

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da  
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região  
Marinha e Costeira Adjacente**

**RELATÓRIO SEMESTRAL – SEÇÃO 3:**

**Anexo 3 – Marinho Mapeamento de Habitats**

**RT-07I RRDM/JUN19**

**Coordenação Geral**

Adalto Bianchini

Alex Cardoso Bastos

Edmilson Costa Teixeira

Eustáquio Vinícius de Castro

Jorge Abdala Dergam dos Santos

Vitória,

Junho de 2019

## **COORDENAÇÕES**

### **COORDENAÇÕES POR ANEXO**

#### **Anexo 3**

Fabian Sá (UFES)

#### **Subprojeto Mapeamento de Habitats**

Alex Cardoso Bastos (UFES)

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                   | <b>8</b>  |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVO .....</b>                                     | <b>8</b>  |
| <b>3</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                       | <b>9</b>  |
| 3.1      | MAPEAMENTO DE HABITATS .....                              | 9         |
| 3.1.1    | Morfologia do fundo marinho .....                         | 9         |
| 3.1.2    | Caracterização Geomorfométrica .....                      | 15        |
| 3.1.3    | Caracterização por <i>backscatter</i> .....               | 18        |
| 3.1.4    | Verdades de campo: dados pretéritos com dropcameras ..... | 21        |
| 3.1.5    | Vídeo-monitoramento .....                                 | 24        |
| 3.1.6    | Mapeamento em Andamento – Foz do Rio Doce .....           | 29        |
| 3.1.7    | Morfologia, Imageamento e Habitats .....                  | 30        |
| 3.2      | MAPEAMENTO DO REJEITO .....                               | 31        |
| 3.2.1    | Testemunhagem .....                                       | 31        |
| <b>4</b> | <b>CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS.....</b>                      | <b>42</b> |
| <b>5</b> | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                  | <b>44</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Dados batimétricos coletados até fevereiro/2019 pelo Anexo 3 - Subprojeto Mapeamento de Habitats. ....  | 10 |
| Figura 2: Dados batimétricos coletados no âmbito do subprojeto Mapeamento de Habitats processados até o momento e dados pretéritos coletados no âmbito do Projeto IODP-CAPES (abril de 2018). ....  | 11 |
| Figura 3: Exemplo de localização das buracas. a) Modelo digital batimétrico em perspectiva no qual é possível identificar várias feições de buracas; b) Apresentação de uma seção 2D mostrando linhas batimétricas realizadas sobre as feições de buracas. ....                           | 12 |
| Figura 4: Localização dos paleovales identificados. a) Modelo digital batimétrico evidenciando o paleovale da sessão destacada em vermelho; b) Modelo digital batimétrico em perspectiva 3D do paleovale da sessão destacada em vermelho. ....  | 13 |
| Figura 5: Localização e diferentes ângulos em perspectiva 3D evidenciando a presença de duto artificial dentro da área identificada pelo retângulo em vermelho. ....  | 14 |
| Figura 6: Banco de dados batimétricos e seus derivados (a) Índice de posição batimétrica de larga escala (Broad-BPI) (b) Índice de posição batimétrica em escala fina (Fine-BPI) (c) Inclinação do fundo (d) Rugosidade do fundo (e) Classificação geomorfológica da área de estudo. .... | 17 |
| Figura 7: Imagem do mosaico de <i>backscatter</i> para a frequência de 170 KHz na área do levantamento. ....  | 20 |
| Figura 8: Composição de dados batimétricos coletados no âmbito do Subprojeto mapeamento de Habitats, dados batimétricos pretéritos ao projeto (bordas tracejadas) e localização de dados pretéritos de imagens de fundo. ....   | 22 |
| Figura 9: Imagens do fundo na região de estudo adquiridas por drocameras a partir de estudos anteriores ao monitoramento (dados pretéritos). ....   | 23 |
| Figura 10: Exemplo 4 de imagens do fundo no entorno a região de estudo. ....  | 23 |
| Figura 11: Localização dos pontos de vídeo-monitoramento na área correspondente ao levantamento ecobatimétrico na região adjacente à foz do rio Doce, entre as isóbatas de 15 e 30 metros. ....   | 25 |
| Figura 12: Exemplo de frames coletados na região adjacente à foz do rio Doce ....   | 27 |
| Figura 13: Exemplo dos frames das imagens de fundo para as visualizações ortogonal e lateral de diferentes pontos adjacentes à foz do Rio Doce. ....  | 28 |
| Figura 14: Primeiros resultados de mapeamento não processados da Foz do Rio Doce. ....  | 29 |
| Figura 15: resultado da classificação dos habitats de fundo, levando em consideração a variabilidade do backscatter e das verdades de campo. Fonte: Aleixo (2019). ....   | 30 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 16: Mapa amostral dos testemunhos coletados ao longo da área de estudo. ....   | 31 |
| Figura 17 A a J: Testemunhos sedimentares coletados ao longo da costa adjacente à foz do rio doce.<br>a) RRDM-SCRD-T01; b) RRDM-SCRD-T03; c) RRDM-SCRD-T04; d) RRDM-SCRD-T06; e) RRDM-SCRD-T07; f) RRDM-SCRD-T08; g) RRDM-SCRD-T09; h) RRDM-SCRD-T10; i) RRDM-SCRD-T11 e j) RRDM-SCRD-T13. .... | 32 |
| Figura 18: Percentual de Matéria Orgânica ao longo do testemunho RRDM_SCRD_T01. ....  | 38 |
| Figura 19: Percentual da composição granulométrica ao longo do testemunho RRDM_SCRD_T01. ....   | 39 |
| Figura 20: Percentual do teor de água ao longo dos testemunhos RRDM_SCRD_T01 e RRDM_SCRD_T03. ....  | 40 |
| Figura 21: Localização das linhas sísmicas previstas e realizadas. ....   | 41 |
| Figura 22: Exemplos de linhas de sísmicas coletadas com Perfilador de Sub-Fundo (Chirp - 10-20kHz) identificando camada de depósito sedimentar não-compactado. ....   | 42 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Dicionário de classificação do BTM. .... | 16 |
|--|----|

## **LISTA DE QUADROS**

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1: Resultados do modelo para as zonas geomorfológicas. ....                              | 18 |
| Quadro 2: Coordenadas geográficas dos pontos de vídeo-monitoramento na região do rio Doce. .... | 26 |
| Quadro 3: Coordenada dos pontos de testemunho coletados, em UTM Sirgas 2000. ....               | 32 |

## **1 INTRODUÇÃO**

O escopo do presente projeto pode ser descrito em dois temas principais: mapeamento de habitats e mapeamento do rejeito.

O mapeamento de habitats se refere ao mapeamento morfológico e faciológico do fundo, relacionando a variabilidade dos tipos de fundo à ocorrência e distribuição de comunidades bentônicas. A principal razão para realizar um mapeamento de habitats no contexto de um programa de monitoramento é o fato de que mapear o fundo marinho deveria ser sempre o primeiro passo antes de qualquer programa de manejo, planejamento sistemático, ou estudo de uso do solo ou de impacto ambiental. O mapeamento de habitats permite identificar e caracterizar as áreas que estão sendo monitoradas através do reconhecimento em detalhe de sua morfologia e faciologia. Esse primeiro passo é fundamental para contextualizar as áreas potencialmente impactadas. No caso da área de estudo, o mapeamento de habitats na Área de proteção ambiental (APA) Costa das Algas vem identificando a ocorrência de paleovales, estruturas recifais e fundos com densidades distintas de rodolitos. Ou seja, sem o conhecimento do fundo marinho, os pontos que estão sendo monitorados podem representar o mesmo habitat, ou, ainda, o desconhecimento da morfologia pode levar a uma interpretação errônea dos resultados.

A segunda temática dentro do escopo deste Subprojeto é o mapeamento do rejeito através de levantamento de perfilador de sub-fundo (sísmica) e testemunhos recifais. O perfilador oferece a possibilidade de se mapear a espessura do depósito formado pelo rejeito ou a espessura do depósito móvel, onde se tem a presença do rejeito. Os levantamentos sísmicos já tiveram início e os primeiros resultados qualitativos serão apresentados neste relatório. A testemunhagem permite analisar, ao longo do perfil estratigráfico, a mineralogia e a variação nos teores de metais, determinando, assim, a presença ou não do rejeito e qual sua espessura. Os testemunhos já foram coletados e estão em estágio de processamento.

Embora tenha no seu escopo o vídeo-monitoramento trimestral, este Subprojeto não tem uma meta que seja de monitoramento. O vídeo-monitoramento está sendo realizado em parceria com o Subprojeto Fundos Recifais e Rodolitos, uma vez que ambos deveriam monitorar fundos de rodolitos e recifes. Desta maneira, estamos tentando otimizar os recursos.

## **2 OBJETIVO**

O objetivo do Subprojeto Mapeamento de Habitats é investigar e caracterizar os principais habitats marinhos adjacentes à foz do Rio Doce, bem como entender a distribuição e espessura dos depósitos sedimentares formados a partir do rompimento da barragem de rejeito de minério (Barragem de Fundão) em Mariana - Minas Gerais e sua interação com os principais habitats.



a) Objetivos específicos:

1. Mapear os habitats marinhos adjacentes à foz do Rio Doce;
2. Definir a espessura do depósito sedimentar formado na plataforma continental;
3. Caracterizar o depósito em relação à sua sedimentologia, mineralogia e geoquímica de metais;
4. Identificar as áreas preferenciais de acúmulo do rejeito;
5. Identificar os habitats potencialmente impactados pelo aporte de rejeito;
6. Vídeo-Monitorar os principais habitats adjacentes à foz do Rio Doce.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

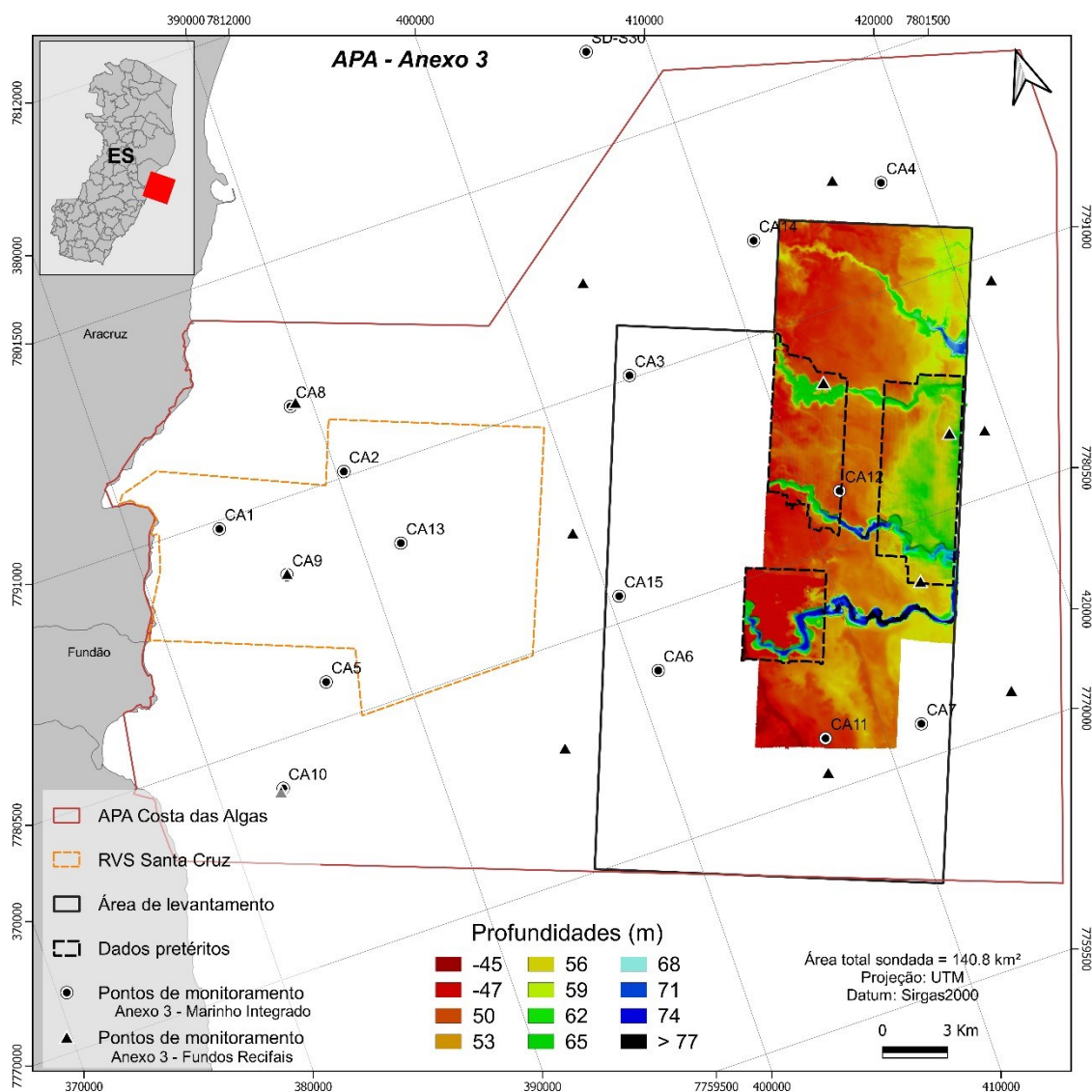
#### **3.1 MAPEAMENTO DE HABITATS**

##### **3.1.1 Morfologia do fundo marinho**

Os dados batimétricos adquiridos até o momento estão dentro da área definida prevista - Área de Preservação Permanente Costa das Algas (APA - Costa das Algas). A região no entorno da área estudada pelo Subprojeto Mapeamento de Habitats apresenta pontos de monitoramento de outros subprojetos do Anexo 3 Marinho (Figura 1).

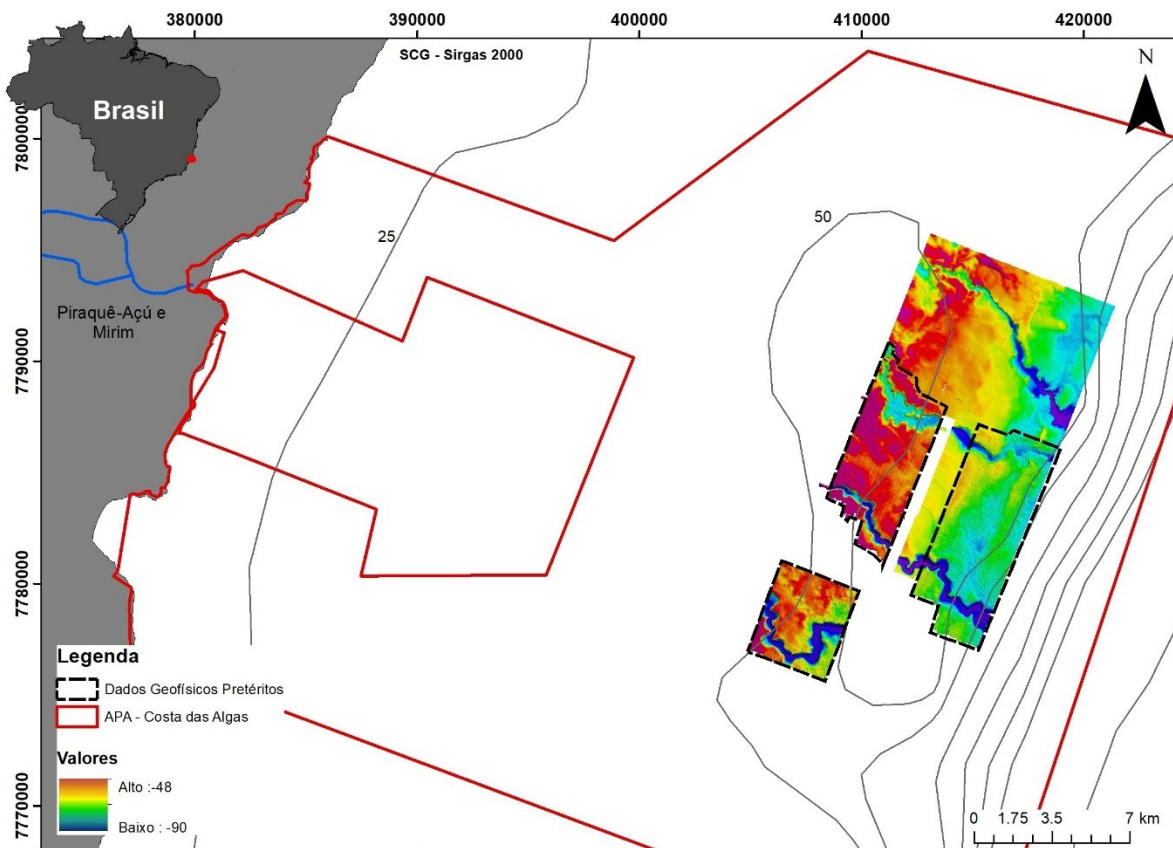
O levantamento batimétrico estendeu-se aproximadamente entre as isóbatas de 30 e 90 metros de profundidade. Foram coletados dados em uma área de aproximadamente 140,8 km<sup>2</sup> (2076,4 km) ao longo da região da APA – Costa das Algas (Figura 1), porém até o momento serão apresentados dados processados referentes a uma área de aproximadamente 72 km<sup>2</sup> (1064,9 km) (Figura 2). Além disso, um conjunto de dados batimétricos pretéritos foram incorporados a região de estudo conforme indicado nos mapas da Figura 1 e Figura 2. Estes dados pretéritos foram coletados em abril de 2018 no âmbito do Projeto IODP-CAPES, coordenado pelo Professor Alex Cardoso Bastos. Tais dados fazem parte de uma dissertação de mestrado e de uma tese de doutorado em andamento, ambas desenvolvidas no Laboratório de Oceanografia Geológica (LaboGeo) da UFES.

Figura 1: Dados batimétricos coletados até fevereiro/2019 pelo Anexo 3 - Subprojeto Mapeamento de Habitats.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2: Dados batimétricos coletados no âmbito do subprojeto Mapeamento de Habitats processados até o momento e dados pretéritos coletados no âmbito do Projeto IODP-CAPES (abril de 2018).

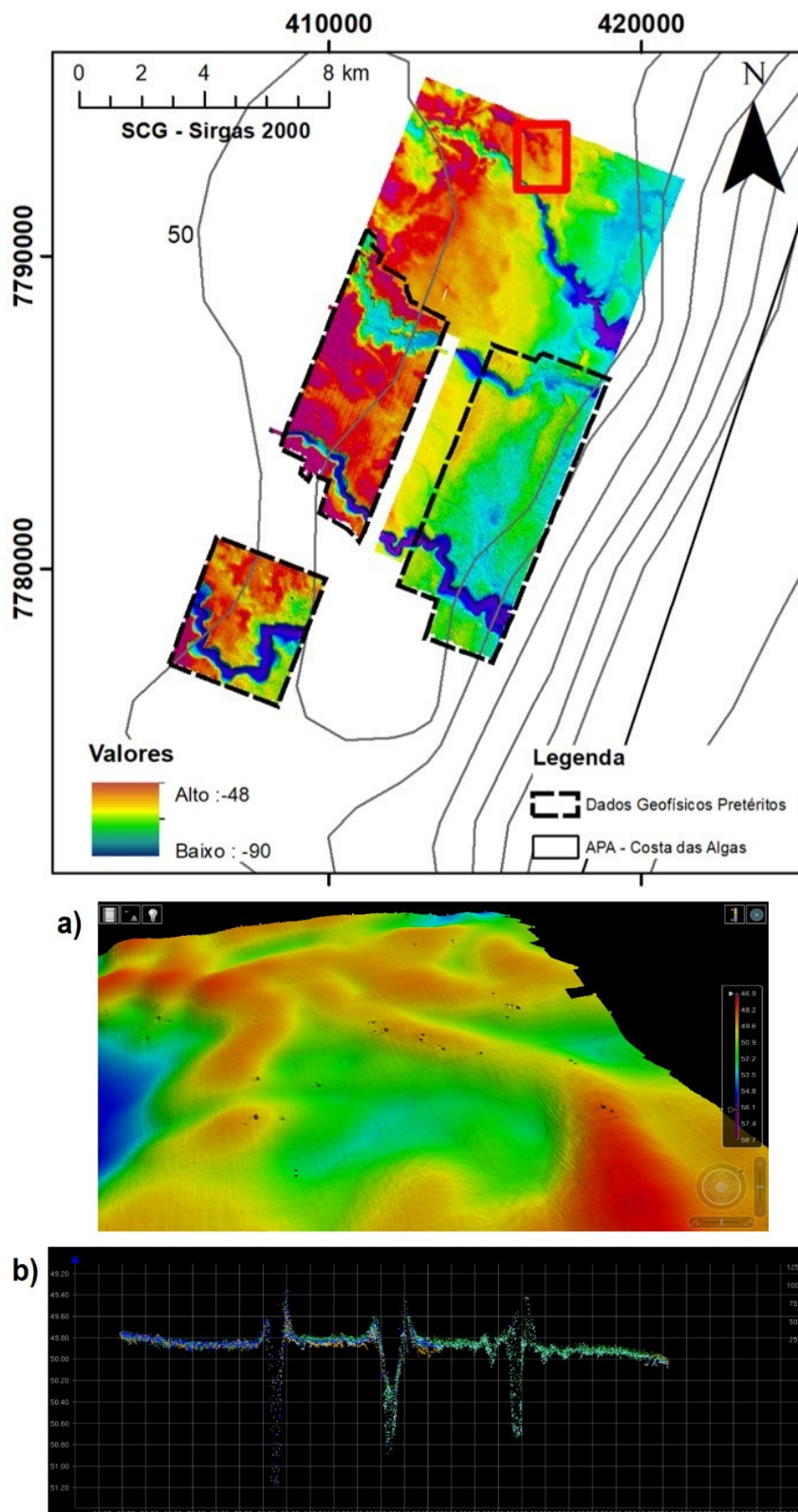


Fonte: Autoria própria.

Uma análise geral do aspecto morfológico para a região indica uma morfologia bastante irregular. Após o processamento e análise dos modelos digitais batimétricos do fundo marinho na região da APA Costa das Algas foi possível observar a ocorrência de distintas feições morfológicas. Dentre elas destacamos as depressões circulares-buracas (Figura 3), paleovales (Figura 4) e a presença de uma feição artificial do tipo duto (Figura 5) na porção mais profunda da área em questão, atravessando-a longitudinalmente.

As “buracas” correspondem a depressões do fundo marinho, geralmente mais profundas do que largas nas bordas (em formato de copo). Este termo foi introduzido por pescadores locais da região de Abrolhos, onde alguns estudos já comprovaram a existência de tais feições em sua plataforma continental (BASTOS et al., 2016). Na área de estudo estas estruturas estão presentes ao longo de toda região mapeada (Figura 3).

Figura 3: Exemplo de localização das buracas. a) Modelo digital batimétrico em perspectiva no qual é possível identificar várias feições de buracas; b) Apresentação de uma secção 2D mostrando linhas batimétricas realizadas sobre as feições de buracas.

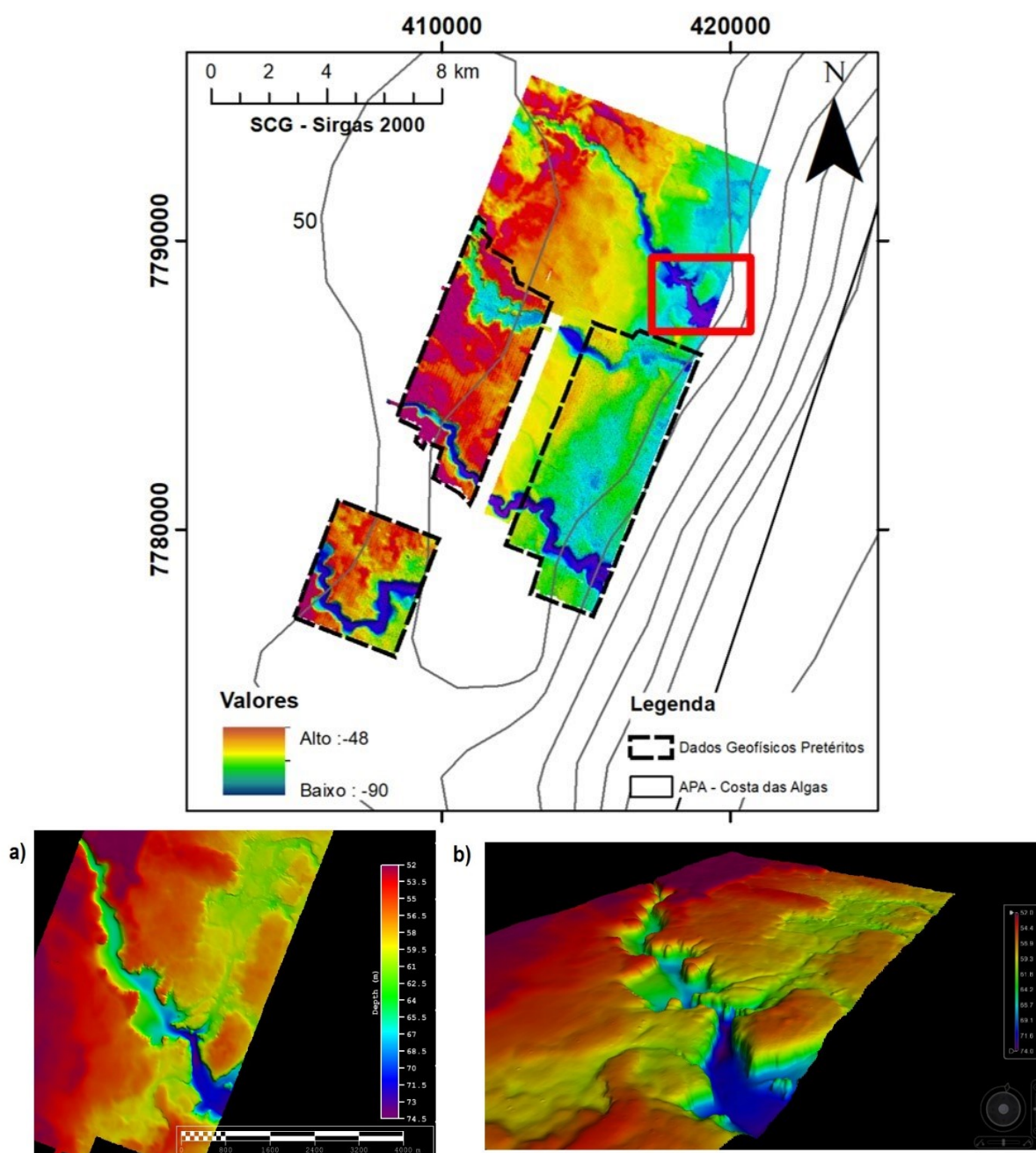


Fonte: Autoria própria.



Os Paleovales (Figura 4) remetem a antigos canais fluviais e que ainda podem ser observados na plataforma continental, uma vez que a sedimentação local não se mostrou capaz de promover um preenchimento completo destas feições do fundo marinho. Estas feições de fundo foram observadas ao longo de toda área levantada e apresentam um aprofundamento e alargamento dos canais em direção à quebra da plataforma continental.

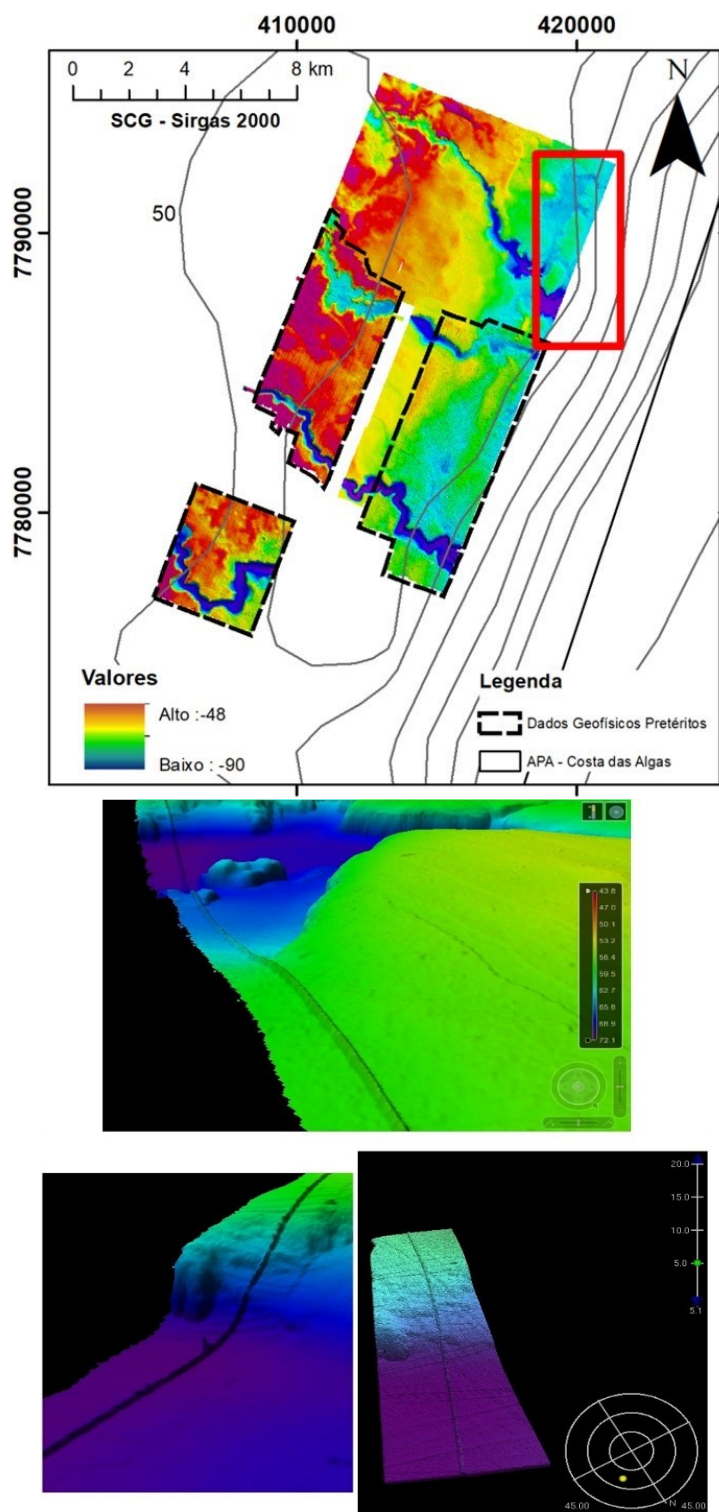
Figura 4: Localização dos paleovales identificados. a) Modelo digital batimétrico evidenciando o paleovale da sessão destacada em vermelho; b) Modelo digital batimétrico em perspectiva 3D do paleovale da sessão destacada em vermelho.



Fonte: Autoria própria.

Como dito anteriormente, o terceiro tipo de feição identificado foi o duto artificial, localizado em direção *offshore* da área levantada, sendo possível mapear 7km desta feição (Figura 5).

Figura 5: Localização e diferentes ângulos em perspectiva 3D evidenciando a presença de duto artificial dentro da área identificada pelo retângulo em vermelho.



Fonte: Autoria própria.

### 3.1.2 Caracterização Geomorfométrica

A classificação geomorfométrica da área foi realizada através do Benthic Terrain Modeler 3.0 (BTM), um modelo de terreno bêntico presente no software ArcGIS. Através de um mapa batimétrico utilizado como dado de entrada, o BTM realiza processos de classificação que originam variáveis descritivas do terreno, tais como declividade (*Slope*), Índice de Rugosidade do Terreno (*Ruggedness*) e Índices de Posicionamento Batimétrico (BPI) (LUNDBLAD et al., 2006), sendo o último o principal produto do modelo.

Através de um conjunto de algoritmos padrão, os outputs do BTM – Declividade e BPI, juntamente com a profundidade obtida pela batimetria, podem ser examinados para classificar a paisagem bentônica quando relacionados e combinados em um dicionário de classificação. Essa classificação resulta em mapas com a distribuição de estruturas e zonas da camada bêntica (WRIGHT et al., 2005). Vale ressaltar que o resultado do BTM descreve classes genéricas derivadas estatisticamente, não considerando os processos geológicos ou biológicos atuantes (JEROSCH et al., 2015).

A partir dos dados batimétricos foi possível obter então declividade e BPI's da plataforma para incorporar na análise morfométrica da área. A declividade do terreno, expressa em graus, é fundamental para entendimento da complexidade do mesmo e é chave para a obtenção das demais variáveis. Ela afeta a velocidade das correntes de água e consequente erosão, potencial de queda e distribuição da fauna bentônica (KOSTYLEV et al., 2003).

O BPI, adaptado do índice topográfico (TPI) de Weiss (2001), é resultante de uma análise de vizinhança entre a elevação de uma célula em relação a elevação média das células adjacentes em uma área definida. Um valor de BPI positivo representa uma célula de maior elevação comparada a vizinhança (uma crista), enquanto que um valor negativo reflete uma célula mais baixa (depressão ou vale); áreas planas ou áreas com inclinação constante produzem valores próximos de zero (LUDBLAND et al., 2006; MICALLEF et al., 2012). Este algoritmo analisa o terreno em escala ampla e fina, sendo que o primeiro executa uma análise mais abrangente, identificando áreas mais gerais na paisagem (BPI Amplo) e o segundo efetua uma análise de vizinhança, que permite classificar mais pormenorizadamente as feições na paisagem de fundo (BPI Fino) (LUDBLAND et al., 2006). Ainda, a combinação desta variável em ambas as escalas permite distinguir uma variedade de formas de relevo aninhadas (ERDEY-HEYDORN, 2008). As escalas utilizadas aqui foram de uma área de 100 células para o BPI amplo e fino.

Outra variável obtida por meio da classificação do BTM é o Índice de Rugosidade do Terreno, medida da variação local no fundo do mar sobre um pixel central (RILEY et al., 1999). Este parâmetro está intimamente ligado com a declividade, sendo que valores altos de rugosidade indicam áreas de relevo mais acentuado, logo, de maior declividade.

A classificação geomorfológica do fundo marinho ocorre por meio da relação entre batimetria, declividade e BPI. Havendo conhecimento das feições que existem na área estudada e quais são as

de interesse do estudo, estas são dispostas em uma tabela, ou dicionário, juntamente aos parâmetros citados, de modo que estes terão seus limites inferiores e superiores de abrangência definidos adequados à entrada de dados (Tabela 1).

Tabela 1: Dicionário de classificação do BTM.

| Classes           | BPI Fino        | BPI Amplo       | BPI Fino        | BPI Amplo       | Slope           | Slope           | Profundidade    | Profundidade    |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                   | Limite Inferior | Limite Superior | Limite Inferior | Limite Superior | Limite Inferior | Limite Superior | Limite Inferior | Limite Superior |
| Fundo de Canal    |                 | -100            |                 |                 | 0.1             |                 | -89             | -10             |
| Fundos Planos     | -100            | 100             | -100            | 100             |                 | 0.36            |                 |                 |
| Fundo Rugoso      | -100            | 100             | -100            | 100             | 0.36            |                 |                 |                 |
| Margem de Canal   | -100            |                 | -100            |                 |                 |                 | -90             | -40             |
| Cristas Profundas |                 | 100             |                 |                 |                 |                 |                 |                 |

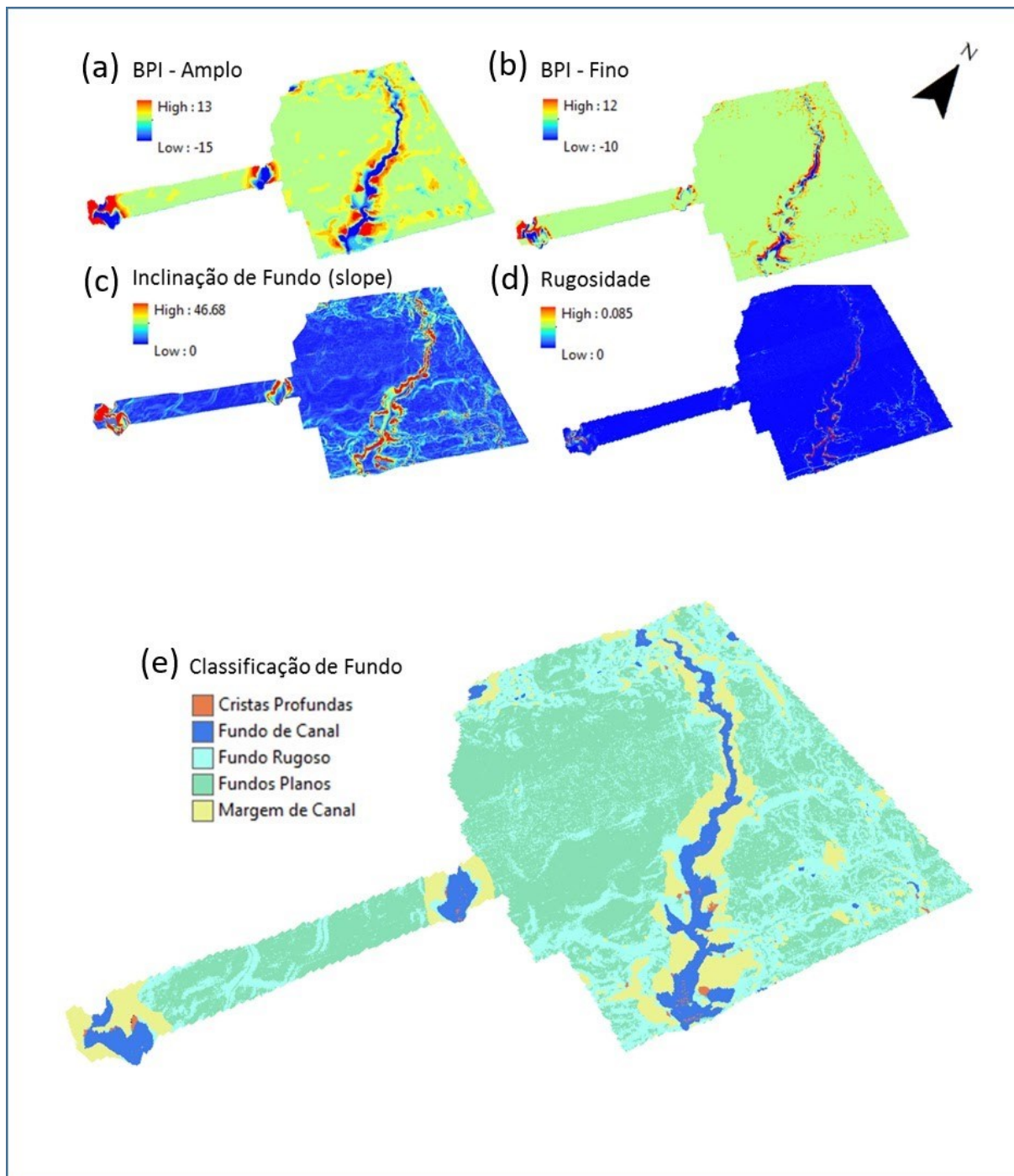
Fonte: Autoria própria.

Inicialmente, foram estabelecidos os intervalos de profundidade da ocorrência de cada feição, de acordo com a batimetria, sendo o limite superior o mais raso e o limite inferior o mais profundo. Para os limites de declividade, foi estipulado que o ângulo de 0,36° seria o limite para separar fundo plano de inclinado, sendo o gradiente plano ocorrente até 0,36° e o gradiente mais inclinado a partir deste ângulo. Os fundos de canal possuem declividade inferior a 0,1°. Tratando-se do BPI, os limites superiores e inferiores variaram entre valores positivos e negativos de 100. O número 100 é o número de unidades no grid que foram analisadas. Quando negativo, este número refere-se a valores abaixo do desvio padrão e quando positivo, o inverso.

Na região mapeada da plataforma continental da APA Costa das Algas foram reconhecidas 5 classes pelo BTM. A Figura 6 apresenta esta classificação, com destaque para as regiões de paleovales, bem como os produtos oriundos da batimetria (BPI, Declividade e Rugosidade).



Figura 6: Banco de dados batimétricos e seus derivados (a) Índice de posição batimétrica de larga escala (Broad-BPI) (b) Índice de posição batimétrica em escala fina (Fine-BPI) (c) Inclinação do fundo (d) Rugosidade do fundo (e) Classificação geomorfológica da área de estudo.



Fonte: Autoria própria.

Na Quadro 1 encontram-se as zonas geomorfológicas resultantes do modelo utilizadas na classificação geomorfológica da área de estudo e suas respectivas porcentagens de observação.

Quadro 1: Resultados do modelo para as zonas geomorfológicas.

| Zona              | Porcentagem (%) |
|-------------------|-----------------|
| Fundos planos     | 49.58           |
| Cristas profundas | 0.27            |
| Margem de canal   | 12.61           |
| Fundos rugosos    | 31.9            |
| Fundo de canal    | 5.64            |

Fonte: Autoria própria.

O modelo mostrou que a maior parte da plataforma continental para a região é composto por fundo planos, com 49,58%. Porém os fundos rugosos, com 31,9% e os paleovales, com 18,25% (margem de canal, com 12,61%; fundo de canal, com 5,64%) representam juntos 50,15% de toda a área mapeada.

O índice de posicionamento batimétrico, tanto de sua forma ampla como refinada, ressalta a presença de um canal cortando diagonalmente da porção mais rasa até a mais profunda representado pelo índice negativo, ou seja, região espacialmente abaixo de sua vizinhança. Além disso, toda a borda e a margem deste canal também são ressaltadas com índices positivos e chegando as maiores magnitudes encontradas (Figura 6a e b). Em relação a declividade e a rugosidade, elas também denotam altos valores na margem do canal (Figura 6c e d). Existem regiões na porção rasa extrema e na porção profunda extrema do mapeamento onde a declividade atinge valores superiores à das regiões planas (Figura 6c). A rugosidade também é observada na porção profunda extrema com valores maiores (Figura 6d).

A classe de cristas profundas é observada nos fundos de canal e em suas margens podendo ser potencialmente concreções carbonáticas e estruturas recifais. O fundo de canal é delimitado por Índice Batimétrico abaixo das células vizinhas e declividade baixa. O fundo rugoso e o plano são áreas sem a presença de feições positivas ou negativas quanto ao índice batimétrico, entretanto, quanto à declividade acima ou abaixo de 0,36°, respectivamente. Finalmente, a classe de margem de canal apresenta índice batimétricos positivos e declividade com valores máximos, sendo encontrada na sua maioria ao longo da feição de canal.

Como produto final da caracterização geomorfométrica é possível indicar a partir das derivadas da batimetria (BPI, declividade e rugosidade) e do modelo de terreno bêntico (BTM) que a área mapeada é bem heterogênea e possui uma alta complexidade de habitats. Isso mostra que a região APA Costa das Algas deve ser mais investigada para refinar o conhecimento das feições e estruturas encontradas para a definição das áreas mais propícias e vulneráveis ao acúmulo de rejeito.

### 3.1.3 Caracterização por *backscatter*

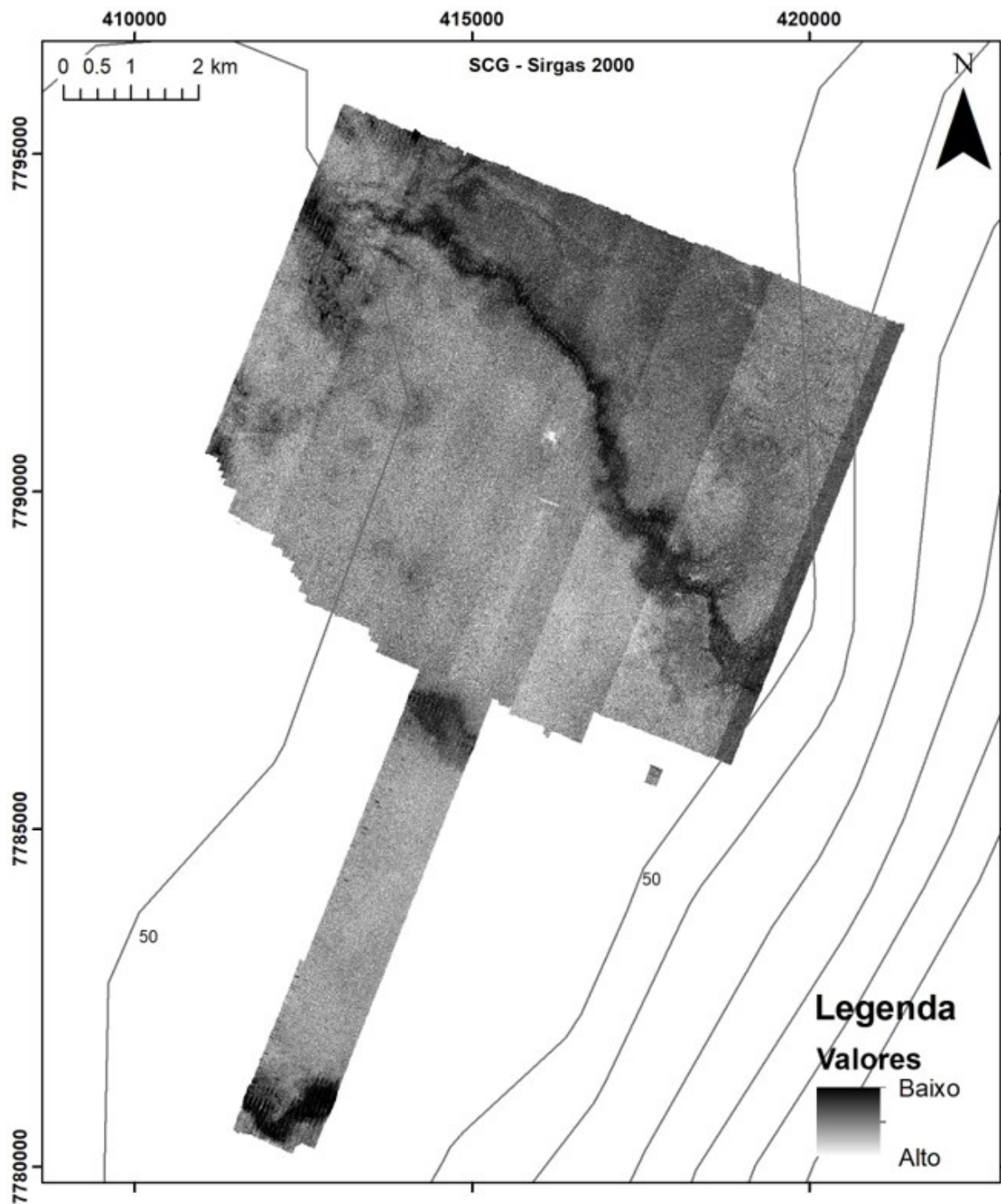
O *backscatter* representa a intensidade de retorno do sinal acústico produzido pela interface com contraste de impedância acústica (LURTON; LAMARCHE, 2015). A intensidade do *backscatter* é geralmente medida em decibéis (dB) e apresentada em valores negativos, sendo fundamentalmente dependente da frequência acústica do equipamento, da composição do fundo marinho e do ângulo de

incidência do pulso sonoro. Assim, uma série de modelos de classificação vem sendo construída com base nas informações que a intensidade do *backscatter* fornece sobre as propriedades do fundo.

O ecobatímetro multifeixe utilizado no levantamento (R2SONIC 2024) é multiespectral, ou seja, possui a capacidade de coletar dados de *backscatter* em diferentes frequências (máximo de 5 frequências) simultaneamente, executando disparos (pings) acústicos de maneira sequencial. Desta forma, devido a relativa alta taxa de aquisição de dados do equipamento (quando comparada à velocidade de navegação da embarcação), as respostas acústicas de cada frequência coincidem no tempo e no espaço, permitindo uma melhor discriminação dos diferentes tipos de sedimento do leito marinho. Assim, para a região em questão foram adquiridos dados de ecobatimetria multifeixe nas frequências de 170 kHz, 280 kHz e 400 kHz.

A Figura 7 apresenta o mosaico de *backscatter* gerado para os dados de 170 kHz, o qual corresponde a um produto parcial, uma vez que somente a correção batimétrica foi aplicada de acordo com o tempo hábil para processamento dos dados. Uma das próximas etapas de refinamento dos resultados do *backscatter* será gerar produtos a partir da análise de ângulo e de alcance dos dados. Vale ressaltar que com mais tempo de processamento computacional pretende-se gerar mosaicos de *backscatter* mais refinados, ou seja, com resoluções inferiores a dois metros. De maneira geral, a maior parte da área apresentou altas intensidades de *backscatter*. Algumas variações no *backscatter* são encontradas nos paleovales, conforme é possível observar na imagem abaixo.

Figura 7: Imagem do mosaico de *backscatter* para a frequência de 170 KHz na área do levantamento.



Fonte: Autoria própria.

O padrão de baixa intensidade de retorno do *backscatter*, indica regiões a qual o pulso acústico sofreu alta absorção ou dispersão, sendo normalmente associado a sedimentos finos com considerável conteúdo de lama. Ao longo de toda área de estudo o padrão de baixa intensidade de *backscatter* acompanhou principalmente as classes de margem de paleovale e de fundo de paleovale. Na área em questão é possível observar a presença de, pelo menos, três paleovales.

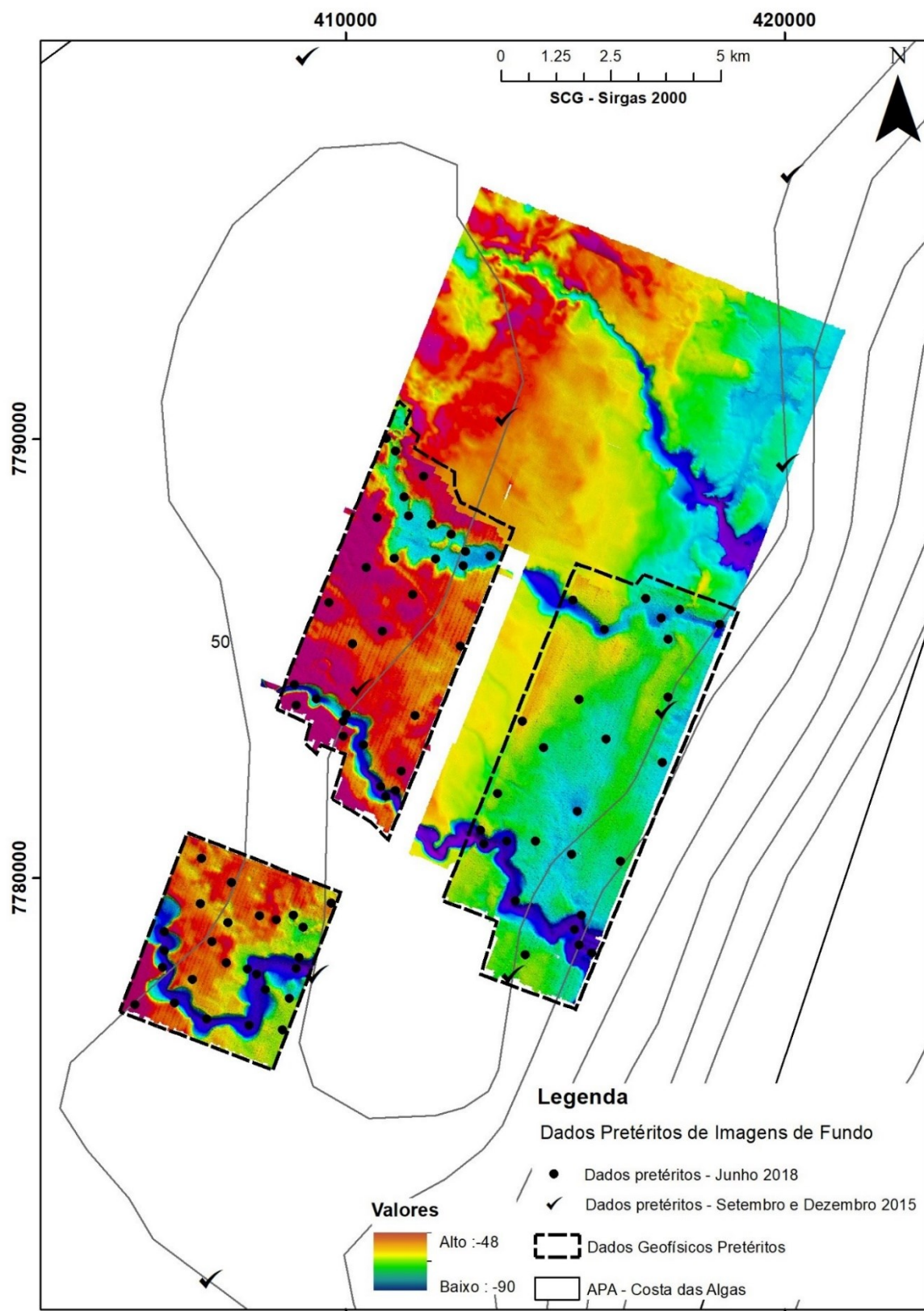
Um dos produtos finais a ser elaborado é um mosaico composto de *backscatter* em tons RGB (vermelho, verde e azul) construído a partir da composição dos três mosaicos de *backscatter* relativos a cada frequência coletada. No Mosaico colorido RGB a predominância de determinadas cores pode indicar a ocorrência de depósitos sedimentares e/ou estruturas morfológicas específicas, como estruturas recifais ou depósitos de “bota-fora” (descarte de dragagem), por exemplo. Portanto, a utilização conjunta deste produto final com as verdades de campo (imagens coletadas por câmeras, por exemplo) possibilitará mais interpretações e inferências acerca das propriedades e tipos sedimentares do fundo marinho das áreas estudadas. O processamento final do *backscatter* para elaborar este produto exige um alto custo computacional, portanto, será apresentado de maneira completa em relatórios futuros.

#### **3.1.4 Verdades de campo: dados pretéritos com dropcameras**

Na tentativa de auxiliar nas descrições dos dados e evidenciar/exemplificar a presença de variados tipos de fundo na região mapeada, dados pretéritos de imagens do fundo marinho coletados por dropcameras em junho de 2018 foram incorporados na base de dados apresentada (Figura 9). Além destes, dados coletados entre setembro e dezembro 2015 financiados por FAPES nº 65945336/2014 (Figura 8) também integram a base de dados pretéritos.

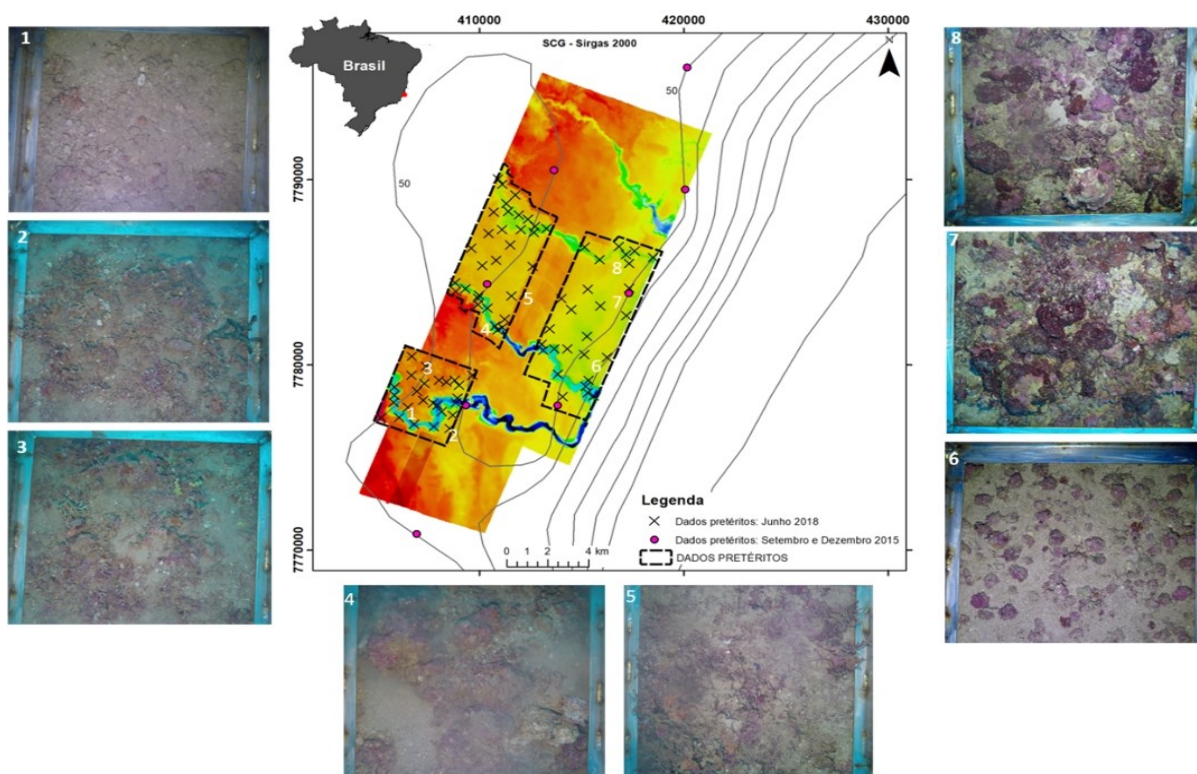


Figura 8: Composição de dados batimétricos coletados no âmbito do Subprojeto mapeamento de Habitats, dados batimétricos pretéritos ao projeto (bordas tracejadas) e localização de dados pretéritos de imagens de fundo.



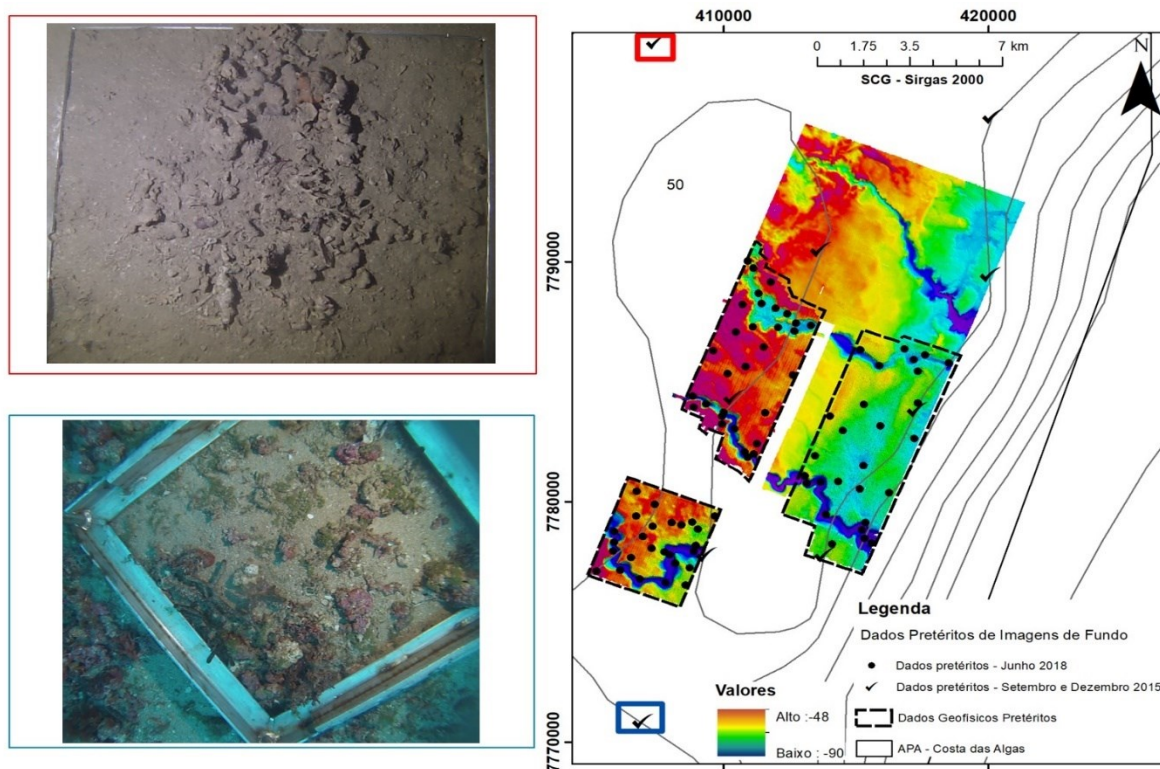
Fonte: Autoria própria.

Figura 9: Imagens do fundo na região de estudo adquiridas por drocameras a partir de estudos anteriores ao monitoramento (dados pretéritos).



Fonte: Autoria própria.

Figura 10: Exemplo 4 de imagens do fundo no entorno a região de estudo.



Fonte: Autoria própria.

Em paralelo, outros trabalhos desenvolvidos na região também enfatizam a alta cobertura por fundos de rodolitos ao longo de toda a plataforma continental (VIEIRA et al, 2019 submetido; BASTOS et al., 2015), corroborando, assim, com os resultados geofísicos obtidos nos seis primeiros meses de monitoramento. Todos estes dados são indicativos que a região aqui mapeada é composta por sedimentos carbonáticos, com destaque para os rodolitos, e, a partir do mapeamento realizado com diversas metodologias, é possível identificar e detalhar os tipos de fundos associados ao habitat de fundos de rodolitos dentro de uma unidade de conservação.

Os fundos de rodolitos são agregados de nódulos compostos principalmente de algas calcárias incrustantes (CRUSTOSE CORALLINE ALGAE; BOSENCE, 1983) que ocorrem em ampla variedade de profundidades (desde a zona entremarés e alcançando 150 metros) (FOSTER, 2001). Segundo Bruno e Bertness (2001), a presença de fundos de rodolitos representam a transformação de ambientes com sedimento de fundo não consolidado em substratos rígidos e heterogêneos formadores de habitats mais complexos (FOSTER, 2001). Os fundos de rodolitos suportam um complexo de teias alimentares de predadores, suspensívoros, detritívoros e micro-herbívoros (GRALL et al., 2006), sendo considerados habitats críticos para a conservação (HALL-SPENCER 1998; PEÑA; BARBARA 2008; NELSON, 2009; ÁVILA; RIOSMENA-RODRIGUEZ 2010; STELLER et al. 2009; RIOSMENA-RODRIGUEZ et al, 2010).

Tratando-se de nódulos compostos por formas fotossintetizantes, a mudança de padrões sedimentares como presença de pluma de sedimentos ou a deposição de uma camada de finos sobre os mesmos, pode alterar a dinâmica e desenvolvimento dos organismos, uma vez que esta deposição causa diminuição na irradiância necessária para a fotossíntese. Wilson et al. (2004) sugerem que o seu soterramento por uma camada fina de sedimentos é letal ou, no mínimo, causador de estresse significativo nas algas calcárias construtoras. Bem como no trabalho de Riul et al. (2008), no qual os autores mostraram que a adição de sedimentos no ambiente resultou em redução de 70% na produção líquida de *Lithothamnion sp*, alga constituinte dos nódulos. Somado a isto, o depósito do sedimento reduz, não somente a luz disponível, mas também pode dificultar a fonte dos nutrientes e a troca dos gases, indispensáveis para a manutenção do metabolismo preliminar destas algas (LOBBAN; HARRISON, 1997).

### **3.1.5 Vídeo-monitoramento**

A meta referente ao monitoramento por vídeo-transectos não foi capaz de ser alcançada em relação à observação ou validação do impacto no fundo marinho. Os motivos para a não validação é justamente o fato de a metodologia não permitir o posicionamento exato do vídeo-monitoramento em diferentes campanhas. Para este propósito, somente um equipamento *Autonomous underwater vehicle* (AUV) aparelhado com câmeras de alta resolução seria capaz de executar tal monitoramento com precisão.

Assim, optou-se por realizar uma integração com o Subprojeto Fundos Recifais e Rodolitos e Macroalgas, uma vez que realizam o monitoramento trimestral por imagem nas mesmas áreas do presente subprojeto. Para isso, foram utilizados os resultados que estão descritos no relatório de

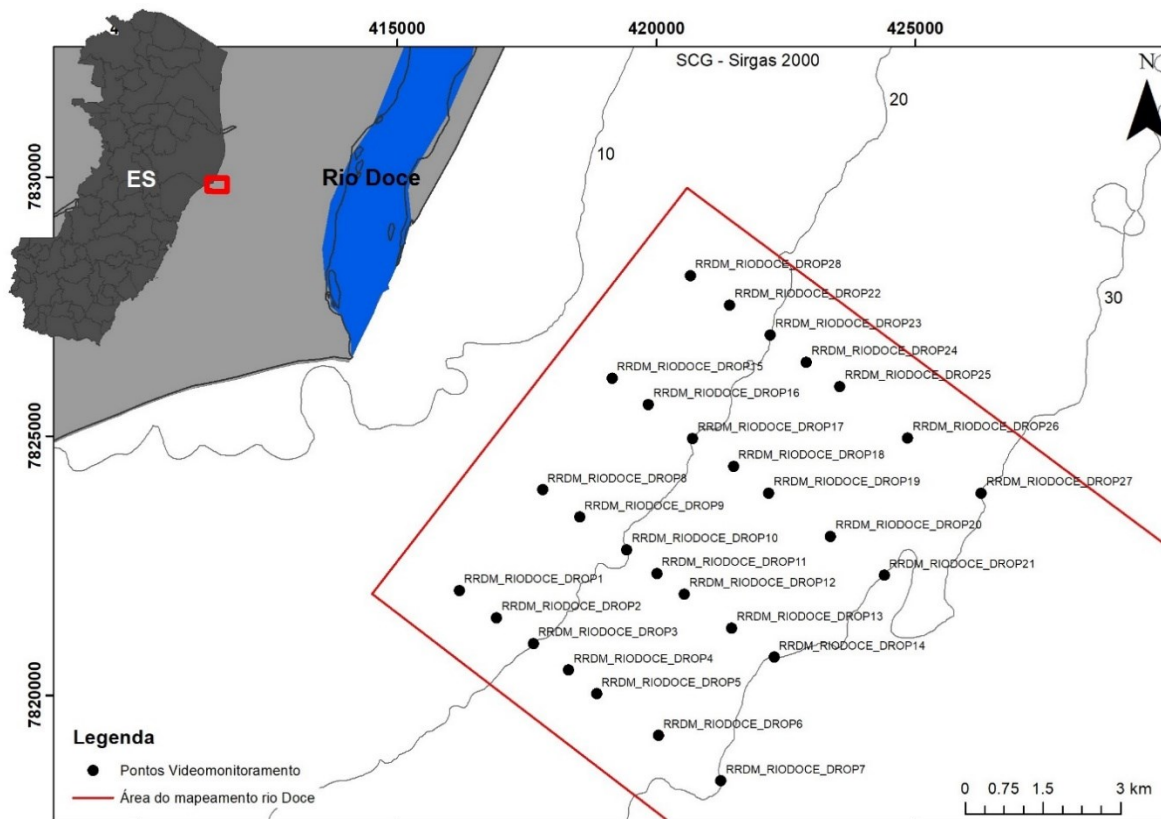


Fundos Recifais, Rodolitos e Macroalgas como parâmetro de monitoramento dos fundos de rodolitos e da região recifal.

A área da foz do Rio Doce corresponde a terceira área de imageamento em que foi realizado vídeo-monitoramento, porém, mais uma vez, o sistema com dropcameras não mostrou um resultado adequado, uma vez que o a aparente alta concentração de material em suspensão na coluna d'água não permitiu visualizar o fundo marinho. Esta observação pode indicar a constante ressuspensão de material no fundo, uma vez que as campanhas foram realizadas em período de mar bom e baixa vazão do rio.

O vídeo-monitoramento adjacente à foz do rio Doce foi realizado entre os dias 12 e 13 de março correspondendo à área do levantamento ecobatimétrico, entre as isóbatas de 15 e 30 metros (Figura 11). As coordenadas de cada ponto de vídeo-monitoramento seguem na Quadro 2.

Figura 11: Localização dos pontos de vídeo-monitoramento na área correspondente ao levantamento ecobatimétrico na região adjacente à foz do rio Doce, entre as isóbatas de 15 e 30 metros.



Fonte: Autoria própria.

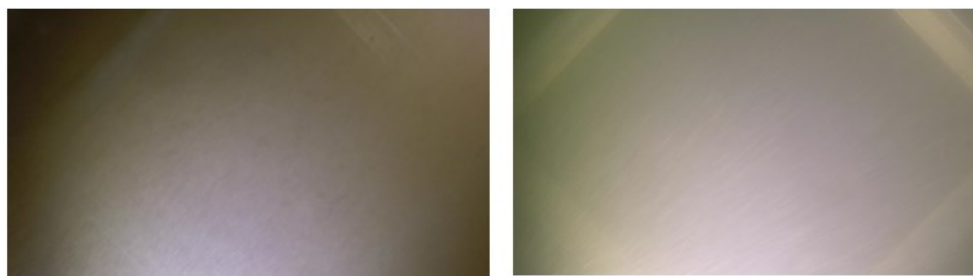
Quadro 2: Coordenadas geográficas dos pontos de vídeo-monitoramento na região do rio Doce.

| Nome do Ponto       | Coordenadas (Sirgas 2000) |            |
|---------------------|---------------------------|------------|
|                     | X_UTM                     | Y_UTM      |
| RRDM_RIODOCE_DROP1  | 416190.26                 | 7822019.10 |
| RRDM_RIODOCE_DROP2  | 416910.19                 | 7821496.17 |
| RRDM_RIODOCE_DROP3  | 417622.82                 | 7821000.41 |
| RRDM_RIODOCE_DROP4  | 418302.69                 | 7820484.71 |
| RRDM_RIODOCE_DROP5  | 418842.84                 | 7820029.54 |
| RRDM_RIODOCE_DROP6  | 420038.40                 | 7819223.97 |
| RRDM_RIODOCE_DROP7  | 421243.43                 | 7818348.68 |
| RRDM_RIODOCE_DROP8  | 417799.99                 | 7823962.00 |
| RRDM_RIODOCE_DROP9  | 418518.19                 | 7823437.19 |
| RRDM_RIODOCE_DROP10 | 419426.51                 | 7822805.09 |
| RRDM_RIODOCE_DROP11 | 420004.71                 | 7822350.96 |
| RRDM_RIODOCE_DROP12 | 420539.50                 | 7821948.68 |
| RRDM_RIODOCE_DROP13 | 421449.94                 | 7821294.91 |
| RRDM_RIODOCE_DROP14 | 422270.16                 | 7820735.16 |
| RRDM_RIODOCE_DROP15 | 419140.73                 | 7826113.39 |
| RRDM_RIODOCE_DROP16 | 419840.70                 | 7825607.42 |
| RRDM_RIODOCE_DROP17 | 420693.58                 | 7824948.68 |
| RRDM_RIODOCE_DROP18 | 421486.35                 | 7824417.87 |
| RRDM_RIODOCE_DROP19 | 422170.16                 | 7823898.20 |
| RRDM_RIODOCE_DROP20 | 423356.57                 | 7823066.00 |
| RRDM_RIODOCE_DROP21 | 424397.75                 | 7822313.39 |
| RRDM_RIODOCE_DROP22 | 421411.57                 | 7827527.04 |
| RRDM_RIODOCE_DROP23 | 422193.80                 | 7826948.68 |
| RRDM_RIODOCE_DROP24 | 422893.86                 | 7826420.02 |
| RRDM_RIODOCE_DROP25 | 423540.04                 | 7825957.16 |
| RRDM_RIODOCE_DROP26 | 424848.80                 | 7824960.00 |
| RRDM_RIODOCE_DROP27 | 426270.16                 | 7823898.48 |
| RRDM_RIODOCE_DROP28 | 420652.01                 | 7828094.31 |

Fonte: Autoria própria.

Ao longo de toda a região foi possível observar por meio das imagens adquiridas um alto nível de turbidez na coluna d'água em todos os pontos do vídeo-monitoramento, tais como os exemplos apresentados na Figura 12.

Figura 12: Exemplo de frames coletados na região adjacente à foz do rio Doce



Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP07

Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP10

Foram produzidas imagens a partir dos vídeos de ambas as câmeras (ortogonal e lateral) em cada ponto. Alguns pontos mostram uma diferenciação na coloração quando comparadas as imagens da câmera ortogonal e lateral (Figura 13). Em alguns pontos, como por exemplo RRDM\_RIODOCE\_DROP1, as imagens indicam alto nível de turbidez apresentando uma coloração alaranjada. Já para outros pontos, como exemplo RRDM\_RIODOCE\_DROP04 (Figura 13), a imagem da visualização ortogonal apresenta uma coloração diferenciada da visualização lateral.

A coloração alaranjada foi observada na coluna d'água próxima ao fundo (imagens laterais) ao passo que a coloração marrom foi mais observada nas imagens ortogonais que apontam para o fundo marinho. Dessa forma, em alguns pontos, é possível inferir que há algum processo atuante que faz com que o material alaranjado de sedimentos em suspensão mantenha-se acima do fundo, ou seja, dificultando sua deposição.

Figura 13: Exemplo dos frames das imagens de fundo para as visualizações ortogonal e lateral de diferentes pontos adjacentes à foz do Rio Doce.



Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP01  
VISUALIZAÇÃO ORTOGONAL

Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP01 -  
VISUALIZAÇÃO LATERAL



Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP03  
VISUALIZAÇÃO ORTOGONAL

Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP03 -  
VISUALIZAÇÃO LATERAL



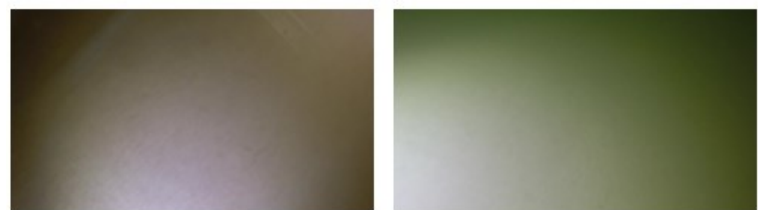
Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP04  
VISUALIZAÇÃO ORTOGONAL

Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP04 -  
VISUALIZAÇÃO LATERAL



Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP06  
VISUALIZAÇÃO ORTOGONAL

Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP06 -  
VISUALIZAÇÃO LATERAL



Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP07  
VISUALIZAÇÃO ORTOGONAL

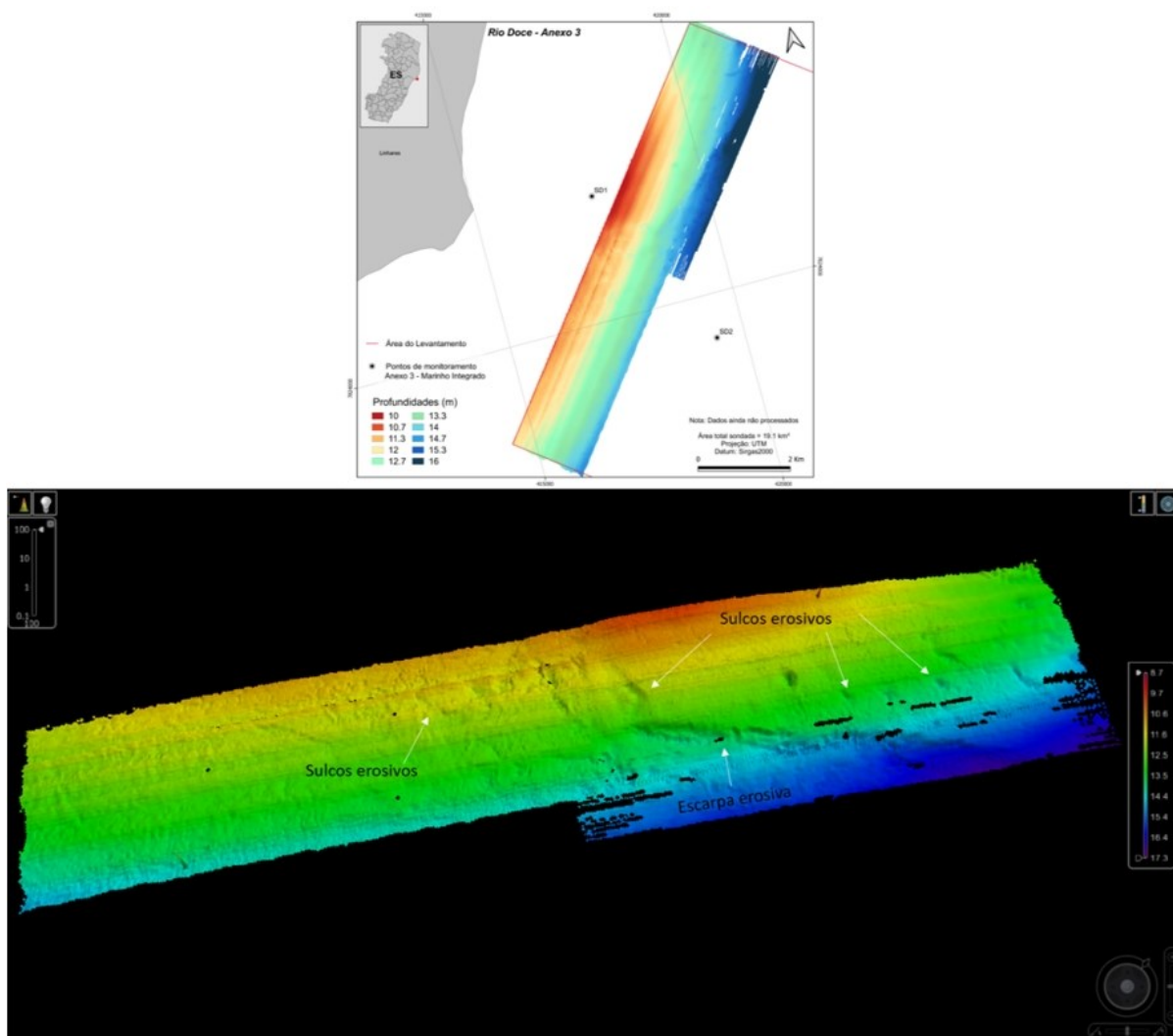
Ponto: RRDM\_RIODOCE\_DROP07 -  
VISUALIZAÇÃO LATERAL

Fonte: Autoria própria.

### 3.1.6 Mapeamento em Andamento – Foz do Rio Doce

A Figura 14 mostra os primeiros resultados não processados da Foz do Rio Doce. Essa região foi a mais afetada com a chegada de rejeito, ou seja, a que mais recebeu material e continua recebendo sedimento oriundo do Rio Doce. Neste mapa preliminar é possível observar pela primeira vez a morfologia mais detalhada do lobo deltaico do Rio Doce, mostrando uma escarpa erosiva e sulcos erosivos. Essa morfologia é indicativa de processos erosivos nunca antes descritos na foz do Rio Doce. A continuação deste mapeamento pode trazer mais luz aos processos de sedimentação na plataforma interna, o que é fundamental para entendermos o depósito do rejeito no mar. A morfologia em alta resolução juntamente com os dados sísmicos irá elucidar a ocorrência e espessura do depósito, bem como dar indícios dos processos sedimentares.

Figura 14: Primeiros resultados de mapeamento não processados da Foz do Rio Doce.



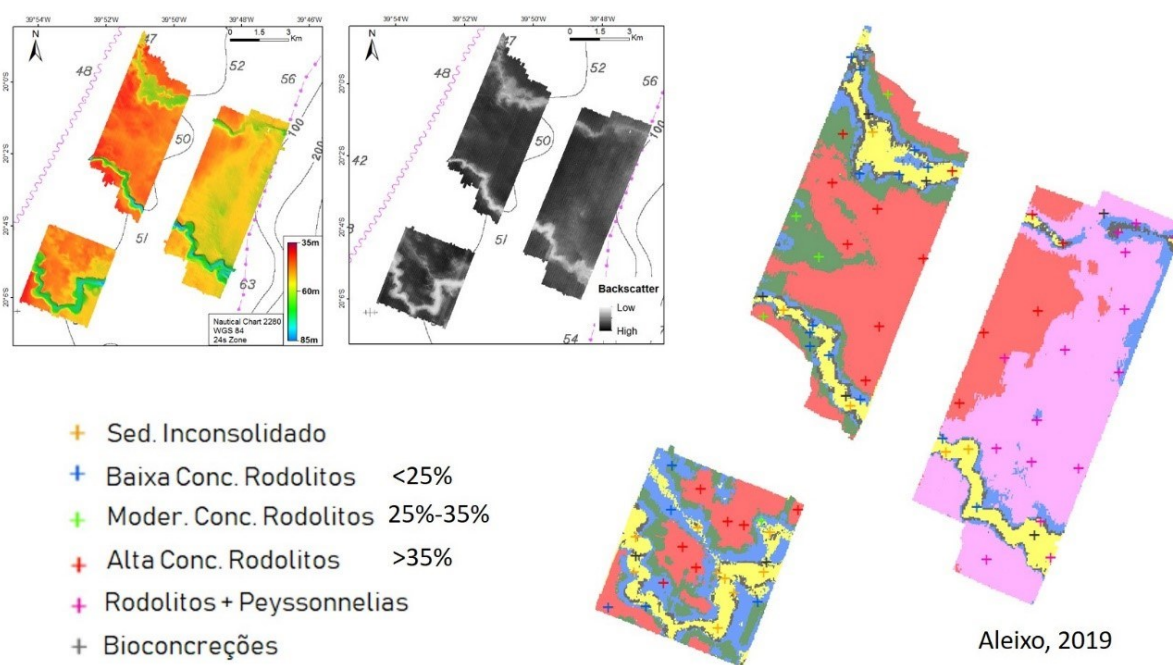
Fonte: Autoria própria.

### 3.1.7 Morfologia, Imageamento e Habitats

Embora os resultados ainda sejam parciais e carentes de uma análise automática de classificação, integrando os dados de morfologia, morfometria, *backscatter* e verdades de campo, podemos observar que o fundo da região da APA Costa das Algas possui uma morfologia bastante irregular com feições que definem diferentes habitats. A análise obtida a partir do BTM, será combinada com a distribuição do *backscatter*, mas qualitativamente já se pode inferir a distribuição de habitats associados aos canais, principalmente o fundo do canal sendo puramente sedimentar (lamoso), enquanto as margens ou paredes dos canais podem indicar a presença de estruturas rígidas, formando recifes. A parametrização com as verdades de campo também será realizada, mas a primeira análise já mostra a diferença na concentração de rodólitos e a presença de fundos recifais, que, inclusive, são ilustrados no relatório do Subprojeto Fundos Recifais, Rodólitos e Macroalgas.

Foi incorporado a este relatório o trabalho desenvolvido na área referente a Aleixo (2019). Neste trabalho fica evidente que a região da APA Costa das Algas possui um fundo de rodólitos que pode ser classificado de acordo com a densidade de nódulos por m<sup>2</sup>, bem como pela ocorrência de fundos recifais. A Figura 15 mostra o resultado da classificação dos habitats de fundo, levando em consideração a variabilidade do *backscatter* e das verdades de campo.

Figura 15: resultado da classificação dos habitats de fundo, levando em consideração a variabilidade do *backscatter* e das verdades de campo. Fonte: Aleixo (2019).



Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, o produto final a ser entregue pelo Subprojeto Mapeamento de Habitats será um mapa de habitats completo, definindo as diferentes classificações do fundo de acordo com a morfologia, tipos de fundo e biota associada.

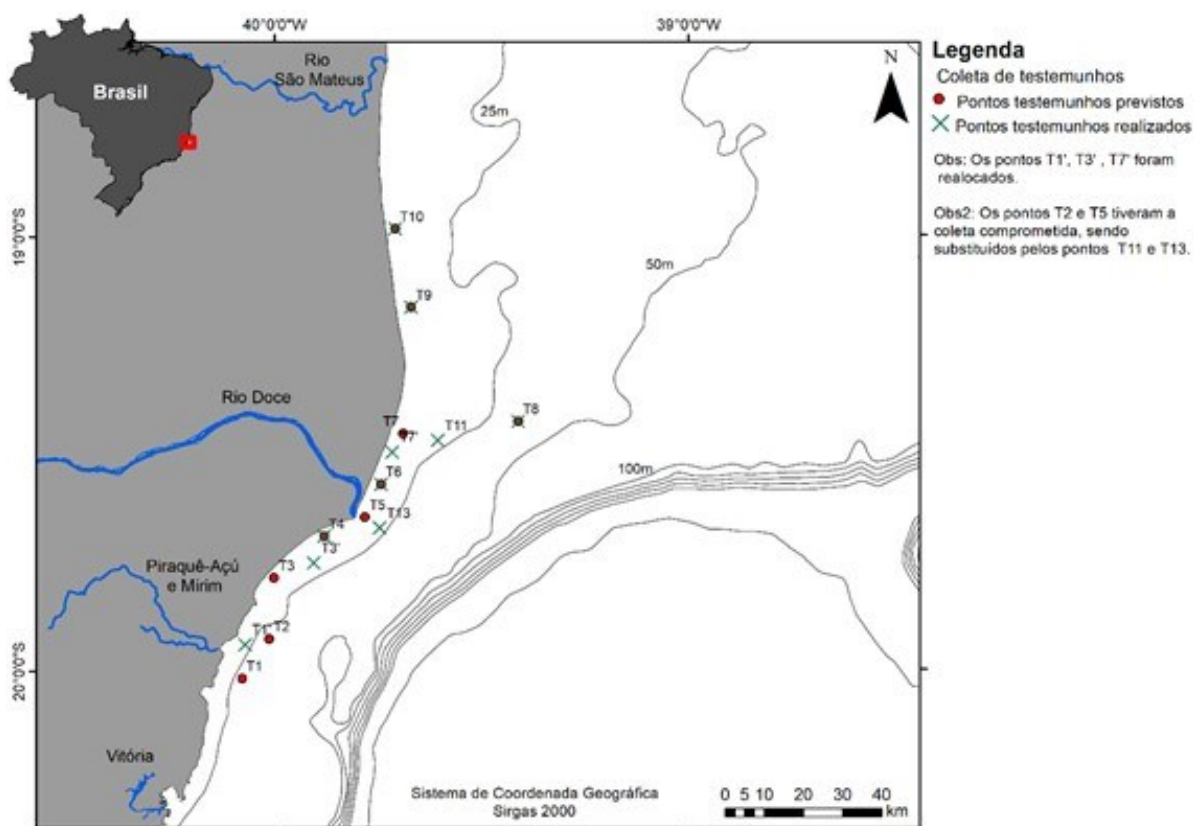


## 3.2 MAPEAMENTO DO REJEITO

### 3.2.1 Testemunhagem

Dez testemunhos foram coletados ao longo da costa, conforme é mostrado no mapa da Figura 16. Estes testemunhos já foram processados (abertos, fotografados, descritos e sub-amostrados) (Figura 17) e estão em fase de processamento dos parâmetros de granulometria, composição, geoquímica e mineralogia. A Quadro 3 mostra a lista dos testemunhos coletados com as suas respectivas coordenadas.

Figura 16: Mapa amostral dos testemunhos coletados ao longo da área de estudo.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 3: Coordenada dos pontos de testemunho coletados, em UTM Sirgas 2000.

| SUBPROJETO             | NOME DA ESTAÇÃO AMOSTRAL | CÓDIGO DA ESTAÇÃO | LATITUDE | LONGITUDE |
|------------------------|--------------------------|-------------------|----------|-----------|
| Mapeamento de Habitats | RRDM-SCRD-T01            | T1                | 7794575  | 386937    |
| Mapeamento de Habitats | RRDM-SCRD-T03            | T3                | 7815420  | 404452    |
| Mapeamento de Habitats | RRDM-SCRD-T4             | T4                | 7822173  | 407091    |
| Mapeamento de Habitats | RRDM-SCRD-T06            | T6                | 7835479  | 421607    |
| Mapeamento de Habitats | RRDM-SCRD-T07            | T7                | 7843677  | 424433    |
| Mapeamento de Habitats | RRDM-SCRD-T08            | T8                | 7851517  | 456563    |
| Mapeamento de Habitats | RRDM-SCRD-T09            | T9                | 7880574  | 429282    |
| Mapeamento de Habitats | RRDM-SCRD-T10            | T10               | 7900546  | 425220    |
| Mapeamento de Habitats | RRDM-SCRD-T11            | T11               | 7846660  | 436022    |
| Mapeamento de Habitats | RRDM-SCRD-T13            | T13               | 7824340  | 421243    |

Fonte: Autoria própria.

Figura 17 A a J: Testemunhos sedimentares coletados ao longo da costa adjacente à foz do rio doce. a) RRDM-SCRD-T01; b) RRDM-SCRD-T03; c) RRDM-SCRD-T04; d) RRDM-SCRD-T06; e) RRDM-SCRD-T07; f) RRDM-SCRD-T08; g) RRDM-SCRD-T09; h) RRDM-SCRD-T10; i) RRDM-SCRD-T11 e j) RRDM-SCRD-T13.

**Figura 17 A**



Fonte: Autoria própria.



**Figura 17 B**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 17 C**



Fonte: Autoria própria.



Figura 17 D



Fonte: Autoria própria.

Figura 17 E



Fonte: Autoria própria.



**Figura 17 F**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 17 G**



Fonte: Autoria própria.



Figura 17 H



Fonte: Autoria própria.

Figura 17 I



Fonte: Autoria própria.



Figura 17 J



Fonte: Autoria própria.

Para este relatório será descrito os primeiros resultados para o RRDM\_SCRD\_T01 do teor de matéria orgânica, teor de água e composição granulométrica e para o RRDM\_SCRD\_T03 o teor de água.

O testemunho RRDM\_SCRD\_T01 foi coletado adjacente a desembocadura do estuário Piraquê-Açú, a 20 metros de profundidade (Figura 16) e obteve 48 cm de recuperação (Figura 17a). A descrição visual mostrou uma lama marrom no primeiro centímetro seguida por uma lama cinza entre 2 a 21 centímetro, posteriormente uma areia lamosa (entre 21 a 24 cm), seguido por uma lama acinzentada com a presença de conchas (entre os 24 a 34 cm) e por fim entre 34 a 48 cm uma lama arenosa.

O percentual de matéria orgânica ao longo do RRDM\_SCRD\_T01, de forma geral mostrou uma queda do topo em relação a base, apresentando valores variando de 12 % a 2% (Figura 18). Ao longo dos estratos é possível observar picos de incremento de matéria orgânica.

Figura 18: Percentual de Matéria Orgânica ao longo do testemunho RRDM\_SCRD\_T01.

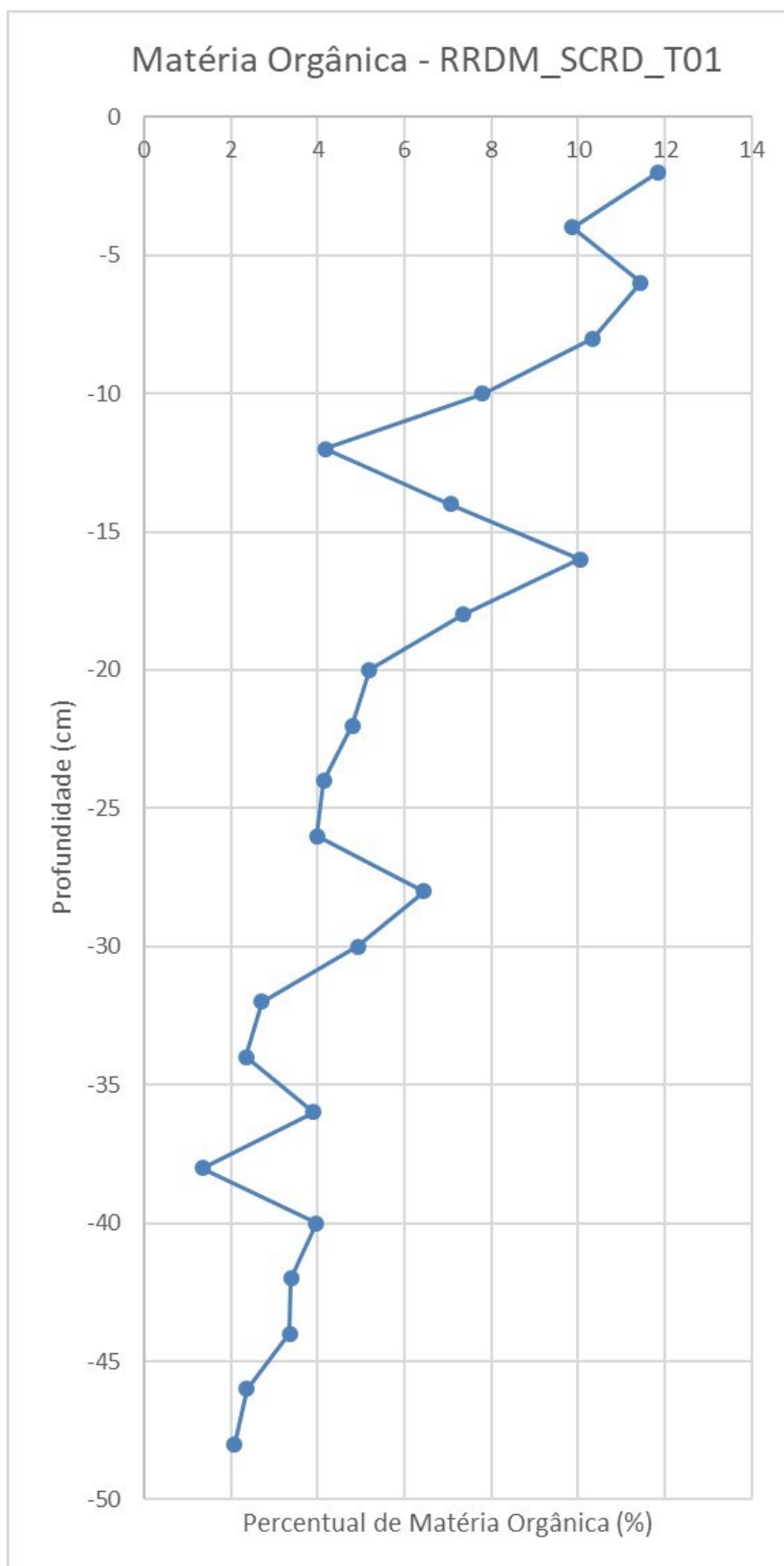


Figura 19: Percentual da composição granulométrica ao longo do testemunho RRDM\_SCRD\_T01.

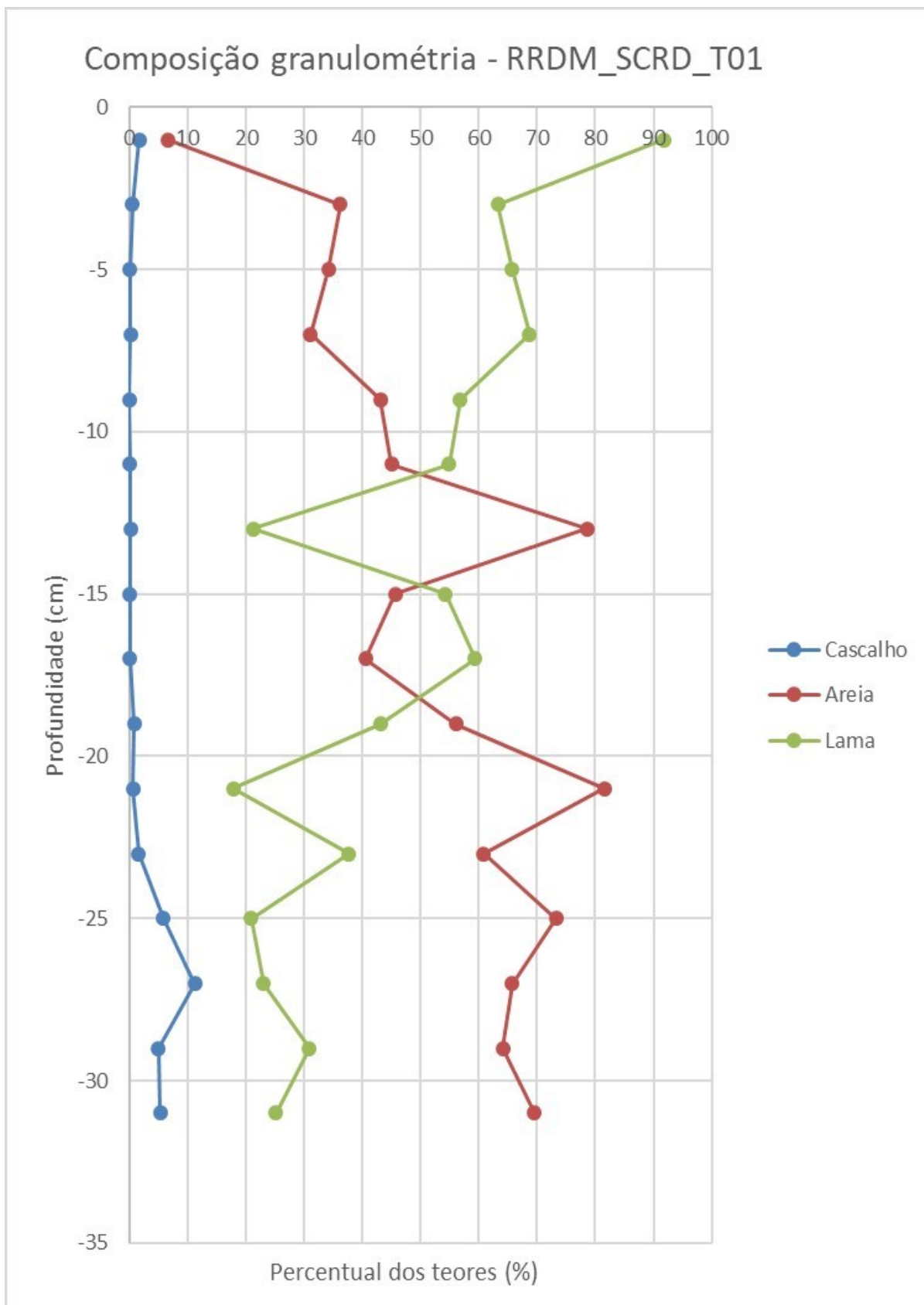
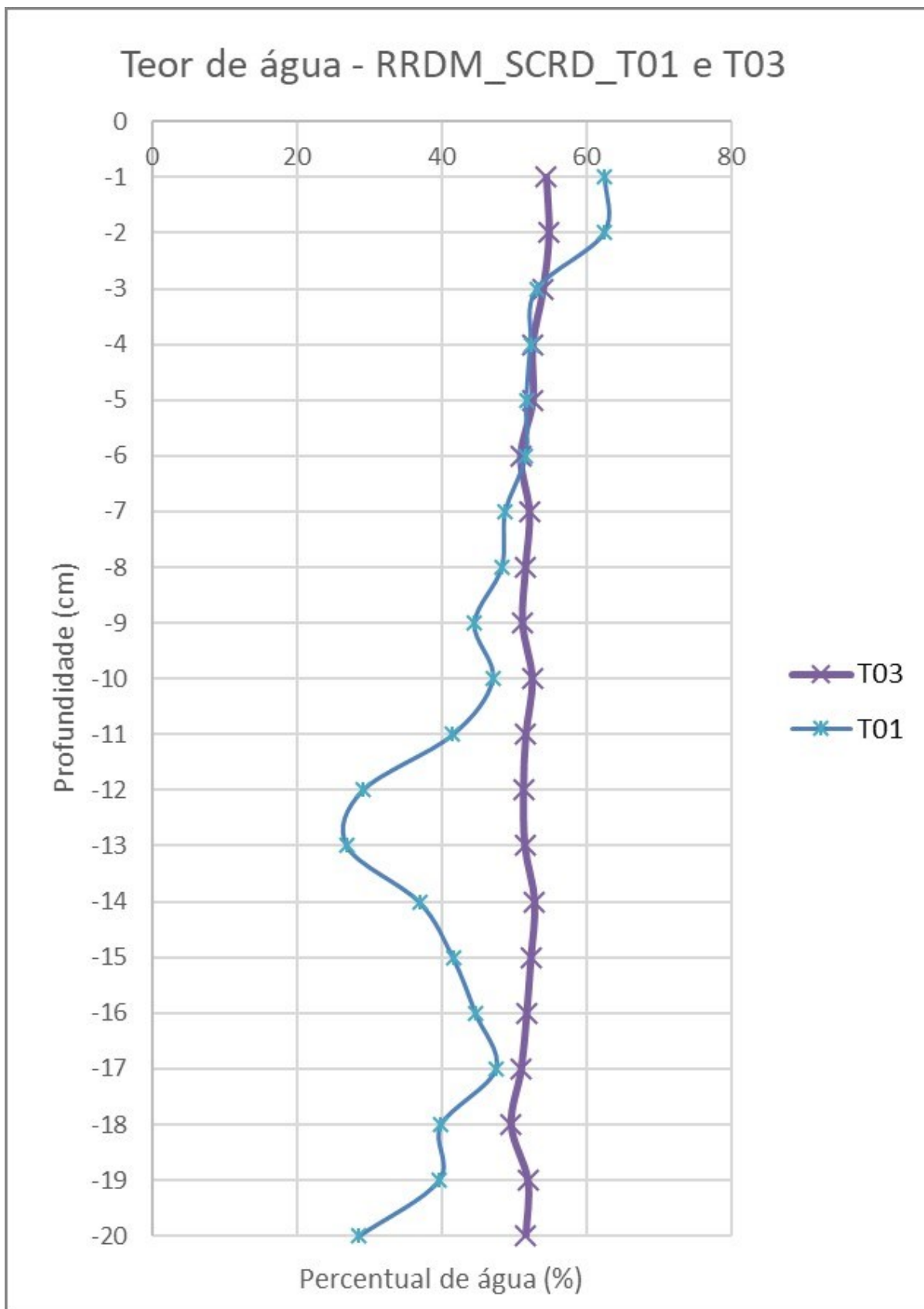


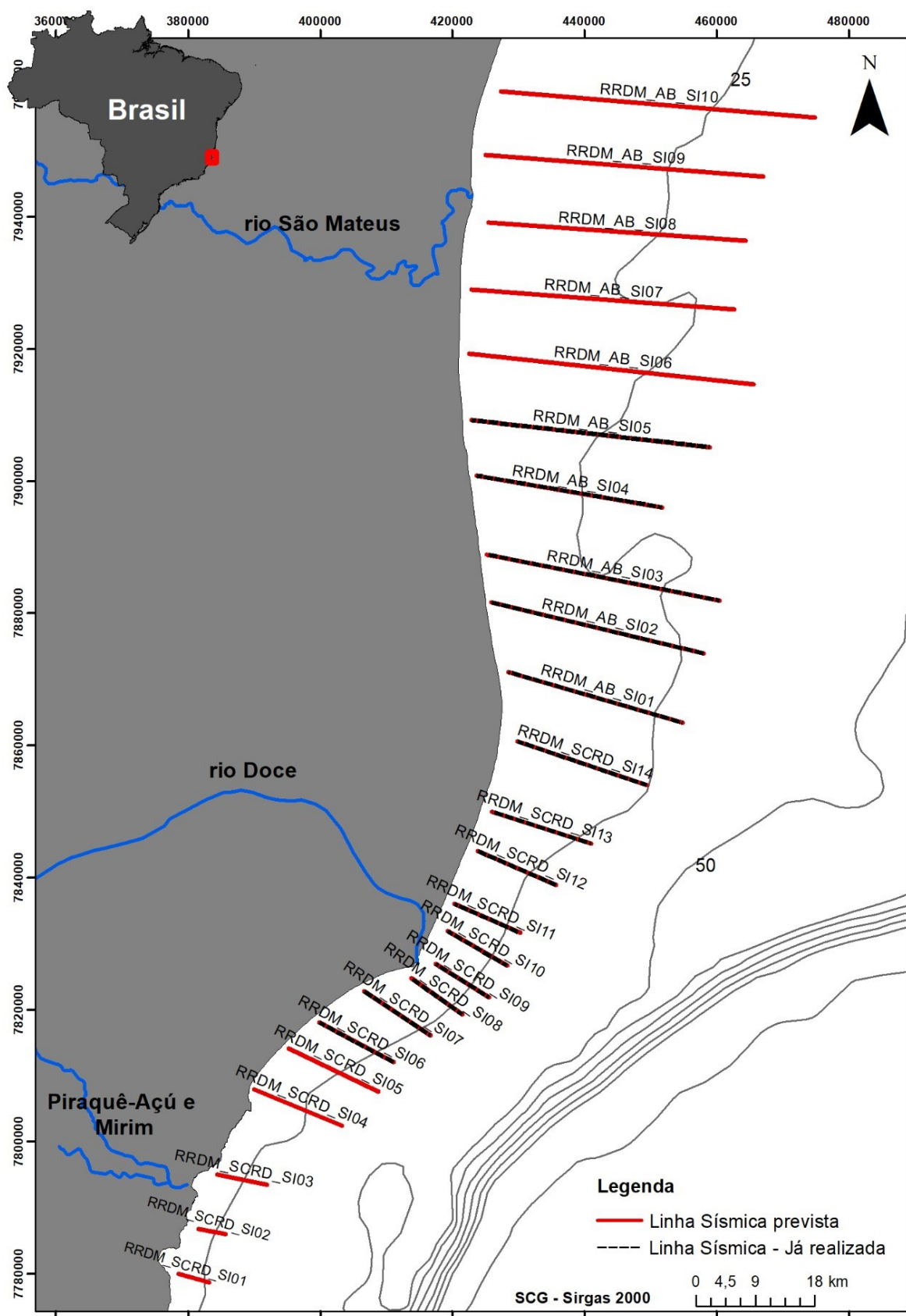
Figura 20: Percentual do teor de água ao longo dos testemunhos RRDM\_SCRD\_T01 e RRDM\_SCRD\_T03.



Fonte: Autoria própria.

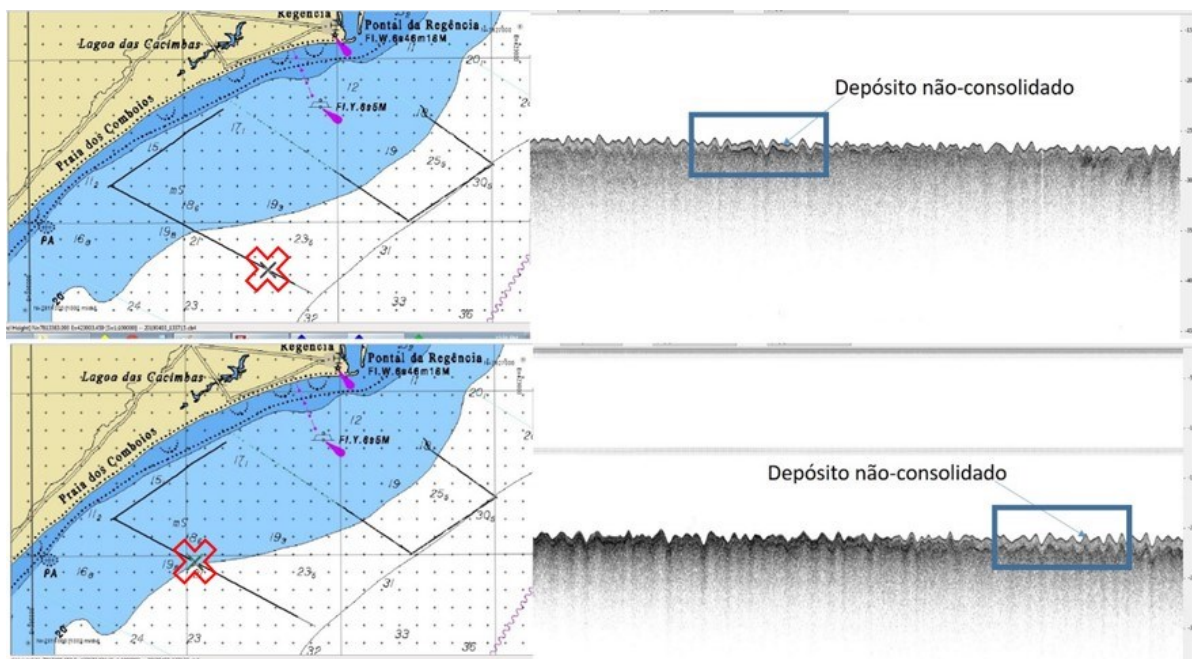


Figura 21: Localização das linhas sísmicas previstas e realizadas.



Fonte: Autoria própria.

Figura 22: Exemplos de linhas de sísmicas coletadas com Perfilador de Sub-Fundo (Chirp - 10-20kHz) identificando camada de depósito sedimentar não-compactado.



Fonte: Autoria própria.

#### 4 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

As campanhas do Subprojeto Mapeamento de Habitats começaram apenas em janeiro de 2019, embora a previsão de início fosse final de novembro de 2018. O atraso foi devido a aquisição do equipamento Multibeam R2 Sonic (importado dos Estados Unidos) e do conserto do sistema Meridata de sísmica (realizado na Finlândia pela própria empresa fabricante), entretanto, está sendo compensado com a coleta contínua dos dados.

Os resultados do mapeamento são ainda parciais, já que a análise não é de monitoramento. O produto do mapeamento vai dar subsídio para o entendimento do contexto do impacto na região marinha em função da distribuição dos habitats e da ocorrência de deposição do rejeito. O resultado preliminar da APA Costa das Algas já mostra que o contexto de potencial aporte de rejeito pode se dar em fundos de rodolitos, que possuem densidades espaciais distintas. Da mesma maneira, o fundo dos paleovales podem ser áreas propícias a acumulação de rejeito, e deveriam ser mais investigadas.

A potencial deposição do material oriundo da foz do rio Doce nos paleovales presentes ao longo da plataforma pode justificar o reposicionamento de pontos amostrais do Anexo 3 com o objetivo de expandir o entendimento da dinâmica que permitiria o trapeamento do material de rejeito nestas regiões relativamente confinadas.

O mapa da APA ainda mostra a ocorrência de fundos recifais nas regiões mais profundas, mas que ainda não tinham sido totalmente observados e descritos. Esse resultado está sendo integrado aos Subprojetos do Anexo 3, de forma a contextualizar as áreas impactadas e não impactadas.

No que diz respeito ao vídeo-monitoramento, a conclusão de imediato é que não há razão para continuar o monitoramento utilizando a metodologia atual, uma vez que não há como precisar que a mesma área está sendo imageada continuamente. A tecnologia disponível para este levantamento não permite essa abordagem. A técnica que está sendo usada permite obter imagens do fundo, classificar o fundo quantitativamente, mas não há precisão de posicionamento da imagem que permitiria um monitoramento espaço-temporal.

Quanto a variabilidade/diversidade dos ambientes de fundos de rodolitos e fundos recifais, estas estão sendo realizadas através do monitoramento com mergulho e foto-quadrado no âmbito do Subprojeto Fundos Recifais, Rodolitos e Macroalgas também do Anexo 3.

No que diz respeito à região da foz do rio Doce, a aparente alta turbidez da água não permitiu o imageamento do fundo através de dropcameras. Entretanto, as imagens coletadas poderão ser utilizadas na análise integrada, uma vez que o monitoramento da região está sendo realizado através de coletadas de sedimento e água por outros Subprojetos do mesmo Anexo. Durante o período de seca, outras tentativas serão feitas a fim de obter séries temporais, mas, de novo, não há garantia de que o mesmo ponto seja imageado com a tecnologia disponível.

Vale mencionar que as áreas da APA Costa das Algas foram e estão sendo amplamente imageadas para a classificação do fundo marinho e definição dos habitats. As imagens obtidas até o momento não apresentam de forma clara a deposição de lama com coloração típica de rejeito. Isso não significa que não há aporte de material de rejeito na área, principalmente tendo em vista a descrição de evidências mineralógicas e geoquímicas de deposição de rejeito na APA Costa das Algas nos relatórios do Anexo 3, uma vez que a presença do rejeito pode estar em quantidades insuficientes para que seja identificada nas imagens. Por isso, a perspectiva da utilização de câmeras hiperespectrais, como aponta o relatório do Subprojeto Fundos Recifais, Rodolitos e Macroalgas, é relevante, visto que a assinatura espectral de uma amostra de rejeito é automaticamente classificada com esta técnica.

## 5 REFERÊNCIAS

- Ávila, E. & Riosmena-Rodriguez, R. 2010. Rhodoliths beds as critical habitats for monitoring in marine protected areas in the Gulf of California. In: Polisciano, G. & Farina, O. (Eds.) National Parks, vegetation, wildlife and threats. Nova Science Publishers, New York, p.: 207-214
- Bosence D. W. J. 1983. The occurrence and ecology of Recent rhodoliths – a review. In peryt T.M. (ed.), Coated Grains. Springer-Verlag, Berlin, 225-241
- Bastos A.C., Quaresma V.S., Marangoni M.B., D'Agostini D.P., Bourguignon S.N, Cetto P.H., Silva A.E., Amado-Filho G.M., Moura R.L., Collins M. 2015. Shelf morphology as an indicator of sedimentary regimes: A synthesis from a mixed siliciclasticcarbonate shelf on the eastern Brazilian margin. Journal of South American Earth Sciences, 63: 125-136
- BASTOS, Alex C. et al. Origin and sedimentary evolution of sinkholes (buracas) in the Abrolhos continental shelf, Brazil. Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology, v. 462, p. 101-111, 2016.
- Erdey-Heydorn, M.D. 2008. An ArcGIS Seabed Characterization Toolbox Developed for InvestigatingBenthic Habitats. Marine Geodesy, v. 31, n. 4, p. 318-358, 2008/12/05. ISSN 0149-0419.Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/01490410802466819>
- Foster, M.S., 2001. Rhodoliths: Between rocks and soft places. J. Phycol. 37: 659–667.
- Grall, J.; Le Loc'h F; Guyonnet, B. & Riera, P. 2006. Community structure and food web based on stable isotopes ( $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ) analysis of a north-eastern Atlantic maerl bed. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 338:1-15.
- Hall-Spencer, J.M. 1998. Conservation issues relating to maerl beds as habitats for molluscs. Journal of Conchocology Special Publ. 2: 271-286.
- Lobban C.S. and Harrison P.J. (1997) Seaweed ecology and physiology 2nd edn. Cambridge: Cambridge University Press.
- LUNDBLAD, Emily R. et al. A benthic terrain classification scheme for American Samoa. Marine Geodesy, v. 29, n. 2, p. 89-111, 2006.
- JEROSCH, Kerstin et al. A geomorphological seabed classification for the Weddell Sea, Antarctica. Marine Geophysical Research, v. 37, n. 2, p. 127-141, 2016.
- KOSTYLEV, Vladimir E. et al. Stock evaluation of giant scallop (*Placopecten magellanicus*) using high-resolution acoustics for seabed mapping. Fisheries Research, v. 60, n. 2-3, p. 479-492, 2003
- MICALLEF, Aaron et al. A multi-method approach for benthic habitat mapping of shallow coastal areas with high-resolution multibeam data. Continental Shelf Research, v. 39, p. 14-26, 2012.

- Nelson, W.A., 2009. Calcified macroalgae – critical to coastal ecosystems and vulnerable to change: a review. *Marine and Freshwater Research*, 60: 787–801
- Peña, V., & Barbara, I., 2008. Biological importance of an Atlantic European maerl bed off Benencia Island (northwest Iberian Peninsula). *Botanica Marina*. 51(6): 493-505.
- Riley SJ, DeGloria SD, Elliot R(1999) A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermt J Sci*. 5: 23–27.
- Riosmena-Rodriguez, R.; Steller, D.L.; Hinojosa-Arango, G. & Foster, M.S. 2010. Reefs that rock and roll: Biology and conservation of rhodolith beds in the Gulf of California. In: Brusca, R.C. ed. *The Gulf of California: Biodiversity and Conservation*. University of Arizona and Arizona-Sonora Desert Museum Press. 49-71.
- Riul, P., Targino, C.H., Farias, J.D.N., Visscher, P.T., & Horta, P.A. 2008. Decrease in *Lithothamnion* sp.(Rhodophyta) primary production due to the deposition of a thin sediment layer. *Journal of the marine biological association of the United Kingdom*, 88(1): 17-19.
- Steller, D.L.; Foster, M.S. & Riosmena-Rodriguez, R. 2009. Living rhodolith bed ecosystems in the Gulf of California. In: Jhonson, M.E. & Ledesma-Vázquez, J. (Eds) *Atlas of Coastal ecosystems in the Gulf of California: Past and Present*. University of Arizona Press, chapter 6.
- Vieira, F. V., Bastos, A. , Quaresma, V., Leite, M. D., Costa Jr, A., Oliveira, K. S., Dalvi, C., Moura, R., Bahia, R., Holz, V., Amado-Filho, G. (submetido). Along-Shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns. *Continental Shelf Research*.
- Wilson S., Blake C., Berges J.A. and Maggs C.A. Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): implications for European Marine conservation. *Biological Conservation*. 2004.120: 279–289.
- WRIGHT, D. J. et al. ArcGIS Benthic Terrain Modeler [a collection of tools used with bathymetric data sets to examine the deepwater benthic environment]. Oregon State University, Davey Jones' Locker Seafloor Mapping/Marine GIS Laboratory and NOAA Coastal Services Center, 2005.