

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

Material Suplementar Ambiente Marinho

Tema: Monitoramento Remoto da Megafauna

RT- 46/ JUN 24

RA2023 PMBA/Fest

Vitória

Junho de 2024

EQUIPE TÉCNICA

Agnaldo Silva Martins
João Batista Teixeira
Amanda Baron Di Giacomo
Jonathas da Silva Barreto
Nelson Barcelos
Jordana Borini Freire
Daniel Von Sperling Venturini
Camila Ribeiro
César Xavier
Victoria Tagliacarne
Ana Júlia Oliveira Vianna
Marcos Eduardo Dias Rocha

SUMÁRIO

1	HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL	4
2	METODOLOGIA	4
2.1	COLETA	5
2.1.1	Dronemonitoramento	5
2.1.2	Dronemonitoramento de Longo Alcance.....	6
2.1.3	Rov-monitoramento	9
2.2	ANÁLISE	10
2.2.1	Dronemonitoramento	10
2.2.2	Dronemonitoramento de Longo Alcance.....	11
2.2.3	Rov-monitoramento	12
2.3	HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS	24
3	RESULTADOS DOS INDICADORES	25
3.1	VULNERABILIDADE POPULACIONAL DA TONINHA (<i>Pontoporia blainvillei</i>).....	25
3.1.1	Dronemonitoramento	26
3.1.2	Dronemonitoramento de Longo Alcance.....	32
3.1.3	Caracterização do tipo de fundo marinho (ROV)	36
3.2	INTEGRIDADE DOS HOTSPOTS DE MEGAFauna MARINHA	39
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS 5 ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO	42
5	ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS	45
6	REFERÊNCIAS:	45

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

A malha e frequência amostral do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest) passou por modificações ao longo do tempo, visando seu aperfeiçoamento para atendimento aos objetivos do PMBA/Fest. Estas alterações foram aprovadas pela Câmara Técnica da Biodiversidade (CTBio) por meio de: (1) ofício SEI nº 1/2020-CTBio/DIBIO/ICMBio, de outubro de 2019 (para o período de transição) e (2) Proposta Técnica de continuidade do monitoramento, apresentadas e aprovadas em 2022, visando o “Novo Ciclo do PMBA/Fest”.

As modificações implementadas se encontram nos seguintes Materiais Suplementares: 1) MS – Malha e Frequência amostral, onde as diferentes malhas e frequências amostrais são apresentadas nas abas “Ano 1”, “Transição”, “Novo Ciclo” e “Histórico Frequências” e 2) MS – Mapas das malhas amostrais, com a espacialização histórica referente às malhas amostrais dos Ambientes. Como forma de esclarecer os períodos contemplados em cada uma delas, “Ano 1” se refere às estações amostrais monitoradas entre setembro de 2018 e setembro de 2019, “Transição” às estações entre outubro de 2019 e julho de 2022 e “Novo Ciclo” referente às estações amostrais monitoradas a partir de agosto de 2022, à exceção do grupo da Ecotoxicologia, que iniciou a amostragem referente ao Novo Ciclo em janeiro de 2023.

2 METODOLOGIA

A metodologia apresentada contempla o escopo em vigência no momento de entrega deste relatório, ou seja, as amostragens e análises previstas para o Novo Ciclo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática – PMBA submetidas à Fundação Renova através do FORMULÁRIO DE APRESENTAÇÃO DE PLANO DE TRABALHO em agosto de 2022 (e dezembro de 2022 para o Tema Ecotoxicologia). Após a descrição da metodologia implementada, será apresentado um breve descritivo sobre as modificações metodológicas (parâmetros, análise de parâmetros ou grupo de parâmetros, dentre outros) que ocorreram ao longo da evolução do PMBA/Fest a fim de determinar os indicadores.

A megafauna marinha, bem como os habitats críticos na área de influência da pluma de sedimentos do Rio Doce e adjacências foram monitorados por meio de duas metodologias de monitoramento remoto, sendo elas do dronemonitoramento e do ROV (*Remotely Operated Underwater Vehicle*), a fim de entender os padrões de abundância, as estratégias de uso de habitat e a estrutura populacional, especialmente dos cetáceos que utilizam a região.

2.1 COLETA

2.1.1 Dronemonitoramento

Entre janeiro de 2019 e junho de 2023 foram realizadas 48 campanhas de dronemonitoramento. O início do transecto foi realizado em ponto fixo. Os pontos de decolagem eram localizados na praia de Regência, próximo à foz do Rio Doce e na Reserva Biológica de Comboios, em Linhares; e na praia de Coqueiral de Aracruz, na Área de Proteção Ambiental Costa das Algas. Os pontos de decolagem eram chamados de Doce, Comboios e Piraquê, respectivamente. Nos pontos localizados no município de Linhares, por serem mais próximos à foz do Rio Doce em um local com maior influência da pluma do rio, foram realizados dois (02) transectos dentro da área de amostragem. Cada um dos transectos percorreu 8,2 km, varrendo uma área de 4km². Em Aracruz, na foz do Rio Piraquê-Açu, a qual é considerada uma área controle, somente um (01) transecto foi realizado com as mesmas características de amostragem dos outros pontos (Figura 1). O padrão de voo que foi definido baseado na maior probabilidade de detectabilidade da megafauna marinha da região (BARRETO et al., 2021).

Os transectos foram desenhados de forma a obter-se a maior área varrida, como menor sobreposição. No caso dos pontos de Linhares, uma réplica foi considerada completa quando os dois (02) transectos – denominados Norte e Sul – foram finalizados. Em Aracruz, o transecto é chamado de Único. Em ambos os pontos de amostragem, o transecto foi concluído em um único voo. Cada voo realizado durante o transecto teve duração de até 16 minutos, quando um grupo de cetáceo era avistado a observação poderia durar até 4 minutos, totalizando o tempo máximo de 20 minutos de voo, considerado o tempo seguro para utilização do drone em condições adversas.

O padrão de voo foi definido baseado na maior probabilidade de detectabilidade da megafauna marinha, com a maior área de varredura possível. A uma altura do drone de 50 m em relação a superfície marinha, com o ângulo de inclinação da câmera de -27°, o deslocamento do drone na posição lateral, com velocidade de 40 km/h, no modelo de transecto norte/sul, obteve-se o padrão de voo ideal para o monitoramento de megafauna marinha em ambiente natural, após consecutivos testes de detectabilidade em situação controlada.

As campanhas foram realizadas mensalmente, em uma janela de oito (08) dias, com até seis (06) dias efetivos de amostragem. O esforço de coleta foi realizado em somente um ponto de decolagem em cada dia. Cada área amostrada teve o mínimo de seis (06) réplicas completas dentro de cada campanha. Após o cumprimento das réplicas de todos os transectos pré-definidos (que totalizam 30 voos), outros voos foram realizados, quando possível, com o objetivo de analisar com maior precisão o comportamento dos animais que ocupam a região, principalmente os cetáceos. O esforço de campo não ocorreu, ou foi interrompido, quando a Escala Beaufort estava igual ou superior a quatro (04), ou com vento na superfície acima de 26 km/h, condições que comprometem a detecção das espécies alvo deste estudo.

Figura 1 Equipe em atuação durante o dronemonitoramento a partir de ponto-fixo.



2.1.2 Dronemonitoramento de Longo Alcance

Desde julho de 2023 as campanhas de dronemonitoramento foram adaptadas metodologicamente de forma a alcançar áreas mais distantes. O objetivo principal foi estimar a população de toninha, *Pontoporia blainvillei*, na população da área de manejo da toninha conhecida como *Franciscana Management Area Ia* (FMA Ia). Através de voos sistemáticos em transectos paralelos ao longo da costa, foram realizadas campanhas a cada trimestre, sendo o primeiro trimestre de cada ano considerado como estação verão. No presente relatório são apresentados os dados das duas primeiras campanhas desta nova metodologia, realizadas no terceiro trimestre (nos meses de julho e agosto de 2023) e quarto trimestre (outubro e novembro de 2023), período seco e chuvoso do Ano 5, respectivamente.

O início dos transectos foi realizado a partir de 63 pontos, com distâncias de 3 a 4 km entre si. Os transectos foram desenhados paralelamente entre si, de forma perpendicular à linha de costa (Figura 2). Os pontos de decolagem foram distribuídos ao longo da área de distribuição da toninha na FMA Ia (CUNHA et al., 2014), desde a Praia do Gramuté, em Santa Cruz no litoral de Aracruz, até Itaúnas no município de Conceição da Barra, na divisa com a Bahia, cobrindo uma área de aproximadamente 200 km de linha de costa do litoral norte do ES. A área total de amostragem foi de 1.382 km² e abrangeu a área de ocorrência costeira da toninha, *Pontoporia blainvillei*, (até 7 km de distância da costa). A faixa

de varredura com o drone foi de 174 m e teve como objetivo a amostragem na ida e na volta, totalizando uma área amostral esperada de 155 km², 11% da área de estudo.

O padrão de voo foi definido baseado na maior probabilidade de detectabilidade da toninha, com a maior área de varredura possível, e no maior alcance permitido com os equipamentos utilizados. A uma altura do Drone de 80 m em relação a superfície marinha, com o ângulo de inclinação da câmera de -40°, o deslocamento do Drone na posição lateral, com velocidade média de 40 km/h, no modelo de transecto oeste/leste, obteve-se o padrão de voo ideal para o monitoramento de toninha em ambiente natural.

O esforço de campo não ocorreu, ou foi interrompido, quando a Escala Beaufort estava superior a três (03), ou o vento na superfície estava acima de 20 km/h. O monitoramento foi realizado por duas a três equipes concomitantes, sendo a equipe composta pelas seguintes atribuições: piloto, copiloto e observador de fauna (Figura 3).

Figura 2 Transectos realizados durante o dronemonitoramento de longo alcance referente à toninha (*Pontoporia blainvileii*).

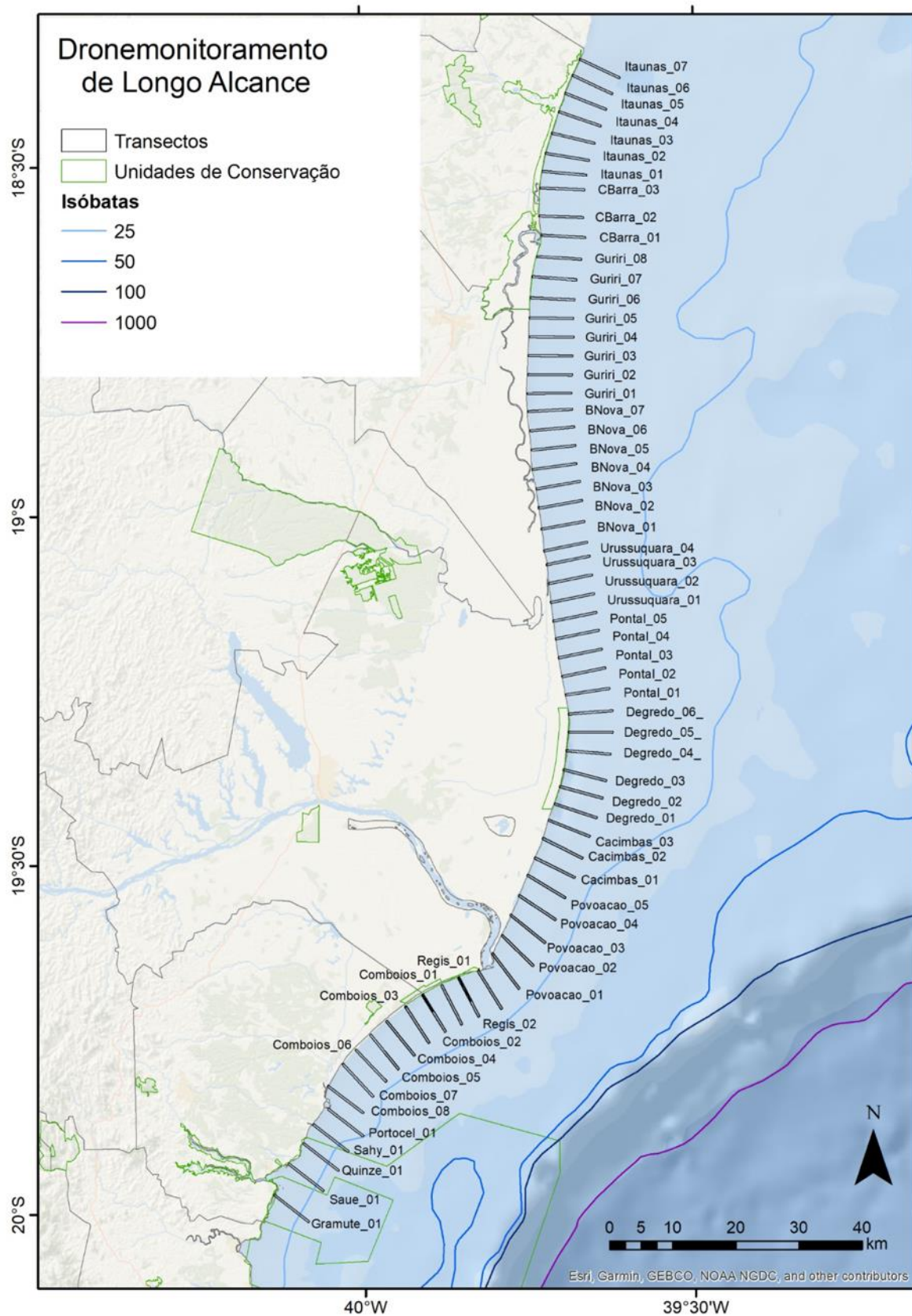


Figura 3 Equipe em atuação durante o dronemonitoramento de longo alcance.



2.1.3 Rov-monitoramento

Durante o período de boa visibilidade da água foram realizadas campanhas de mergulhos com veículos remotamente operados (ROV). O modelo BlueROV2, da fabricante Blue Robotics, foi considerado o mais apropriado devido à capacidade para operações em águas rasas a moderadas compreendidas na plataforma interna com profundidade variando entre 13 e 75 metros, com cabo umbilical de até 300m disponível e capacidade de filmagem em Full HD (Figura 4). O equipamento é pilotado com um controle remoto conectado a um computador, em que o operador do ROV visualiza o que está à frente do equipamento durante o deslocamento no transecto, enquanto informa sobre os eventos ou objetos de interesse para um anotador que registra a hora e o ponto exato de cada observação, utilizando um GPS subaquático. Nestas operações, foram realizados transectos com aproximadamente 3 minutos de duração cada, navegando linearmente. Durante a análise dos vídeos, o tempo de filmagem foi registrado com o objetivo de obter o esforço amostral. O tempo foi calculado a partir do momento que o equipamento tocou o fundo. Cada mergulho realizado representa uma vídeo-amostra, a ser analisada em laboratório. A análise de integridade dos habitats foi realizada através da aplicação do Índice de Integridade Ambiental, considerando a avaliação de critérios estruturais, biológicos e antropogênicos dos pontos monitorados.

Os pontos monitorados pelo ROV foram distribuídos entre os municípios de Aracruz e Conceição da Barra, a fim de identificar e descrever os tipos de fundo das regiões com registros de comportamento alimentar da megafauna, ou áreas de agregação (GIACOMO et al., 2021).

Figura 4: Operação de coleta de dados com ROV.



2.2 ANÁLISE

2.2.1 Dronemonitoramento

Cada transecto realizado representou uma amostra, a qual foi analisada em laboratório por um pesquisador de fauna. Durante a análise dos vídeos, o tempo de início e de final de todas as avistagens (podendo ser mais de uma por tempo total de vídeo), foi registrado com o objetivo de obter o tempo de vídeo que deverá ser editado para futuras análises de caracterização do grupo observado. Após a detecção do tempo (minutos e segundos) de vídeo com registro de cada grupo de cetáceos, foi realizada uma edição do vídeo, com um recorte somente do momento da observação. Para cada vídeo foram registrados a data e o número do voo, bem como a altitude, velocidade do voo, ângulo da câmera, posição do Drone, registro de embarcação, atividades antrópicas detectadas, e demais observações.

Os vídeos realizados durante os transectos foram analisados sempre pelo mesmo pesquisador, previamente capacitado. Os registros de megafauna foram todos validados por outro pesquisador especialista. Foi utilizada uma (01) Ficha de Análise de Vídeos para o registro de cada grupo analisado, na qual era registrada o tempo (em minutos e segundos) de início e o final da avistagem. Caso outro

grupo fosse observado durante o mesmo transecto, era registrado em outra ficha. Além do tempo de início e do final da avistagem foi registrada também a posição geográfica de início e final da observação. Foi considerado “grupo” qualquer observação a partir de um (01) indivíduo. Para os grupos de toninha (*Pontoporia blainvillei*), foram confirmadas as espécies e o número de animais encontrados em cada observação, diferenciando em adultos, juvenis e filhotes. O comportamento (Deslocamento, Alimentação e Interação) foi registrado sempre que possível.

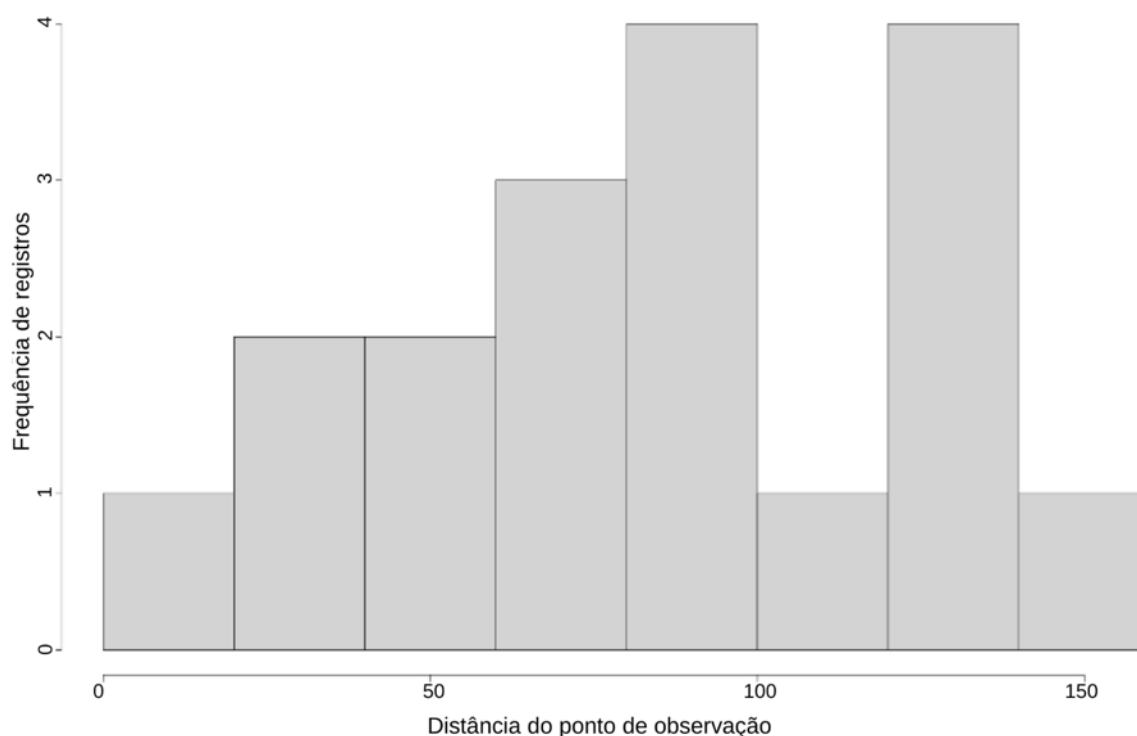
2.2.2 Dronemonitoramento de Longo Alcance

Cada transecto realizado representou uma amostra, a qual foi analisada em laboratório por um pesquisador de fauna. Durante a análise dos vídeos o tempo de início e de final de todas as avistagens (podendo ser mais de uma por tempo total de vídeo), foi registrado com o objetivo de obter o tempo de vídeo que deverá ser editado para futuras análises de caracterização do grupo observado. Após a detecção do tempo (minutos e segundos) de vídeo com registro de cada grupo de cetáceos, foi realizada uma edição do vídeo, com um recorte somente do momento da observação. Para cada vídeo foram registrados a data e o número do voo, bem como a altitude, velocidade do voo, ângulo da câmera, posição do Drone, registro de embarcação, atividades antrópicas detectadas, e demais observações.

Os vídeos realizados durante os transectos foram analisados sempre pelo mesmo pesquisador, previamente capacitado. Os registros de megafauna foram todos validados por outro pesquisador especialista. Foi utilizada uma (01) Ficha de Análise de Vídeos para o registro de cada grupo analisado, na qual era registrada o tempo (em minutos e segundos) de início e o final da avistagem. Caso outro grupo fosse observado durante o mesmo transecto, era registrado em outra ficha. Além do tempo de início e do final da avistagem foi registrada também a posição geográfica de início e final da observação. Foi considerado “grupo” qualquer observação a partir de um (01) indivíduo.

Para cada grupo franciscana foi calculada a distância da costa e a distância até a transecção. A probabilidade de detecção foi estimada usando amostragem de distância covariável convencional e múltipla (BUCKLAND et al. 2001). Na amostragem de distâncias por transecções lineares, um observador percorre uma região retangular e registra a distância perpendicular ao transecto para cada animal detectado. No caso das amostragens realizadas por drone, o formato da imagem assume um formato de trapézio, devido ao ângulo de inclinação da câmera (BARRETO et al., 2021). As análises exploratórias indicaram uma detecção perfeita em todas as distâncias da imagem, formando uma curva de detecção uniforme (Figura 5).

Figura 5: Curva de detecção da toninha (*Pontoporia blainvillei*) determinada a partir do dronemonitoramento de longo alcance.



Dado que uma toninha estaria dentro do alcance visual de um observador, a probabilidade de ele estar na superfície durante a passagem da aeronave está relacionada com o tempo médio que ele passa na superfície, o tempo médio gasto abaixo da superfície e a janela durante a qual está dentro do alcance visual de um observador (BARLOW et al., 1988). Para estimar o tempo médio de mergulho e superfície da toninha na FMA Ia, foram analisadas as vídeo-amostras coletadas através do dronemonitoramento realizado na região costeira da foz do Rio Doce entre 2018 e 2023.

Devido ao formato em trapézio da imagem capturada pelo drone, um indivíduo fica disponível por um tempo diferente para o observador a depender da posição dentro da imagem (BARRETO et al, 2021). Desta forma, foi calculado uma probabilidade de detecção diferente para cada faixa de varredura. A incerteza, por sua vez, foi calculada a partir da estimativa de disponibilidade pela estimativa de abundância (CRESPO, 2009).

2.2.3 Rov-monitoramento

A identificação dos tipos de habitats foi realizada a partir do substrato predominante e/ou dos organismos predominantes, descrevendo os tipos de fundo nas regiões com registros de agregações de megafauna. Os substratos foram classificados em sete (07) morfotipos principais: areia; areia e lama; areia com fragmentos de conchas calcárias; estruturas recifais; briozoários, esponjas e algas; lama; e rodolitos. Com o foco na análise da vulnerabilidade populacional da toninha a correlação espacial de Person foi realizada entre os habitats identificados com o ROV, complementados com a

distribuição das fácies sedimentares na plataforma continental e a geomorfologia costeira de Viera (2017), e a densidade kernel dos pontos de registro da toninha, *Pontoporia blainvillei*.

Para a análise de integridade dos ambientes hotspots para megafauna marinha, foi desenvolvido um índice de integridade ambiental, fundamentado na avaliação da estrutura, composição e em possíveis perdas das funções ecológicas dos habitats. Na avaliação estrutural foram definidas 13 variáveis, incluindo a presença de rodólitos, corais, estruturas rochosas e/ou biológicas, elementos artificiais, características como areia, lama, marcas de fundo, algas, depressões ou saliências no relevo, tocas, cavidades e rugosidade no relevo. Estas variáveis são representativas na avaliação da integridade estrutural, a qual abrange o aspecto tridimensional dos ecossistemas, a complexidade estrutural e os elementos bióticos e abióticos que constituem o ambiente, proporcionando suporte à composição e ao funcionamento do ecossistema (HILL et al., 2021).

O desenvolvimento do índice foi feito com base no referencial teórico "Notes pour la proposition d'un indice paysager sous-marin du Languedoc-Roussillon" da Agence de l'eau RMC SMAT LR (CRÉOCÉAN, 2004).

Referente à composição do habitat, foi delimitado o critério biológico com a determinação e avaliação de quatro variáveis principais: presença de ictiofauna, organismos bentônicos, espécies endêmicas ou em risco e diversidade de corais. Estas variáveis contribuem para a compreensão do padrão de constituição das comunidades nos habitats e possibilitam a caracterização do potencial de ocupação de espécies. A composição, nesse contexto, refere-se à constituição biótica dos ambientes.

Para a avaliação do funcionamento, que descreve os processos ecológicos e os serviços ecossistêmicos oferecidos pelos habitats, foi estabelecido o critério antropogênico, composto por oito variáveis específicas. Estas incluem: turbidez elevada, presença de espécies invasoras, macroresíduos, branqueamento ou doenças de corais, marcas de destruição física, resíduos lamosos, turf, animais mortos e proliferação de alguma espécie específica. Estes parâmetros foram selecionados para visualizar as pressões antrópicas sobre o sistema, considerando que as funções ecológicas podem variar em resposta a diferentes influências humanas (MOMBERG, 2003). A inclusão desses elementos no critério antropogênico proporciona uma visão abrangente das condições ambientais e das possíveis perturbações causadas por atividades humanas nos habitats em análise.

Na determinação das variáveis, as vídeo amostras das campanhas dos anos de 2023 e 2024, ambas em período chuvoso, foram analisadas, enumerando todos os componentes observados durante os transectos em cada ponto de monitoramento. Esses componentes foram triados, organizados e agrupados como variáveis nos três critérios pré-estabelecidos: estrutural, biológico e antropogênico. Foram estabelecidas pontuações máximas para cada variável (Tabela 1). Os valores máximos, definidos entre 2 e 5, foram determinados considerando a relevância de cada indicador para a complexidade e integridade do ambiente.

Durante a análise, todos os vídeos foram examinados no software VLC Media Player pelo mesmo observador, seguindo um padrão de interpretação dos dados. Um banco de dados foi criado, atribuindo

notas a cada um dos indicadores por meio da observação visual dos habitats (Figura 6 a Figura 22). As notas dadas variaram entre 0, indicando ausência, e o valor máximo estabelecido para o indicador avaliado. Para a definição da nota foram observados: a presença, abundância, tamanho e disposição espacial de cada elemento avaliado. No critério estrutural, a variável "rodolito" varia de 1 a 4, onde 1 indica a presença pontual de rodolitos ao longo do transecto, 2 representa rodolitos esparsos, 3 um fundo parcialmente consolidado de rodolito e 4 um fundo predominantemente consolidado ao longo do transecto.

A variável "estruturas" refere-se à existência de recifes biológicos, rochosos ou de arenito. O valor máximo para esta variável é 5, onde 1 indica uma presença pontual de estruturas pequenas, 2 para estruturas menores esparsas, 3 para estruturas maiores e bem desenvolvidas ou integradas ao ambiente circundante, e 5 para estruturas que se estendem em grande parte do transecto. Nos parâmetros Estrutura artificial; Fundo arenoso; Fundo de lama; Algas; Marcas de fundo; Fragmentos Carbonáticos; Depressões; Saliências; Tocas, cavidades, escarpas; Rugosidade na estrutura de fundo; Ictiofauna e Organismos bentônicos com nota máxima 2, o valor 1 denota uma presença pontual e o valor 2 indica observações diversas ao longo do transecto. A turbidez é avaliada em uma escala de 0 a 5, onde 1 representa uma turbidez leve e 5 uma turbidez alta.

Quanto ao branqueamento ou doenças de corais, a nota 1 refere-se à presença pontual de marcas de branqueamento, 3 indica que dos corais observados poucos apresentam marcas de branqueamento ou doenças e 5 significa que mais da metade dos corais avistados estão afetados pelo branqueamento ou doenças. Da mesma forma avalia-se Espécies invasoras; Macroresíduos; Marcas de destruição física; Resíduos lamosos na estrutura ou turf; Mortalidade de animais e Proliferação de espécies.

O valor final do índice é definido pela equação:

$$\text{Índice de Integridade} = \sum \text{valores estruturais} + \sum \text{valores biológicos} - \sum \text{valores antropogênicos}$$

Essa abordagem sistemática permitiu uma análise visual e prática, considerando a importância relativa de cada componente na caracterização da integridade dos ambientes monitorados.

Tabela 1: Critérios, variáveis e suas respectivas pontuações máximas do índice proposto. Os sinais de positivo e negativo estão de acordo com seu uso na equação do índice.

Critério	Variável	Valor máximo
Estrutural	Rodolitos	+4
Estrutural	Corais estruturantes	+5
Estrutural	Estruturas (rochosas/arenito/carbonáticas)	+5
Estrutural	Estrutura artificial	+2
Estrutural	Fundo arenoso	+2
Estrutural	Fundo de lama	+2
Estrutural	Algas	+2
Estrutural	Marcas de fundo	+2
Estrutural	Fragmentos carbonáticos	+2
Estrutural	Depressões	+2
Estrutural	Saliências	+2

Critério	Variável	Valor máximo
Estrutural	Tocas, cavidades, escarpas	+2
Estrutural	Rugosidade na estrutura ou fundo	+2
Biológico	Ictiofauna	+2
Biológico	Organismo bentônicos	+2
Biológico	Espécies endêmicas e/ou em risco	+5
Biológico	Diversidade de coral	+5
Antropogênico	Turbidez	-5
Antropogênico	Espécies invasoras	-5
Antropogênico	Macroresíduos	-3
Antropogênico	Branqueamento e/ou doenças de coral	-5
Antropogênico	Marcas de destruição física	-3
Antropogênico	Resíduos lamosos nas estruturas ou turf	-3
Antropogênico	Mortalidade de animais	-3
Antropogênico	Proliferação de alguma espécie	-5

Figura 6: Variável “Rodolitos” com valor +4, ou seja, fundo consolidado de rodolitos ao longo do transecto.

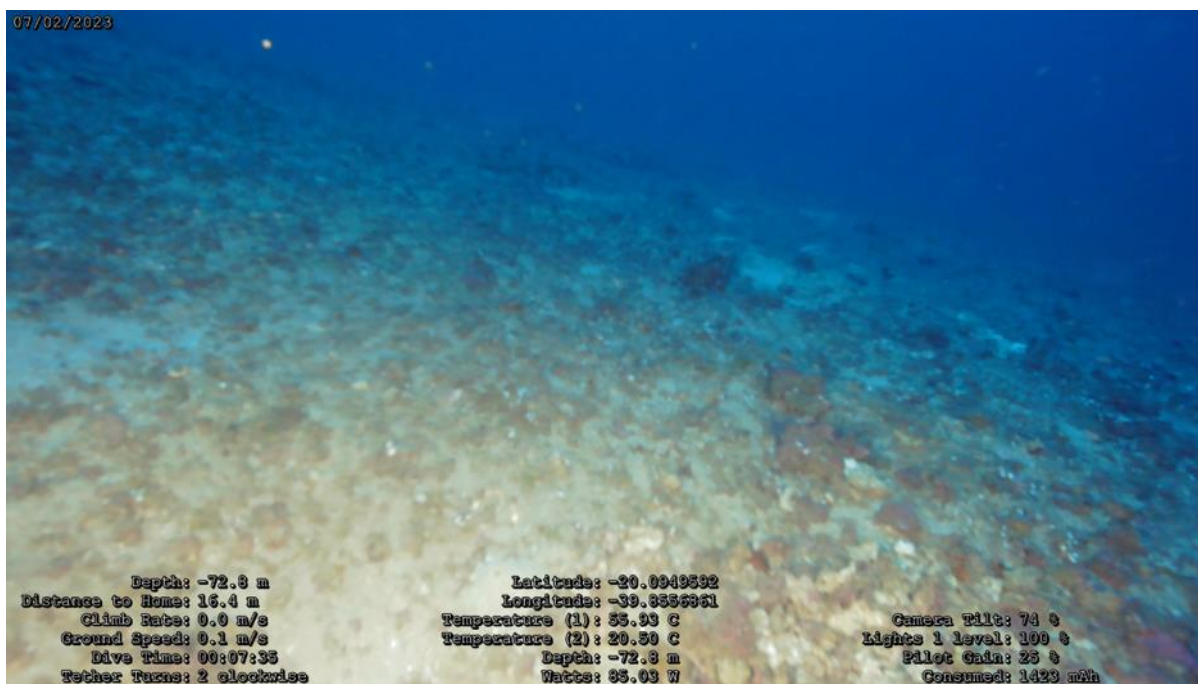


Figura 7: Variável “Rugosidade” com valor +2, indicando irregularidades na estrutura no ponto de monitoramento APA2 no ano de 2023.

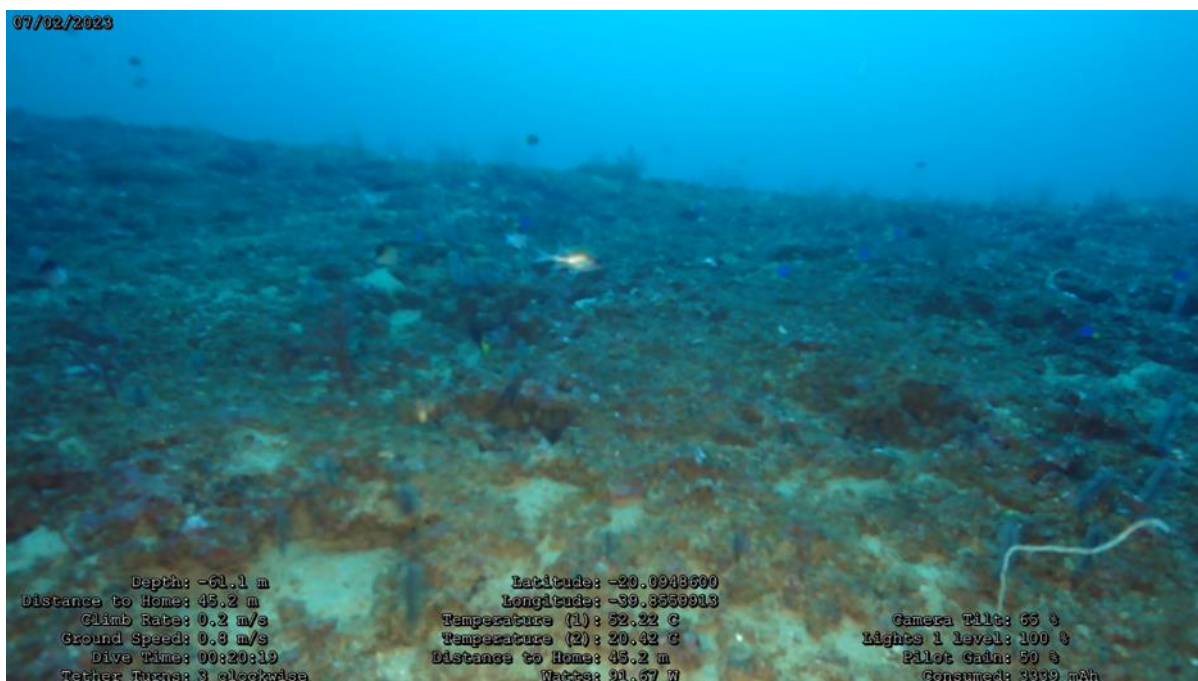


Figura 8: Variável “Ictiofauna” com valor +1, indicando presença pontual de ictiofauna no ponto de monitoramento APA2 no ano de 2023.



Figura 9: Variável “Estruturas” com valor +3, ou seja, estrutura integrada ao ambiente circundante no ponto de monitoramento APA2 no ano de 2023.



Figura 10: Variável “Saliências” com valor +2 e indicação de diferenças no relevo no ponto de monitoramento APA2 no ano de 2023.

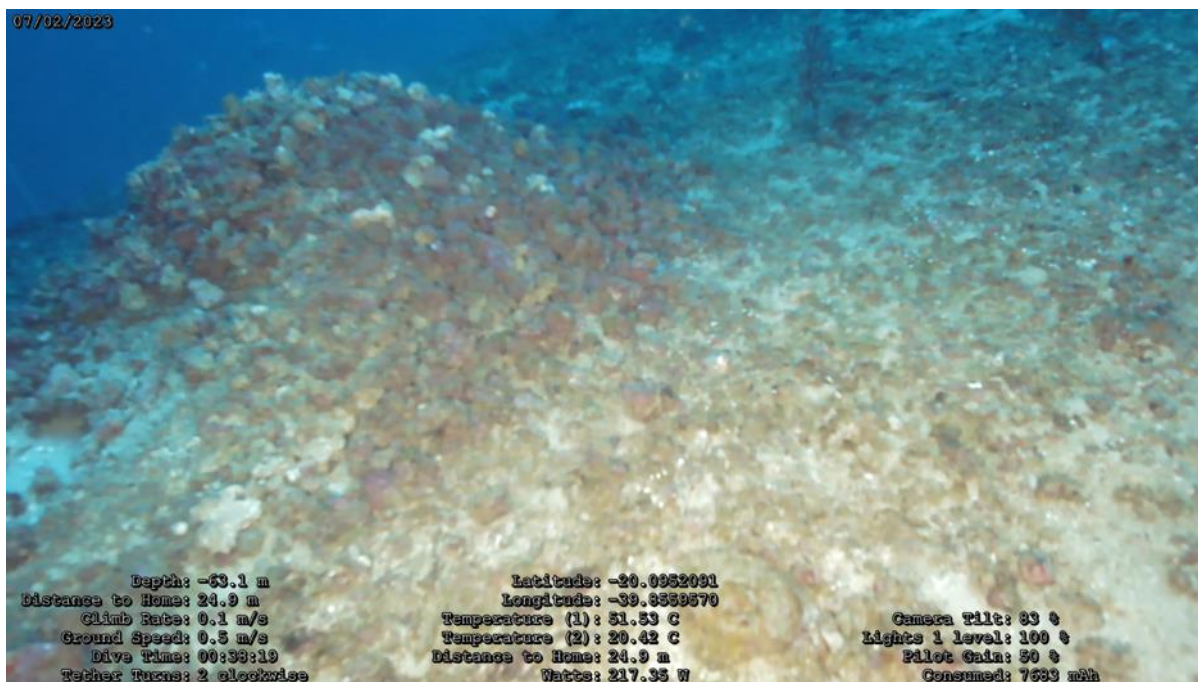


Figura 11: Variável “Tocas, cavidades e escarpas” com valor +2, ou seja, parâmetro observado ao longo dos transectos no ponto APA2 no ano de 2023.

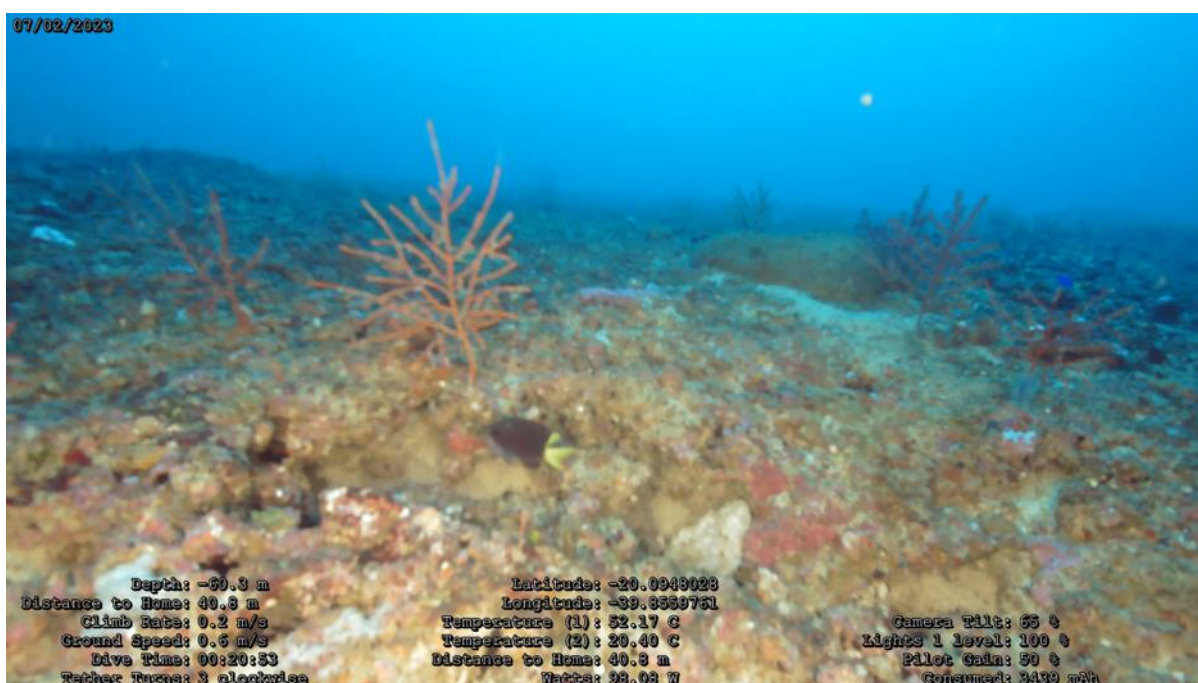


Figura 12: Variável "Ictiofauna" com valor +2 no ponto APA2 no ano de 2023.

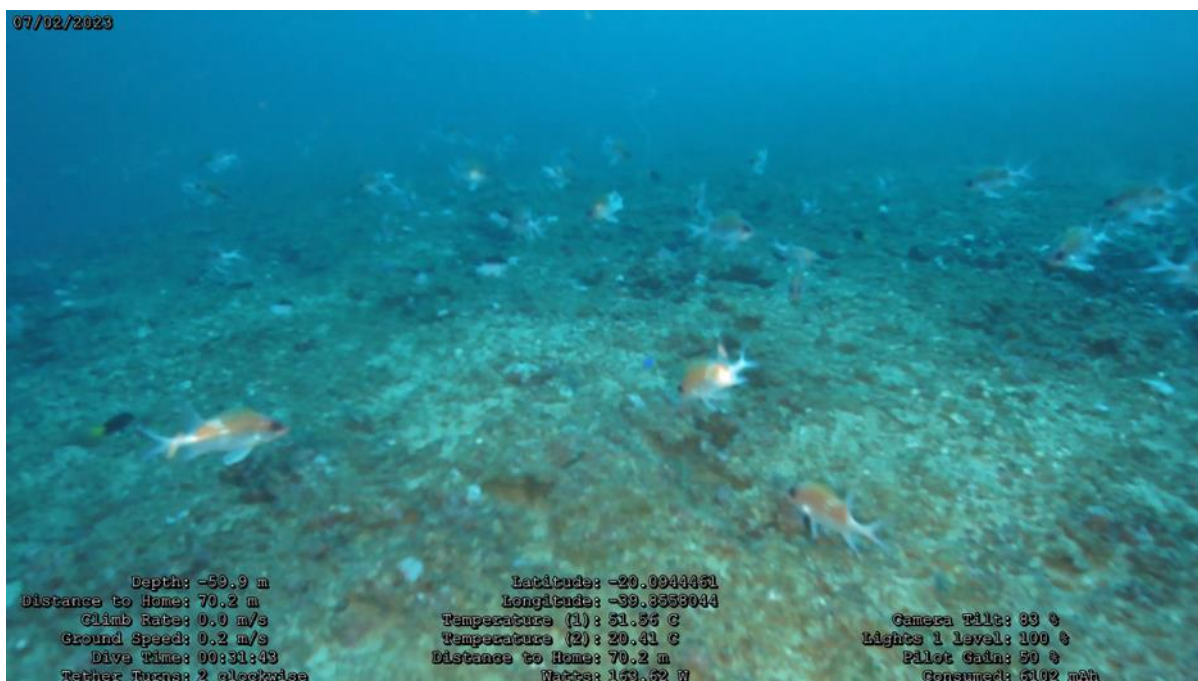


Figura 13: Variável "Rodolitos" com valor +2, ou seja, rodolitos esparsos ao longo do transecto no ponto de monitoramento APA1.

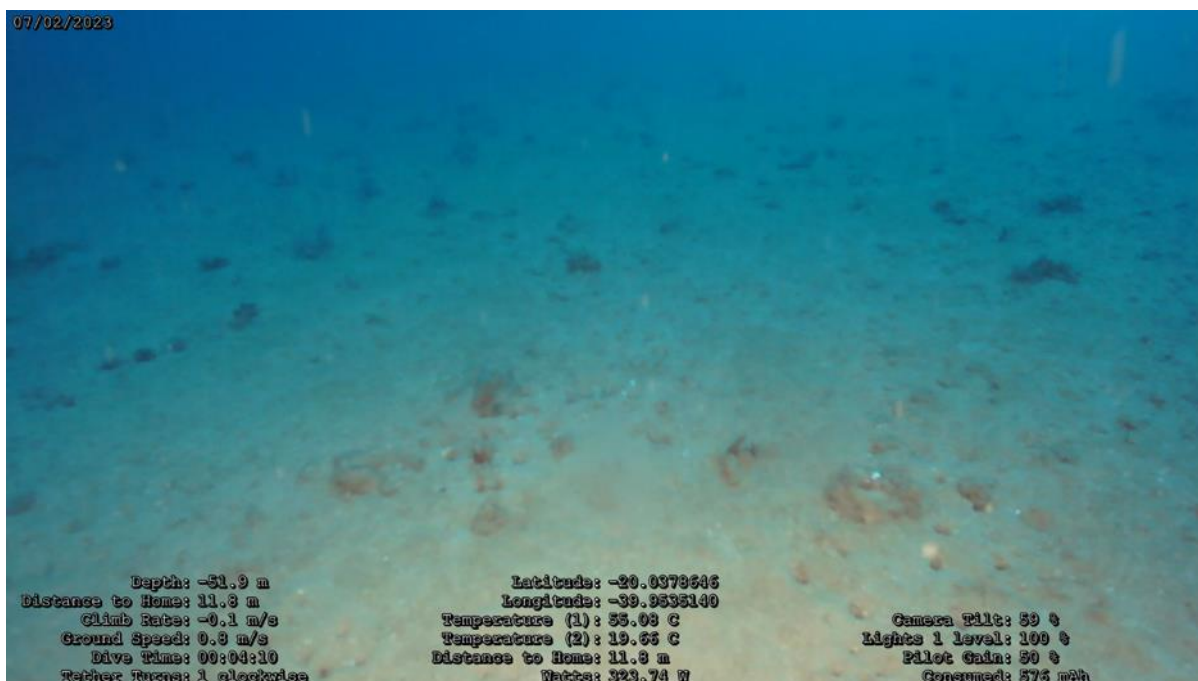


Figura 14: Variável “Depressões” com valor +2, ou seja, mudança considerável na profundidade no ponto de monitoramento APA1.



Figura 15: Presença de fauna bentônica ao longo dos transectos no ponto de monitoramento APA1 no ano de 2023.

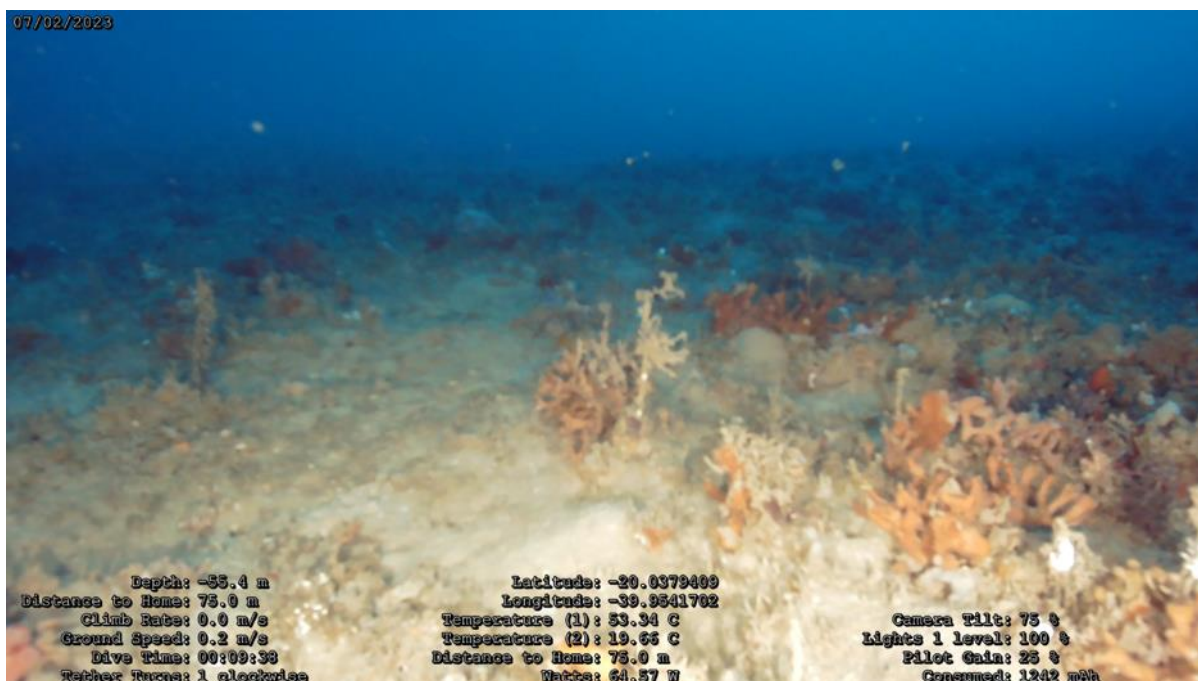


Figura 16: Variável “Turbidez” com valor +5 indicando turbidez elevada nos transectos do ponto de monitoramento Comboios 2 no ano de 2023.



Figura 17: Estrutura recifal desenvolvida e extensa (+5) no ponto de monitoramento Recifes Esquecidos 1 no ano de 2023.



Figura 18: Marcas de branqueamento de corais no ponto de monitoramento Recifes Esquecidos 1 no ano de 2023.

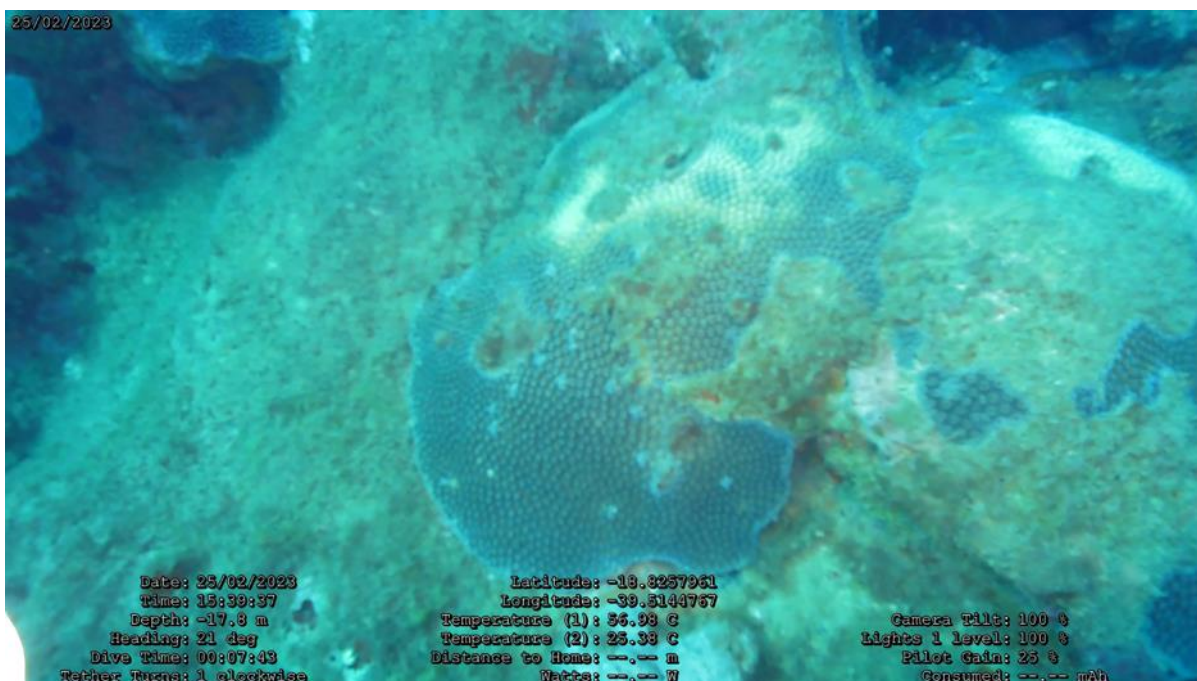


Figura 19: Estrutura recifal pequena e pontual (+1) no ponto de monitoramento Recifes Esquecidos 2 no ano de 2023.
Transectos com turbidez média (-3).



Figura 20: Marca de destruição física (-3) no ponto de monitoramento APA 2 no ano de 2024.

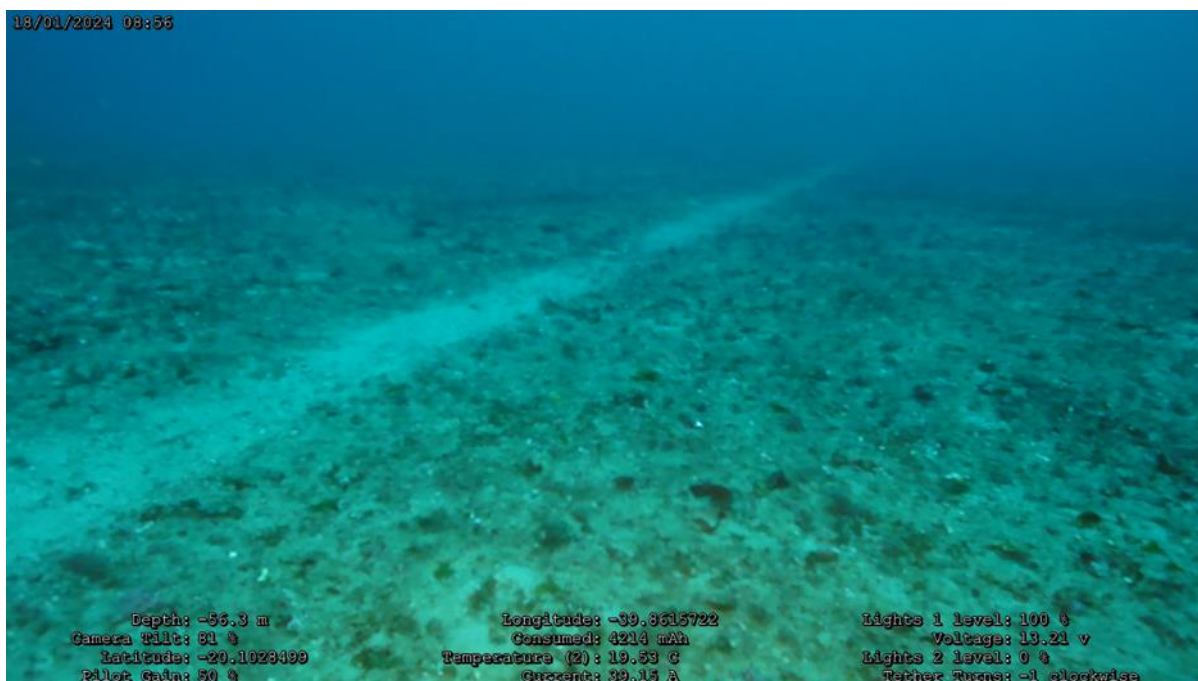


Figura 21: Presença de macroresíduo (-3) no ponto de monitoramento APA 2 no ano de 2024.

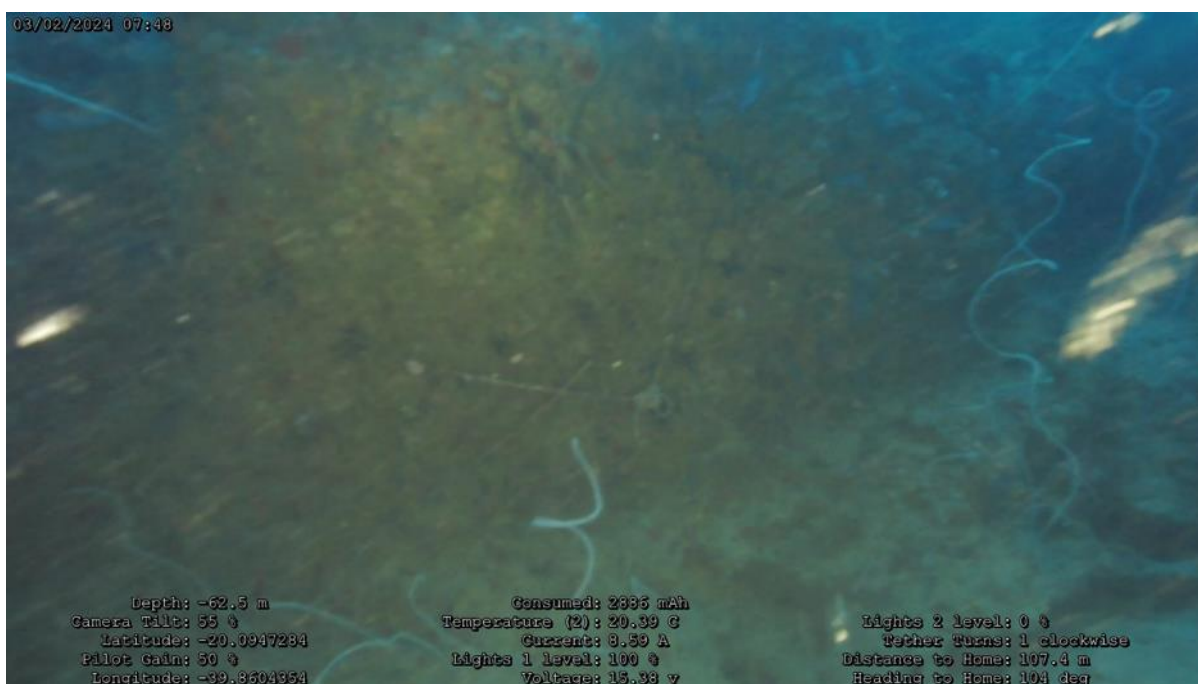
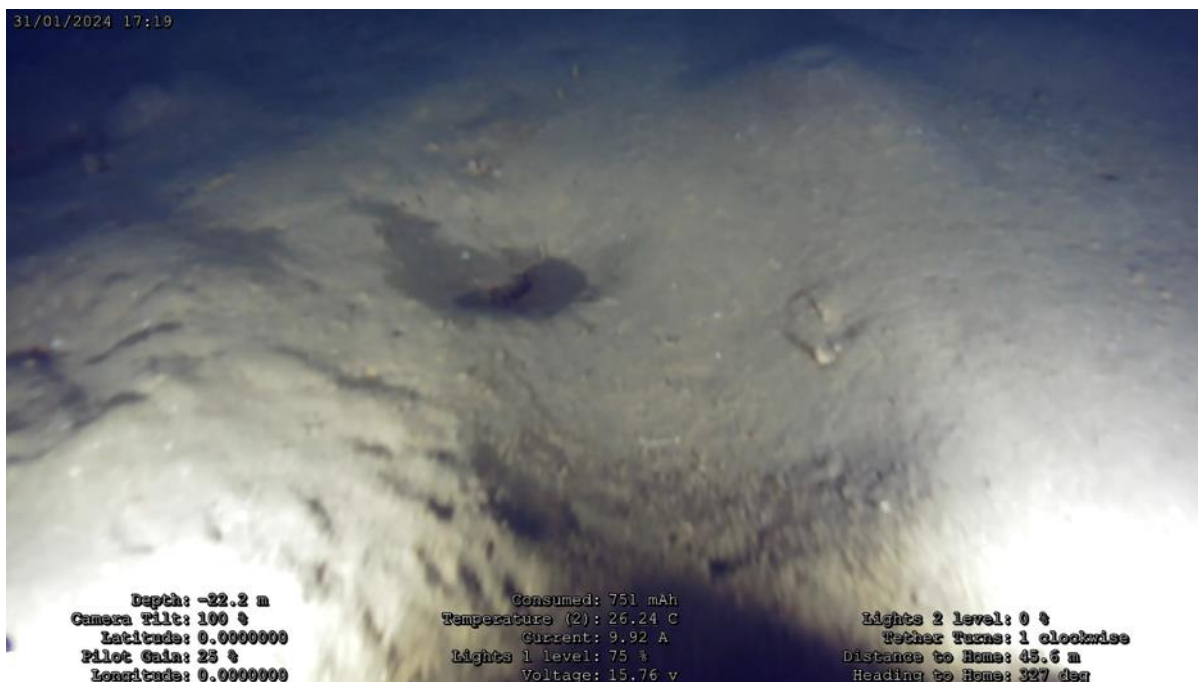


Figura 22: Fundo de areia com fragmentos carbonáticos e presença de tocas e cavidades no ponto de monitoramento São Mateus no ano de 2024.



2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS

Seis metodologias foram integradas ao longo dos cinco anos de monitoramento para avaliação dos indicadores. (i) O dronemonitoramento permitiu avaliar os parâmetros de comportamento alimentar e estrutura populacional. (ii) O sobrevoo com avião tripulado foi utilizado para avaliar o tamanho populacional e, juntamente com (iii) o monitoramento bioacústico, possibilitou mapear a distribuição da população de toninhas ao longo dos anos e a identificação de agregações de megafauna em hotspots. (iv) O monitoramento com ROV (*Remotely Operated Underwater Vehicle*) foi utilizado para relacionar as ocorrências dos registros de toninhas com o tipo de fundo marinho e, mais recentemente, possibilitou a análise anual da integridade dos *hostspots*. (v) monitoramento embarcado de cetáceos, o qual foi integrado ao dronemonitoramento. (vi) monitoramento de ponto fixo de cetáceos, o qual foi igualmente integrado ao dronemonitoramento. Atualmente o método do dronemonitoramento foi expandido para cobrir a área monitorada pelo sobrevoo tripulado, pela bioacústica, pelo monitoramento embarcado de cetáceos e pelo monitoramento de ponto fixo. Portanto, estes 4 últimos métodos foram descontinuados no quarto ano. Todas as alterações foram aprovadas na Proposta Técnica e Plano de Trabalho do Novo Ciclo do PMBA/ Fest e permitiram uma grande redução de custos, simplificação logística e otimização de equipe na área de monitoramento remoto da megafauna marinha.

No quinto ano de monitoramento, a partir de julho de 2023, o dronemonitoramento foi feito através de transectos de 7 km da costa distribuídos em 63 pontos de decolagem com espaçamento de 3 a 5 km, desde Santa Cruz até Itaúnas, em uma metodologia chamada de Dronemonitoramento de Longo

Alcance. Apesar de previstos inicialmente 80 pontos de decolagem, testes de detectabilidade e área varrida feitos como parte da implementação da nova metodologia permitiram otimizar os procedimentos de forma que foi possível obter uma área varrida equivalente aos 80 pontos originalmente previstos, com alcance das mesmas metas.

3 RESULTADOS DOS INDICADORES

Nesta seção serão apresentados os resultados dos indicadores de qualidade ambiental e da biodiversidade aquática do Tema, os quais foram desenvolvidos pelo PMBA/Fest e obtidos ao longo do monitoramento (setembro/2018 – dezembro/2023) na área ambiental I. Vale ressaltar que, os indicadores aqui apresentados têm como propósito clarificar e sintetizar a historicidade dos resultados, interpretação e conclusões do monitoramento, promovendo o acompanhamento espaço-temporal da qualidade ambiental e biodiversidade, além de configurarem importantes ferramentas de suporte aos gestores ambientais. A partir destes indicadores, pode-se identificar os impactos com relação direta ou indireta ao rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (MG).

Os indicadores do PMBA/Fest vêm se consolidando ao longo do monitoramento e, seguindo a proposta estabelecida desde o Relatório Anual de 2022 (RA2022), a apresentação dos resultados será exclusivamente a partir da apresentação dos indicadores, acompanhados de legenda estendida com a explicação de sua variação espaço-temporal de forma mais direta e objetiva como se segue:

3.1 VULNERABILIDADE POPULACIONAL DA TONINHA (*PONTOPORIA BLAINVILLEI*)

A partir do dronemonitoramento observou-se que a região de Comboios apresentou maior ocorrência de *P. blainvillei*, assim como um maior percentual do registro do comportamento alimentar da espécie, observado no período seco e chuvoso. Observou-se uma tendência da população em utilizar de forma alternada a foz do Rio Doce e Comboios, assim como uma preferência pelo uso de Comboios, principalmente nos primeiros anos de monitoramento (Figura 23). Em Comboios foi registrado uma maior proporção de filhotes no período chuvoso comparado à foz do Rio Doce, onde houve um aumento no número relativo de indivíduos adultos, a partir do primeiro trimestre de 2021. Foi identificado com o ROV que a ocorrência de *P. blainvillei* está associada ao fundo inconsolidado, principalmente lamoso, que ocorre em áreas próximas ao sul da foz do Rio Doce. A partir da bioacústica e do sobrevoo tripulado encontrou-se um grau de concordância relativamente alto ($W=0,72$; $p<0,001$), indicando possível fidelidade da população remanescente de *P. blainvillei* às áreas costeiras ao redor da foz do Rio Doce, com concentração ao sul desta.

Houve um aumento da vulnerabilidade (sensibilidade e suscetibilidade) da população da toninha devido ao uso intensivo de áreas impactadas para alimentação e reprodução. A espécie está associada ao

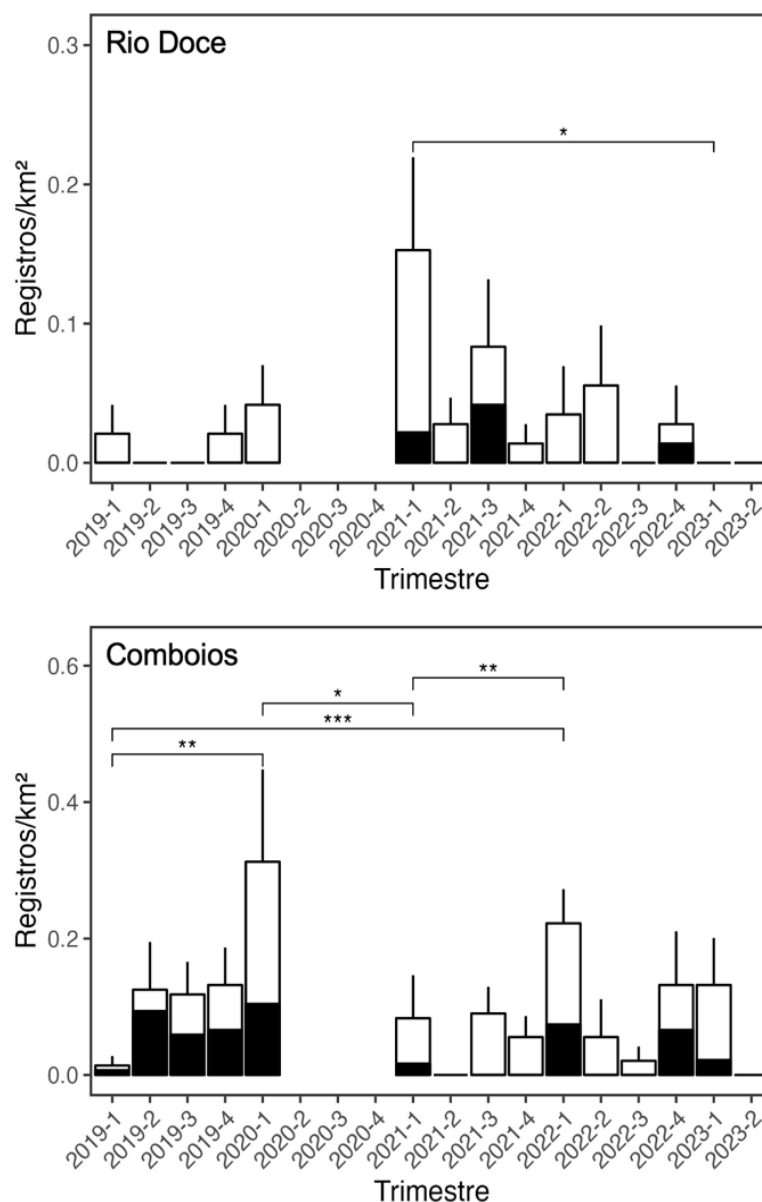
fundo inconsolidado, principalmente lamoso, que ocorre ao sul da foz do Rio Doce, área mais impactada pela lama de rejeitos.

3.1.1 Dronemonitoramento

Comportamento alimentar da toninha (*P. blainvillei*).

O comportamento alimentar da toninha foi analisado nos dois locais onde a espécie foi encontrada e monitorada, foz do Rio Doce e Comboios (Figura 23).

Figura 23: Frequência de avistagem (altura das colunas) e proporção de indivíduos em comportamento alimentar (hachurados em preto nas colunas) da toninha (*P. blainvillei*) durante 15 trimestres, entre os meses de janeiro de 2019 a junho de 2023 nas localidades de Regência (gráfico superior) e Comboios (gráfico inferior). Os asteriscos representam uma diferença significativa entre os trimestres monitorados.



O comportamento alimentar apresentou maior percentual na região de Comboios, sendo presente durante o período chuvoso e seco. Houve diminuição significativa nos registros realizados no primeiro trimestre de 2021 e no primeiro trimestre de 2023, ambos no período seco, no ponto de monitoramento em frente à foz do Rio Doce. Em Comboios foi identificado um aumento significativo nos registros realizados no primeiro trimestre (período seco) de 2019 em relação ao mesmo período de 2020 e 2022. Entretanto, houve uma diminuição significativa nos registros do primeiro trimestre de 2021 nesta mesma área.

Densidade da toninha (*P. blainvillei*).

Foram analisados, através de gráficos boxplot que mostram a tendência central e a variabilidade dos dados, os números de registros mensais da toninha, *Pontoporia blainvillei*, entre outubro de 2018 e junho de 2023 (Figura 24) e a densidade mensal nos três pontos de monitoramento (Figura 25), Rio Doce, Comboios e Piraquê-Açu.

Figura 24: Total de registros de toninha (*P. blainvillei*) mensais, entre outubro de 2018 e junho de 2023, nas três áreas de monitoramento (Comboios, Rio Doce, Piraquê-Açu). Não houve amostragem entre abril e dezembro de 2020 devido à paralização do monitoramento na pandemia COVID-19. Os pontos vermelhos são outliers.

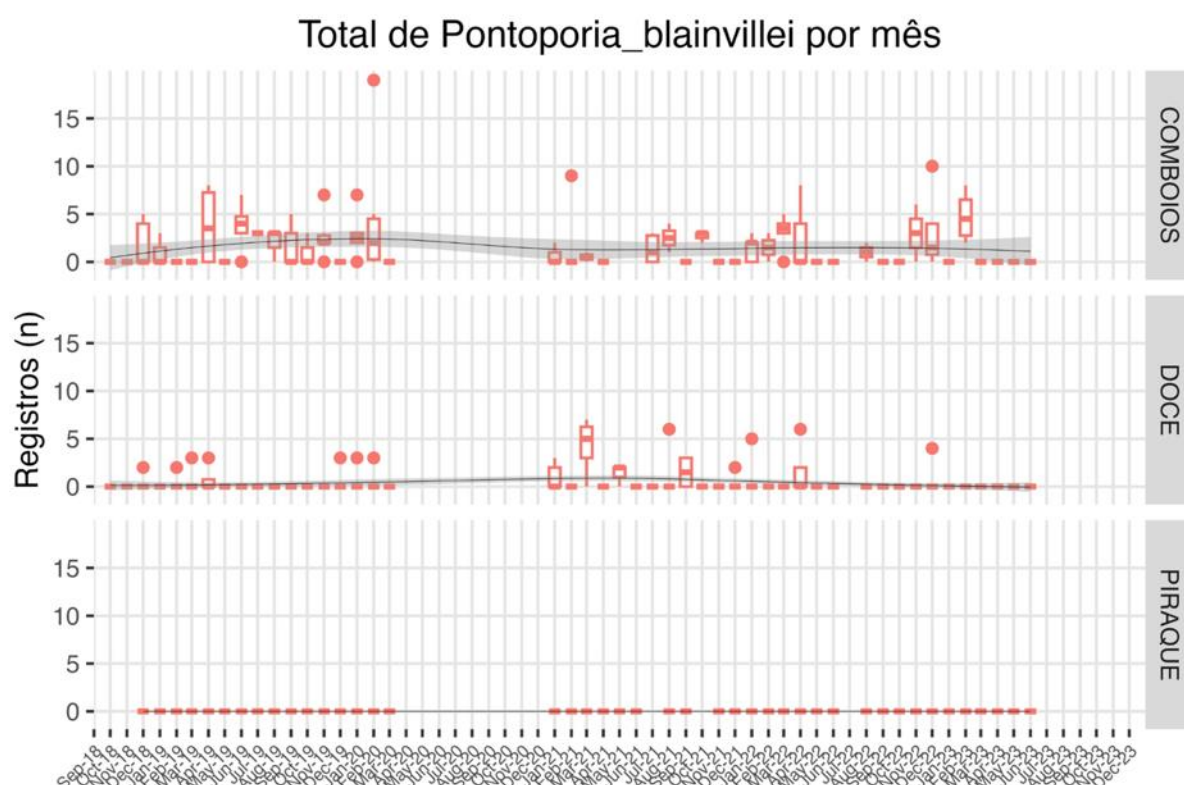
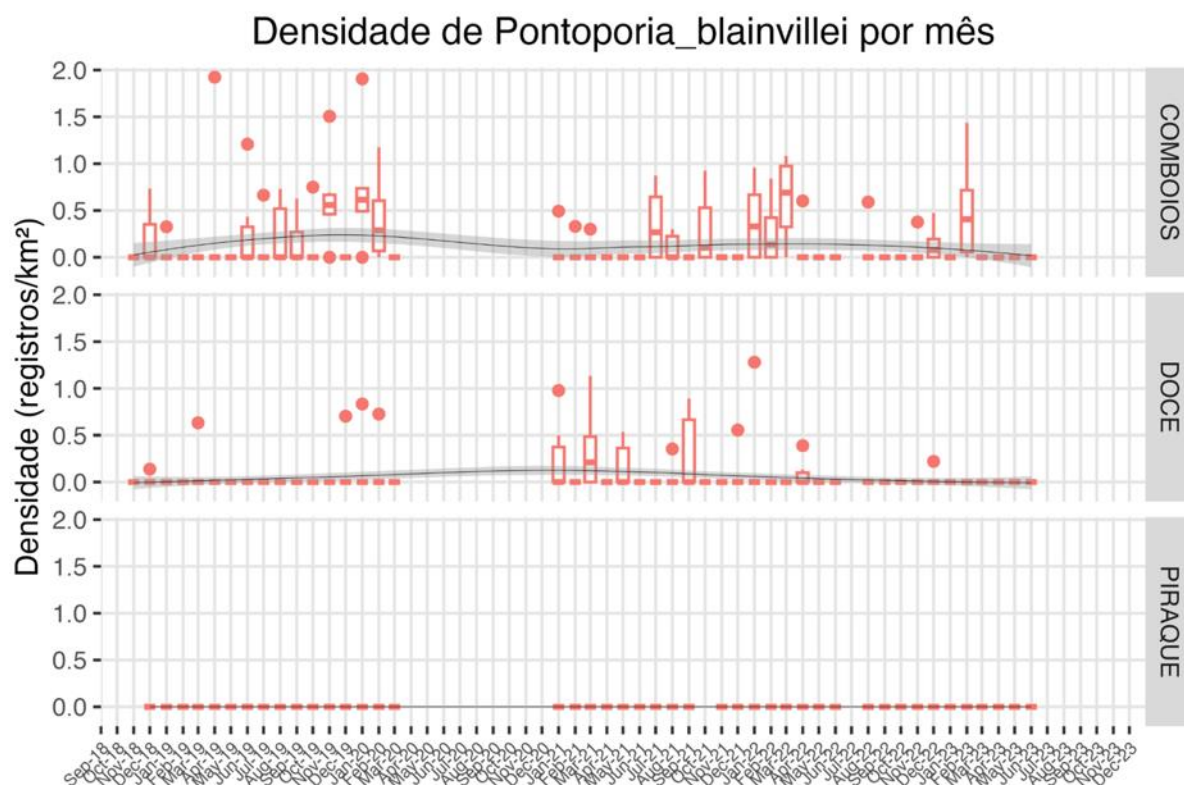
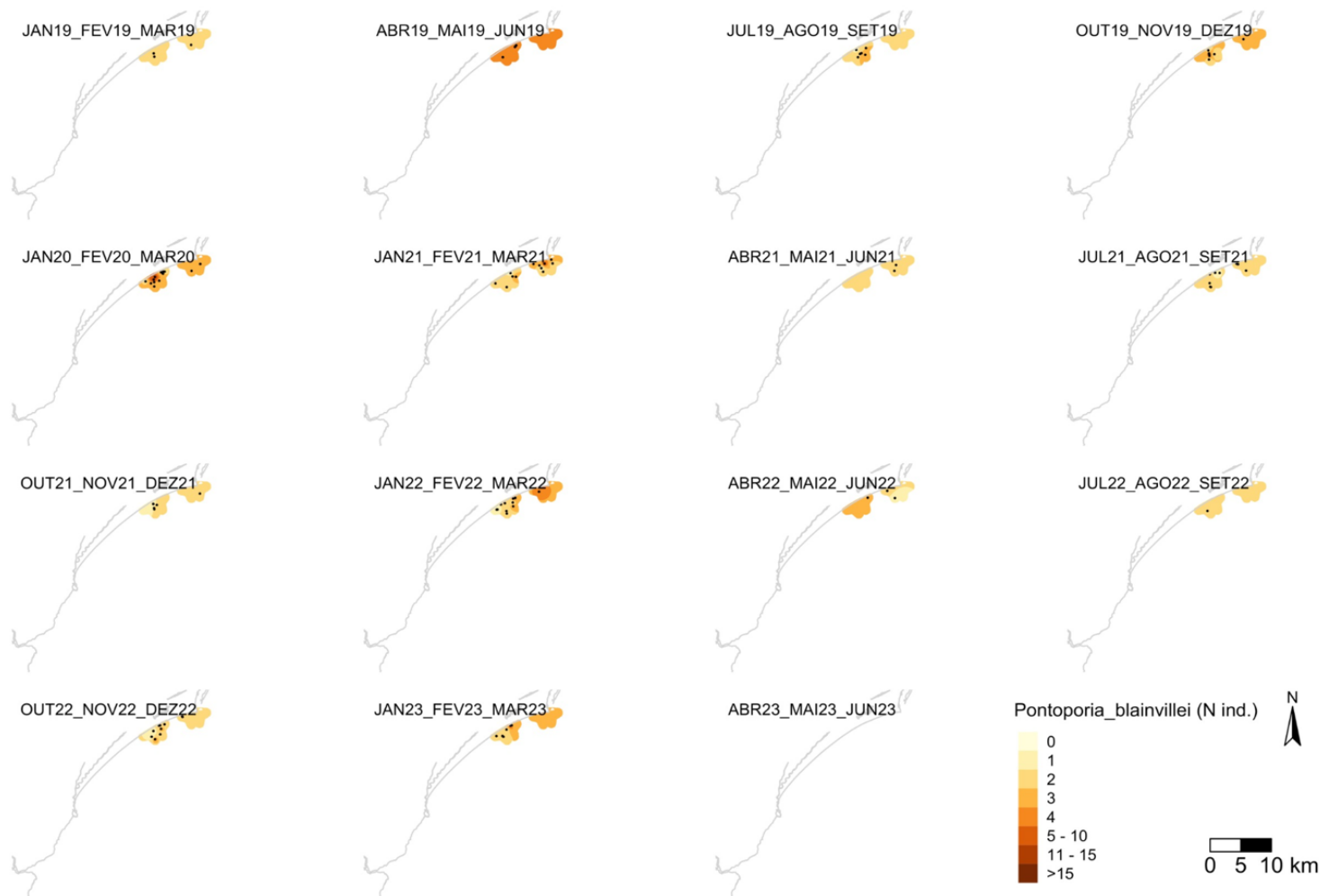


Figura 25: Densidade mensal de toninha (*P. blainvillei*), entre outubro de 2018 e junho de 2023, nas três áreas de monitoramento (Comboios, Rio Doce, Piraquê-Açu). Não houve amostragem entre abril e dezembro de 2020. Os pontos vermelhos são outliers.



A maior concentração de registros da espécie se deu na região de Comboios. A única diminuição do número de registros, em Comboios, foi no primeiro trimestre de 2021, no qual houve um aumento no número de registros na região da foz do Rio Doce. Não houve registro de toninha, *Pontoporia blainvillei*, em nenhuma campanha de monitoramento realizada no Piraquê-Açu. Entre os trimestres 02 e 04 do ano de 2020 não houve monitoramento devido à pandemia da Covid-19. A análise espacial da distribuição da espécie na foz do Rio Doce e Comboios está apresentada na (Figura 26).

Figura 26: Registros de toninha (*P. blainvillei*) durante 15 trimestres, entre os meses de janeiro de 2019 a junho de 2023, distribuídos espacialmente nos pontos de monitoramento na região da foz do Rio Doce e Comboios .



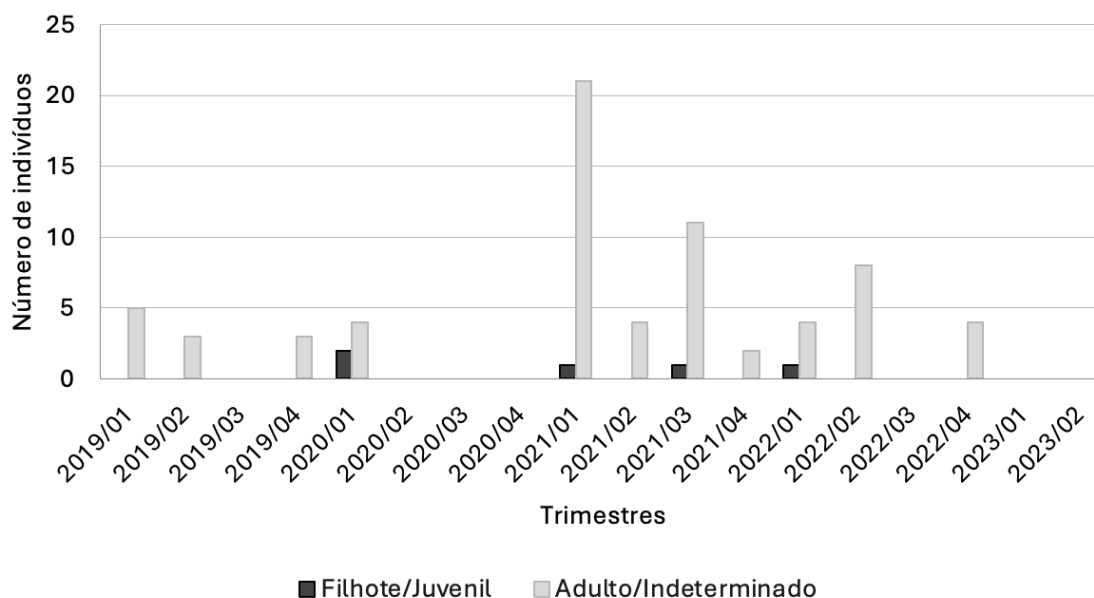
Os gráficos mostram, desta forma, que há uma tendência da população em utilizar de forma alternada a foz do Rio Doce e Comboios. Percebe-se também que há uma preferência pelo uso de Comboios, principalmente nos primeiros anos de monitoramento. Não foram registradas toninhas no segundo trimestre de 2023.

Estrutura populacional da toninha (*P. blainvillei*).

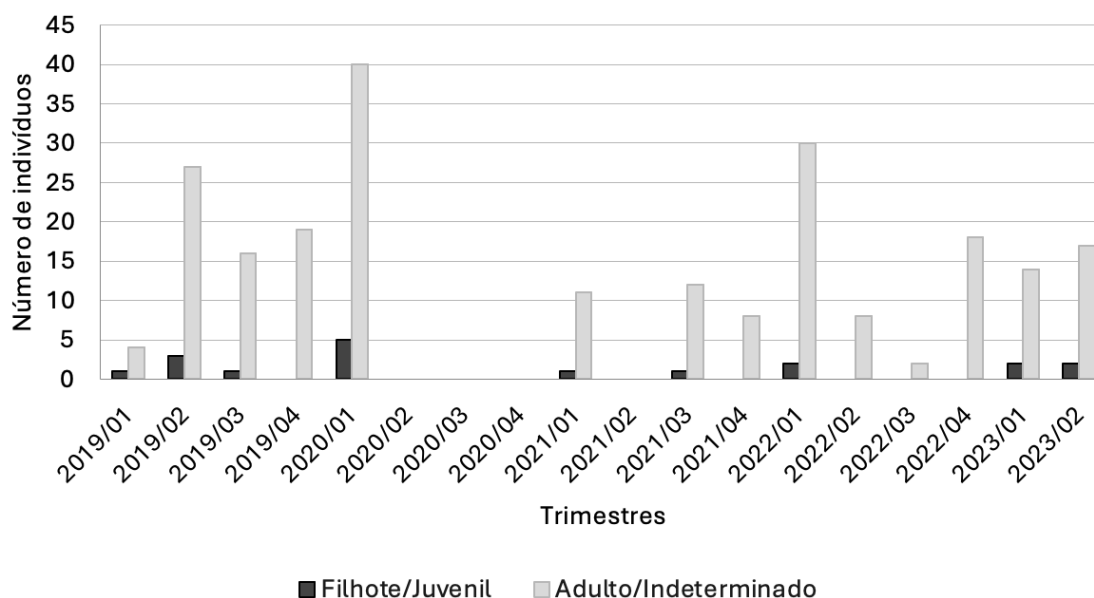
A estrutura populacional foi analisada nos locais de ocorrência da espécie para o estudo (Figura 27).

Figura 27: Estrutura populacional da toninha (*P. blainvillei*), com a classificação etária dos indivíduos registrados trimestralmente, entre janeiro de 2019 e junho de 2023, nos pontos de monitoramento Rio Doce e Comboios. Não houve amostragem entre abril e dezembro de 2020.

Rio Doce



Comboios



Não houve registro de toninha, na foz do Rio Doce, no terceiro trimestre de 2019 (período seco), no terceiro trimestre de 2022 (período seco) e no primeiro e segundo trimestre de 2023 (período chuvoso). Na região da foz do Rio Doce houve um maior número de registros a partir do primeiro trimestre de

2021, principalmente por indivíduos adultos. Em Comboios, houve um maior número de filhotes no período chuvoso (trimestres com meses de verão), o que pode ter relação com o período de nascimento da espécie, que ocorre preferencialmente na primavera (DENUNCIO et al., 2013). Os resultados em porcentagem mostraram que foram encontrados em 2020/01 - 33,3%, 2021/01 - 4,76%, 2021/03 9%, 2022/01 25% de presença de filhotes/juvenis na região do Rio Doce. Em Comboios foram mais trimestres com presença de filhotes, porém em porcentagens menores (2018/01 – 25%; 2019/02 – 11,1%; 2019/03 – 6,25%; 2020/01 – 12,5%; 2021/01 – 9%; 2021/03 – 8,3%; 2022/01 – 6,6%; 2023/01 - 14,2%). Não houve diminuição significativa da presença de filhotes nas áreas amostradas. Entre os trimestres 02 e 04 do ano de 2020 não houve monitoramento devido à pandemia da Covid-19.

3.1.2 Dronemonitoramento de Longo Alcance

Densidade da toninha (*P. blainvillei*).

A partir da análise das vídeo-amstras dos 63 transectos de cada campanha, foram identificados 11 grupos de toninha, sendo 6 no primeiro trimestre monitorado e 5 no segundo. Um grupo com cinco indivíduos foi registrado durante o dronemonitoramento de longo alcance (Figura 28).

Figura 28: Frame de vídeo-amostra com um grupo de toninha (*P. blainvillei*).



Foram determinadas as áreas de maior concentração das toninhas, *Pontoporia blainvillei*, durante o período seco (Figura 29) e o período chuvoso (Figura 30). A densidade para ambos os períodos também foi estimada a partir dos dados coletados entre julho e novembro de 2023 (Figura 31).

Figura 29: Densidade da toninha (*P. blainvillei*) durante o período seco, julho e agosto de 2023, entre Santa Cruz (Aracruz-ES) e Itaúnas (Conceição da Barra-ES).

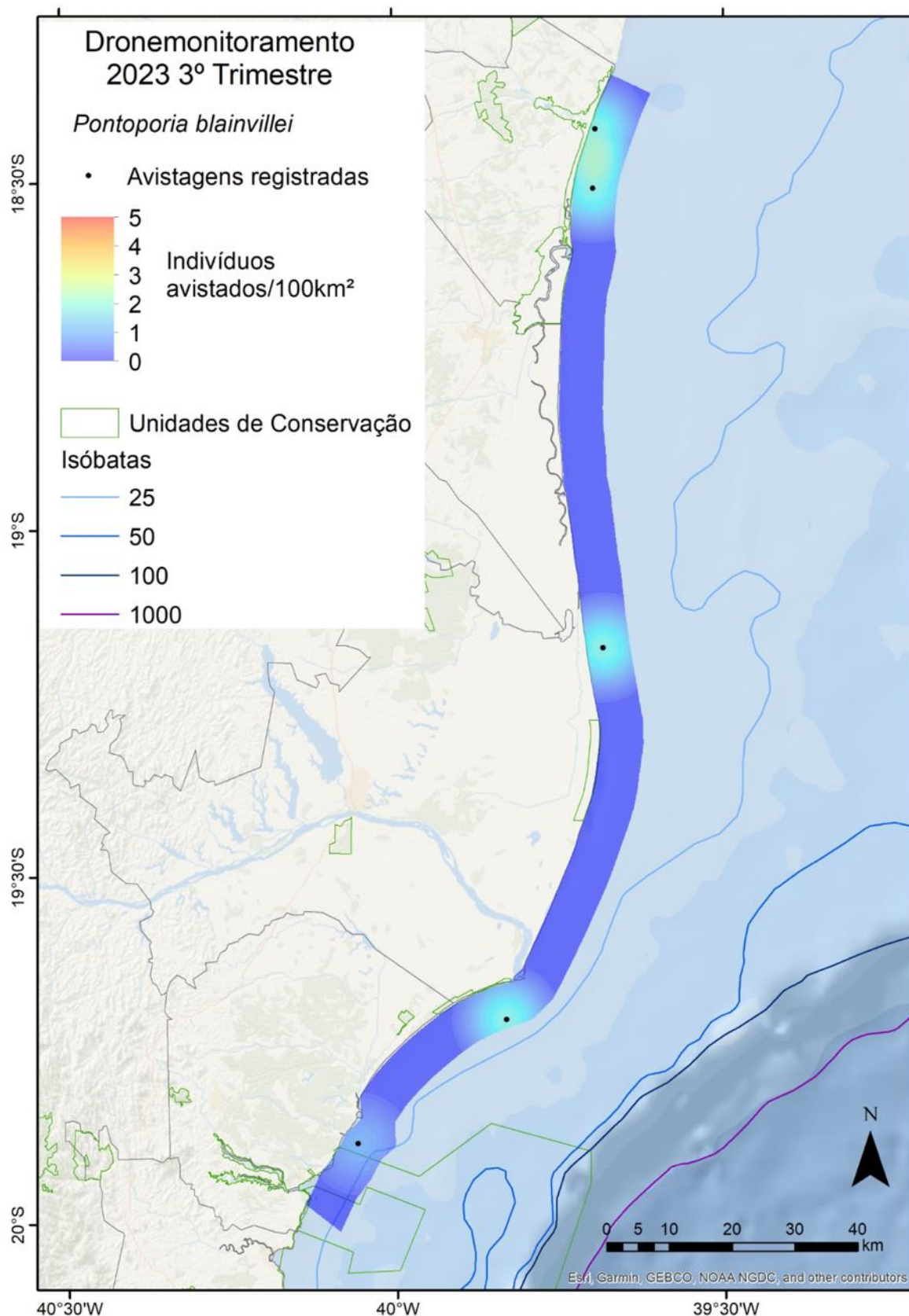


Figura 30: Densidade da toninha (*P. blainvillei*) durante o período chuvoso, outubro e novembro de 2023, entre Santa Cruz (Aracruz-ES) e Itáunas (Conceição da Barra-ES).

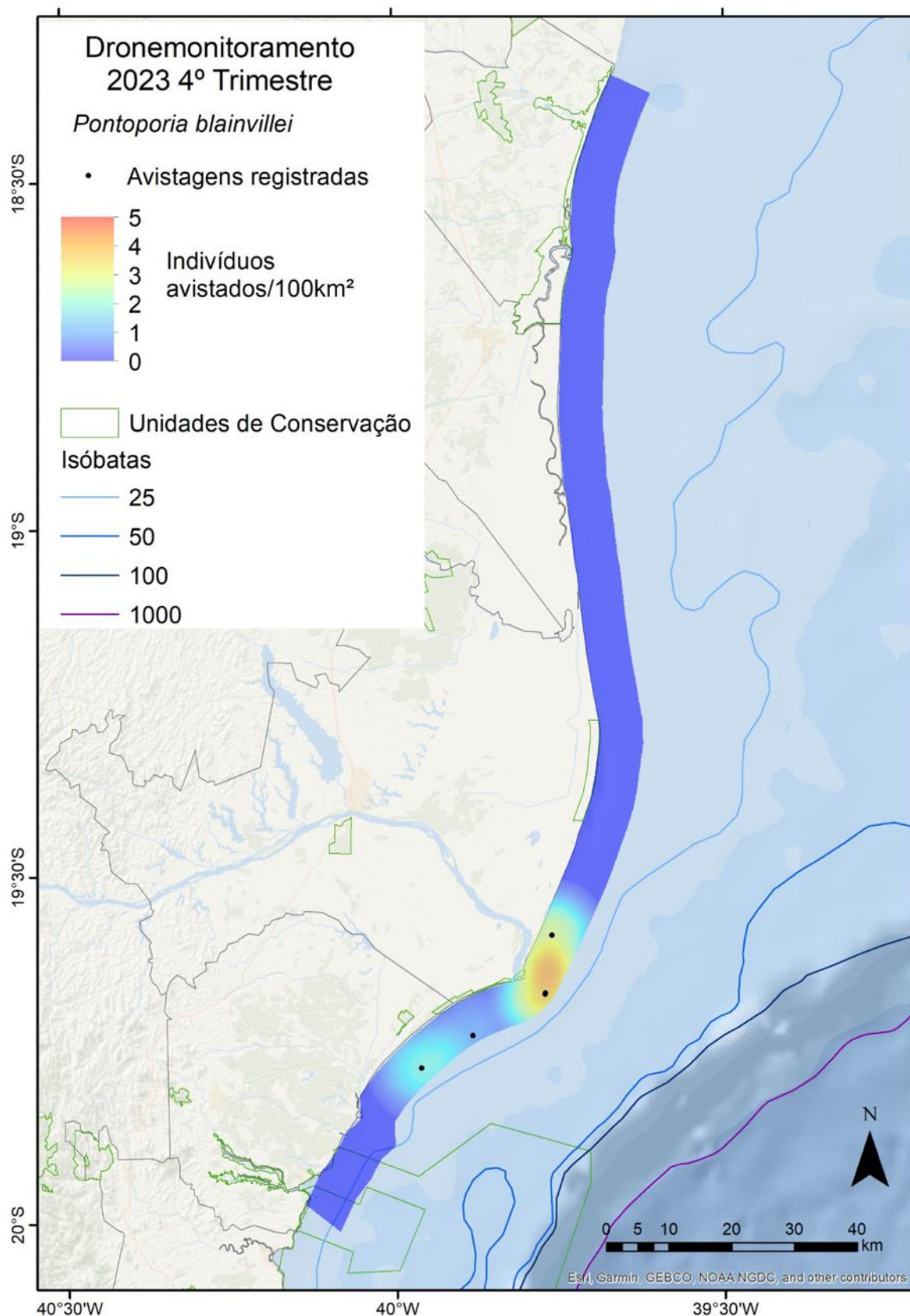
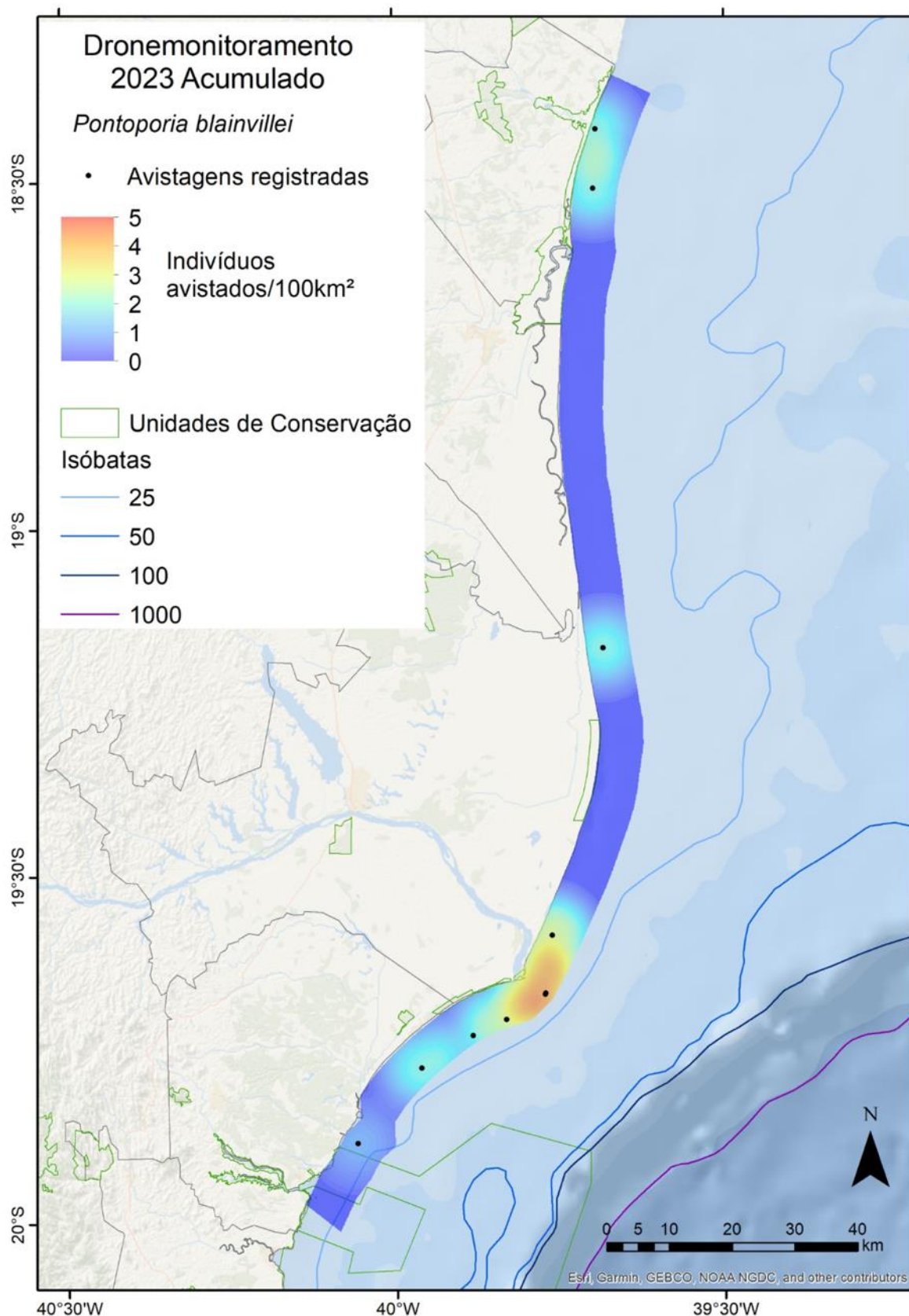


Figura 31: Densidade da toninha (*P. blainvillei*) durante os períodos seco e chuvoso do ano de 2023, entre Santa Cruz (Aracruz-ES) e Itaúnas (Conceição da Barra-ES).



Os transectos para a realização da estimativa de abundância da população de toninha da FMA Ia, foram realizados entre as campanhas do terceiro trimestre de 2023, período seco (julho e agosto de 2023) e do quarto trimestre, período chuvoso (outubro e novembro de 2023). O tamanho dos grupos registrados variou de 1 a 3 indivíduos, totalizando 22 indivíduos (12 no período seco e 10 no período chuvoso).

No terceiro trimestre de 2023 (período seco) a distribuição está mais espaçada ao longo da área de estudo, com registros no extremo norte da FMA Ia, em frente a Itaúnas, até ao extremo sul da FMA Ia, em frente a Santa Cruz (Figura 30). No quarto trimestre (período chuvoso) a distribuição da toninha esteve mais restrita à região da foz do Rio Doce. O padrão de distribuição da toninha identificado pelo dronemonitoramento de longo alcance em ambas as campanhas realizadas em 2023 foi similar ao registrado nos últimos sobrevoos tripulados.

Abundância da toninha (*P. blainvillei*).

Para estimar a abundância da população da toninha na FMA Ia, foi percorrido um total de 881,4 km e 873,6 km no terceiro e quarto trimestre, período seco e chuvoso, respectivamente. O que totalizou uma área varrida de 76,7 km² e 76 km² no período seco e chuvoso, respectivamente. A área de distribuição da espécie, a qual foi considerada para a distribuição dos 63 transectos de forma homogênea, possui 1382 km².

Para o período seco de 2023 a abundância total da população de toninha da FMA Ia para a região amostrada foi estimada em 1733 indivíduos (CV = 0,046, 95% CI = 2033 - 1697). Enquanto no quarto trimestre (período chuvoso), a abundância estimada foi de 1461 indivíduos (CV = 0,058, 95% CI = 1640 - 1303).

Comportamento da toninha (*P. blainvillei*).

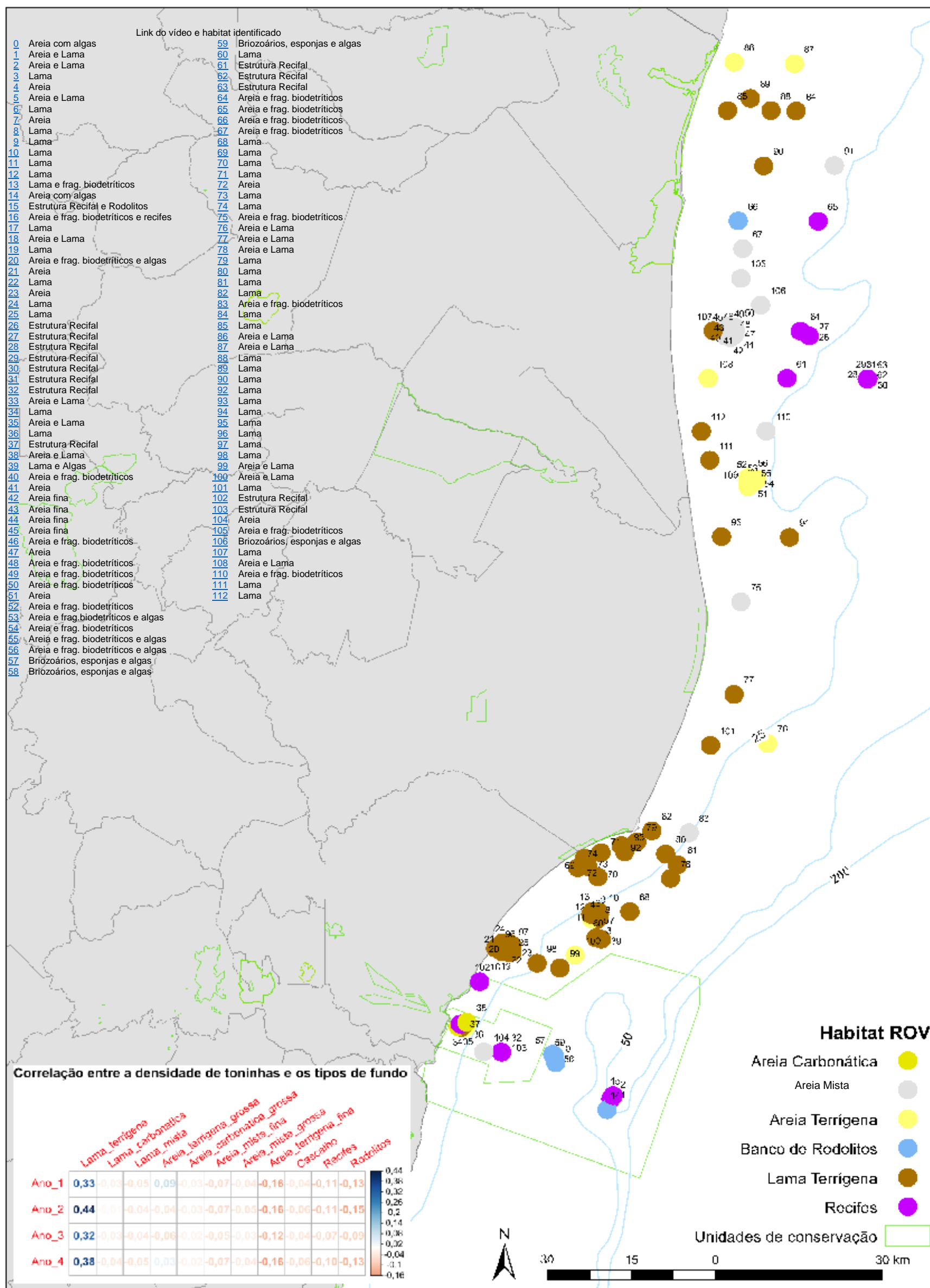
Durante a análise das vídeo-amstras é possível identificar alguns comportamentos principais, tais como: deslocamento, alimentação e interação. Durante as duas primeiras campanhas do dronemonitoramento de longo alcance foi possível observar comportamentos de deslocamento (36,36%) e alimentação (18,18%). Além destes, um dos registros de toninha do período chuvoso foi de uma fêmea interagindo com um filhote em um comportamento possível de ser amamentação. Os demais registros foram classificados como indeterminado.

3.1.3 Caracterização do tipo de fundo marinho (ROV)

As amostras coletadas pelo ROV foram correlacionadas em formato de um mapa da densidade kernel de registros de toninhas obtidos por bioacústica para os 4 anos de monitoramento (Figura 32). A espécie está associada ao fundo inconsolidado, principalmente lamoso, que ocorre ao sul da foz do Rio Doce.

A análise foi complementada com dados da distribuição das fácies sedimentares na plataforma continental e a geomorfologia costeira (VIEIRA, 2019). Um grid de 5x5 km foi estabelecido até 35 km de distância da costa entre a APA Costa das Algas e Itaúnas, sendo que a média da densidade kernel das ocorrências de toninha foi correlacionada com a área de cada tipo de habitat para cada célula desse grid. Para os quatro anos de monitoramento bioacústico, a ocorrência desta espécie ficou altamente correlacionada com o habitat lama terrígena, com destaque para o Ano 2 que obteve um índice de correlação de 0,44 com o fundo inconsolidado lamoso. O resultado destaca a alta fidelidade da espécie ao habitat lamoso imediatamente ao sul da foz do Rio Doce. A região é utilizada como área de alimentação da toninha, *Pontoporia blainvillei* (GIACOMO *et al.*, 2021). Esta associação determina a alta vulnerabilidade da toninha às regiões com mais depósito dos rejeitos tóxicos provenientes do evento de rompimento da barragem de Fundão em Mariana (OLIVEIRA-FERREIRA *et al.*, 2022). Os vídeos estão disponibilizados nos links da tabela presente na figura, referenciados espacialmente no mapa pelo número de identificação.

Figura 32: Mapa com a distribuição dos pontos explorados com o ROV e correlação espacial entre a densidade kernel dos registros bioacústicos da toninha e os tipos de fundos identificados. Os números tabelados na figura representam vídeos selecionados para identificados. Os números tabelados na figura representam vídeos selecionados para identificação dos habitats a partir de amostragens realizadas até o ano 2022.



3.2 INTEGRIDADE DOS HOTSPOTS DE MEGAFaUNA MARINHA

A nova metodologia para análise da integridade ambiental dos hotspots predefinidos no plano de trabalho foi implementada, tendo no mínimo seis vídeo-amostras coletadas em cada ponto representado na Figura 33. A integridade foi avaliada por tipo de fundo predominante em cada amostra e a média dos valores de cada ponto foi calculada, conforme representado na Figura 34.

Figura 33: Mapa com a distribuição dos hotspots para análise da integridade. Os links das vídeo-amostras de cada réplica realizada no período chuvoso de 2023 e 2024, constam no banco de dados disponibilizado.

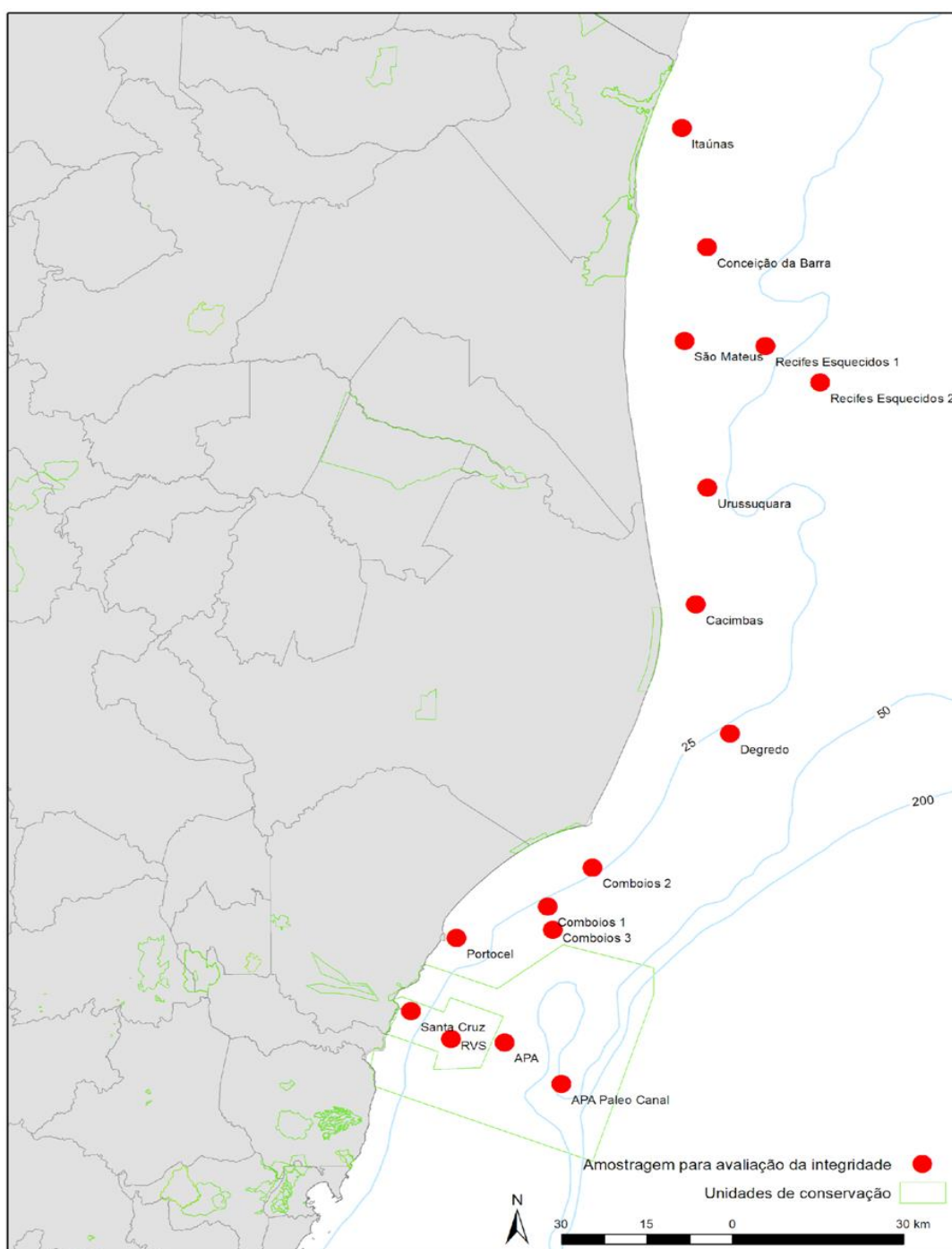
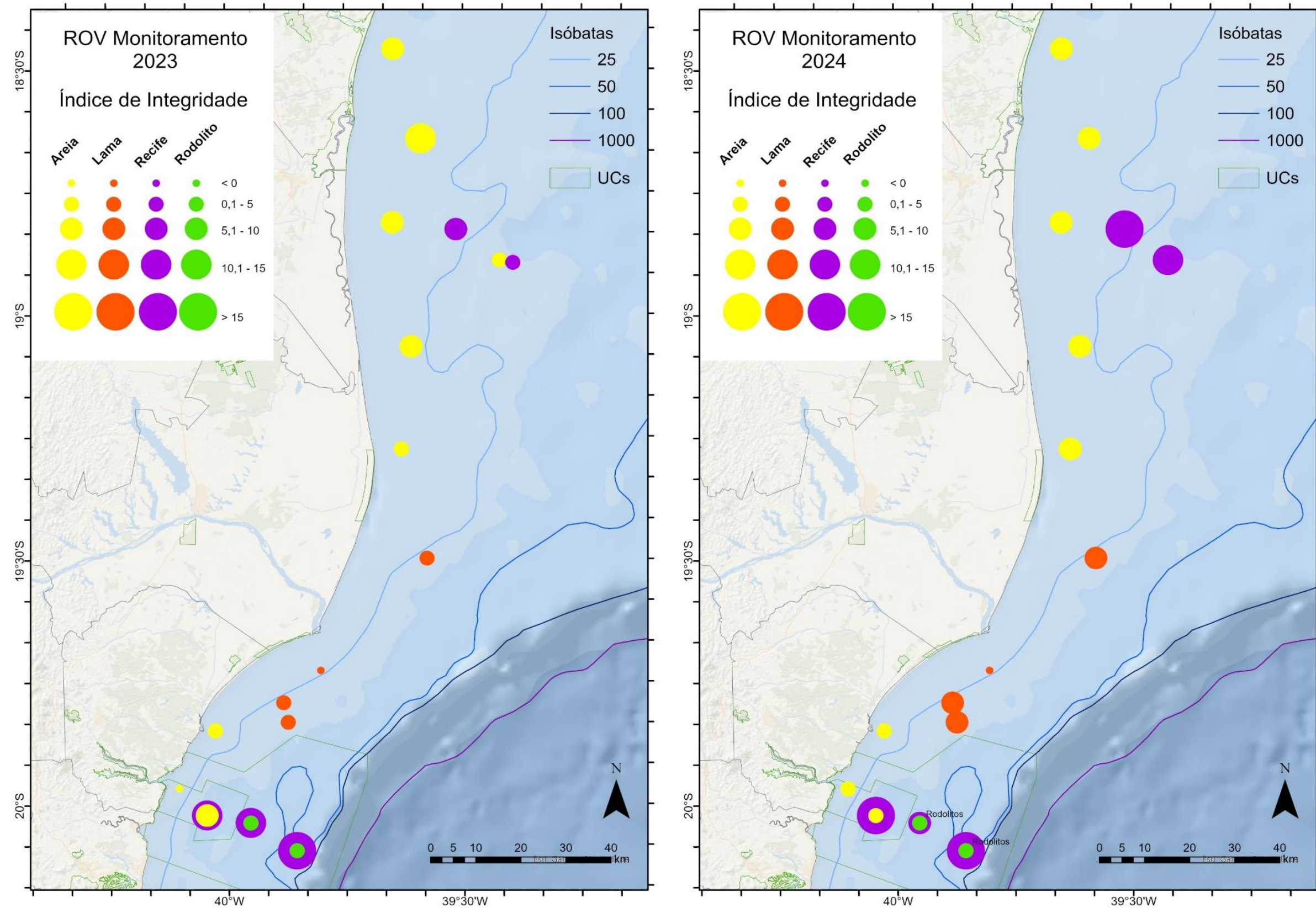


Figura 34: Mapa com a média dos índices de integridade calculados para cada hotspot amostrado e tipo de fundo predominante. Círculos maiores em fevereiro de 2024 apresentam melhora na integridade ambiental em comparação com fevereiro de 2023, caso dos pontos Comboios 1 e 3, Degredo, Urussuquara, Recifes Esquecidos 1 e 2, e RVS. Enquanto os círculos menores de 2024 em relação a 2023 apresentam uma queda na integridade do ambiente, como ocorreu nos pontos Itaúnas, Conceição da Barra e APA 1.



O índice de integridade ambiental foi aplicado às vídeo-amostras obtidas pelo ROV nos anos de 2023 e 2024 nos meses de janeiro e fevereiro de cada ano com o objetivo de avaliar a integridade dos ambientes e sua variação entre os dois anos. Ao calcular a média para cada amostra e comparar com os dados do ano anterior, verificou-se que houve melhora na integridade ambiental nos hotspots RVS, Santa Cruz, Comboios 1 e 3, Degredo, Pontal do Ipiranga, Urussuquara e Recifes Esquecidos 1 e 2. Por outro lado, foi observada uma diminuição na integridade do ambiente nos hotspots APA, Conceição da Barra e Itaúnas.

No hotspot RVS, o índice teve um crescimento de 14 ($\pm 1,41$) para 17,6 ($\pm 0,89$) entre os anos avaliados, com destaque para o aumento da média dos critérios estruturais de 11 em 2023 para 18,6 em 2024. No entanto, a média final do índice de integridade deixou de ter um crescimento mais expressivo devido ao impacto negativo da observação dos critérios antrópicos, no qual a turbidez da água teve uma elevação de média 0 para média 5 (nota máxima). Em Santa Cruz, houve elevação da média no índice de -1 (± 0) para 2 (± 0), essa elevação se deve à observação de marcas de fundo e presença de ictiofauna entre as campanhas de 2023 e 2024, mantendo constante a turbidez, nota 4, como critério antrópico. Os pontos Comboios 1 e 3 também tiveram crescimento de suas médias entre as campanhas analisadas, saindo de médias 4 ($\pm 0,63$) e 5 ($\pm 1,1$) respectivamente em 2023 para 6,83 ($\pm 1,17$) e 6,83

($\pm 0,98$) em 2024. Para Comboios 1, este crescimento está atribuído ao aumento dos valores de critérios estruturais em 2024, como algas e fragmentos carbonáticos. Enquanto em Comboios 3, o aumento do índice se deve à diminuição da turbidez.

Entre os anos de 2023 e 2024, a localidade de Degredo teve crescimento de sua média de 2 (± 0) para 6,33 ($\pm 0,52$) obtendo desenvolvimento em critérios estruturais e biológicos, mas principalmente pela diminuição dos critérios antrópicos, em que possuía média 3 e apresentou média 0 no ano seguinte. Na região de Pontal do Ipiranga, a média do índice teve um crescimento de 4 ($\pm 0,63$) pontos para 7,33 ($\pm 0,82$) entre os anos analisados, apresentando melhorias nos critérios estruturais com a presença de tocas e fragmentos, biológicos com a presença de ictiofauna e antrópicos com a diminuição da turbidez da água. Urussuquara obteve aumento em sua média no índice de 5,5 ($\pm 0,84$) para 8 (± 0) entre 2023 e 2024, apesar da diminuição nos critérios biológicos, apresentou aumento da média de critérios estruturais devido à presença de fragmentos e banco de algas, além da diminuição da média de critérios antrópicos pela diminuição da turbidez da água. Os índices nos Recifes Esquecidos 1 foram de 6,33 ($\pm 3,81$) em 2023 e 15,5 ($\pm 2,33$) em 2024, enquanto no ponto Recifes Esquecidos 2, os índices obtidos foram 3,8 ($\pm 1,3$) em 2023 e 13 (± 1) em 2024. Essa diferença se deve principalmente aos critérios estruturais observados de um ano para o outro, como a observação de estruturas recifais melhor desenvolvidas, banco de algas, tocas e rugosidades em 2024 que não foram observadas no ano anterior.

O ponto APA 1 teve uma diminuição da média de seu índice de integridade entre os anos de 2023 e 2024, indo de 11 ($\pm 1,87$) para 9,33 ($\pm 2,52$). Isso ocorreu principalmente devido à observação de fatores antrópicos e à diminuição da complexidade de sua estrutura recifal. Em Conceição da Barra, também foi observada uma diminuição na pontuação do índice entre os anos analisados, indo de 10,33 ($\pm 0,52$) para 7,86 ($\pm 1,68$). Embora os critérios antrópicos tenham permanecido estáveis com nota zero, os parâmetros estruturais mostraram-se menos íntegros. Em 2023, era possível observar a presença de rodólitos e marcas de fundo, mas esses elementos não estavam mais presentes em 2024. Já em Itaúnas, também houve uma diminuição na integridade do ambiente, passando de 9,5 ($\pm 1,52$) em 2023 para 8,56 ($\pm 1,51$) em 2024. Houve uma diminuição nos critérios estruturais, de 8,67 para 8,11 pontos, e nos critérios biológicos, de 0,83 para 0,44 pontos, enquanto os critérios antrópicos se mantiveram em zero.

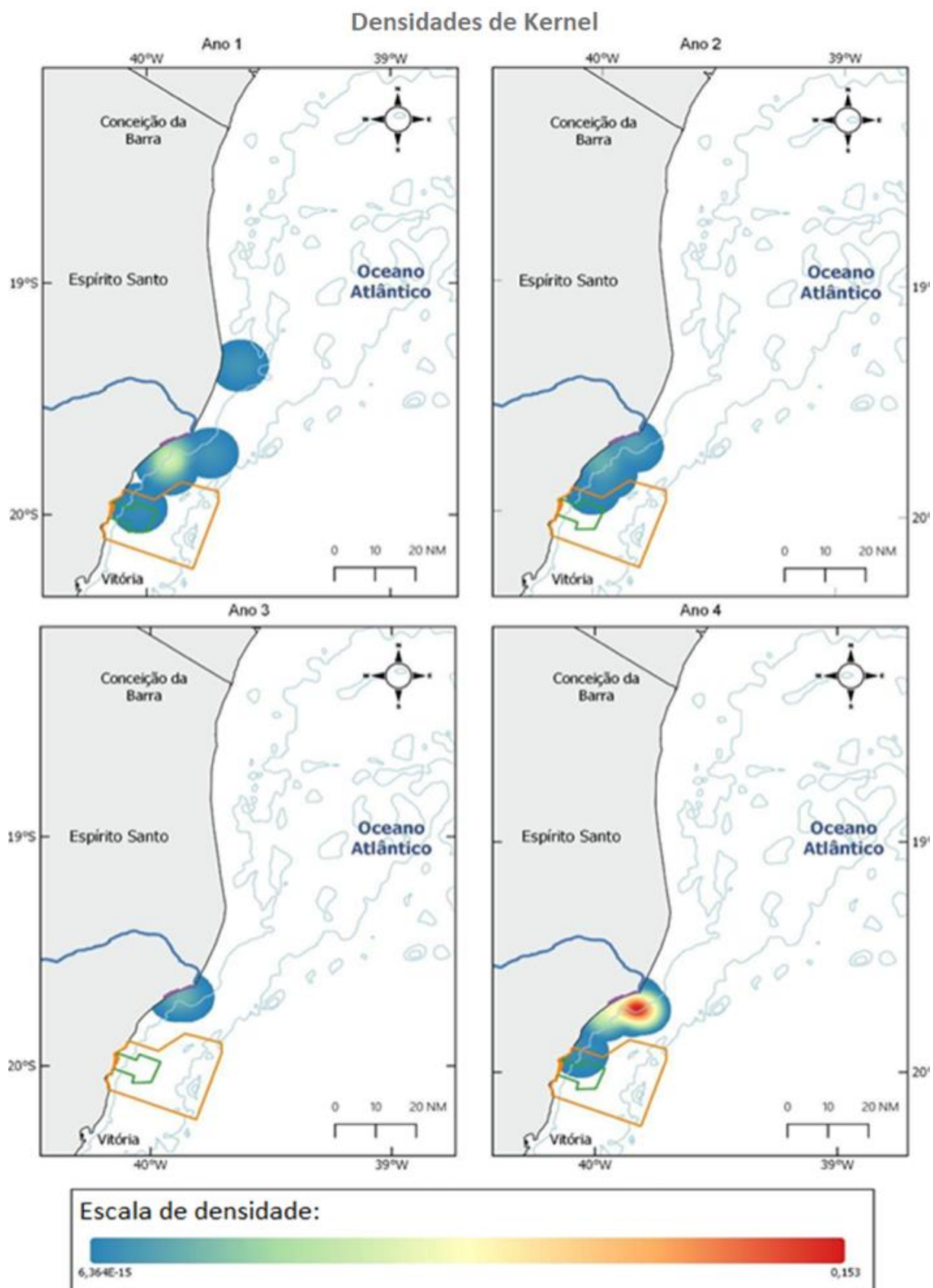
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS 5 ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO

Pelo dronemonitoramento, observou-se uma tendência da população em utilizar de forma alternada a foz do Rio Doce e Comboios, assim como uma preferência pelo uso de Comboios, principalmente nos primeiros anos de monitoramento. Não houve registro de toninha, na foz do Rio Doce, no terceiro trimestre de 2019, no terceiro trimestre de 2022 (período seco) e no primeiro trimestre de 2023 (período chuvoso). Na região da foz do Rio Doce há um maior número de registros a partir do primeiro trimestre

de 2021, principalmente por indivíduos adultos. Em Comboios, há um maior número de filhotes no período chuvoso (trimestres com meses de verão), o que pode ter relação com o período de nascimento da espécie, que ocorre preferencialmente na primavera. Não houve diminuição da presença de filhotes nas áreas amostradas. O monitoramento com drones mostra a condição do ambiente e da megafauna marinha em áreas mais atingidas pela lama do Rompimento da Barragem do Fundão e reforça essa hipótese devido ao aumento gradual dos índices de avistagens ao longo dos trimestres desde o início da amostragem. Isso indica uma maior dependência da população remanescente da espécie, já altamente ameaçada, de uma pequena área dentro da região mais impactada pela lama de rejeito. A predominância do comportamento alimentar indica que a biomassa resultante da absorção de elementos derivados da lama de rejeito na cadeia alimentar está sendo incorporada na população.

A partir da bioacústica e do sobrevoo tripulado encontrou-se um grau de concordância relativamente alto ($W=0,72$; $p<0,001$), indicando possível fidelidade da população remanescente de toninha às áreas costeiras ao redor da foz do Rio Doce (Figura 35). As maiores densidades foram encontradas ao sul da foz do Rio Doce nos cinco anos de monitoramento, com a maioria das ocorrências fora das Unidades de Conservação APA Costa das Algas e REVIS de Santa Cruz. Foi estimada uma densidade para a espécie de 0,32 grupos/km², resultando em um tamanho populacional de 777 indivíduos (IC 95% 410-1.474; CV: 0,34) no litoral do Espírito Santo. Desta forma, espera-se que não mais de 388 sejam indivíduos maduros e não mais que 194 sejam fêmeas maduras. Além disso, constatou-se que a população de toninhas do Espírito Santo é a menor e a que apresenta a área de vida mais restrita entre todas as populações da espécie e há indícios de redução gradativa da área de ocupação desse restrito grupo de animais com predominância na área mais impactada pela lama de rejeito.

Figura 35: Densidade de toninhas obtida pelo monitoramento bioacústico, mostrando a concentração da população ao sul da foz do Rio Doce.



As amostras coletadas pelo ROV foram correlacionadas em formato de um mapa da densidade Kernel de registros de toninhas obtidos por bioacústica para os 4 anos de monitoramento. A espécie está associada ao fundo inconsolidado, principalmente lamoso, que ocorre ao sul da foz do Rio Doce. A análise foi complementada com dados da distribuição das fácies sedimentares na plataforma continental e a geomorfologia costeira. Um grid de 5x5 km foi estabelecido até 35 km da costa entre a APA Costa das Algas e Itaúnas, sendo que a média da densidade Kernel das ocorrências de toninha foi correlacionada com a área de cada tipo de habitat para cada célula desse grid. Para os quatro primeiros anos de monitoramento bioacústico, a ocorrência desta espécie ficou altamente correlacionada com o habitat lama terrígena, com destaque para o Ano 2 que obteve um índice de correlação de 0,44 com o fundo inconsolidado lamoso. O resultado destaca a alta fidelidade da espécie ao habitat lamoso imediatamente ao sul da foz do Rio Doce. Esta associação determina a alta vulnerabilidade da toninha às regiões com mais depósito dos rejeitos tóxicos provenientes do evento de rompimento da barragem de Fundão em Mariana.

5 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS

Todos os itens previstos foram cumpridos para o Tema.

6 REFERÊNCIAS:

BARLOW, J., OLIVER, C.W., JACKSON, T.D. & TAYLOR, B. L. Harbor porpoise, *Phocoena phocoena*, abundance estimation for California, Oregon, and Washington: II. Aerial Surveys. Fishery Bulletin: Vol. 86, No3. 1988.

BARRETO, J., CAJAÍBA, L., TEIXEIRA, J.B., NASCIMENTO, L., GIACOMO, A., BARCELOS, N., FETTERMANN, TI. & MARTINS, A.S. Drone-Monitoring: Improving the Detectability of Threatened Marine Megafauna. Drones. 5.14. 2021.

BUCKLAND, S.T., ANDERSON D.R., BURNHAM K.P., LAAKE J.L., BORCHERS D.L. & THOMAS L. Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations. Oxford University Press. 2001.

CUNHA, H.A., MEDEIROS B.V., BARBOSA L.A., CREMER M.J., MARIGO J. Population Structure of the Endangered Franciscana Dolphin (*Pontoporia blainvillei*): Reassessing Management Units. PLOS ONE 9(1): e85633. 2014.

CRÉOCÉAN. 2004. Notes pour la proposition d'un indice des paysages sous-marin du Languedoc-Roussillon. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, Montpellier.

CRESPO, E., A., PEDRAZA, S.N., GRANDI, M.F., DANS, S.L., GARAFFO, G.V. Abundance and distribution of endangered Franciscana dolphins in Argentine waters and conservation implications. *Marine Mammal Science*, 26(1): 17–35. 2009.

DENUNCIO, P., BASTIDA, R., DANILEWICZ, D., MORON, S., & HEREDI, S., RODRIGUEZ, D. Calving chronology of the Franciscana dolphin (*Pontoporia blainvillei*): birth, lactation and first predatory feeding evidences in coastal waters of Argentina. *Aquatic Mammals*. 39. 22-28. 10.1578/AM.39.1. 2013.

GIACOMO A.B., BARRETO J., TEIXEIRA J.B., OLIVEIRA L., CAJAÍBA L., JOYEUX J.C., BARCELOS N. & MARTINS A.S. Using drones and ROV to assess the vulnerability of marine megafauna to the Fundão tailings dam collapse. *Sci Total Environ*. 2021.

HILL, L. L. S. et al. The Ecosystem Integrity Index: a novel measure of terrestrial ecosystem integrity with global coverage. *bioRxiv*. 2022.

MOBERG, F.; ROONBACK, P. Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration. *Ocean & Coastal Management*, 46(1-2), 27–46. doi:10.1016/s0964-5691(02)00119-9. 2003.

OLIVEIRA-FERREIRA, N., MANHÃES, B., SANTOS-NETO, E., EMI, Y., GUARI, B., BOTTA, S., COLOSIO, A., RAMOS, H., BARBOSA, L., CUNHA, I., BISI, T., AZEVEDO, A., CUNHA, H., LAILSON-BRITO, J. Franciscana dolphins, *Pontoporia blainvillei*, as environmental sentinels of the world's largest mining disaster: Temporal trends for organohalogen compounds and their consequences for an endangered population, *Environmental Pollution*, Volume 306. 2022.

VIEIRA, F. V. et al. Along-shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns. v. 187, p. 103964–103964. 2019.