated from water depth. The most dominant geomorphometric class is associated with different seabed types, but not with water depth, as the dominant classes (flat and rough bottoms) occur across the entire shelf water depth range. The study shelf is mostly flat, with a complex terrain variability marked by rugged/irregular seabed features associated with crests, depressions and incised valleys. These irregular and rugged features are interpreted as a result of transgressive and regressive cycles and modern highstand carbonate deposition/incrustation forming a highly irregular seabed morphology. Seabed images

presented a varied benthic fauna, a large incidence of rhodoliths and carbonate bioconcretions/crusts, forming small reefs along the border and flanks of the incised valleys. The combination of all the data reveals that the greater ruggedness is associated with a heterogeneous sediment covering and that the variable morphology gradient and diverse sedimentary cover result in the great potential of the area for the development of benthic habitats and benthic diversity. The main prominent morphological features, mainly the paleovalleys and rough bottom/hardgrounds, are considered a legacy of marine regression and transgression. A regional geomorphometric analysis of the seafloor was able to define habitat distribution, being an important tool for seabed management, prior to any other data collection.

Key words: Habitat mapping; Sea Level; Shelf geomorphology; Paleovalleys; Rhodoliths; Benthic Terrain Modeler

1 Introduction

The concept of habitat can be broadly defined as the place where a specific organism lives or the benthic community occupies (Begon et al., 1996). Kostylev et al. (2001) define habitat as a spatial area where physical, chemical and biological characteristics are distinct from the surroundings, indicating that the concept of habitat combines the abiotic and biotic aspects of the environment (Brown et al., 2011). Benthic habitat distribution is based, initially, on physical environmental parameters that represent much of the seafloor geodiversity, i.e., geomorphology and sediment types (Harris and Baker, 2019), and their acoustic derivatives – backscatter.

Several physical and environmental parameters are used to define and distinguish benthic habitats or benthoscapes, as well as applied as surrogates to model the distribution of the species-specific benthic community (McArthur et al., 2010; Brown et al., 2011; Harris and Baker, 2012). Sediment grain size, seabed morphology, seabed slope and roughness, water depth, backscatter, seabed disturbance, nutrient inputs and turbidity are among the parameters most used as surrogates (Buhl-Mortensen et al., 2015; Brown et al., 2012; Dunn & Halpin, 2009; McArthur et al., 2010). In light of this, in the last few decades there have been efforts to identify the physical patterns that contribute to the delimitation of habitats based on these indicators (Diaz et al., 2004).

Among the main physical parameters, seabed morphology is a major environmental control in habitat distribution, along with prevailing sedimentation patterns (Harris and Baker, 2019). Seabed morphology can be described and interpreted on different spatial scales, meaning that their origin can be related to prevailing sediment/seabed dynamics and to long-term temporal scale processes, such as sea-level changes. During the Last Glacial Maximum (LGM), the continental shelf was subaerially exposed; the base level dropped to around 120m below current sea level (Lambeck et al., 2014). Fluvial incision formed valleys across the continental shelves. Post-LGM transgression was marked by high rates of sea-level rise, associated with meltwater pulses and periods of stillstand. During stillstands, coastlines were formed and paleovalleys were filled, while during meltwater pulses, the shelf was flooded, drowning coastlines, coastal plains and incised valleys, forming a relict seabed morphology (Greene et al., 2014). This Pleistocene/Holocene evolution background along continental shelves is an important environmental control for the distribution of benthic habitats (Harris et al., 2005; Brown et al., 2011).

Moreover, considering that habitat mapping is spatial scale dependent, broad and fine-scale seabed mapping can provide distinct views and results over the same area, which is also important for seabed spatial planning and management. Broad-scale maps based on regional environmental data cannot be disregarded as an important tool for several purposes, but fine-scale mapping can provide specific and detailed observations and answers for managers and users.

Here, we investigate the distribution of physical habitats as a legacy of marine transgressions and regressions. Physical habitats are described based on a broad-scale geomorphometric analysis, and the influence of sediment type and water depth in habitat distribution is also tested, in order to understand the role played by relict morphology in benthic habitat distribution.

2 Regional setting

The study area is located along the Brazilian southeast-east coast, on the Espírito Santo Continental Shelf (ESCS, Fig. 1). Bastos et al. (2015) described distinct morphological compartments along the ESCS, based on their contrasting morphology and sediment types, including a terrigenous supply regime environment with a regressive deposit characterized by downlapping clinoforms (Doce river deltaic lobe) and a mixed-

carbonate dominated shelf characterized by low sediment input and an irregular morphology associated with unfilled paleovalleys. The authors named this sector of the shelf as the Paleovalley shelf, where the present study was carried out.

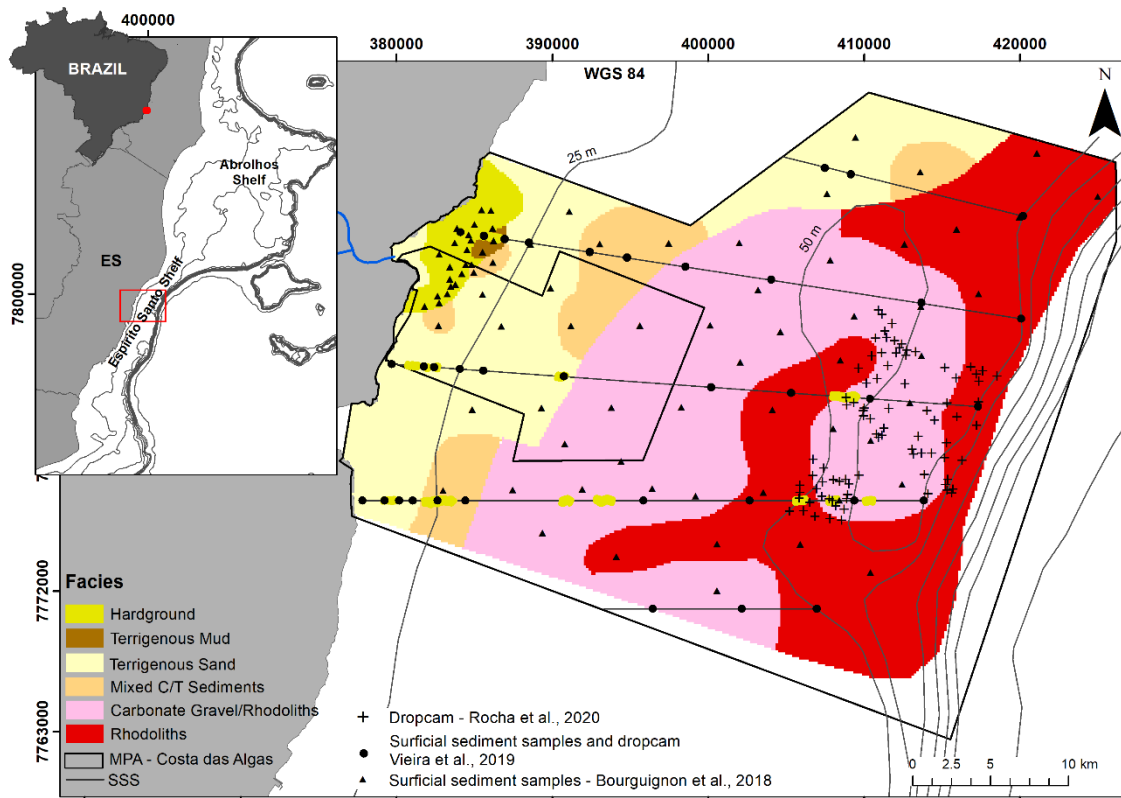


Figure 1. Location of the study area. Sedimentary facies is based on the data base provided by Bourguignon et al., 2018 (black triangles) and Vieira et al., 2019 (black dots). Map shows dropcam (black crosses). Shore-perpendicular black lines are side scan sonar transects.

Sampling site comprises two Marine Protected Areas (MPA), the Costa das Algas MPA and the Wildlife Refuge (RVS) of Santa Cruz. The MPA Costa das Algas (APA) extends from the coastline towards the continental shelf and slope, down to depths of approximately 700 m. The Santa Cruz Wildlife Refuge (RVS) is located on the inner shelf. These MPAs were created with the main goal of protecting, conserving and recovering the natural environments and biodiversity of the region. The MPA is known for the high diversity of crustose calcareous algae and extensive rhodolith beds (Vieira et al., 2019; Holz et al., 2020). The region is subject to strong pressure from the oil and gas industry (large exploration oil/gas field in the slope and a pipeline crossing the MPA), the fishing industry and potential mining of carbonate aggregates nearby.

The MPAs are inserted in a context of relevant geodiversity marked by an irregular shelf morphology, presenting partially infilled incised valleys, and mixed sedimentary processes, dominated by carbonate in the mid-outer shelf (extensive rhodolith beds, Rocha et al., 2020; Holz et al., 2020), and a more terrigenous area in the inner shelf, with the presence of Doce river delta 40km to the north (Bastos et al., 2015; Vieira et al., 2019) (Fig. 1).

Seasonal influence from the South Atlantic Central Water (SACW) along this region was observed by Palóczy et al. (2016), with periodic upwelling. The upwelling process presents important spatial variability along the Espírito Santo Continental Shelf (Mazzini and Barth, 2013; Palóczy et al., 2016). These mechanisms possibly contribute to nutrient enrichment in the region (Gaeta et al., 1999), leading to the maintenance and vitality of rhodolith beds.

3 Material and methods

The study was conducted using a compilation of data from different sources, most of them already published: regional bathymetric map (Bastos et al., 2015); regional seabed sediment distribution, seafloor images and side scan sonar surveys (Bourguignon et al., 2018; Vieira et al., 2019; Rocha et al., 2020). A description of the different datasets and the methodology of the analysis carried out in this study are presented below.

3.1 Geomorphometry: Benthic Terrain Modeler (BTM)

Geomorphometry is an interdisciplinary study field that seeks to extract and analyse parameters and surface characteristics from a terrain digital model (Pike et al., 2009). The basis for the geomorphometric classification in this study was regional bathymetric data obtained from the digitalization of sounding charts (Brazilian Hydrographic Office - DNH, in Portuguese) published by Bastos et al. (2015). The XYZ data was interpolated in ArcGIS software (ESRI, Redlands, CA) using the Inverse Distance Weighting (IDW) method with a spatial resolution of 150 m.

BTM 3.0 is a classification toolbox available in ArcGIS software (Walbridge et al., 2018), which has the objective of classifying benthic terrains (Lundblad et al., 2006). The bathymetric data generate a series of terrain variables, which when combined into a dictionary (Table 1) result in geomorphometric classification of the seabed. Bathymetry,

slope (first derivative) and Bathymetric Position Index (BPI) (second derivative) are the variables used to define these classes.

Table 1. Dictionary utilized for the classification of the zones established by the BTM, showing the parameters used along with their lower and upper limits.

Class	Zone	Broad	Broad	Fine	Fine	Slope	Slope	Depth	Depth
		BPI Lower	BPI Upper	BPI Lower	BPI Upper	Lower (°)	Upper (°)	Lower (m)	Upper (m)
1	Crests	100		100				-25	
2	Valley Bottom		-100			0.1		-88	-10
3	Flats	-100	100	-100	100		0.25		
4	Rough	-100	100	-100	100	0.25			
5	Valley Flank	-100		-100		0.3		-60	-35
6	Shelf break		100					-198	-96
7	Depression	-100		-100				-190	
8	Deep crest		100						-26

BPI is an adaptation of the topographic index (TPI) of Weiss (2001), utilized on land environments. The grid is represented by a spectrum of negative and positive values, the results of a neighbourhood analysis between the elevation of a cell in relation to the average elevation of the adjacent cells in a defined area (Lundblad et al., 2006). A negative BPI value represents a cell with a lower elevation in relation to its neighbours, indicating structures as valleys. A positive BPI value represents a central cell with a higher elevation in relation to its neighbours, classifying them as crests. Values close to zero are the results of flat areas with constant declivity (Lundblad et al., 2006; Erdey-Heydorn, 2008).

3.2 High Resolution Seabed Acoustic Data

A high-resolution side scan sonar dataset presented by Vieira et al. (2019) is used herein (Fig.1). An Edgetech 4100 side scan sonar operating in 500kHz recorded cross-shelf acoustic image transects. The sonograms were used in order to map a specific target habitat: hardground and/or reefs. An expert manual interpretation of these features were

performed and a shape was created. Each shape was considered as a sample point and was used as a ground truth method to define the presence of hardground and reefs (same method used by Moura et al., 2013). Further, these points were combined with the sampling and imaging station results in the final cluster analysis. These images were also used here to illustrate seabed features in their relation to the geomorphometric classes.

3.3 Seabed Images

Seeking to validate the classification generated by the BTM, a total of 131 available seafloor imaging stations were used (Vieira et al., 2019; Rocha et al., 2020). The stations are located within the multibeam surveyed areas (80 stations, Rocha et al., 2020) and along the regional side scan transects (36 stations, Vieira et al., 2019). Seafloor images were obtained by a dropcam system composed of two high resolution cameras (Go Pro Hero 4) and lights attached to a pyramidal metal structure with a base of 60 x 60 cm. Seabed images were obtained orthogonally and laterally, providing a more panoramic view. Seabed was recorded for two minutes and each station was imaged in triplicate. Frames were obtained for each station allowing an estimate of density of the main organisms present and the form, size, vitality and covering of the hardground formation elements, rhodoliths and sandy/muddy, muddy and gravel bottoms. A qualitative image-based seabed classification was defined considering the overall observation of the frames and videos.

In order to characterize the rhodolith beds on the seafloor, we used the classification defined by the work of Rocha et al. (2020) based on Matsuda and Iryu (2011). Rhodolith beds were only considered when nodules represent at least 40% of the total analysed frame.

3.4 Seabed Sediment Distribution

The seabed sediment facies map published by Bourguignon et al., (2018) was used as a base map for this study, combined with the results from Vieira et al. (2019). For the clustering analysis carried out here (see below), the original grain size and composition data of the 130 samples were used. Sediment samples were collected with a Van veen grab sampler and grain size and composition (carbonate content) were obtained by traditional methods, as described in Bourguignon et al. (2018) and Vieira et al. (2019).

The facies classification was defined following Larsouner (1977), modified by Dias (1996). The sediment classification is based on carbonate content and grain size, including: lithoclastic/terrigenous ($\text{CaCO}_3 < 30\%$), lithobioclastic (30 to 50% CaCO_3), biolithoclastic (50 to 70% CaCO_3), and bioclastic/carbonate ($> 70\% \text{CaCO}_3$). Lithobioclastic and biolithoclastic are described as mixed sediments. In terms of grain size, we combined the limits of the original Larssouner table and defined the three main categories: sand, mud and gravel. Rhodoliths were also defined as a specific class when only nodules were collected.

3.5 Data Clustering

In order to investigate the relationship between environmental layers (geomorphometry classes) and seabed sediment types, and evaluate if their variation is also a function of depth, we normalized and clustered three variables: geomorphometric classes, seabed sediment classes (sampling) and water depth. Qualitative variables (geomorphometric classes and bottom sediment) gained a numerical value and all three variables were normalized and then analysed by means of a Ward cluster analysis. This unsupervised analysis classifies elements into groups, so that the elements within the same cluster are similar and where the number of groups is unknown (Kaufman and Rousseeuw, 1990). The number of clusters was assessed using the Euclidean distance (MacQueen, 1967), which defines distance or similarity between groups or samples. Sediment samples were also presented in the form of a contingency table, which records and analyses the relationship between two or more variables, in order to determine the distribution of the samples between classes. A heatmap was produced using the pheatmap package in R. In the cluster analysis sediment samples were used instead of seabed images considering the more subjective classification of the seabed based on images only. Also, sediment samples have a much better representation for the entire study areas, while seabed images are concentrated in specific areas (Fig. 1). However, a qualitative cluster of geomorphometric classes, seabed sedimentology and seabed image was carried out.

4 Results

4.1 Broad-scale Seabed Morphology and Geomorphometry

The Digital Bathymetric Model (DBM, Fig. 2a), combined with the derivative terrain attributes (Slope, Fig. 2b, BPI fine, Fig. 2c, BPI broad, Fig. 2d) show an overall flat continental shelf with prominent incised valleys and shallow irregular features. Incised valleys are clearly depicted from all the three attributes, marking the outer shelf morphology. Shallow irregular features, mainly disposed parallel to coast, are also defined in the slope and less clear from the BPI.

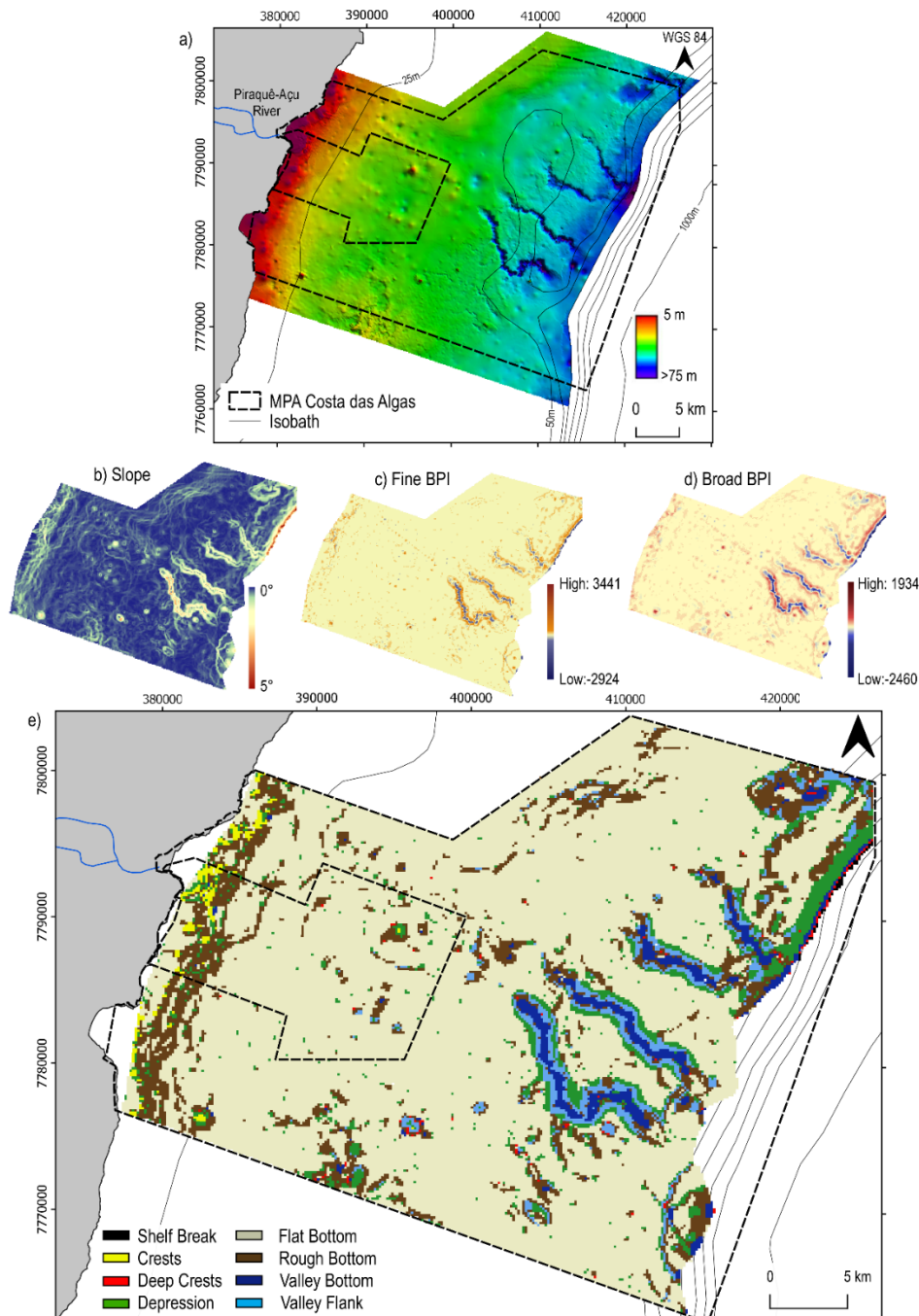


Figure 2. a) DBM of the MPA Costa das Algas. b) Slope; c) Fine BPI; d) Broad BPI; e) BTM classification.

The BTM analysis produced 8 distinct classes (Fig. 2e). The BTM geomorphometric classes are: Flat Bottom, Rough Bottom, Crests, Deep Crest, Depression, Valley Bottom, Valley Flank and Shelf Break. The area occupied by each class, and the overall percentage, are described in Table 2.

Table 2. Geomorphometric classes and their representation in area (km and %).

Classes	Area (km²)	Area (%)
Flat Bottom	897	74.8
Rough Bottom	151	12.7
Crest	7.8	0.65
Deep crest	3.2	0.25
Valley Flank	40	3.3
Valley Bottom	29	2.5
Depression	70	5.8
Shelf Break	1	0.09

The Flat Bottom class is predominant in the area (74.8%). These relatively flat areas are indicated by low Slope values (inclination angles smaller than 0.2°) and BPI close to 0.

Nearshore and inner shelf (< 30 m deep) show a noticeable variation of terrain relief defined by Rough Bottom (12%), Crest (0.65%) and Depression (5.8%) classes. These classes are dominant in shallower areas, being associated with higher BPI and slope, indicating the region roughness. The Rough Bottom class is characterized here as positive terrain with slopes between 0.25° and 0.81°. Crest is defined as a feature with positive terrain shallower than 26 m, while Depression is a negative morphology that can be present in the whole area, between coastline until at depths of up to 190 m. This class

is also associated with channel borders, and also occurs in north-eastern regions close to the shelf break.

The classes Valley Bottom and Valley Flank define the incised valleys observed in the DBM. The former class is defined by a smooth slope in a negative terrain, and the latter, also with negative relief, having a slope between 0.3° and 3.4°. Their occurrence starts at depths of 40 m, and the bottom of the valleys can reach as deep as 75m. Both classes described present low BPI values. These classes cover, respectively, 2.5% and 3.3% of the total area.

Covering 0.25% of the investigated area, the Deep Crest class was associated with other features, such as valleys and rugged seafloor, presenting higher values of BPI. This zone is described as having positive terrain and being present in depths above 26 m. The Shelf Break, in contrast, is a deeper water class, representing the border of the outer shelf; because of this, it was present in only 0.09% of the area. Since it is a negative terrain feature, the BPI values found for this class are the lowest, in contrast with high slope values, which vary between 3.5° and 13° observed on the map.

4.2 Seabed Physical Habitats

Seabed sediment distribution used in this study was defined based on Bourguignon et al. (2018) combined with Vieira et al. (2019), as presented in Figure 1. Following the sediment classification and side scan sonar images, 7 seabed types were defined: terrigenous sand and terrigenous mud, mixed sediments, carbonate gravel and rhodoliths, rhodoliths and hardground. The map in Figure 1 shows the distribution of terrigenous and mixed sediments in the inner shelf and carbonate gravel and rhodoliths dominating mid and outer shelf. Hardgrounds were also recognized and acoustically mapped, as illustrated in Figure 3b, 3c, 3d. A total of 5 seabed types were defined based on the seafloor images, as follows: unconsolidated sediments (US -coarse and fine sediment), mixed sediments (MS, mäerl and unconsolidated sediment), rhodoliths and unconsolidated sediments (R+US), rhodolith beds (R) and bioincrustations (BIOC, carbonate hardground rich in benthic coverage). Table 3 shows the relation between the seabed types and the BTM classes.

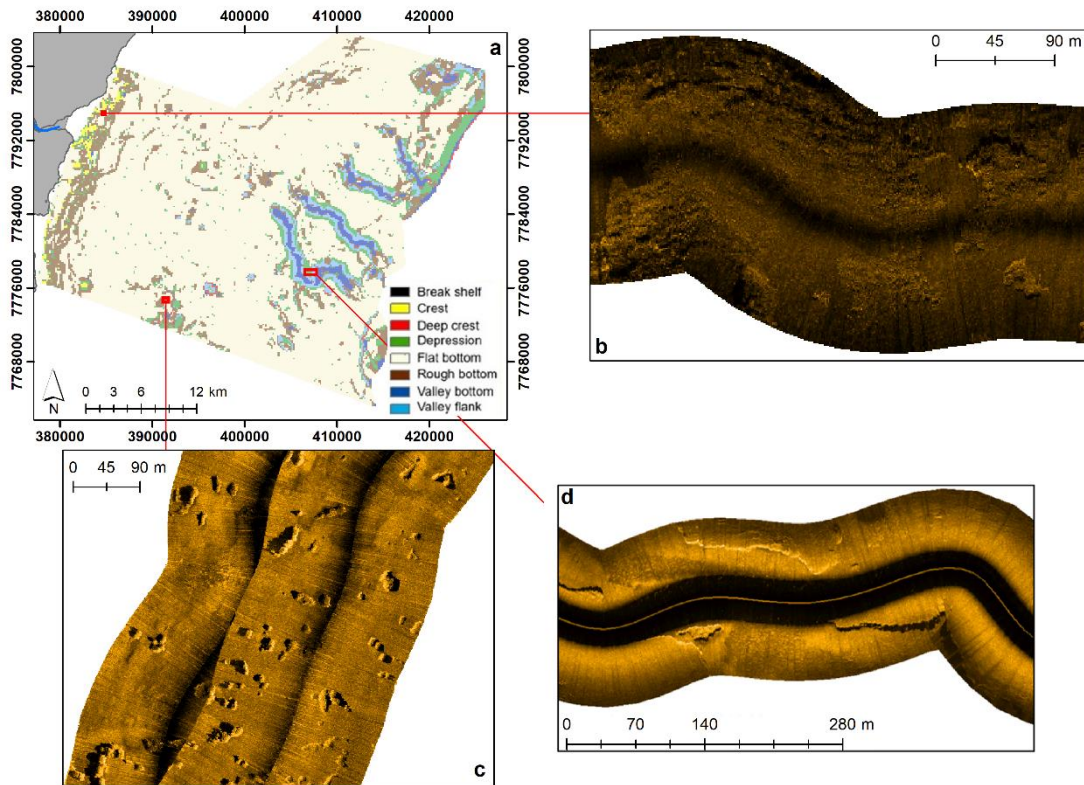


Figure 3. a) BTM classes map; b) side scan sonar image showing hard-ground structures associated with Crest and Rough Bottom classes; c) side scan sonar image showing reef structures associated with Rough Bottom class; d) side scan sonar image illustrating the valley morphology, being associated with Valley Flank and Valley Bottom classes. HG- hardground.

Table 3. Parametrization between BTM classes, Sediment classification and Image-based seabed types.

BTM classes	Seabed Sediments	Image-based Seabed types
Flat Bottom	Terrigenous sand	Unconsolidated sediment
	Terrigenous mud	Rhodoliths and Unconsolidated sediment
	Carbonate gravel and rhodoliths	Rhodolith bed
	Mixed sediments	Mixed sediment
	Rhodoliths	
Rough Bottom	Hardground	Unconsolidated sediment
	Terrigenous sand	Rhodolith bed
	Carbonate gravel and rhodoliths	Mixed sediment
	Mixed sediments	
Crest	Hardground	-
Deep Crest	Carbonate gravel and rhodoliths	Mixed sediment
Depression	Carbonate gravel and rhodoliths	Unconsolidated sediment
	Rhodoliths	Rhodoliths and Unconsolidated sediment
		Mixed sediment
Valley Bottom	Carbonate gravel and rhodoliths	Unconsolidated sediment
	Rhodoliths	Rhodoliths and Unconsolidated sediment
		Mixed sediment
Valley Flank	Carbonate gravel	Bioincrustations
	Rhodoliths	Rhodolith bed
Shelf break	Rhodoliths	-

The images of the seabed, combined with the sediment samples, reveal a diverse in seabed sediment types, associated with epifaunal and infaunal organisms. The qualitative result of the visual analysis indicates a diverse benthic cover where the seabed

morphology is irregular or has complex features. The bottom of the valleys, where the sediment is finer, had fewer observed organisms than on the margins and flanks.

The most frequent taxonomic groups depicted from the seafloor images were bryozoans, ascidians, sponges, black coral, macroalgae and calcareous algae. The large incidence of rhodoliths is also of note, possibly serving as substrate for the former groups. Rhodoliths are observed in variable nodule densities per area, including partially buried in the seabed of the paleovalleys. Figure 4 shows examples of the different types of seabed in relation to the class defined by the BTM, indicating the occurrence of various groups. Carbonate bioconcretions, forming small reefs or crusts with a dominant calcareous algae framework, were observed along the margin and flanks of the valleys (Fig. 3d and Fig. 4).

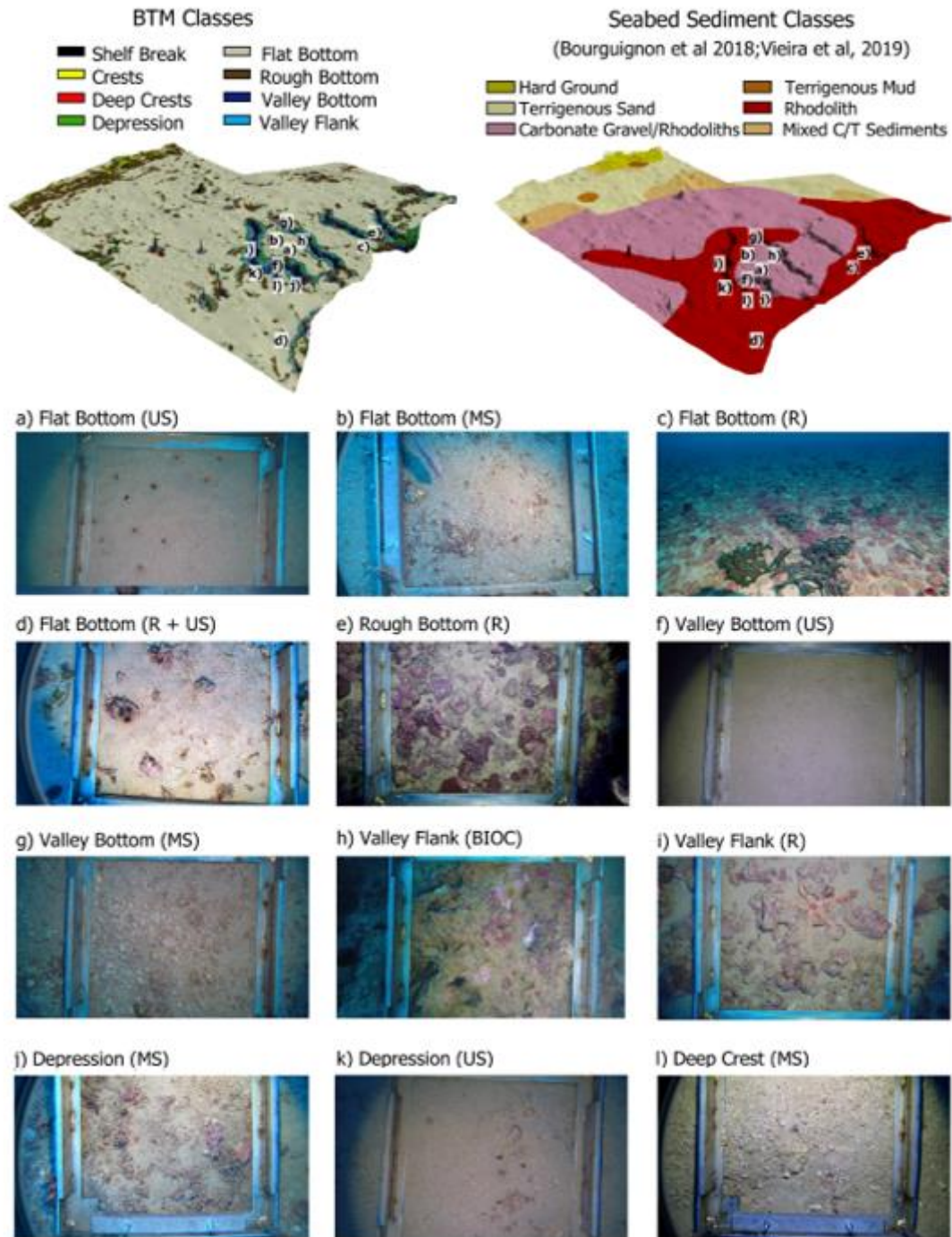


Figure 4. Bathymetric map combined with geomorphometric classes (BTM) and seabed sediment classes. A) Unconsolidated sediments on flat bottom; B) Mixed sediments on flat bottom; C) Rhodoliths on flat bottom; D) Unconsolidated sediments with sparse rhodoliths on flat bottom; E) Rhodoliths on rough bottom; F) Unconsolidated sediments on valley bottom; G) Mixed sediments on valley bottom; H) Bioconcretions/Hardgrounds on valley flank; I) Rhodoliths on valley flank; J) Mixed sediments on depression; K) Unconsolidated sediments on depression; L) Mixed sediments on crest.

4.3 Data Clustering

Before the cluster analysis, a contingency table is presented (Table 4). This table shows the distribution of seabed types for each geomorphometric class, providing a clear picture of the level of heterogeneity between the qualitative variables. The dominant Flat Bottom classes is associated with most of the seabed types, as well as the Rough Bottom and the Valley classes. This is can be related to the resolution and the original map scale used to produce the geomorphometric classes, and is discussed further on. Hardgrounds were found in all the classes corresponding to concretion on the seafloor, valley walls and concretions at the bottom of them. Flat bottom presented a larger sample size among the analysed classes, which is expected by the larger area it covers. However, the predominance of hardgrounds and mixed sediment is notable. Valley Bottom, after the flat portion of the area, is where most fine sediment (terrigenous sand) is found. In terms of sedimentary cover, this component together of largest number of mixed sediment samples was that made difference it of the Valley Flank. Crests presented samples classified as mixed sediments and hardgrounds, and Depressions shows a large range of seabed sediment classes (carbonate gravel and rhodoliths, hardgrounds, mixed sediments, rhodoliths and terrigenous mud). Deep Crests and Shelf Break classes do not have sediment samples.

Table 4. Contingency table. The number of existing samples for each possible combination of seabed sediment and geomorphometric classes.

	Crests	Depressions	Flat Bottom	Rough Bottom	Valley Bottom	Valley Flank
CGR	0	3	27	4	8	8
HG	2	11	41	39	2	2
MX	4	6	41	15	5	1
RD	0	2	21	9	4	5
TM	0	2	18	2	1	0
TS	0	0	15	7	12	5

Figure 5 shows the distribution of seabed sediment classes in relation to the water depth. Mixed sediments cover the largest depth range (between 5 and 78 m), while terrigenous sand is also present in a wide range (between 18 and 78 m), followed by terrigenous mud (1 - 60 m). Rhodoliths are present in areas deeper than 40 m, carbonate

gravel with rhodoliths occur between 35 and 65 m depth and hardground is concentrated in a range of depth between 15- 40 m with few samples present in depth between 60- 75 m.

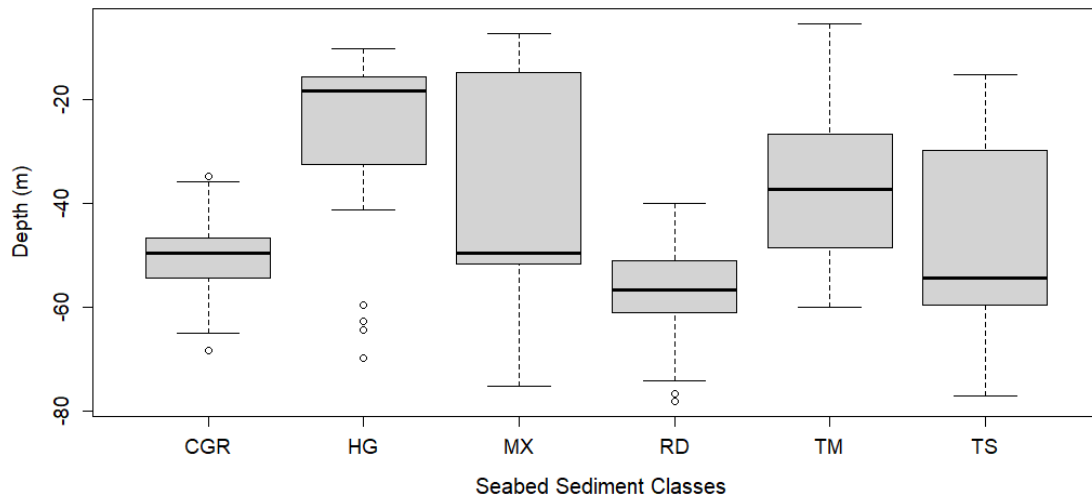


Figure 5. Box plot showing the water depth range for each mapped seabed sediment classes. CGR: carbonate gravel with rhodoliths, HG: Hardground, MX: Mixed sediment, RD: Rhodoliths, TM: Terrigenous mud, TS: Terrigenous sand.

The cluster analysis investigated the relation between geomorphometric (BTM) classes, depth and seabed sediment classes. A total of 7 groups were formed (Fig. 6). The heatmap shows that BTM classes and seabed sediment classes present a closer relationship, being together but separated from the variable depth. It is also possible to notice that depth presents greater variability in the Euclidian distances. Table 5 shows how the variables clustered for each of the 7 groups.

Group 1 is characterized by samples distributed between ~30 and 75 m deep over different BTM classes (Valley flanks, Valley bottom, Depression, Rough bottom), with mixed sediment and hard ground domain. The second is between ~ 45 and 78 m, without a specific BTM class (Valley flanks, Valley bottom, Depression, Rough bottom) and over domain of carbonate sediment (RD and CGR) and terrigenous sand. Cluster 3 is inserted between ~20 and 55 m deep, in the Flat Bottom class composed of mixed sediment and hard grounds. Cluster 4 is between 23 and 58 m deep, over the Flat Bottom class and carbonate sediment (CGR) and terrigenous sand domain. Cluster 5 is between ~20 and 75 m deep over Flat bottom, with a predominance of Terrigenous Mud and Rhodoliths. Cluster 6 is in an area between 7 and 23 m deep over Rough bottom and Depressions,

with a predominance of hardgrounds, mixed sediment and unconsolidated sediments (TS and TM). Cluster 7 is between 7 and 19 m deep over Flat bottom and Crests, with a predominance of hard grounds and mixed sediment.

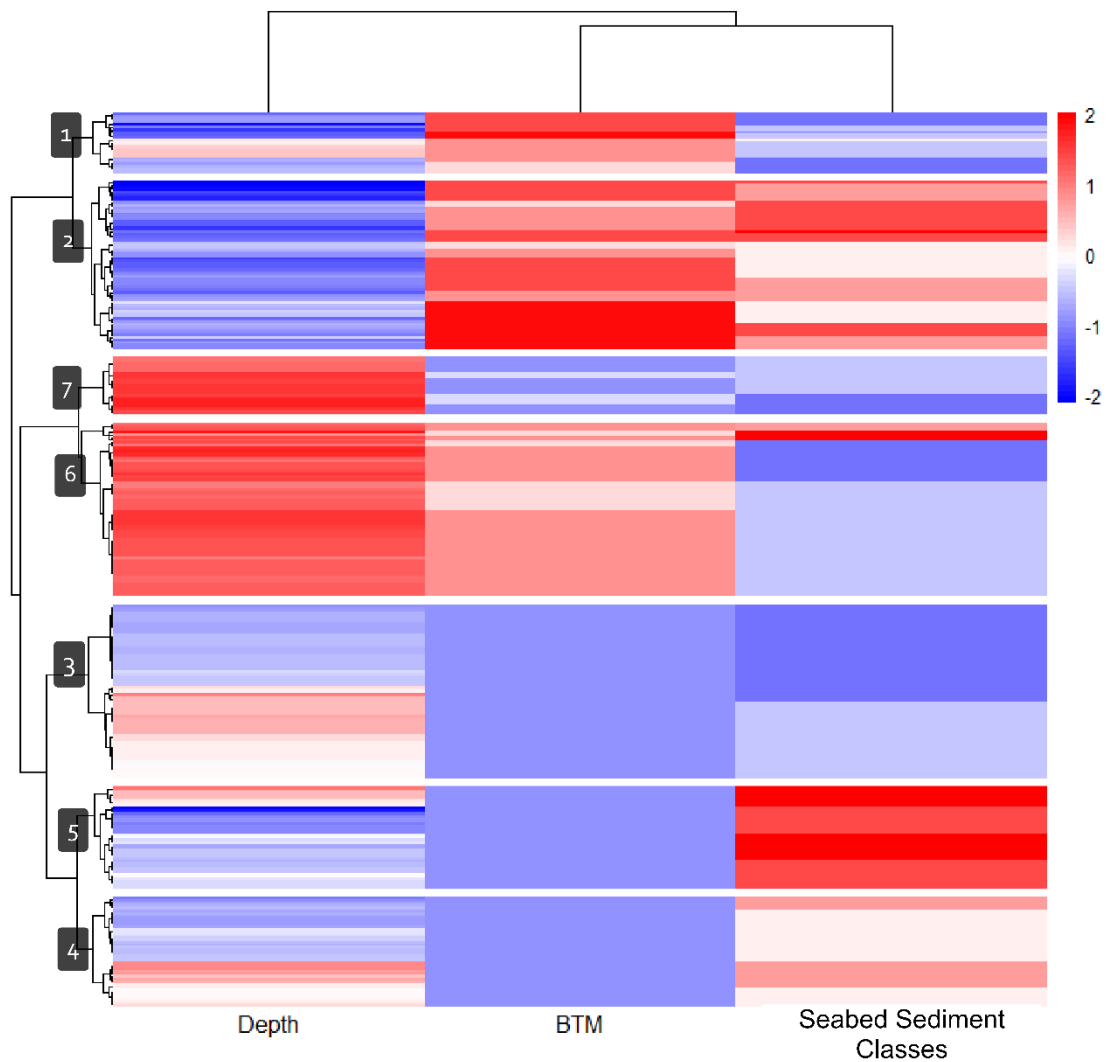


Figure 6. Clustering showing the relation between Depth, BTM classes and Seabed Sediment Classes and their variation in Euclidian distance terms (between -2 and 2).

Table 5. Cluster result showing the distribution of depth range, BTM and seabed sediment variables for each defined group.

Cluster	Depth range (m)	BTM classes	Seabed Sediment Classes
1	30-75	Valley Flanks, Valley Bottom, Depression, Rough bottom	MX, HG
2	45- 78	Valley Flanks, Valley Bottom, Depression, Rough bottom	CGR, TS, RD
3	20-55	Flat bottom	MX, HG
4	23- 58	Flat bottom	CGR, TS
5	20-75	Flat bottom	TM, RD
6	7-23	Rough bottom, Depression	HG, MX, TM, TS
7	7-19	Flat bottom, Crests	MX, HG

5 Discussion

Continental shelf geomorphology is controlled by the interplay of processes acting in different time scales (Pratson et al., 2007; Schattner et al., 2010; Nichol and Brooke, 2011; Yokoyama et al., 2018). Modern shelf morphology and sedimentology is closely related to sea-level fluctuations, sediment input and carbonate production during the last cycles of glacial and interglacial periods. Cycles of marine transgression and regression, associated with sedimentation rates and/or carbonate production rates, can impose changes in terrain morphology by either subaerially exposing the continental shelf or rapidly drowning the coastal plain/continental shelf. Both processes can leave specific morphological features such as drowned coastlines, dunes, lagoons, abrasion terraces and reefs, partially infilled paleovalleys, and relict sediments. The fact that shelf geomorphology can be used as a proxy, surrogate, or an environmental control for benthic habitat distribution has been discussed elsewhere (Heyman and Wright, 2011; Nichol and Brooke, 2011; Harris and Baker, 2012; Tecchiato et al., 2015; Goes et al., 2019; Harris and Baker, 2019) and is discussed here (i) as a legacy from transgressive and regressive cycles and (ii) as an environmental control to physical and benthic habitat distribution.

5.1 Seabed Features and Sea-level Fluctuations

The study shelf is mostly flat, with a meaningful terrain variability marked by rugged/irregular seabed features associated with crests, depressions and incised valleys. These irregular and rugged features are interpreted as a result of transgressive and regressive cycles and modern highstand deposition/incrustation forming the seabed morphological complexity in the Costa das Algas and RVS of Santa Cruz MPAs.

Among the 8 distinguished BTM terrain classes, crests, rough bottom, depression and the valley classes are typically drowned features formed during the last deglaciation. Inner shelf Rough bottom and Crests are distributed in a semi-parallel manner in relation to the modern coastline. These geomorphometric classes can be interpreted as drowned/submerged terraces or hardgrounds. Bastos et al. (2015) show that the irregular morphology along the inner shelf is closely related to coastal morphology, characterized by the presence of lateritic abrasion terraces that are exposed during low tides (microtide regime) along parts of the Espírito Santo coast. These authors discuss that the Espírito Santo Coast-Shelf morphology system is basically defined by spatial distribution of riverine sediment input and sea-level rates. This means that the coast-shelf system can be described and defined by starving and supply sectors. The Santa Cruz MPA is located in the starving sector, which is characterized by low sediment input, soft cliffs with associated narrow beaches and abrasion terraces. These terraces occur along the inner shelf and form a rigid substrate which is an adequate surface for the incrustation of organisms. These hardgrounds are also partially covered by highstand terrigenous and carbonate sediments.

The incised valleys are prominent morphological features in the Costa das Algas MPA. These valleys were formed during, probably, different phases of cut and fill due to past transgressive and regressive cycles, but the ultimate valley incision at the study MPA took place during the LGM, when the entire shelf was exposed (Lambek et al., 2014). During the post-LGM transgression, valleys were partially infilled and then, with high sea-level rise rates, they were drowned, leaving a relict valley morphology that stands out in the modern bathymetric maps. Such feature provides a three dimensional shape to a mostly flat shelf.

The observed valleys are, mainly, along the outer shelf. Highstand sedimentation at the outer shelf is dominated by carbonates (rhodoliths, bioclastic gravel and crusts/hardgrounds) intermingled with patches of relict sediments. Vieira et al. (2019) and

Holz et al. (2020) show the wide distribution of rhodoliths along the outer shelf and also discuss the prevailing oceanographic processes that maintain this benthic habitat, most related to low sediment input and seasonal upwelling (Palóczy et al., 2016). Rhodolith beds are the product of a combination of both regressive and transgressive cycles, where the rhodolith banks are transgressive-highstand facies, mainly where reefs are absent or could not keep up with rates of sea-level rise, becoming drowned reefs (Nalin et al., 2008; Amado-Filho et al., 2012). It is also important to note that the Valley Flank class, which marks the edges of the incised valley, is commonly associated with carbonate hardground. The presence of hardground is only observed in a higher-resolution mapping scale or in underwater images, but has been described as a common seabed feature associated with drowned valleys along the Brazilian southeast-east shelf (Moura et al., 2013; Bastos et al., 2015). Bastos et al. (2015) show that drowned incised valleys are widely observed along the Espírito Santo and Abrolhos shelf, and almost all the valleys present the formation of hardground along their edges.

The Depression geomorphometric class is related to the rough bottom, crests and valley flank. The irregularity observed along the inner shelf terraces also define depression classes, together with rough bottom and crests. Depression is also observed as part of the valley edge morphology, following the valley flank distribution. However, the main interesting occurrence of this class is observed in the transition from the outer shelf to the shelf break. The broad-scale shelf morphology data do not allow a clear interpretation, but the depression, in this case, could represent a paleocoastline or a paleoestuarine system around 60-65m water depth. This depth has been described as a major stillstand during the Younger Dryas period (Greene et al., 2014) and there are indications that it can be traced in the Espírito Santo and Abrolhos shelf (Vicalvi et al., 1978; Bastos et al., 2015).

5.2 Geomorphometry and Physical/Benthic Habitats

At first sight, it could be interpreted that, for example, Rough and Flat Bottom classes are related to 5 distinct seabed sediment classes, the morphology would not be a good environmental control for defining benthic habitats. However, it must be considered that shelf morphology and sedimentation can form a very complex mosaic of seabed features and sediments. Also, cross-shelf variation in water depth and distance to the coast are also important drivers for sediment and geomorphology distribution. Water depth influences seabed mobility (e.g., wave action), light attenuation, temperature, salinity,

etc, and distance to the coast may influence sediment and nutrient inputs, among others. Bourguignon et al. (2018) and Vieira et al (2019) showed that sediment distribution in Costa das Algas MPA varies with water depth. As pointed out before, terrigenous sediments dominate the coast/nearshore and inner shelf (water depth <25-30m), while mid to outer shelf sedimentation is predominantly carbonate. So, considering that the dominant Flat Bottom class occurs across the entire MPA continental shelf, from 10 to 100 m water depth, it is expected that seabed sediment types will vary significantly.

The cluster analysis was applied in order to check how geomorphometric classes, seabed sediment classes and water depth can be associated or grouped. We established that geomorphometry and sediment classes are related, but separated from water depth. This follows the explanation above, arguing that the most dominant geomorphometric class will be associated with different seabed types, but not with water depth, as it occurs across the entire shelf water depth range.

The cluster heatmap in Figure 5 shows that Groups 7 and 6 differs from groups 1 to 5 in relation to water depth (7-6 <20m deep; 1 to 5 >20m deep). Although groups 1 to 5 have similar depth ranges, the BTM classes distinguish them in two clusters, 1-2 and 3-4-5. Groups 1 and 2 are related to the rugged and irregular classes, while Groups 3, 4 and 5 represent the Flat Bottom class. The variable responsible for distinguishing each group is the seabed sediment type. In the general, the analysis of each cluster, separately, shows that seabed type is the key variable in determining the 7 groups, but water depth clearly separated two major clusters, that combined with the geomorphometric classes, defined 3 main clusters.

Thus, although the combination of geomorphology and seabed sediment types may present a complex answer or a difficult straight statistic solution to define physical/benthic habitats, it is clear that the rugged and irregular geomorphometric classes combined with the extensive presence of rhodoliths and the occurrence of hardground, stand out as important physical and benthic habitats in the Costa de Algas and Santa Cruz MPAs.

Rocha et al. (2020) combined multibeam-derived backscatter data and seabed image to determine the acoustic response to seabed rhodolith coverage, along the three areas (A, B, C) showed in Figure 1. Using the multibeam-derived backscatter the authors were able to identify and map the variability in rhodolith density and coverage across the Flat and Rough bottom classes occurring in between the valleys. These authors showed that rhodolith coverage (i.e. nodule density over a known area) can reach up to 80% of

the seabed and the highest rhodolith coverage/density is located along the margin of the valleys and across the flat and rough bottoms in between the valleys. The authors could also depict the carbonate concretion/hardground along the valley margins. Note that these authors did not use any terrain derivatives, only backscatter. Figure 7 combines the BTM class maps with the multibeam data and present the final habitat map produced by Rocha et al. (2020).

Holz et al. (2020) have also investigated the structure of the rhodolith beds in the Costa das Algas MPA using several seabed dropcamera images. They show that the highest rhodolith coverage and density in nodules/m² occur between 45 to 65 m water depth and that carbonate concretions/crusts can cover up to 45% of the seabed from 66 to 75m deep. These rhodolith bed have a great ecological meaning being fundamental to determination of biodiversity of benthic life; and are the dominant benthic habitat along the tropical Southwestern Atlantic continental shelf and one of the world's largest algae-dominated benthic systems (Foster, 2001). Also, Moura et al. (2021) showed that these habitats present high richness of reef fishes, although fish biomass is smaller than on reefs, which can be related to extensive area of rhodoliths. These findings provide additional support for the idea that rhodolith beds are extremely relevant to the conservation of this habitat.

In terms of the most conspicuous seabed feature in the area, the drowned valleys are composed of two main geomorphometric classes (Valley Flank and Valley Bottom), but are also related to other two classes, depression and rough bottom. Since the valley flank and bottom are geomorphologically and geomorphometric distinct, each class represent different habitats. Moreover, seabed images revealed differences between these two classes, in relation to sediment types and benthic community. Terrain slope, habitat microtopography and physical processes play an important role in the structure of the benthic community (Bridge et al. 2011). In fact, the fauna and variability in the species have been associated with the heterogeneity and terrain depth by many authors (Gladstone, 2007; Rattray et al., 2009; Rattray et al., 2013; Rengstorf et al., 2014; Kaskela et al., 2017). The geomorphology is particularly relevant as a substitute for the biotic components of benthic ecosystems, because it determines the stability and architecture of the seabed (Greene et al., 2007; Diaz et al., 2004). The Valley Bottom and Valley Flank must be analyzed separately, since their stability and architecture are distinct for each class.

The valley flanks are associated with rigid substrate, with carbonate concretions at the top and along their margins. Rigid substrates have greater stability, forming a suitable substrate for certain species that need a fixed substrate to develop. The epifauna found was variable, with notable presence of corals, algae, sponges and ascidians, as well as an associated nektonic fauna. A great number of rhodoliths were observed close to the border of the valley, possibly increasing the complexity of the habitat by providing tridimensional substrates in sandy bottoms (Hinojosa-Arango and Riosmena-Rodriguez, 2004). In general, greater diversity and abundance in a community have been correlated with greater density and covering of rhodoliths and a more complex habitat (Foster, 2001).

From the images it was possible to identify the bottom of the channels had a fine sedimentary cover over a flat seabed. Epifaunal organisms were not evident, quite possibly because insufficient substrate was available for their fixation. Because of the low variation in slope (nearly zero), combined with the homogenous flat morphology and the fine sedimentary cover, the bottom of the valleys can be recognized as a homogenous habitat.

In this study we used a regional bathymetric map combined with seabed sediment samples, underwater images and side scan sonar data. This approach combined a regional scale environmental layer with a high-resolution acoustic mapping technique. The side scan data depicted a target habitat, i.e., reefs and/or hardgrounds, which could not be distinguished with the regional bathymetric map. Using a top-down assessment (Brown et al., 2011), we considered sediment samples, underwater image and sonograms-derived shapes as ground truth points. This approach allowed a better recognition of the target habitat, or at least, a better ground truthing of the target habitat.

We can also compare and discuss how high-resolution data can considerably improve our knowledge or capacity to understand and map habitat variability. Rocha et al. (2020) applied the multibeam-derived backscatter to identify and map the variability in rhodolith density and coverage (see Fig. 1) across the Flat and Rough bottom classes occurring in between the valleys. The authors could also depict the carbonate concretion/hardground along the valley margins. These authors did not use any terrain derivatives in their analysis, but using backscatter as a surrogate allowed the recognition of different classes of rhodolith beds based on the percentage of rhodolith nodules coverage: low coverage < 25%; moderate coverage 25-35%; high coverage >35% of nodules over the seabed.

In general, the Costa das Algas and Santa Cruz MPAs shelf habitats are strongly related to multiple transgressions and regressions, but we can define that the forced regression leading to a lowstand around 28 and 18 kyrs BP, exposed the entire continental shelf during the LGM (Yokoyama et al., 2018), leading to the last valley incision and exposing all the Pleistocene abrasion terraces along the inner shelf and coast (Dominguez et al., 1981). Deglaciation started around 17.5 kyrs BP with high rates of sea-level rise, only interrupted during stillstand periods, that were followed by meltwater pulses with again high rates sea-level rise (Lambeck et al., 2014 and Yokoyama et al., 2018). This marine transgression flooded and drowned the valleys and any marine abrasion terrace until around 7 kyrs BP, when sea level reached present level and kept rising until ~5kyrs BP, when it started to gently fall (Angulo et al., 2006). During the Holocene highstand, a carbonate platform was established along the mid/outer shelf (locally mixed with relict sediments), dominated by rhodoliths and also coralline algae carbonate crusts in deeper areas and along the valley edges (Fig. 7). Holz et al. (2020) have also described the presence of bryoliths along the mid shelf (30-40m deep). The valley bottoms became a deeper habitat in the mid/outer shelf and kept a very low sedimentation with the scarce rhodoliths.

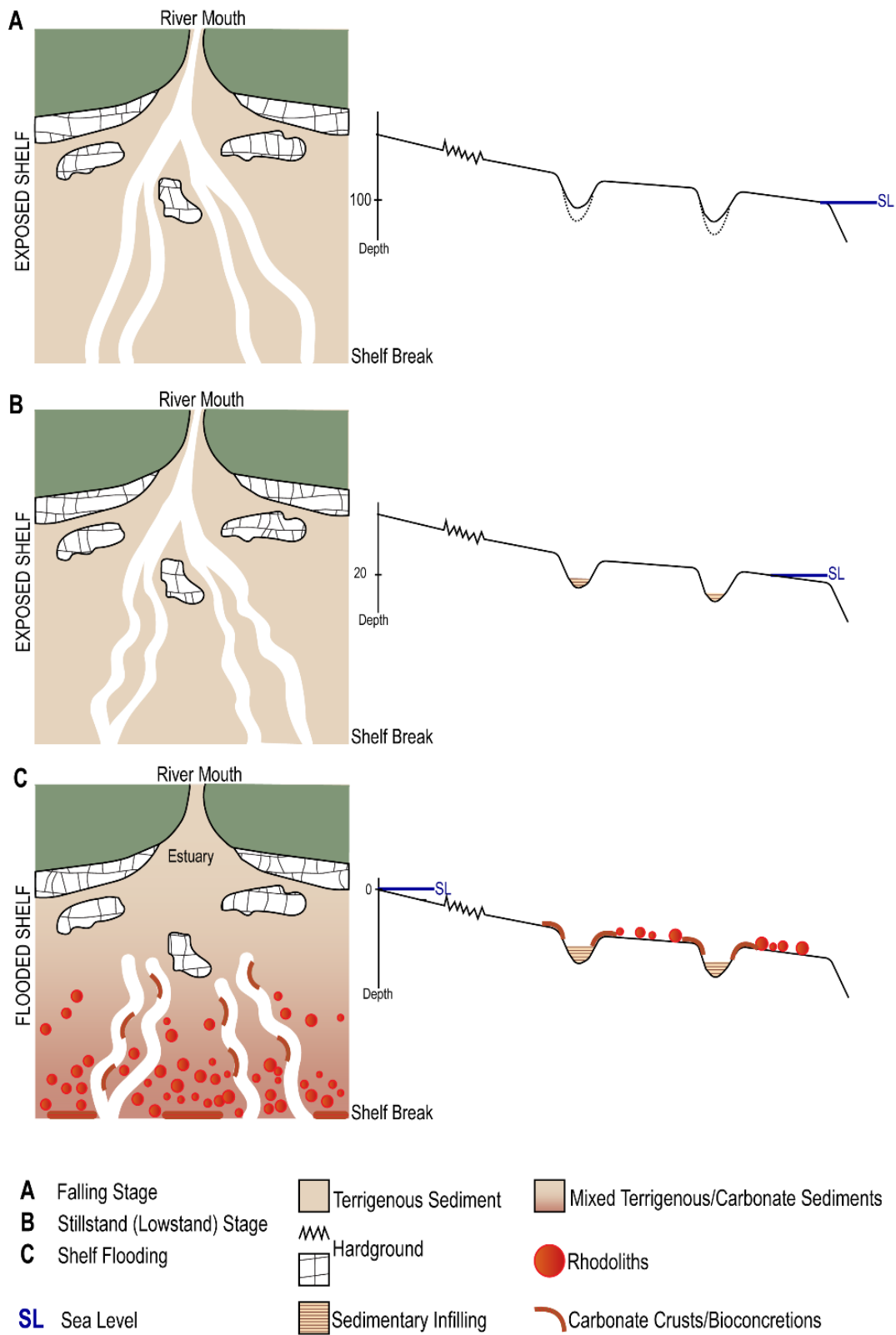


Figure 7. Model of geomorphological evolution of the Espírito Santo continental shelf and development model of potential physical habitats.

The presence of hardground substrate controlled by the distribution of abrasion terraces along the nearshore, made a suitable substrate for incrusting organisms, mainly sponges, corals and red algae. The nearshore area became a mixed system with relict and modern terrigenous deposits intermingled with hardground and bioclastic sediments, probably formed by erosive wave action on the hardground surface and/or shell hash. The terrigenous deposits are, in terms of infaunal benthic community, dominated by polychaetes and molluscs (Matthews-Coscon et al., 2018).

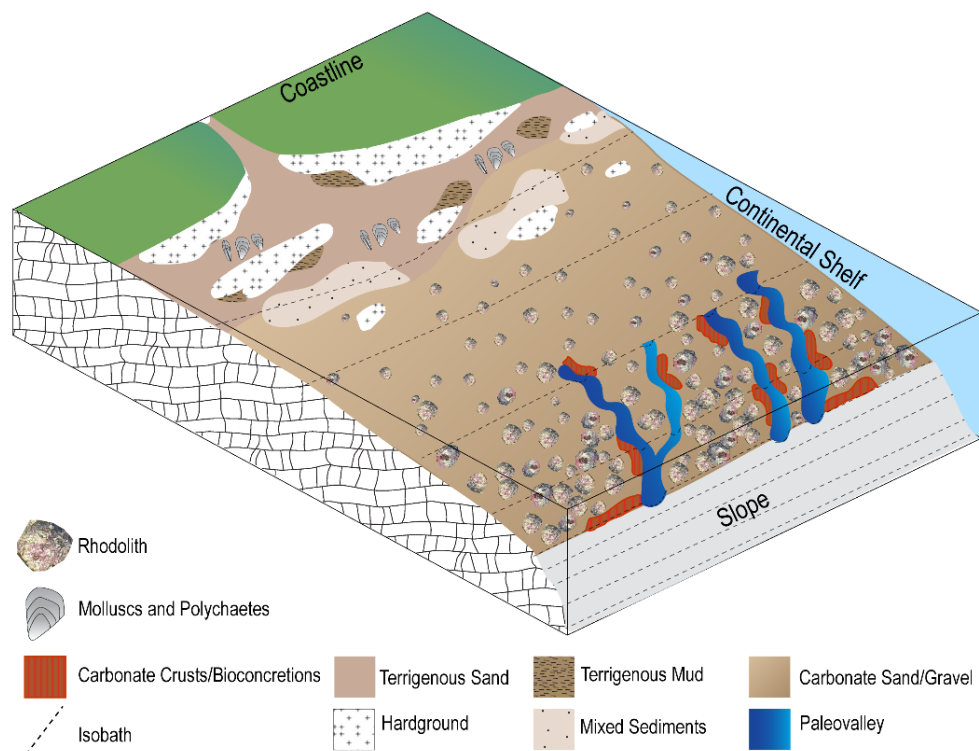


Figure 8. Illustrative model of the distribution of habitats on the shelf adjacent to the MPA Costa das Algas, constructed from the results of multiple mapping tools.

It is important to note that marine habitat mapping has been growing as a basic tool for spatial planning, sustainable use of marine natural resources and conservation of marine geo and biodiversity (Brown et al. 2011; Moura et al., 2013). Habitat maps can be used for predicting potential benthic community and specific species distribution, contributing within the scope of Ecosystem-Based Management (EBM, Brown et al. 2011; Long et al., 2015), supporting decision makers for a better use of marine resources (Harris and Baker, 2012). Applying a regional geomorphometric analysis in the Marine Protected Area (Costa das Algas) and Wildlife Refuge (Santa Cruz) provided a valuable

information prior to any other fine-scale bathymetric data collection, showing that the incised valley are a potential hotspot for biodiversity, considering the morphological complexity that they add to the continental shelf. These MPAs are only 40 km south from the Doce river mouth. This area was impacted by a major environmental disaster in 2015, caused by a tailing dam failure that released around 40 million m³ of iron ore tailings. The mud tailings travelled more than 600 km and reached the Doce river mouth, creating a tailing plume that dispersed along the coast (Quaresma et al., 2020). Thus, this baseline from a habitat mapping approach was crucial for the environmental evaluation and set up of a monitoring program in this area.

6 Conclusion

The combination of geomorphology and seabed sediment mapping, in regional and higher resolution scales, allowed the visualization of benthic habitat distribution in two Marine Protected Areas (Costa das Algas and Santa Cruz Wildlife Refuge).

Cluster analysis of geomorphometric classes, seabed sediment types and water depth established that geomorphometry and sediment classes are related, but separated from water depth. Here, seabed type was the key variable in distinguished the different cluster groups.

The presence of incised valleys and rugged and irregular morphology, combined with predominant carbonate sedimentation in the water depths greater than 35m and over shallow and deep rigid substrates, indicates that relict morphological features are important environmental controls for seabed habitat distribution. These features are interpreted as a legacy from marine regressive and transgressive cycles.

The combination of geomorphology and seabed sediment types presents a complex answer or a difficult straight statistic solution to define physical/benthic habitats. Rugged and irregular geomorphometric classes, combined with the extensive presence of rhodoliths and the occurrence of hardground, stand out as important physical and benthic habitats in the Costa de Algas and Santa Cruz MPAs, and a major conservation target considering their extension and importance for benthic and nekton associated biodiversity.

Seabed relict morphology combined with Holocene carbonate sedimentation and low sediment input, imprint a complex geodiversity to the area, inducing physical/benthic habitat distribution. In this case, rhodolith is a benthic and physical habitat, once it is a

living nodule and habitat for a variety of invertebrates, and also form a hard and potentially mobile seabed feature, showing a spatial change in bed structure. In addition, paleovalleys imprint a prominent seascape to a flat dominated shelf, as well as abrasion terraces forming hardground.

Thus, considering that most shelves underwent a rapid flooding caused by high rates of sea-level rise post Last Glacial Maximum, relict/drowned morphological features are major physical habitats, especially in areas with low sediment input during Holocene highstand or stillstand.

Acknowledgements

The first author has a PhD scholarship provided by FAPES. Authors are thankful for the distinct research agencies that supported this study: PELD-ABRS (FAPES, CNPq, CAPES); Ciências do Mar II (CAPES); Recuperação da Bacia do Rio Doce (FAPES). ACB acknowledge a CNPq Fellowship (PQ). We also thank the support provided by ICMBio and the MPA managers.

Funding information

This research was financially supported by FAPES grant PPE Gerenciamento Costeiro, FAPES/CAPES/CNPq grant PELD Abrolhos, Ciências do Mar II (CAPES); Recuperação da Bacia do Rio Doce (FAPES).

Conflict of Interest

Authors declare no conflict of interest.

References

- Amado-Filho, G. M., Moura, R. L., Bastos, A. C., Salgado, L. T., Sumida, P. Y., Guth, A. Z., ... Thompson, F. L. (2012). Rhodolith beds are major CaCO₃ BIO-factories in the tropical south West Atlantic. *PLoS ONE*, 7(4): 5–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035171>

- Angulo, R., Lessa, G., Souza, M. (2006). A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25, 486–506. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.008>
- Bastos, A. C., Quaresma, V. S., Marangoni, M. B., D'Agostini, D. P., Bourguignon, S. N., Cetto, P. H., ... Collins, M. (2015). 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*, 63 (December): 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.07.003>
- Bastos, A. C., Amado-Filho, G. M., Moura, R. L., Sampaio, F. M., Bassi, D., & Braga, J. C. (2016). Origin and sedimentary evolution of sinkholes (buracas) in the Abrolhos continental shelf, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 462: 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.09.009>
- Begon, M., Harper, J. L., Townsend, C. R. (1996). *Ecology: individuals, populations and communities*, 3rd edn. Blackwell, Science, Cambridge
- Bourguignon, S. N., Bastos, A. C., Quaresma, V. S., Vieira, F. V., Pinheiro, H., Amado-Filho, G. M., Moura, R. L., Teixeira, J. B. (2018). Seabed Morphology and Sedimentary Regimes defining Fishing Grounds along the Eastern Brazilian Shelf. *Geosciences*, 8: 91, doi:10.3390/geosciences8030091
- Bridge, T. C. L., Done, T. J., Beaman, R. J., Friedman, A., Williams, S. B., Pizarro, O., Webster, J. M. (2011). Topography, substratum and benthic macrofaunal relationships on a tropical mesophotic shelf margin, central Great Barrier Reef, Australia. *Coral Reefs*, 30(1): 143–153. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0677-3>
- Brown, C. J., Smith, S. J., Lawton, P., Anderson, J. T. (2011). Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 92: 502–520. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.02.007>
- Brown, C. J., Sameoto, J. A., Smith, S. J. (2012). Multiple methods, maps, and management applications: Purpose made seafloor maps in support of ocean management. *Journal Sea Research*. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2012.04.009>
- Buhl-Mortensen, L., Buhl-Mortensen, P., Dolan, M. J. F., Gonzalez-mirelis, G. (2015). Habitat mapping as a tool for conservation and sustainable use of marine resources: Some perspectives from the MAREANO Programme, Norway. *Journal Sea Researc*, 100: 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2014.10.014>
- Dias, G. T. M. Classificação de sedimentos marinhos, proposta de representação em cartas sedimentológicas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39., 1996. Salvador. Anais... Salvador: SBG, 1996, p. 423-426
- Diaz, R. J., Solan, M., Valente, R. M. (2004). A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. *Journal of Environmental Management*, 73: 165–181. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.06.004>

- Dominguez, J. M. L., Bittencourt, A. C. S. P., Martin, L. (1981). Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, 11 (4): 227-237,
- Dunn, D. C., Halpin, P. N. (2009). Rugosity-based regional modeling of hard-bottom habitat. *Marine Ecology Progress Series*, 377 (Leslie 2005): 1–11. <https://doi.org/10.3354/meps07839>
- Foster, M.S. (2001). Rhodoliths: Between rocks and soft places. *Journal of Phycology*, 37: 659–667. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2001.00195.x>
- Gaeta, S. A., Lorenzetti, J. A., Miranda, L. B., Susini-Ribeiro, S. M., Pompeu, M., Araujo, C. E. (1999). The Vitória Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral fall of 1995. *Archive of Fishery and Marine Research*, 47(2/3): 253–270.
- Gladstone, W. (2007). Requirements for marine protected areas to conserve the biodiversity of rocky reef fishes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 17: 71-87. <https://doi.org/10.1002/aqc.759>
- Goes, E. R., Brown, C. J., Araújo, T. C. (2019). Geomorphological classification of the benthic structures on a tropical continental shelf. *Frontiers in Marine Science*, 6: 47. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00047>
- Greene, A. N., Cooper, J. A. G., Salzmann, L. (2014). Geomorphic and stratigraphic signals of postglacial meltwater pulses on continental shelves. *Geology*, 42(2): 151-154. <https://doi.org/10.1130/G35052.1>
- Greene, H. G., O'Connell, V. M., Wakefield, W. W., Byrlinsky, C. K. (2007a). The offshore Edgumbe lava field, southeast Alaska: geologic and habitat characterization of a commercial fishing ground. (St Johns) In: Todd, B.J., Greene, H.G. (Eds.), *Mapping the Seafloor for Habitat Characterization*. 47. Geological Association of Canada, Canada, 277–295.
- Grilo, C. F., Quaresma, V. S., Amorim, G. F. L., Bastos, A. C. (2018). Changes in flocculation patterns of cohesive sediments after an iron ore mining dam failure. *Marine Geology*, 400(October 2017): 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2018.03.004>
- Harris, P. T., Baker, E. K. *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHAB Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019.
- Harris, P. T., Baker, E. K. *GeoHab atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats*. In *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2012; pp. 871–890.
- Harris, P. T., Heap, A., Passlow, V., Hughes, M., Daniell, J., Hemer, M., Anderson, O. (2005). Tidally incised valleys on tropical carbonate shelves: An example from the northern Great Barrier Reef, Australia. *Marine Geology*, 220(1–4): 181–204. <http://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.06.019>

- Heyman, W. D., Wright, D. J. (2011). Marine Geomorphology in the Design of Marine Reserve Networks. *The Professional Geographer*, 63: 429- 442. <https://doi.org/10.1080/00330124.2011.585074>
- Hinojosa-Arango, G., Riosèmena-Rodríguez, R. (2004). Influence of rhodolith-forming species and growth-form on associated fauna of rhodolith beds in the Central-West gulf of California, México. *Marine Ecology*, 25(2): 109–127. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2004.00019.x>
- Holz, V. L., Bahia, R. G., Karez, C. S., Vieira, F. V., Moraes, F. C., Vale, N. F., ... Bastos, A. C. (2020). Structure of Rhodolith Beds and Surrounding Habitats at the Doce River Shelf (Brazil). *Diversity*, 12(2): 75. <https://doi.org/10.3390/d12020075>
- Kaskela, A. M., Rousi, H., Ronkainen, M., Orlova, M., Babin, A., Gogoberidze, G., ... Zhamoida, V. (2017). Linkages between benthic assemblages and physical environmental factors: The role of geodiversity in Eastern Gulf of Finland ecosystems. *Continental Shelf Research*, 142(January 2016): 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.05.013>
- Kaufman, L., and Rousseeuw, P. J. (1990). Finding groups in data: An introduction to cluster analysis. New York: John Wiley and Sons, Inc..
- Kostylev, V. E., Todd, B. J., Fader, G. B. J., Courtney, R. C., Cameron, G. D. M., & Pickrill, R. A. (2001). Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs. *Marine Ecology Progress Series*, 219: 121–137. <https://doi.org/10.3354/meps219121>
- 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. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111 (43): 15296e15303. <https://doi.org/10.1073/pnas.1411762111>
- Land, L. A., Paull, C. K., Hobson, B. (1995). Genesis of a submarine sinkhole without subaerial exposure: Straits of Florida. *Geology*, 23: 949–951. [http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613\(1995\)023b0949:GOASSWN2.3.CO;2-20-3207-2016](http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613(1995)023b0949:GOASSWN2.3.CO;2-20-3207-2016)
- Larsonneur, C. (1977). La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche. *Journal de Recherche Océanographique*, 2: 34–39
- Long, R. D., Charles A., Stephenson R. L. (2015) Key principles of marine ecosystem-based management. *Marine Policy*, 57: 53–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2015.01.013>
- Lundblad E.R., Wright D.J., Miller J., Larkin E.M., Rinehart R., Naar D.F., Donahue B.T., Anderson S.M., Battista T. (2006) A Benthic Terrain Classification Scheme for American Samoa, *Marine Geodesy*, 29: 2, 89-111, doi: 10.1080/01490410600738021.
- MacQueen, J. B. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Proceedings of the Fifth Symposium on Math, Statistics, and Probability (pp. 281- 297). Berkeley, CA: University of California Press.

- Matthews-Cascon, H., Bezerra, L. E. A., Barroso, C. X., Rabay, S. G., Moreira, A. K., Rocha, V. P., & de Oliveira Soares, M. (2018). Marine benthic communities affected by the Doce River (southwestern Atlantic): Baseline before a mining disaster. *Marine pollution bulletin*, 135: 1000-1006. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.020
- McArthur, M. A., Brooke, B. P., Przeslawski, R., Ryan, D. A., Lucieer, V. L., Nichol, S., McCallum, A. W., Mellin, C., Cresswell, I. D., Radke, L. C. (2010). On the use of abiotic surrogates to describe marine benthic biodiversity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 88(1): 21–32. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.03.003
- Moura, R. L., Secchin, N. A., Amado-Filho, G. M., Francini-Filho, R. B., Freitas, M. O., Minte-Vera, C. V., Teixeira, J. B., ... Bastos, A. C. (2013). Spatial patterns of benthic megahabitats and conservation planning in the Abrolhos Bank. *Continental Shelf Research*, 70: 109-117. https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.04.036
- Moura, R. L., Abieri, M. L., Castro, G. M. et al. (2021). Tropical rhodolith beds are a major and belittled reef fish habitat. *Scientific Reports*, 11: 794. https://doi.org/10.1038/s41598-020-80574-w
- Nalin, R., Nelson, C. S., Basso, D., Massari, F. (2008). Rhodolith-bearing limestones as transgressive marker beds: fossil and modern examples from North Island, New Zealand. *Sedimentology*, 55(2): 249-274. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2007.00898.x
- Nichol, S. L., Brooke, B. P. (2011). Shelf habitat distribution as a legacy of Late Quaternary marine transgressions: A case study from a tropical carbonate province. *Continental Shelf Research*, 31 (17): 1845- 1857. https://doi.org/10.1016/j.csr.2011.08.009
- Quaresma, V. S., Bastos, A. C., Leite, M. D., Costa Jr, A., Cagnin, R. C., Grilo, C. F., ... & Oliveira, K. S. S. (2020). The effects of a tailing dam failure on the sedimentation of the eastern Brazilian inner shelf. *Continental Shelf Research*, 205, 104172. https://doi.org/10.1016/j.csr.2020.104172
- Palóczy, A., Brink, K. H., da Silveira, I. C. A., Arruda, W. Z., Martins, R. P. (2016) Pathways and mechanisms of offshore water intrusions on the Espírito Santo Basin shelf (188S–228S, Brazil). *Journal Geophysics Research Oceans*. 121: 5134–5163. http://doi:10.1002/2015JC011468.
- Pike, R. J., Evans, I. S., Hengl, T. *Geomorphometry: A Brief Guide*, Geomorphometry—Concepts, Software, Applications; Hengl, T., Reuter, H.I., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2009; Volume 33, pp. 3–30.
- Pratson, L. F., Nittrouer, A. C. A., Wiberg, P. L., et al., (2007). Seascape evolution on clastic continental shelves and slopes, In *Continental margin Sedimentation: from Sediment Transport to Sequence Stratigraphy*/edited by C.A. Nittrouer... [et al.]. p. cm. e (Special publication number 37 of the International Association of Sedimentologists) 339.
- Rattray, A., Ierodiaconou, D., Laurenson, L., Burq, S., Reston, M. (2009). Hydro-acoustic remote sensing of benthic biological communities on the shallow South East Australian continental shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84(2): 237–245. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.06.023

- Rattray, A., Ierodiaconou, D., Monk, J., Versace, V. L., Laurenson, L. J. B. (2013). Detecting patterns of change in benthic habitats by acoustic remote sensing. *Marine Ecology Progress Series*, 477: 1–13. <https://doi.org/10.3354/meps10264>
- Rengstorf, A. M., Mohn, C., Brown, C., Wisz, M. S., & Grehan, A. J. (2014). Predicting the distribution of deep-sea vulnerable marine ecosystems using high-resolution data: Considerations and novel approaches. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 93: 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2014.07.007>
- Rocha, G. A., Bastos, A. C., Amado-Filho, G. M., Boni, G. C., Moura, R. L., Oliveira, N. (2020). Heterogeneity of rhodolith beds expressed in backscatter data. *Marine Geology*, 423: 106136. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106136>
- Schattner, U., Lazar, M., Tibor, G., Ben-Avraham, Z., Makovsky, Y. (2010). Filling up the shelf and A sedimentary response to the last post-glacial sea rise. *Marine Geology*, 278: 165-176. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2010.10.006>
- Tecchiato, S., Collins, L., Parnum, I., Stevens, A. (2015). The influence of geomorphology and sedimentary processes on benthic habitat distribution and littoral sediment dynamics: Geraldton, Western Australia. *Marine Geology*, 359, 148-162. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.10.005>
- Vicalvi, M. A., Costa, M. P. A., Kowsmann, R. O., 1978. Depressão dos Abrolhos: uma paleolaguna Holocênica na plataforma continental leste brasileira. *Boletim Técnico da Petrobrás* 21, 279–286.
- Vieira, F. V, Bastos, A. C., Quaresma, V. S., Leite, M. D., Jr, A. C., Oliveira, K. S. S., ... Amado, G. M. (2019). Along-shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns. *Continental Shelf Research*, 187(August): 103964. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.103964>
- Walbridge, S., Slocum, N., Pobuda, M., Wright, D. J. (2018). Unified Geomorphological Analysis Workflows with Benthic Terrain Modeler. *Geosciences*, 8: 94. [doi:10.3390/geosciences8030094](https://doi.org/10.3390/geosciences8030094)
- Weiss, A. D. (2001). Topographic position and landforms analysis. Poster Presentation, ESRI Users Conference, San Diego, CA
- Yokoyama, Y., Esat, T. M., Thompson, W. G., Thomas, A. L., Webster, J. M., Miyairi, Y., ... Kan, H. (2018). Rapid glaciation and a two-step sea level plunge into the Last Glacial Maximum. *Nature*, 559(7715): 603-607. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0335-4>

Capítulo 3:

SHELF-INCISED VALLEYS AS MESOPHOTIC REEFS

Natacha de Oliveira¹ & Alex Cardoso Bastos¹

¹ *Laboratory of Marine Geosciences, Postgraduate Program in Environmental Oceanography, Dept Oceanography, Universidade Federal do Espírito Santo, Brazil*

Abstract

Habitat mapping is based on an interdisciplinary analysis of the studied environment in order to understand which are the dominant and determinant variables over the present habitats. Knowing that geomorphology is an important piece for the development of benthoscaples and that more complex the sea floor, the greater its capacity to develop a plurality of habitats, paleovalleys become features of great potential for the formation of these groups. Thus, the MPA Costa das Algas paleovalleys were studied with goal to recognize the classes of habitats associated with the flanks, bottom and marginal area of the valleys. This was possible thanks to the integration of bathymetry data by multibeam echosounder, video imaging and physical-chemical parameters of the water column. Multivariate statistical analysis (PCA) pointed out to the determining variables controlling habitat distribution for each morphological region of the valleys. In the bottom portion, 60.72% of the total variance is explained by water temperature and depth; in valley flanks, 67.06% of the variance is explained by carbonate content and slope; along the shelf adjacent to the incised valleys, 79.17% of the variance is explained by water temperature, mud content and carbonate content. The OBIA (Object Based Image Analysis) led to the segmentation of the area into 6 classes. The subsequent combination of this result with classes identified by means of video images, allowed the production of the APA habitat map. Seventeen classes were identified, thirteen of which are associated with the valleys' relief (bottom valley and valley margins), showing that these features have great potential for biodiversity, with various mesophotic environments.

Key words: Marine habitat mapping, Geomorphology; MBES; Segmentation; Incised valleys.

1 Introdução

Muitos estudos têm sido desenvolvidos para melhor conhecimento e manejo de ambientes marinhos, uma vez que estes sofrem com atividades antrópicas que refletem direta e/ou indiretamente sobre o meio e a comunidade biológica que o integram. Assim, o mapeamento de habitats tornou-se uma ferramenta de uso essencial para a análise e monitoramento de sistemas costeiros e oceânicos bem como o planejamento espacial para fins de uso e conservação dos mesmos (Pandian et al., 2009; Brown et al., 2011; Micallef et al., 2012).

O estudo de um habitat, termo definido como um local onde uma planta ou animal é normalmente encontrado (Begon et al., 1996), parte do pressuposto de que as comunidades biológicas se distribuem ao longo de gradientes ambientais e que seus agrupamentos são definidos por conjuntos distintos de tais fatores (Brown & Blondel, 2009). Logo, o mapeamento destes grupos de organismos trata-se de uma análise interdisciplinar.

Embora a distribuição da fauna bentônica seja controlada por uma combinação de fatores ambientais (físico-químicos) e biológicos (Kostylev et al., 2001), padrões sedimentares e geomorfológicos de fundo são conhecidos como um dos principais fatores que ditam a estrutura física do meio ao qual os organismos se adequam e habitam. Dessa maneira, a heterogeneidade morfológica e sedimentológica do leito marinho define variações espaciais da geodiversidade que suportam a distribuição de habitats e, possivelmente, da biodiversidade associada (Jerosch et al., 2015; Kaskela et al., 2017).

Neste sentido, a geomorfologia e distribuição faunal nas plataformas continentais são resultado de diferentes processos atuando em escalas temporais e espaciais distintas. Durante os ciclos glaciais, as plataformas continentais foram expostas sub-aereamente e, nos ciclos glaciais *far-field sites*, foram inundadas durante os períodos inter-glaciais, com altas taxas de subida relativa do nível do mar. Esses processos de longo prazo, associados aos processos de curto prazo controlam a morfologia da plataforma.

Feições resultantes destas oscilações de nível do mar, como vales incisivos, recifes afogados, *hardgrounds*, sedimentos relictos, dolinas submersas, paleodunas, paleolagunas estão presentes nas plataformas e, como feições geomorfológicas, irão influenciar a distribuição dos habitats marinhos (Harris et al., 2005; Wright et al., 2012; Beamen et al., 2016; Bourguignon et al., 2018; Sherman et al., 2019). Muitas dessas

feições afogadas na porção média e externa da plataforma continental formam habitats mesofóticos. O estudo de habitats mesofóticos, principalmente recifes mesofóticos, vem ganhando foco nas últimas décadas por serem habitats que podem servir como refúgio para corais tipicamente mais rasos em situação de aquecimento da água do mar (Baker et al., 2016), bem como poderiam ser menos atingidos por processos de variabilidade climática e distribuição geográfica menos conhecida (Kostylev et al., 2001; Harris et al., 2005; Hinderstein et al., 2010; Bridge et al., 2011; Moura et al., 2013; Kahng et al., 2017; Sherman et al., 2019; Souza et al., 2020). As comunidades mesofóticas são caracterizadas pela presença de organismos dependentes de luz encontrados em uma zona de transição fótica e afótica, variando entre 30m e 40m de profundidade e podendo estar presentes além de 150m de profundidade em plataformas tropicais e subtropicais (Hinderstein et al., 2010).

O mapeamento mais detalhado de áreas mesofóticas apontou para um melhor entendimento da ocorrência de recifes afogados/mesofóticos na foz do Rio Amazonas (Moura et al., 2016; Lavagnino et al., 2020), no maior complexo coralíneo do Atlântico Sul (Abrolhos, Moura et al., 2013). Na plataforma Australiana (Harris et al., 2004; Bridge et al., 2012) estes sistemas são caracterizados pela presença de comunidades bênticas de ambientes com menor penetração de luz que normalmente são encontrados em profundidades variando de 30 a 40 m e que se estendem para mais de 150 m de profundidade em regiões tropicais e subtropicais (Lesser et al., 2009; Hinderstein et al., 2010). Outros fatores, como o ângulo de inclinação do substrato, a microtopografia e as forçantes oceanográficas, também parecem desempenhar um papel importante na estruturação de habitat recifais mesofóticos (Bridge et al., 2011).

A plataforma continental do Espírito Santo (PCES) é caracterizada por um contraste de regime de sedimentação e geomorfologia, apresentando áreas com domínio de aporte sedimentar e morfologia regular, e áreas de domínio de sedimentação carbonática e morfologia bastante complexa e irregular com vales e *hardgrounds* (fundos duros). Sabe-se que habitats recifais em topografias complexas apresentam maior diversidade comparado às porções mais planas do assoalho (Bridge et al., 2011). Também, feições como vales são reconhecidas por apresentar alta heterogeneidade de habitats por conter diversos tipos de sedimentos (Kottke et al., 2003; Schlacher et al., 2007). Logo, os vales incisivos presentes em uma plataforma carbonática/mista como a PCES poderiam apresentar grande potencial para formação e evolução de comunidades mesofóticas e tipicamente recifais.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho é discutir a influência de vales incisos afogados e parcialmente preenchidos como habitats mesofóticos assim como sua influência na distribuição da comunidade bentônica associada, em comparação as áreas adjacentes. Para tanto, fez-se uso de levantamentos acústicos de alta resolução (eco-sonda multifeixe), verdade de fundo com *dropcams* e parâmetros da água (SVP).

2 Área de estudo

A área investigada compreende os paleovales presentes na Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas inserida na porção central da plataforma continental do Espírito Santo (PCES), na costa sudeste do Brasil (Fig. 1). A APA Costa das Algas se estende desde a linha de costa até a base do talude continental em profundidades aproximadas de 700 m (Brasil. Decreto de 17 de junho de 2010).

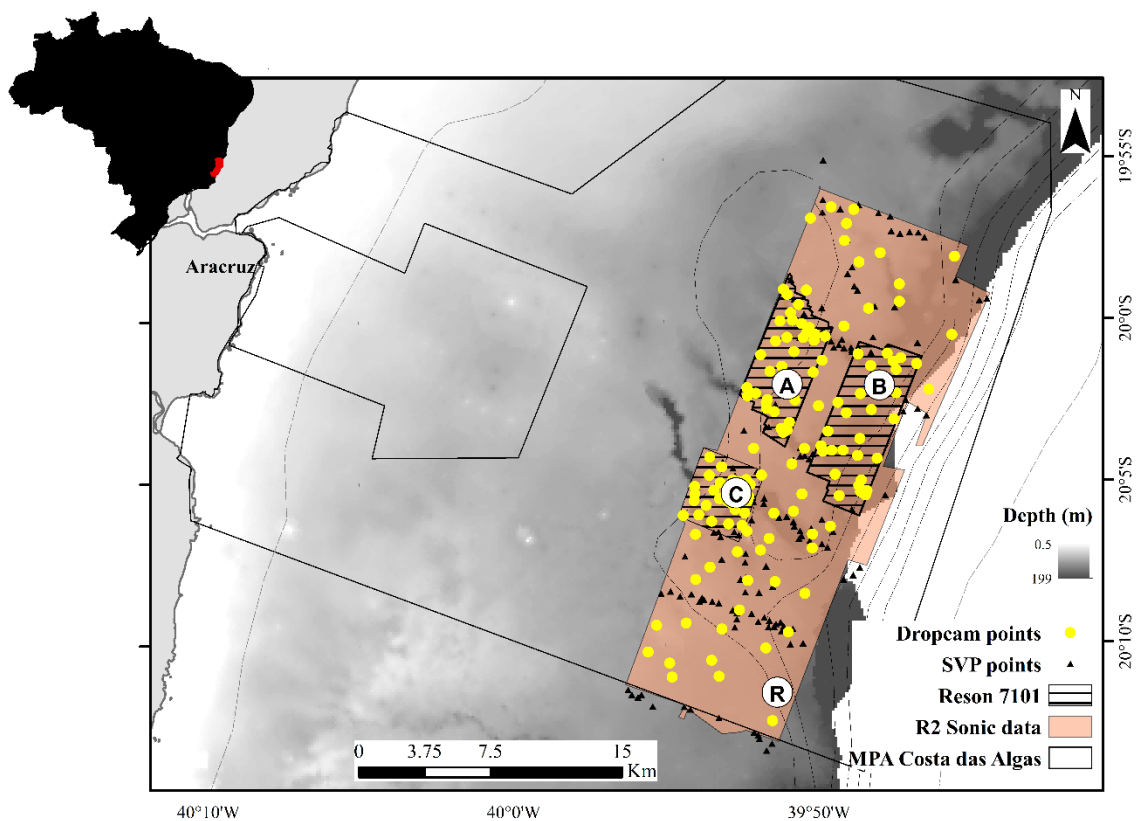


Figura 1. Área investigada dos incised valleys da APA Costa das Algas com representação da malha amostral (Dropcam points, SVP points, área de aquisição por eco-sonda Reson 7101 e área de aquisição por eco-sonda R2 Sonic).

Esta área encontra-se em uma zona de clima tropical quente e úmido, sendo caracterizada por verões chuvosos, com ventos soprando do NE e E e por invernos secos, com frequentes tempestades de S e SE (Niemer 1977, Vera et al., 2002). A circulação de mesoescala dominante dá-se pela corrente do Brasil, que traz para a área água tropical mais quente que 22°C e mais salina do que 36 (Paloczi et al., 2016). A micro maré atuante é de regime semi-diurno. Durante o verão é observada ocorrência de ressurgência parcial na porção central da PCES (Mazzini & Barth, 2013; Paloczi et al., 2016) sendo que estes mecanismos possivelmente contribuem para o enriquecimento de nutrientes na região.

Tratando-se de cobertura sedimentar, a plataforma é composta por sedimentos terrígenos e carbonáticos, havendo predomínio de fundo de rodolitos na sua porção externa (Bastos et al., 2015; Vieira et al., 2019). Segundo Dominguez (2009), a morfologia e sedimentação costeira e marinha nesta região é caracterizada pela intercalação de áreas de aporte sedimentar com áreas de costas famintas, e produção carbonática.

A região da Costa das Algas, particularmente, apresenta uma extensa cobertura de leitos de rodolitos, desempenhando um importante papel ecológico no assentamento e colonização por macroalgas e invertebrados, aumentando a complexidade da comunidade local (Holz et al., 2020), que associada com a complexa morfologia tornou-se um ambiente de grande interesse para estudos de habitats (Rocha et al., 2020). Justamente por isso, em 2010, esta área foi decretada como APA com o objetivo de proteger a grande diversidade de macroalgas marinhas, das algas calcárias e não calcárias, geniculadas e não geniculadas (IBAMA, 2006), uma vez que esta área sofre forte pressão da indústria de óleo e gás (campos de exploração no talude), da indústria pesqueira e mineração de agregados carbonáticos.

A região dos paleovales (vales incisos parcialmente preenchidos) aqui estudados e observada em estudos pretéritos (Bastos et al., 2015; Bourguignon et al., 2018; de Oliveira et al., 2020; Rocha et al., 2020), é caracterizada por canais entalhados na plataforma a partir da isóbata de 30 m que se estendem até sua quebra, podendo ser contínuos no talude. Estas feições são parcialmente preenchidas devido à baixa sedimentação, apresentando composição diversificada nas suas distintas porções.

3 Material e Métodos

3.1 Mapeamento acústico do fundo

O levantamento na APA Costa das Algas compreendeu uma área de 294 km², entre as isóbatas de 40 m e 275 m (Fig. 1). Os dados geoacústicos foram coletados através de eco-sondas multifeixe (MBES) Reson 7101 de frequência 240 kHz e R2 Sonic 2024 de frequência 170 kHz, nos anos de 2018 e 2019, respectivamente. No primeiro ano de levantamento batimétrico, foram escolhidas três regiões de coleta dentro da área estudada, sendo estas as áreas A, B e C (Fig. 1). No segundo ano, deu-se continuidade ao mapeamento da APA Costa das Algas em áreas adjacentes as já levantadas (área R) (Fig.1).

Para os levantamentos batimétricos, foram realizadas ações distintas para cada MBES, uma vez que os sistemas se distinguiram desde o modo de acoplamento do transdutor até aquisição dos dados. Em ambos os sistemas, foram utilizados equipamentos de correção de movimento (*pitch, roll, yaw e heave*) e fez-se perfilamento de velocidade do som na coluna d'água com o mini SVP modelo Valeport em intervalos regulares (149 estações) (Fig.1). Em laboratório, os dados foram processados com o *software* Caris Hips and Sips (9.1 e 11.1) e QINSy, onde correções a partir da aplicação de perfis de velocidade do som e maré foram aplicadas. A descrição de cada sistema de sondagem, bem como equipamentos associados em cada campo estão na tabela 1.

Tabela 1. Sistemas de sondagem utilizados na aquisição de dados de batimetria.

Ano	MBES	Frequência	Software de aquisição	Software de tratamento	Sobreposição	Sistema inercial
2018	Reson 7101	240 kHz	PDS	Caris Hips & Sips 9.1	60%	DMS 05 e DGPS
2019	R2 Sonic	170 kHz	QINSy	QIMERA, Caris Hips & Sips 11.1	30%	Applanix POS MV Wave Master INS

3.2 Verdade de fundo – Vídeo imageamento

Objetivando conhecer a epifauna e biota associada da área mapeada, foi realizado vídeo imageamento em 129 pontos, entre 43 m e 77 m de profundidade, sendo que 54 estavam sobre as regiões de canais (Fig. 1). As filmagens ocorreram nos anos de 2018 e 2019, utilizando-se um sistema de *dropcam* composto por câmeras de alta resolução (modelos *Go Pro Hero 3, 4 e 7*) e lanternas acopladas a uma estrutura metálica piramidal de base 60x60 cm. As imagens do fundo são obtidas ortogonalmente e lateralmente. As filmagens tiveram duração de 2 minutos e foram realizadas em triplicata.

A análise das imagens instantâneas (*frames*) foi conduzida com o *software* Coral Point Count (*CPCe*, *National Institute of Health*, EUA), o qual permite identificar visualmente as características de cada ponto, sejam elas organismos ou tipos de fundo, possibilitando estimar estatisticamente a população da área amostral através de 50 pontos distribuídos aleatoriamente em cada frame. *CPCe* foi desenvolvido especificamente para analisar estatisticamente de forma rápida e eficiente a cobertura de corais sobre determinada área (Kohler & Gill, 2006), logo foi o método escolhido aqui para análise visual e estatística dos organismos encontrados. Uma vez que apenas visualmente torna-se arriscado analisar a epifauna em nível de espécie, as observações consideraram os grandes grupos, realizando a identificação em categorias taxonômicas basais.

Os tipos de fundo foram separados por classe de ocorrência, onde nos frames foi observada e quantificada a cobertura por rodolitos, bem como a área de domínio por sedimentos inconsolidados. Para avaliar o domínio de rodolitos comparado ao sedimento inconsolidado, adotou-se a metodologia apresentada em Rocha et al. (2020), segundo o trabalho de Matsuda and Iryu (2011), onde o percentual da presença de rodolitos é considerado alto acima de 40% do total da imagem analisada.

3.3 Mapa de habitat e Segmentação

O mapa de habitats foi produzido a partir da classificação do fundo usando segmentação supervisionada através da abordagem de *Object Based Image Analysis* (OBIA) nos dados batimétricos. Posteriormente, a classificação dessa variável ambiental (batimetria) foi combinada com a classificação das imagens de fundo aplicando análises estatísticas. O uso do OBIA permite identificar características homogêneas dentro de uma região de interesse através da segmentação de uma imagem (Lacharité et al., 2018). Na segmentação de imagem, a expectativa é que sejam extraídas automaticamente os objetos desejáveis em uma imagem (Lucieer et al., 2007), onde a segmentação une pequenos objetos (de um pixel de tamanho) com objetos maiores (Janowski et al., 2020). Aqui foi adotado o RSOBIA (*Remote Sensing Object Based Image Analysis*, Bas, 2016) em um mapa batimétrico com 2m de resolução.

A definição das classes de habitats se deu através da aplicação de análise de cluster, agrupando as classes de segmentação derivada da variável de relevo batimétrico (RSOBIA) com as classes de tipo de fundo distinguidas através da análise das imagens. Cada classe de tipo de fundo recebeu um valor numérico (de 0 a 4) para que fosse possível

obter os clusters. Este tipo de análise não supervisionada classifica elementos em grupos, de modo que os elementos dentro de um mesmo ramo sejam parecidos e onde o número de grupos seja desconhecido (Kaufman and Rousseeuw, 1990). O número de agrupamentos foi avaliado através do método *k-means* (MacQueen, 1967). Para a representação das classes em um mapa de habitats, foi usado a ferramenta Combine da plataforma ArcGIS.

3.4 Parâmetros da água

Dados de temperatura (T°C) e salinidade (PSU) foram coletados através do perfilamento de velocidade do som na coluna d'água durante a aquisição de dados de multibeam e usados aqui para caracterizar a coluna d'água nos vales e nas regiões adjacentes. As perfilagens foram realizadas em 149 estações distribuídas ao longo da área de estudo utilizando-se o mini SVP Valeport. (Fig.1). A aplicação dos dados de T e S se deu com o intuito de observar a variabilidade espacial destes parâmetros sobre as comunidades epifaunais encontradas, a partir das feições geomorfológicas. Os perfis foram sempre analisados de forma separada considerando a área de fundo de vale e áreas adjacentes ao fundo de vale canal, e em que época do ano foram coletados (sazonalidade -verão e inverno de 2019).

3.5 Análises estatísticas

3.5.1 Similaridade

Com intuito de comparar a presença de grupos de organismos nas diferentes zonas geomorfológicas definidas pela segmentação da camada ambiental obtida pela batimetria de varredura - utilizou-se a análise estatística de similaridade, uma medida de relação entre pares de indivíduos ou populações (Regazzi, 2001). Esta evidencia se há semelhança entre objetos através de índices que variam entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a semelhança entre dois objetos e quanto mais próximo de 0, maior a distinção entre elas. Todas as análises de similaridade foram realizadas com o software PAST 2.17.

3.5.2 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (em inglês, *Principal Component Analysis* - PCA) é um algoritmo matemático que reduz a dimensionalidade dos dados para a

menor possível mantendo apenas as informações importantes, simplificando assim a descrição do conjunto de dados (Abdi & Williams, 2010; Ringnér, 2008). Para atingir esses princípios, o PCA calcula novas variáveis chamadas componentes principais, que são obtidas como combinações lineares das variáveis originais (Abdi & Williams, 2010). É fácil ver que o primeiro componente principal é a direção ao longo da qual as amostras mostram a maior variação e o segundo componente principal é a direção não correlacionada ao primeiro componente ao longo do qual as amostras mostram a maior variação (Ringnér, 2008).

Para a PCA foram utilizados os pontos imageados por *dropcam* descritos anteriormente. Com intuito de determinar quais variáveis apresentam maior influência na ocorrência dos organismos observados, foram utilizadas 7 variáveis para cada ponto: profundidade (m), gradiente (°), rugosidade, temperatura (°C), salinidade (PSU), teor de carbonato (%) e teor de lama (%). Todos os parâmetros foram retirados dos dados já mencionados, exceto pelos valores de gradiente e rugosidade que foram obtidos através da batimetria com o Modelo de Terreno Bentônico (*Benthic Terrain Modeler*, BTM) (ver de Oliveira et al., 2020); e as porcentagens de carbonato e lama que foram obtidas a partir do trabalho de Vieira et al. (2019), onde a fração de lama foi analisada usando granulômetro a laser (Malvern Mastersizer, 2000) e a fração de carbonato foi determinada por dissolução de CaCO₃ em HCl 30%.

Os valores brutos de cada variável para cada ponto foram normalizados afim de evitar discrepâncias. Pontos amostrais onde as variáveis não apresentavam dados, foram desconsiderados. Utilizando o software PAST 2.17, a análise multivariada foi realizada considerando as zonas distintas dentro das áreas estudadas, assim, os dados foram analisados de duas formas: de modo integrado, para conhecer qual variável é mais dominante de modo geral; e por zona, fundo do canal, margem de canal e áreas adjacentes, para verificar se as variáveis apresentam pesos diferentes sobre cada área.

4 Resultados

4.1 Morfologia do fundo marinho

O mapeamento do assoalho marinho permitiu gerar um mapa batimétrico detalhado onde as feições dos paleovales foram destacadas (Fig. 2).

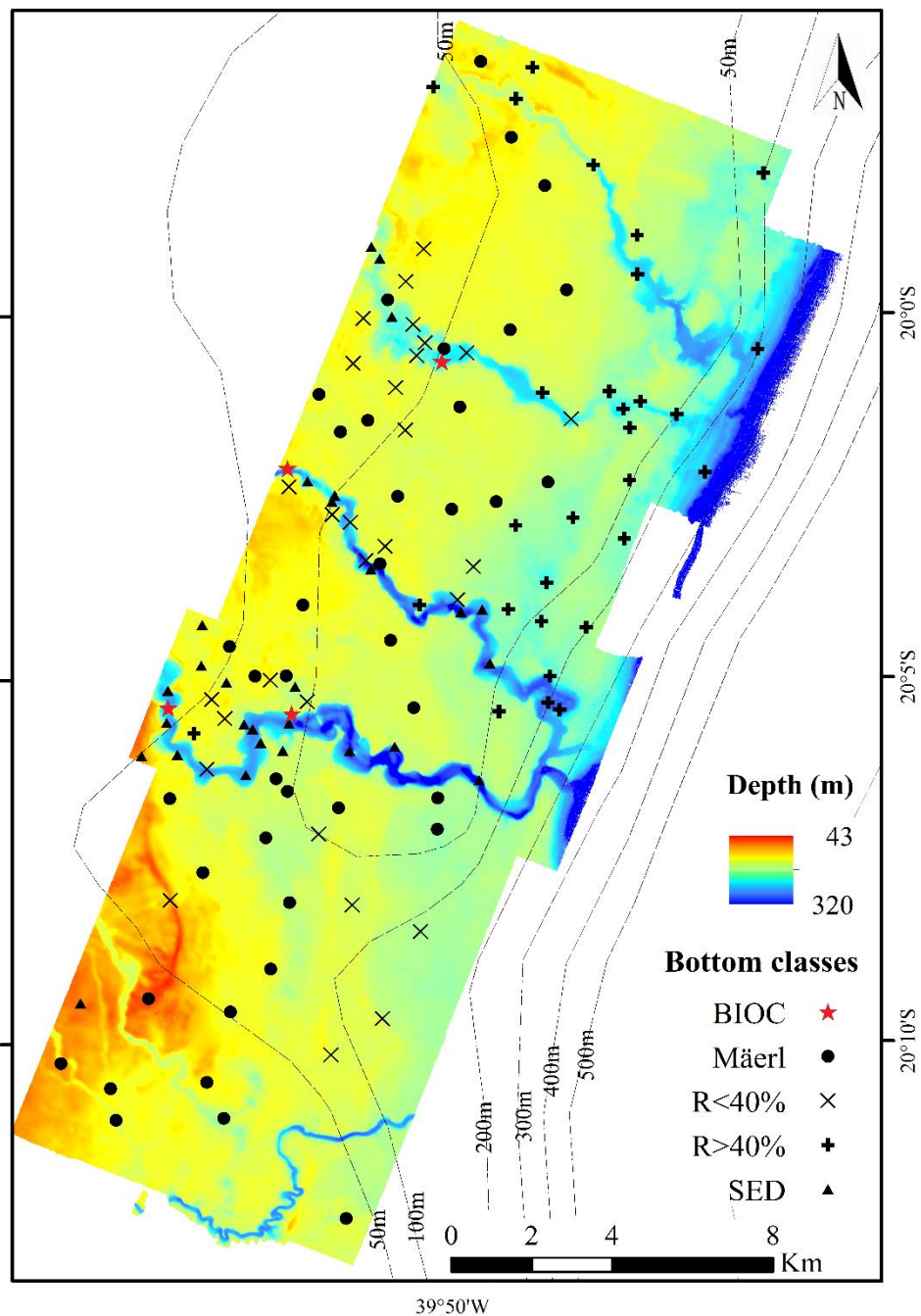


Figura 2. Levantamento batimétrico destacando os vales incisos da APA Costa das com representação das classes de fundo determinadas por vídeo imageamento.

Na área investigada é possível observar cinco vales incisos principais: dois mais ao norte, de orientação NO-SE; dois centrais, de mesma orientação e um mais ao sul, de orientação SO-NE. Todos se estendem até a região de quebra da plataforma continental, sendo que os dois canais mais centrais se encontram antes da quebra. Exceto pelo vale mais ao sul, todos apresentam um aprofundamento e alargamento dos canais em direção

à quebra da plataforma continental. Em geral, a profundidade dessas feições varia de 60 a cerca de 90 metros, e a largura entre as margens, de 70 a 500 metros.

Observando a batimetria é possível afirmar que estes antigos cursos fluviais são direcionados pela topografia positiva circundante. Os dois canais mais ao norte apresentam um comportamento mais retilíneo enquanto que os dois canais centrais possuem caráter meandrante. O canal mais ao sul apresenta um comportamento misto, sendo inicialmente meandrante e depois retilíneo. Nota-se também a presença de canais fluviais de menor expressão, muitas vezes conectados aos canais maiores e até mesmo podendo conecta-los.

As áreas entre os canais, por sua vez, apresentaram morfologia de fundo diversa, com relevos positivos e negativos. Nela, foi possível identificar terraços submersos, cristas, alinhamentos positivos paralelos a linha de costa na região próxima da quebra da plataforma e depressões em forma de copo, as buracas (ver Bastos et al., 2013).

4.2 *Imagens de fundo*

A análise das imagens definiu 5 classes de tipos de fundo: *Bioincrustations* (BIOC- fundo rígido com cobertura bentônica) (Fig. 3A), *Unconsolidated sediment* (SED- sedimentos inconsolidados finos e grossos) (Fig. 3B), *Rhodoliths* (R>40% - >40% do *frame* coberto por rodolitos) (Fig. 3C), *Mäerl* (fragmentos carbonáticos) (Fig. 3D) e *Rhodoliths with sediments* (R<40%- <40% do *frame* coberto por rodolitos) (Fig. 3E). A Figura 2 mostra a distribuição das 5 classes no mapa batimétrico, evidenciando a associação das bioincrustações com os flancos dos canais, assim como o fundo destes, onde há o predomínio de sedimento fino. Nas áreas adjacentes aos canais foram observadas a cobertura por *mäerl*, pontos de alta concentração de rodolitos e ocorrência de rodolitos junto ao sedimento inconsolidado. Esta última classe foi mais frequente nas maiores profundidades da APA Costa da Alga, principalmente no setor leste- nordeste dela.

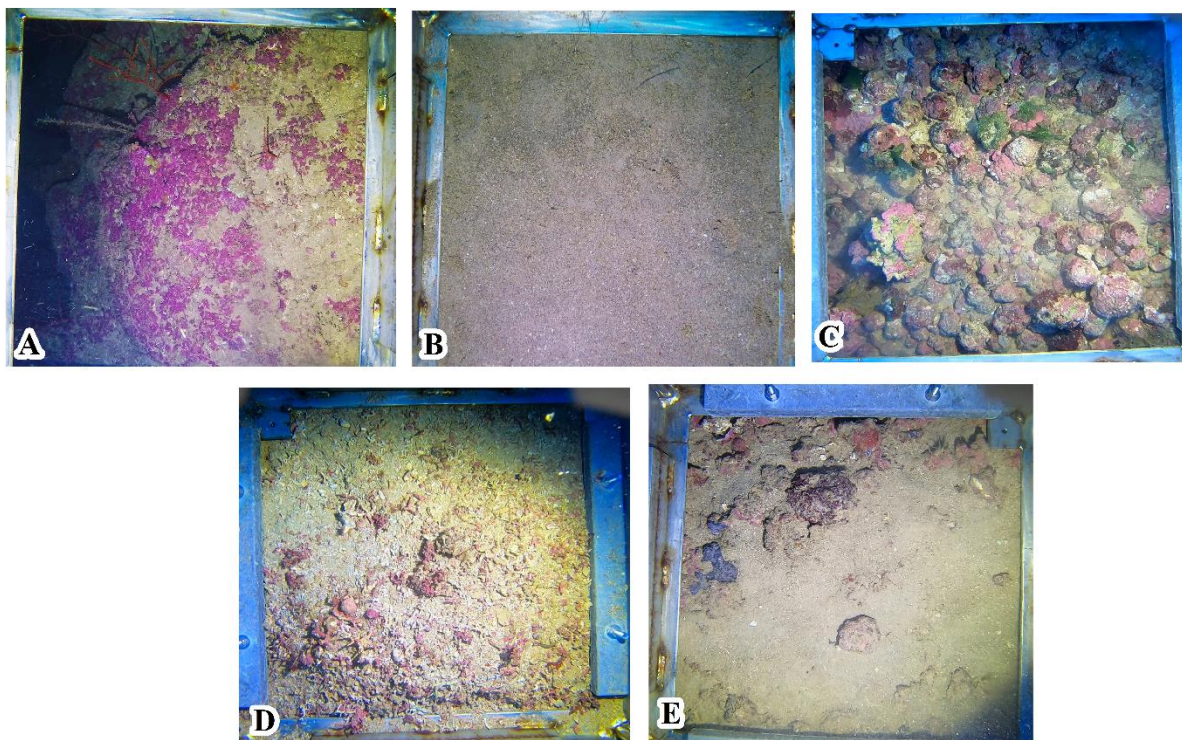


Figura 3. Os cinco tipos de fundo classificados por vídeo imageamnto: A) Bioincrustations (BIOC); B) Unconsolidated sediment (SED); C) Rhodoliths ($R > 40\%$); D) Mäerl; and E) Rhodoliths with sediments ($R < 40\%$).

Cobertura bentônica

Os *frames* mostraram uma comunidade bentônica variada, onde os grupos de organismos observados foram classificados em rodolitos (cobertos por Algas Coralíneas Crustosas, em inglês *Crustose Coralline Algae*, CCA), macroalgas, algas coralíneas geniculadas (em inglês *Geniculate Coralline Algae*, GCA), esponjas, corais, briozoários, ascídias, biofilme (cobertura sobre fundo rígido composta por microalgas e bactérias) e outros (como equinodermos). Notou-se que a epifauna presente esteve agregada principalmente aos flancos dos vales incisos, onde o substrato mostrou-se rígido, ou então em bancos carbonáticos nas adjacências dos vales. No fundo destes, onde o sedimento mostrou-se fino, poucos organismos epifaunais foram observados e tratando-se de organismos infaunais o método não permitiu estima-los. Também foi possível constatar próximo aos canais a ocorrência de áreas cobertas por rodolitos.

Quanto a presença de organismos, os grupos epifaunais de maior ocorrência são rodolitos, algas coralíneas geniculadas, macroalgas frondosas, briozoários, ascídias, esponjas incrustantes e corais (gênero *Antipathes* e *Cirrhipathes*). (Fig. 4).

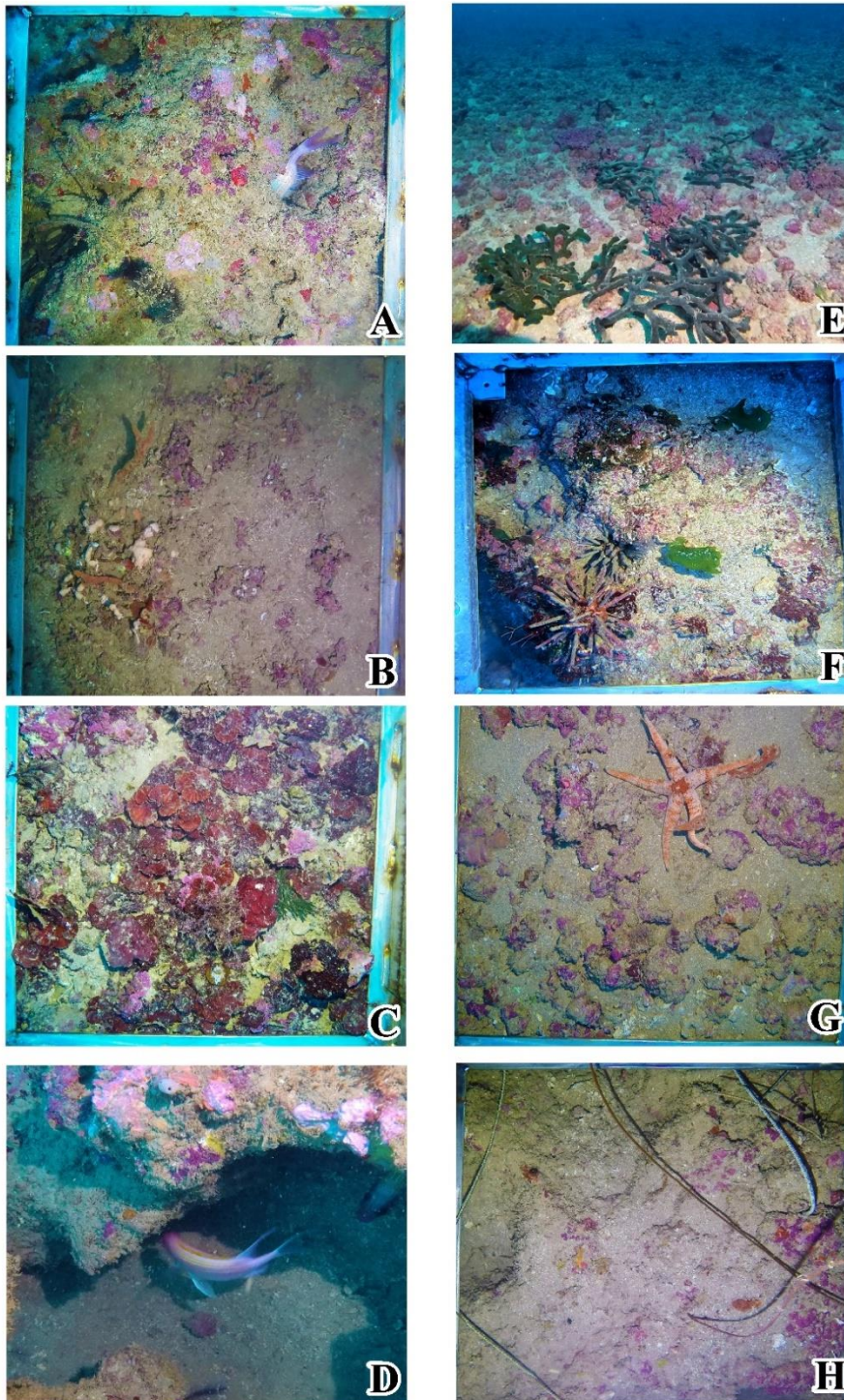


Figura 4. Exemplos de organismos encontrados na região dos vales da APA Costa das Algas. A) Flanco de vale coberto por esponjas, biofilme e corais negros; B) Briozoários e ascídias; C) Rodolitos cobertos por *Peyssonelia* sp. (alga vermelha); D) Esponjas e biofilme sobre flanco de

vale; E) Rodolitos e *Codium sp.* (alga verde); F) Algas coralíneas geniculadas, algas verdes e ouriço-do-mar; G) Briozoários e estrela-do-mar; H) Biofilme, CCAs sobre hardbottom e corais negros.

Foi perceptível uma composição bentônica distinta entre porções mais rasas (45m - 55m), intermediária (55.1m- 65m) e mais profunda (65.1m- 77m) (Fig. 5). Na faixa de maior profundidade, grupos tais como macroalgas, algas coralíneas geniculadas (ACG) e briozoários foram reduzidos, sendo que ascídias e esponjas não foram observadas. No mesmo intervalo, presença de rodolitos é muito maior, seguido do biofilme e de corais, ambos observados associados ao fundo dos canais afogados. Na faixa intermediária de profundidade, a ocorrência dos nódulos de rodolitos também foi predominante, seguido por algas coralíneas geniculadas, briozoários, macroalgas e biofilme. No intervalo de menor profundidade, o fundo foi dominado por algas coralíneas geniculadas, seguido de rodolitos, briozoários, macroalgas e ascídias. Os organismos que não englobam estes grupos, aqui chamados de “outras formas de vida”, foram observados em uma baixa contagem nas três faixas de profundidades, mas ocorrendo em um número um pouco maior na porção mais rasa da área.

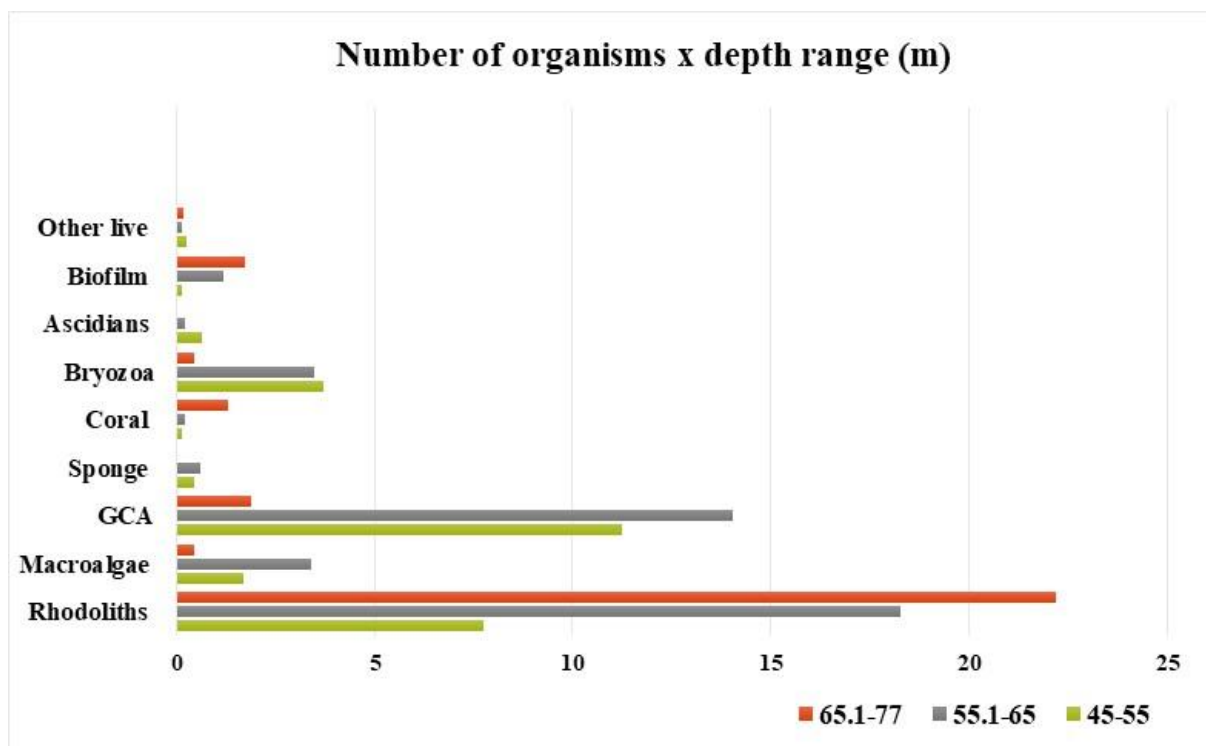


Figura 5. Distribuição da ocorrência de organismos por intervalo de profundidade.

4.3 Segmentação e mapa de habitats

A segmentação resultou em 6 classes distinguidas baseadas nos derivativos de relevo e no intervalo de profundidade aos quais estão inseridas. Estas classes foram descritas através das morfologias que as representam, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Classes de segmentação, intervalo de profundidade (m), feições morfológicas, e sua área de ocorrência.

Classes de segmentação	Intervalo de profundidade (m)	Feições	Área (km ²)
0			
1	43 - 55	Flat bottom	163.8
2	55 - 60	Depression and/or paleovalley margin	102.3
3	60 - 70	Shallower valley bottom	20.7
4	70 - 85	Deeper valley bottom	8.9
5	85 - 120	Shelf break	3
6	120 -320	Slope	0.5

Na Figura 6 é evidente que *Flat bottom class* é a classe de maior área, ocupando metade da superfície estudada (163.8 km²). *Depression and/or paleovalley margin* is the second in area (102.3 km²). Devido a análise do algoritmo por profundidade, tem-se duas classes inseridas em uma mesma (depressão e margem de paleovale), no entanto em termos morfológicos compreendem duas classes. A classe 3, *Shallower valley bottom* (20.6 km² area), contempla os fundos de canais rasos que se estendem até a porção da shelf break, bem como a classe 4, *Deeper valley bottom* (8.9 km² area), que em função da profundidade encontra-se, além de no fundo dos canais, como uma faixa próxima ao break shelf. A classe 5, *Shelf Break* (3 km² area) englobou a porção próximo a quebra da plataforma e a classe 6, *Slope* (0.55 km² area), está no limite da plataforma continental, na região mais profunda investigada aqui.

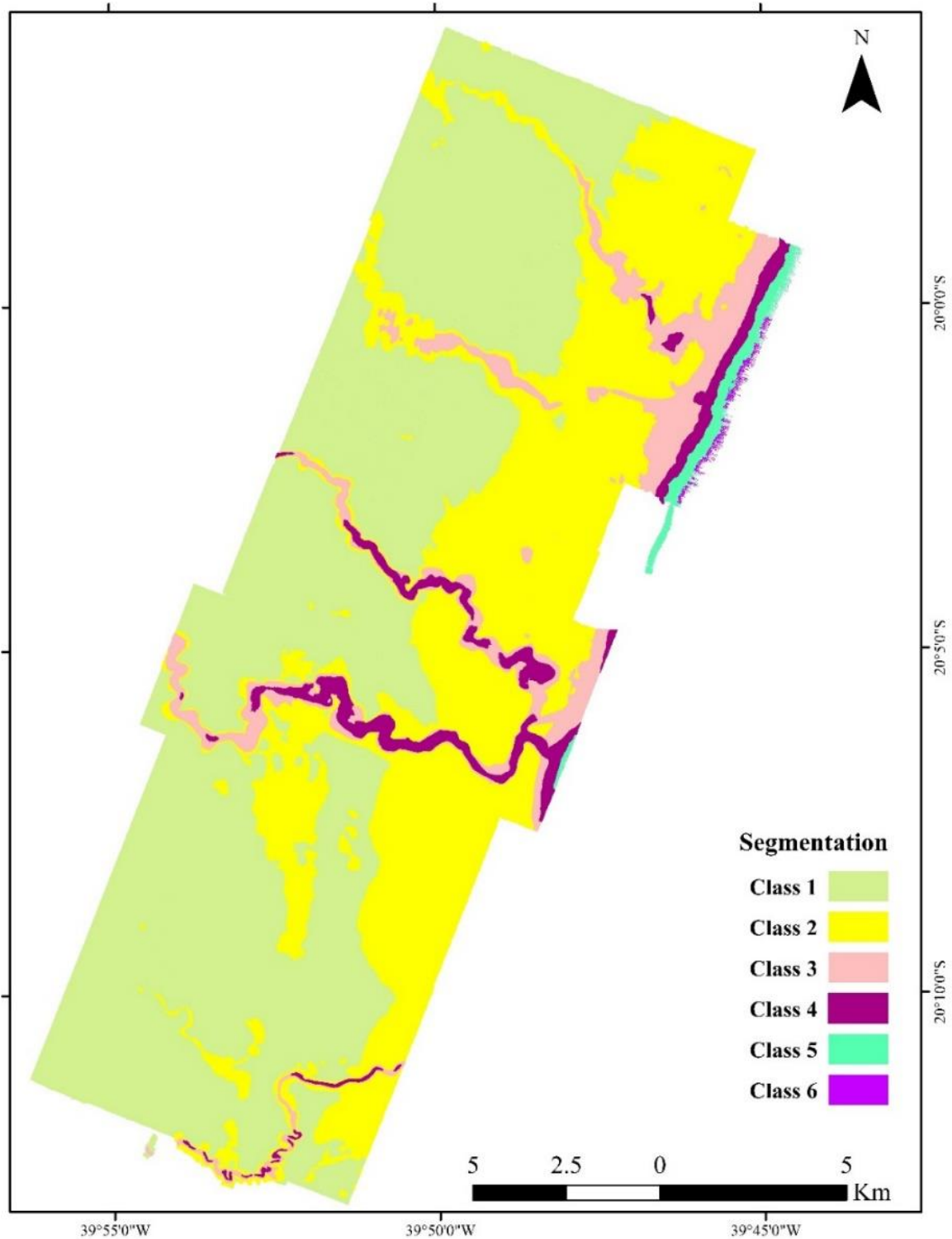


Figura 6. Resultado da segmentação por OBIA, onde estão definidas 6 classes baseadas no resultado do levantamento batimétrico.

Através da análise de cluster, 17 classes de habitats foram definidas (Fig. 7), sendo elas: *Bioincrustation on paleovalley margin*, *Bioincrustation on shallower valley bottom*, *Rhodoliths on flat bottom*, *Rhodoliths on paleovalley margin and depression*,

Rhodoliths on shallower valley bottom, Rhodoliths on deeper valley bottom, Rhodoliths with sediments on flat bottom, Rhodoliths with sediments on shallower valley bottom, Rhodoliths with sediments on depression and paleovalley margin, Rhodoliths with sediments on deeper valley bottom, Unconsolidated sediment on flat bottom, Unconsolidated sediment on deeper valley bottom, Unconsolidated sediment on shallower valley bottom, Unconsolidated sediment on depression and paleovalley margin, Mäerl on flat bottom, Mäerl on shallower valley bottom, and Mäerl on paleovalley margin and depression. É importante lembrar que as classes de habitat chamadas de "rodolitos" estão relacionadas com o fundo com > 40% coberto por rodolitos.

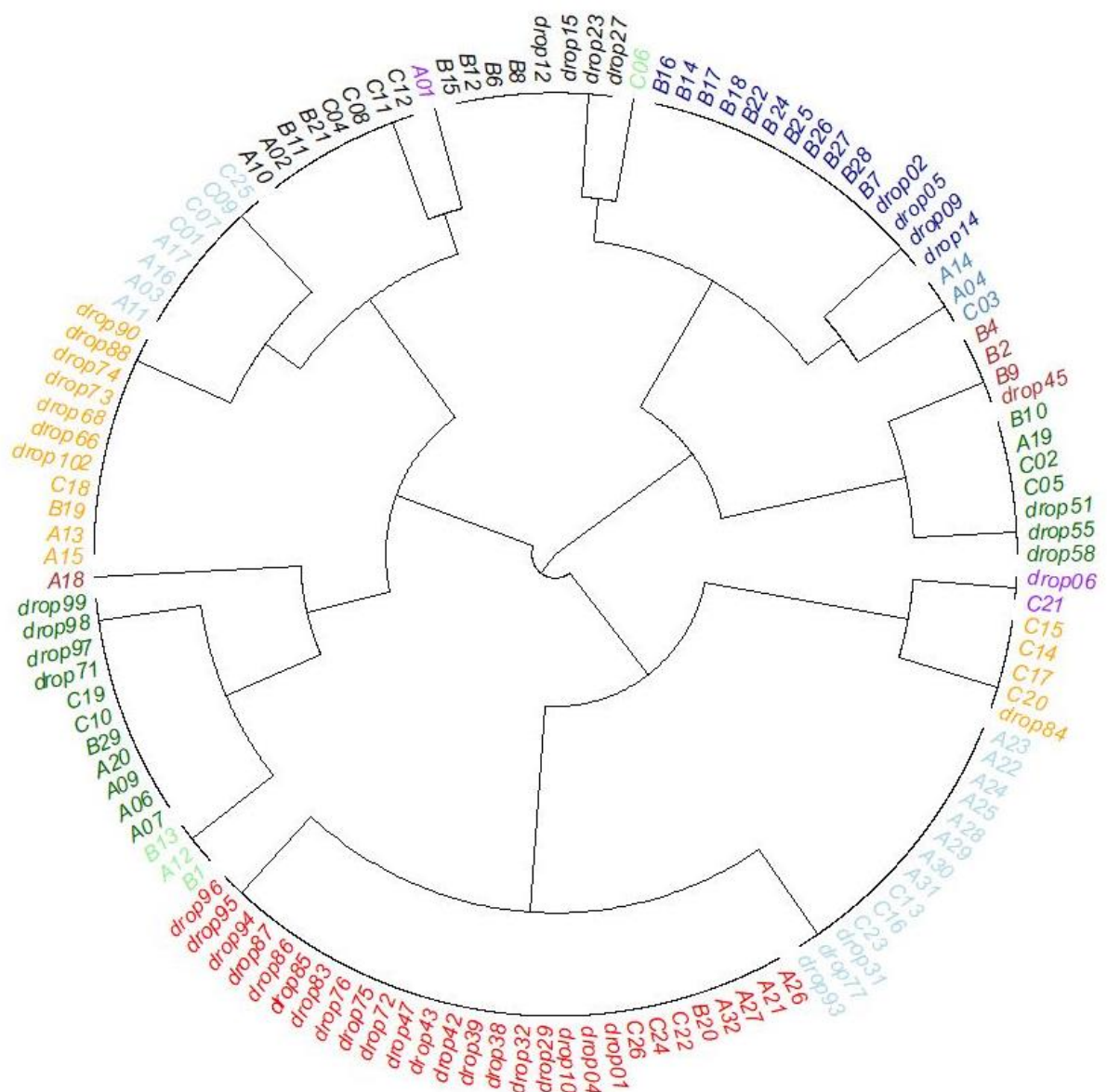


Figura 7. Análise de cluster onde é possível observar as seguintes classes (sentido horário, iniciando pelo C06): Bioincrustation on paleovalley margin (em ciano), Rhodoliths on paleovalley margin and depression (em azul escuro), Bioincrustation on on shallower valley

bottom (em azul petróleo), Rhodoliths on deeper valley bottom (em marrom), Unconsolidated sediment on deeper valley bottom (em verde escuro), Rhodoliths on flat bottom (em rosa), Unconsolidated sediment on flat bottom (em laranja), Rhodoliths with sediments on flat bottom (em ciano), Mäerl on flat bottom (em vermelho), Rhodoliths with sediments on shallower valley bottom (em verde claro), Rhodoliths with sediments on depression and paleovalley margin (em verde escuro), Rhodoliths with sediments on deeper valley bottom (em marrom), Mäerl on paleovalley margin and depression (em laranja), Unconsolidated sediment on depression and paleovalley margin (em ciano), Unconsolidated sediment on shallower valley bottom (em preto), Mäerl on shallower valley bottom (em rosa) e Rhodoliths on shallower valley bottom (em preto).

A distribuição destas classes está representada na figura 8 e é notável que as regiões dos paleovales são as regiões que concentram um maior número de classes de habitats, sendo 3 classes relacionadas a *Deeper valley bottom*, 5 classes associadas a *Shallower valley bottom*, e 5 classes junto a *Paleovalley margins*. As classes de bioinscrutação ficaram de margem de canal e região de canal rasa. *Unconsolidated sediment bottom* (SED) estão associados com feições de maior gradiente (*Shallower e Deeper valley bottom, paleovalley margins and depressions*). Já as demais classes de habitats tiveram distribuição variável entre os tipos de morfologia. A classe Slope não apresentou classes de habitat, uma vez que não há dados de vídeo imageamento na área que abrange esta classe. Normalmente, os grupos de organismos estiveram presentes em classes onde há substrato para fixação. A descrição das classes de habitats foi resumida na Tabela 3.

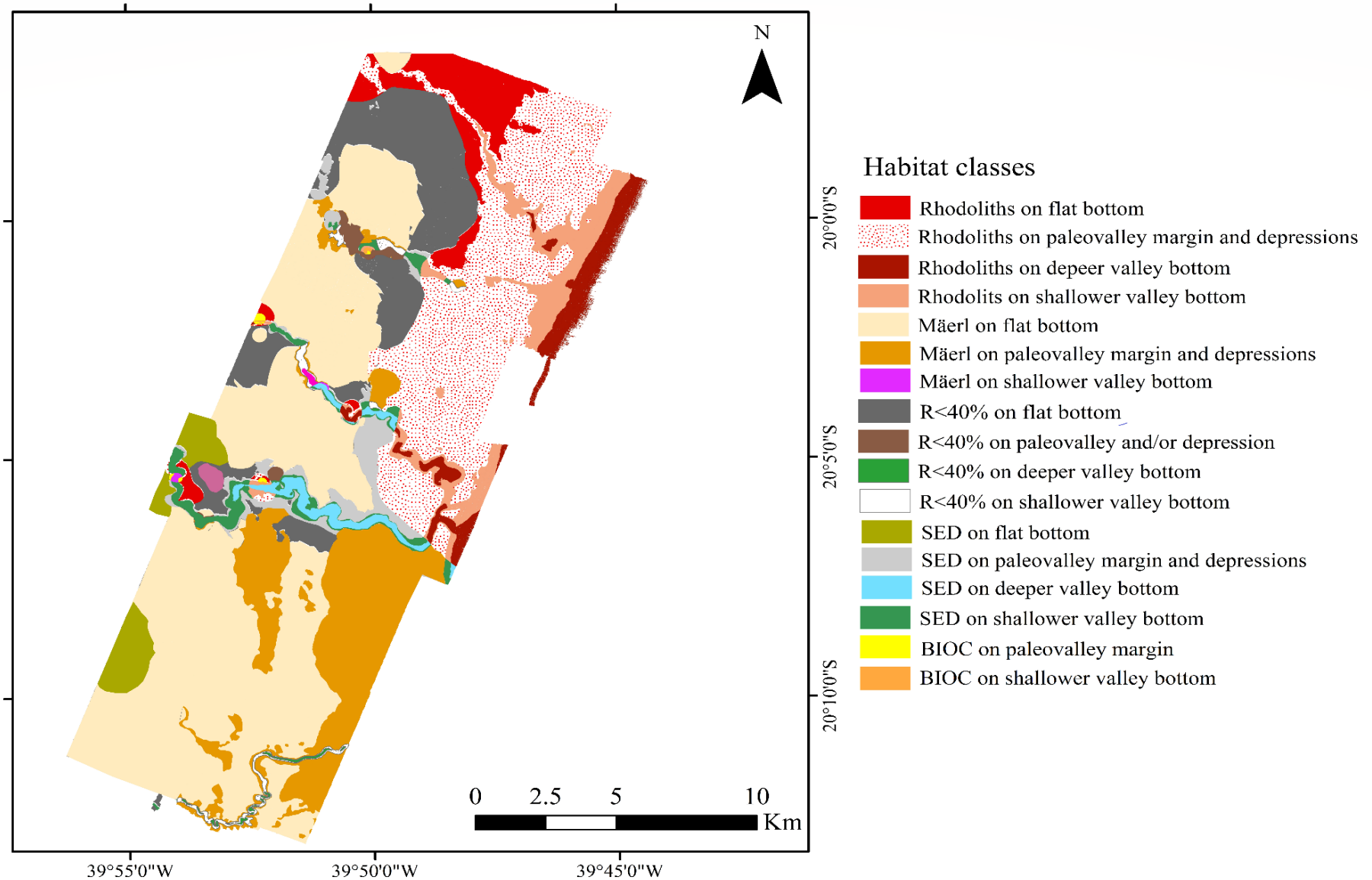


Figura 8. Mapa de habitat como resultado da análise de cluster.

Tabela 3. Descrição das classes de habitats quanto à cobertura do fundo sedimentar, parâmetros geomorfológicos e físicos da água e grupos biológicos presentes.

<i>Classes de habitats</i>	<i>Textura de fundo</i>	<i>Descrição física</i>	<i>Descrição biológica</i>
Rhodoliths on flat bottom	Rodolitos	Profundidade: 48-51 m Gradiente (média): 0.12° Rugosidade (média): 0.000033 Temperatura: 20.6- 22.1°C Salinidade: 36.09- 36.24 psu	Rodolitos, ACG, Briozoários
Rhodoliths on depression and/or paleovalley margin	Rodolitos	Profundidade: 55.2- 61 m Gradiente (média): 0.27° Rugosidade (média): 0.00003 Temperatura: 20.05- 23.25°C Salinidade: 35.95-36.46 psu	Rodolitos , ACG, Macroalgas, Biozoários, Biofilme Briozoários, Biofilme
Rhodoliths on shallower valley bottom	Rodolitos	Profundidade: 59-70 m Gradiente (média): 0.5° Rugosidade (média): 0.000091 Temperatura: 22.07- 22.46°C Salinidade: 36.19-36.39 psu	Rodolitos, ACG, Briozoários, Ouriços-do-mar
Rhodoliths on deeper valley bottom	Rodolitos sem cobertura algal e fragmentos carbonáticos esparsos	Profundidade: 72-80 m Gradiente (média): 0.32° Rugosidade (média): 0.00002 Temperatura: 21.8- 22.7°C	Rodolitos, ACG, Briozoários

Unconsolidated sediment on flat bottom	Sedimento fino. Presença de <i>sand waves</i>		Salinidade: 36.29-36.39psu	Briozoários, Macroalgas	
			Profundidade: 43.5- 53 m		
			Gradiente (média): 0.2°		
			Rugosidade (média): 0.000007		
Unconsolidated sediment on depression and/or paleovalley margin	Sedimentos com fragmentos carbonáticos	finos poucos	Salinidade: 36.2-36.25 psu	Briozoários, Macroalgas	ACG,
			Profundidade: 54.5-59 m		
			Gradiente (média): 0.85°		
			Rugosidade (média): 0.000122		
Unconsolidated sediment on shallower valley bottom	Sedimentos com fragmentos carbonáticos	finos poucos	Temperatura: 20.05-22.5°C	Macroalgas, Briozoários, Corais	
			Salinidade: 35.83-36.43psu		
			Profundidade: 58-73 m		
			Gradiente (média): 0.87°		
Unconsolidated sediment on deeper valley bottom	Sedimento fino com algumas tocas no sedimento		Rugosidade (média): 0.00014	Ascídia, Esponjas	
			Temperatura: 21.87-22.55°C		
			Salinidade: 36.17-48 psu		
			Profundidade: 71-80 m		
			Gradiente (média): 0.4°		
			Rugosidade (média): 0.000013		
			Temperatura: 22.01-22.83°C		
			Salinidade: 36.25-36.46 psu		

Mäerl on flat bottom	Fragmentos carbonáticos e sediment fino	<p>Profundidade: 48.3-62 m</p> <p>Gradiente (média): 0.1°</p> <p>Rugosidade (média): 0.0000009</p> <p>Temperatura: 20.06-24.31°C</p> <p>Salinidade: 36.05-36.63psu</p>	ACG, Macroalgas, Esponjas, Briozoários, Biofilme
Mäerl on depression and/or paleovalley margin	Fragmentos carbonáticos e sediment fino	<p>Profundidade: 51-62.2 m</p> <p>Gradiente (média): 0.36°</p> <p>Rugosidade (média): 0.000065</p> <p>Temperatura: 20.88- 24-19°C</p> <p>Salinidade: 36.01-36.62psu</p>	ACG, Macroalgas, Esponjas, Briozoários
Mäerl on shallower valley bottom	Fragmentos carbonáticos e sediment fino	<p>Profundidade: 68-70 m</p> <p>Gradiente (média): 2.1°</p> <p>Rugosidade (média): 0.0005</p> <p>Temperatura: 22.09-22.21°C</p> <p>Salinidade: 36.16-36.26 psu</p>	ACG, Briozoários, Corais, Biofilme
Rhodoliths with sediments on flat bottom	Rodolitos esparsos com sedimento fino e poucos fragmentos carbonáticos	<p>Profundidade: 46.6-53.9m</p> <p>Gradiente (média): 0.2°</p> <p>Rugosidade (média): 0.000019</p> <p>Temperatura: 20.47-23.9°C</p> <p>Salinidade: 35.92- 36.46 psu</p>	ACG, Macroalgas, Esponjas, Briozoários, Ascídias, Biofilme, Rodolitos
Rhodoliths with sediments on depression and/or	Rodolitos esparsos com sedimento fino	<p>Profundidade: 54-61 m</p> <p>Gradiente (média): 0.6°</p>	ACG, Macroalgas, Esponjas, Corais, Briozoários, Ascídias, Rodolitos

paleovalley margin	e poucos fragmentos carbonáticos	Rugosidade (média): 0.000036 Temperatura: 21.3-24.59°C Salinidade: 36.02 -36.4 psu	
Rhodoliths with sediments on shallower valley bottom	Rodolitos esparsos com sedimento fino e poucos fragmentos carbonáticos	Profundidade: 66-70 m Gradiente (média): 1.37° Rugosidade (média): 0.000036 Temperatura: 22.02-23.06°C Salinidade: 36.15-36.39 psu	ACG, Macroalgas, Corais, Rodolitos
Rhodoliths with sediments on deeper valley bottom	Rodolitos esparsos com sedimento fino	Profundidade: 76 m Gradiente (média): 1.27° Rugosidade (média): 0.00264 Temperatura: 22.33°C Salinidade: 36.22 psu	Macroalgas, Rodolitos
Bioincrustations on paleovalley margin	Bioincrustações	Profundidade: 66-63 m Gradiente (média): 1.1° Rugosidade (média): 0.000515 Temperatura: 22.4°C Salinidade: 36.1-36.3 psu	Biofilme, Esponjas, Macroalgas, CCA (incrustadas no <i>harbottom</i>)
Bioincrustations on shallower valley bottom	Bioincrustações	Profundidade: 70 m Gradiente (média): 0.9° Rugosidade (média): 0.000066 Temperatura: 22.09°C Salinidade: 36.18 psu	CCA (incrustadas no <i>harbottom</i>), Corais, Ascídias

4.4 Parâmetros da água

A temperatura e salinidade medidas apresentaram comportamentos distintos entre os perfis coletados nas porções de fundo de canal e áreas adjacentes, sendo que estes últimos mostraram distinção quando analisadas a partir da sazonalidade. Todos os perfis amostrados nas regiões de fundo de canal foram coletados somente no verão de 2019 (Fig. 9A). Nestes dados, a temperatura entre superfície e fundo (em média 76 m) variou $\sim 7^{\circ}\text{C}$, sendo a maior variação na termoclina (6°C em um intervalo de ~ 28 m), tendo esta tido início aos ~ 20 m na coluna da água. A maior variação de salinidade e os menores valores foram encontrados no mesmo intervalo da termoclina.

A análise dos parâmetros medidos nas áreas adjacentes aos canais foi feita separadamente entre os perfis coletados no verão de 2019 e perfis coletados no outono/ inverno do mesmo ano. A temperatura amostrada no verão variou $\sim 7^{\circ}\text{C}$ entre superfície e fundo (profundidades médias de 59 m) e assim como nos perfis amostrados nos canais, a termoclina apresentou um intervalo de ~ 28 m, com início nos 18 m na coluna d'água, onde a variação de temperatura foi de 4°C . Dentro deste mesmo intervalo a salinidade apresentou maior variação, entretanto os seus menores valores foram medidos próximos ao fundo (35.9 psu em ~ 58 m) e os maiores próximo à superfície (Fig. 9B).

A amostragem destes parâmetros realizadas no outono/inverno, por sua vez, mostraram uma variação de temperatura menor do que foi medida no verão, bem como um comportamento distinto da termoclina. Aqui a diferença entre as maiores e menores temperaturas foi de 5°C e a termoclina foi mais profunda, iniciando aos 42 m e se estendendo até os 64 m, com variação de $\sim 5^{\circ}\text{C}$. A maior variação de salinidade ocorreu dentro deste intervalo, onde também foram medidos os menores valores de salinidade (Fig. 9C).

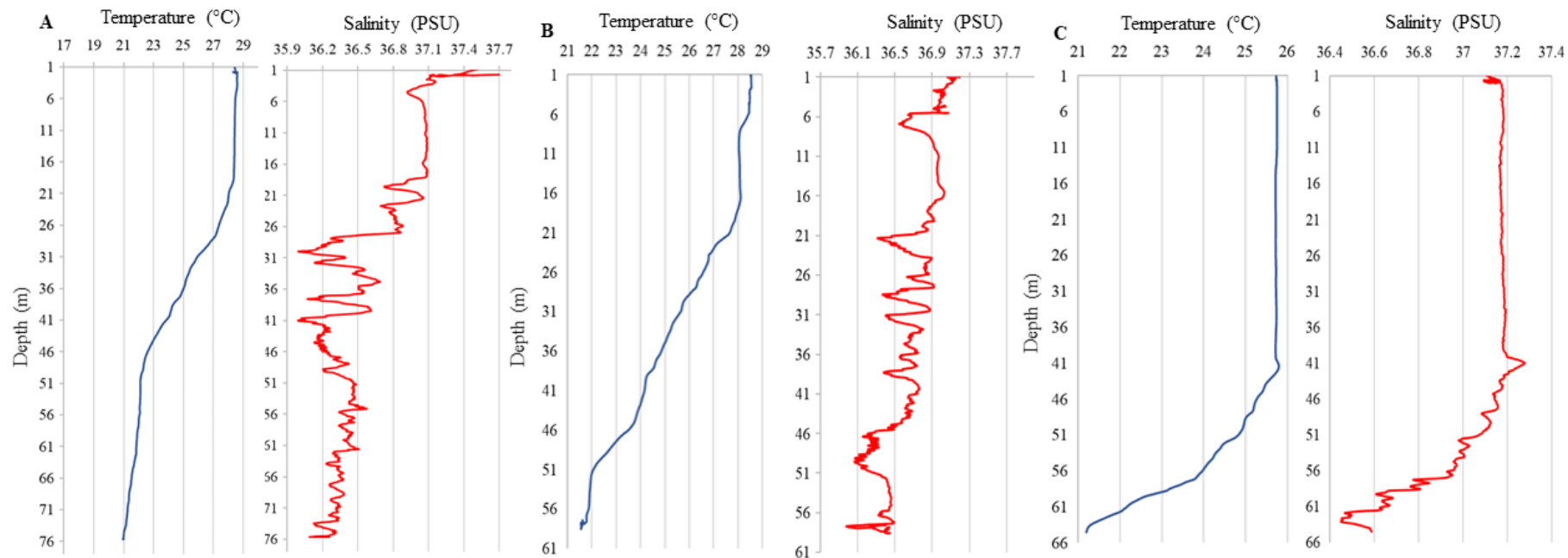


Figura 9. Perfis de Temperatura ($^{\circ}$ C) e Salinidade (PSU) para A) Fundo de vale no verão; B) Área marginal do vale no verão; C) Área marginal do vale no outono / inverno.

4.5 Análises estatísticas

4.5.1 Similaridade

Ao analisarmos os setores morfológicos dos vales incisos é possível observar que há maior similaridade de grupos bióticos presentes entre a região dos flancos com a região do fundo de canal (0,83) (Fig. 10). Isto pode ser explicado pela proximidade entre ambos, muitas vezes havendo uma conjunção dos grupos presentes. A similaridade entre fundo e áreas adjacentes aos canais é intermediária (0.465), bem como a porção do flanco com estas áreas proximais (0.415).

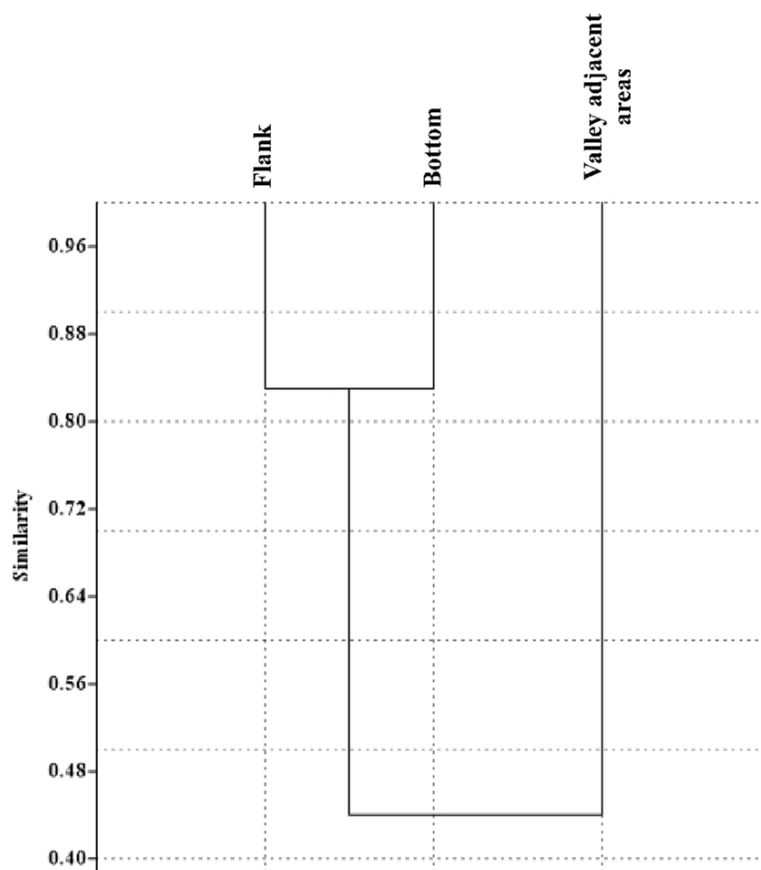


Figura 10. Análise de similaridade entre o fundo do vale, flanco do vale e áreas adjacentes do vale quanto à composição biótica, utilizando índice de Bray Curtis.

4.5.2 Análise de Componentes Principais (PCA)

Quando analisados os dados de forma integrada, sem separar os canais em fundo, flanco e áreas adjacentes, as duas primeiras autofunções da PCA aplicada explicam 59,2% da variância total. Analisando estas duas componentes, ou eixos, e o comportamento das variáveis utilizadas sobre eles, vemos que para o Eixo 1 (x), Temperatura (0.5596) e Salinidade (0.5014) são as de maior dominância, enquanto para o Eixo 2 (y), Profundidade (0.6965) e Gradiente (0.6415) são as de maior dominância. O gráfico das componentes representa visualmente o comportamento das amostras diante destas variáveis (Fig. 11A). Nota-se um número de pontos amostrais concentrados na porção de maior valor do eixo x, representando que nestas áreas a variação de salinidade e temperatura são importantes para a manutenção dos grupos de organismos encontrados. Da mesma forma, há um número amostral concentrado na porção do eixo y de maior valor, para os quais a variação de profundidade e gradiente são preponderantes para a manutenção dos grupos observados. Os pontos amostrais situados no quadrante de valores baixos para as duas componentes, são pontos onde as variáveis dominantes não são preponderantes para a ocorrência dos organismos observados.

Aplicando as componentes principais em cada porção morfológica dos paleovales, obteve-se respostas distintas, significando que as variáveis podem explicar de forma diferente a variância de acordo com a morfologia.

Tratando-se do **fundo** dos canais (classes da segmentação Deeper valley bottom and shallower valley bottom) as duas primeiras componentes principais explicam 60,72% da variância total. Ranqueando as variáveis, vemos que para o Eixo 1 (x), Temperatura (0.488) e Salinidade (0.41) são as variáveis de maior dominância, e para o Eixo 2 (y), a Profundidade (0.668). No gráfico de PCAs é possível observar a distribuição dos pontos amostrais sobre as componentes nos eixos x e y (Fig. 11B). Confrontando este resultado com o mapa de distribuição amostral, percebe-se que as amostras de maior valor para temperatura concentram-se em porções de fundo de canais mais rasos e largos, onde estes não estão afunilados. Em contrapartida, os pontos distribuídos nos valores mais altos da componente profundidade estão situados nas porções de fundo de canais mais profundas e afuniladas.

Observando os **flancos** (classe da segmentação Depression and/or paleovalley margin), tem-se que as duas primeiras componentes principais explicam 67,06% da variância, sendo que a variável de maior dominância no Eixo 1 é Teor de Carbonato (0.622) e para o eixo 2 o Gradiente (0.774), o que seria esperado uma vez que as imagens mostraram que os flancos e margens são fixados por bioincrustações e sua característica principal é o alto gradiente

comparado com as demais topografias submersas. Observando os eixos no gráfico, vemos que os pontos nos flancos dos paleovales, onde o teor de carbonato prevalece, são pontos onde o gradiente mostrou-se mais suave, enquanto que os pontos onde o gradiente é a variável dominante, estão relacionados a paredes de vale de maior ângulo de inclinação (Fig. 11C).

A região **adjacente aos canais** (classe da segmentação Flat bottom and shelf break) tem sua variância explicada em 79,17%, sendo que variável de maior domínio para o Eixo x é a Temperatura (0.567) e para o Eixo y são o Teor de Lama (0.641) e o Teor de Carbonato (0.639). Tratando de uma região mais flat, com variação de gradiente e profundidade de variações suaves, era esperado que ao menos a cobertura sedimentar fosse um fator preponderante na presença dos grupos epifaunais observados. É interessante notar que os pontos amostrais onde os teores de carbonato e lama são as componentes de maior variância, em sua maioria, estão próximos as regiões de canais. Na figura 11D podemos observar a distribuição dos pontos de acordo com as duas componentes principais.

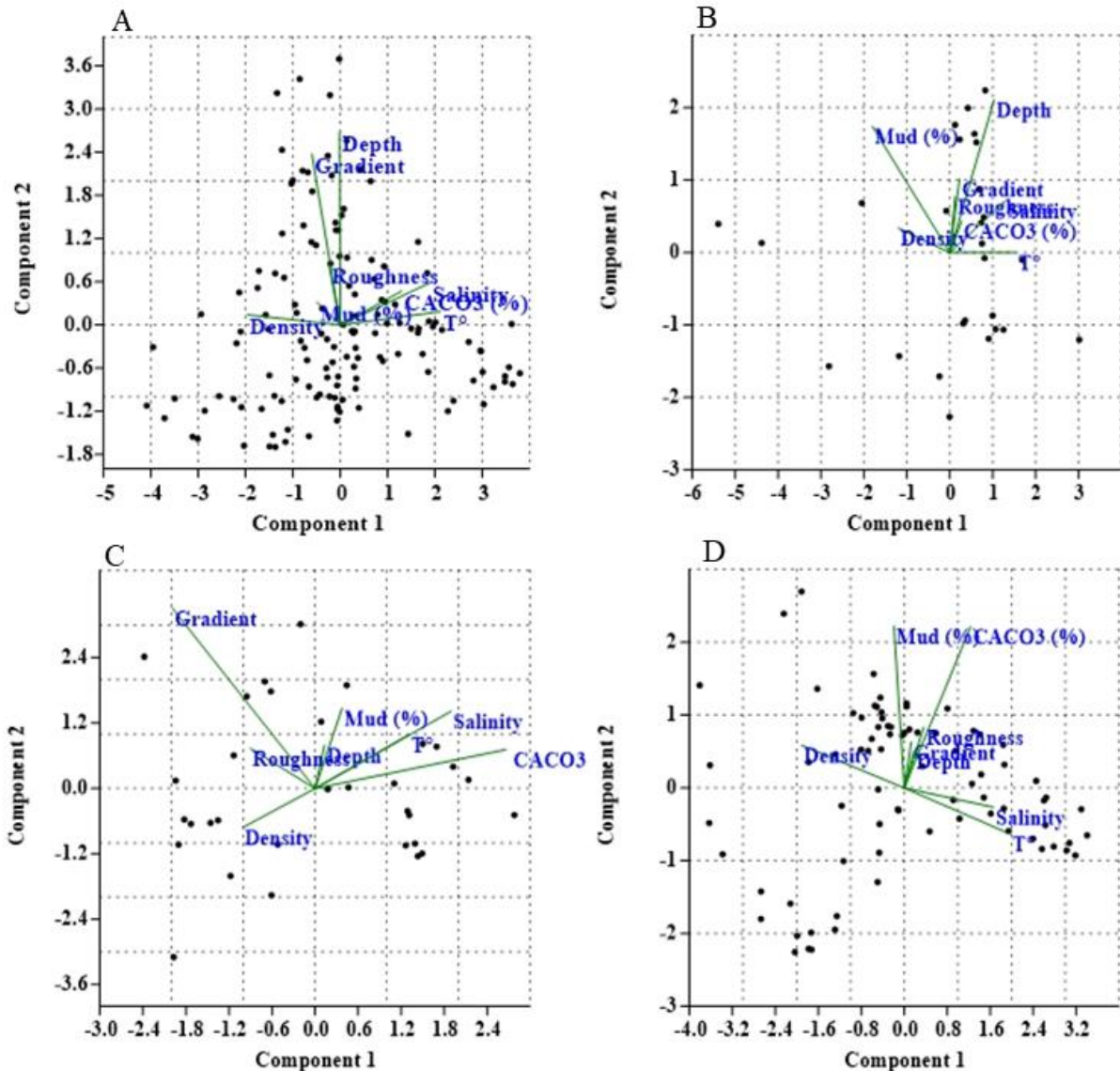


Figura 11. Resultados da Análise dos Componentes Principais: A) Análise integrada dos dados inseridos no fundo do vale, flanco e áreas adjacentes; B) Análise do fundo do vale; C) Análise do flanco do vale; D) Análise das áreas adjacentes aos vales.

5 Discussão

Habitats mesofóticos são caracterizados por um meio em associação com organismos foto-dependentes e por filtradores em profundidades mesofóticas (i.e., entre 30 e 150 m; Hinderstein et al., 2010). Recifes mesofóticos formam um importante habitat com cobertura bêntica que varia em relação aos recifes rasos, mas que também é caracterizada por corais algas, esponjas, briozoários, etc, servindo ainda de importante agregador de biomassa de peixes (Lesser et al.,

2009; Hinderstein et al., 2010; Kahng et al. 2010). O desenvolvimento de recifes mesofóticos está diretamente relacionado com o relevo marinho, uma vez que a morfologia fornece substratos duros adequados para colonização por organismos bentônicos sésseis, bem como influencia e direciona o transporte e/ou acúmulo de sedimentos (Sherman et al., 2019). Assim, a geomorfologia e os processos geológicos são parâmetros de controle fundamentais sobre a ocorrência, distribuição e composição dos ecossistemas mesofóticos (MCEs) (Bridge et al., 2011; Sherman et al., 2019).

Sabe-se que a topografia relíquia das plataformas continentais é um reflexo das variações relativas do nível do mar e que estas variações, somadas ao aporte e regime sedimentar, condições hidrodinâmicas, transporte de sedimentos, estruturas geológicas e atividades biológicas influenciam diretamente a geomorfologia da plataforma continental (Sternberg and Nowell, 1999; Pratson et al., 2007; Schattner et al., 2010; Brothers et al., 2013). Relacionando as flutuações do nível do mar que levaram a exposição e afogamento da plataforma, com o aporte sedimentar e produção carbonática nestes períodos, foram criados relevos propícios ao desenvolvimento de habitats mesofóticos. Trabalhos pretéritos identificaram estes conjuntos recifais associados a diferentes morfologias de fundo geradas durante os processos de variação do nível do mar no decorrer do Quaternário tais como pináculos, bancos, terraços submarinos, quebra de plataforma e vales incisos (Harris et al., 2005; Lesser et al., 2009; Locker et al., 2010; Sherman et al., 2010; Bridge et al 2011; Sherman et al., 2019).

Feições como vales incisos em plataformas sob condições oligotróficas, onde ocorre o desenvolvimento de uma sedimentação carbonática (Dominguez et al., 2013), como no caso da Plataforma Continental do Espírito Santo (PCES), não são preenchidos, apresentando o fundo rígido e flancos definidos. A preservação dos vales oferece substrato para desenvolvimento de comunidades bentônicas e leva a formação dos habitats aqui mapeados.

As filmagens revelaram um fundo variado em termos de cobertura epifaunal, com uma grande diversidade de grupos mesofóticos. No entanto, a presença de grupos epifaunais distintos foi maior onde o assoalho é mais irregular ou com feições mais complexas, como mostra a tabela 3. Isto ocorre principalmente onde o fundo é rígido, como em locais de bioincrustações como as presentes nos flancos dos vales ou em bancos de rodolitos.

Sabe-se que a variação do substrato é um importante fator de controle na distribuição das comunidades biológicas (Beaman and Harris, 2007; Gladstone, 2007; Bridge et al. 2011;

Rattray et al., 2013; Kaskela et al., 2017; Turner et al., 2018), sendo a diferença de granulometria apontada como principal variável atuante na variação da fauna (Kostylev et al., 2001; Beaman & Harris, 2007). No entanto, outros fatores abióticos como gradiente, rugosidade, profundidade e as variáveis relacionadas a esta, como temperatura, e luminosidade, também são fundamentais na estruturação de comunidades (Greene et al., 2007b; Lesser et al., 2009; Kahng and Kelley, 2007; Locker et al. 2010; Kahng et al., 2012; Bridge et al., 2011; Kaskela et al., 2017). Ainda, fatores bióticos também são importantes, tal como pastagem por animais (James, 2000), competição entre espécies e recrutamento de organismos (Cochrane et al., 2012).

Considerando que os grupos de organismos aqui imageados estão distribuídos sobre as diferentes feições mapeadas, paleovales (fundo e flanco) e áreas adjacentes, e que em cada segmento estudado existem variáveis abióticas, tais como elementos da geomorfologia, composição de substrato, temperatura e salinidade da água, que explicam melhor a presença da fauna encontrada, cada porção pode representar um habitat diferente e até mesmo conter microhabitats.

A porção do **flanco dos canais** foi o segmento onde melhor se pôde observar a relação entre fundos rígidos, complexidade de terreno e diversidade epifaunal, descrita dos trabalhos supracitados. Não é por acaso que aqui encontramos 5 classes de habitats associadas. A análise de componentes principais mostrou que a maior biodiversidade encontrada nestas áreas pode ser explicada através do teor de carbonato e gradiente.

O maior teor de carbonato nestas áreas na sua forma incrustada faz com que elas sejam rígidas, proporcionando maior estabilidade de fundo, sendo este aspecto importante para espécies que necessitam de um substrato fixo para se desenvolver. Além disso, os organismos em substrato duro são profundamente influenciados por ângulos de gradiente e deposição de sedimento (Colin et al., 1986). Por apresentar gradiente acentuado estas porções tornam-se complexas, e isso faz com que possa influenciar as áreas de superfície disponíveis para assentamento, a disponibilidade de alimentos, proteção contra predação e exposição a correntes (Ierodiaconou et al., 2007). Além disso, o ângulo de inclinação do terreno também parece desempenhar um papel importante na determinação do zoneamento vertical (Bridge et al., 2011). Associado ao tipo de fundo e ao gradiente mais acentuado, podemos citar a rugosidade, como um fator que acentua a complexidade do fundo. Segundo Bridge et al. (2011), existe uma correlação clara entre a rugosidade geral do substrato e a alta diversidade da macrofauna.

A composição rígida das paredes dos canais também pode contribuir com a maior biodiversidade deste habitat por criar um sistema de *feedback* positivo. As comunidades recifais que crescem ao longo das margens e paredes agem de modo a restringir o crescimento do canal e acelerar o fluxo de correntes dentro dele (Harris et al., 2005). Este fluxo de correntes pode influenciar no suprimento de alimentos e matéria orgânica aos (Okamura and Partridge, 1999; Cochrane et al, 2012). Ainda, sendo os organismos sésseis, o fluxo de água também auxilia no transporte dos seus propágulos, conseqüentemente, o fluxo é a chave para determinar a distribuição de espécies macrobentônicas sésseis (Gili and Coma, 1998).

Nos flancos dos canais, CCAs incrustadas sobre o *hardbottom*, corais e esponjas foram os grupos mais observados. Junto a estes, uma espécie de biofilme sobre a parede do canal também foi imageada, que pode representar o início do processo de bioinscrutaçãõ com a formação de um biofilme que pode ser definido como um filme biológico.

As CCAs foram observadas incrustadas sobre os flancos devido à sua extensa cobertura viva em recifes. Além disso, elas ligam elementos estruturais, como corais e outros compostos estruturais (Riding, 2002). No que diz respeito ao limite mais profundo de sua distribuição, as algas vermelhas estão bem adaptadas para viver em condições de pouca luz (Kühl et al., 2001), uma vez que são as plantas bentônicas mais profundas conhecidas e ocorrem desde o intertidal superior até Profundidades superiores a 200 m (Littler et al., 1991).

Os corais registrados neste trabalho foram corais negros do gênero *Antipathes* e *Cirrhopathes*, corroborando o trabalho de Loiola (2007). A distribuição da cobertura de coral vivo parece estar relacionada à geomorfologia e fracamente relacionada à profundidade (Rivero-Calle et al., 2008), porque a grande maioria dos antipatários requerem substratos duros aos quais podem se fixar firmemente (Wagner et al., 2012 Além disso, por serem filtradores, requerem áreas com correntes fortes e consistentes (Tazioli et al., 2007) e estão ausentes em áreas cercadas por alta cobertura de sedimentos (Fraser and Sedberry, 2008). Assim, são encontrados em áreas onde a topografia do entorno pode contribuir para o fluxo de água, como flancos de vales.

As comunidades de esponjas são particularmente diversas nas escarpas profundas do recife em profundidades de 60-150 m (Kahng et al., 2017), sendo menos dependentes da luz como fator estruturante (Turner et al., 2018). Eles podem fornecer estrutura tridimensional importante (Bell et al. 2013), contribuindo para o desenvolvimento de outros grupos biológicos.

No **fundo dos vales**, onde foram encontradas 8 classes de habitats entre fundo raso e fundo mais profundo de canal, foram observados poucos organismos e a baixa diversidade dos grupos epifaunais encontrados pôde ser explicada por temperatura, salinidade e profundidade. Foi relatado que temperatura desempenha um papel na estruturação de comunidades mesofóticas (Bongaerts et al. 2015; Pyle et al. 2016). Sendo a temperatura mais baixa, por tratar-se de porções de maior profundidade, esta pode ser um fator limitante para muitos organismos.

Também, a radiação reduzida com a profundidade limita a distribuição dos organismos fotossintéticos. Em geral, o gradiente de diminuição da cobertura bentônica com o aumento da profundidade foi espelhado pela redução da abundância de organismos fotossintéticos, particularmente macroalgas (Kahng and Kelley, 2007). Logo este é um fator limitante no desenvolvimento de algumas espécies nesta porção e pode explicar a baixa ocorrência de grupos imageados.

Outro fator que pode influenciar na menor diversidade imageada é cobertura sedimentar fina, parcialmente um fator de profundidade (Watling and Skinder, 2007). O acúmulo de sedimentos em regiões de baixo gradiente, como fundos de vales, sugere que a manta de sedimentos é um fator importante na limitação da ocorrência de bentos sésseis (Beaman et al., 2016). Ainda, o sedimento inconsolidado pode levar à ocorrência de uma fauna esparsa (Beaman & Harris, 2007), sendo esta de pouca visualização neste trabalho.

Dentre os organismos epifaunais observados estão os briozoários e corais negros, estes últimos geralmente observados no início do flanco, onde há um substrato rochoso para fixação. Os briozoários são coloniais e quase todos são sésseis quando adultos (Lidgard, 2008). Justamente por serem sésseis e filtradores tem sua distribuição regida pelas condições ambientais dos habitats além da disponibilidade de substrato (Winston, 1982). São bastante ocorrentes em ambientes profundos, já que estes podem fornecer condições ideais de crescimento para filtradores, além de preferirem locais sombreados ou crípticos (Winston, 2007). De comportamento oportunista, as colônias, como vimos aqui, apresentam uma grande variedade de formas (Winston, 2007).

A **área adjacente aos canais**, aqui inserida em 3 classes de habitats (associadas a *Flat bottom*, *Pleovalley margin* and *depression*) compreende uma área mais plana com predomínio de rodolitos, alga calcária geniculada, macroalgas e briozoários. Corais negros, esponjas e ascídias também foram observados, mas com menos frequência. Aqui, temperatura e os teores de lama e carbonato são as principais variáveis responsáveis pela ocorrência de grupos

bentônicos. Conforme apontado por Roff and Taylor (2000), a temperatura é um importante determinante das comunidades marinhas que frequentemente se relaciona positivamente com a biomassa e negativamente com a diversidade de espécies.

Esta região, apesar do gradiente suave que poderia diminuir a complexidade do substrato e assim diminuir o potencial de biodiversidade, mostrou ser composto por algumas formas de fundo de topografia positiva e negativa. Essas características podem afetar a abundância e distribuição dos organismos bentônicos ao perturbar seu habitat (Barros et al., 2004) ou influenciar a circulação local, a dispersão larval e o suprimento alimentar (Cochrane et al., 2012). O baixo gradiente nessas áreas as faz ser mais suscetíveis à deposição de sedimentos (Sherman et al. 2010; 2019), o que pode ser prejudicial para o desenvolvimento de filtradores e algumas macroalgas. No entanto, esses ambientes permitem que outras comunidades biológicas dominem, com acúmulo de rodolitos nos relevos de menores gradientes (Locker et al., 2010).

Nestas áreas adjacentes os rodolitos foram o grupo dominante, formando em algumas porções bancos de rodolitos. Considera-se que a área coberta por estas formações no Brasil, entre 3° e 22° S, é a maior área de leito de rodolitos do mundo (Amado-Filho et al.). Estes leitos são comunidades formadas e dominadas por algas coralíneas de vida livre, calcárias e não geniculadas (CCAs) (2012Foster, 2001) e estão preferencialmente associados a sedimentos arenosos com cascalho de origem bioclástica (Sañé et al., 2016), encontrados a partir de 40 m de profundidade como visto aqui e em trabalhos pretéritos (Amado-Filho et al., 2012; Bastos et al., 2015; Holz et al., 2020).

Normalmente nodular, a estrutura dos rodolitos tem um grande efeito sobre os organismos associados, causando um aumento na diversidade em relação a um habitat bentônico puramente *soft* (Steller and Foster, 1995), e por fornecer estruturas de habitat tridimensionais são reconhecidos como “engenheiros de ecossistema” (Crain and Bertness, 2006). O banco de rodolitos, por ser formado por uma grande concentração de nódulos, sofre com menos distúrbio pelo movimento da água (Hinojosa-Arango & Riosmena-Rodríguez, 2004), levando a uma maior estabilidade para assentamento de organismos sésseis. A estabilidade também pode ser influenciada pela presença de biota que realiza uma blindagem biológica dos rodolitos com sedimento pelo muco faunal, contribuindo com a estabilidade (Murray et al., 2002). Ainda, como observado nos *frames* e corroborando com os resultados de Holz et. al (2020), os bancos de rodolitos tornam-se mais densos em direção à quebra da plataforma, mostrando uma transição de nódulos esparsos e soltos, intercalados por areia

carbonática/cascalho /briozoários, para agregados altamente densos, onde os autores sugerem que os rodolitos se fundam entre si para formar concreções de carbonato.

Associadas ao banco dos rodolitos, temos macroalgas frondosas. A maioria das macroalgas marinhas requer alguma forma de substrato duro para se estabelecer, sendo raras em fundos moles sem rodolitos (Steller and Foster, 1995). Devido à sua capacidade de se adaptar a uma ampla gama de condições de luz e nutrientes, macroalgas são comumente encontradas em todo intervalo de profundidade das comunidades mesofóticas (Baker et al., 2016). Quando associados aos rodolitos, são altamente dependentes da luz, e sua abundância geralmente diminui com a profundidade (Amado-Filho et al., 2010).

Relacionado ao fundo duro de rodolitos, observamos ascídias. Elas são organismos incrustantes que constituem uma parte importante da fauna bêntica de substratos consolidados. Podem estar em forma solitária ou colonial (Brusca and Brusca, 2007). Elas exercem várias funções ecológicas fundamentais, competindo por espaço, servindo de abrigo para vários outros organismos comensais e parasitas e constituindo um elo importante da teia alimentar (Lambert, 2005).

Através da descrição das imagens reconheceu-se uma associação direta entre grupos bentônicos e as feições mapeadas. No entanto, é importante ressaltar que a diversidade de grupos registrados em algumas áreas de maior gradiente deve ser tratada com cautela, uma vez que em declives mais acentuados existe uma dificuldade maior em pousar a estrutura da *dropcam*. Além disso, em alguns locais, há a desvantagem da iluminação insuficiente ou falta de foco, o que pode tornar a identificação do organismo um desafio (Turner et al., 2018).

A junção dos resultados obtidos permitiu distinguir uma grande diversidade de feições e habitats associados, sendo a maioria deles relacionadas aos vales incisos. Ainda, foi possível quantificar os organismos presentes em cada *frame*, levando a uma relação de maior diversidade de grupos epifaunais com determinadas morfologias, onde ficou evidente a maior concentração de diferentes grupos biológicos na região dos vales, principalmente nos flancos, fazendo deste tipo de morfologia um habitat mesofótico importante. Investigações que englobem perfis bentônicos ao longo desses canais e estudos ecológicos de maior detalhamento sobre a dinâmica bentônica nessas regiões seriam de grande importância para melhor entendimento da região, sendo estes sugeridos aqui para futuros trabalhos.

6 Conclusão

A compilação dos dados geoaústicos evidenciou cinco canais afogados da área estudada, bem como feições associadas, como terraços submersos, cristas, cristas alinhadas paralelas à costa e pequenas depressões circulares. Junto a isto, nosso sistema de vídeo imageamento revelou a ocorrência de comunidades mesofóticas aderidas aos flancos dos paleovales bem como em estruturas mais elevadas, tais como cristas ou bancos, próximos dos mesmos.

A partir das análises empregadas pôde-se esclarecer que o tipo de fundo, tanto em termos de cobertura sedimentar quanto a morfologia, exerce influência na epifauna e epiflora dos paleovales da APA Costa das Algas. A compilação dos dados também resultou em um mapa de habitats de 17 classes, associados principalmente à profundidade, geomorfologia e cobertura sedimentar, onde ficou claro que a topografia mais heterogênea relacionada as feições dos canais (fundo e flanco) concentra um maior número de classes de habitats quando comparado a áreas mais flat.

Flanco e fundo representam habitats distintos - substratos mais complexos quanto à faciologia, fornecem diferentes condições ambientais para ocupação de diferentes organismos, aumentando a riqueza de espécies. Logo, sendo que a região de maior gradiente é composta por substrato mais rígido, tais como os flancos de paleovale, a mesma possui potencial para abrigar uma maior diversidade de formas de vida epifaunal quando comparado ao substrato inconsolidado e sem variação de gradiente encontrado no fundo dos paleovales. Apesar de a temperatura e a menor incidência de luz causada pelas maiores profundidades no fundo dos vales serem preponderantes para a biota existente ali, ficou evidente que gradiente do relevo nos flancos acaba sendo mais determinante na distinção e diversidade dos grupos encontrados, uma vez que os perfis de temperatura não variaram significativamente entre flanco e fundo.

Assim como os canais, as áreas adjacentes a eles também foram reconhecidas como habitats importantes, principalmente no que refere-se ao banco dos rodolitos. Inseridos na porção mais profunda da área da APA, eles enriquecem o sistema ecológico do fundo, servindo de substrato para organismos incrustantes e de abrigo para os organismos natantes.

As observações e resultados aqui mencionados permitem associar as feições geomorfológicas estudadas como habitats mesofóticos, e dentre estes, há o reconhecimento de recifes mesofóticos associados aos flancos dos paleovales e bioincrustações adjacentes aos mesmos. Logo, a região possui dois tipos de habitats mesofóticos que merecem atenção em planos de manejo e gerenciamento da MPA: os vales com suas classes de habitats heterogêneas

e os fundos de rodolito predominantes em fundos planos. Uma vez que estas áreas desempenham funções ecológicas fundamentais para a manutenção da biodiversidade, merecem atenção requerendo políticas de manejo que visem sua proteção e melhor gestão.

Referências bibliográficas

- Abdi, H., Williams, L.J., 2010. Principal component analysis. *Wiley Interdiscip. Rev. Comput. Stat.* 2, 433–459. <https://doi.org/10.1002/wics.101>
- 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., Bahia, R.G., Leal, R.N., Kaufman, L., Kleypas, J.A., Farina, M., Thompson, F.L., 2012. Rhodolith beds are major CaCO₃ BIO-factories in the tropical south West Atlantic. *PLoS One* 7, 5–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035171>
- Amado-Filho, G., 2010. Seaweed diversity associated with a Brazilian tropical rhodolith bed. *Ciencias Mar.* 36, 371–391. <https://doi.org/10.7773/cm.v36i4.1782>
- Bas, T. P., 2016. RSOBIA-A new OBIA Toolbar and Toolbox in ArcMap 10. x for Segmentation and Classification.
- Barros, F., Underwood, A.J., Archambault, P., 2004. The influence of troughs and crests of ripple marks on the structure of subtidal benthic assemblages around rocky reefs. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 60, 781–790. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2003.12.008>
- Bastos, A.C., Moura, R.L., Amado-Filho, G.M., D’Agostini, D.P., Secchin, N.A., Francini-Filho, R.B., Güth, A.Z., Sumida, P.Y.G., Mahiques, M.M., Thompson, F.L., 2013. Buracas: Novel and unusual sinkhole-like features in the Abrolhos Bank. *Cont. Shelf Res.* 70, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.04.035>
- 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., 2015. Shelf morphology as an indicator of sedimentary regimes: A synthesis from a mixed siliciclastic-carbonate shelf on the eastern Brazilian margin. *J. South Am. Earth Sci.* 63, 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.07.003>
- Beaman, R.J., Harris, P.T., 2008. Geophysical Variables as Predictors of Megabenthos Assemblages from the Northern Great Barrier Reef , Australia. *Mapp. Seafloor Habitat Charact. Geol. Assoc. Canada* 241–258.
- Begon, M., Harper, J.L., Townsend, C.R., 1996. *Ecology: Individuals, Populations and Communities*. Blackwell Scientific Publications, Cambridge, UK, 945 pp

- Bell, J.J., Davy, S.K., Jones, T., Taylor, M.W., Webster, N.S., 2013. Could some coral reefs become sponge reefs as our climate changes?. *Glob. Chang. Biol.*, 19(9), 2613-2624. <https://doi.org/10.1111/gcb.12212>
- Bongaerts, P., Carmichael, M., Hay, K.B., Tonk, L., Frade, P.R., Hoegh-guldberg, O., 2015. Prevalent endosymbiont zonation shapes the depth distributions of scleractinian coral species. *R. Soc. Open Sci*, 2(2), <https://doi.org/10.1098/rsos.140297>
- Bourguignon, S.N., Bastos, A.C., Quaresma, V.S., Vieira, F. V., Pinheiro, H., Amado-Filho, G.M., de Moura, R.L., Teixeira, J.B., 2018. Seabed morphology and sedimentary regimes defining fishing grounds along the eastern Brazilian shelf. *Geosci.* 8. <https://doi.org/10.3390/geosciences8030091>
- Bridge, T.C.L., Done, T.J., Beaman, R.J., Friedman, A., Williams, S.B., Pizarro, O., Webster, J.M., 2011. Topography, substratum and benthic macrofaunal relationships on a tropical mesophotic shelf margin, central Great Barrier Reef, Australia. *Coral Reefs* 30, 143–153. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0677-3>
- Bridge, T., Beaman, R., Done, T., Webster, J., 2012. Predicting the Location and Spatial Extent of Submerged Coral Reef Habitat in the Great Barrier Reef World Heritage Area, Australia. *PLoS One* 7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048203>
- Brothers, D.S., ten Brink, U.S., Andrews, B.D., Chaytor, J.D., 2013. Geomorphic characterization of the U.S. Atlantic continental margin. *Mar. Geol.* 338, 46–63. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.12.008>
- Brown, C.J., Blondel, P., 2009. Developments in the application of multibeam sonar backscatter for seafloor habitat mapping. *Appl. Acoust.* 70, 1242–1247. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2008.08.004>
- Brown, C.J., Smith, S.J., Lawton, P., Anderson, J.T., 2011. Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 92, 502–520. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.02.007>
- Brusca, R.C., Brusca, G.J., Silveira, F.L. *Invertebrados*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
- Crain CM, Bertness MD, 2006. Ecosystem engineering across environmental stress gradients: implications for conservation and management. *Bioscience* 56:211–216. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)056\[0211:EEAEGI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)056[0211:EEAEGI]2.0.CO;2)
- Cochrane, G.R., Lafferty, K.D., 2002. Use of acoustic classification of sidescan sonar data for mapping benthic habitat in the Northern Channel Islands, California. *Cont. Shelf Res.* 22, 683–690. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(01\)00089-9](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(01)00089-9)

- Colin, P.L., Devaney, D.M., Hillis-Colinvaux, L., Suchanek, T.H., Harrison, J.T., 1986. Geology and Biological Zonation of the Reef Slopes, 50-360 m depth at Enewetok Atoll, Marshall Islands. *Bull. Mar. Sci.* 38, 111–128.
- Dominguez, J.M.L., 2009. The coastal zone of Brazil. In: Dillenburg, S., Hesp, P.A.(Eds.), *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Lecture Notes in Earth Sciences. Springer, Berlin, pp. 17 e 51.
- Dominguez, J.M.L., Da Silva, R.P., Nunes, A.S., Freire, A.F.M., 2013. The narrow, shallow, low-accommodation shelf of central Brazil: Sedimentology, evolution, and human uses. *Geomorphology* 203, 46–59 <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.07.004>
- Fraser, S. B., & Sedberry, G. R. (2008). Reef morphology and invertebrate distribution at continental shelf edge reefs in the South Atlantic Bight. *Southeast. Nat.*, 7(2), 191-206. [https://doi.org/10.1656/1528-7092\(2008\)7\[191:RMAIDA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1656/1528-7092(2008)7[191:RMAIDA]2.0.CO;2)
- Foster, M.S., 2001. Rhodoliths: Between rocks and soft places. *J. Phycol.* 37, 659–667. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2001.00195.x>
- Gili, J.-F., Coma, R., 1998. Benthic suspension feeders: their paramount role in littoral marine food webs. *Trends Ecol. Evol.* 13, 316–321. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01365-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01365-2)
- Harris, P.T., Heap, A.D., Wassenberg, T., Passlow, V., 2004. Submerged coral reefs in the Gulf of Carpentaria, Australia. *Mar. Geol.*, 207(1-4), 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.03.002>
- Harris, P.T., Heap, A., Passlow, V., Hughes, M., Daniell, J., Hemer, M., Anderson, O., 2005. Tidally incised valleys on tropical carbonate shelves: An example from the northern Great Barrier Reef, Australia. *Mar. Geol.* 220, 181–204. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.06.019>
- Hinderstein, L.M., Marr, J.C.A., Martinez, F.A., Dowgiallo, M.J., Puglise, K.A., Pyle, R.L., Zawada, D.G., Appeldoorn, R., 2010. Theme section on “Mesophotic Coral Ecosystems: Characterization, Ecology, and Management.” *Coral Reefs* 29, 247–251. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0614-5>
- Hinojosa-Arango, G., Riosèmena-Rodríguez, R., 2004. Influence of rhodolith-forming species and growth-form on associated fauna of rhodolith beds in the Central-West gulf of California, México. *Mar. Ecol.* 25, 109–127. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2004.00019.x>
- Holz, V.L., Bahia, R.G., Karez, C.S., Vieira, F. V., Moraes, F.C., Vale, N.F., Sudatti, D.B., Salgado, L.T., Moura, R.L., Amado-Filho, G.M., Bastos, A.C., 2020. Structure of rhodolith beds and surrounding habitats at the doce river shelf (Brazil). *Diversity* 12, 1–19. <https://doi.org/10.3390/d12020075>

- Ierodiaconou, D., Laurenson, L., Burq, S., Reston, M., 2007. Marine benthic habitat mapping using Multibeam data, georeferenced video and image classification techniques in Victoria, Australia. *J. Spat. Sci.* 52, 93–104. <https://doi.org/10.1080/14498596.2007.9635105>
- Janowski, L., Madricardo, F., Fogarin, S., Kruss, A., Molinaroli, E., Kubowicz-Grajewska, A., Tegowski, J., 2020. Spatial and temporal changes of tidal inlet using object-based image analysis of multibeam echosounder measurements: A case from the Lagoon of Venice, Italy. *Remote Sens.* 12. <https://doi.org/10.3390/rs12132117>
- Jerosch, K., Kuhn, G., Krajnik, I., Scharf, F.K., Dorschel, B., 2016. A geomorphological seabed classification for the Weddell Sea, Antarctica. *Mar. Geophys. Res.* 37, 127–141. <https://doi.org/10.1007/s11001-015-9256-x>
- Kahng, S.E., Kelley, C., 2007. Vertical zonation of habitat forming benthic species on a deep photosynthetic reef (50–140 m) in the Au’au Channel, Hawaii. *Coral Reefs* 26:679–687
DOI
- Kahng, S., Wagner, D., Lantz, C., Vetter, O., Gove, J., Merrifield, M., 2012. Temperature-related depth limits of warm-water corals. *Proc 12th Int Coral Reef Symp* www.icrs2012.com/proceedings/manuscripts/ICRS2012_9C_1.pdf
- Kahng, Samuel, Kahng, Sam, Copus, J.M., Wagner, D., 2017. Mesophotic Coral Ecosystems Mesophotic Coral Ecosystems. *Mar. Anim. Forest*, 10, 978-3. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17001-5>
- Kaskela, A.M., Rousi, H., Ronkainen, M., Orlova, M., Babin, A., Gogoberidze, G., Kostamo, K., Kotilainen, A.T., Neevin, I., Ryabchuk, D., Sergeev, A., Zhamoida, V., 2017. Linkages between benthic assemblages and physical environmental factors: The role of geodiversity in Eastern Gulf of Finland ecosystems. *Cont. Shelf Res.* 142, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.05.013>
- Kaufman, L., Rousseeuw, P.J., 1990. *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. John Wiley, New York. Kostylev et al., 2001
- Kottke, B., Schwenk, T., Breitzke, M., Wiedicke, M., Kudrass, H.R., Spiess, V., 2003. Acoustic facies and depositional processes in the upper submarine canyon swatch of No Ground (Bay of Bengal). *Deep-Sea Res Part II* 50:979–1001. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(02\)00616-1](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(02)00616-1)
- Kühl, M., Glud, R.N., Borum, J., Roberts, R., Rysgaard, S., 2001. Photosynthetic performance of surface-associated algae below sea ice as measured with a pulse- amplitude-modulated (PAM) fluorometer and O₂ microsensors. *Mar. Ecol. -Prog. Ser.* 223, 1–14. [doi:10.3354/meps223001](https://doi.org/10.3354/meps223001)
- Lacharité, M., Brown, C.J., Gazzola, V., 2018. Multisource multibeam backscatter data: developing a strategy for the production of benthic habitat maps using semi-automated

- seafloor classification methods. *Mar. Geophys. Res.* 39, 307–322. <https://doi.org/10.1007/s11001-017-9331-6>
- Lambert, G., 2005. Ecology and natural history of the protochordates. *Can. J. Zool.*, 83, 34-50. <https://doi.org/10.1139/z04-156>
- Lavagnino, A.C., Bastos, A.C., Amado Filho, G.M., de Moraes, F.C., Araujo, L.S., de Moura, R.L., 2020. Geomorphometric Seabed Classification and Potential Megahabitat Distribution in the Amazon Continental Margin. *Front. Mar. Sci.* 7, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00190>
- Lesser, M.P., Slattery, M., Leichter, J.J., 2009. Ecology of mesophotic coral reefs. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 375, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2009.05.009>
- Lidgard, S., 2008. Predation on marine bryozoan colonies: Taxa, traits and trophic groups. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 359, 117–131. <https://doi.org/10.3354/meps07322>
- Littler, M.M., D.S. Littler, M.D. Hanisak. 1991. Deep-water rhodolith distribution, productivity, and growth history at sites of formation and subsequent degradation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* , 150, 163– 182. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(91\)90066-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(91)90066-6).
- Locker, S.D., Armstrong, R.A., Battista, T.A., Rooney, J.J., Sherman, C., Zawada, D.G., 2010. Geomorphology of mesophotic coral ecosystems: Current perspectives on morphology, distribution, and mapping strategies. *Coral Reefs* 29, 329–345. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0613-6>
- Loiola, L., 2007. Black corals (Cnidaria: Antipatharia) from Brazil: an overview. *Conserv. Adapt. Manag. Seamount Deep. Coral Ecosyst.* AN - 19662285; 9010109 12–264. DOI
- Lucieer, V., Roche, M., Degrendele, K., Malik, M., 2017. User expectations for multibeam echo sounders backscatter strength data-looking back into the future. *Mar. Geophys. Res.* 1-24. <https://doi.org/10.1007/s11001-017-9316-5>
- MacQueen, J., 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability* (Vol. 1, No. 14, pp. 281-297).
- Matsuda, S., Iryu, Y., I-, H.I., 2011. Rhodoliths from deep fore-reef to shelf areas around Okinawa-jima, Ryukyu Islands , Japan. *Mar. Geol.* 282, 215–230. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2011.02.013>
- Mazzini, P.L.F., Barth, J.A., 2013. A comparison of mechanisms generating vertical transport in the Brazilian coastal upwelling regions, *J. Geophys. Res.* 118(11), 5977– 5993. <https://doi.org/10.1002/2013JC008924>
- Micallef, A., Le, T.P., Huvenne, V.A.I., Blondel, P., Deidun, A., Veit, H., 2012. A multi-method approach for benthic habitat mapping of shallow coastal areas with high-resolution multibeam data. *Cont. Shelf Res.* <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.03.008>

- 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., Guth, A.Z., Lopes, R.M., Bastos, A.C., 2013. Spatial patterns of benthic megahabitats and conservation planning in the Abrolhos Bank. *Cont. Shelf Res.* 70, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.04.036>
- Murray, J.M.H., Meadows, A., Meadows, P.S., 2002. Biogeomorphological implications of microscale interactions between sediment geotechnics and marine benthos: a review. *Geomorphology* 47:15–30. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00138-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00138-1)
- Niemer E. 1977. Climatologia da região sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Geogr.* 34: 3–48
- Okamura, B., Partridge, J.C., 1999. Suspension feeding adaptations to extreme environments in a marine bryozoan. *Biol Bull* 196:205–215. <https://doi.org/10.2307/1542566>
- Oliveira, N. de, Bastos, A.C., da Silva Quaresma, V., Vieira, F.V., 2020. The use of Benthic Terrain Modeler (BTM) in the characterization of continental shelf habitats. *Geo-Marine Lett.* 1-11. <https://doi.org/10.1007/s00367-020-00642-y>
- Palóczy, A., Brink, K.H., da Silveira, I.C.A., Arruda, W.Z., Martins, R.P., 2016. Pathways and mechanisms of offshore water intrusions on the Espírito Santo Basin shelf (188S–228S, Brazil). *J Geophys Res Oceans* 121:5134–5163. <https://doi.org/10.1002/2015JC011468>
- Pandian et al., 2009
- Pratson, L.F., Nittrouer, A.C.A., Wiberg, P.L., Steckler, M.S., Swenson, J.B., Cacchione, D.A., Karson, J.Á., Murray, A.B., Wolinsky, M.A., et al., 2007. Seascape evolution on clastic continental shelves and slopes, In *Continental margin sedimentation: from sediment transport to sequence stratigraphy*/edited by C.A. Nittrouer... [et al.]. p. cm. e (Special publication number 37 of the International Association of Sedimentologists) 339
- Pyle, R.L., Boland, R., Bolick, H., Bowen, B.W., Bradley, C.J., Kane, C., Kosaki, R.K., Langston, R., Longenecker, K., Montgomery, A., Parrish, F.A., Popp, B.N., Rooney, J., Smith, C.M., Wagner, D., Spalding, H.L., 2016. A comprehensive investigation of mesophotic coral ecosystems in the Hawaiian Archipelago. *PeerJ* 4, e2475. <https://doi.org/10.7717/peerj.2475>
- Rattray, A., Ierodiaconou, D., Monk, J., Versace, V.L., Laurenson, L.J.B., 2013. Detecting patterns of change in benthic habitats by acoustic remote sensing. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 477, 1–13. <https://doi.org/10.3354/meps10264>
- Regazzi, A. J., 2001. Análise multivariada. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática, 2001. 166p
- Riding, R., 2002. Structure and composition of organic reefs and carbon-ate mud mounds: concepts and categories. *Earth Sci. Rev.* 58:63–231. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00089-7)

- Ringnér, M., 2008. What is principal component analysis? *Nat. Biotechnol.* 26, 303–304. <https://doi.org/10.1038/nbt0308-303>
- Rivero-Calle, S., Armstrong, R. a, Soto-Santiago, F., 2008. Biological and physical characteristics of a mesophotic coral reef: Black Jack reef, Vieques, Puerto Rico. *Proc. 11th Int. Coral Reef Symp. Int. Coral Reef Symp.* 567–571.
- Rocha, G.A., Bastos, A.C., Amado-Filho, G.M., Boni, G.C., Moura, R.L., Oliveira, N., 2020. Heterogeneity of rhodolith beds expressed in backscatter data. *Mar. Geol.* 423, 106136. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106136>
- Roff, J.C., Taylor, M.E., 2000. National frameworks for marine conservation. *A. Nature* 223, 209-223. [https://doi.org/10.1002/1099-0755\(200005/06\)10:3<209::AID-AQC408>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/1099-0755(200005/06)10:3<209::AID-AQC408>3.0.CO;2-J)
- Sañé, E., Chiocci, F.L., Basso, D., Martorelli, E., 2016. Environmental factors controlling the distribution of rhodoliths: An integrated study based on seafloor sampling, ROV and side scan sonar data, offshore the W-Pontine Archipelago. *Cont. Shelf Res.* 129, 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.09.003>
- Schlacher, T.A., Schlacher-Hoenlinger, M.A., Williams, A., Althaus, F., Hooper, J.N.A., Kloser, R., 2007. Richness and distribution of sponge megabenthos in continental margin canyons off southeastern Australia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 340, 73–88. <https://doi.org/10.3354/meps340073>
- Schattner, U., Lazar, M., Tibor, G., Ben-Avraham, Z., Makovsky, Y., 2010. Filling up the shelf and a sedimentary response to the last post-glacial sea rise. *Mar Geol* 278:165–176. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2010.10.006>
- Sherman, C., Nemeth, M., Ruíz, H., Bejarano, I., Appeldoorn, R., Pagán, F., Schärer, M., Weil, E., 2010. Geomorphology and benthic cover of mesophotic coral ecosystems of the upper insular slope of southwest Puerto Rico. *Coral Reefs* 29, 347–360. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0607-4>
- Sherman, C.E., Locker, S.D., Webster, J.M., Weinstein, D.K., 2019. Geology and Geomorphology 849–878. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92735-0_44
- Soares, M. de O., Araújo, J.T. de, Ferreira, S.M.C., Santos, B.A., Boavida, J.R.H., Costantini, F., Rossi, S., 2020. Why do mesophotic coral ecosystems have to be protected? *Sci. Total Environ.* 726, 138456. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138456>
- Steller, D.L., Foster, M.S., 1995. Environmental factors influencing distribution and morphology of rhodoliths in Bahía Concepción, B.C.S., México. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 194, 201–212. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(95\)00086-0](https://doi.org/10.1016/0022-0981(95)00086-0)
- Sternberg, R.W., Nowell, A.R.M., 1999. Continental shelf sedimentology: scales of investigation define future research opportunities. *J Sea Res* 41(1):55–71. [https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(98\)00037-9](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(98)00037-9)

- Tazioli, S., Bo, M., Boyer, M., Rotinsulu, H., & Bavestrello, G., 2007. Ecological observations of some common antipatharian corals in the marine park of Bunaken (North Sulawesi, Indonesia). *Zool. Stud.*, 46(2), 227-241.
- Turner, J.A., Babcock, R.C., Hovey, R., Kendrick, G.A., 2017. Deep thinking: A systematic review of mesophotic coral ecosystems. *ICES J. Mar. Sci.* 74, 2309–2320. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx085>
- Vera, C.S., Vigliarolo, P.K., Berbery, E.H., 2002. Cold season synoptic-scale waves over subtropical South America. *Mon. Weather Rev* 130: 684– 699. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2002\)130<0684: CSSSWO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2002)130<0684: CSSSWO>2.0.CO;2)
- Vieira, F. V, Bastos, A.C., Quaresma, V.S., Leite, M.D., Jr, A.C., Oliveira, K.S.S., Dalvi, C.F., Bahia, R.G., Holz, V.L., Moura, R.L., Amado, G.M., 2019. Along-shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns. *Cont. Shelf Res.* 187, 103964. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.103964>
- Wagner, D., Luck, D.G., Toonen, R.J., 2012. *The Biology and Ecology of Black Corals (Cnidaria: Anthozoa: Hexacorallia: Antipatharia)*, 1st ed, *Advances in Marine Biology*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394282-1.00002-8>
- Watling, L., Skinder, C., 2007. Video Analysis of Megabenthos Assemblages in the Central Gulf of Maine Information from Submersible Dives 359–368.
- Winston, J.E., 2007. Diversity and distribution of bryozoans in the Pelican Cays, Belize, Central America. *Atoll Research Bulletin*. DOI
- Winston, J.E., 1982. Marine bryozoans (Ectoprocta) of the Indian River Area (Florida). *Bull. American Mus. Nat. Hist.* 173, 99-176.
- Wright, D.J., Roberts, J.T., Fenner, D., Smith, J.R., Koppers, A.A.P., Naar, D.F., Hirsch, E.R., Clift, L.W., Hogrefe, K.R., 2012. Seamounts, Ridges, and Reef Habitats of American Samoa. *Seafloor Geomorphol. as Benthic Habitat* 791–806. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385140-6.00058-X>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento de habitat possibilita conhecer de forma interdisciplinar a área de interesse para uma melhor gestão e manejo da mesma. Sendo assim, definir a escala mais apropriada com a qual olhamos para a área de estudo é fundamental, pois será ela a evidenciar determinados habitat, bem como suas particularidades e limitações. Neste trabalho o intuito foi analisar a geomorfologia, principalmente os paleovales, da Plataforma Continental do Espírito Santo (PCES) e os possíveis habitats associados a estas feições partindo de um escala regional para uma escala mais refinada, restringindo a área investigada. Dentre estes habitat, o foco concentrou-se, principalmente, em investigar potenciais habitat mesofóticos.

Em um primeiro momento, este trabalho iniciou com uma análise morfométrica sobre toda a extensão da PCES, combinando os resultados gerados pelo modelo Benthic Terrain Modeler com a distribuição de sedimentos. A partir disso foi possível aplicar uma ferramenta SIG para entender a relação entre a geomorfologia e os tipos de fundo. Este estudo em macro escala levou à observação de 17 habitats físicos. Dentre estes habitats, foi possível identificar 10 classes de habitats relacionados a topografias mais complexas, tais como fundo rugoso, depressão, fundo e flanco de vale e estrutura recifal, mostrando que quanto mais heterogêneo o terreno, maior o potencial para a gerar habitats diversos. Aqui foi possível identificar os vales incisos e as bioinscrutações associadas a eles e os bancos de rodolitos como os habitats mais complexos e de maior biodiversidade. Os flancos dos vales são caracterizados por um maior gradiente e rugosidade, fatores estes que fazem com que estas feições alojem habitats complexos. Já o banco de rodolitos, além de servir como substrato à epifauna, é composto por nódulos que servem de abrigo podendo desenvolver microhabitats. A visão mais ampla dos habitats presentes em toda a plataforma também permitiu concluir que a morfologia, combinada com a entrada de sedimentos fluviais e sedimentação carbonática, controla o padrão de distribuição dos habitat na PCES.

A partir do estudo geral da PCES, em um segundo momento, atentou-se para a região da Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas e Reserva da Vida Selvagem (REVIS) Santa Cruz, onde foi investigado o papel desempenhado pelas morfologias relíquias na distribuição dos habitats. Com o enfoque concentrado nesta área, representando uma investigação de meso-escala, foi possível combinar dados regionais (da PCES) com dados pontuais de maior resolução, onde dados como classes geomorfométricas, tipos de fundo e profundidade foram utilizados. A morfologia relíquia do fundo do mar combinada com a sedimentação carbonática do Holoceno e baixa entrada de sedimentos, imprime uma geodiversidade complexa à área, induzindo a

distribuição física/bentônica dos habitats. Na área, as classes geomorfológicas acidentadas e irregulares, tais como fundos rígidos e os vales incisivos, são interpretadas como resultado de ciclos transgressivos e regressivos do nível do mar e de deposição e/ou incrustação sendo que combinadas com a extensa presença de rodólitos e a ocorrência de fundos rígidos, destacam-se como importantes habitats. Também, os paleovales e fundo rugosos/rígidos, evidenciaram bioincrustações formando pequenos recifes ao longo da borda de seus flancos e sobre os fundos rígidos, corroborando com o fato de que tais morfologias são propícias para formação de habitats.

Em um terceiro momento, chegou-se a uma menor escala de mapeamento, concentrando-se na área dos cinco vales incisivos da APA Costa das Algas. Aqui, utilizou-se da junção dos dados de alta resolução de batimetria com vídeo imageamento de fundo, aperfeiçoamento da análise dos derivativos morfométricos do terreno, segmentação de imagem com OBIA, medições de temperatura e salinidade da água e teores de lama e carbonato de trabalhos pretéritos. Através desta combinação de dados foi possível definir que as classes de habitats na região investigada estão associados principalmente à profundidade, geomorfologia e cobertura sedimentar, onde ficou claro novamente que a topografia mais heterogênea relacionada às feições dos canais (fundo e flanco) concentra um maior número de habitats quando comparado a áreas mais planas (Fig. 1). Neste âmbito de escala de maior detalhe foi possível definir que flanco e fundo representam habitats distintos, sendo que o primeiro possui potencial para abrigar um maior número de formas de vida epifaunais quando comparado ao segundo, uma vez que o gradiente do relevo nos flancos acaba sendo mais determinante na distinção e diversidade dos grupos encontrados. Aqui reforça-se a importância dos rodólitos nas áreas planas da porção mais profunda da área da APA, sendo este junto aos vales os dois grandes habitats mesofóticos determinados nesta visão aproximada.

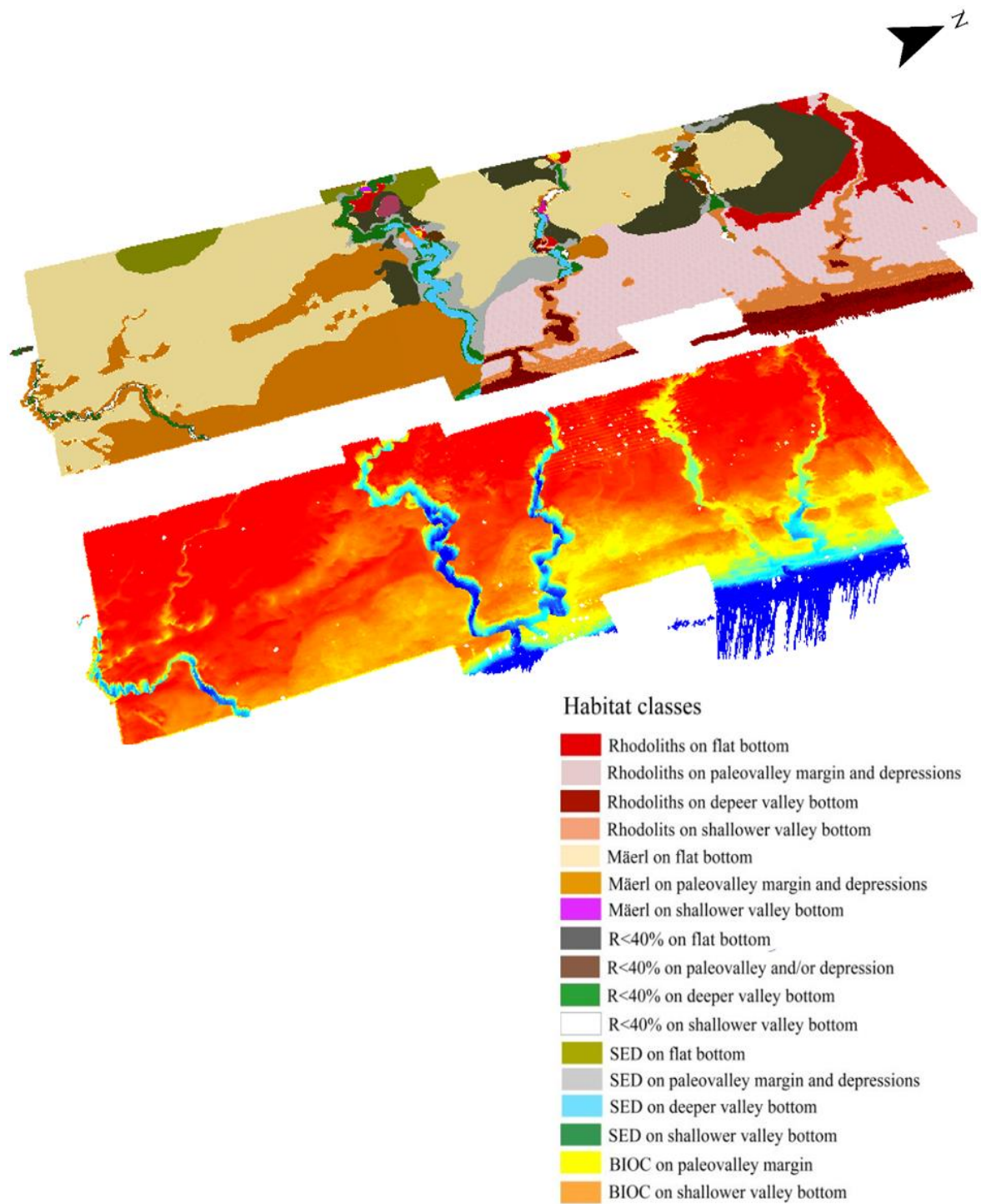


Figura 1. Paralelo entre a geomorfologia resultante do levantamento batimétrico e as classes de habitats encontradas, evidenciando que onde a topografia foi mais heterogênea (fundo e flanco dos vales incisos) ocorreu um maior número de classes de habitats, em comparação aos fundos planos.

Como mencionado anteriormente, a cada mudança de escala sobre a área investigada podemos obter informações mais complexas sobre a mesma e neste trabalho não foi diferente.

Ao mesmo tempo que em cada capítulo, cada análise aplicada complementou as informações anteriores, foram observadas classes de habitats novas e até mais complexas. Também, compreender o papel da geomorfologia e seus processos de formação e evolução é fundamental para entendimento do seu potencial formador de habitats, ainda mais em uma área de estudo com uma topografia submersa variável e complexa. Considerando isto, destacam-se as principais elucidações e resultados desta tese:

- i. Foi possível entender o papel da geomorfologia, principalmente de paleovales, como estruturadora na ocorrência de habitats distintos, alcançando assim o principal objetivo deste trabalho;
- ii. A diversidade de habitats bentônicos está diretamente relacionada a feições geológicas e geomorfológicas formadas nos eventos transgressivos e regressivos do nível do mar;
- iii. Dentre as feições resultantes destes eventos, os vales incisivos representam estruturas tridimensionais que podem preservar maior riqueza de biodiversidade comparado a um fundo *flat*, podendo formar um habitat específico na plataforma continental;
- iv. Os vales incisivos não são necessariamente um único habitat, mas sim podem representar mais de um como visto aqui, o que mostra a importância destas feições na ocorrência destas comunidades, fundamentais para aumentar a biodiversidade local;
- v. Tanto as áreas de vales como os leitos de rodolitos, aqui considerados importantes habitats mesofóticos também, desempenham funções ecológicas fundamentais para a manutenção da diversidade de fauna e flora marinha merecendo atenção e requerendo políticas de manejo que visem sua proteção e melhor gestão.

Os resultados deste trabalho mostram o quão importante é o mapeamento de habitats para o conhecimento local ou em escala mais abrangente do fundo marinho para fins de políticas de gerenciamento e preservação do mesmo. Os ecossistemas mesofóticos, apesar de terem sua importância reconhecida no âmbito global, ainda não recebem proteção, sendo que os mesmos sofrem com uma ampla gama de ameaças naturais e antrópicas. Tais ecossistemas que comportam variados habitats, embora ainda muito discutido por pesquisadores, podem atuar

como refúgio para algumas espécies e desempenhar papel na manutenção de paisagens bentônicas, agindo como reservatórios para a biodiversidade, se protegidos adequadamente.

Embora esta tese tenha contemplado uma área de proteção ambiental, é de suma importância mapear as comunidades mesofóticas dentro dela, já que mesmo incluídas dentro da APA, estes habitats não são abordados pelo documento legal de gestão e conservação. Este tipo de estudo é necessário para que estas áreas de proteção delimitadas pelo governo englobem e/ou valorizem tais habitats afim de proteger os recursos vivos dos mesmos. Em uma área como a APA Costa das Algas, onde são encontrados diversos habitats e que está susceptível a atividade pesqueira (exploração e exploração de organismos marinhos e algas), extração de nódulos calcários, atividade de mineração (dragagem) e petrolífera (instalação de dutos), o mapeamento aqui realizado pode abrir portas para um subsequente planejamento espacial marinho, o qual deve considerar o ambiente como um todo, levando em consideração fatores ambientais e humanos.

Considerando a metodologia aqui empregada, os resultados apresentados e como sugestão para estudos futuros, a mesma abordagem em micro escala poderia ser aplicada na interseção entre frente de delta do Rio Doce e fundo marinho adjacente. A região contempla uma cobertura sedimentar variada, além do contraste de feições de fundo que poderiam ser precursoras no desenvolvimento de habitats diversificados. Ainda, após o rompimento da barragem de Mariana-MG, um estudo deste tipo seria importante para determinar a salubridade do ambiente para os organismos marinhos da área e regiões adjacentes.

Referências bibliográficas:

- Anderson, J.T., Holliday, D.V., Kloser, R.J., Reid, D.G., Simrad, Y., 2008. Acoustic seabed classification: current practice and future directions. *ICES J. Mar. Sci.*, 65, 1004–1011. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn061>
- Appeldoorn, R., Ballantine, D., Bejarano, I., Carlo, M., Nemeth, M., Otero, E., Pagan, F., Ruiz, H., Schizas, N., Sherman, C., Weil, E., 2016. Mesophotic coral ecosystems under anthropogenic stress: a case study at Ponce, Puerto Rico. *Coral Reefs*, 35, 63–75. <https://doi.org/10.1007/s00338-015-1360-5>
- Baffreau, A., Pezy, J.P., Dancie, C., Chouquet, B., Hacquebart, P., Poisson, E., Foveau, A., Joncourt, Y., Duhamel, S., Navon, M., Marmin, S., Dauvin, J.C., 2017. Mapping benthic communities: An indispensable tool for the preservation and management of the eco-socio-system in the Bay of Seine. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 9, 162–173. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2016.12.005>
- Baker, E.K., Puglise, K. a., Harris, P.T., 2016. Mesophotic Coral Ecosystems - A Lifeboat for Coral Reefs? United Nations Environment Programme and GRID-Arendal, 2016.
- 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., 2015. Shelf morphology as an indicator of sedimentary regimes: A synthesis from a mixed siliciclastic-carbonate shelf on the eastern Brazilian margin. *J. South Am. Earth Sci.*, 63, 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.07.003>
- Beaman, R.J., Harris, P.T., 2008. Geophysical Variables as Predictors of Megabenthos Assemblages from the Northern Great Barrier Reef, Australia. *Mapp. Seafloor Habitat Charact. Geol. Assoc. Canada*, 241–258.
- Bongaerts, P., Ridgway, T., Sampayo, E.M., 2010. Assessing the ‘deep reef refugia’ hypothesis: focus on Caribbean reefs, *Coral Reefs*, 309–327. <https://doi.org/10.1007/s00338-009-0581-x>
- Bourguignon, S.N., Bastos, A.C., Quaresma, V.S., Vieira, F. V., Pinheiro, H., Amado-Filho, G.M., de Moura, R.L., Teixeira, J.B., 2018. Seabed morphology and sedimentary regimes defining fishing grounds along the eastern Brazilian shelf. *Geosci.* 8. <https://doi.org/10.3390/geosciences8030091>
- Bridge, T.C.L., Done, T.J., Beaman, R.J., Friedman, A., Williams, S.B., Pizarro, O., Webster, J.M., 2011. Topography, substratum and benthic macrofaunal relationships on a tropical mesophotic shelf margin, central Great Barrier Reef, Australia. *Coral Reefs*, 30, 143–153. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0677-3>
- Brown, C.J., Blondel, P., 2009. Developments in the application of multibeam sonar backscatter for seafloor habitat mapping. *Appl. Acoust.*, 70, 1242–1247. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2008.08.004>

- Brown, C.J., Smith, S.J., Lawton, P., Anderson, J.T., 2011. Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 92, 502–520. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.02.007>
- Dominguez, J.M.L., Da Silva, R.P., Nunes, A.S., Freire, A.F.M., 2013. The narrow, shallow, low-accommodation shelf of central Brazil: Sedimentology, evolution, and human uses. *Geomorphology* 203, 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.07.004>
- Goes, E.R., Brown, C.J., Araújo, T.C., Eliot, M.J., 2019. Geomorphological Classification of the Benthic Structures on a Tropical Continental Shelf. *Front. Mar. Sci.*, 6: 47. doi: 10.3389/fmars.2019.00047
- Harris, P. T., Baker, E. K. Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHAB Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019.
- Harris, P. T., Baker, E. K. GeoHab atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats. In Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2012; pp. 871–890.
- Harris, P.T., Heap, A., Passlow, V., Hughes, M., Daniell, J., Hemer, M., Anderson, O., 2005. Tidally incised valleys on tropical carbonate shelves: An example from the northern Great Barrier Reef, Australia. *Mar. Geol.*, 220, 181–204. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.06.019>
- Hinderstein, L.M., Marr, J.C.A., Martinez, F.A., Dowgiallo, M.J., Puglise, K.A., Pyle, R.L., Zawada, D.G., Appeldoorn, R., 2010. Theme section on “Mesophotic Coral Ecosystems: Characterization, Ecology, and Management.” *Coral Reefs*, 29, 247–251. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0614-5>
- Holz, V.L., Bahia, R.G., Karez, C.S., Vieira, F. V., Moraes, F.C., Vale, N.F., Sudatti, D.B., Salgado, L.T., Moura, R.L., Amado-Filho, G.M., Bastos, A.C., 2020. Structure of rhodolith beds and surrounding habitats at the doce river shelf (Brazil). *Diversity*, 12, 1–19. <https://doi.org/10.3390/d12020075>
- Ierodiaconou, D., Schimel, A.C.G., Kennedy, D., Monk, J., Gaylard, G., Young, M., Diesing, M., Rattray, A., 2018. Combining pixel and object-based image analysis of ultra-high resolution multibeam bathymetry and backscatter for habitat mapping in shallow marine waters. *Mar. Geophys. Res.*, 39, 271–288. <https://doi.org/10.1007/s11001-017-9338-z>
- Ismail, K., Huvenne, V.A.I., Masson, D.G., 2015. Objective automated classification technique for marine landscape mapping in submarine canyons. *Mar. Geol.*, 362, 17–32. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.01.006>
- Jansen, J., Dunstan, P.K., Hill, N.A., Koubbi, P., Melbourne-Thomas, J., Causse, R., Johnson, C.R., 2020. Integrated assessment of the spatial distribution and structural dynamics of deep benthic marine communities. *Ecol. Appl.*, 30, 1–16. <https://doi.org/10.1002/eap.2065>

- Jerosch, K., Kuhn, G., Krajnik, I., Scharf, F.K., Dorschel, B., 2015. A geomorphological seabed classification for the Weddell Sea, Antarctica. *Mar. Geophys. Res.*, 37, 127–141. <https://doi.org/10.1007/s11001-015-9256-x>
- Kahng, S., Copus, J.M., Wagner, D., 2017. Mesophotic Coral Ecosystems Mesophotic Coral Ecosystems. *Mar. Anim. For.*, 10, 978-3. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17001-5>
- Kahng, S.E., Copus, J.M., Wagner, D., 2014. Recent advances in the ecology of mesophotic coral ecosystems (MCEs). *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 7, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.019>
- Kahng, S., Garcia-Sais, J., Spalding, H., Brokovich, E., Wagner, D., Weil, E., Hinderstein, L., Toonen, R., 2010. Community ecology of mesophotic coral reef ecosystems. *Coral Reefs* 29 (2), 255–275.
- Kaskela, A.M., Rousi, H., Ronkainen, M., Orlova, M., Babin, A., Gogoberidze, G., Kostamo, K., Kotilainen, A.T., Neevin, I., Ryabchuk, D., Sergeev, A., Zhamoïda, V., 2017. Linkages between benthic assemblages and physical environmental factors: The role of geodiversity in Eastern Gulf of Finland ecosystems. *Cont. Shelf Res.*, 142, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.05.013>
- Kostylev, V.E., Todd, B.J., Fader, G.B.J., Courtney, R.C., Cameron, G.D.M., Pickrill, R.A., 2001. Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 219, 121–137. <https://doi.org/10.3354/meps219121>
- Lesser, M.P., Slattery, M., Leichter, J.J., 2009. Ecology of mesophotic coral reefs. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, 375, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2009.05.009>
- Locker SD, Armstrong RA, Battista TA, Rooney JJ, Sherman C, Zawada DG. 2010. Geomorphology of mesophotic coral ecosystems: current perspectives on morphology, distribution, and mapping strategies. *Coral Reefs*, 29:329–345 DOI 10.1007/s00338-010-0613-6.
- Lundblad, E.R., Wright, D.J., Miller, J., Larkin, E.M., Rinehart, R., Naar, D.F., Donahue, B.T., Anderson, S.M., Battista, T., 2006. A Benthic Terrain Classification Scheme for American Samoa. *Mar. Geod.*, 29, 89–111. <https://doi.org/10.1080/01490410600738021>
- Micallef, A., Le, T.P., Huvenne, V.A.I., Blondel, P., Deidun, A., Veit, H., 2012. A multi-method approach for benthic habitat mapping of shallow coastal areas with high-resolution multibeam data. *Cont. Shelf Res.*, 39(40): 14–26 <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.03.008>
- Moura, R.L., Amado-Filho, G.M., Moraes, F.C., Brasileiro, P.S., Salomon, P.S., Mahiques, M.M., Bastos, et al. 2016. An extensive reef system at the Amazon River mouth. *Sci. Adv.* 2, e1501252–e1501252. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501252>

- Moura, R.L., Secchin, N.A., Amado-Filho, G.M., et al., 2013. Spatial patterns of benthic mega-habitats and conservation planning in the Abrolhos Bank. *Cont. Shelf Res.* 70, 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.04.036>
- Nierner, E., 1977. Climatologia da região sudeste do Brasil. *Rev Bras Geogr*, 34, 3–48.
- Paloczy A, Brink KH, da Silveira ICA, Arruda WZ, Martins RP (2016) Pathways and mechanisms of offshore water intrusions on the Espírito Santo Basin shelf (188S–228S, Brazil). *J Geophys Res Oceans*, 121, 5134–5163. <https://doi.org/10.1002/2015JC011468>
- Pandian, P.K., Ruscoe, J.P., Shields, M., Side, J.C., Harris, R.E., Kerr, S.A., Bullen, C.R., 2009. Seabed habitat mapping techniques: An overview of the performance of various systems. *Mediterr. Mar. Sci.*, 10: 29–43. <https://doi.org/10.12681/mms.107>
- Pinheiro, H.T., Eyal, G., Shepherd, B., Rocha, L.A., 2019. Ecological insights from environmental disturbances in mesophotic coral ecosystems. *Ecosphere*, 10, 1–6. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2666>
- Quaresma, V.D.S., Catabriga, G., Bourguignon, S.N., Godinho, E., Bastos, A.C., 2015. Modern sedimentary processes along the Doce river adjacent continental shelf. *Braz. J. Geol.*, 45(4), 635-644. <https://doi.org/10.1590/2317-488920150030274>
- Rocha, G.A., Bastos, A.C., Amado-Filho, G.M., Boni, G.C., Moura, R.L., Oliveira, N., 2020. Heterogeneity of rhodolith beds expressed in backscatter data. *Mar. Geol.*, 423, 106136. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106136>
- Rocha, L.A., Pinheiro, H.T., Shepherd, B., Papastamatiou, Y.P., Luiz, O.J., Pyle, R.L., Bongaerts, P., 2018. Mesophotic coral ecosystems are threatened and ecologically distinct from shallow water reefs. *Science*, 361, 281–284. <https://doi.org/10.1126/science.aag1614>
- Sherman, C., Nemeth, M., Ruíz, H., Bejarano, I., Appeldoorn, R., Pagán, F., Schärer, M., Weil, E., 2010. Geomorphology and benthic cover of mesophotic coral ecosystems of the upper insular slope of southwest Puerto Rico. *Coral Reefs*, 29, 347–360. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0607-4>
- Sherman, C.E., Locker, S.D., Webster, J.M., Weinstein, D.K., 2019. Geology and Geomorphology. In *Mesophotic Coral Ecosystems* (pp. 849-878). Springer, Cham https://doi.org/10.1007/978-3-319-92735-0_44
- Soares, M. de O., Araújo, J.T. de, Ferreira, S.M.C., Santos, B.A., Boavida, J.R.H., Costantini, F., Rossi, S., 2020. Why do mesophotic coral ecosystems have to be protected? *Sci. Total Environ.*, 726, 138456. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138456>
- Strong, J.A., Clements, A., Lillis, H., Galparsoro, I., Bildstein, T., Pesch, R., 2019. A review of the influence of marine habitat classification schemes on mapping studies: Inherent assumptions, influence on end products, and suggestions for future developments. *ICES J. Mar. Sci.*, 76, 10–22. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy161>

- Teixeira, L., Nilsson, M., Hedley, J., Shapiro, A., 2015. Benthic habitat mapping and biodiversity analysis in the Primeiras and Segundas archipelago reserve. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, 40, 1009–1016. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1009-2015>
- Vera CS, Vigliarolo PK, Berbery EH (2002) Cold season synoptic-scale waves over subtropical South America. *Mon Weather Rev*, 130, 684– 699. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2002\)130<0684:CSSSWO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2002)130<0684:CSSSWO>2.0.CO;2)
- Vieira, F. V, Bastos, A.C., Quaresma, V.S., Leite, M.D., Jr, A.C., Oliveira, K.S.S., Dalvi, C.F., Bahia, R.G., Holz, V.L., Moura, R.L., Amado, G.M., 2019. Along-shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns. *Cont. Shelf Res.*, 187, 103964. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.103964>
- Wienberg, C., Wintersteller, P., Beuck, L., Hebbeln, D., 2013. Coral patch seamount (NE Atlantic) - A sedimentological and megafaunal reconnaissance based on video and hydroacoustic surveys. *Biogeosciences*, 10, 3421–3443. <https://doi.org/10.5194/bg-10-3421-2013>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
Centro de Ciências Humanas e Naturais
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental

TESE DE DOUTORADO

**“VALES INCISOS E SEU PAPEL COMO RECIFES MESOFÓTICOS NA PLATAFORMA
CONTINENTAL DO ESPÍRITO SANTO”**

por

Natacha de Oliveira

Prof. Dr. Alex Cardoso Bastos
Universidade Federal do Espírito Santo (via webconferência)

Profa. Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo
Universidade Federal do Pernambuco (via webconferência)

Prof. Dra. Helenice Vital
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (via webconferência)

Profa. Dra. Renata Cardia Rebouças
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (via webconferência)

Prof. Dra. Leila Lourdes Longo
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (via webconferência)

Vitória, 25 de junho de 2021

