

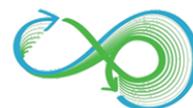


UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA/LAGEMAR

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS OCEANOS E DA
TERRA



CARACTERIZAÇÃO DE POTENCIAIS HABITATS BENTÔNICOS NA
ELEVAÇÃO DO RIO GRANDE

Maria Aline Lisniowski

Niterói

2020

Maria Aline Lisniowski

CARACTERIZAÇÃO DE POTENCIAIS HABITATS BENTÔNICOS NA
ELEVAÇÃO DO RIO GRANDE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutora. Área de concentração: Geologia e Geofísica Marinha

Orientador: Arthur Ayres Neto, PhD

Niterói

2020

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG
Gerada com informações fornecidas pelo autor

L769c Lisniowski, Maria Aline
Caracterização de Potenciais Habitats Bentônicos na
Elevação do Rio Grande / Maria Aline Lisniowski ; Arthur
Ayres Neto, orientador. Niterói, 2020.
127 f. : il.

Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói,
2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT.2020.d.04482370916>

1. Geomorfologia. 2. Batimetria. 3. Backscatter. 4.
Filmagens. 5. Produção intelectual. I. Ayres Neto, Arthur,
orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Instituto de
Geociências. III. Título.

CDD -

MARIA ALINE LISNIOWSKI

**CARACTERIZAÇÃO DE POTENCIAIS HABITATS BENTÔNICOS NA
ELEVAÇÃO DO RIO GRANDE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutora. Área de concentração: Geologia e Geofísica Marinha.

Aprovada em 30 de abril de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Arthur Ayres Neto (Orientador)
Deptº de Geologia/LAGEMAR-UFF

Prof. Dr. Alex Cardoso Bastos
Deptº de Oceanografia-UFES

Prof. Dr. Abílio Soares Gomes
Deptº de Geologia/LAGEMAR-UFF

Prof. Dr. Gilberto Tavares de Macedo Dias
Deptº de Geologia/LAGEMAR-UFF

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, minha origem e felicidade. Ariel, Maria Ivone, Manuela. Minha irmã Simone, grande amiga e incentivadora das minhas aspirações curiosas desde criança.

Agradeço com especial carinho às pessoas que tornaram este trabalho possível, Ivo B. M. Pessanha, meu primeiro chefe na CPRM e Arthur Ayres Neto, o orientador desta pesquisa.

Aos amigos, vocês que caminharam comigo em todos os sentidos. Paula, Daniela, Zé, Flávia, Tatiana, Amauri, Andrea, Francisco, Glauce, Max, Pedro, Sérgio, Caio, Selma, Suzana, Vivi. Marcela, Leticia, Ângela, Taly.

Aos professores componentes da banca de defesa. Aos demais professores do DOT da UFF. À Maristela, Larêssa e aos alunos, todos que enriqueceram de conhecimentos a minha vida.

À equipe do Serviço Geológico do Brasil SGB-CPRM – pesquisadores que trabalham com uma dedicação admirável e me ensinaram a entender um pouco sobre tudo. Alessandra Moreira, Vadim Harlamov, Hugo Rocha, Jéssica Gonçalves, Hortência Assis, João Larizzatti, Roberto Aguiar, Priscila Duarte, Rosana Pimenta, João Batista, Sergio Azevedo, Alexandre Lago, Leda Fraga, Cecilia Quaresma, Heliásio Simões, Mauro Lisboa, Ronaldo Bezerra, Márcio Valle, Victor Lopes, Eugênio Frazão, Claudia Rezende, Jairo Pessoa, Roberto Ventura, José Andriotti, Lúcia Travassos, Marcelo Almeida, Joaquim das Virgens, Patrícia Alencar, Marcos Nóbrega, Adrya Ribeiro, entre tantos outros nomes que poderia mencionar.

RESUMO

A Elevação do Rio Grande (ERG) é uma das maiores feições topográficas do Oceano Atlântico Sul, localizada a aproximadamente 1.000 km de distância da costa do Brasil. O interesse recente na exploração de CFRCs nessa região ampliou a necessidade de conhecimentos básicos ambientais sobre o tipo de substrato, os habitats bentônicos e a dinâmica sedimentar. O Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) realizou um levantamento de multifeixe (30 KHz) cobrindo uma área de 45.000 km², com profundidades entre 550 m no platô e 2.775 m no graben que corta transversalmente a área central da ERG. Estes dados foram processados com resolução de 50 m e possibilitaram análises da morfologia, tipos geomórficos, gradientes, intensidade do retroespalhamento acústico, modelagem do terreno bentônico (BTM – Benthic Terrain Model) e classificação dos potenciais habitats bentônicos. Filmagens do fundo marinho foram obtidas por 3 meios distintos: 8 perfis de TV Grab, 2 perfis com o submersível Shinkai (+ 1 perfil com a drop cam) e 13 com o veículo de operação remota (ROV). Dados de sedimentos na ERG foram coletados através dos amostradores box corer, piston corer e também push corer. A análise da distribuição granulométrica foi realizada no granulômetro a laser Malvern 2000 e por peneiramento. A partir das análises da orientação e declividade, dos dados de batimetria e modelos BPI foram definidas 6 classes para o BTM, que resultam nas seguintes zonas geomórficas: Platôs, Áreas Planas, Flancos, Declives, Ravinas/Vales e, por último, Bordas dos Platôs. As descrições do substrato dos 24 mergulhos e as amostras de sedimentos foram a fonte principal de informações para correlacionar os ambientes às classes do RSOBIA, definidos como: Lama; Areia; Mistura entre sedimentos e rochas/dunas; Crostas e Afloramentos em declive. Cinco locais na ERG apresentaram formas de leito classificadas como dunas submersas ou furrows, compreendendo 530 km². Essas características foram identificadas em profundidades de 600 a 1600 m, com média de 1,2 a 2,9 m de altura e 250-550 m de comprimento de onda, com a maioria das cristas orientadas aproximadamente na direção Leste-Oeste, paralelas ao cânion. Algumas dunas submersas são contínuas por mais de 30 km. Depósitos de pterópodes foram reconhecidos em grande parte da área central da ERG, indicando que possivelmente há atraso na deposição destas partículas. Finalmente, o mapa de potenciais habitats bentônicos subdividiu a área em: Bacias profundas lamosas; Platôs de crostas Fe-Mn; Areias de foraminíferos; Rochas fragmentadas entre sedimentos; Platôs carbonáticos e/ou dunas e Afloramentos em declive e paredões.

Palavras-chave: morfologia, substrato, habitat, BTM, RSOBIA, batimetria, ERG

ABSTRACT

Rio Grande Rise (RGR) is one of the largest topographic features in the South Atlantic Ocean, located approximately 1,000 km from the coast of Brazil. Recent interest in the exploration of Ferromanganese crusts in this region has increased the need for basic environmental knowledge about the type of substrate, benthic habitats and sedimentary dynamics. The Geological Survey of Brazil (SGB-CPRM) carried out a multibeam survey (30 KHz) covering an area of 45,000 km², with depths between 550 m on the plateau and 2,775 m on the graben that crosses the central area of the RGR. These data were processed with a resolution of 50 m and allowed the examination of morphology, geomorphic types, gradients, intensity of acoustic backscatter, benthic terrain modeling (BTM) and classification of potential benthic habitats. Seabed recordings were obtained by 3 different equipment: 8 TV Grab profiles, 2 profiles with the Shinkai submersible (one with the drop cam) and 13 profiles with the remote operating vehicle (ROV). Sediment data at RGR were collected using box corer, piston corer and also push corer samplers. Grain size analysis were performed on the Malvern 2000 laser granulometer and by manual sieving. Based on the analysis of the orientation and slope, bathymetry data and BPI models, 6 classes were defined for the BTM, which resulted in the following geomorphic zones: Plateaus, Flat Areas, Flanks, Slopes, Ravines/Valleys and, lastly, Plateaus' Edges. The substrate descriptions of the 24 dives and the sediment samples were the main source of information for correlating the locations to the classes of RSOBIA, defined as: Mud; Sand; Mixture between sediments and rocks/dunes; Slopes and Outcrops. Five sites on the RGR presented bedforms classified as sediment waves or furrows, comprising 530 km². These characteristics were identified at depths between 600 to 1600 m, with an average of 1.2 to 2.9 m in height and 250-550 m in wavelength, with most ridges oriented approximately in the East-West direction, parallel to the canyon. Some sediment waves are continuous for more than 30 km. Deposits of pteropods have been recognized in much of the central area of the RGR, indicating that there is possibly a delay in the deposition of these particles. Finally, the Potential Benthic Habitats map subdivided the area into: Deep muddy basins; Fe-Mn crust plateaus; Foraminifera sands; Fragmented rocks between sediments; Carbonate plateaus and/or sediment waves and Outcrops in slope and walls.

Keyword: morphology, substrate, habitat, BTM, RSOBIA, bathymetry, ERG

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Localização da Elevação do Rio Grande no Oceano Atlântico Sul, delimitada pelas bacias do Brasil e da Argentina. A Dorsal Walvis é uma feição análoga que possivelmente tem a mesma origem tectônica 11
- Figura 2** - Localização da Elevação do Rio Grande, delimitada como Plataforma Continental Jurídica Brasileira. Em detalhe a área de estudo deste trabalho. 14
- Figura 3** - Localização da Elevação do Rio Grande no Oceano Atlântico Sul, e das feições mais importantes na região (NCEI-NOAA, 2020)..... 15
- Figura 4** - Substratos sedimentares: a) rocha micro-conglomerática com matriz carbonática; b) calcarenito friável e de granulação grossa; c) calcarenito com aspecto maciço de granulação fina; d) chalk ou giz carbonático; e) rocha carbonática conchelifera ou coquina; f) rocha carbonática de granulação fina contendo fragmentos de rochas silte-argilosas carbonáticas. Imagens e texto de (CAVALCANTI; GOMES, 2013) 17
- Figura 5** - Linha número A10 do perfil WOCE (30°S), que passa por cima da Elevação do Rio Grande. 19
- Figura 6** - Navio Hidrográfico Sirius (H21), da Marinha do Brasil (A) e sonda multifeixe Kongsberg modelo EM-302, instalada no casco do navio. 24
- Figura 7** - Fluxo de processamento dos dados de multifeixe no software Caris HIPS and SIPS (Modificado do manual versão 11)..... 24
- Figura 8** - Princípio fundamental da medição e interpretação de dados multifeixe. O feixe de ondas incidentes (A) - também em setas amarelas (C, E) gera ondas refletidas (seta azul escura - E), espalhadas (setas azuis claras - E), retroespalhadas (vermelho, C-F e transmitidas (verde - E). A intensidade do eco retroespalhado depende do ângulo de incidência no fundo (B). Fundos planos ou moles (C) têm maior dependência da diferença angular (D) do que interfaces rugosas (E, F). Retirado de: (LAMARCHE; LURTON, 2018)..... 26
- Figura 9** - (A) amostrador box corer (B) amostrador piston corer Calypso (C) coleta de um push core com o submersível Shinkai 6500..... 27
- Figura 10** - Localização das amostras de sedimentos coletadas na ERG (PC – Push cores, Box – Box cores e L – testemunho). 28
- Figura 11** - TV GRAB usado durante as operações na ERG. 29
- Figura 12** - Submersível Shinkai (A) e câmera de submersão YKDT (B) usados durante a expedição Iata-Piuna (Brasil x Japão). Fonte: Jamstec/SGB-CPRM. 30
- Figura 13** - Veículo operado remotamente (ROV), da marca SPERRE, modelo SUB-fighter 15k pertencente ao navio NPqHo Vital de Oliveira. 30
- Figura 14** - Localização dos pontos de filmagem na ERG Central (RV – ROV, TG – TV Grab e SK – Shinkai)..... 31
- Figura 15** - Exemplos mais antigos de formas de fundo registradas na década de 80 em oceano profundo. A – furrow com um metro de dimensão; B – marcas onduladas (ripples) com espaçamento de aproximadamente 20 cm (comprimento de onda) e C – marcas onduladas

triangulares longitudinais. A e B retirado de FLOOD; HOLLISTER (1980) e C retirado de TUCHOLKE (1982).	32
Figura 16 - O índice da Posição Batimétrica (BPI) é uma função local em forma anelar que compara a altura de células únicas às suas células vizinhas (RINEHART et al., 2004)	33
Figura 17 - A rugosidade é representada pela razão entre a área da superfície planar de cada célula. O cálculo faz uma aproximação com oito triângulos em relação à oito células vizinhas (RINEHART et al., 2004).	34
Figura 18 - Batimetria da área central da Elevação do Rio Grande, com resolução de 50 metros.	40
Figura 19 - Detalhe da área nordeste da ERG onde são identificados pockmarks gigantes. O perfil à A-B à direita detalha a topografia de uma dessas feições	41
Figura 20 - Mapa do mosaico da intensidade do retroespalhamento acústico para a área central da Elevação do Rio Grande.	43
Figura 21 – Mapa de composição do gradiente (declividade) e da orientação (“aspect”) na área central da ERG.	45
Figura 22 - Resultados gerados pelo Benthic Terrain Model: (A) Broad BPI, (B) Fine BPI – (standardized – coeficiente padronizado), (C) Declividade ou gradiente e (D) Aspecto	47
Figura 23 - Mapa de classificação geomórfica - BTM (Benthic Terrain Modeler)	49
Figura 24 - Localização dos trechos onde foram realizadas filmagens com o TV Grab, o submersível Shinkai/câmera de submersão e o ROV	51
Figura 25 – Informações relativas ao mergulho TG1 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).	53
Figura 26 - Informações relativas ao mergulho TG2 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).	55
Figura 27 - Informações relativas ao mergulho TG3 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).	57
Figura 28 - Informações relativas ao mergulho TG4 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).	59
Figura 29 - Informações relativas ao mergulho TG5 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).	61
Figura 30 - Informações relativas ao mergulho TG6 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).	63
Figura 31 - Informações relativas ao mergulho TG7 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).	65

- Figura 46** - Informações relativas ao mergulho RV11 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo). 95
- Figura 47** - Imagens do substrato mostrando formações semelhantes a estromatólitos no mergulho RV12. 96
- Figura 48** - Informações relativas ao mergulho RV12 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo). 97
- Figura 49** - Informações relativas ao mergulho RV13 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo). 99
- Figura 50** - Localização das amostras de sedimentos coletadas na ERG (PC – Push cores, BOX – Box cores e L – testemunho). 100
- Figura 51** - Distribuição granulométrica da amostra BOX_1 entre 0 e 5 centímetros abaixo do fundo marinho, divididos a cada 1 cm. 102
- Figura 52** - Distribuição granulométrica da amostra BOX_2 entre 0 e 5 centímetros abaixo do fundo marinho, divididos a cada 1 cm. 103
- Figura 53** - Distribuição granulométrica da amostra PC_SK1_A entre 0 e 19 centímetros, divididos a cada 2 cm. 104
- Figura 54** - Distribuição granulométrica da amostra PC_SK1_B entre 0 e 15 centímetros, divididos a cada 1 cm. 105
- Figura 55** - Aspecto do sedimento da amostra PC_SK2. Do lado esquerdo as carapaças de foraminíferos de tamanhos menores, na escala de 500 micrômetros e do lado direito as carapaças de gastrópodes na escala de milímetros – 1mm. 105
- Figura 56** - Distribuição granulométrica da amostra PC_SK2 entre 1 e 14 centímetros, com espaçamentos regulares de 1 cm até a profundidade de 7 cm e irregulares até 14 cm. 106
- Figura 57** - Distribuição granulométrica da amostra L2P3 para a primeira camada superficial. 106
- Figura 58** - Localização dos campos de dunas submersas localizados através da batimetria. Em vermelho foram delineadas as cristas das dunas, mostrando a orientação e a área aproximada que ocupam. 108
- Figura 59** - Perfis em cada uma das áreas onde foram identificadas formas de fundo do tipo dunas (sediment waves). As imagens retiradas da batimetria estão todas orientadas para norte. 110
- Figura 60** - Mapa de classificação de substrato gerado pelo RSOBIA 111
- Figura 61** - Mapa de classificação de habitats gerados pela combinação dos dados BTM no RSOBIA 114
- Figura 62** - Agrupamento indicando a porcentagem de similaridade entre as megafaunística de 115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dicionário BPI.....	48
Tabela 2 - Lista das amostras coletadas na ERG.....	101
Tabela 3 - Média dos parâmetros morfológicos das dunas identificados em cada uma das cinco áreas onde existem feições do tipo duna submersa visualizadas na batimetria.....	107

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
	3.1 Origem geológica.....	16
	3.2 Circulação oceânica	18
	3.3 Sedimentos e rochas sedimentares.....	20
	3.4 Aspectos legais da mineração na ERG	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS	23
	4.1 Batimetria multifeixe	23
	4.2 Retroespalhamento acústico – RA (<i>backscatter</i>).....	25
	4.3 Análise granulométrica	27
	4.4 Imagens subaquáticas	28
	4.5 Feições sedimentares em mar profundo	32
	4.6 BTM – Modelagem do Terreno Bentônico.....	33
	4.7 RSOBIA – Análise de imagem orientada a objeto	35
	4.8 Mapeamento dos Potenciais Habitats Bentônicos	36
5	RESULTADOS e DISCUSSÃO	39
	5.1 Morfologia da Área Central da ERG	39
	5.2 Retroespalhamento acústico	42
	5.3 Composição da declividade e orientação das feições	44
	5.4 Classificação BTM	46
	5.5 Características do substrato	50
	5.6 Perfis de TV Grab	52
	5.6.1 TG1 (ERG-207).....	52
	5.6.2 TG2 (ERG-137).....	54
	5.6.3 TG3 (ERG-177).....	56
	5.6.4 TG4 (ERG-147).....	58
	5.6.5 TG5 (ERG-147a).....	60
	5.6.6 TG6 (ERG-217).....	62

5.6.7	TG7 (ERG-197 e ERG-197a).....	64
5.6.8	TG 8 (ERG-187).....	66
5.7	Perfis do Shinkai.....	68
5.7.1	SK1 (Submersível Shinkai - mergulho 1338).....	68
5.7.2	SK2 – (Submersível Shinkai - mergulho 1339).....	70
5.7.3	SK3-T (Câmara de submersão TDK - Shinkai Tow Cam 157).....	72
5.8	Perfis do ROV.....	74
5.8.1	RV1 (ERG AMB I - 19).....	74
5.8.2	RV2 (ERG AMB I - 20).....	76
5.8.3	RV3 (ERG AMB I - 21).....	78
5.8.4	RV4 (ERG AMB I – 22).....	80
5.8.5	RV5 (ERG AMB I - 05).....	82
5.8.6	RV6 (ERG AMB I - 06).....	84
5.8.7	RV7 (ERG AMB II - 02a).....	86
5.8.8	RV8 (ERG AMB II - 02b).....	88
5.8.9	RV9 (ERG AMB II - 16).....	90
5.8.10	RV10 (ERG AMB II - 15).....	92
5.8.11	RV11 (ERG AMB II - 14).....	94
5.8.12	RV12 (ERG AMB II - 13).....	96
5.8.13	RV13 (ERG AMB II - 12).....	98
5.9	Sedimentos e Análise granulométrica	100
5.10	Feições de Fundo	107
5.11	RSOBIA – Análise de imagem orientada a objeto	111
5.12	Mapa de Potenciais Habitats Bentônicos para a Área Central da ERG.....	112
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
7	REFERÊNCIAS	118

1 INTRODUÇÃO

Estudar e monitorar os ambientes marinhos ainda é um desafio para os pesquisadores e gestores no mundo todo. Isso se deve à grande extensão que os oceanos ocupam e às limitações que a própria coluna de água impõe. Não é possível, por exemplo, mapear a morfologia do fundo dos oceanos com precisão através de sensores remotos da mesma forma que conseguimos mapear as feições topográficas continentais, ou mesmo as crateras da Lua.

Enquanto uma onda eletromagnética pode viajar milhares de quilômetros no vácuo e permitir o estudo de planetas e estrelas, ela é facilmente dispersa em uma coluna de 100 metros de água, especialmente em áreas costeiras com muita turbidez. Por isso os equipamentos acústicos apresentam uma grande vantagem para estudos marinhos, já que o som se propaga com muita eficiência no meio aquoso.

Ao mesmo tempo que existem muitas limitações na pesquisa dos oceanos, há uma pressão cada vez maior em busca de recursos minerais neste ambiente devido ao crescente esgotamento dos recursos continentais, aumento populacional e à maior demanda para a produção industrial.

Os principais recursos minerais encontrados em ambientes marinhos profundos são nódulos polimetálicos, crostas ferromanganesíferas e sulfetos polimetálicos. Crostas ferromanganesíferas são depósitos minerais marinhos compostos principalmente de ferro e óxidos de manganês (Fe-Mn) que precipitam da água do mar ou dos poros de sedimentos (MIZELL; HEIN, 2016). Alguns elementos adicionais podem ser incorporados via processo de sorção sobre os óxidos, incluindo níquel, platina, tálio e telúrio, que podem atingir concentrações economicamente importantes.

A exploração dos depósitos de crostas ferromanganesíferas ricas em cobalto (CFRCs) na Elevação do Rio Grande (ERG) (Figura 1) tem um valor estratégico para o Brasil e envolve a determinação das características da reserva mineral e um amplo estudo ambiental da região. O Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) vem realizando pesquisas na área desde 2009 dentro do PROAREA - Programa de Prospecção e Exploração de Recursos Minerais da Área Internacional do Atlântico Sul e Equatorial.

A mineração deste tipo de recurso, entretanto, apresenta desafios regulatórios complexos devido aos seus aspectos políticos, econômicos, tecnológicos, científicos, ambientais, sociais, industriais e legais (LODGE; VERLAAN, 2018).



Figura 1 - Localização da Elevação do Rio Grande no Oceano Atlântico Sul, delimitada pelas bacias do Brasil e da Argentina. A Dorsal Walvis é uma feição análoga que possivelmente tem a mesma origem tectônica

A identificação dos habitats marinhos é uma ferramenta essencial para auxiliar no gerenciamento e proteção do ecossistema e na mitigação dos efeitos da exploração de recursos. Dados acústicos têm sido extensivamente usados com esse propósito, principalmente devido à sua grande faixa de cobertura e alcance de profundidade (DARTNELL; GARDNER, 2004; HUGHES CLARKE, 1994; LAMARCHE et al., 2011; LEGENDRE, 2002). O presente trabalho é uma primeira aplicação das metodologias de mapeamento de potenciais habitats no contexto da ERG através da identificação do substrato e classificação de imagens.

2 OBJETIVOS

Desde 2005 o SGB-CPRM tem desenvolvido projetos de pesquisa em águas nacionais e internacionais, através da Divisão de Geologia Marinha. O Projeto de Exploração de Crostas Ferromanganesíferas ricas em Cobalto na Elevação do Rio Grande (PROERG) envolveu a aquisição de dados através de diversos cruzeiros científicos, identificados pelos nomes dos navios de pesquisa usados nas expedições: Sirius (2009-2010); Marion Dufresne (2011); Fugro Gauss (2011-2012); Yokosuka – submersível Shinkai (2013) e Vital de Oliveira (2018). Nessas ocasiões foram coletadas grandes quantidades de dados geofísicos, geológicos e oceanográficos, além de filmagens do fundo marinho.

O principal objetivo deste estudo é investigar o tipo de ambiente bentônico na ERG Central (Figura 2) e conseqüentemente a sua capacidade para sustentar a colonização de diferentes organismos. Um mapa de potenciais habitats será gerado a partir de informações da morfologia, retrospalhamento acústico, amostras de sedimentos e filmagens do substrato. Informações específicas sobre a ecologia e distribuição de espécies podem constar como uma referência, mas o mapa final de potenciais habitats não está intrinsecamente associado às comunidades da megafauna bentônica que existem em toda a área.

Objetivos específicos:

- Descrever a morfologia da ERG e as classes geomórficas resultantes das análises do BPI (Índice de Posição Batimétrica - Bathymetric Position Index);
- Identificar e classificar os tipos de substrato encontrados em diferentes setores da área de estudo através de filmagens realizadas com TV Grab, com o Submersível/Câmera de submersão e com o ROV (Veículo Submarino Operado Remotamente);
- Identificar a presença de organismos da megafauna bentônica e/ou bioturbação;
- Analisar os tipos de sedimento e as principais feições sedimentares observadas, assim como a atuação de correntes;

- Realizar a Classificação de Imagem Orientada a Objeto (RSOBIA) a partir dos dados de batimetria, retroespalhamento acústico e das informações do substrato obtidas em cada um dos 24 pontos filmados;
- Elaborar um mapa com os potenciais habitats para a ERG Central.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A ERG é uma das maiores feições no oceano Atlântico Sul, caracterizada por uma ampla área do fundo oceânico, que se eleva por algumas centenas de metros sobre o assoalho abissal ao seu entorno (Figura 2). Essa elevação está limitada pela Bacia do Brasil ao norte e pela Bacia da Argentina ao sul e se localiza a aproximadamente mil quilômetros de distância da costa brasileira.

As pesquisas precursoras realizadas pelo SGB-CPRM encontraram indícios que reforçam a afinidade crustal entre a ERG e a crosta continental Sul Americana e subsidiaram a proposta de extensão da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (PCJB) para as margens Oriental e Meridional que o Brasil fez à Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC). A atual configuração da ZEE e da Plataforma Estendida estão representadas na Figura 2, assim como os contornos da área de estudo.

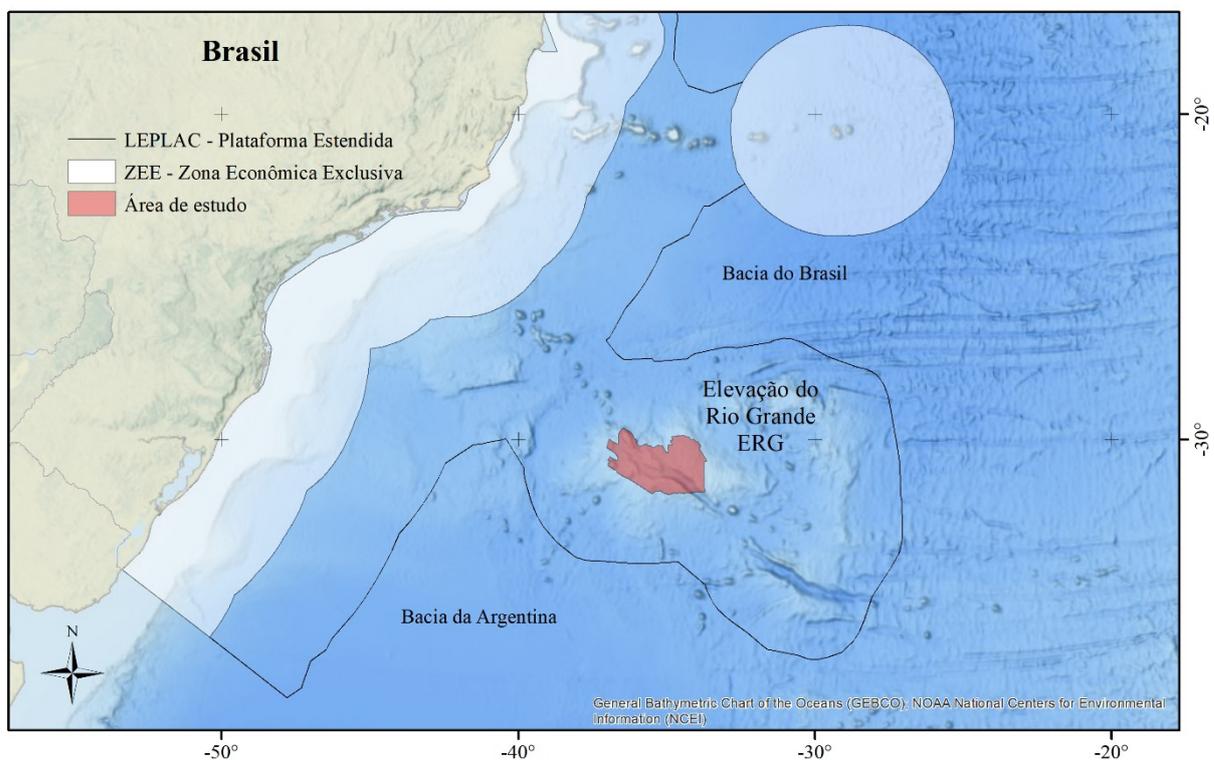


Figura 2 - Localização da Elevação do Rio Grande, delimitada como Plataforma Continental Jurídica Brasileira. Em detalhe a área de estudo deste trabalho.

A nomenclatura da Figura 3 foi retirada do banco de dados das feições marinhas do GEBCO, disponível em NCEI-NOAA (2020). A principal diferença entre essa nomenclatura e outras comumente usadas, como a definida por GAMBOA; RABINOWITZ (1984) é a delimitação do bloco Oeste, sendo que estes últimos autores incluem toda a porção central em ERG-Oeste.

Como o GEBCO tem sido a principal fonte de informações para a comunidade científica mundial e considerando que a DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil) propôs estas divisões, a nomenclatura da Figura 3 será usada neste trabalho, considerando a área de estudo, marcada em vermelho, denominada ERG CENTRAL.

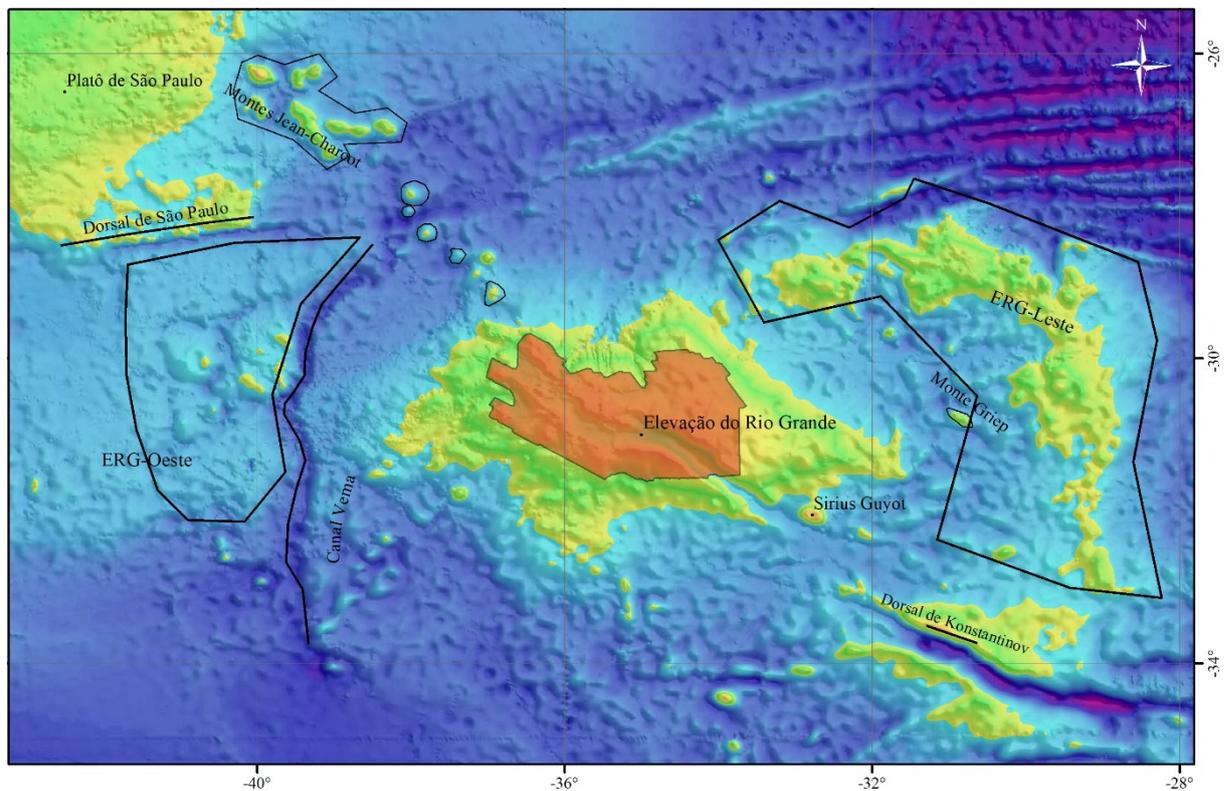


Figura 3 - Localização da Elevação do Rio Grande no Oceano Atlântico Sul, e das feições mais importantes na região (NCEI-NOAA, 2020)

3.1 Origem geológica

As primeiras ideias sobre a origem e evolução da ERG foram propostas a partir de 1960 (BARKER, 1983; DIETZ; HOLDEN, 1970; GAMBOA; RABINOWITZ, 1984; KUMAR, 1979; LE PICHON; HAYES, 1971; MORGAN, 1971; WILSON, 1963). Os autores sugeriram que a ERG se formou quando as placas Sul-Americana e Africana se distanciavam de um ponto quente (*hotspot*) localizado no centro de espalhamento do Atlântico Sul.

Segundo GAMBOA; RABINOWITZ (1984) a porção oeste da ERG (Central e Oeste - Figura 3) é uma protuberância elíptica com uma profundidade média de 2.000 m. Vários guyots se sobressaem da sua plataforma e o embasamento abaixo dessa porção é mais antigo que 80 Ma e foi formado em um centro de espalhamento oceânico, provavelmente próximo do nível do mar. Um evento vulcânico de grandes proporções afetou essa região no Eoceno e gerou várias ilhas vulcânicas localizadas no centro da área. A região leste possui um padrão norte-sul, paralelo à atual Dorsal Mesoatlântica. É limitado por zonas de fraturas numa localização análoga à Cordilheira Walvis e pode representar um centro de espalhamento do fundo oceânico abandonado.

Ainda se discute muito a origem geológica da ERG e os processos que formaram a porção mais espessa da crosta nessa região (GRAÇA; KUSZNIR; GOMES STANTON, 2019; MOHRIAK et al., 2010; PINHEIRO PRAXEDES et al., 2019; SANTOS et al., 2019; USSAMI et al., 2012). O entendimento tomou outro rumo há alguns anos quando rochas continentais foram dragadas em alguns pontos da ERG pelo SGB-CPRM. Entre estas rochas estavam amostras de gabro, leucogranito, monzogranito e ortognaisse, com uma fina película ferromanganesífera (SANTOS et al., 2019). A geocronologia por U-Pb de zircão liga a formação da ERG à separação dos continentes e SANTOS et al. (2019) propõe que as rochas continentais da porção Africana foram incorporadas à litosfera oceânica da ERG como consequência de complexos processos de riftes.

Os estudos estratigráficos mais relevantes na Elevação do Rio Grande são provenientes das perfurações realizadas pelo DSDP (*Deep Sea Drilling Project*), hoje conduzido como IODP (*International Ocean Discovery Program*). Uma seção estratigráfica quase completa foi descrita a partir do furo 516F (BARKER; BUFFLER; GAMBOA, 1983). Os sedimentos mais basais começam em aproximadamente 82 Ma, logo após o basalto, e a sucessão estratigráfica é composta por calcários biogênicos, subdividida em oito unidades litoestratigráficas.

Além da presença de afloramentos basálticos, CFRCs e sedimentos inconsolidados, o substrato da ERG Central é formado por rochas sedimentares de origem química, clástica e bioclástica (CAVALCANTI; GOMES, 2013). Amostras provenientes de dragagens realizadas pelo SGB-CPRM possibilitaram esquematizar a estratigrafia básica da área. As rochas magmáticas formam o embasamento e os sedimentos carbonáticos antigos apresentam-se litificados. Sobre as rochas carbonáticas se depositaram mais sedimentos, que se encontram pouco consolidados a inconsolidados (CAVALCANTI; GOMES, 2013). Alguns exemplares das rochas sedimentares carbonáticas estão representados na Figura 4.

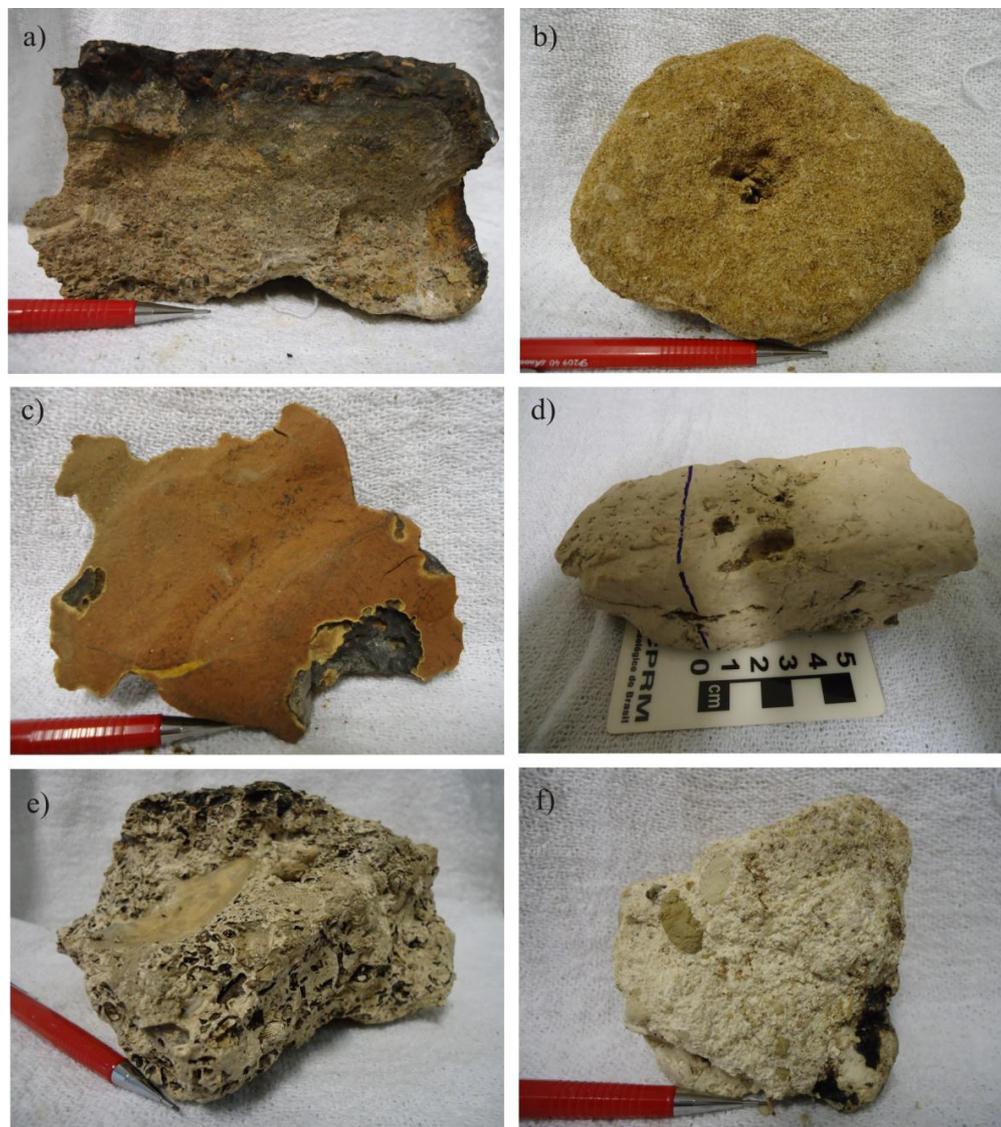


Figura 4 - Substratos sedimentares: a) rocha micro-conglomerática com matriz carbonática; b) calcarenito friável e de granulação grossa; c) calcarenito com aspecto maciço de granulação fina; d) chalk ou giz carbonático; e) rocha carbonática conchelifera ou coquina; f) rocha carbonática de granulação fina contendo fragmentos de rochas silte-argilosas carbonáticas. Imagens e texto de CAVALCANTI; GOMES (2013)

3.2 Circulação oceânica

A circulação em larga escala na região da ERG é composta pela estratificação de seis massas de água principais, de acordo com STRAMMA; ENGLAND (1999): Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AAIA), Água Circumpolar Superior (ACPS), Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e Água Antártica de Fundo (AAFA).

A AT e ACAS são massas de água mais superficiais, sendo que a ACAS alcança até os 500 m de profundidade e poderia influenciar as regiões mais rasas da ERG durante alguns eventos. Entre 500 m e 700 m de profundidade a AAIA é dominante e devido ao seu alto teor de oxigênio pode afetar diretamente a formação de CFRCs (HARLAMOV et al., 2015).

A APAN é uma massa de água de grande volume e maior salinidade, formada no Hemisfério Norte, que flui entre 1500 e 4000 m, seguindo o sistema profundo de correntes de contorno oeste. A AAFA é a mais densa e profunda do Atlântico, estendendo-se desde a Antártica até aproximadamente 40° N, sempre fluindo entre 3000 m e o fundo oceânico (SCHOTT et al., 2005)

A Figura 5 mostra dados de temperatura, salinidade e oxigênio do perfil WOCE, linha número A10 (30°S) (DIGGS et al., 2002). Em termos gerais pode-se destacar que a AAIA e a ACPS têm potencial de influenciar os ambientes da ERG, particularmente os ambientes pelágicos sobre topo dos montes submarinos, que se elevam até aproximadamente 600 m. Cada uma tem propriedades físico-químicas distintas e desta forma influenciam na formação gradientes ambientais nessa região.

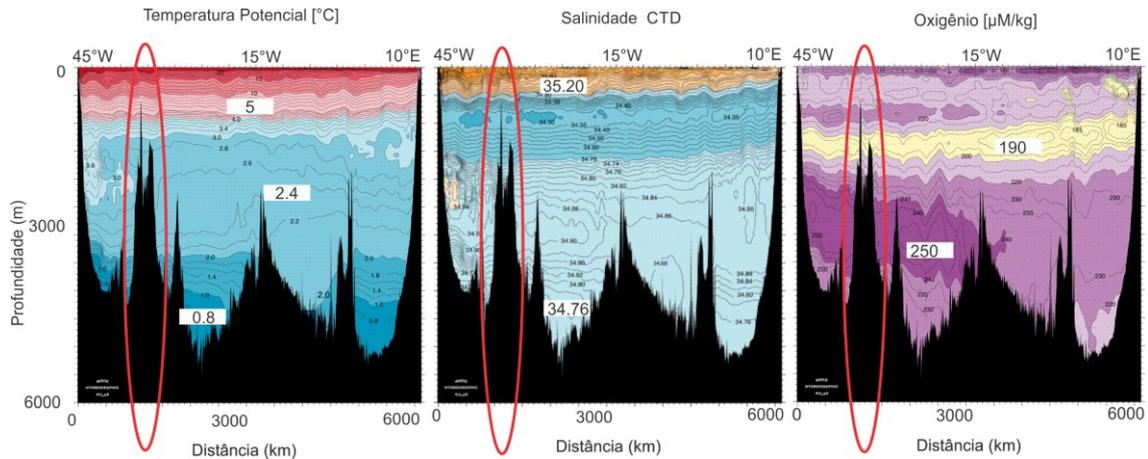


Figura 5 - Linha número A10 do perfil WOCE (30°S), que passa por cima da Elevação do Rio Grande.

A maior parte dos estudos realizados sobre os padrões de circulação diz respeito ao giro do Atlântico Sul, abordando eventos de macro escala e não os efeitos localizados sobre a área central da ERG (MOROZOV et al., 2010). Algumas publicações apresentam estudos sobre os padrões de circulação das massas de água descritas acima, seja a partir de modelagem numérica, seja a partir de dados coletados durante vários programas oceanográficos desde o início do século XX.

Em vários estudos a ERG é citada como um componente topográfico associado a esses padrões, influenciando especialmente a dinâmica da APAN e da AAFA (MÉMERY et al., 2000; MOROZOV et al., 2010; REID; NOWLIN; PATZERT, 1977; STEPHENS; MARSHALL, 2000). A ERG é uma feição topográfica que influencia a circulação dessas massas de água no Atlântico Sul, atuando como uma barreira principalmente para o fluxo da Água Antártica de Fundo (AAFA), que é afunilada nessa latitude e flui principalmente pelo Canal Vema. Esse canal limita a parte oeste da ERG, tem 600 km de comprimento, profundidades maiores que 4400 m, e menos de 20 km de largura na sua parte mais estreita.

3.3 Sedimentos e rochas sedimentares

Feições topográficas como a ERG possuem também uma grande importância na distribuição dos sedimentos pelágicos no oceano Atlântico Sul, pois controlando a entrada de água mais fria de origem Antártica, também controlam a profundidade de dissolução dos carbonatos e a distribuição dos sedimentos superficiais (MELGUEN; THIEDE, 1974).

Em relação à cobertura sedimentar, os sedimentos superficiais são, em sua maioria, compostos por vasas de foraminíferos planctônicos e bentônicos, nanofósseis calcários, pterópodes, detritos biogênicos e micro nódulos de manganês (MELGUEN; THIEDE, 1974).

As taxas de acumulação de sedimentos em oceano profundo são geralmente baixas, em torno de 3 metros a cada milhão de anos (HAMBLIN; CHRISTIANSEN, 2004). Mas a espessura das camadas sedimentares pode variar muito quando os sedimentos são retrabalhados por correntes ou dissolvidos.

Uma fonte complementar de dados sedimentológicos para a região da ERG são as bases de dados globais disponíveis na internet (e.g. NCEI-NOAA, 2020). É possível verificar a espessura média da camada sedimentar na região e alguns pontos onde foram descritas as características do sedimento, como composição e granulometria.

Segundo dados do NCEI a maior parte dos sedimentos é de origem biogênica, exceto na região norte da ERG onde são encontradas amostras de sedimentos terrígenos, possivelmente expostas nos cânions devido aos grandes movimentos de massa gravitacionais. A maioria das amostras também é de lama, mas nas porções centrais e norte da ERG existem depósitos de partículas do tamanho areia em grande quantidade. Esses sedimentos são descritos como foraminíferos, pterópodes, além de fragmentos de rochas e detritos biogênicos (NCEI-NOAA, 2020).

Camadas ricas em vasas de pterópodes são muito comuns em regiões mais rasas do que 3400 m (aqui podem estar inclusos outros gastrópodes pelágicos como heterópodes) (PRICE; KILLINGLEY; BERGER, 1985). Como a produtividade destes organismos não é tão grande para justificar os grandes acúmulos encontrados no fundo, os autores sugerem que ocorre o fenômeno chamado *winnowing*, que seria como o efeito de uma peneira gerado pelas correntes, ao provocar a deposição de partículas menores e mais pesadas e acumular as carapaças de pterópodes na superfície.

3.4 Aspectos legais da mineração na ERG

As áreas com maior potencial de exploração de minerais (crostas, nódulos e sulfetos polimetálicos), até o presente momento foram encontradas fora da jurisdição nacional dos países. Isto, de acordo com o direito internacional, desencadeia a aplicação de um regime regulatório específico.

A ZEE (Zona Econômica Exclusiva) se estende 200 milhas náuticas a partir de uma linha de base fixa, que segundo o direito internacional é a linha de baixa maré ao longo da costa (conforme marcado nas cartas oficiais do estado costeiro relevante) e na plataforma continental (externa) (que pode, sob certas circunstâncias, se estender a 350 milhas náuticas ou a 100 milhas náuticas a partir do isóbata de 2.500 m) e incluem áreas marítimas fora de qualquer jurisdição nacional, ou seja, os chamados 'alto mar' (LODGE; VERLAAN, 2018).

A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) estabelece um regime abrangente de leis e diretrizes para os oceanos e mares do mundo, com regras para o uso dos oceanos e seus recursos. Ela consagra a noção de que todos os problemas do espaço oceânico estão intimamente relacionados e precisam ser abordados como um todo.

O texto completo compreende 320 artigos e nove anexos, que regem todos os aspectos do espaço oceânico, como delimitação, controle ambiental, pesquisa científica marinha, atividades econômicas e comerciais, transferência de tecnologia e resolução de disputas relacionadas a assuntos oceânicos. Podendo ser definida como uma “Constituição para os Oceanos” do mundo, a CNUDM entrou em vigor em 16 de novembro de 1994 (LODGE; VERLAAN, 2018); e em janeiro de 2020, contava com 168 partes.

O órgão que regulamenta as atividades de mineração em área internacional é a ISA (Autoridade Internacional dos Leitos Marinhos). Através da legislação base da CNDUM, a ISA firma contratos com governos e empresas que possuem intenção de futuramente explorar comercialmente os recursos minerais. Em 2015 o SGB-CPRM firmou o primeiro contrato do hemisfério Sul para exploração de crostas, com duração de 15 anos e garantia do direito exclusivo ao Brasil de pesquisar o potencial mineral de crostas ricas em cobalto em 150 blocos de áreas de 3 mil km² na região.

Concomitantemente, as propostas do Governo do Brasil de extensão da plataforma estiveram em curso, organizadas pelo Plano de Levantamento da Plataforma Continental

Brasileira (LEPLAC). Este plano tem o propósito de estabelecer o limite exterior da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (PCJB) no seu enfoque jurídico, ou seja, determinar a área marítima, além das 200 milhas, na qual o Brasil exercerá direitos de soberania para a exploração e o aproveitamento dos recursos naturais do leito e subsolo marinho.

Dado que em 2018 a solicitação do governo brasileiro à Comissão dos Limites da ONU, de estender a Plataforma Continental Jurídica Brasileira para além das 200 milhas náuticas e incluir a Elevação do Rio Grande foi aceita, durante o período de análise da solicitação o Brasil passou a ser soberano na área e, automaticamente, a Autoridade Internacional dos Leitos Marinhos perderia a jurisdição na ERG. Até o momento da publicação desta tese não houve uma definição sobre o impasse legal deste contrato.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Batimetria multifeixe

O termo batimetria se refere à medição da profundidade do oceano em relação ao nível do mar. Da mesma forma que os mapas topográficos representam as características tridimensionais do terreno continental, os mapas batimétricos ilustram o relevo marinho. O sistema de batimetria multifeixe funciona a partir da emissão de vários pulsos acústicos em uma faixa que se propagam até o fundo, possibilitando cobertura de até 100% da área pesquisada. A profundidade é calculada medindo-se o tempo necessário para que o pulso sonoro emitido por um transdutor percorra a coluna de água até encontrar o fundo marinho, seja refletido e seu sinal de retorno registrado por um receptor.

Os sonares ativos emitem frequências muito diferentes, num intervalo entre 100 Hz até alguns mega-hertz. Os comprimentos de onda correspondentes variam de alguns metros a menos de um milímetro (JACKSON; RICHARDSON, 2007). Quanto maior a frequência da onda acústica emitida, menor é o seu alcance ao longo da coluna de água. Por isso sonares de alta resolução (150-500 kHz) são geralmente usados em regiões mais rasas e os sonares de baixa resolução (30 – 12 kHz) em regiões mais profundas.

Dados de batimetria fornecem as principais características físicas de uma área, possibilitando a distinção em várias classes geomórficas como: planícies, cânions e cordilheiras (HARRIS; BAKER, 2011). Cada um destes ambientes está associado a um tipo específico de habitat bentônico.

Os principais dados apresentados nesse estudo foram adquiridos através do Navio Hidrográfico Sirius (H21), da Marinha do Brasil (Figura 6- foto A) em 2009 e 2010. O equipamento usado foi um MBES (*multibeam echo sounder*) da fabricante Kongsberg (Figura 6- foto B), modelo EM-302, e os dados foram armazenados no formato *.all, com auxílio do software de aquisição Seafloor Information System (SIS). O sistema MBES opera na frequência de 30 kHz com 288 feixes capazes de determinar até 432 sondagens por pulso.



Figura 6 - Navio Hidrográfico Sirius (H21), da Marinha do Brasil (A) e sonda multifeixe Kongsberg modelo EM-302 (B), instalada no casco do navio.

O processamento inicial dos dados brutos foi realizado no software Caris HIPS and SIPS v.10.4 e posteriormente na versão 11.1 (Figura 7), visando gerar mapas da superfície batimétrica e o mosaico do retroespalhamento acústico, com resolução de 50 m.

Fluxo de Processamento no Caris Hips & Sips

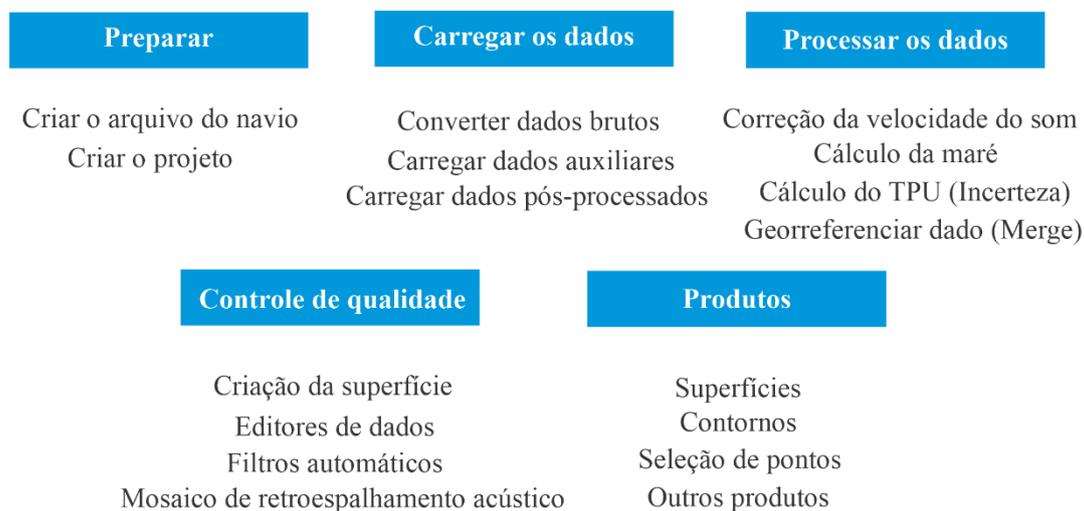


Figura 7 - Fluxo de processamento dos dados de multifeixe no software Caris HIPS and SIPS (Modificado do manual versão 11).

No último processamento foi utilizado um filtro AVG (*Angle Varied Gain* - ganho com variação do ângulo). As correções tradicionais do AVG são aplicadas linha por linha com um filtro passa baixa (média móvel, *rolling filter*), o que causa diferentes resultados em linhas vizinhas. Esse efeito introduz artefatos quando o tipo de substrato muda ao longo do trajeto. Assim, são necessários filtros para combinar/misturar essas diferenças e dar a aparência de um mosaico sem artefatos.

Também foi aplicado o WMA (*Weighted Moving Average* – média móvel ponderada). É uma técnica de gridagem que trabalha melhor com a geometria de sistemas multi setores, evitando a interpolação excessiva de dados e gerando um mosaico mais suavizado, ajustando o raio de influência de cada célula.

4.2 Retroespalhamento acústico – RA (*backscatter*)

Enquanto a batimetria é um dado muito direto (pelo menos em teoria), medindo a distância entre a superfície e o fundo do mar através do tempo de que pulso sonoro leva para percorrer a coluna de água, a intensidade do retroespalhamento acústico (RA) possui um conceito mais peculiar – o eco refletido é uma combinação dos processos acústicos e geofísicos, considerando a transmissão e registro nos equipamentos eletrônicos do sonar, assim como fenômenos complexos que acontecem ao longo da coluna de água (LURTON; LAMARCHE, 2015).

Assim, o RA – medição da energia obtida da intensidade do eco – se relaciona diretamente à natureza do substrato (Figura 8) e pode caracterizar remotamente as suas propriedades (LURTON; LAMARCHE, 2015). A intensidade do RA pode ser traduzida na força do sinal, ou seja, a capacidade inerente de refletir energia (LAMARCHE; LURTON, 2018) ligada às características do material: um material mais duro retorna mais energia, um material com rugosidades também retorna mais energia.

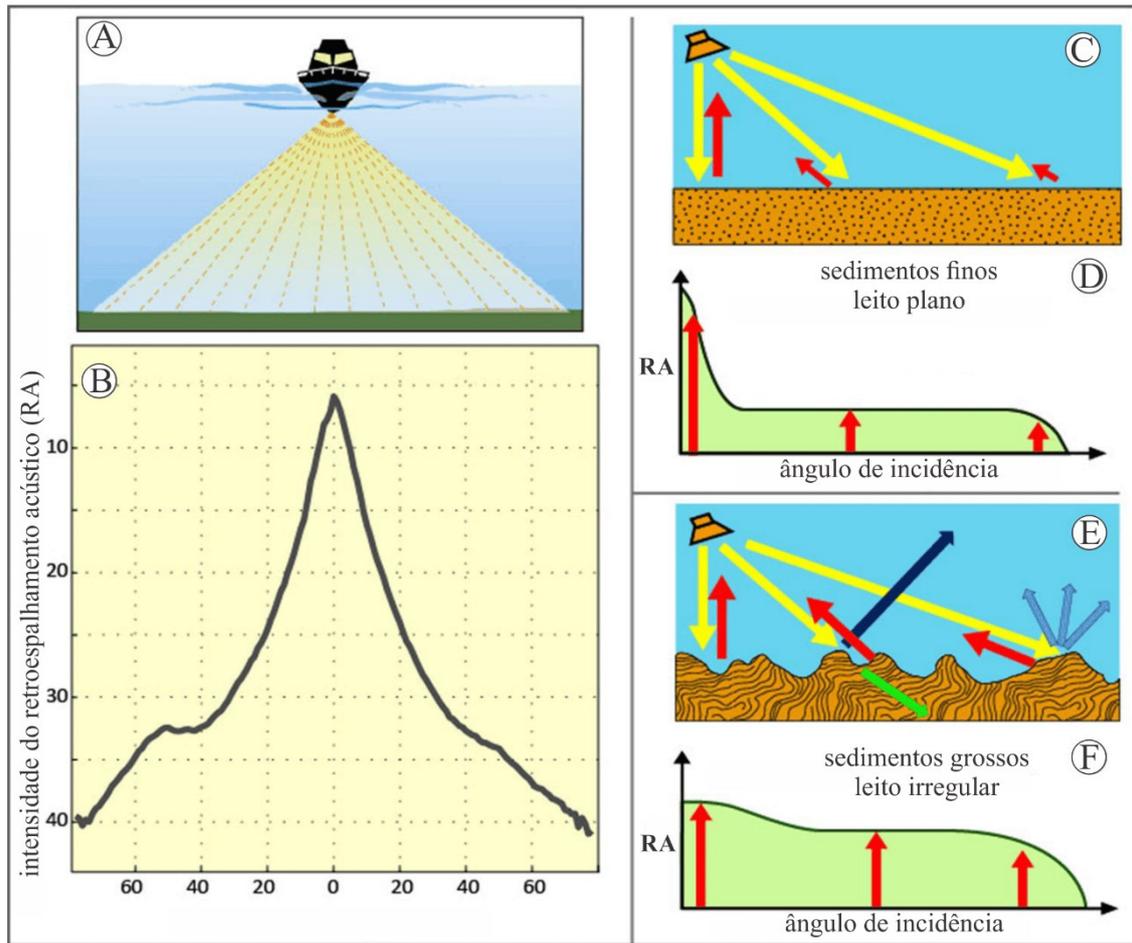


Figura 8 - Princípio fundamental da medição e interpretação de dados multifeixe. O feixe de ondas incidentes (A) - também em setas amarelas (C, E) gera ondas refletidas (seta azul escura - E), espalhadas (setas azuis claras - E), retroespalhadas (vermelho, C-F) e transmitidas (verde - E). A intensidade do eco retroespalhado depende do ângulo de incidência no fundo (B). Fundos planos ou moles (C) têm maior dependência da diferença angular (D) do que interfaces rugosas (E, F). Retirado de: (LAMARCHE; LURTON, 2018).

RA é indicador da natureza da interface entre a coluna de água e o fundo, lembrando que logo abaixo dessa camada não é possível identificar o tipo de material, excetuando-se em equipamentos com baixas frequências, que podem ter alguma pequena penetração. Nesse caso, a propagação da onda acústica dentro do substrato também varia de acordo com a frequência (para a aquisição de perfis *sub-bottom*). Podemos comparar entre frequências de 10 kHz até 1MHz, com comprimento de onda correspondentes a 15 cm e 1,5 mm, respectivamente. As maiores frequências penetram apenas alguns centímetros enquanto as menores frequências podem identificar até alguns metros de uma coluna sedimentar (JACKSON; RICHARDSON, 2007).

Um mapa de fácies acústico pode mostrar setores que têm a mesma resposta acústica. As fácies acústicas correspondem a um tipo de habitat em uma escala relativa à resolução dos

dados que foram obtidos, pois estes podem não representar várias sutilezas (como as complexas informações obtidas em uma filmagem).

O mosaico da intensidade do RA foi gerado para toda a área da ERG Central, com a mesma resolução da batimetria (50 m). Em alguns setores foi percebida uma diferença no ganho, onde a mesma linha apresenta diferença abrupta na intensidade. Isso ocorreu devido à uma configuração ajustada durante o levantamento, chamada “*auto mode*”, que é acionada por variações de profundidade e pode aumentar ou diminuir o ângulo de cobertura automaticamente. Não há problemas na aquisição da batimetria, porém devido à densidade de informações, os dados de RA sofrem alterações.

4.3 Análise granulométrica

Dados de sedimentos na ERG foram coletados através dos amostradores box corer (2 pontos – Box01 e Box02) (Figura 9-A) e piston corer (1 ponto – L2P3) (Figura 9-B). Em 2013 foram coletados outros dois pontos através do push corer do submersível Shinkai 6500 (Figura 9-C). A análise da distribuição granulométrica foi realizada no granulômetro a laser Malvern 2000 e por peneiramento.

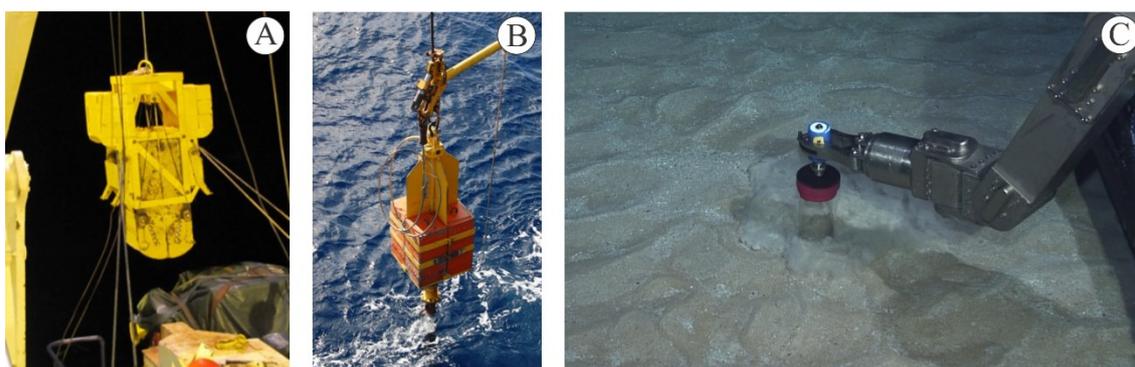


Figura 9 - (A) amostrador box corer (B) amostrador piston corer Calypso (C) coleta de um push core com o submersível Shinkai 6500

A localização dos pontos de amostragem de sedimentos está indicada na Figura 10. A representatividade destas amostras para uma área da dimensão da ERG Central (45 mil km²) não permite uma avaliação criteriosa quanto à distribuição sedimentar, porém é uma referência para relacionar o material do substrato observado durante as filmagens.

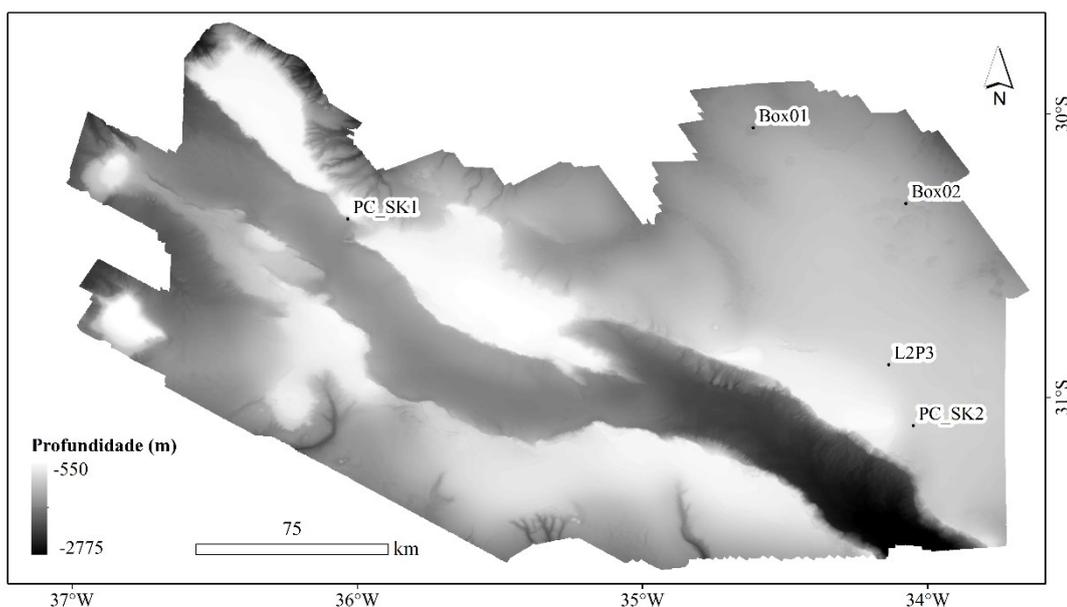


Figura 10 - Localização das amostras de sedimentos coletadas na ERG (PC – Push cores, Box – Box cores e L – testemunho).

4.4 Imagens subaquáticas

Com o objetivo de identificar o tipo de substrato e observar a ocorrência de organismos no fundo marinho, imagens subaquáticas foram coletadas usando câmeras de vídeo. Os dados de vídeo podem ser sobrepostos a dados acústicos, como a batimetria multifeixe e o mosaico de RA, para examinar as relações entre profundidade, substrato, composição do sedimento e a observação da fauna.

A verificação direta da geologia e da biota do leito marinho não apenas permite uma rápida caracterização, mas também fornece a base para monitorar mudanças futuras. As câmeras podem ser baixadas em um cabo até o fundo, rebocadas atrás das embarcações em um trenó, levadas a partir de submersíveis ou montadas em ROVs e AUVs. Na maioria dos sistemas

usados em navios, as imagens das câmeras digitais são enviadas via cabo de fibra óptica para um gravador e uma tela de alta resolução, permitindo que biota e habitat sejam vistos e avaliados em tempo real.

Entre os anos de 2011 e 2012 foram realizados dois cruzeiros para coletas de dados geofísicos e amostragem geológica com o navio Fugro Gauss, na Elevação do Rio Grande. O TV Grab (Figura 11) foi um dos equipamentos utilizados para coletas de amostras de rochas durante as operações, mas também possibilitou o registro de vídeos do fundo marinho na ERG, em 8 trajetos variando de 5 a 20 km de extensão aproximadamente.



Figura 11 - TV GRAB usado durante as operações na ERG.

Em 2013 foram registrados dois trajetos com vídeos de alta resolução através do submersível Shinkai 6500 (Figura 12- foto A). Nesses dois pontos também foram coletados pequenos testemunhos (push cores) do sedimento superficial. Dados de uma câmera de submersão (drop cam) foram usados em um dos pontos sobre um campo de feições circulares semelhantes a pockmarks (Figura 12- foto B).

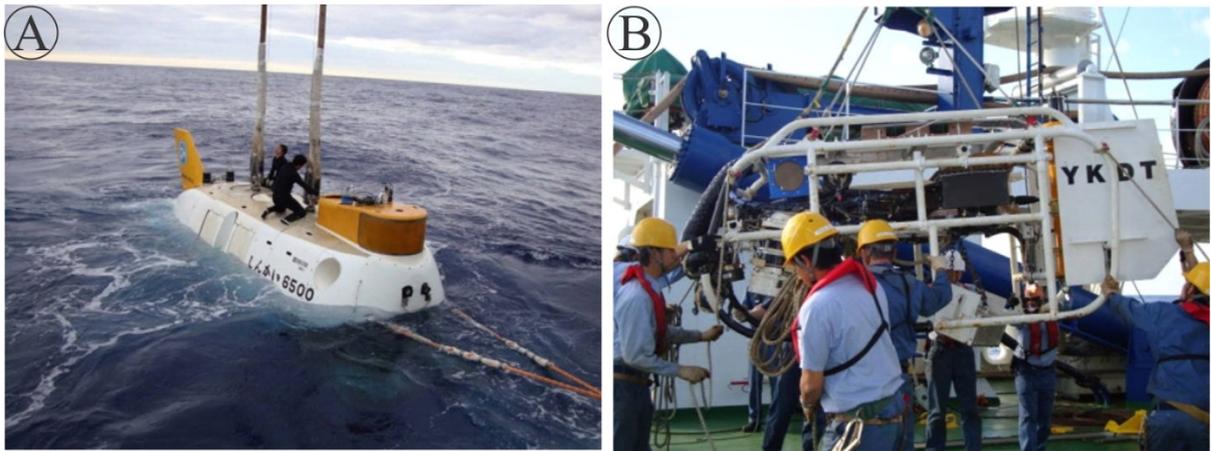


Figura 12 - Submersível Shinkai (A) e câmera de submersão YKDT (B) usados durante a expedição Iata-Piuna (Brasil x Japão). Fonte: Jamstec/SGB-CPRM.

A campanha PROERG AMB I foi realizada entre os dias 23 de abril e 13 de maio de 2018, nos quais foram obtidas imagens de vídeo com o veículo de operação remota (ROV) (Figura 13) em 06 estações. Já a campanha PROERG AMB II, foi realizada entre os dias 22 de maio e 11 de junho de 2018 onde foram registradas imagens com o ROV em 07 estações previamente definidas.



Figura 13 - Veículo operado remotamente (ROV), da marca SPERRE, modelo SUB-fighter 15k (A) em operação no guindaste (B), pertencente ao navio NPqHo Vital de Oliveira.

As filmagens obtidas pelo submersível Shinkai, pelo TV Grab e pelo ROV (Figura 14) possuem um perfil com o posicionamento geográfico relativamente preciso, possibilitando uma informação de referência real sobre o tipo de substrato observado. Além disso, permite a identificação das formas de fundo de menor escala, que não podem ser visualizadas na imagem da batimetria.

O substrato foi caracterizado a partir de atributos como: presença ou ausência de organismos/bioturbação, tipo de leito sedimentar, tipo de substrato rochoso, presença e tipo de formas de fundo e declividade. Cada mergulho representa segmentos de extensões variáveis, entre 500 m e 20 km, por isso o intervalo para escolha do ponto classificado dentro do perfil foi escolhido para cada estação, baseando-se no tempo e na distância percorrida. Por exemplo, no mergulho TG1 que tem aproximadamente 9 km e 5 horas foram classificados pontos a aproximadamente cada 10 min. Considerando algumas variações, no total foram 33 classificações do substrato, uma a aproximadamente cada 300 m.

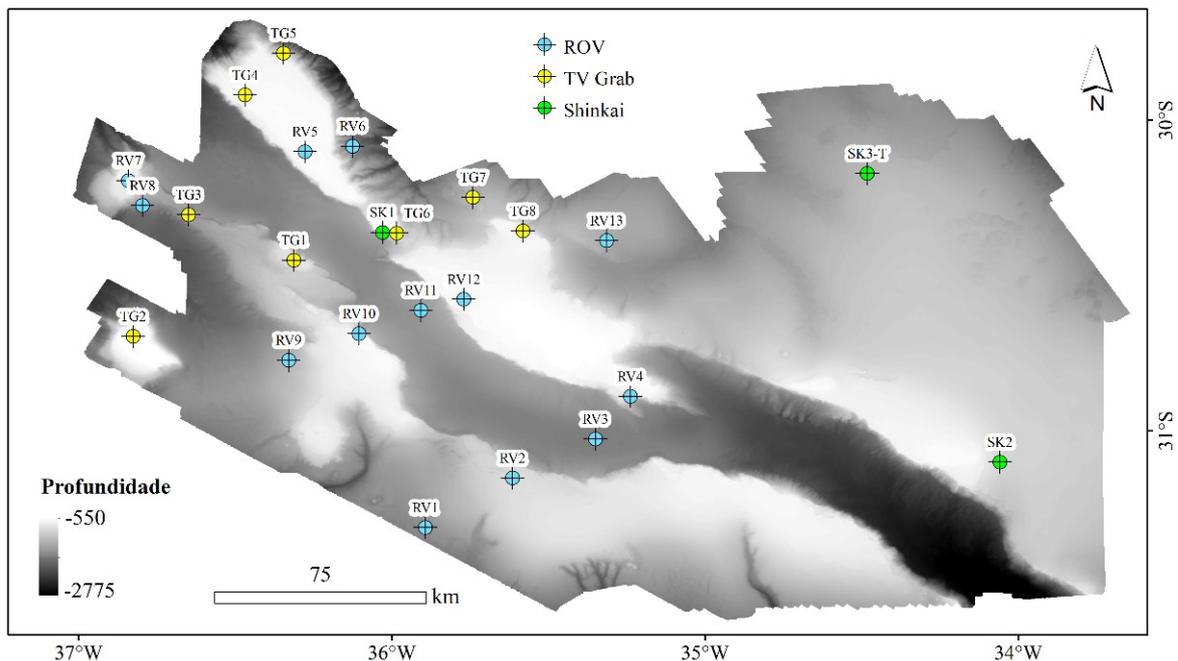


Figura 14 - Localização dos pontos de filmagem na ERG Central (RV – ROV, TG – TV Grab e SK – Shinkai).

4.5 Feições sedimentares em mar profundo

As feições sedimentares em oceano profundo têm sido estudadas desde o início dos mapeamentos na década de 50, se baseando quase exclusivamente em batimetria monofeixe, perfis de reflexão sísmica e algumas fotografias (WYNN; STOW, 2002). Entretanto, os processos que geram essas formas de fundo ainda não são totalmente conhecidos, nem as correntes que atuam na camada limite entre a coluna de água e o fundo.

O mapeamento de feições que têm dimensões de metros a centenas de metros nem sempre foi adequadamente resolvido através dos métodos mais amplamente usados, como a batimetria monofeixe ou perfis de sísmica de alta resolução (*sub-bottom*) tornando as informações sobre essas estruturas ainda mais escassas (FLOOD, 1978).

Dentre as principais feições encontradas no mar profundo temos as marcas onduladas (*ripples*) com dimensões de dezenas de centímetros e formadas transversalmente ao fluxo (Figura 15- foto B); marcas onduladas triangulares longitudinais (na escala de metros), formados em áreas arenosas, paralelos ao fluxo (Figura 15- foto C) ; furrows (calhas), com dimensões de centenas de metros, paralelos ao fluxo, com características tanto erosionais como deposicionais (Figura 15- foto A).

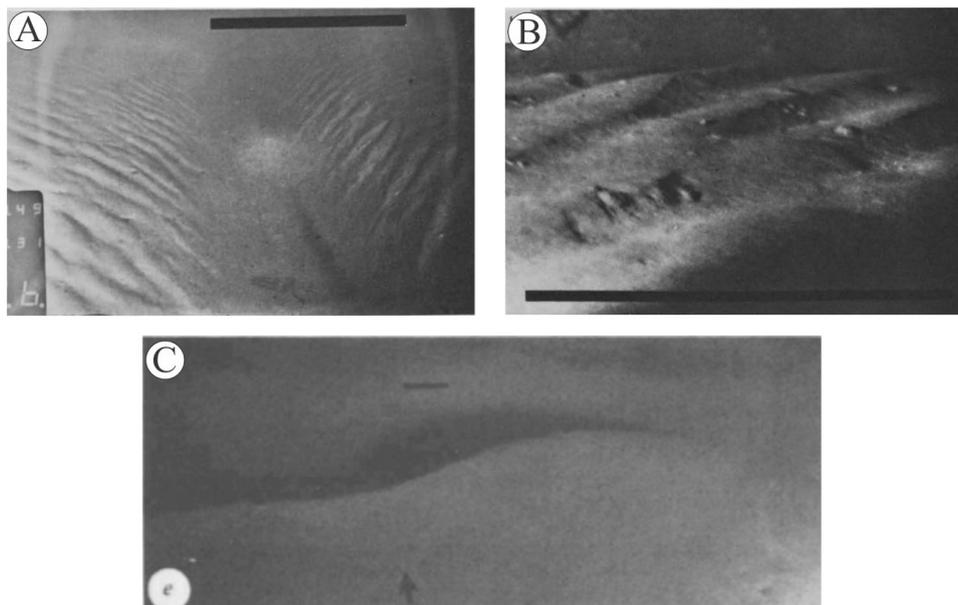


Figura 15 - Exemplos mais antigos de formas de fundo registradas na década de 80 em oceano profundo. A – Furrow com um metro de dimensão; B – marcas onduladas (ripples) com espaçamento de aproximadamente 20 cm (comprimento de onda) e C – marcas onduladas triangulares longitudinais. A e B retirado de FLOOD; HOLLISTER (1980) e C retirado de TUCHOLKE (1982).

4.6 BTM – Modelagem do Terreno Bentônico

A Modelagem do Terreno Bentônico é uma ferramenta para o programa ArcGIS conhecida por sua sigla BTM (*Benthic Terrain Modeler*). Foi desenvolvida para ser usada principalmente com dados de batimetria, a fim de examinar e classificar os ambientes bentônicos. A ferramenta contém um conjunto de rotinas (*scripts*) que permitem a criação de grides baseados no índice de posição batimétrica - BPI, declividade, orientação e rugosidade. Além disso, as rotinas permitem que o usuário crie as suas próprias estruturas de classificação e defina as relações que as caracterizam (LUNDBLAD et al., 2006; RINEHART et al., 2004)

O BPI é equivalente ao Índice de Posição Topográfica e caracteriza as feições no seu contexto local/regional (WEISS, 2001). O BPI é uma tentativa de descrever quantitativamente o ambiente bentônico, baseado em um Modelo Digital de Terreno (MDT) derivado da batimetria ou um conjunto de dados equivalente (grid, raster, xyz, ASCII). A análise usada no BPI utiliza um cálculo de anéis móveis (Figura 16). A altura de cada célula no MDT é comparada às alturas das células vizinhas dentro de uma área anelar definida pelo usuário (LUNDBLAD et al., 2006).

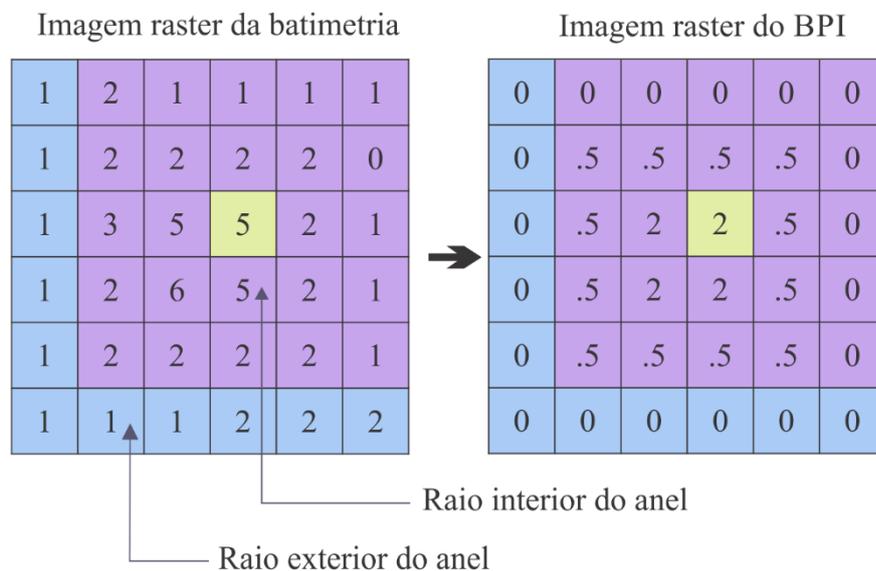


Figura 16 - O índice da Posição Batimétrica (BPI) é uma função local em forma anelar que compara a altura de células únicas às suas células vizinhas (RINEHART et al., 2004)

Esta ferramenta cria uma matriz (imagem raster) com valores de escala ampla e escala fina (*Broad BPI, Fine BPI*). Estes dois arquivos são unidos em uma nova matriz composta junto com a declividade, que leva em consideração tanto as feições amplas como finas para capturar a heterogeneidade espacial cruzada dos recursos do MDT.

A rugosidade é uma medição da complexidade do relevo. O BPI mede a rugosidade baseado nos valores de elevação, começando com um cluster de nove células. A célula central é a unidade que terá seu valor calculado, baseando-se na relação com as oito células vizinhas (Figura 17).

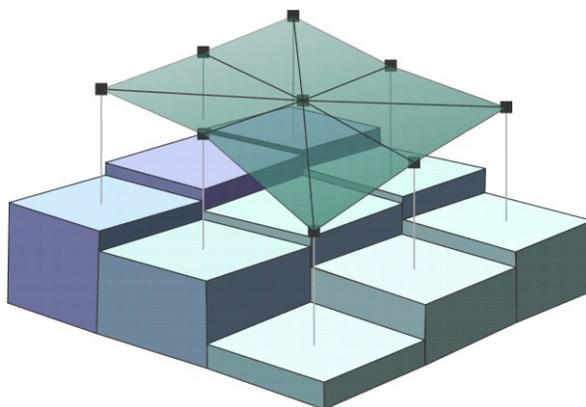


Figura 17 - A rugosidade é representada pela razão entre a área da superfície planar de cada célula. O cálculo faz uma aproximação com oito triângulos em relação à oito células vizinhas (RINEHART et al., 2004).

Um triângulo simples é criado ao vincular os pontos centrais de duas células da grade ao centroide da célula da grade central e a área do triângulo resultante é calculada. Uma área triangular é criada para cada uma das células que circundam a célula central. Em seguida, o triângulo é truncado para que apenas a parte do triângulo que cobre a célula central seja usada e a parte do triângulo que cobre as células adjacentes à célula central seja descartada.

Em seguida, as áreas de todos os oito triângulos truncados são calculadas e somadas para comparação com a área planimétrica da célula central (Figura 9). Essa proporção simples da área do triângulo truncado versus a área planimétrica tem um valor mínimo de um, enquanto os valores típicos variam de um a três, embora valores maiores sejam possíveis em terrenos muito íngremes (RINEHART et al., 2004).

Em relação ao BPI (escala ampla e fina) os valores positivos representam uma célula com maior elevação e os valores negativos menor elevação, se comparados com as células vizinhas. Os valores próximos a zero tendem a gerar uma superfície plana (WEISS, 2001). Os valores brutos calculados devem ser padronizados (*standardized*) para permitir a classificação em outras escalas (LUNDBLAD et al., 2006).

Finalmente, deve ser criado um dicionário para definir as classes geomórficas e os atributos que serão usados para limitar cada zona. Além do BPI (escala fina e ampla) são usados dados de declividade e profundidade que podem separar diferentes ambientes bentônicos.

4.7 RSOBIA – Análise de imagem orientada a objeto

A Análise de Imagem Orientada a Objeto por Sensoriamento Remoto – RSOBIA faz a classificação quantitativa da geomorfologia e do substrato, para o ArcGIS 10.x (LE BAS, 2016). Este tipo de análise é baseada na distribuição da informação e sua correlação espacial, não apenas em sua similaridade textural ou temática.

A ferramenta consiste de 3 seções: a primeira foi desenvolvida para uso com imagens de banda única e cria derivações matemáticas, como mapas de declividade a partir da topografia. A segunda seção tem os principais algoritmos de segmentação para criar os dados com polígonos de feições. O dado usado para a segmentação pode ser tanto uma imagem multibanda, imagens RGB ou uma combinação de grides com apenas uma camada que compõe um banco de dados com multicamadas. A seção final do RSOBIA se destina à classificação e interpretação dos polígonos de feições. Assim como o BTM, o RSOBIA calcula declividade, rugosidade, orientação (*aspect*), além da curvatura (LE BAS, 2016).

Para dados multifeixe (MBES) há um assistente específico onde são inseridos os dados de batimetria e de retroespalhamento acústico. É usado para facilitar e realizar todas as operações disponíveis no RSOBIA, com a vantagem de ser um método mais rápido e demandar um número menor de parâmetros. Finalmente, a classificação do tipo de substrato deve ser feita pelo usuário, a partir de amostras da área de estudo. As classes são atribuídas aos polígonos e um mapa final é gerado com o mapeamento dos substratos.

4.8 Mapeamento dos Potenciais Habitats Bentônicos

O termo habitat, na ecologia, diz respeito à combinação de condições físicas e bióticas que propiciam a ocupação de um local por um determinado organismo ou grupo de espécies. Um hospedeiro habitado por um parasita pode ser considerado um habitat tanto quanto um lago ou uma floresta.

No contexto deste estudo, habitat é considerado o ambiente propício à ocupação de diferentes organismos, seja pela diferença de profundidade, declividade, tipo de substrato ou um conjunto de fatores. A classificação para definir os habitats é realizada usando descritores como: morfologia do fundo, tipo de substrato e oceanografia física do local (HARRIS; BAKER, 2011).

Nas últimas décadas, os sistemas acústicos de multifeixe se tornaram a principal técnica para mapear grandes áreas do fundo marinho com mais eficiência e maior resolução espacial (HUGHES CLARKE; MAYER; WELLS, 1996; LAMARCHE et al., 2011; MONTEREALE-GAVAZZI et al., 2018) além de fornecer informações muito relevantes através dos produtos derivados, como o a intensidade do retroespalhamento acústico (RA – em inglês *Backscatter Strength - BS*).

Classificar o tipo de substrato que compõe o leito marinho tem importância fundamental para definição dos habitats bentônicos e para a estudos da dinâmica sedimentar, dispersão de plumas de sedimentos e tectônica regional. Entretanto, como todo dado obtido através de sensores remotos, os dados de RA requerem verdade de campo (e.g. amostras de rochas) para validação e obtenção de mapas confiáveis derivados dos dados acústicos (JACKSON; RICHARDSON, 2007).

Os primeiros trabalhos usando a intensidade do retroespalhamento acústico para estudar o substrato foram de HURDLE; FLOWERS (1964); MCKINNEY; ANDERSON (1964); URICK, (1954) e WONG; CHESTERMAN (1968)

A produção e apresentação final de mapas de habitats marinhos geralmente depende do uso de um Esquema de Classificação de Habitat (ECH). No mapeamento, os ECHs categorizam as informações ambientais e biológicas (por exemplo, profundidade, topografia, substrato, energia hidrodinâmica, composição da comunidade) em classes de habitat distintas. Presume-se que cada classe esteja associada a uma condição abiótica distinta e a uma comunidade biológica

identificável, e, portanto, tenta produzir unidades ambientalmente ou ecologicamente significativas (STRONG et al., 2019) .

Para simplificar, seria ideal um único esquema de classificação que possa ser usado para todos os mapas de habitats marinhos. Porém, surgiram vários esquemas para atender às diferentes aplicações, por exemplo: conservação biológica, ecologia da paisagem, monitoramento ambiental, planejamento espacial marinho, gerenciamento de pescas, descrições geomorfológicas etc.

Entre os principais esquemas usados mundialmente destacam-se:

- EUNIS (*European Nature Information System*): criado entre 1996 e 2001 pela Agência Ambiental Europeia. Considera tanto o ambiente marinho quanto o terrestre dentro de sua classificação e abrange desde a região intermarés até a zona abissal. EUNIS é usada no banco de dados EMODnet (ANDERSEN et al., 2018).

- HELCOM (*Underwater Biotope and Habitat classification system*). Foi criado como um sistema de classificação para biótopos do Mar Báltico, com base no tipo de substrato e batimetria (HELCOM, 2013).

- PHCS (*Potential Habitat Characterization Scheme*). Essa classificação foi desenvolvida para incentivar a padronização de novas técnicas de mapeamento aplicadas à pesquisa pesqueira na América do Norte (GREENE et al., 1999). São usados dados de multibeam, vídeo, fotografias tiradas com câmeras estáticas e amostras do substrato. Para GREENE et al. (1999) os ambientes são divididos em Megahabitat (dezenas de quilômetros – e.g. montes submarinos, cânions), Mesohabitat (dezenas de metros a um quilômetro – e.g. bancos, recifes, ravinas), Macrohabitat (um a dez metros – e.g. blocos de rochas, dunas, afloramentos, falhas) e Microhabitat (centímetros – e.g. areia, cascalho). Nota-se que a classificação proposta por GREENE et al. (1999) não segue o clássico padrão Mega/Macro/Meso/Micro. As escalas maiores de um metro podem ser definidas com métodos acústicos, enquanto a escala mais fina (microescala: centímetro a metro) só pode ser delineada com observação direta (via vídeo, imagens fotográficas estáticas, observações de mergulhadores ou amostragem no fundo do mar (GREENE et al., 2007).

- HFMHC (*Hierarchical Framework of Marine Habitat Classification for Ecosystem-Based Management*). Essa estrutura de classificação foi projetada especificamente para atender à necessidade de gerenciamento do ambiente marinho baseado em ecossistemas (na América do Norte, mas aplicável em qualquer lugar). Os níveis superiores do esquema incluem a classificação global de grandes ecossistemas marinhos. Os níveis subsequentes incluem unidades ecossistêmicas reconhecíveis. O esquema possui três hierarquias paralelas (não aninhadas) "benthic", "water column" e "human" (GUARINELLO; SHUMCHENIA; KING, 2010).

- CHS (*Classification of Sublittoral Habitats*). Este esquema de classificação foi desenvolvido para descrever e classificar habitats em termos de atributos geológicos, biológicos e oceanográficos. É incomum que o esquema também capture informações sobre os efeitos de processos naturais e antropogênicos nos habitats. Ele contém oito temas não hierárquicos, como topografia do fundo do mar, dinâmica, textura, tamanho de grão, rugosidade, fauna e flora, associação e uso de habitat e recuperação de habitat devido a distúrbios. O objetivo da classificação é fornecer uma base para pesquisa científica e gerenciamento ambiental de habitats do fundo do mar em escalas regionais relativamente grandes (VALENTINE; TODD; KOSTYLEV, 2005).

- NISB (*Australian National Intertidal/Subtidal Benthic Habitat Classification*). O esquema proposto abrange todas as águas territoriais da Austrália, incluindo habitats entre marés e até o limite da zona fótica (profundidade de 50 a 70 m). Foi desenvolvido para criar uma "definição uniforme de comunidades, habitats e ecossistemas" nas escalas regional e nacional, e informações espaciais que são informativas para avaliar questões críticas de mudanças climáticas e detectar mudanças ou perdas de habitats ou comunidades (MOUNT; BRICHER; NEWTON, 2007).

- CMECS (*Coastal and Marine Ecological Classification Standard*). O CMECS foi desenvolvido pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos EUA e baseia-se em esquemas existentes (COWARDIN et al., 1979; GREENE et al., 1999).

O mapa de potenciais habitats bentônicos proposto neste estudo é inspirado nas classificações propostas por GREENE et al. (1999).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Morfologia da Área Central da ERG

O Modelo Digital do Terreno (MDT) da ERG Central está ilustrado na Figura 18. A variação da profundidade mostra um intervalo de entre 2775 m e 550 m, apresentando muitas feições que não podem ser identificadas através de dados de satélite SRTM, devido à menor resolução destes. A área total levantada foi de 45 mil km².

Das estruturas mais evidentes podemos citar o graben que corta transversalmente a área, com profundidades maiores na porção sudeste (Figura 18), e largura média de 30 km. Esta feição é parte do lineamento Cruzeiro do Sul, se destacando como o principal componente geomórfico da ERG.

As regiões mais rasas estão localizadas entre as profundidades de 550 m a 700 m, onde podem ser identificadas áreas planas. Essas áreas foram consideradas como os topos de montes submarinos erodidos quando estes se encontravam acima do nível do mar. Atualmente estas áreas também estão mais sujeitas à ação hidrodinâmica das correntes que as regiões mais profundas, considerando a exposição de estruturas rochosas, que serão discutidas posteriormente.

O flanco norte da ERG possui marcas profundas de cânions erosivos (ou ravinas) que se tornam mais desenvolvidos e largos a profundidades maiores que 1500 m (Figura 18). JOHNSON & PETERS (1979) estudaram estas feições a partir de vários testemunhos coletados próximos ao ponto 359 do DSDP e também mostram evidências que os cânions podem ter sido formados quando a ERG estava ao nível do mar e que houve um aprofundamento destas feições durante o Cenozoico.

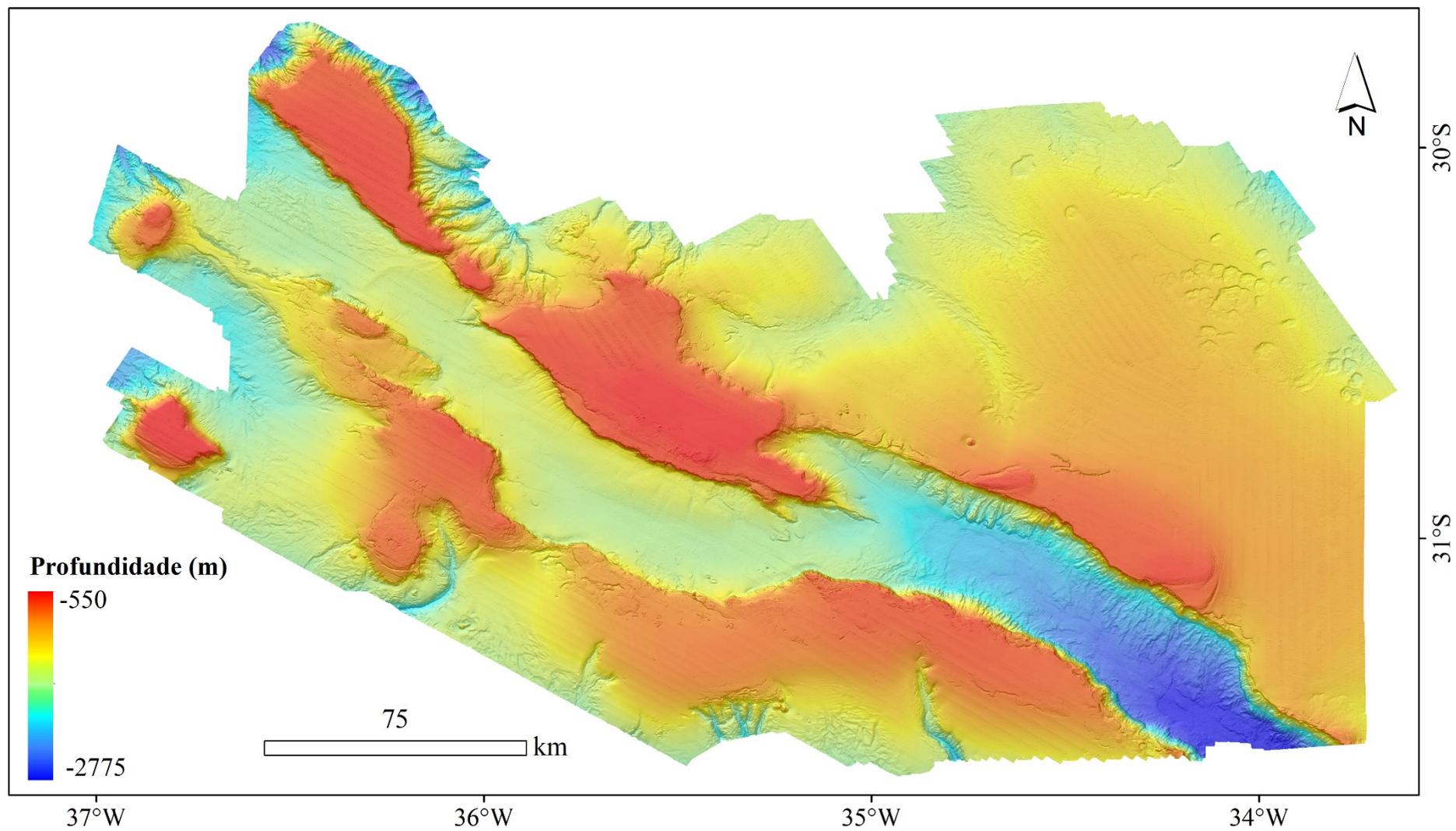


Figura 18 - Batimetria da área central da Elevação do Rio Grande, com resolução de 50 metros.

Na área a nordeste há dezenas de feições circulares, com diâmetro médio em torno de 2 km e formato próximo ao de uma cratera (Figura 19), com relevo médio de 50 m. Estas estruturas estão compreendidas entre as profundidades de 1000 m e 1700 m (até o limite da aquisição dos dados).

Esta área vem sendo denominada como um campo de pockmarks gigantes nos estudos recentes do SGB-CPRM, inclusive com a presença de gás em um dos testemunhos coletados dentro de uma das depressões (um testemunho de 48 m de profundidade). KLAUCKE et al. (2018) estudaram feições muito semelhantes às da ERG na Elevação Chatham, com diâmetros entre 2 a 10 km. Neste caso específico não foram encontradas evidências ou indicações da existência de um sistema de hidratos de gás. A origem das estruturas em Chatham foi atribuída possivelmente a pockmarks em pequenas nucleações que sofreram grandes processos erosivos pelas correntes atuantes na região.

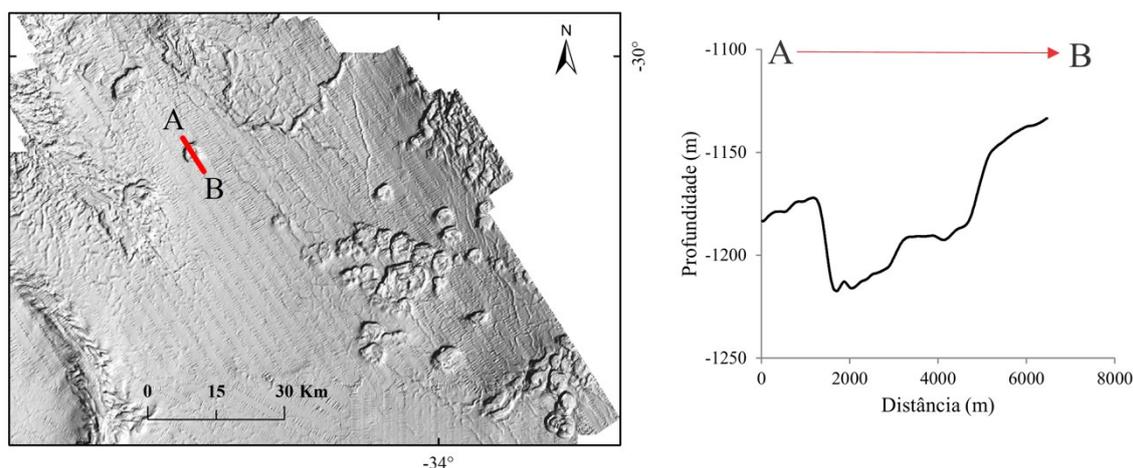


Figura 19 - Detalhe da área nordeste da ERG onde são identificados pockmarks gigantes. O perfil à A-B à direita detalha a topografia de uma dessas feições

Na porção sul são vistas incisões semelhantes a cânions, mas estas estruturas possuem menor declividade e maior abrangência lateral e são definidas como vales. Em dimensões variadas os vales também são encontrados dentro do graben e na parte norte.

Existem ainda feições numa escala menor, mas identificáveis na batimetria, como os furrows e as marcas de cometa, que podem ser formadas em volta de vulcões de lama. Estes dados serão analisados com mais detalhe em uma seção à parte.

5.2 Retroespalhamento acústico

O mapa do mosaico do retroespalhamento acústico está apresentado na Figura 20. A área central da ERG apresenta quatro padrões (visuais) de respostas na intensidade do retroespalhamento acústico (RA), reconhecidos como diferentes fácies: a) alta intensidade com textura heterogênea (cinza muito escuro e preto); b) moderada a alta intensidade e fácies heterogênea (cinza médio e feições visíveis); c) baixa a moderada intensidade e perfil homogêneo (cinza médio) e d) baixa intensidade com textura homogênea (cinza mais claro) (Figura 20).

O mosaico do RA é uma informação avaliada durante as análises dos perfis de cada mergulho, pois como mencionado anteriormente, há uma correlação entre a intensidade do sinal e o tipo de substrato. Entretanto, a principal aplicação deste dado é na classificação das imagens, durante as análises do RSOBIA. Assim, a segmentação de classes é realizada pelo algoritmo do programa de forma automática, sem o caráter qualitativo das fácies a, b, c e d.

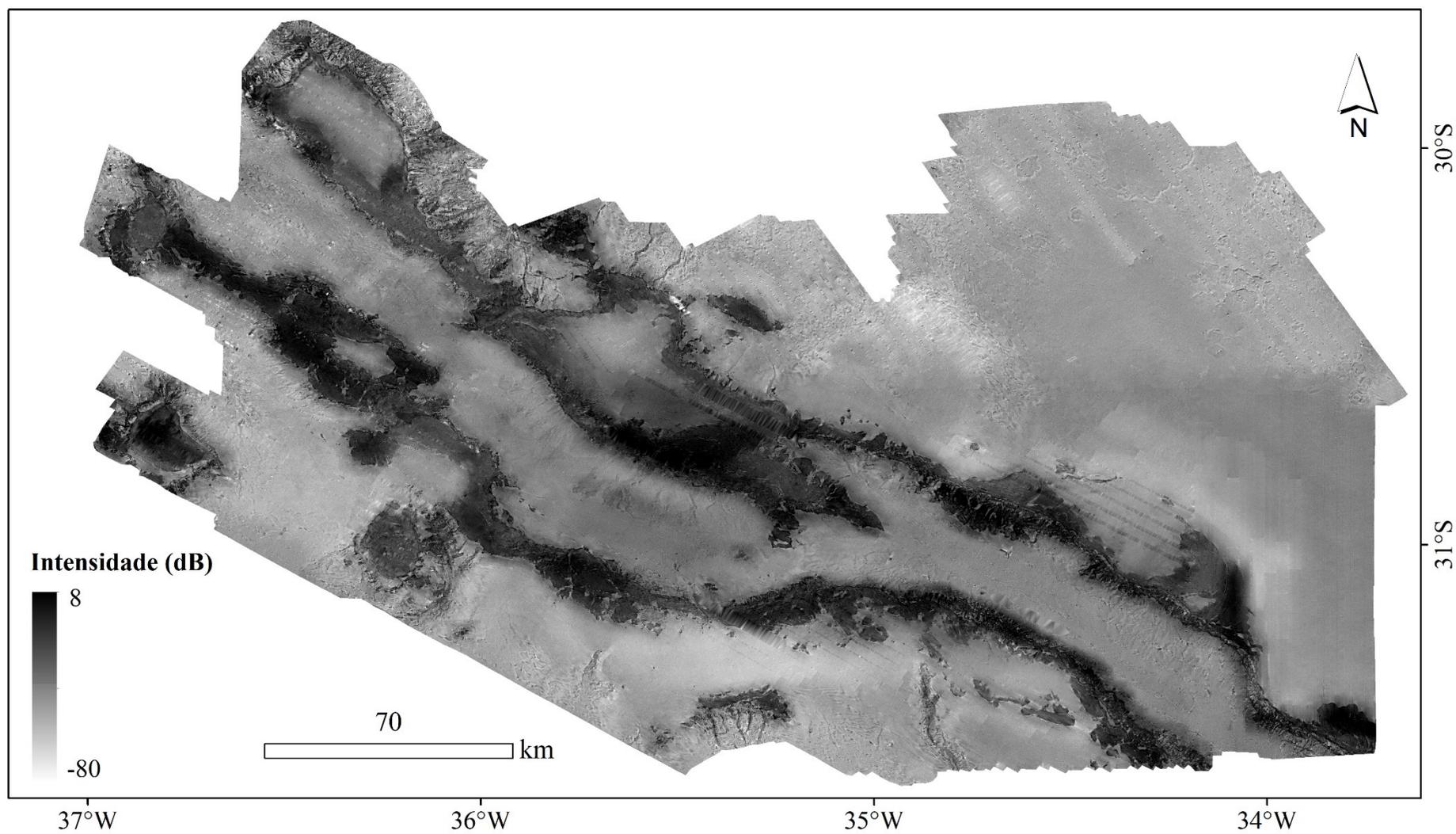


Figura 20 - Mapa do mosaico da intensidade do retroespalhamento acústico para a área central da Elevação do Rio Grande.

5.3 Composição da declividade e orientação das feições

O mapa de composição da Figura 21 mostra simultaneamente a orientação das feições e o grau da declividade. O mapa foi categorizado em oito classes que são simbolizadas usando uma progressão ordenada de tons de cores (por exemplo vermelho, laranja, amarelo) e três classes de declividade que são apresentadas usando a saturação (intensidade da cor). Os tons são definidos para se aproximar de um relevo sombreado (com aparência tridimensional), porque as faces a norte aparecem iluminadas (são cores mais claras) e regiões mais planas são acinzentadas.

Este mapa evidencia os platôs, o graben, as escarpas, ravinas, cânions, vales, pockmarks e o restante das áreas planas, que correspondem às feições da batimetria. A interpretação concomitante destas duas fontes de dados torna mais fácil detectar uma diferença de orientação que se destaca das áreas adjacentes do que apenas usando resultados de orientação.

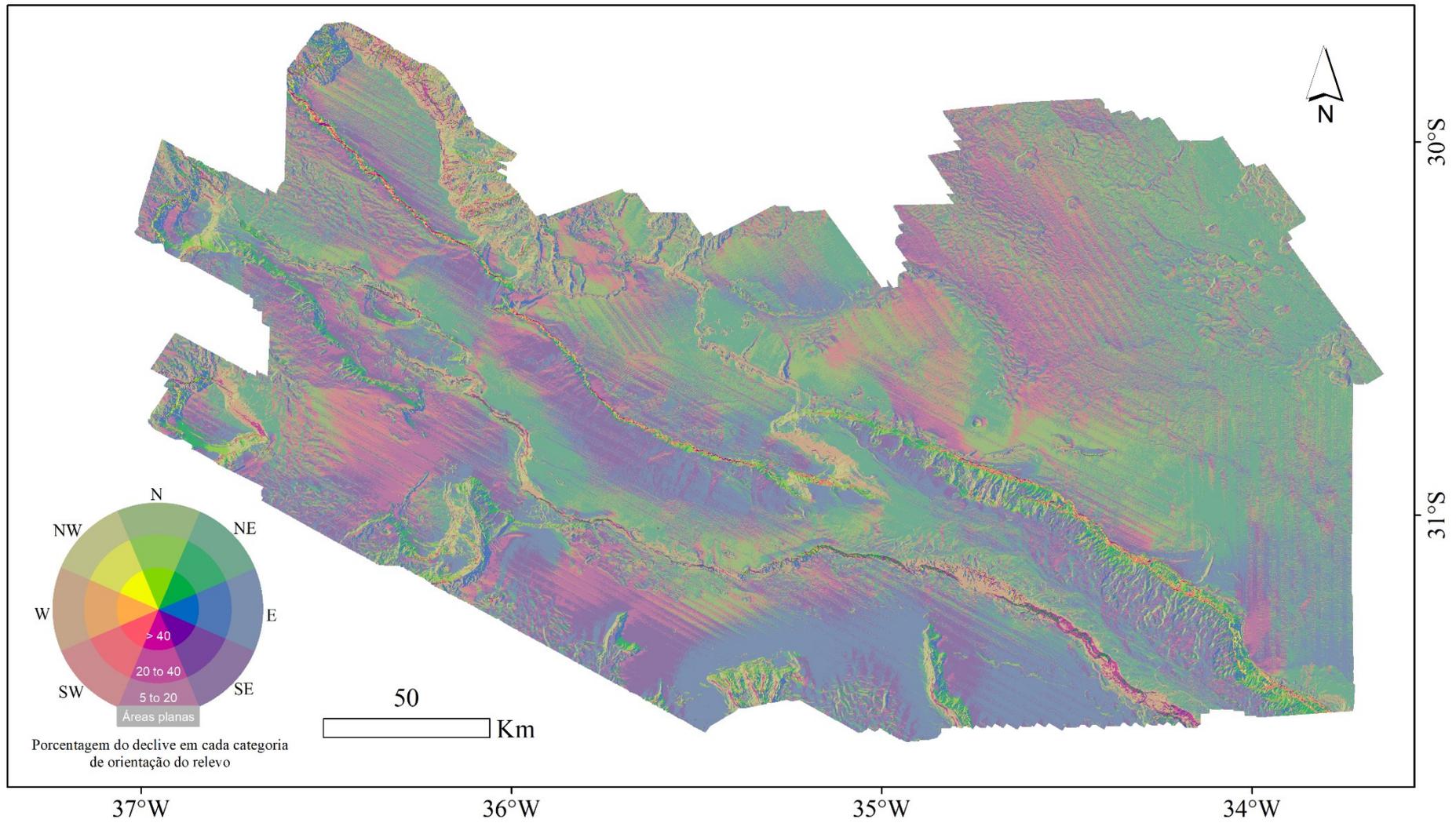


Figura 21 – Mapa de composição do gradiente (declividade) e da orientação (“aspect”) na área central da ERG.

5.4 Classificação BTM

Os resultados apresentados na Figura 22 (A e B) se referem aos mapas de BPI normalizados (*standardized BPI*).

A Figura 22-C tem as variações da declividade, mostrando que grande parte da superfície da ERG apresenta gradientes entre 0° e 5°, desde as regiões mais rasas até as mais profundas. Mesmo dentro do graben, a inclinação aumenta gradativamente através de cânions e vales até chegar aos flancos. Os montes submarinos mostram gradientes muito mais abruptos em suas bordas. Os valores podem variar entre 5° a 10° na base até 22°, com grande alternância de valores principalmente no flanco noroeste, marcado por muitos cânions (Figura 21).

A orientação das feições é apresentada na Figura 22-D, com uma grande heterogeneidade regional. A extensão da área e os diferentes estágios evolutivos da ERG explicam a complexidade desta estrutura geomórfica.

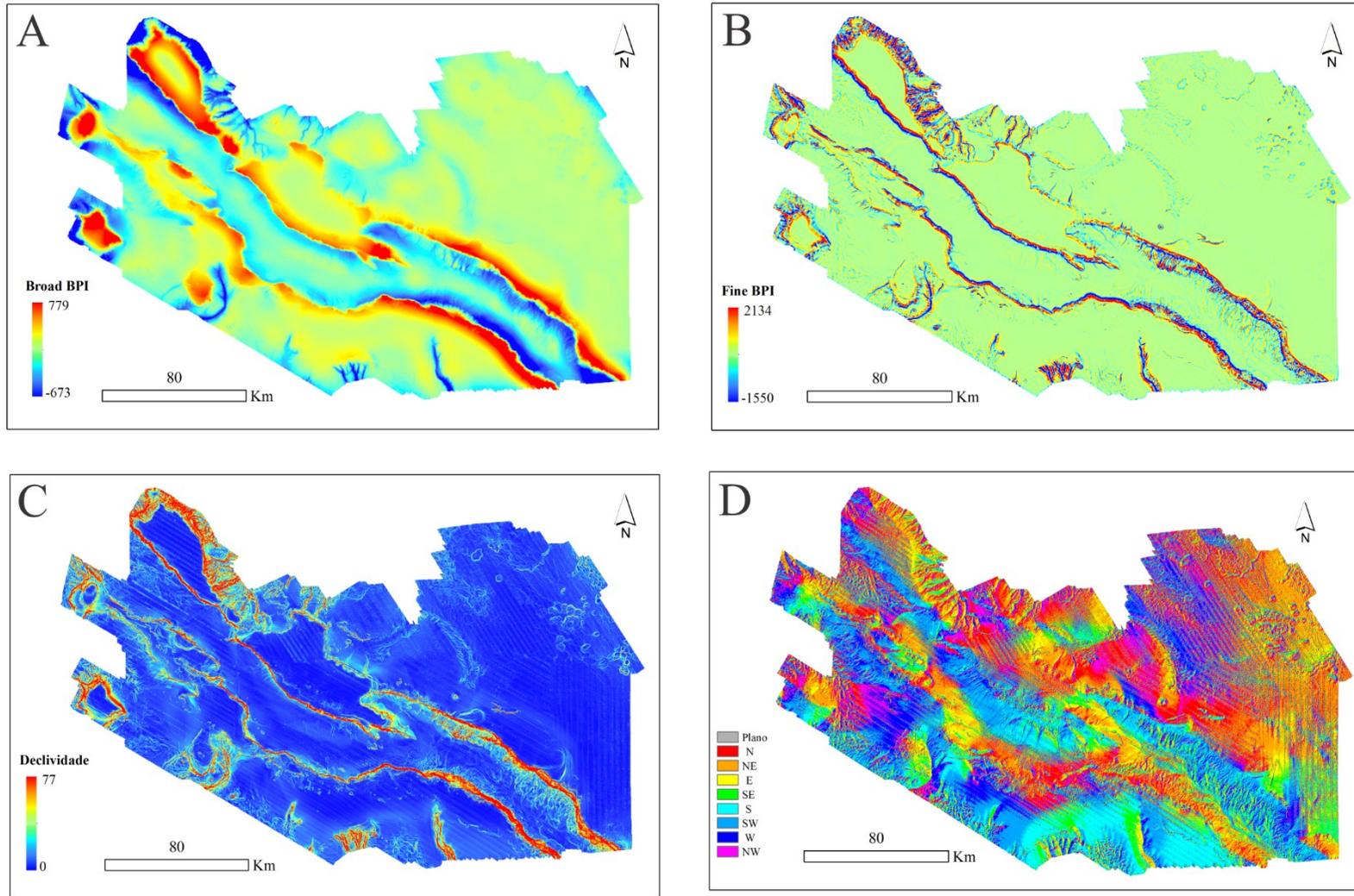


Figura 22 - Resultados gerados pelo Benthic Terrain Model: (A) Broad BPI, (B) Fine BPI – (standardized – coeficiente padronizado), (C) Declividade ou gradiente e (D) Aspecto

A partir das análises da orientação e declividade, dos dados de batimetria e modelos BPI foram definidas 6 classes para o BTM, que resultam nas seguintes zonas geomórficas: Platôs, Áreas Planas, Flancos, Declives, Ravinas/Vales e, por último, Bordas dos Platôs (Tabela 1).

A criação de um mapa BTM e de um dicionário depende do conhecimento geral da área, pois em cada região serão estabelecidos tipos geomórficos distintos. Por isso também há necessidade de fazer algumas tentativas a fim de estabelecer os parâmetros mais adequados. Para os Platôs foram definidas as profundidades entre 550 m e 770 m, e as Áreas Planas, abaixo de 770 m. Os limites inferiores de declividade (*slope lower*) foram escolhidos para diferenciar Ravinas/Vales, Declives e Flancos.

Tabela 1 - Dicionário BPI

Classe	Zona	Broad BPI Lower	Broad BPI Upper	Fine BPI Lower	Fine BPI Upper	Slope Lower	Slope Upper	Depth Lower	Depth Upper
1	Borda dos platôs	100		100					
2	Ravinas e vales		-100			0.1			
3	Declives	-100	100	-100	100	3			
4	Flancos		100			5			
5	Áreas planas	-100		-100				-2775	-770
6	Platôs	-100		-100				-770	-550

Os Platôs representam 9 setores principais (Figura 23), coincidindo com as regiões classificadas como topos dos montes submarinos erodidos. A maioria das áreas está delimitadas pelas Bordas dos Platôs, exceto em algumas regiões onde a transição acontece diretamente para as Áreas Planas.

As Bordas são seguidas de Flancos (em amarelo), regiões bastante íngrimes, identificadas como os paredões do graben e encostas das Ravinas/Vales. Estes últimos formam uma estrutura muito presente em elevações, em inglês denominados “Gullies”. São feições erosivas que canalizam o transporte de material rochoso e sedimentar, erodido por ação da gravidade ou de correntes.

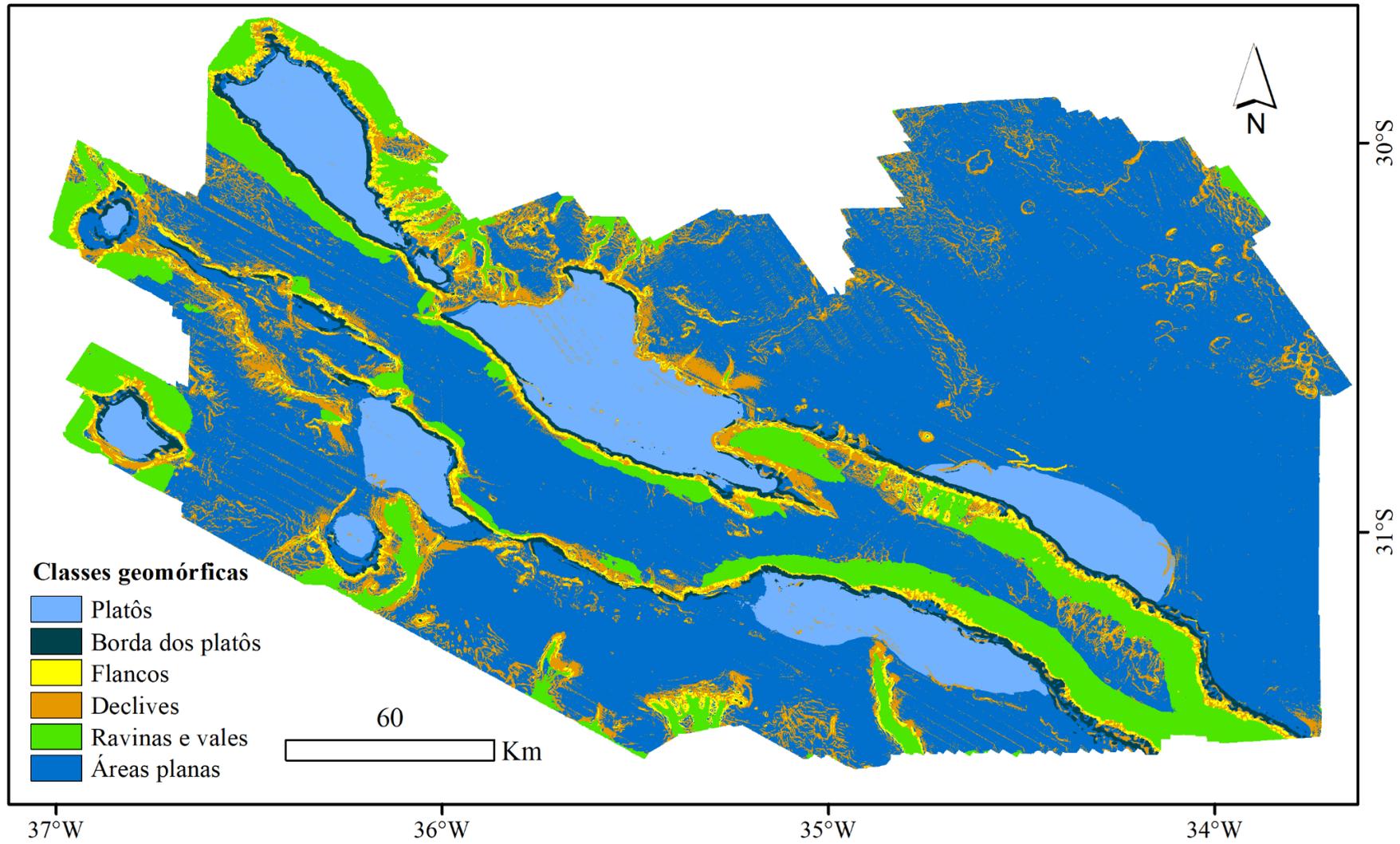


Figura 23 - Mapa de classificação geomórfica - BTM (Benthic Terrain Modeler)

5.5 Características do substrato

A localização dos 8 perfis de TV Grab, dos 3 perfis do Shinkai e dos 13 perfis do ROV podem ser observadas na Figura 24. A maioria dos perfis foi realizada em áreas que apresentaram contrastes na intensidade do sinal acústico refletido.

Para cada filmagem foram gerados esquemas contendo a localização do mergulho sobre o mapa batimétrico, o trajeto do perfil sobre o mosaico da intensidade do retroespalhamento acústico (RA), a variação de profundidade, a variação na intensidade do RA e 4 imagens evidenciando as principais características dos ambientes encontrados (i.e., rochas, marcas onduladas, organismos).

A variação da intensidade do RA nas áreas pesquisadas está entre -44,91dB e -8,11dB e a escala da maioria dos perfis varia entre 0 e -30 dB ou -40 dB, ou seja, não foram mantidas constantes, a fim de evidenciar variações pontuais.

O mesmo foi feito para os perfis de profundidade. Em um ponto do ROV houve uma variação mínima de menos de 5 m, por isso a escala dos perfis de profundidade variou para representar cada trajeto de forma mais elucidativa.

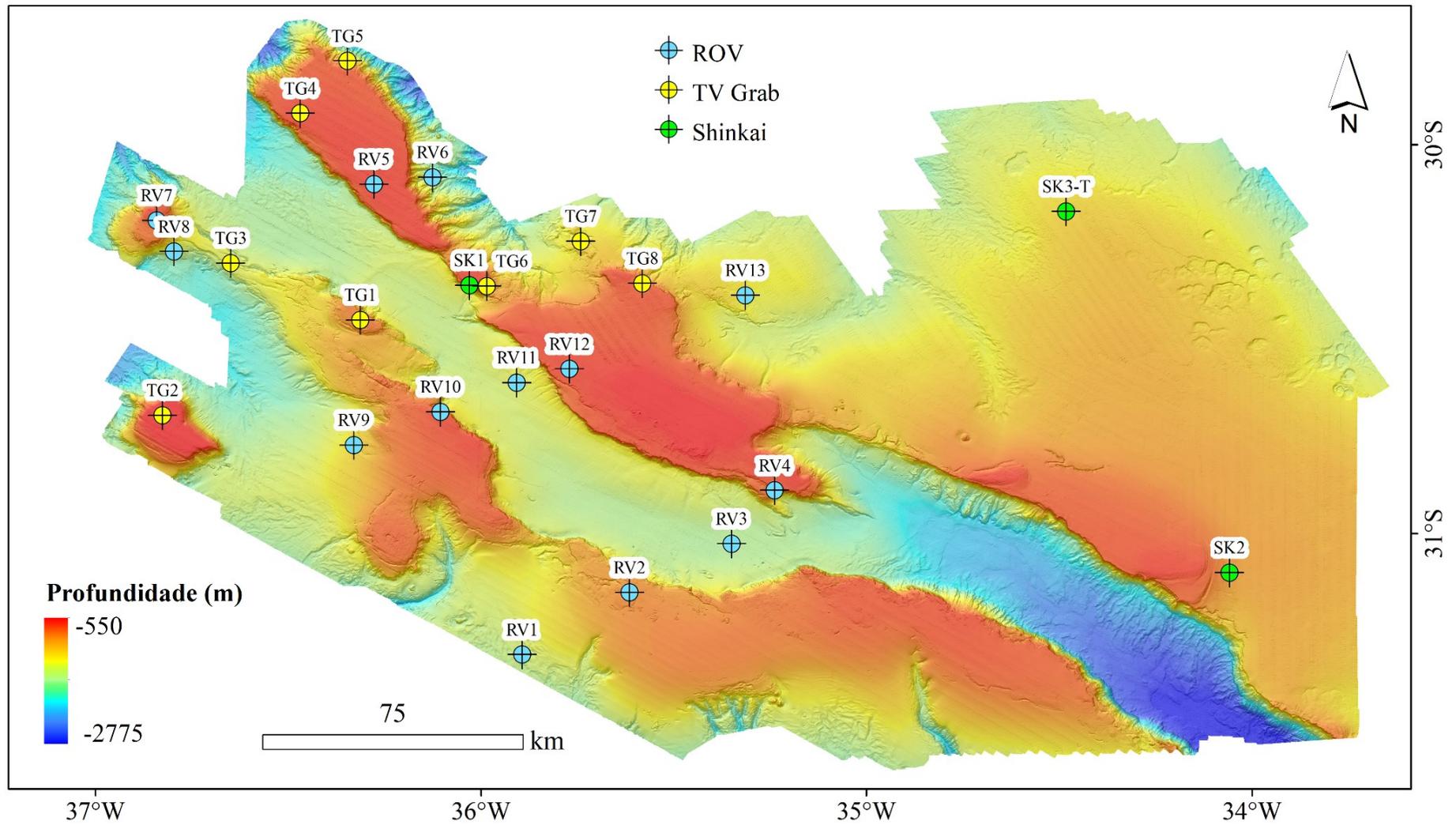


Figura 24 - Localização dos trechos onde foram realizadas filmagens com o TV Grab, o submersível Shinkai/câmera de submersão e o ROV.

5.6 Perfis de TV Grab

5.6.1 TG1 (ERG-207)

O primeiro perfil realizado com o TV Grab na área da ERG Central tem aproximadamente 9 km de extensão, com características interessantes no mosaico do RA. As imagens mostraram que o local apresenta CFRCs em grande parte, sendo que no início há cobertura por finas camadas de sedimentos, com marcas onduladas em alguns pontos, colonização de organismos e fragmentação das crostas planares, que pode aumentar a rugosidade do substrato (Figura 25).

Os valores da intensidade do RA são mais baixos onde há uma cobertura sedimentar e na última porção, possivelmente por causa do declive mais acentuado e alternância entre crostas e cavidades preenchidas de sedimentos. As classes do BTM encontradas são: áreas planas, bordas do platô, declives e flanco. Apesar de não ter platôs (devido ao limite de profundidade) as bordas do platô se encontram presentes em algumas áreas de transição para regiões mais profundas.

Durante a expedição de geofísica do LEPLAC em 2018 houve a tentativa de coleta de uma amostra de sedimentos com o equipamento box corer, na área onde há menor intensidade do RA. Através da sísmica de alta resolução, buscou-se identificar um ponto em que fosse viável lançar o box corer. Os dados indicavam que o substrato era composto de sedimentos, mas quando o equipamento foi lançado voltou danificado, por ter batido contra um fundo duro. Especulou-se no momento que o substrato poderia ser composto por uma rocha sedimentar muito porosa, que deu um sinal equívoco nos dados de sísmica rasa. Outra possibilidade é a existência de rochas fragmentadas espalhadas pelo leito sedimentar, como foi possível identificar em algumas áreas em outros pontos.

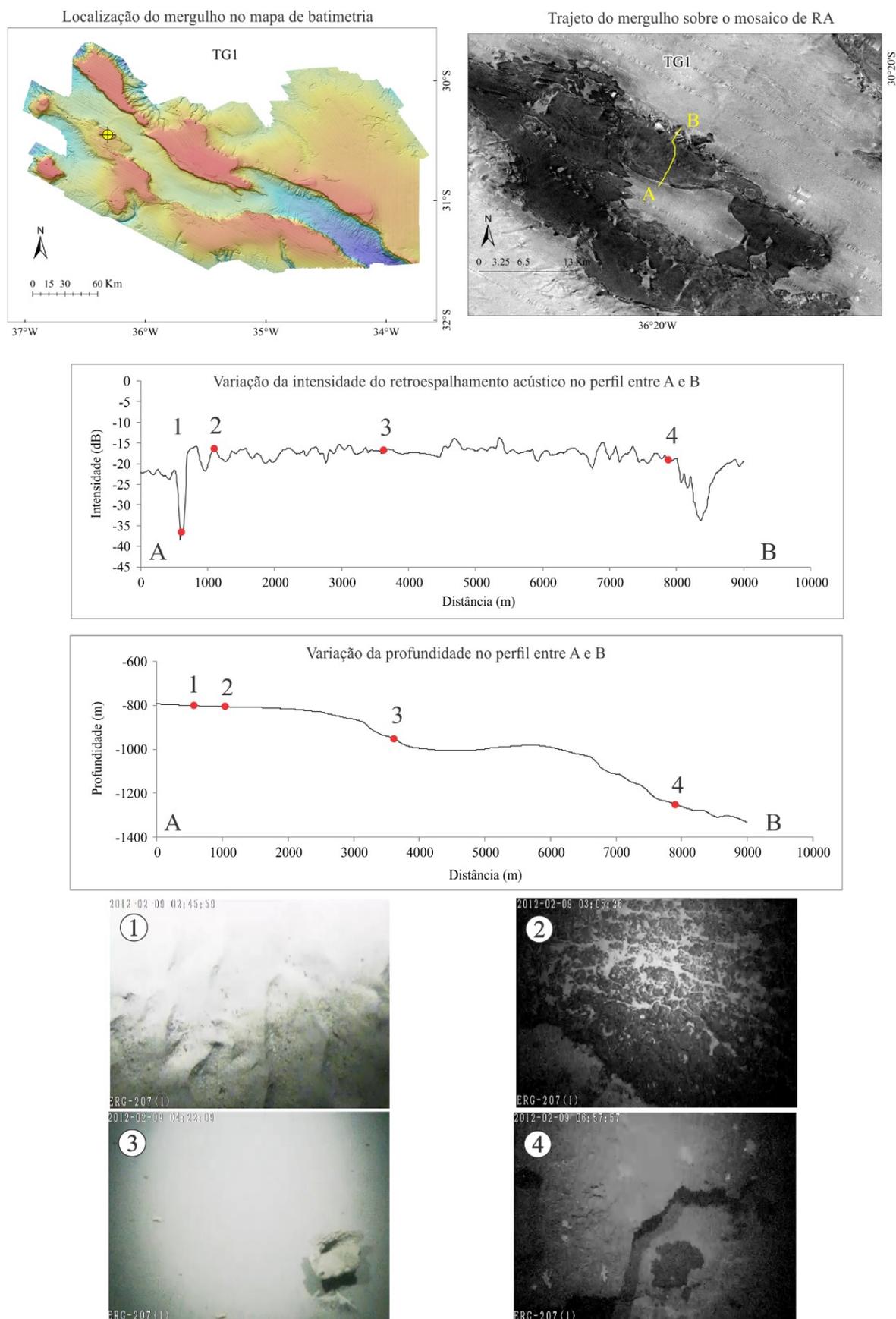


Figura 25 – Informações relativas ao mergulho TG1 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.6.2 TG2 (ERG-137)

Os dados do TG2 mostram que há um declive acentuado no início e no fim do mergulho e a distribuição das intensidades do RA está entre média e forte (-20 dB e -15 dB), sendo que os tons mais claros são observados apenas no entorno desse monte submarino que tem seu topo aplainado (Figura 26). Entretanto, como houve uma interpolação dos dados de retroespalhamento acústico, alguns locais tiveram distorção e o ponto TG2 é um dos que apresenta uma probabilidade de erro que precisa ser levada em consideração durante a classificação final do habitat.

São identificadas regiões cobertas de crostas alternadas entre áreas de sedimentos planos, sem colonização visível de organismos (Figura 26). Na parte com as menores refletividades (segunda e quarta foto) temos dois ambientes diferentes. O primeiro apresenta marcas onduladas e predominância de sedimentos, enquanto o outro é formado por um leito sedimentar plano cobrindo um substrato duro. As classes do BTM encontradas são: platôs e borda dos platôs.

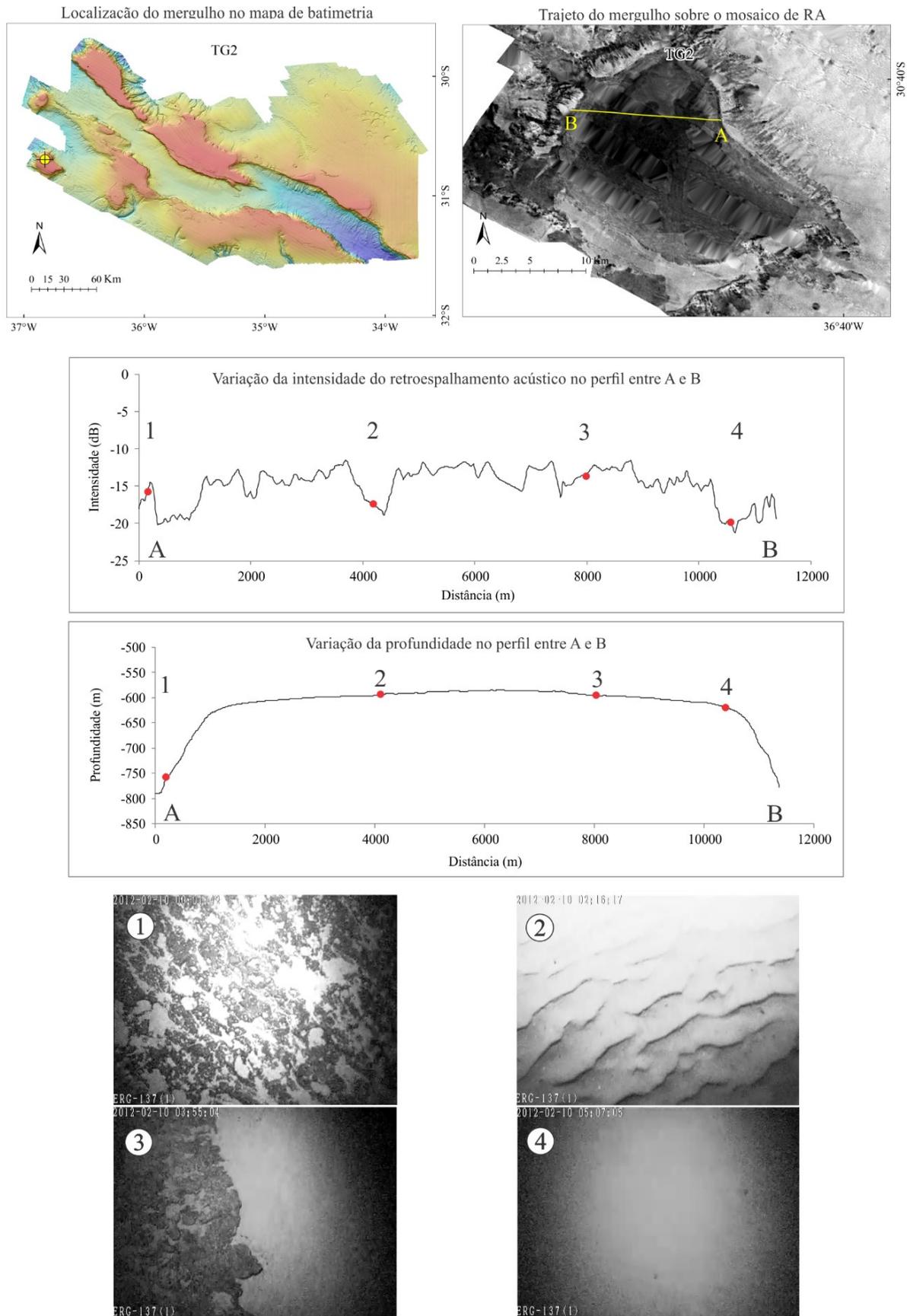


Figura 26 - Informações relativas ao mergulho TG2 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.6.3 TG3 (ERG-177)

Este perfil de apresenta valores de RA semelhantes ao TG2, entre -15 dB e -25 dB. É composto por um leito sedimentar coberto de fragmentos e nódulos rochosos e algumas áreas com crostas planas fraturadas e colonização de organismos. Observa-se dados de refletividade menores onde há maior proporção de sedimentos (Figura 27).

As classes do BTM encontradas são: áreas planas, bordas, declives e flanco. A rugosidade (em grande escala) do terreno é maior do que dos outros perfis já apresentados, mostrando maior heterogeneidade de ambientes e uma correlação aparente entre os valores de RA e as variações de declividade.

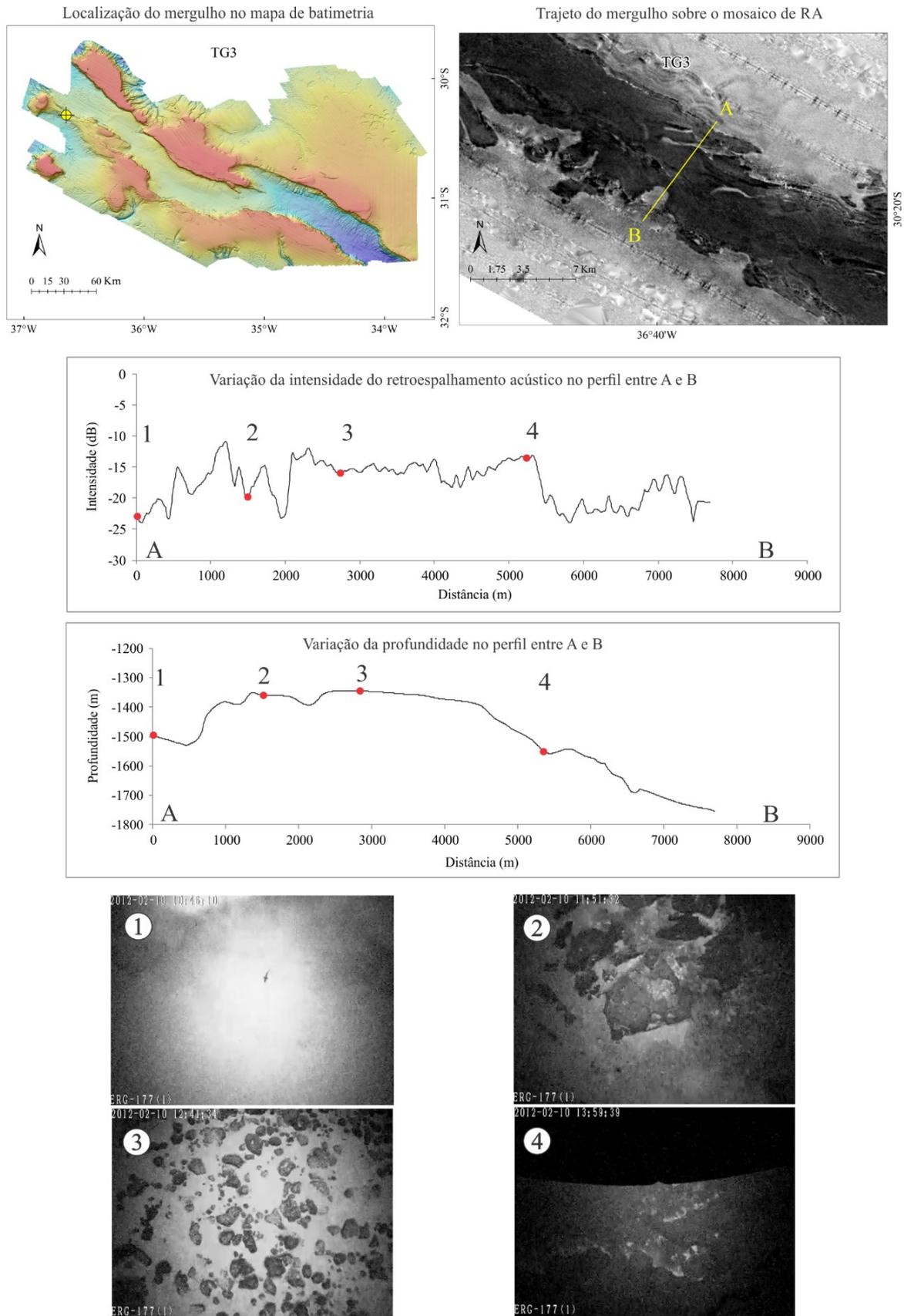


Figura 27 - Informações relativas ao mergulho TG3 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.6.4 TG4 (ERG-147)

Há predomínio de cobertura sedimentar em quase todo o perfil, com alguma colonização de organismos observada próximo à escarpa (A) e formas onduladas na parte mais plana e rasa (B) (Figura 28). Dois pontos apresentam intensidade do RA bem mais baixa que no resto do perfil (entre -35 dB e -30 dB), e estão localizados no início. Foram identificadas áreas que aparentam serem sedimentos lamosos planos, como visto na Figura 28-1, intercalados por crostas. Essa variação somada à maiores declividades pode gerar um padrão distinto na textura.

A terceira e quarta imagens do TG4 corroboram o padrão gradual de diminuição na intensidade do RA em direção a B (Figura 28). As classes do BTM encontradas são: bordas do platô e platô.

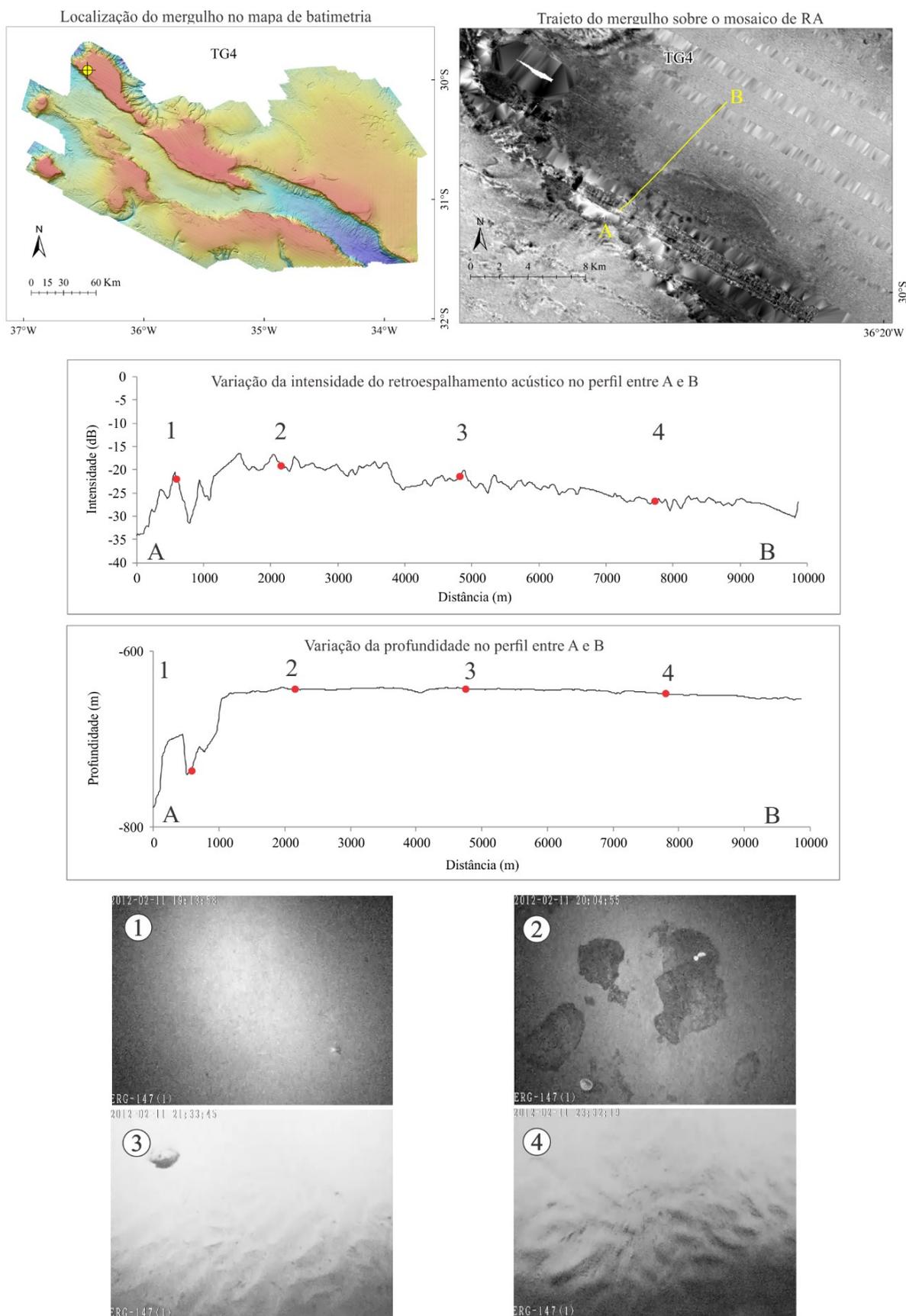


Figura 28 - Informações relativas ao mergulho TG4 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.6.5 TG5 (ERG-147a)

Esse perfil se inicia em uma parte plana rochosa coberta por uma fina camada de sedimentos, alternando entre regiões com rochas fragmentadas, leito de sedimentos com marcas onduladas e finalmente rochas expostas onde há maior declive (Figura 29).

Onde se observam os menores valores de intensidade do RA não houve grande mudança do tipo de substrato, alternando-se entre rochas e sedimentos. A declividade pode ser o parâmetro influenciando esses valores ou a mudança muito rápida entre diferentes substratos. As classes do BTM encontradas são: platôs, declives, áreas planas, flancos e vales/ravinas.

Os valores muito baixos da intensidade do RA nessa área, até -45 dB, indicam que existem uma variação intensa na topografia, inclusive com áreas planas e paredões formando os canais, cânions e vales.

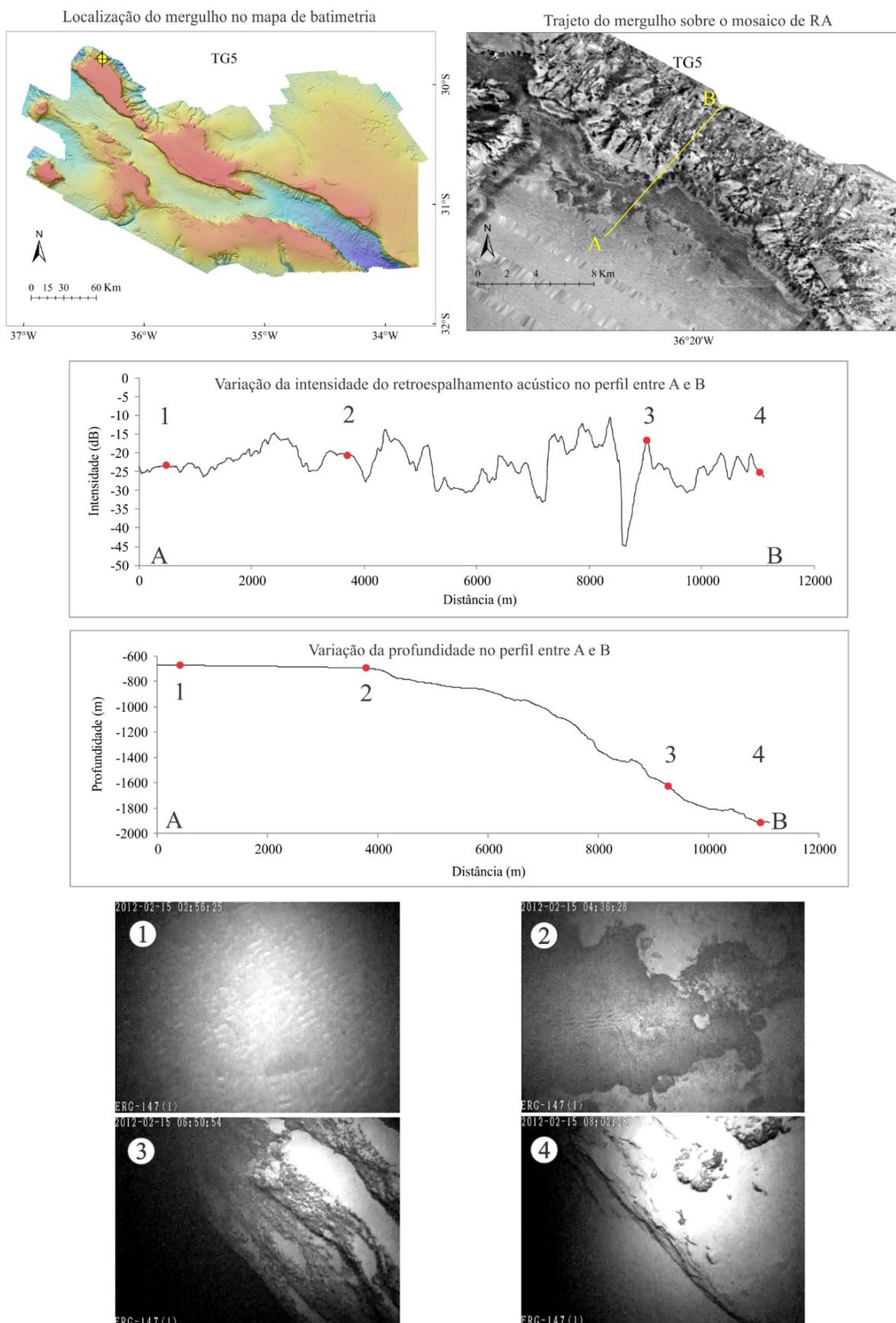


Figura 29 - Informações relativas ao mergulho TG5 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.6.6 TG6 (ERG-217)

O perfil 6 do TV Grab se localiza numa região relativamente próxima ao ponto Shinkai SK1 (que será descrito posteriormente), onde há muitos organismos e recebeu a denominação de “Coral Garden”. É possível identificar a megafauna abundante entre as distâncias de 4000 m e 7000 m, (Figura 30). Esse mergulho, porém, não subiu até o platô, seguindo pela sua margem entre as profundidades de 800 m.

As classes do BTM encontradas variam entre declives, áreas planas e flanco. A menor refletividade observada no início e no final do perfil (aproximadamente -30 dB) não é confirmada pelas estruturas visualizadas nas imagens, onde existem crostas planares fraturadas cobertas por uma camada sedimentar e rochas do embasamento.

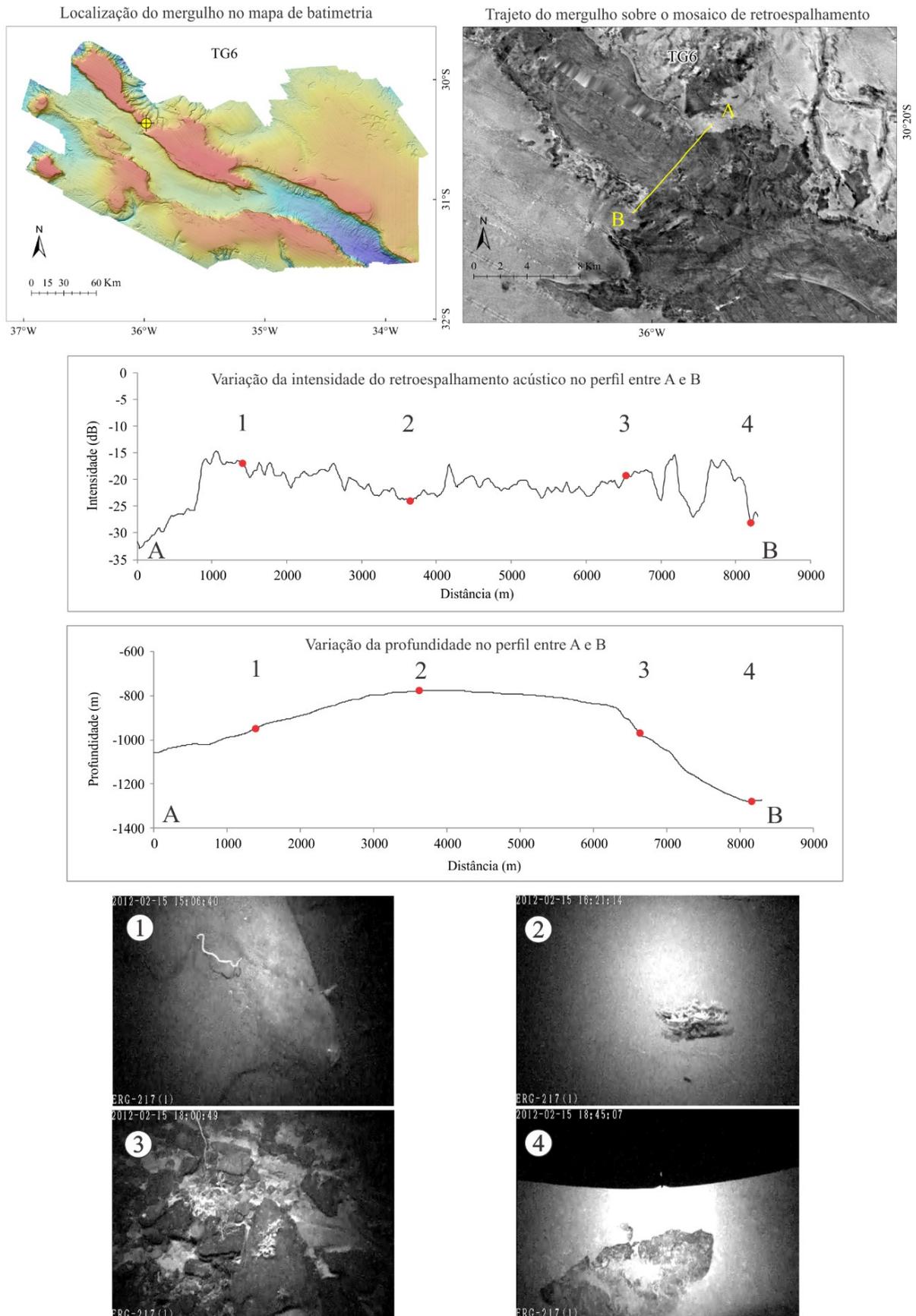


Figura 30 - Informações relativas ao mergulho TG6 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.6.7 TG7 (ERG-197 e ERG-197a)

O ponto TG7 está a uma profundidade média de 1200 m, em uma área classificada pelo BTM como “áreas planas”, com regiões de declive apenas no início e no final do mergulho. Os menores valores da intensidade do RA foram detectados próximo ao ponto 3 e 4 (Figura 31)

A primeira e a terceira imagem mostram substratos semelhantes, rochas fragmentadas entre sedimentos, podendo ser CFRCs ou rochas do embasamento. A Figura 31 (foto 1) mostra um leito recoberto de fragmentos e nódulos. Um leito de marcas onduladas de dimensões grandes, fecha o perfil, também coincidindo com menores valores da refletividade. A diferença nos valores em decibéis pode ser considerada apenas para o ponto 4, com grande contraste entre as áreas onde há apenas sedimentos (-20 dB). O ponto 3 apresenta uma resposta incongruente, com valores baixos (-25 dB) e substrato semelhante ao ponto 1.

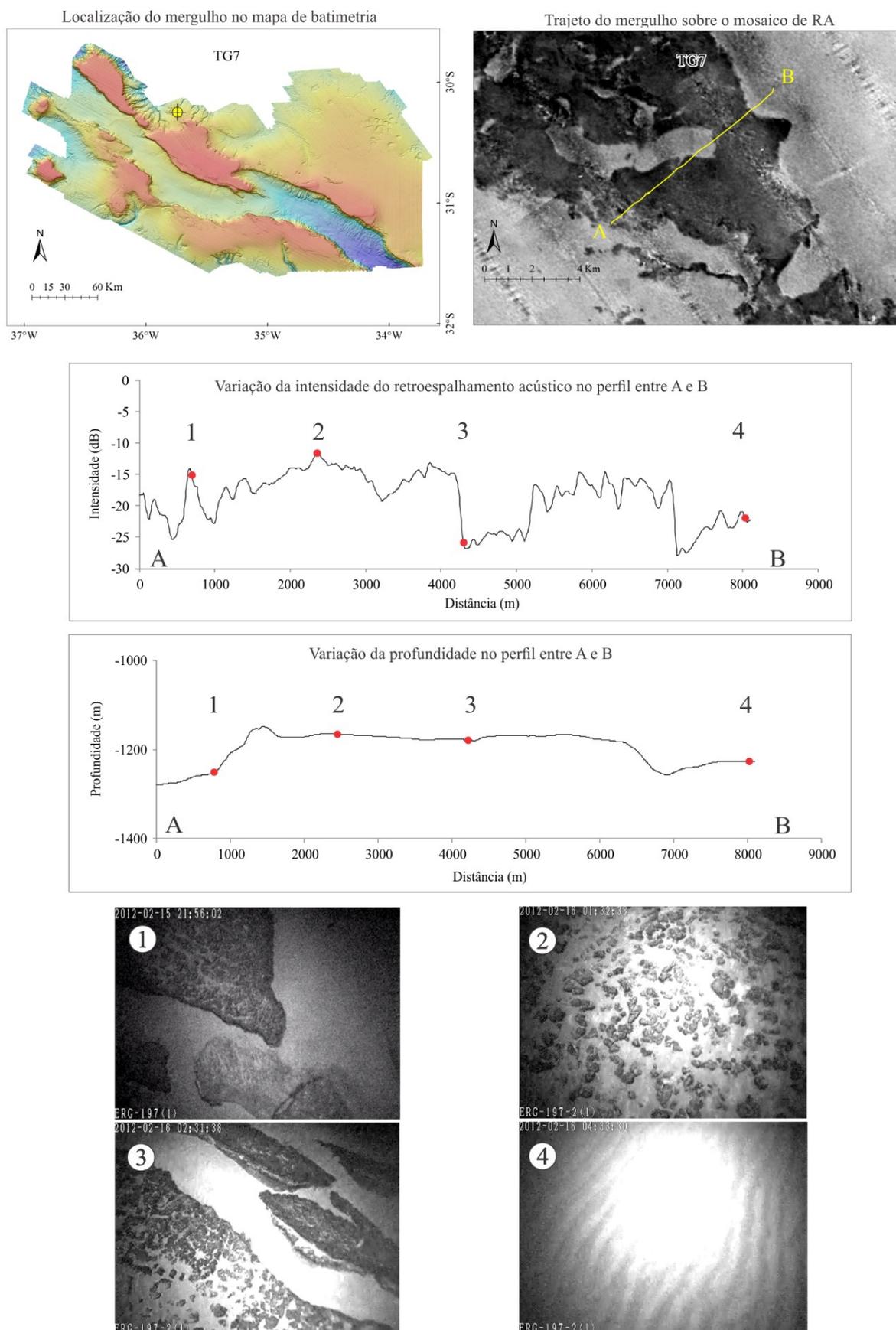


Figura 31 - Informações relativas ao mergulho TG7 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.6.8 TG 8 (ERG-187)

O perfil TG8 é mais curto dos registrados pelo TV Grab, começando no platô até os declives e flancos, mostrando primeiro um leito com marcas onduladas sobre uma porção rochosa e alguns organismos da megafauna bentônica (Figura 32- foto 1). Próximo ao declive mais acentuado da profundidade são identificadas crostas intercaladas com sedimentos e em alguns locais apenas crostas sem organismos visíveis (Figura 32- foto 3).

O último trecho mostra uma refletividade muito baixa (-30 dB), porém foi identificado na filmagem um leito sedimentar com grande cobertura de estruturas que parecem organismos (Figura 32- foto 4), o que poderia trazer maior rugosidade ao substrato.

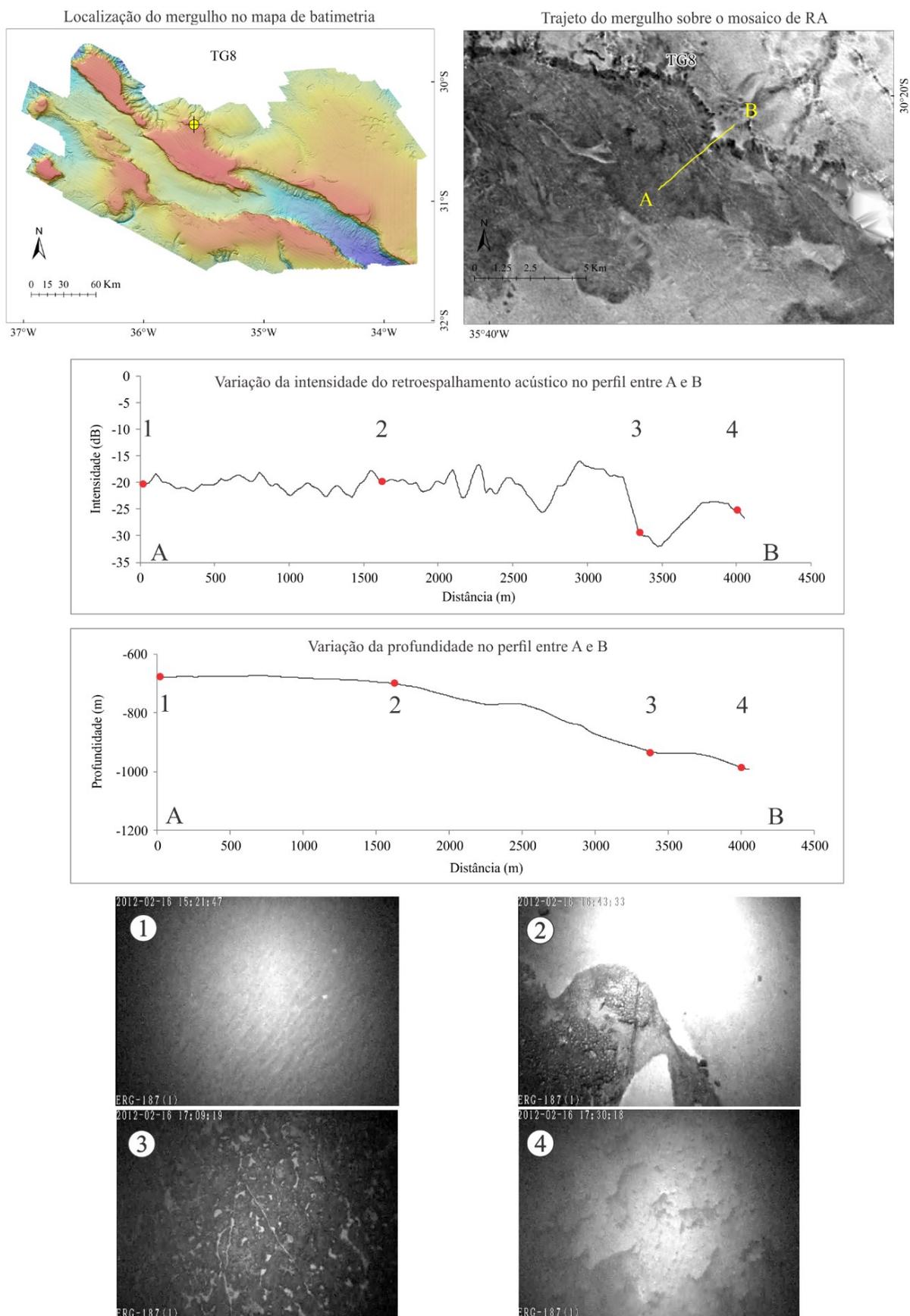


Figura 32 - Informações relativas ao mergulho TG8 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.7 Perfis do Shinkai

5.7.1 SK1 (Submersível Shinkai - mergulho 1338)

As imagens do submersível Shinkai possuem alta resolução e permitem identificar até mesmo algumas espécies de organismos num estudo de habitat feito por PEREZ et al (2018). O nome da área onde foi realizado o mergulho 1338, conhecido como “Coral Garden” foi modificado para “Sponge Garden” depois que a espécie *Sarostegia oculata* foi reconhecida como organismo predominante, com até 5 indivíduos por metro quadrado (HAJDU et al., 2017). A interpretação anterior considerando um campo de corais de águas profundas ocorreu pela estrutura visualizada, pois as esponjas carregam zoantídeos epibióticos que imitam a estrutura dos corais.

A primeira parte do perfil mostra marcas onduladas pequenas (Figura 33- foto 1), com fragmentos carbonáticos maiores compondo a crista da feição. Com a mudança de profundidade há uma transição para rochas angulares e bolsões de sedimentos preenchendo os espaços. Na borda da escarpa está localizada a maior quantidade de organismos, principalmente esponjas e ofiuroides. Esse seria o maior grau de rugosidade esperado em uma imagem de RA, pois apresenta apenas rochas e megafauna associada. Porém, pelo menos em relação unicamente à intensidade em decibéis, não foi considerada elevada se comparada com outros perfis, em torno de -20 dB.

Na região da foto 4 (Figura 33) o tipo de substrato muda para um platô de rochas sedimentares planares. Há uma variedade de pequenos organismos bentônicos fixados sobre as estruturas rígidas, porém possuem tamanho menor que na região anterior. As classes do BTM encontradas são flanco, declive e borda do platô, nesta ordem.

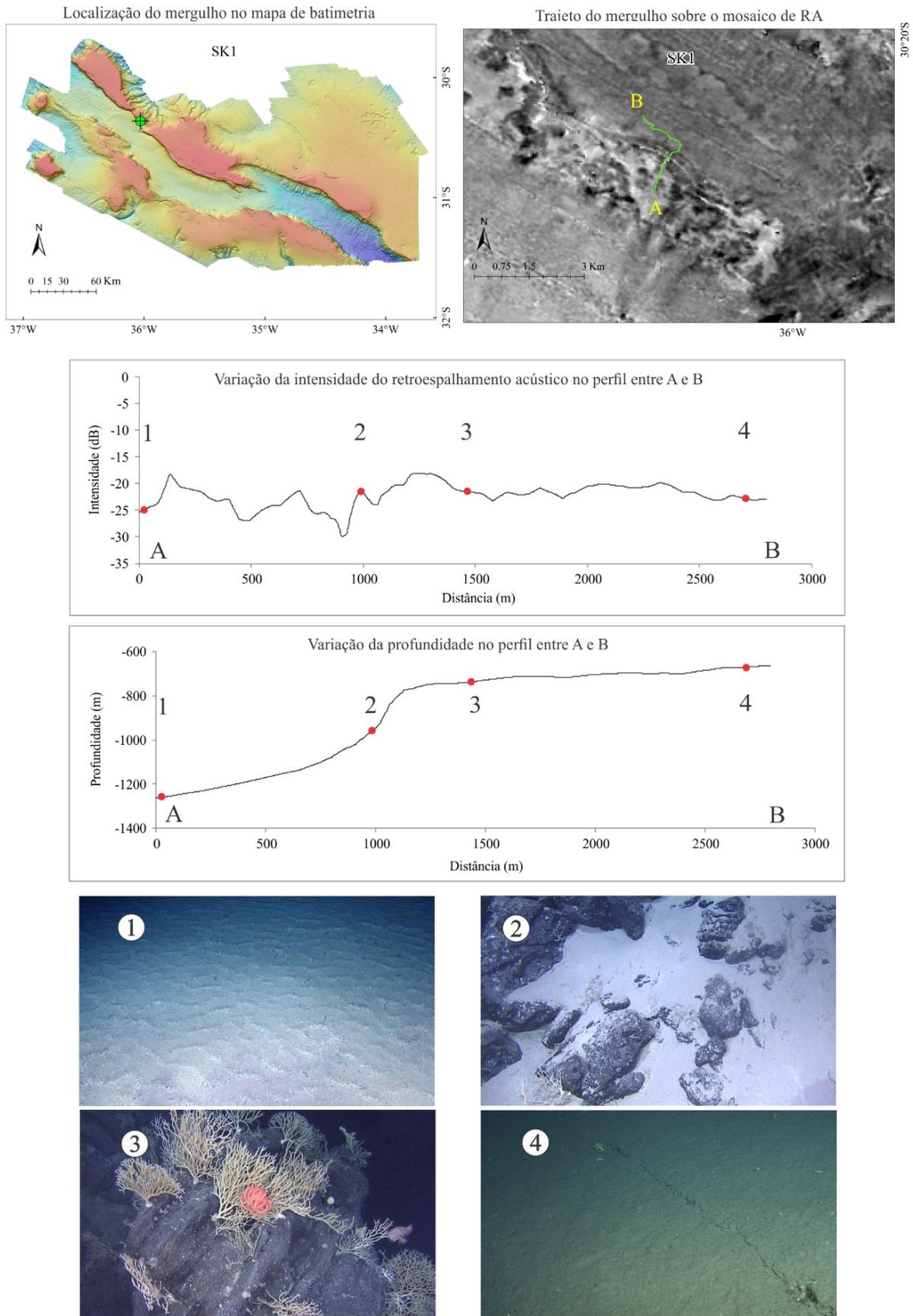


Figura 33 - Informações relativas ao mergulho SK1 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.7.2 SK2 – (Submersível Shinkai - mergulho 1339)

O perfil 1339 foi escolhido pois uma das dragagens feitas nesse local anteriormente trouxe uma amostra de rocha com provável origem continental. Com o submersível foi possível investigar a região do afloramento, mas não foram recolhidas novas amostras para testes.

A primeira imagem mostra marcas onduladas num leito de sedimentos que apresentam tamanho de grão maior e parecem se comportar como areia (Figura 34- foto 1). Quando começa a surgir substrato duro também aparecem muitos organismos colonizadores e fauna associada, como peixes e caranguejos. A segunda parte do perfil mostra crostas, muitas vezes cobertas por sedimentos mais finos e com formação de marcas onduladas. A intensidade do RA varia suavemente entre -25 dB até -15 dB e esta área foi classificada como “áreas planas” com alguns trechos de declives no final do perfil.

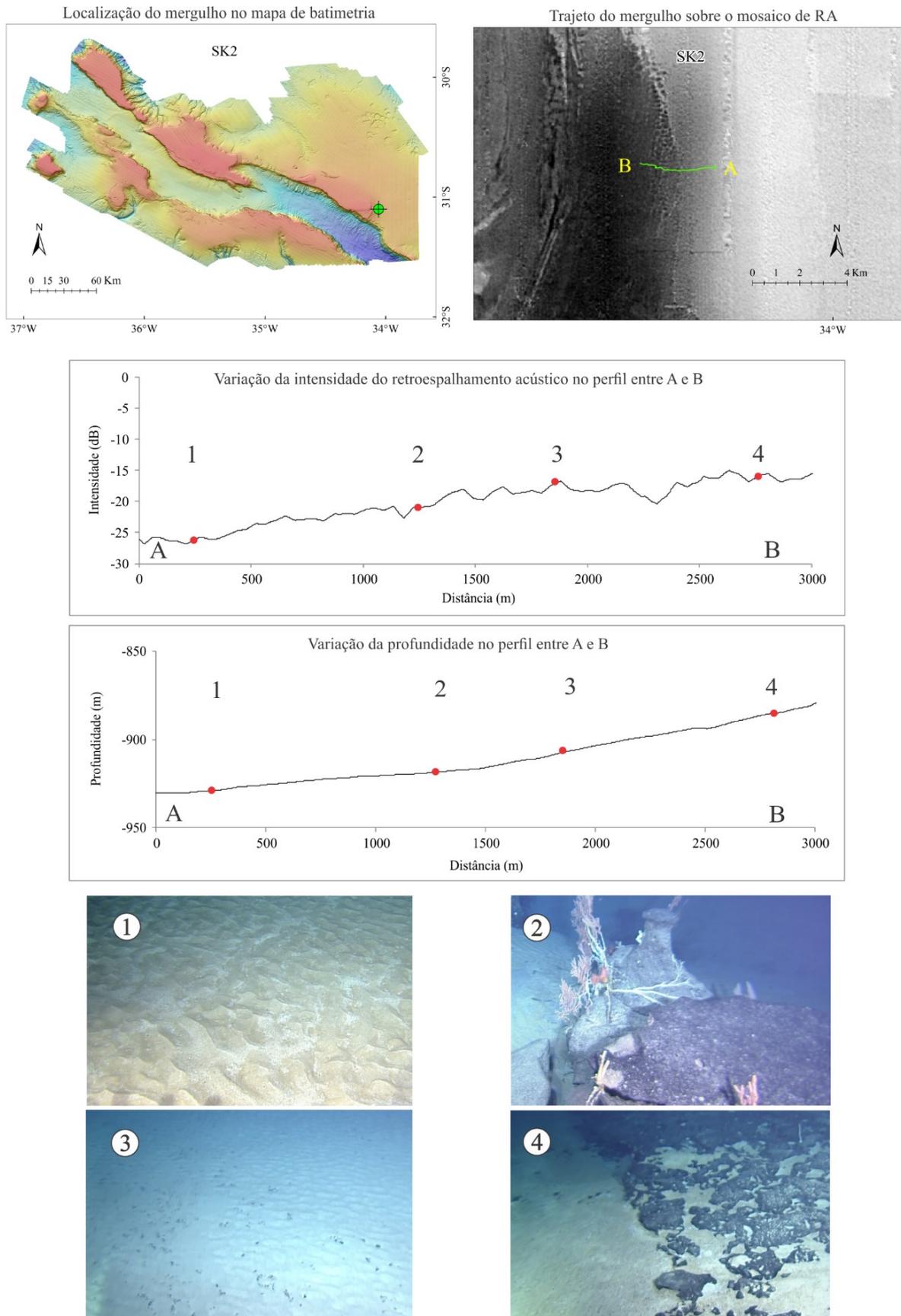


Figura 34 - Informações relativas ao mergulho SK2 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.7.3 SK3-T (Câmera de submersão TDK - Shinkai Tow Cam 157)

Foi planejado um mergulho do Shinkai na área dos pockmarks, mas as condições climáticas e de segurança não permitiram que o submersível fosse usado. Dessa forma foram recuperadas apenas imagens de uma câmera, que funciona de forma semelhante ao TV Grab, mas com imagens em alta resolução Figura 35.

O perfil mostra pequenas variações na intensidade do sinal do RA (Figura 35) entre -35 dB e -30 dB, sendo que a parte interior do pockmark também tem pontos de maior refletividade. A maioria das imagens apresenta o leito sedimentar com alguns trechos compactados e presença de fragmentos de rochas carbonáticas, cobertos por uma grande quantidade de carapaças de pterópodes e heterópodes. As formas circulares mostram o escape do gás (Figura 35- foto 3), onde há movimentação dessas carapaças mais leves e um efeito de peneiramento (*winnowing*). O local foi classificado pelo BTM como áreas planas, com alguns trechos de declive.

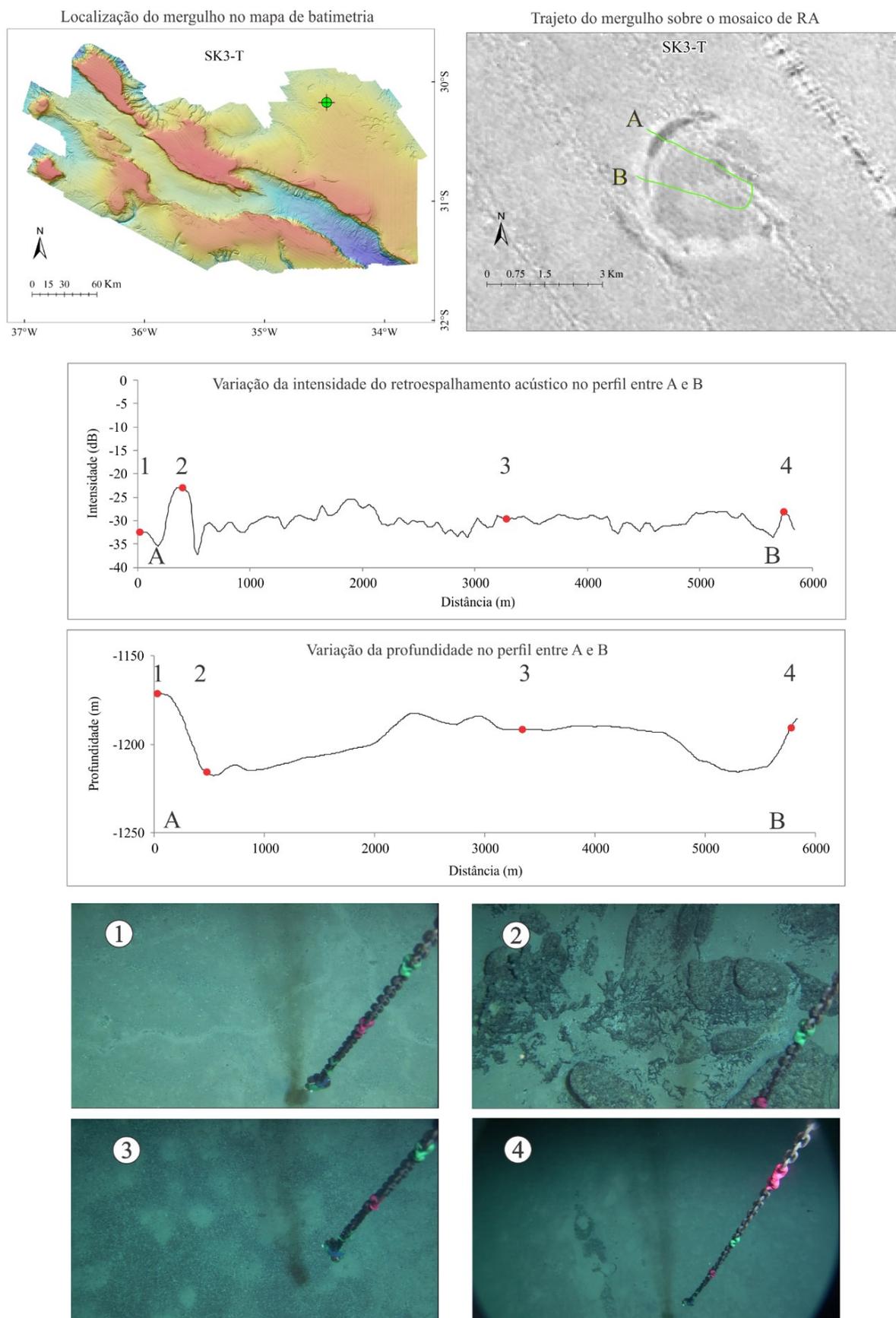


Figura 35 - Informações relativas ao mergulho SK3 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.8 Perfis do ROV

Diversos organismos, sésseis e vágeis nas mais variadas formas, tamanhos e grupos taxonômicos foram identificados por biólogos durante essa expedição. Ao todo foram reconhecidos 102 táxons, número que pode aumentar após a conclusão de estudos de espécimes que foram coletados durante os mergulhos. Mais da metade dos táxons identificados (54%) pertencem a apenas dois grupos: Cnidaria (34%) e Porifera (20%). A identificação de espécies presentes em cada ambiente terá efeito de reconhecimento apenas, pois não serão aplicadas metodologias de distribuição de indivíduos para determinação dos habitats.

5.8.1 RV1 (ERG AMB I - 19)

O leito é sedimentar em todo o mergulho, com características de lama carbonática e marcas de bioturbação (Figura 36). As profundidades variam de aproximadamente 1400 a 1500 m e são encontradas sempre muitas marcas no fundo, que se assemelham a marcas artificiais deixadas por equipamentos arrastados, ou que tocam o substrato intermitentemente (Figura 36 – 2). Pela extensão destas marcas, que ocorrem por todo o mergulho e são avistadas em todas as direções, também pode-se associá-las à atividade de animais. Houve muitos registros de peixes e outros organismos sésseis com mais frequência no final do mergulho.

Alguns depósitos de pterópodes foram encontrados preenchendo cavidades do substrato (Figura 36 – 3). A intensidade do RA teve pouca variação, com valores em torno de -30 dB, pois o fundo é muito homogêneo. Foram encontradas espécies características de fundos inconsolidados como o coral bambu (*Acanella* sp.) e a esponja de vidro (Ordem Hexactinellida). A classificação do BTM foi em áreas planas, com pequenos trechos de declives.

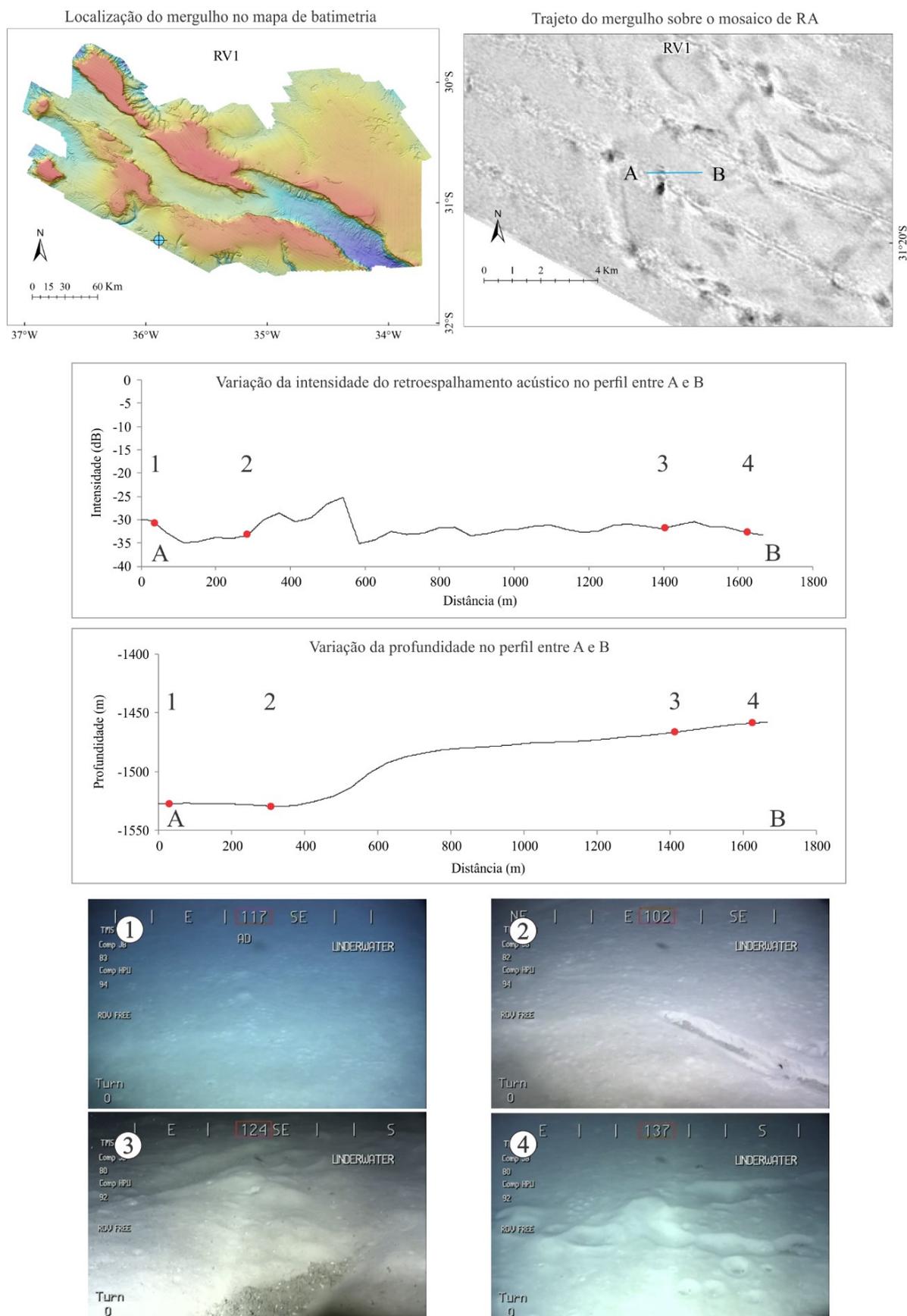


Figura 36 - Informações relativas ao mergulho RV1 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.8.2 RV2 (ERG AMB I - 20)

A maior parte do trajeto RV2 representa um leito de CFRCs planares cobertas por uma fina camada de sedimentos (Figura 37- foto 1). No final do mergulho é possível observar um grande acúmulo de pterópodes formando dunas. Estas carapaças triangulares entram em suspensão na coluna de água com a interferência do ROV e foram observadas flutuando muito próximas à câmera.

As diferenças que foram identificadas no substrato também podem ser visualizadas no mosaico do RA. O perfil inicia em A, variando de -15 dB e termina em B com valores de aproximadamente -25 dB (Figura 37). Algumas feições no formato de dunas estão visíveis na parte direita do mosaico e correspondem às dunas formadas por pterópodes.

Marcas onduladas ocorrem em vários pontos sobre as crostas (Figura 37- foto 1 e 3) indicando possível ação de correntes nessa área. A influência dos sedimentos na variação da intensidade do RA se deve provavelmente à maior espessura deste material no ponto 3 do que à existência das marcas onduladas.

Abaixo da crosta pode haver erosão das rochas fosfáticas/carbonáticas que formam o substrato, causando espaços vazios que servem de abrigo para alguns organismos vágeis (Figura 37- foto 2).

Ressalta-se a presença marcante de exemplares da esponja *Sarostegia oculata*, corais negros (Ordem Antipatharia), octocorais (Família Primnoidae) e esponjas de vidro. O tipo geomórfico classificado é de áreas planas, intercalado por declives.

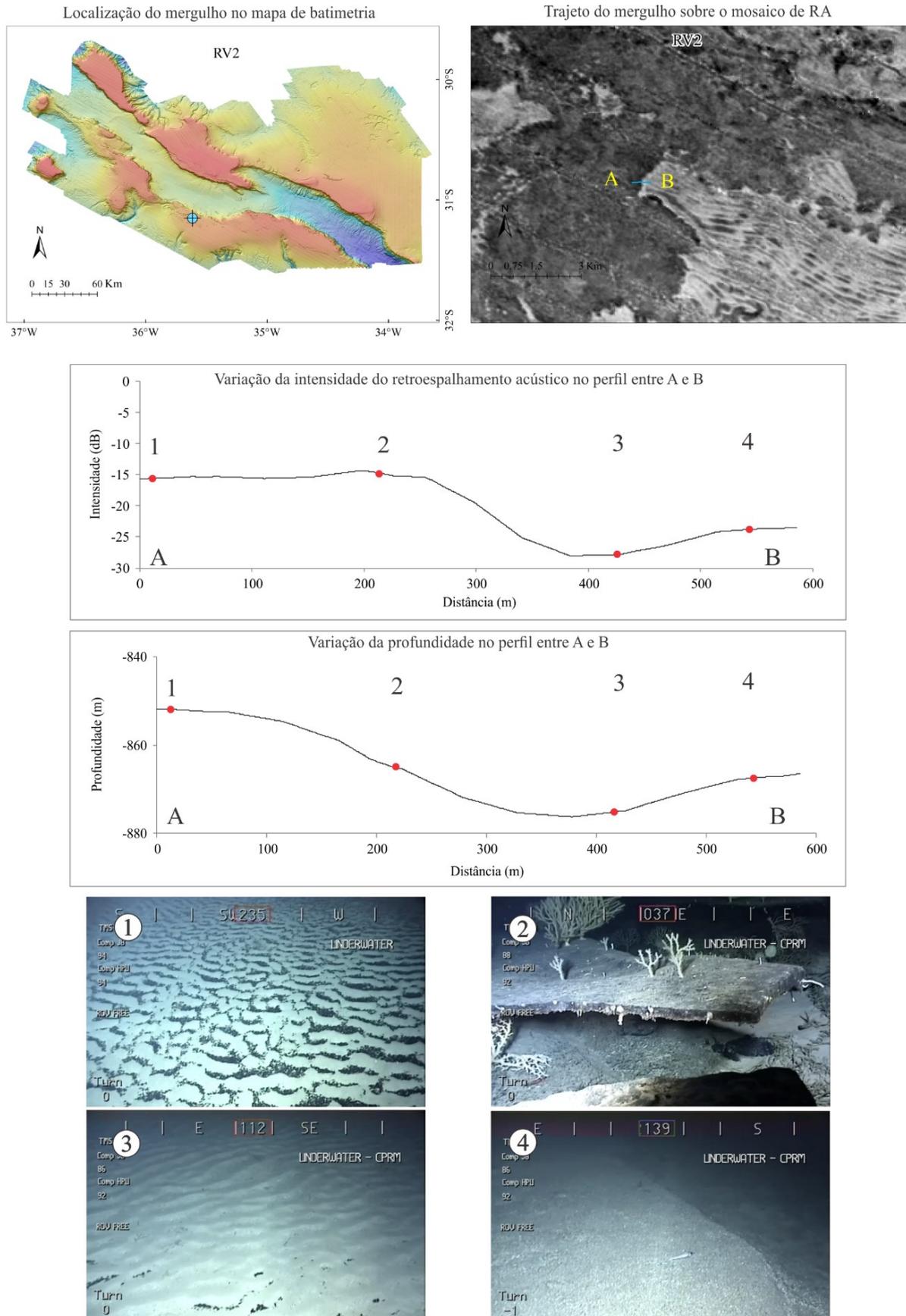


Figura 37 - Informações relativas ao mergulho RV2 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.8.3 RV3 (ERG AMB I - 21)

Este ponto foi realizado dentro do graben a uma profundidade aproximada de 1600 m, em uma área próxima à algumas dunas submersas identificadas tanto na batimetria quanto nos dados de intensidade do RA. O leito é predominantemente sedimentar, com presença marcante de pterópodes (Figura 38- foto 2).

Marcas onduladas grandes foram observadas orientadas a aproximadamente 115 graus, indicando um fluxo aproximadamente SO-NE. A presença de correntes dentro do graben seguindo o gradiente batimétrico regional são evidentes em outras feições próximas de maior escala. O afloramento de algumas rochas sedimentares pode indicar que a área tem mais erosão do que deposição no momento (Figura 38- foto 4). A megafauna bentônica registrada compreendeu espécimes típicos de fundos inconsolidados, como corais penatuláceos (Ordem Pennatulacea), coral bambu (*Acanella* sp.) (Figura 38 – 3) e anêmonas tubo (Ordem Ceriantharia), além de diferentes morfotipos de esponjas (Ordem Hexactinellida). A classificação do BTM foi compreendida totalmente em áreas planas.

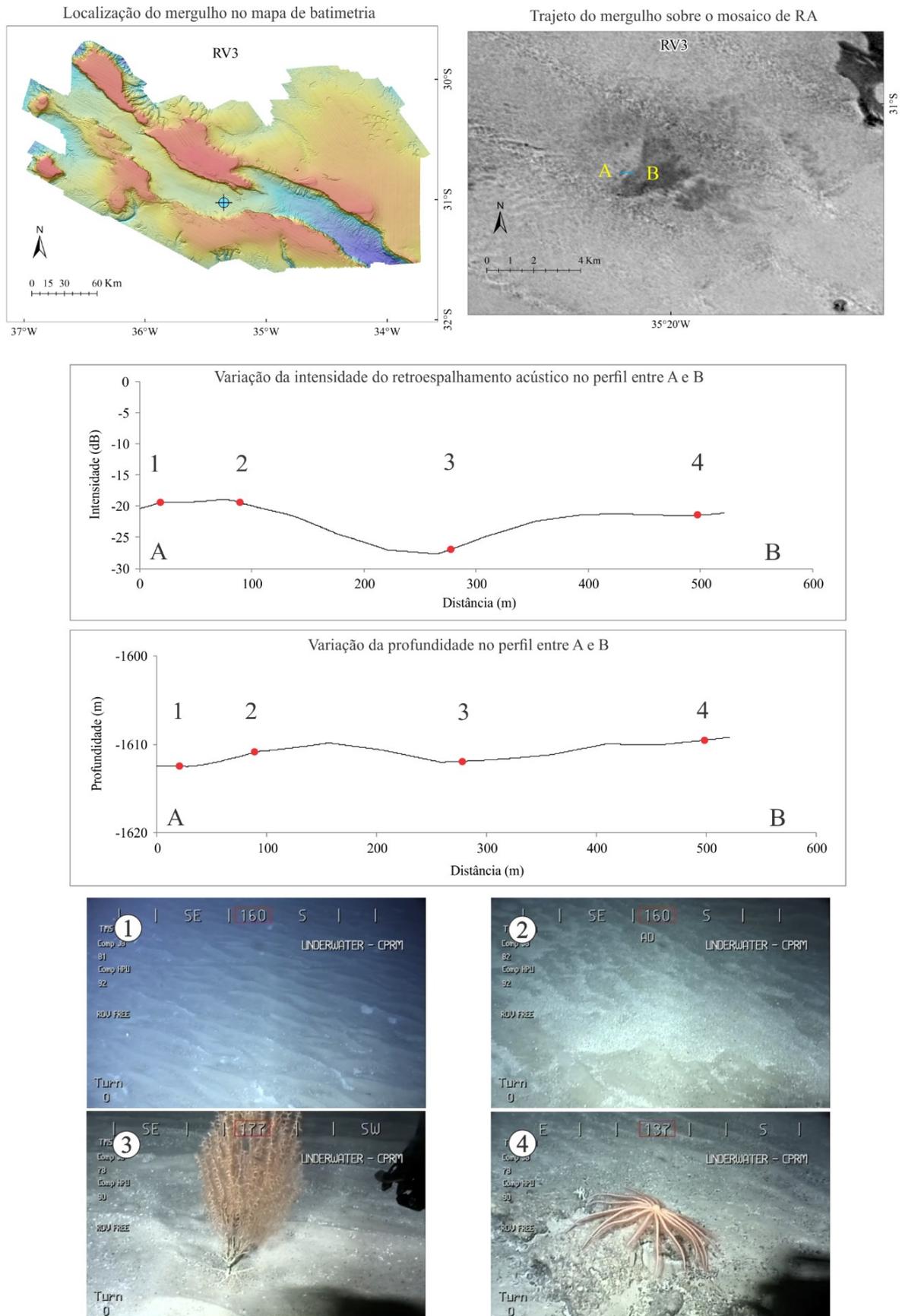


Figura 38 - Informações relativas ao mergulho RV3 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.8.4 RV4 (ERG AMBI – 22)

Este trajeto foi realizado com uma variação de profundidade significativa para o equipamento ROV, subindo o declive entre 1100 m até 800 m. O substrato também tem muita heterogeneidade, com grandes blocos arredondados de crostas em alguns trechos e outras regiões planas sedimentares com marcas onduladas (Figura 39- fotos 1 e 2 respectivamente).

As crostas estão sobre o afloramento rochoso ígneo, mas é preciso uma investigação mais minuciosa para verificar com precisão quais tipos de rochas compõe esse ambiente. Tanto os afloramentos quanto o substrato inconsolidado estão colonizados por organismos da megafauna bentônica, como corais, anêmonas e esponjas. Os valores da intensidade do RA são muito altos, chegando próximos a -5 dB e as classes geomórficas variam de flancos a declives e áreas planas.

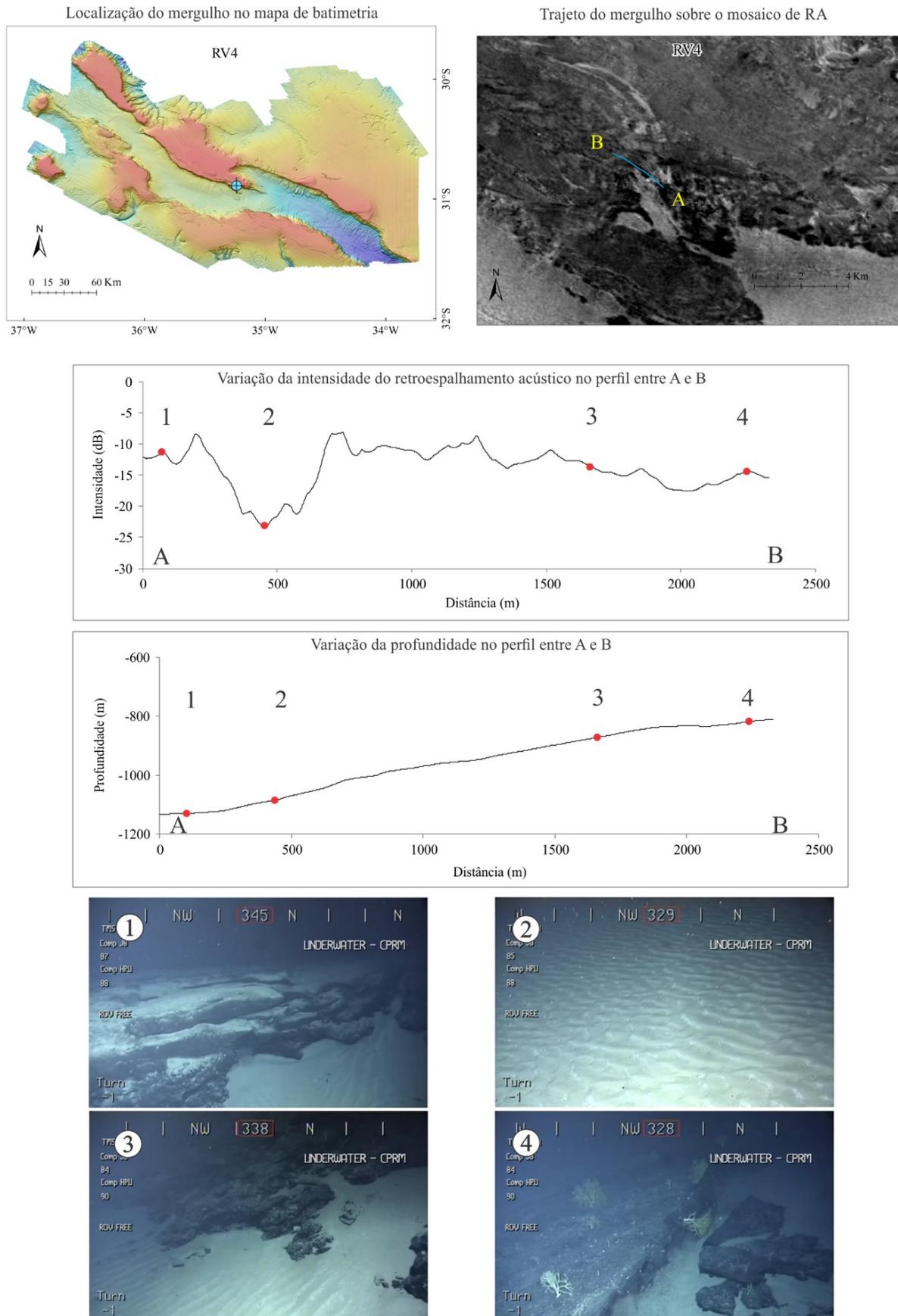


Figura 39 - Informações relativas ao mergulho RV4 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.8.5 RV5 (ERG AMBI I - 05)

O trajeto RV5 não apresenta variação significativa nos valores de intensidade do RA (~ -20 dB) e na profundidade (Figura 40). Aproximadamente 610 m, numa das regiões mais rasas da ERG, classificada como tipo geomórfico platô, o substrato varia entre crostas muito fraturadas parcialmente cobertas por sedimentos e áreas sedimentares com marcas onduladas e alguns fragmentos rochosos esparsos.

A granulometria do material é aparentemente grossa, com coloração para tons de marrom claro que pode indicar a composição de vasas de foraminíferos. Há acúmulo de pterópodes em algumas áreas. A megafauna é composta por diferentes morfotipos de corais negros (Ordem Antipatharia), octocorais (Família Primnoidae) e esponjas (Classe Hexactinellida).

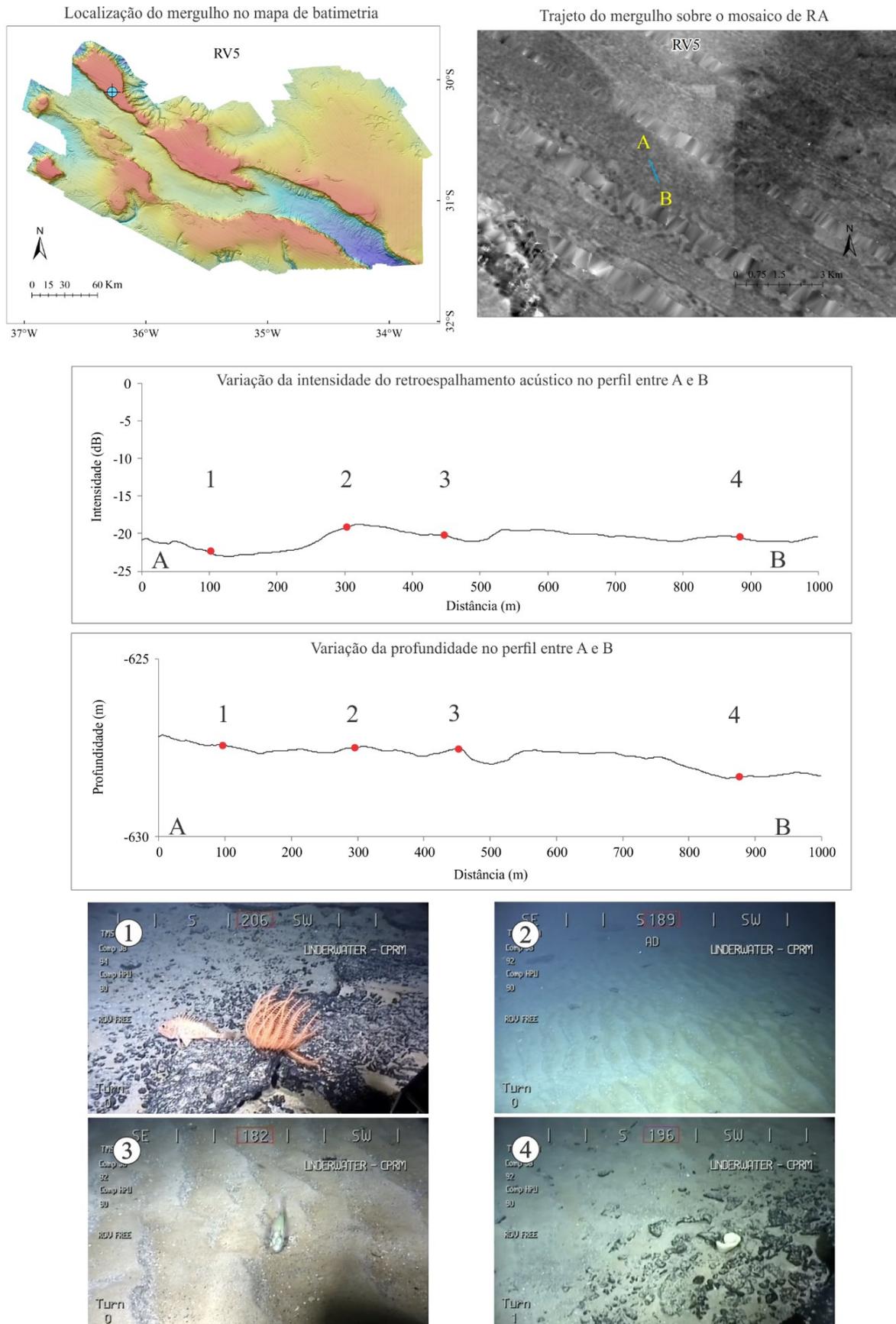


Figura 40 - Informações relativas ao mergulho RV5 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.8.6 RV6 (ERG AMBI I - 06)

Esta investigação do fundo marinho foi realizada na escarpa noroeste exterior da ERG, onde existem muitas ravinas e vales (Figura 41). O perfil inicia em 1600 m de profundidade em uma área com muitos desníveis, intercalação entre sedimentos e crostas, mas sem formas de fundo definidas. O tipo de sedimento que compõe o fundo parece ser mais fino e apresenta bioturbação (Figura 41- fotos 2 e 3)

Assim como no perfil RV1, há várias marcas no sedimento (Figura 41- foto 3). A profundidade e o tipo de substrato são relativamente semelhantes nestes dois mergulhos, então pode-se sugerir que o processo causador das marcas deve ser o mesmo para os dois locais.

A porção rochosa é colonizada por corais negros (Ordem Antipatharia), octocorais (Família Isididae) enquanto que na planície foram observados corais penatuláceos (Ordem Pennatulacea), anêmonas (Ordem Actiniaria), esponjas (Classe Hexactinellida), equinodermos (Ordem Holothuroidea) e peixes.

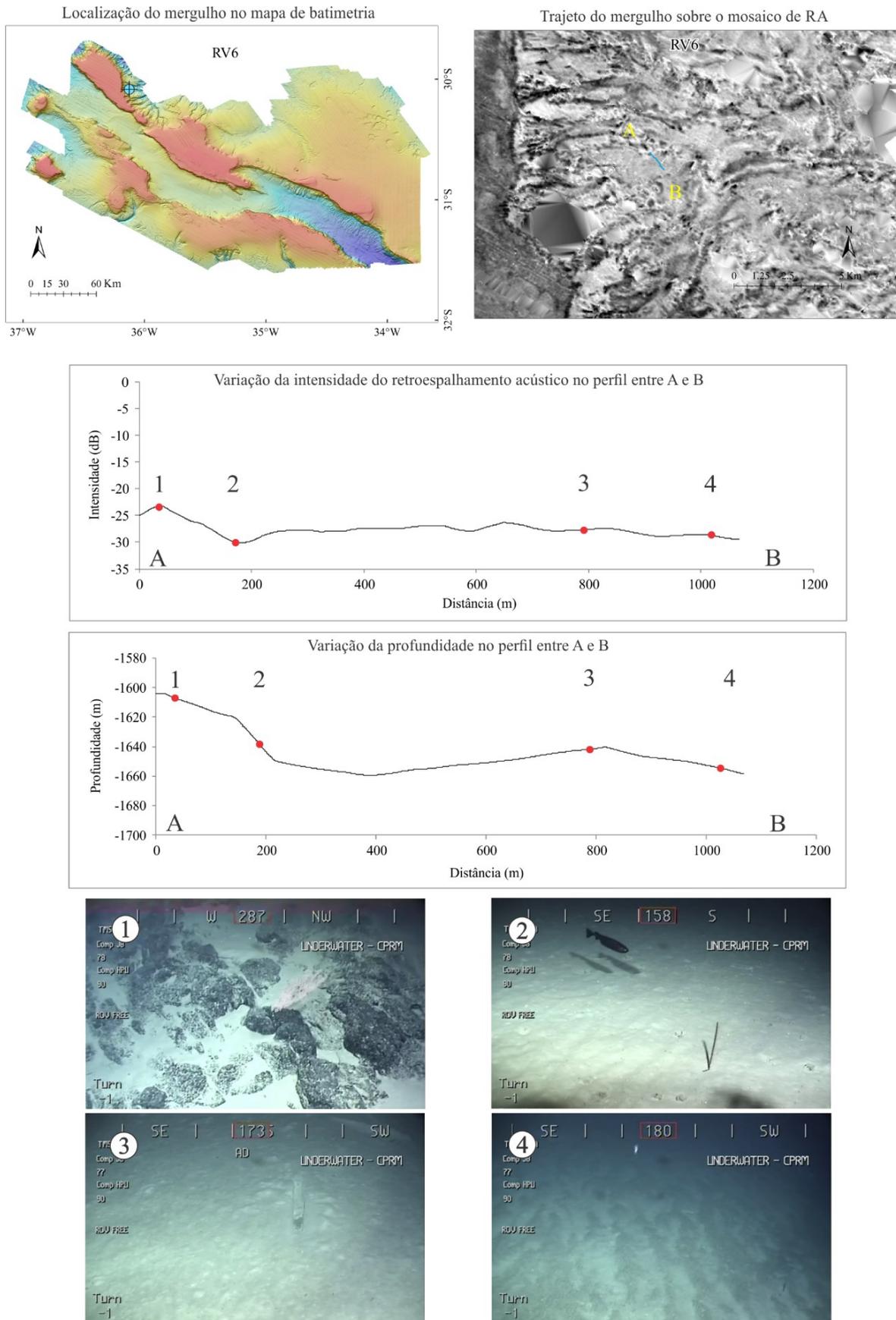


Figura 41 - Informações relativas ao mergulho RV6 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.8.7 RV7 (ERG AMB II - 02a)

Este mergulho começa em uma área que se assemelha visualmente a um leito sedimentar, principalmente pela coloração e textura. Apresenta também uma grande distribuição de organismos colonizadores quando comparado a outros ambientes inconsolidados que foram investigados (Figura 42). Depois de um tempo de observação é feita uma tentativa de coletar no substrato com o ROV, quando se nota que o substrato é rígido, provavelmente carbonáticos-fosfático. Apenas em uma área se observa presença de CFRCs (Figura 42- foto).

O trajeto RV7 é o mais longo feito pelo ROV, com 12 horas de duração e 7 km de extensão. Este mesmo trecho foi dragado pelo SGB-CPRM em 2013 e no final do trajeto foram identificadas as marcas brancas no substrato deixadas pelo equipamento (Figura 42- foto 4). Ainda nesta área foram visualizadas rochas esparsas, talvez “*drop stones*”.

Em relação a megafauna bentônica, representantes do Filo Cnidaria foram os mais registrados, com destaque para espécies de corais negros (Ordem Antipatharia) e coral scleractíneo *Enallopsammia rostrata*, espécie formadora de recifes de profundidade. Os tipos geomórficos iniciam em declive e borda do platô, mas são predominantemente platô.

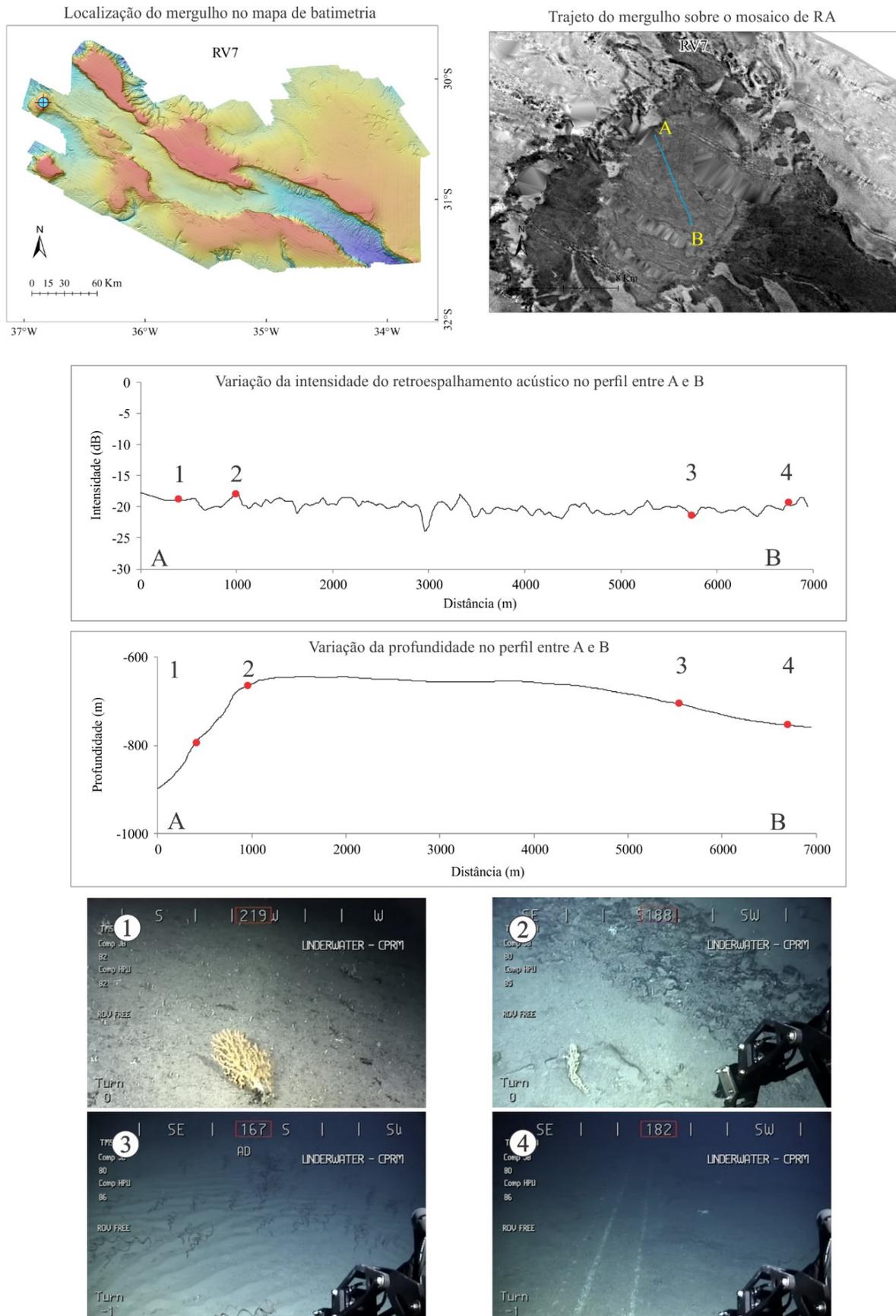


Figura 42 - Informações relativas ao mergulho RV7 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.8.8 RV8 (ERG AMB II - 02b)

Trecho próximo ao ponto RV7, a uma profundidade maior entre 1300 m e 1400 m. O leito marinho é composto de crostas soltas e arredondadas, e também tabulares cobertas por uma fina camada de sedimentos com marcas onduladas (Figura 43), porém com granulometria possivelmente tendendo a finos.

Não há presença de muitos organismos colonizadores e outros da fauna associada, como peixes e moluscos. Foram observados espécimes pertencentes a Subclasse Octocorallia, famílias Isididae e Chrysogorgiidae, e ao Filo Echinodermata, Classes Echinoidea, Holothuroidea e Asteroidea. As classes do BTM foram áreas planas e declives.

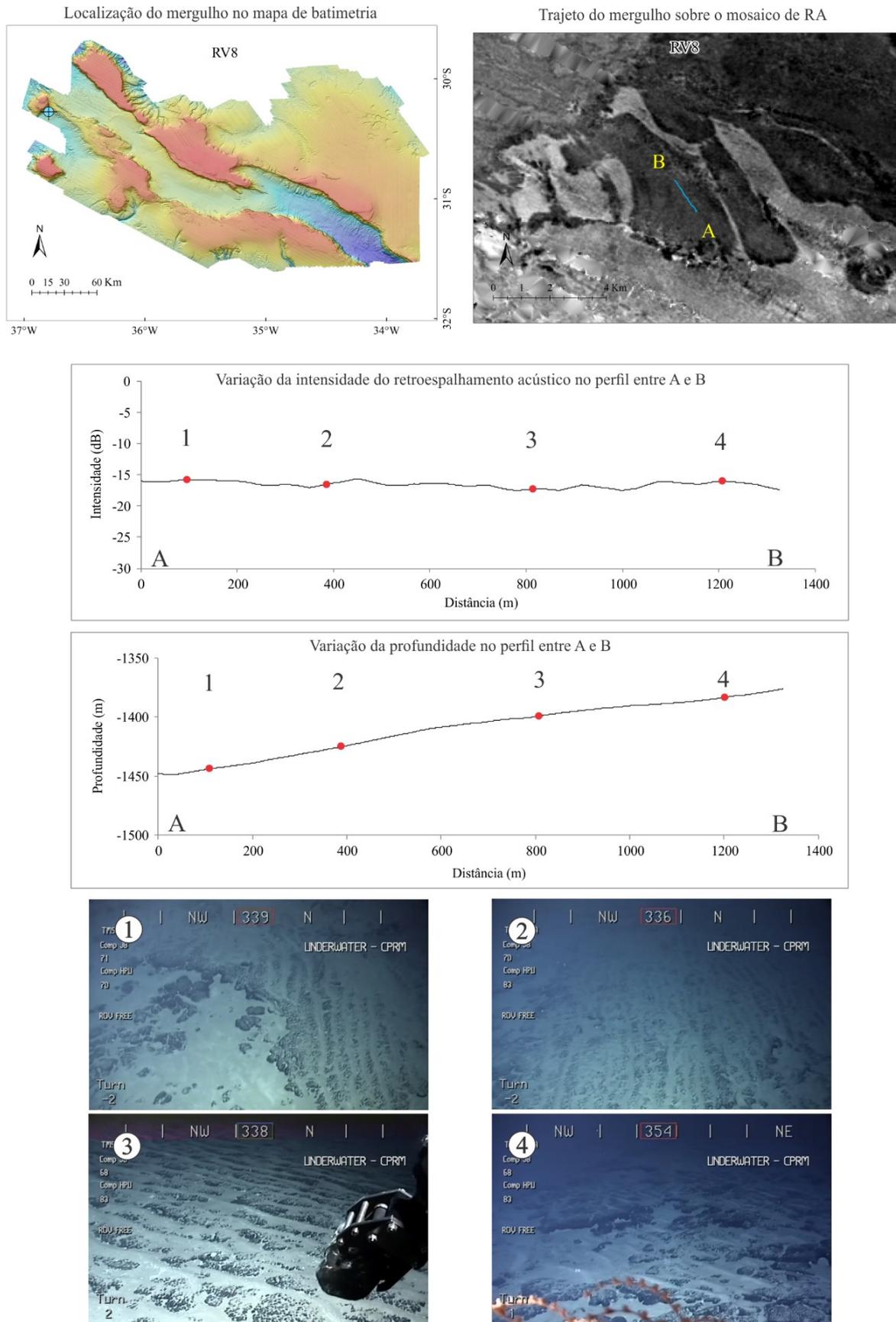


Figura 43 - Informações relativas ao mergulho RV8 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.8.9 RV9 (ERG AMB II - 16)

O perfil inicia com um substrato sedimentar e muitas marcas onduladas orientadas a aproximadamente 60 a 70 graus (NE-SO). O sedimento é aparentemente grosso e com algum material branco acumulado após as cristas das feições de fundo (Figura 44). Há presença de organismos como corais penatuláceos sobre os sedimentos.

Quando se aproxima do meio do perfil há uma transição entre o material sedimentar e a intercalação das CFRCs. Os dois ambientes são distinguíveis tanto nas imagens quanto nos dados de intensidade do RA (Figura 44- foto 3) e estão delimitados por uma depressão no relevo do fundo. Nessa cavidade estão depositadas grandes quantidades de sedimentos biogênicos, formando dunas. Os organismos encontrados colonizando as crostas foram esponjas (Classe Hexactinellida) e octocorais (Famílias Chrysogorgiidae e Isididae). O perfil está em áreas planas e declives.

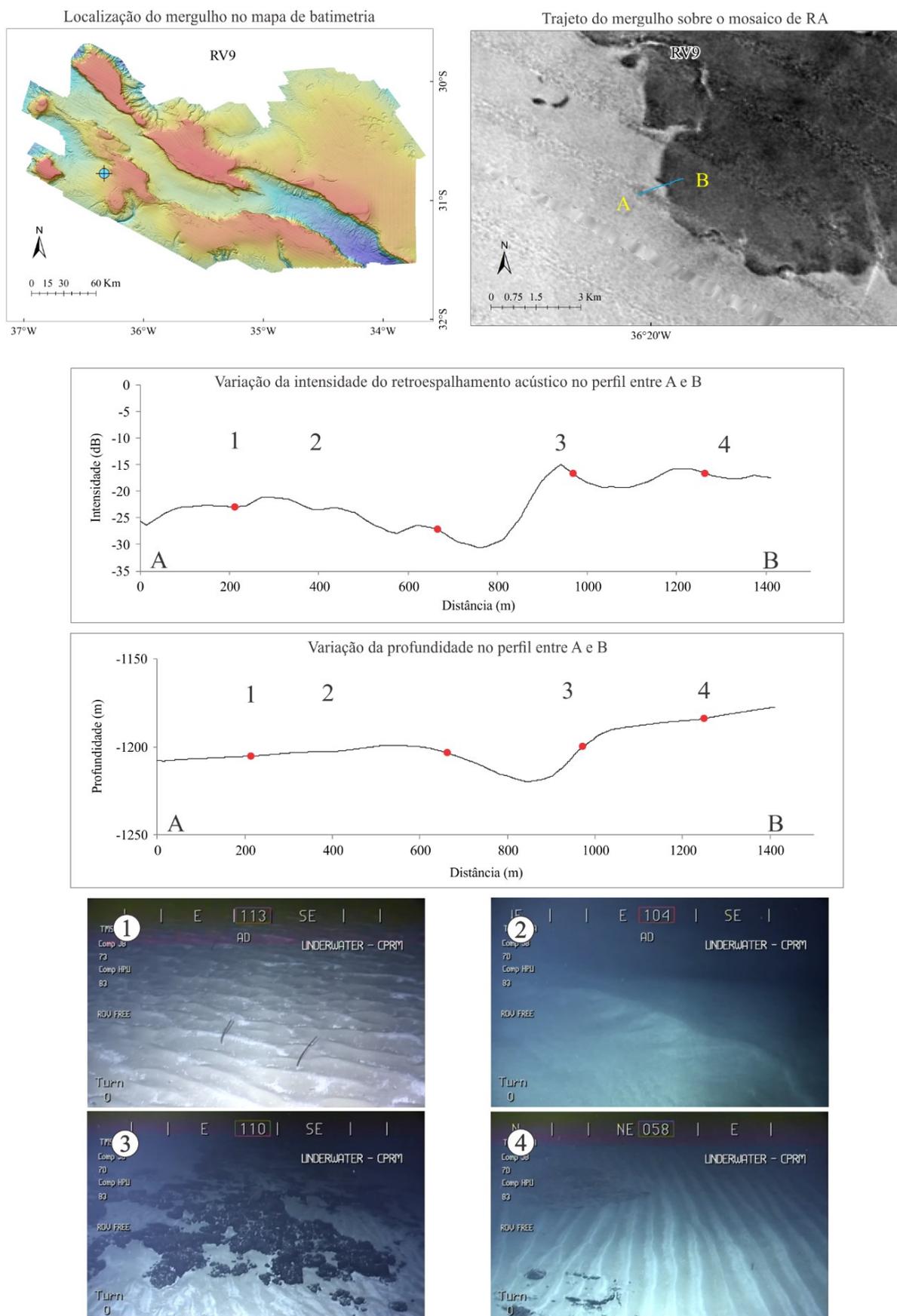


Figura 44 - Informações relativas ao mergulho RV9 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.8.10 RV10 (ERG AMB II - 15)

Localização rasa entre 680 m a 670 m, próxima à escarpa do graben, este local classificado como borda dos platôs apresenta predominância de crostas, com grande colonização de organismos bentônicos sésseis e uma área transicional composta apenas de substrato carbonático-fosfático (Figura 45- fotos 3 e 4). Nota-se que os valores de intensidade do RA não mudam de forma significativa quando o substrato muda, na faixa dos -25 dB, sugerindo que podem ter o mesmo tipo de resposta. Porém, estes resultados do RA são relativamente baixos se comparados com os outros substratos consolidados encontrados na ERG.

Há muita diversidade de espécies: nas crostas observa-se uma alta concentração de esponjas da espécie *Sarostegia oculata*, além de outros morfotipos de esponjas da classe Hexactinellida, bem como octocorais da família *Isididae* e equinodermos (Filo Echinodermata). No substrato carbonático-fosfático predomina a fauna vágil, como ouriços e estrelas, ao final do perfil foi registrado o coral pétreo *Enallopsammia rostrata*.

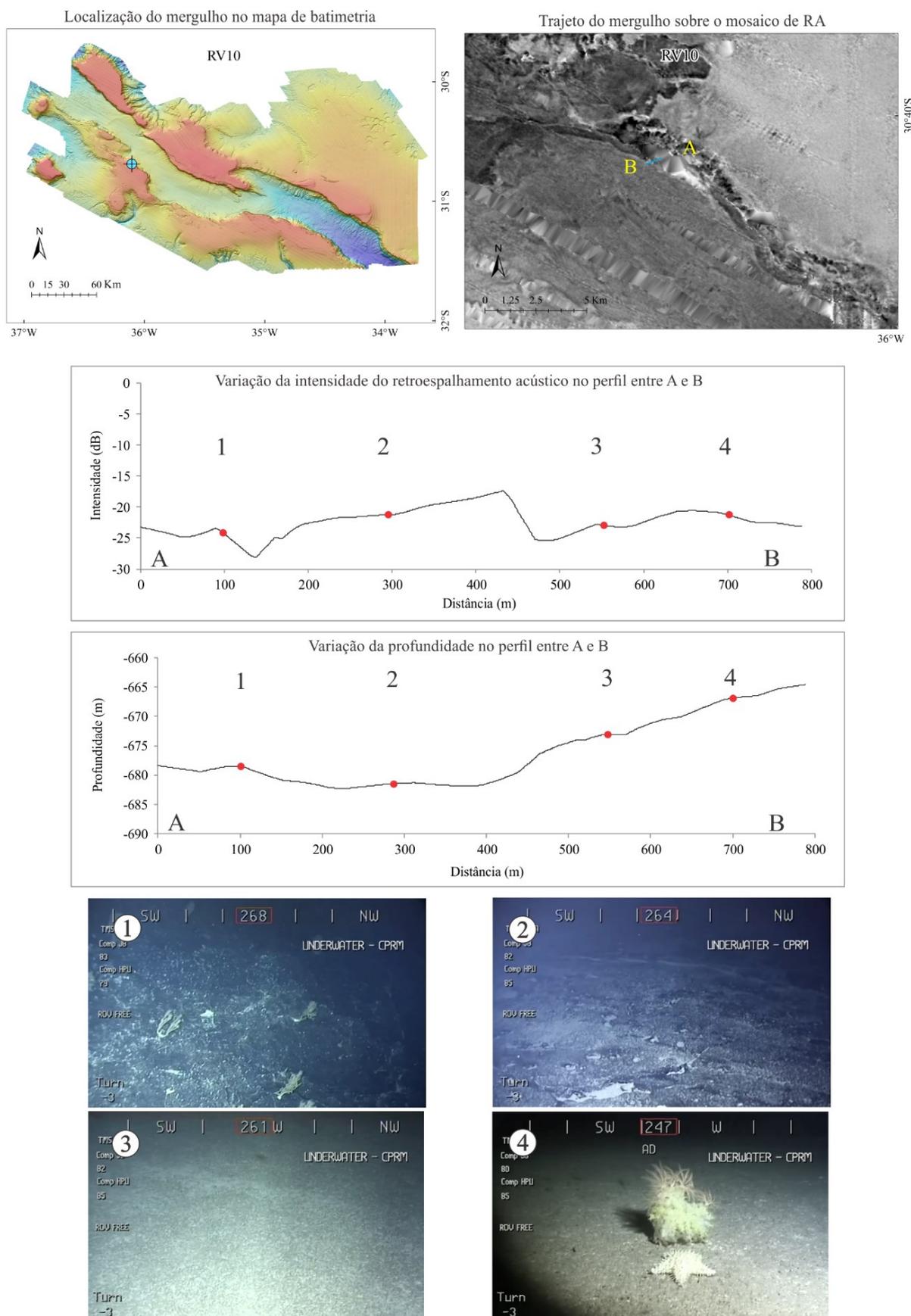


Figura 45 - Informações relativas ao mergulho RV10 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo)

5.8.11 RV11 (ERG AMB II - 14)

Perfil muito homogêneo e sem grandes variações nos valores de profundidade e de intensidade do RA, em média -27 dB (Figura 46). Foi realizado dentro do graben e está em um ponto classificado como áreas planas, mas ao contrário do mergulho RV3 descrito anteriormente, não há indícios da atuação de correntes nessa região.

O leito sedimentar tem granulometria fina, compactado, com inúmeras incisões no substrato que são atribuídas à atividade biológica (bioturbação). Visualmente as imagens obtidas são bem semelhantes ao mergulho RV1, realizado à uma distância considerável e fora do graben. Espécimes de octocorais ocorreram na região, incluindo o Gênero *Acanella*, um indicador de fundo composto por sedimento.

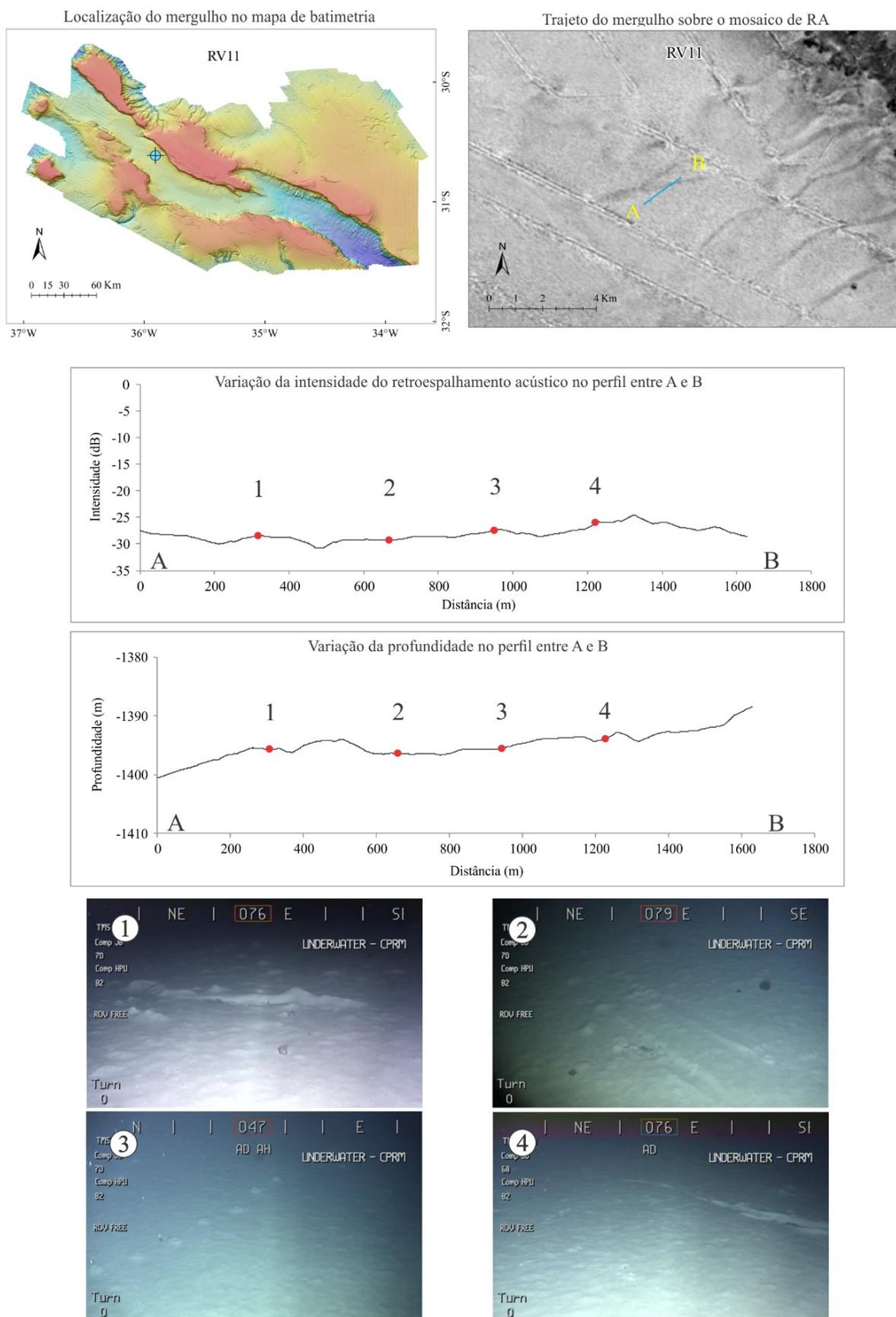


Figura 46 - Informações relativas ao mergulho RV11 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.8.12 RV12 (ERG AMB II - 13)

Esta área foi investigada por suas características interessantes do ponto de vista geológico, oceanográfico e paleoambiental. Na batimetria e no RA foram identificadas feições semelhantes a dunas (ver item 5.10), cobrindo uma área de 290 km² e com cristas contínuas por mais de 30 km.

Localizado sobre o tipo geomórfico platôs e iniciando em profundidades de 640 m, a princípio foi observado um leito sedimentar com marcas onduladas e alguns acúmulos de sedimentos maiores. Quando foi iniciada a coleta de um organismo com o ROV tornou-se visível o substrato fosfático-carbonático coberto por uma camada espessa de sedimentos (Figura 48).

Na área das dunas o tipo de sedimento aparenta ser mais grosso e num tom marrom claro a amarelo (Figura 48- foto 2). No meio estão sedimentos brancos e muitas marcas onduladas transversais.

Foram registrados espécimes do Filo Cnidaria, como octocorais e corais negros, sendo o último mais comum e com maior variedade de morfotipos. O mergulho terminou em um afloramento rochoso colonizado principalmente por esponjas de vidro (Classe Hexactinellida). Antes de chegar ao paredão rochoso foram observadas estruturas muito semelhantes a estromatólitos (Figura 47).



Figura 47 - Imagens do substrato mostrando formações semelhantes a estromatólitos no mergulho RV12.

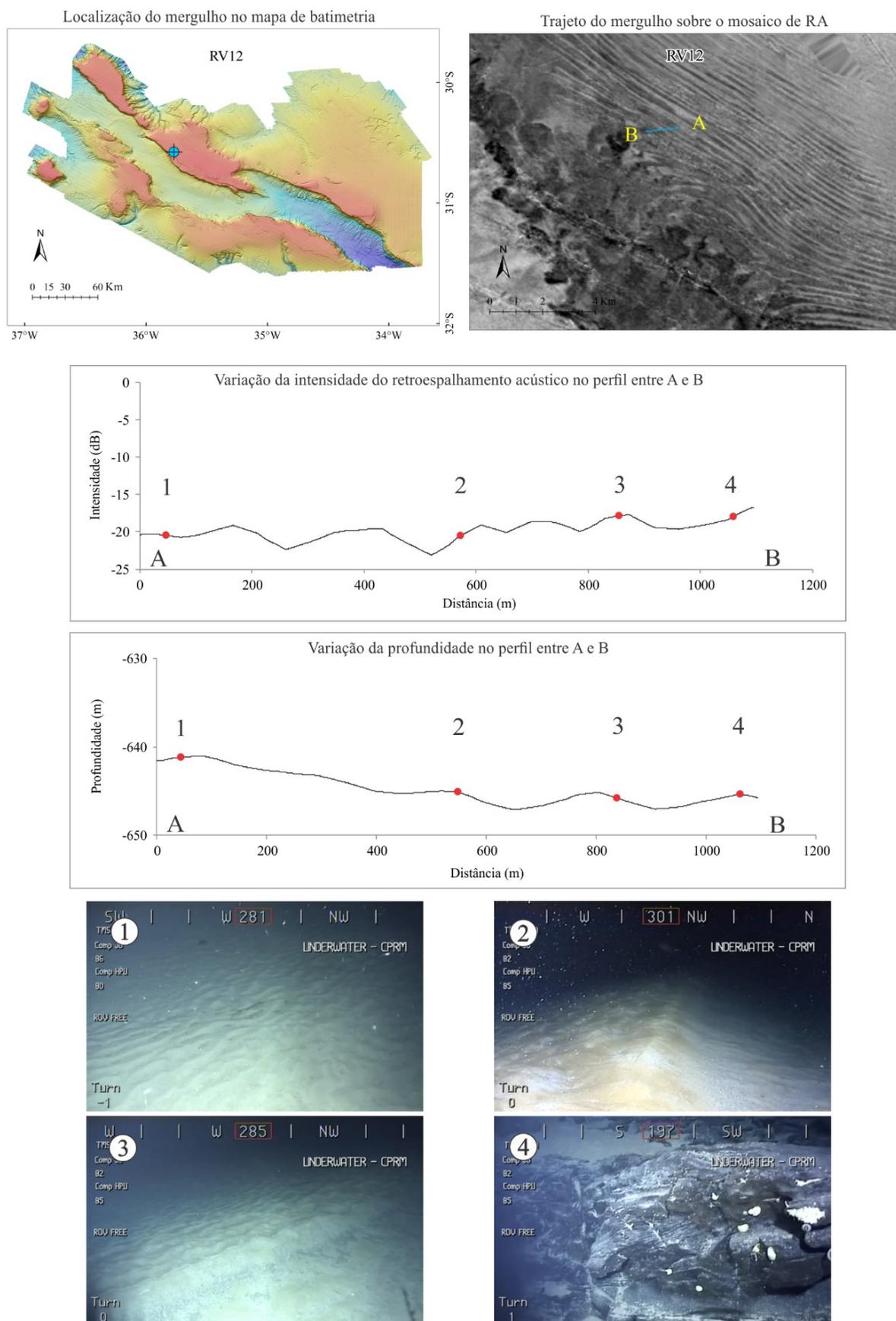


Figura 48 - Informações relativas ao mergulho RV12 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.8.13 RV13 (ERG AMB II - 12)

Quase a totalidade dos registros do mergulho RV13 mostraram um leito sedimentar e apenas no final do trajeto foram avistados alguns fragmentos de crosta esparsos (Figura 49- foto 4). A classificação do BTM variou entre áreas planas e declives.

As feições registradas neste mergulho se assemelham a dunas, com acúmulo de sedimentos brancos na face mais inclinada. Com orientação de aproximadamente 105 graus em um dos pontos (Figura 49- foto 1), quase L-O, e os sedimentos acumulados na face norte, poderiam indicar um fluxo importante de sul para norte, tanto causado por correntes como por deslocamento de massa gravitacional. As dunas parecem estar separando diferentes estratos de profundidade nessa região.

O sedimento foi movido pelo ROV e aparenta ser uma areia composta de foraminíferos. No final do mergulho há uma transição para sedimentos mais finos e bioturbados. Os organismos presentes são característicos de fundo inconsolidado, como *Cerianthus* (Ordem Ceriantharia) e corais penatuláceos (Ordem Pennatulacea).

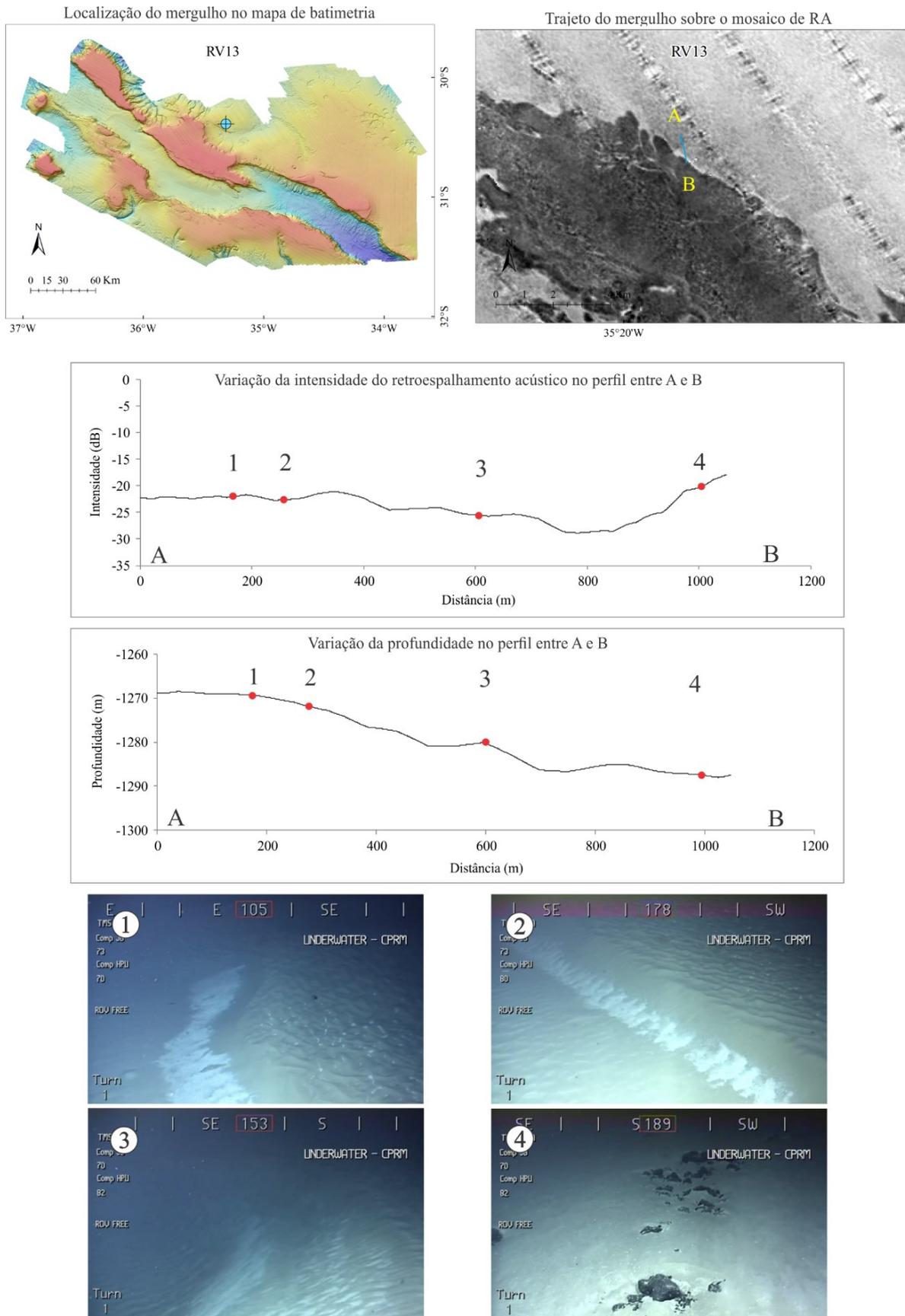


Figura 49 - Informações relativas ao mergulho RV13 (localização, trajeto do mergulho sobre o mosaico do RA, perfil da variação de intensidade do RA durante o trajeto, perfil da variação da profundidade e imagens evidenciando as principais variações no fundo).

5.9 Sedimentos e Análise granulométrica

Amostras de sedimentos foram coletadas e analisadas em cinco locais da ERG (Figura 50). A análise granulométrica das amostras foi realizada no Laboratório de Análises Minerais (LAMIN) do SGB-CPRM em Caeté, o qual utiliza normalmente duas técnicas para determinação de granulometria de sedimentos: espalhamento a laser e peneiramento. O granulômetro a laser Malvern 2000 permite determinar partículas com diâmetro entre 0,1 μm a 2 mm. No entanto, estabeleceu-se que seriam analisadas amostras com tamanho de partículas de até 1 mm, para evitar avarias nas lentes do equipamento.

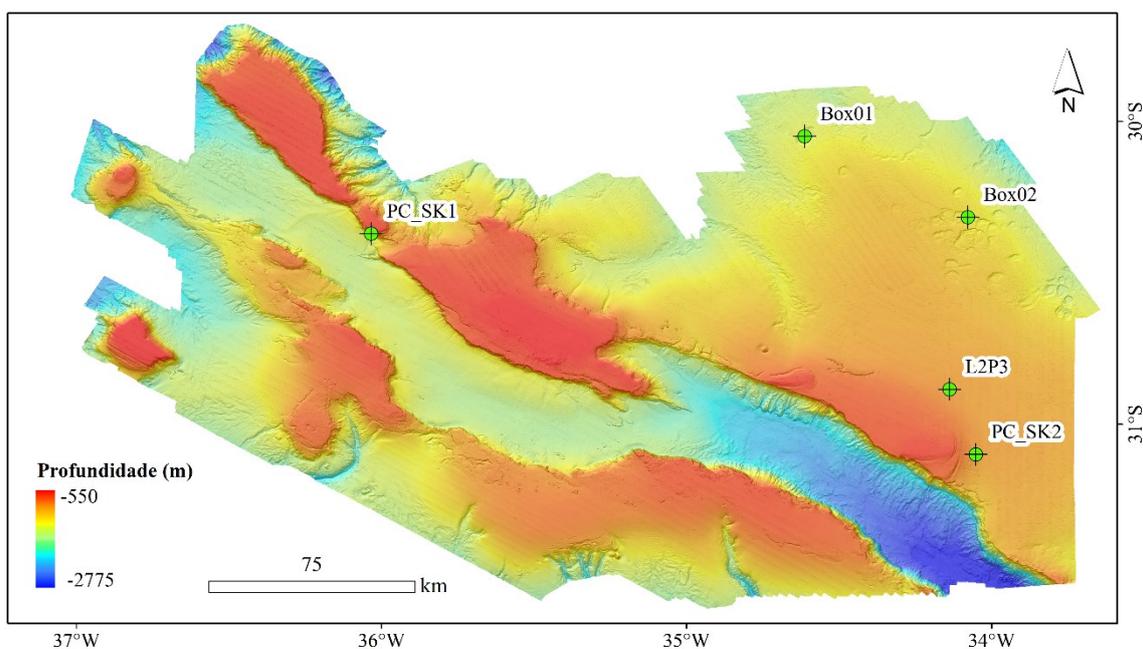


Figura 50 - Localização das amostras de sedimentos coletadas na ERG (PC – Push cores, BOX – Box cores e L – testemunho).

Tabela 2 - Lista das amostras coletadas na ERG

Identificação	Amostras	Data	Hora	Profundidade
PC_SK1_A	09 – a cada 2 cm	30 abr. 2013	11:13	1252 m
PC_SK1_B	15 – a cada 1cm	30 abr. 2013	11:14	1252 m
PC_SK2	06 – a cada 1 cm	02 mai. 2013	11:14	921 m
BOX_01	05 – a cada 1 cm	10 jun. 2011	00:58	1380 m
BOX_02	05 – a cada 1 cm	10 jun. 2011	08:35	1260 m
L2P3	topo (1 cm)	07 set 2011	21:53	919 m

Dentre as amostras enviadas, as com identificação (PC_SK1_A e PC_SK1_B) apresentaram frações com diâmetros de partícula maior que 1 mm. Para essas amostras foi usada a técnica de granulometria por peneiramento para determinação da distribuição de tamanho de partículas. As demais amostras com identificação BOX_01, BOX_02 e L2P3 foram analisadas por granulometria a laser. A distribuição da granulometria foi calculada de acordo com o método de FOLK & WARD (1957).

O resultado das análises das amostras do BOX_1 está representado na Figura 51. A média das 5 amostras está em silte médio. Porém, existem duas modas principais, uma no tamanho de grão areia fina e outra no tamanho argila. Além disso há algumas partículas ainda maiores, principalmente nas amostras mais superficiais (1 cm e 2 cm), que possivelmente são representadas pela presença de pterópodes, fragmentos de conchas e detritos (Figura 51).

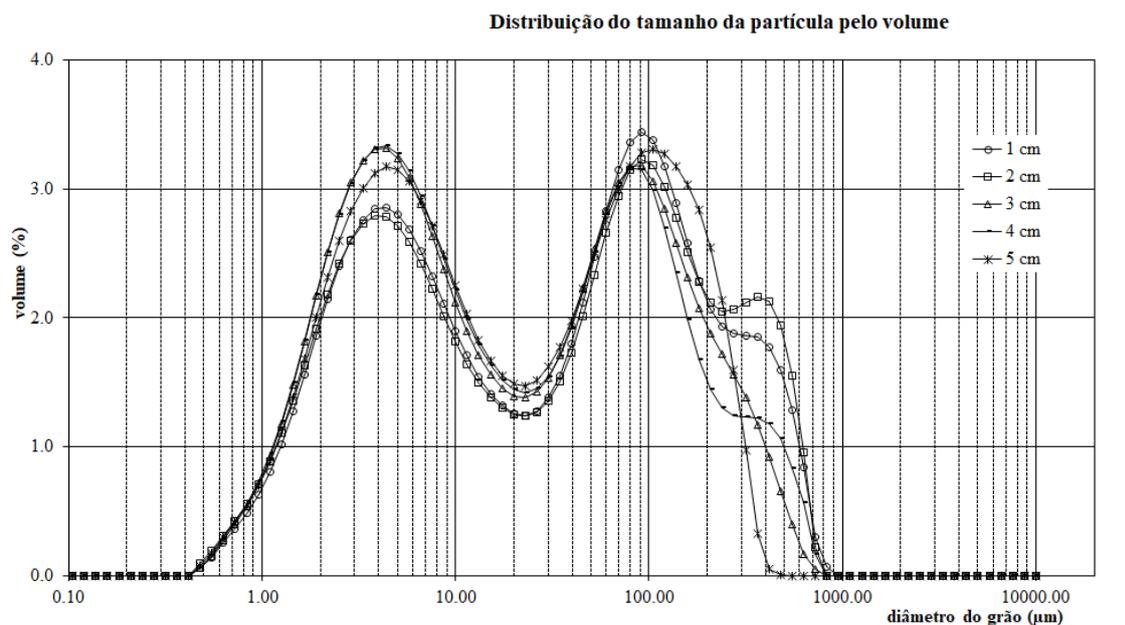


Figura 51 - Distribuição granulométrica da amostra BOX_1 entre 0 e 5 centímetros abaixo do fundo marinho, divididos a cada 1 cm.

As amostras do BOX_2 possuem médias que variam entre silte grosso e silte muito fino, apresentando maior diferença entre os sedimentos mais superficiais e os que estão na profundidade de 5 cm (Figura 52). Assim como na amostra BOX_1, existem duas modas, sendo que quanto mais superficial maior a quantidade de partículas com tamanho de grão grosso.

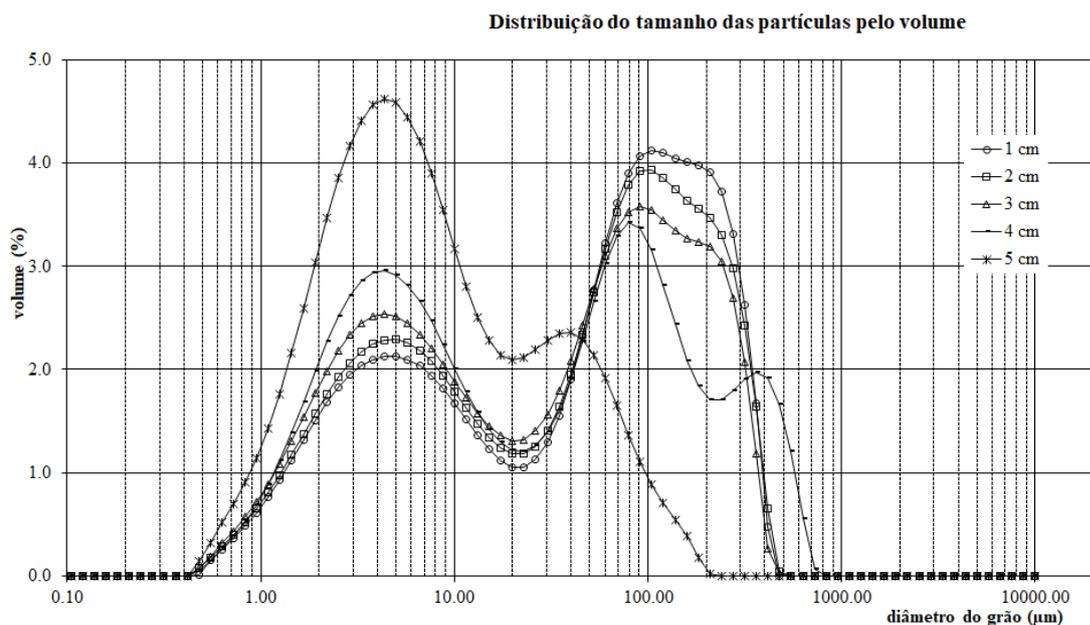


Figura 52 - Distribuição granulométrica da amostra BOX_2 entre 0 e 5 centímetros abaixo do fundo marinho, divididos a cada 1 cm.

Como descrito por PRICE et al. (1985) há um efeito de "*winning*", seja pelas correntes superficiais ou pelo escape de gás que acontece nessa região de pockmarks. Isso explica que amostras superficiais apresentem tamanhos de grão maiores, ou, em outras palavras, uma seleção inversa (*inverse grading*).

No ponto PC_SK1 foram coletados dois push cores, separados em várias lâminas, de dois em dois centímetros no caso da amostra PC_SK1_A e de um em um centímetro para PC_SK1_B. A amostra PC_SK1_A apresenta média em areia fina, muito bem selecionada em toda a coluna sedimentar, até 19 centímetros de profundidade, com bastante similaridade em todas as amostras (Figura 53).

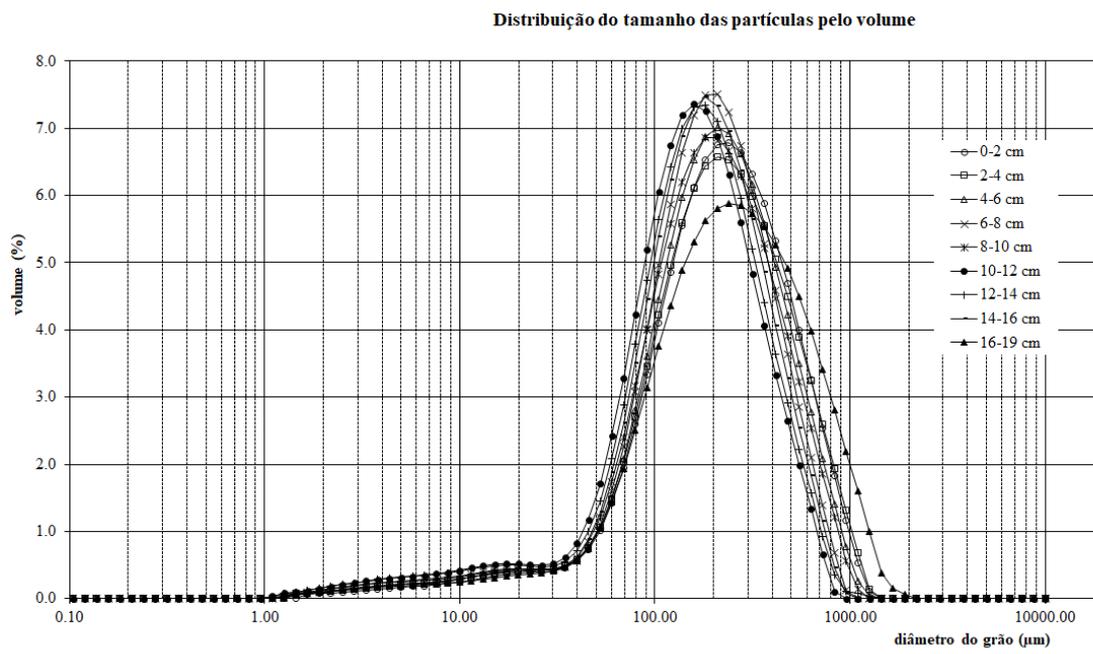


Figura 53 - Distribuição granulométrica da amostra PC_SK1_A entre 0 e 19 centímetros, divididos a cada 2 cm.

As amostras PC_SK1_A têm presença de algumas partículas de menor diâmetro em todas as camadas até 19 cm (Figura 53). A lâmina mais profunda (16-19 cm) mostrou uma distribuição com tamanhos de grão maiores, o que pode indicar a preservação de algum organismo ou sedimentação pelágica específica.

A amostra PC_SK1_B foi coletada no mesmo local da anterior, porém apresenta resultados distintos, com a média em argila grossa. A quantidade de partículas maiores detectadas no granulômetro também foi bem maior em algumas lâminas, podendo representar detritos marinhos ou conchas de foraminíferos de espécies maiores (Figura 54). Esse ambiente no ponto PC_SK1_B não tem um tipo de sedimentação regular, podendo estar sujeito a movimentos gravitacionais constantes, o que explicaria a variação entre amostragens tão próximas.

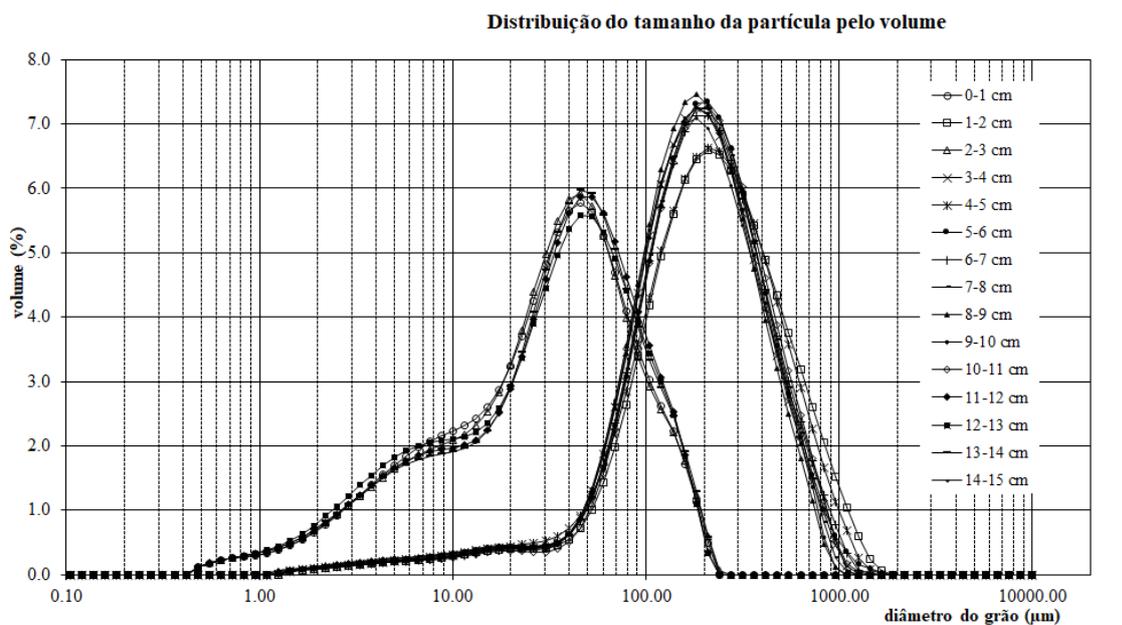


Figura 54 - Distribuição granulométrica da amostra PC_SK1_B entre 0 e 15 centímetros, divididos a cada 1 cm.

No ponto PC_SK2 (mesmo do mergulho Shinkai SK2) haviam muitas formas de fundo (marcas onduladas) e os sedimentos apresentavam textura com aparência de areia (Figura 55). A análise granulométrica comprovou que a primeira camada, até os 7 cm de profundidade, é composta por areia média (Figura 56). Dos 7 aos 14 cm a composição é de areia fina. Durante as filmagens é possível identificar a presença de muitos pterópodes acumulados em algumas regiões, mas a predominância do tamanho areia é de carapaças de foraminíferos, os quais também foram analisados na lupa (Figura 55).



Figura 55 - Aspecto do sedimento da amostra PC_SK2. Do lado esquerdo as carapaças de foraminíferos de tamanhos menores, na escala de 500 micrômetros e do lado direito as carapaças de gastrópodes na escala de milímetros – 1mm.

Distribuição do tamanho das partículas pelo volume

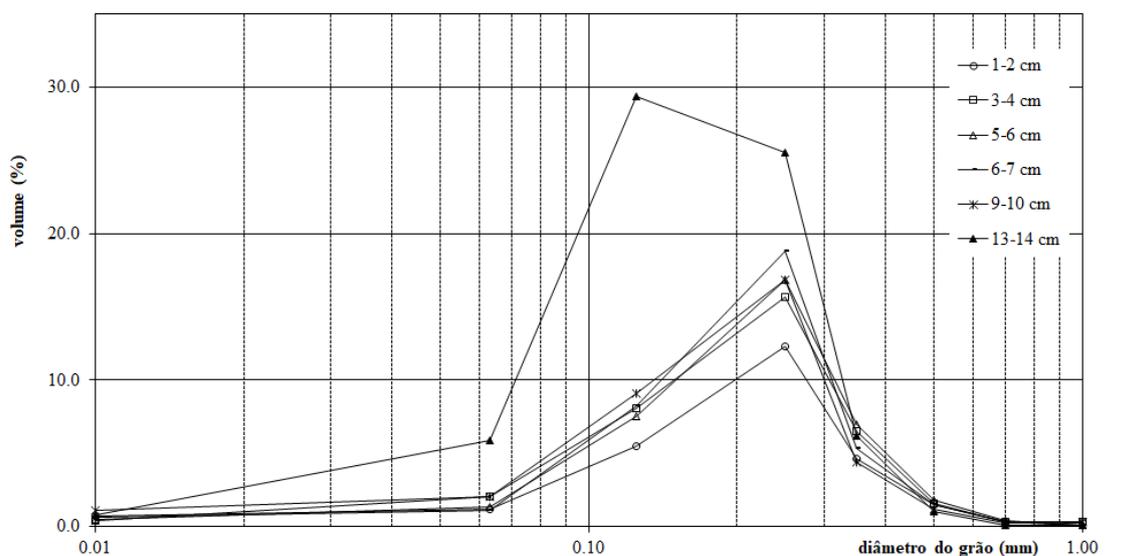


Figura 56 - Distribuição granulométrica da amostra PC_SK2 entre 1 e 14 centímetros, com espaçamentos regulares de 1 cm até a profundidade de 7 cm e irregulares até 14 cm

A amostra superficial do ponto L2P3 representa apenas a camada mais superficial, com média em silte grosso e distribuição bimodal (Figura 57). Uma porção representativa é de areia.

Distribuição do tamanho das partículas pelo volume

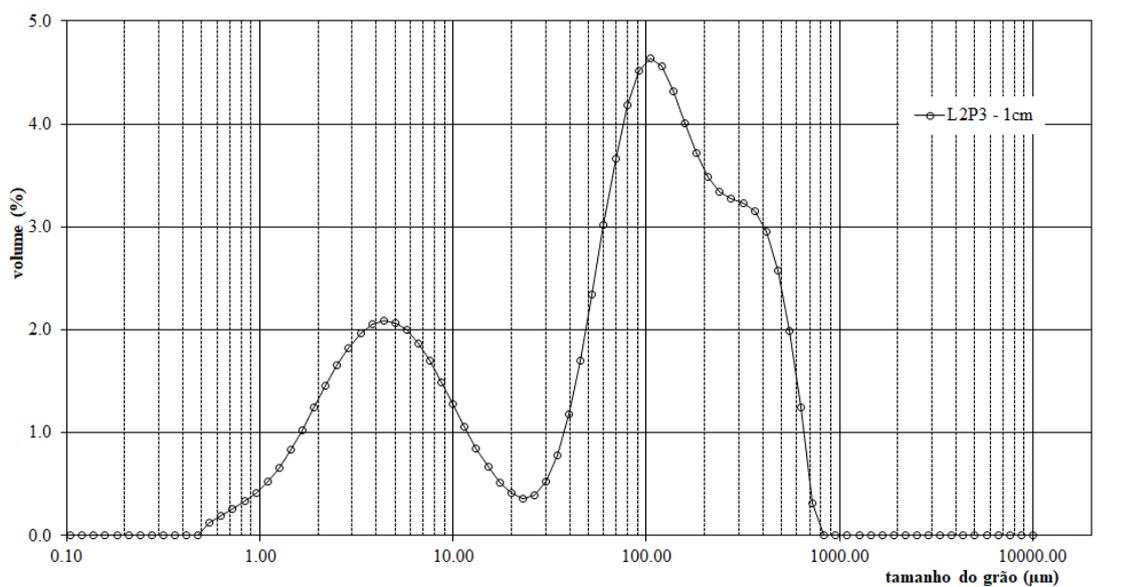


Figura 57 - Distribuição granulométrica da amostra L2P3 para a primeira camada superficial.

De uma forma geral os sedimentos na ERG são bastante variados. Como grande parte da ERG está localizada acima da profundidade de compensação dos carbonatos (CCD), a variedade de foraminíferos, nanofósseis calcários e ostracodes é muito grande. Isso traz uma grande variedade de espécies e sedimentos pelágicos que compõe a coluna sedimentar acima do embasamento e a formação de rochas sedimentares.

5.10 Feições de Fundo

Quanto às feições de fundo identificadas na batimetria, cinco áreas se evidenciam por mostrar estruturas semelhantes à dunas ou furrows (Figura 58) incluindo uma região no meio do graben. No total essas áreas compreendem 530 km² e vários perfis foram traçados em cada parte dos campos de feições para analisar os parâmetros geométricos (altura, comprimento, declividade do terreno e orientação da crista). Os valores médios estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Média dos parâmetros morfológicos das dunas identificados em cada uma das cinco áreas onde existem feições do tipo duna submersa visualizadas na batimetria

	Profundidade (m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Declive do terreno (°)	Orientação aproximada da crista	Área (km ²)
Área 1	620	267	1.2	0.01	L-O	290
Área 2	1010	255	2	0.2	NE-SO	41
Área 3	680	267	1.5	0.1	L-O	46
Área 4	1600	550	2.3	0.16	L-O	133
Área 5	860	375	2.9	0.3	L-O	20

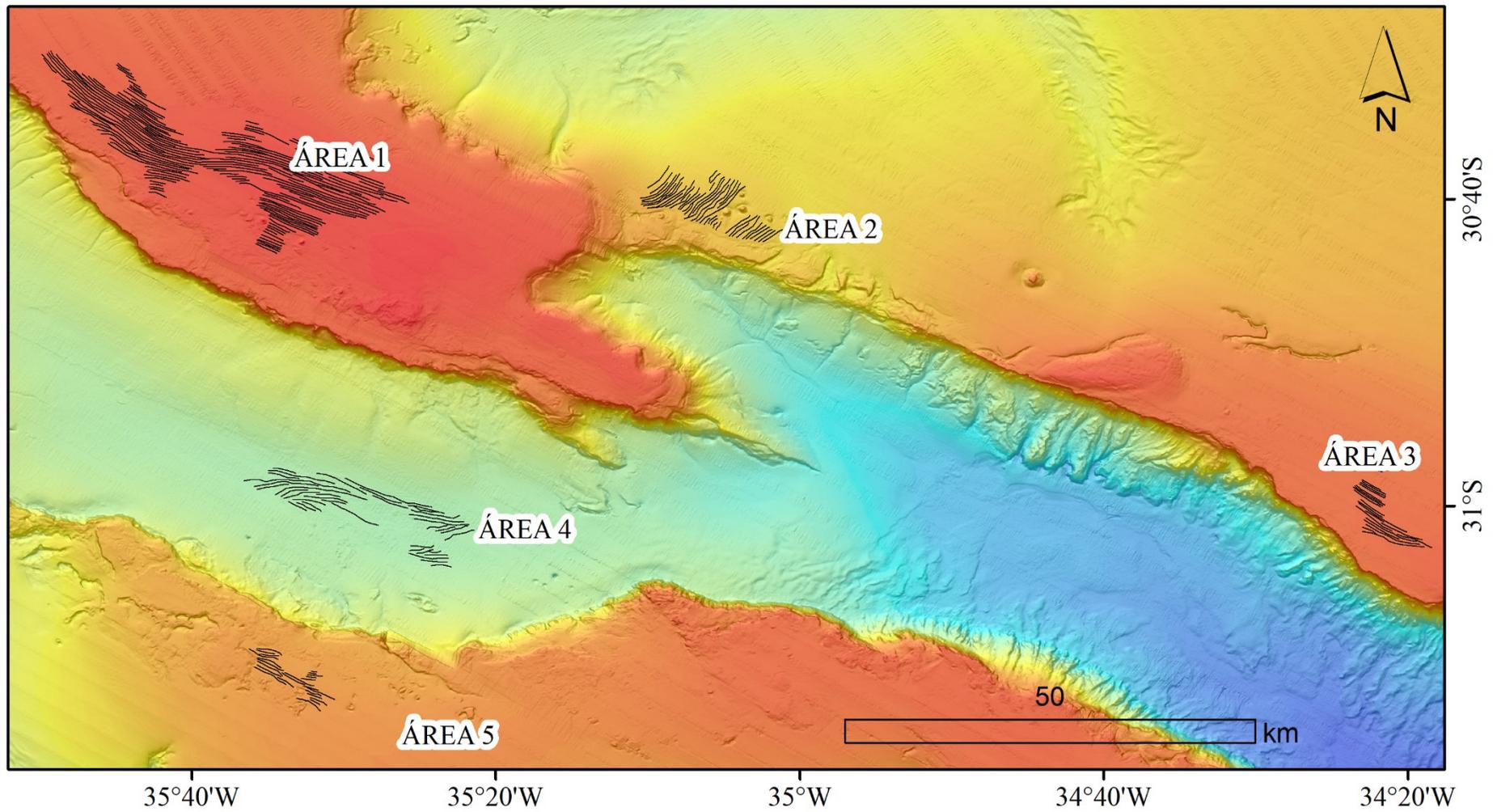


Figura 58 - Localização dos campos de dunas submersas localizados através da batimetria. Em vermelho foram delineadas as cristas das dunas, mostrando a orientação e a área aproximada que ocupam.

Para dar ênfase na morfologia das feições apenas um perfil foi escolhido em cada área, com um segmento de 3 km de extensão (Figura 59). A área 1 é a mais extensa e notável, com um total de 290 km² e cristas contínuas por mais de 30 km. Em contraste, essas feições apresentaram as menores alturas. Existem marcas erosivas semelhantes a marcas de cometa (Figura 59- foto 1) na região que indicam um possível fluxo da corrente de leste para oeste, o que levaria a conclusão que as feições também possuem origem erosiva e seriam furrows.

Comparando essas feições com algumas descrições de dunas submersas encontradas na literatura (WYNN; STOW, 2002) é possível classificá-las como feições de pequena escala, geralmente associadas com sedimentos mais grossos. O mergulho RV12 realizado nessa área comprovou a natureza do material, composto por partículas de tamanho de grão areia (carapaças de foraminíferos) com marcas onduladas cobrindo as cavas, em orientação transversal à crista da feição. Todos os indícios levam a categorizar essa feição como furrow.

A área 2 está localizada próxima à escarpa do graben, que tem uma reentrância, ou formato de anfiteatro (Figura 58). Neste local, que possui maiores profundidades, são encontradas dunas com orientação NE-SO, que também são intercaladas por marcas de cometa sugerindo um fluxo predominante para NE (Figura 59- foto 2).

A área 3 tem mais similaridades com a área 1, tanto na orientação das cristas quanto na dimensão das feições, profundidade média e declividade. É importante notar a sua posição próxima à escarpa do cânion e sem outras feições que possam indicar um obstáculo às correntes (Figura 59- foto 3).

A área 4 está localizada dentro do cânion, que tem aproximadamente 30 km de largura. A profundidade nesse ponto é de 1600 m, com declives moderados considerando a influência das escarpas no entorno. Os comprimentos de onda maiores podem estar associados com os processos gravitacionais e correntes de turbidez, frequentemente encontrados nessas regiões (Figura 59- foto 4).

A área 5 foi a única identificada no flanco sul da ERG, porém tem as feições com maiores alturas e declives mais acentuados. Também está associada a uma região com grande complexidade na morfologia e possivelmente exposta a uma variedade maior de processos físicos (Figura 59- foto 5). Durante o mergulho RV2 foi possível identificar que as dunas eram compostas por acúmulos de pterópodes.

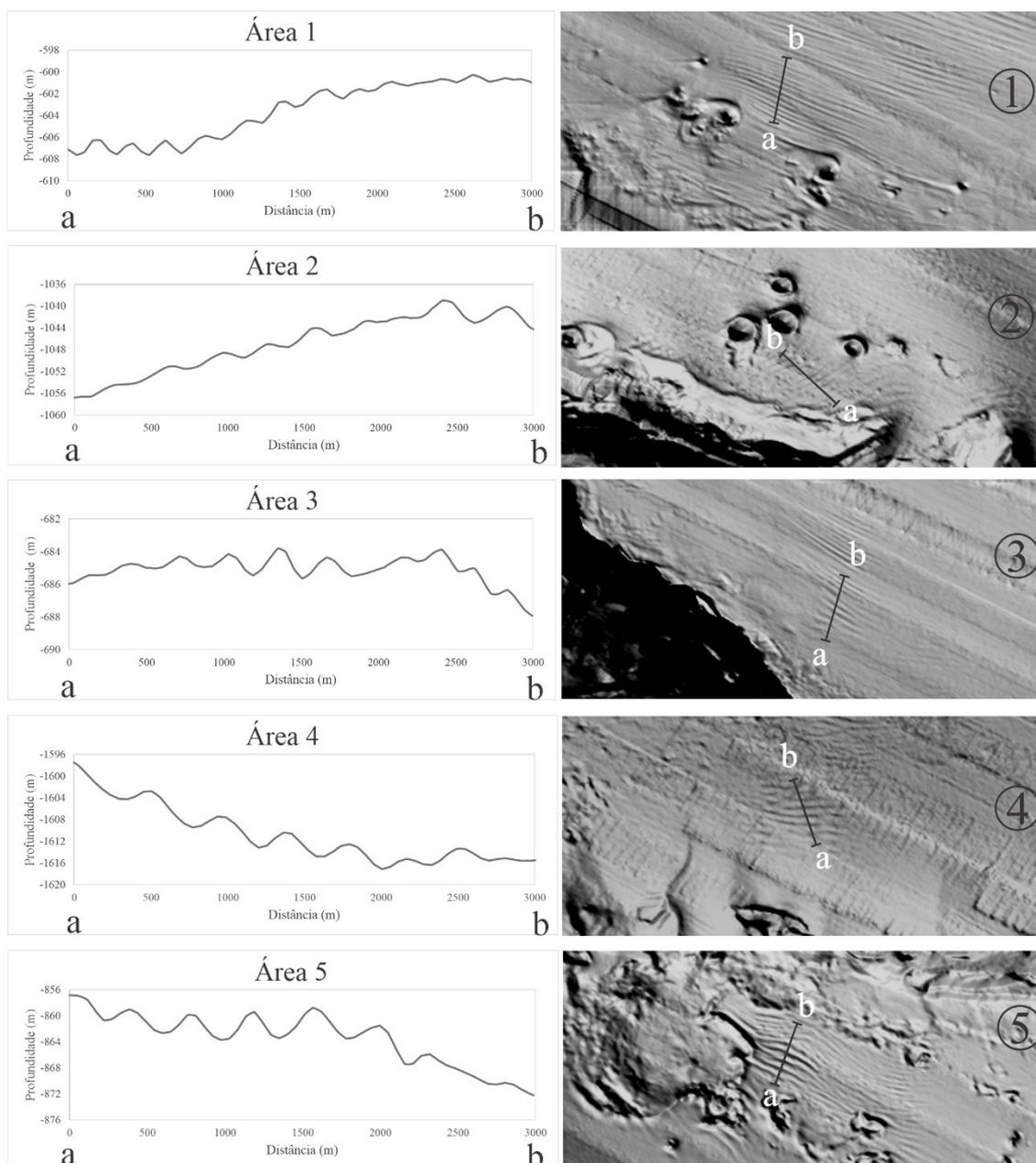


Figura 59 - Perfis em cada uma das áreas onde foram identificadas formas de fundo do tipo dunas (sediment waves). As imagens retiradas da batimetria estão todas orientadas para norte.

Nesses 5 campos de feições existem condições específicas que interagem, como a topografia, o tamanho de grão e o regime de correntes. O desenvolvimento e evolução dessas feições ainda precisam ser analisados através de novos dados de velocidade de corrente, sísmica de alta resolução e filmagens sobre as áreas de interesse ainda não investigadas.

5.11 RSOBIA – Análise de imagem orientada a objeto

Embora o mapa de batimetria mostre com precisão as feições geomorfológicas, o mosaico com a intensidade do RA fornece informações indiretas sobre a composição do substrato. Dessa forma, a imagem do mosaico de retroespalhamento acústico foi analisada juntamente com a batimetria no RSOBIA, a fim de obter uma classificação para diferentes setores de toda a área central da ERG.

Como pode ser observado na Figura 60, foram previamente estabelecidas 5 classes para a área de estudo. Ao final, foram adicionados dados sobre a composição do substrato para realizar a classificação automática do mapa. As descrições do substrato dos 24 mergulhos e as amostras de sedimentos foram a fonte principal de informações para correlacionar os ambientes às classes do RSOBIA, definidos como: Lama; Areia; Mistura entre sedimentos e rochas / dunas; Crostas e Afloramentos em declive.

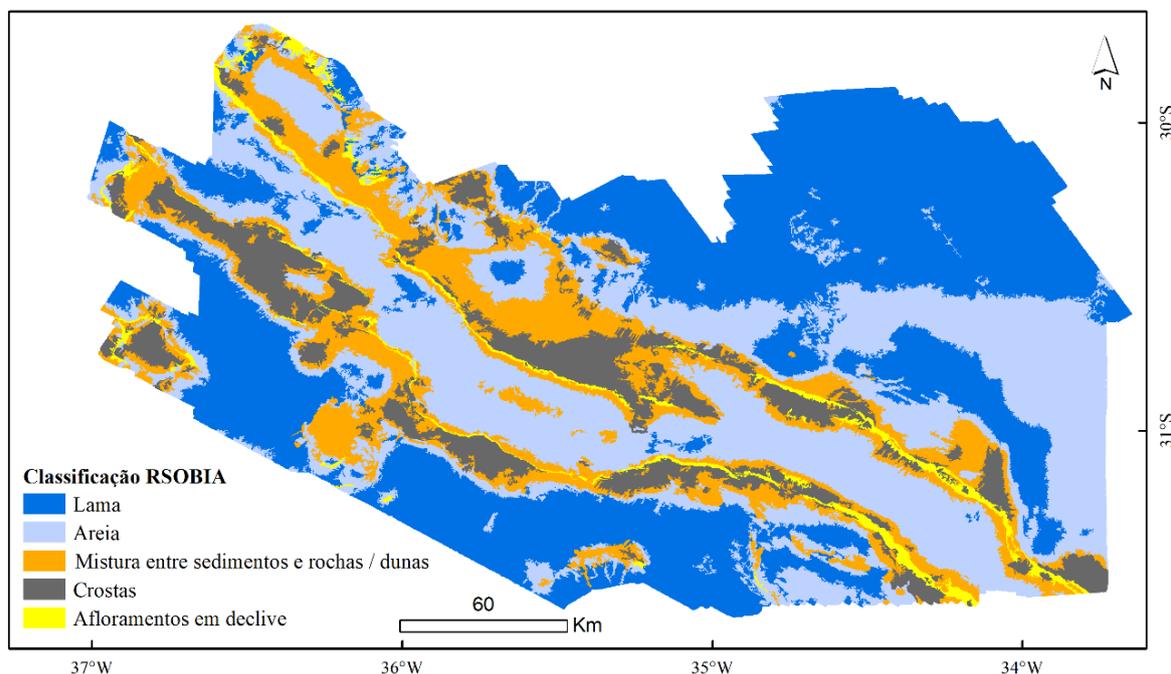


Figura 60 - Mapa de classificação de substrato gerado pelo RSOBIA

5.12 Mapa de Potenciais Habitats Bentônicos para a Área Central da ERG

As informações analisadas para definir potenciais habitats na ERG central incluem a batimetria e o retroespalhamento acústico, com uma resolução de 50 m, amostras de sedimentos e imagens de vídeo do fundo. Os dados de multifeixe e as amostras foram usados para mapear os componentes como a geomorfologia e o substrato, enquanto as imagens foram usadas principalmente para validar a classificação automática dos componentes abióticos (substrato) e para ter uma visão geral e descritiva das comunidades biológicas.

No caso dos dados da ERG Central, a declividade, rugosidade, e o índice de posição batimétrica (BPI) foram calculados com o *Benthic Terrain Modeler*. Foi criada uma sobreposição de camadas integrando estes dados derivados da batimetria e realizada a segmentação. O mapa de potenciais habitats para a área central da ERG contém 6 classes de tipos de substratos, distribuídas da seguinte forma (Figura 61).

As **Bacias Profundas Lamosas** estão localizadas em áreas planas mais profundas (abaixo de 800 m), com uma textura homogênea no mosaico de retroespalhamento acústico, que é característica comum de locais onde predominam sedimentos coesivos.

Em profundidades menores há predominância de **Areias de Foraminíferos** (Figura 61) compostas principalmente por vasas de foraminíferos, pterópodes. As correntes são atuantes, formando marcas onduladas em diversas direções. Não há um fluxo predominante para toda a área, mas pontualmente é possível identificar um sentido, que também fica registrado na biota, pois organismos marinhos sésseis tendem a se orientar de acordo com a corrente marinha mais intensa e frequente.

Outras áreas que também tem baixas declividade mas apresentam outros substratos são os platôs, que podem ser de dois tipos: Os **Platôs de crostas de Fe-Mn** são áreas extensas onde predominam as CFRCs do tipo pavimento (*plate-like*), com espessura de 2 a 15 cm contínuas ou com pouca fragmentação. Estes substratos foram identificados nas filmagens até as profundidades de 1500 m aproximadamente (Figura 61).

Já os **Platôs Carbonáticos** são semelhantes a um substrato lamoso nas filmagens, possivelmente por indicar um ambiente mais ou homogêneo e sem rugosidades (formas de fundo). Ao se investigar mais detalhadamente, verifica-se que estes platôs são

consolidados e bastante rígidos, impossibilitando as coletas in situ com o ROV. As marcas feitas no ponto RV7 durante uma dragagem no ano de 2013 ainda estavam presentes em 2018 e mostram que o substrato foi pouco perturbado pela draga, principalmente porque é muito plano e não apresenta superfície de contato suficiente para subtração de amostras.

Na mesma classe dos platôs carbonáticos foram incluídas as **Dunas**, pois estes dois substratos coexistem (Figura 61). O que são consideradas dunas, de forma genérica, são estruturas erosivas ou não, formadas por areias bioclásticas ou a partir de grandes acúmulos de fragmentos de pterópodes. As dunas estão sobre as plataformas carbonáticas, com tamanhos e comprimentos variados, pois estão expostas a condições hidrodinâmicas distintas. Como mencionado, na área 1 (Figura 59) temos o que pode ser classificado como furrows, grandes depósitos de areia composta por foraminíferos que se formam paralelamente às correntes. Já na área 5 temos os acúmulos de pterópodes com maior altura e menor comprimento.

Os **Afloramentos em Declive e paredões** (Figura 61) estão principalmente nas bordas dos montes submarinos, nos flancos do graben e na base dos cânions. As rochas principais nestes locais são os basaltos, crostas em forma de nódulos, brechas e sedimentos preenchendo algumas cavidades.

A última classe, **Rochas fragmentadas entre sedimentos**, mostra regiões comumente transicionais ou dentro de cânions onde há presença de uma quantidade muito grande de rochas misturadas com o sedimento. Os nódulos aqui referidos são as CFRCs em formato nodular que apresentam um núcleo fosfático. Muitas áreas mostram esse perfil de substrato, como o fundo do graben e as paredes dos pockmarks, que têm uma grande quantidade de fragmentos de rochas carbonáticas intercaladas com o material sedimentar.

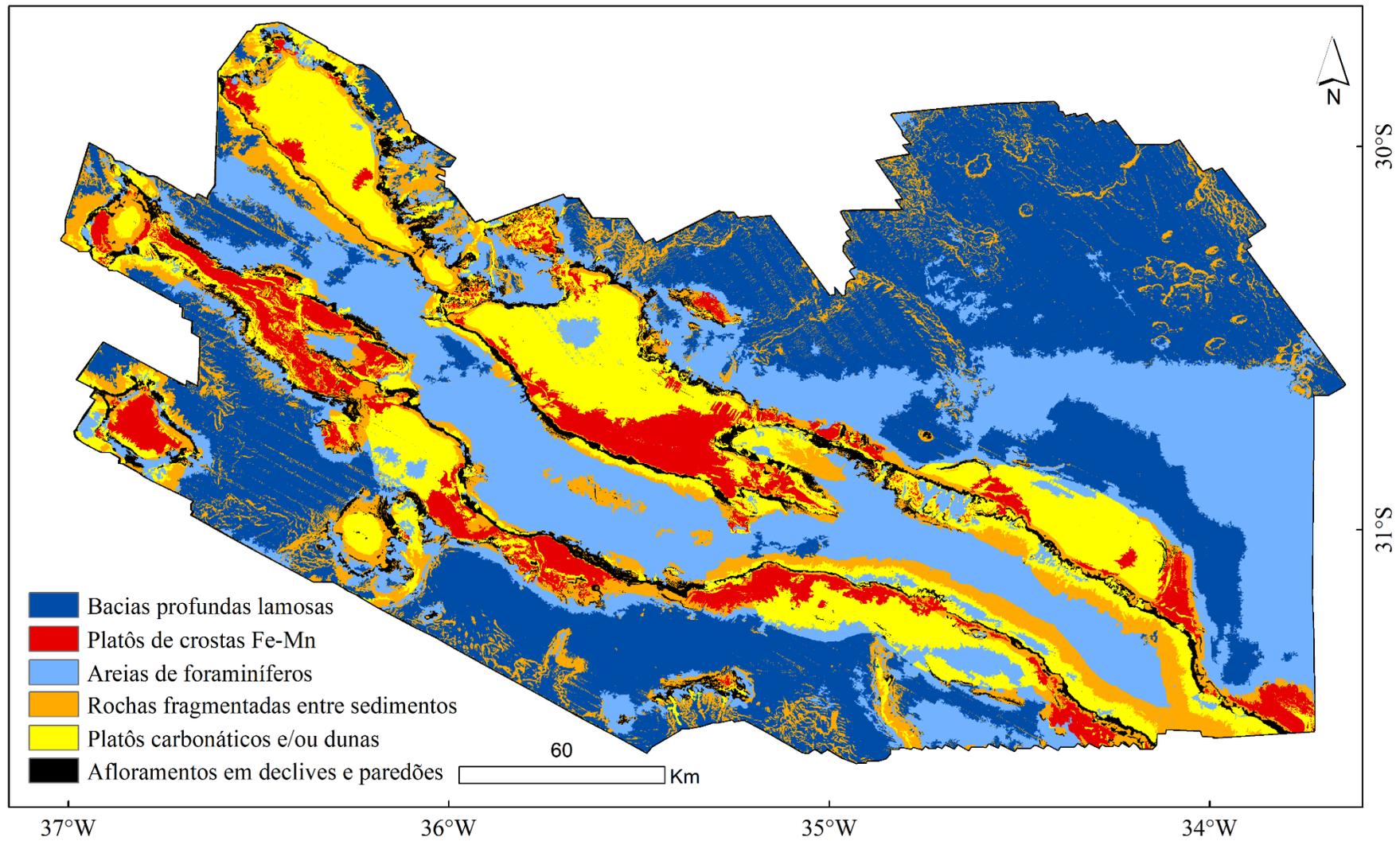


Figura 61 - Mapa de classificação de habitats gerados pela combinação dos dados BTM no RSOBIA

Estudos taxonômicos realizados pelo pesquisador Clóvis Motta Netto (CPRM, 2018) citam a comparação dos dados obtidos através da matriz de similaridade pelo coeficiente de Bray-Curtis com o estabelecimento dos clusters de similaridade faunística entre as estações com valores acima de 50%.

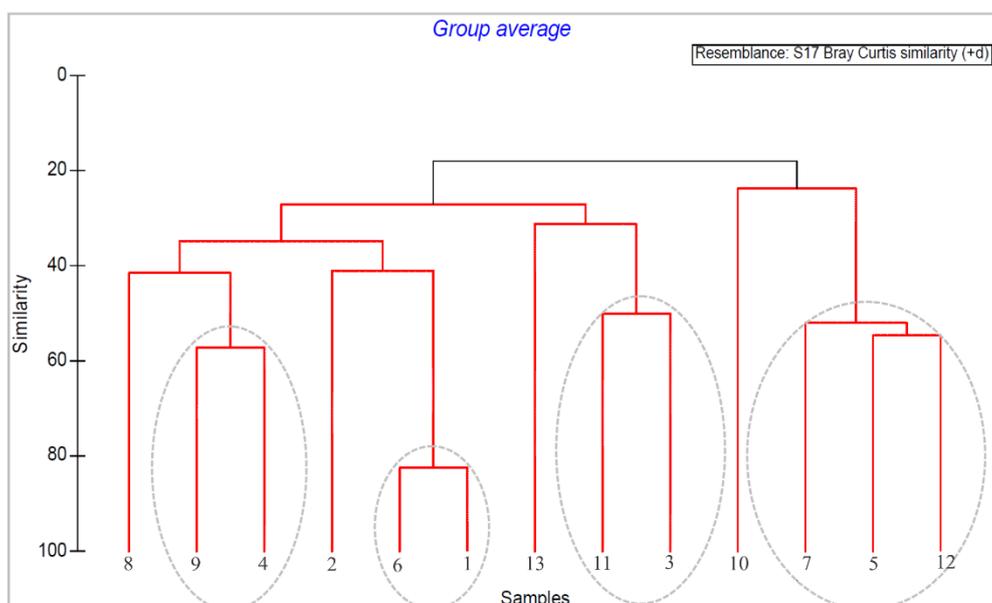


Figura 62 - Agrupamento indicando a porcentagem de similaridade megafaunística (retirado de CPRM, 2018).

As estações RV9 (1400 m) e RV4 (1100 m) com aproximadamente 60% de similaridade, estão localizadas em ambientes muito heterogêneos, porém em ambas o substrato predominante é a crosta Fe-Mn. As estações RV6 (1600 m) e RV1 (1500 m) com aproximadamente 80% de similaridade, dispõem-se sobre um habitat com a dominado por bacias profundas lamosas, intercalados por faixas de rochas fragmentadas. E as estações RV7 (700 m), RV5 (600 m) e RV12 (600 m) com aproximadamente 60% de similaridade estão todas sobre platôs carbonáticos no mapa de potenciais habitats.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, a morfologia da Elevação do Rio Grande Central foi explorada a partir de dados de batimetria multifeixe coletados pelo sonar Kongsberg EM-302. Além de detalhar feições antes inexploradas, estes dados fornecem uma base estrutural para entender a possível distribuição das comunidades bentônicas. Uma série de dados derivados puderam ser trabalhados a fim de extrair informações que permitiram chegar ao mapa de potenciais habitats para a área.

As imagens subaquáticas mostram um substrato diverso e heterogêneo, com um complexo mosaico de habitats. A abundância de habitats é diretamente relacionada ao ambiente dos montes submarinos da ERG. Estas áreas tipicamente são associadas a regimes de correntes mais intensos e a combinação com a declividade aumenta a possibilidade da presença de substratos duros no topo dos montes (em comparação com as áreas abissais adjacentes).

A integração das informações obtidas pelas filmagens com os dados acústicos passou por um desafio relativo à resolução dos dados. Enquanto os dados da batimetria foram processados para uma resolução de 50 m, as filmagens cobriam áreas na escala de metros com grande resolução, chegando no nível de identificar algumas espécies (exceto para os mergulhos do TV Grab).

Os Índices de Posição Batimétrica (BPI) e a Modelagem Bentônica do Terreno resultaram nas seguintes classes: platôs; bordas dos platôs; flancos; declives; ravinas e vales; áreas planas. Estas estruturas são resultado do conjunto de processos geológicos, oceanográficos e biológicos, tanto anteriores como atuais.

Algumas das unidades geomórficas citadas podem incluir diferentes habitats, por exemplo os platôs, onde podem existir afloramentos rochosos pontuais que servem como habitat para algumas comunidades que não se assemelham às do seu entorno. Dessa forma a abordagem utilizada é definida como *top down*, generalizando a partir de uma informação mais abrangente (batimetria) e combinando em uma unidade características que poderiam ser reconhecidas em outras classes geomórficas.

A classificação do substrato foi limitada a 5 classes principais: Lama; Areia; Mistura entre sedimentos e rochas/dunas; Crostas e Afloramentos em declive. Por se

basear em características específicas do substrato, essa abordagem pode ser denominada *bottom-up*, trazendo informações específicas e detalhadas para pequenos setores.

O mapa final de habitats, que relaciona a análise BTM com os dados de intensidade do retroespalhamento acústico e o tipo de substrato resultante possui 6 classes (bacias profundas lamosas; platôs de Fe-Mn; areias de foraminíferos; platôs carbonáticos e/ou dunas; rochas fragmentadas entre sedimentos e afloramentos em declives e paredões.

Dados acústicos, imagens e amostras são úteis para estimar os habitats em regiões onde não há informação detalhada sobre a área. Os dados geomórficos fornecem uma indicação razoável sobre a provável distribuição das principais comunidades bentônicas, contudo, outras informações podem ser determinantes, como a circulação hidrodinâmica local (atuação de massas de água e correntes).

Usando uma abordagem integrada, foi ampliada significativamente a cobertura espacial das informações sobre potenciais habitats bentônicos. Os dados acústicos e observações do ambiente físico auxiliam na compreensão das características do habitat em toda a região, incluindo informações detalhadas sobre morfologia, substrato e feições do leito.

O mapa de potenciais habitats bentônicos para a Elevação do Rio Grande Central resume a compreensão atual da morfologia e fornece informações integradas para apoiar os esforços de planejamento espacial marinho e futuras pesquisas ecológicas.

7 REFERÊNCIAS

ANDERSEN, J. H. et al. European Broad-Scale Seabed Habitat Maps Support Implementation of Ecosystem-Based Management. **Open Journal of Ecology**, v. 08, n. 02, p. 86–103, 2018.

BARKER, P. F. Tectonic evolution and subsidence history of the Rio Grande Rise. **Initial reports DSDP, Leg 72, Santos, Brazil**, p. 953–976, 1983.

BARKER, P. F.; BUFFLER, R. T.; GAMBOA, L. A. A Seismic Reflection Study of the Rio Grande Rise. In: **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, 72**. [s.l.] U.S. Government Printing Office, 1983. p. 499–517.

CAVALCANTI, J. A. D.; GOMES, I. P. **Avaliação da Potencialidade Mineral da Elevação do Rio Grande**. Fortaleza: [s.n.].

COWARDIN, L. M. et al. **Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States** U.S . Department of the Interior. [s.l: s.n.].

CPRM. **ROV PROERG, PROERG AMB I & II - Biodiversidade**. Rio de Janeiro: [s.n.].

DARTNELL, P.; GARDNER, J. V. Predicting Seafloor Facies from Multibeam Bathymetry and Backscatter Data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 70, n. 9, p. 1081–1091, 1 set. 2004.

DIETZ, R. S.; HOLDEN, J. C. The Breakup of Pangaea. **Scientific American**, v. 223, n. 4, p. 30–41, out. 1970.

DIGGS, S. et al. **WOCE Hydrographic Program Office**. Disponível em: <https://www.nodc.noaa.gov/woce/woce_v3/wocedata_1/whp/index.htm>. Acesso em: 18 jan. 2020.

Encyclopædia Britannica. Disponível em: <<https://www.britannica.com/science/habitat-biology>>. Acesso em: 15 mar. 2020.

FLOOD, R. D. Studies of deep-sea sedimentary microtopography in the North Atlantic Ocean. **Studies of deep-sea sedimentary microtopography in the North Atlantic Ocean**, 1978.

FLOOD, R. D.; HOLLISTER, C. D. Submersible studies of deep-sea furrows and

transverse ripples in cohesive sediments. **Marine Geology**, v. 36, n. 1–2, p. M1–M9, maio 1980.

GAMBOA, L. A. P.; RABINOWITZ, P. D. The evolution of the Rio Grande Rise in the southwest Atlantic Ocean. **Marine Geology**, v. 58, n. 1–2, p. 35–58, jun. 1984.

GRAÇA, M. C.; KUSZNIR, N.; GOMES STANTON, N. S. Crustal thickness mapping of the central South Atlantic and the geodynamic development of the Rio Grande Rise and Walvis Ridge. **Marine and Petroleum Geology**, v. 101, n. December 2018, p. 230–242, 2019.

GREENE, H. G. et al. A classification scheme for deep seafloor habitats. **Oceanologica Acta**, v. 22, n. 6, p. 663–678, nov. 1999.

GREENE, H. G. et al. Construction of digital potential marine benthic habitat maps using a coded classification scheme and its application. **Special Paper - Geological Association of Canada**, n. 47, p. 141–155, 2007.

GUARINELLO, M. L.; SHUMCHENIA, E. J.; KING, J. W. Marine habitat classification for ecosystem-based management: A proposed hierarchical framework. **Environmental Management**, v. 45, n. 4, p. 793–806, 2010.

HAJDU, E. et al. Deep-sea dives reveal an unexpected hexactinellid sponge garden on the Rio Grande Rise (SW Atlantic). A mimicking habitat? **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 146, n. November, p. 93–100, 2017.

HAMBLIN, W. K.; CHRISTIANSEN, E. H. **Earth's dynamic systems**. 10. ed. Upper Saddle River, N.J. ; London: Prentice Hall, Pearson Educationl, 2004.

HARLAMOV, V. et al. **Preliminary results onmid-depth circulation features on Rio Grande Rise**. 2015 IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (RIO Acoustics). **Anais...IEEE**, jul. 2015.

HARRIS, P. T.; BAKER, E. K. **Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat**. London: Elsevier, 2011.

HELCOM. **Technical Report on the HELCOM Underwater Biotope and habitat classificationBaltic Sea Environment Proceedings**. Helsinki: [s.n.].

HUGHES CLARKE, J. Toward remote seafloor classification using the angular response of acoustic backscattering: a case study from multiple overlapping GLORIA data. **IEEE**

Journal of Oceanic Engineering, v. 19, n. 1, p. 112–127, 1994.

HUGHES CLARKE, J. E.; MAYER, L. A.; WELLS, D. E. Shallow-water imaging multibeam sonars: A new tool for investigating seafloor processes in the coastal zone and on the continental shelf. **Marine Geophysical Research**, v. 18, n. 6, p. 607–629, 1996.

HURDLE, B. G.; FLOWERS, K. D. Effect of Geometry on Monostatic Scattering from the Ocean Bottom. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 36, n. 10, p. 1993–1993, 1964.

JACKSON, D. R.; RICHARDSON, M. D. **High-Frequency Seafloor Acoustics**. New York, NY: Springer New York, 2007. v. 9

JOHNSON, D. A.; PETERS, C. S. Late Cenozoic Sedimentation and Erosion on the Rio Grande Rise. **The Journal of Geology**, v. 87, n. 4, p. 371–392, 1979.

KLAUCKE, I. et al. Giant depressions on the Chatham Rise offshore New Zealand – Morphology, structure and possible relation to fluid expulsion and bottom currents. **Marine Geology**, v. 399, n. 2017, p. 158–169, 2018.

KUMAR, N. Origin of “paired” aseismic rises: Ceará and Sierra Leone rises in the equatorial, and the Rio Grande Rise and Walvis Ridge in the South Atlantic. **Marine Geology**, v. 30, n. 3–4, p. 175–191, 1979.

LAMARCHE, G. et al. Quantitative characterisation of seafloor substrate and bedforms using advanced processing of multibeam backscatter-Application to Cook Strait, New Zealand. **Continental Shelf Research**, v. 31, n. 2 SUPPL., p. 93–109, 2011.

LAMARCHE, G.; LURTON, X. Recommendations for improved and coherent acquisition and processing of backscatter data from seafloor-mapping sonars. **Marine Geophysical Research**, v. 39, n. 1–2, p. 5–22, 15 jun. 2018.

LE BAS, T. P. RSOBIA - A new OBIA Toolbar and Toolbox in ArcMap 10.x for Segmentation and Classification. n. September, 2016.

LE PICHON, X.; HAYES, D. E. Marginal offsets, fracture zones, and the early opening of the South Atlantic. **Journal of Geophysical Research**, v. 76, n. 26, p. 6283–6293, 10 set. 1971.

LEGENDRE, P. Acoustic seabed classification methodology: a user’s statistical comparison. n. June, p. 17, 2002.

LODGE, M. W.; VERLAAN, P. A. Deep-sea mining: International regulatory challenges and responses. **Elements**, v. 14, n. 5, p. 331–336, 2018.

LUNDBLAD, E. R. et al. A benthic terrain classification scheme for American Samoa. **Marine Geodesy**, v. 29, n. 2, p. 89–111, 2006.

LURTON, X.; LAMARCHE, G. **Backscatter measurements by seafloor-mapping sonars. Guidelines and recommendations. GEOHAB - Marine Geological & Biological Habitat Mapping**. [s.l: s.n.].

MCKINNEY, C. M.; ANDERSON, C. D. Measurements of Backscattering of Sound from the Ocean Bottom. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 36, n. 1, p. 158–163, 1964.

MELGUEN, M.; THIEDE, J. Facies distribution and dissolution depths of surface sediment components from the Vema channel and the Rio Grande rise (southwest Atlantic Ocean). **Marine Geology**, v. 17, n. 5, p. 341–353, dez. 1974.

MÉMERY, L. et al. The water masses along the western boundary of the south and equatorial Atlantic. **Progress in Oceanography**, v. 47, n. 1, p. 69–98, out. 2000.

MIZELL, K.; HEIN, J. R. Ferromanganese Crusts and Nodules, Rocks that Grow. In: **Encyclopedia of Geochemistry**. [s.l: s.n.]. p. 1–7.

MOHRIAK, W. U. et al. Geological and geophysical interpretation of the Rio Grande Rise, south-eastern Brazilian margin: extensional tectonics and rifting of continental and oceanic crusts. **Petroleum Geoscience**, v. 16, n. 3, p. 231–245, 1 ago. 2010.

MONTEREALE-GAVAZZI, G. et al. Seafloor change detection using multibeam echosounder backscatter: case study on the Belgian part of the North Sea. **Marine Geophysical Research**, v. 39, n. 1–2, p. 229–247, 2018.

MORGAN, W. J. Convection Plumes in the Lower Mantle. **Nature**, v. 230, n. 5288, p. 42–43, 5 mar. 1971.

MOROZOV, E. G. et al. **Abyssal Channels in the Atlantic Ocean**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010.

MOUNT, R.; BRICHER, P.; NEWTON, J. National Intertidal/Subtidal Benthic (NISB) Habitat Classification Scheme. Version 1.0. **Australian Coastal Vulnerability Project**, v. 2007, n. August, p. 30, 2007.

NCEI-NOAA. **Index to Marine and Lacustrine Geological Samples**. Disponível em: <https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/sample_index/>. Acesso em: 2 jan. 2020.

PEREZ, J. A. A. et al. Benthopelagic megafauna assemblages of the Rio Grande Rise (SW Atlantic). **Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 134, n. February, p. 1–11, 2018.

PINHEIRO PRAXEDES, A. G. et al. New insights of the tectonic and sedimentary evolution of the Rio Grande Rise, South Atlantic Ocean. **Marine and Petroleum Geology**, v. 110, n. July, p. 335–346, 2019.

PRICE, B. .; KILLINGLEY, J. .; BERGER, W. . On the pteropod pavement of the eastern Rio Grande Rise. **Marine Geology**, v. 64, n. 3–4, p. 217–235, abr. 1985.

REID, J. L.; NOWLIN, W. D.; PATZERT, W. C. On the Characteristics and Circulation of the Southwestern Atlantic Ocean. **Journal of Physical Oceanography**, v. 7, n. 1, p. 62–91, jan. 1977.

RINEHART, R. W. et al. **ArcGis 8.X Benthic Terrain Modeler: Analysis in American Samoa**. Proceedings of the 24th Annual ESRI User Conference. **Anais...San Diego, USA**: 2004.

SANTOS, R. V. et al. Dating Gondwanan continental crust at the Rio Grande Rise, South Atlantic. **Terra Nova**, n. August 2018, p. 1–6, 2019.

SCHOTT, F. A. et al. The shallow and deep western boundary circulation of the South Atlantic at 5°–11°S. **Journal of Physical Oceanography**, v. 35, n. 11, p. 2031–2053, 2005.

STEPHENS, J. C.; MARSHALL, D. P. Dynamical pathways of Antarctic Bottom Water in the Atlantic. **Journal of Physical Oceanography**, v. 30, n. 3, p. 622–640, mar. 2000.

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. **On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean****Journal of Geophysical Research: Oceans**, 1999.

STRONG, J. A. et al. 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 Journal of Marine Science**, v. 76, n. 1, p. 10–22, 2019.

TUCHOLKE, B. E. Origin of longitudinal triangular ripples on the Nova Scotian continental rise. **Nature**, v. 296, n. 5859, p. 735–737, abr. 1982.

URICK, R. J. The Backscattering of Sound from a Harbor Bottom. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 26, n. 2, p. 231–235, 1954.

USSAMI, N. et al. Origin of the rio grande Rise-Walvis ridge reviewed integrating palaeogeographic reconstruction, isotope geochemistry and flexural modelling. **Geological Society Special Publication**, v. 369, n. 1, p. 129–146, 2012.

VALENTINE, P.; TODD, B. R. J.; KOSTYLEV, V. Classification of Marine Sublittoral Habitats , with Application to the Northeastern North America Region. **American Fisheries Society Symposium**, v. 41, p. 183–200, 2005.

WEISS, A. D. Topographic position and landforms analysis. **Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA**, v. 64, p. 227–245, 2001.

WILSON, J. T. Hypothesis of earth's behaviour. **Nature**, v. 198, n. 4884, p. 925–929, 1963.

WONG, H.; CHESTERMAN, W. D. Bottom Backscattering near Grazing Incidence in Shallow Water. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 44, n. 6, p. 1713–1718, 1968.

WYNN, R. B.; STOW, D. A. V. Classification and characterisation of deep-water sediment waves. **Marine Geology**, v. 192, n. 1–3, p. 7–22, 2002.