

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

A6MSbS1 – Material Suplementar 1

Anexo 6 Megafauna - Sobrevôo e Bioacústica

RT-39 RRDM/FEV 22

RA2021 PMBA/Fest-RRDM

Vitória,

Fevereiro de 2022

1 METODOLOGIA DO SUBPROJETO SOBREVOOS E BIOACÚSTICA

1.1 DRONEMONITORAMENTO E ROV

O método de dronemonitoramento da megafauna marinha foi elaborado pelos pesquisadores do Laboratório de Nectologia da Universidade Federal do Espírito Santo (LABNecton/UFES). O método é inédito e representa um importante avanço científico no tema. O padrão de voo para o dronemonitoramento de megafauna foi definido a partir de ensaios experimentais para o desenvolvimento do protocolo e do desenho amostral de melhor efetividade e detectabilidade realizados previamente a definição dos transectos. O mapeamento e descrição dos habitats utilizados pelos organismos estudados foi definido baseado em resultados de outros monitoramentos do Anexo 6 do PMBA, com os quais foram definidas as amostragens utilizando ROV.

1.1.1 Dronemonitoramento da megafauna marinha

Para implementação do método, testes de detectabilidade de fauna foram realizados pelos pesquisadores do LABNecton/UFES. O padrão de voo para o dronemonitoramento de megafauna foi definido a partir de ensaios experimentais realizados previamente a definição dos transectos, e testados em condições reais de campo com as devidas comparações na efetividade do registro da fauna alvo. A altura do voo, ângulo da câmera, posição do Drone, entre outras variáveis, são aplicadas de acordo com o resultado de testes realizados no LABNecton/UFES e estão descritas abaixo.

1.1.2 Licenças, equipe e equipamentos

Os equipamentos utilizados no DMM/PMBA foram definidos a partir da escolha do *Remotely Piloted Aircraft* (RPA), ou Drone, o qual deve ser portátil e com maior autonomia de voo possível, tanto em distância máxima de alcance, quanto em tempo de voo. O modelo *MAVIC 2 Zoom*, da fabricante chinesa *DJI*, foi considerado o mais apropriado devido a capacidade de resolução da câmera em 4K com a possibilidade de aproximação em até 4 vezes com o uso do zoom, autonomia de bateria de 30 min em condições adversas, velocidade de até 54 km/h e limite de 8 km de distância em relação ao ponto de decolagem. Para que a observação da fauna durante a atividade de campo seja mais eficiente é necessário o uso de uma Máscara de Realidade Virtual (MRV) compatível ao Drone utilizado.

O binóculo é outro equipamento fundamental para o sucesso da operação, o qual é utilizado para observar o Drone enquanto está em voo. O alcance do binóculo é o que determina o limite do voo do Drone, já que a licença emitida pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) fundamentada na regulação da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) para a operação do Drone na modalidade *Extended Visual Line-Of-Sight* (EVLOS) está diretamente associada à distância de visualização do equipamento não tripulado, em uma operação em Condições Meteorológicas Visuais (VMC).

Nesta operação, o Piloto Remoto, sem auxílio de lentes ou outros equipamentos, não é capaz de manter o contato visual direto com a aeronave remotamente pilotada, necessitando dessa forma do auxílio de Observadores de RPA para conduzir o voo com as responsabilidades de manter as

separações previstas com outras aeronaves, bem como de evitar colisões com aeronaves e obstáculos, seguindo as mesmas regras de uma operação com *Visual Line-Of-Sight* (VLOS), segundo o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC – E N94 da Agência Nacional de Viação Civil (ANAC, 2017). Com um binóculo 25-125X80, é possível a visualização do Drone com segurança até 3 km de distância do ponto de decolagem.

Para cada operação do Drone deverá ser obtido uma autorização do Departamento de Controle do Espaço Aéreo de acordo com instruções contidas na Circular de Informações Aeronáuticas (AIC-N21/10) de 23 de setembro de 2010. A equipe que pilotar os RPAs deverá estar previamente registrada na ANAC. O Responsável Geral deverá aprovar a operação proposta, e toda a equipe de campo tomará conhecimento do planejamento. A equipe mínima necessária é composta por pesquisadores com as seguintes funções: Piloto Remoto, Copiloto, Observador de Drone, Observador de Fauna, Operador Logístico (Tabela 1). A inspeção dos equipamentos de voo deverá ser realizada antes de cada decolagem, conforme item denominado *checklist pré-voo* e *checklist pós-voo* da Ficha de Campo, apresentada na

Figura 1.

Tabela 1: Descrição da infraestrutura, licenças e equipe necessária durante operação do dronemonitoramento da megafauna marinha

Descritivo operacional para o dronemonitoramento da megafauna marinha	
Equipamentos	3 RPA Mavic 2 Zoom, 2 MRV DJI Goggles Racing Edition, 2 Binóculos Luga Astronomical Gladiator Triplet 25-125X80, 3 Tablet iPad mini, 10 Cartões de Memória 128GB, 10 Baterias RPA, 1 Computador iMac Pro 27``, 2 MacBook Pro, 1 Kit Filtro de lente PL/ND, 1 Estação Metereológica, 10 HD Backup Plus Hub Seagate 8TB.
Softwares	LITHCI, DJI GO, Abetter Finder Rename 10, iMovie 10.1.12, R Statistic.
Infraestrutura	Barracas, tripés, cadeiras, mesas.
Equipe	Piloto Remoto, Copiloto, Observador de Drone, Observador de Fauna, Operador Logístico.
Licenças	DECEA, ANAC, ANATEL, SISBIO.

Figura 1: Modelo de ficha de coleta de dados e checklist de voo para o dronemonitoramento de megafauna marinha

MONITORAMENTO DA MEGAFAUNA - FICHA DE CAMPO	
INFORMAÇÕES INICIAIS	
Data:	HORA INÍCIO
Local:	HORA FINAL
Transecto:	Nº DRONE
PILOTOS EM OPERAÇÃO	
PILOTO(A)	Nº BATERIA
OBSERVADOR(A) DO DRONE	Nº CARTÃO
ANOTADOR(A) DE REGISTROS	Nº DA MÁSCARA
OBSERVADOR(A) DE FAUNA	ALTITUDE DE VOO (m)
OPERADOR(A) LOGÍSTICO	VELOCIDADE DE VOO (km/h)
	BEAUFORT (0, 1, 2, 3, 4)
ID_VOO	DATA (ano mês dia)
	TEMPERATURA DO AR (°C)
	VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO (km/h)
	VELOCIDADE RAJADA MÁX. DO VENTO (km/h)
	DIREÇÃO DO VENTO (QUADRANTE)
	VOO (sequencial anual)
	NEBULOSIDADE (0%, 25%, 50%, 75%, 100%)
	MARÉ (ALTA, BAIXA, SUBINDO, BAIXANDO)
	LUA (NOVA, CRESCENTE, CHEIA, MINGUANTE)
	RÉPLICA (sequencial diário)
TURBIDEZ DA ÁGUA (CLARA, MÉDIA, ESCURA)	
INCIDÊNCIA DE PLUMA (SIM, NÃO)	
OBSERVAÇÕES MEGAFAUNA 1	
CHECKLIST PRÉ-VOO	
Relógios sincronizados?	TÁXON (Nº IND.): AVE() TARTARUGA() MAMÍFERO() INDETERMINADO()
Espaço aéreo livre de possíveis obstruções?	ESPÉCIE
Rajadas inferiores a 26 km/h?	HORA
Sem chuva? Sem queimadas?	COMPORTAMENTO: DESLOCAMENTO () ALIMENTAÇÃO () INTERAÇÃO ()
Celulares em modo avião?	OBSERVAÇÕES MEGAFAUNA 2
Voo de verificação em altitude máx de 10 pés?	TÁXON (Nº IND.): AVE() TARTARUGA() MAMÍFERO() INDETERMINADO()
Filtro ND / PL instalado?	ESPÉCIE
Chave de modo de controle em Position?	HORA
Trava da câmera removida?	COMPORTAMENTO: DESLOCAMENTO () ALIMENTAÇÃO () INTERAÇÃO ()
DJI GO aberto e com dados de telemetria?	OBSERVAÇÕES MEGAFAUNA 3
Gimbal funcionando em todas as direções?	TÁXON (Nº IND.): AVE() TARTARUGA() MAMÍFERO() INDETERMINADO()
Bússola calibrada?	ESPÉCIE
IMU e sensores calibrados?	HORA
Bateria do RPA superior a 90%?	COMPORTAMENTO: DESLOCAMENTO () ALIMENTAÇÃO () INTERAÇÃO ()
GNSS fixado ponto para <i>return to home</i> ?	OBSERVAÇÕES MEGAFAUNA 4
Bateria do controle acima de 40%?	TÁXON (Nº IND.): AVE() TARTARUGA() MAMÍFERO() INDETERMINADO()
Bateria do tablet Acima de 30%?	ESPÉCIE
Bateria da máscara acima de 30%?	HORA
Cartão com memória suficiente?	COMPORTAMENTO: DESLOCAMENTO () ALIMENTAÇÃO () INTERAÇÃO ()
Altitude de retorno 10m abaixo do plano de voo?	OBSERVAÇÕES MEGAFAUNA 5
Luzes indicativas piscando verde?	TÁXON (Nº IND.): AVE() TARTARUGA() MAMÍFERO() INDETERMINADO()
O <i>home point</i> fixado?	ESPÉCIE
Planejamento de Voo ativo no <i>Liht</i> ?	HORA
Altitude de Voo de 50m?	COMPORTAMENTO: DESLOCAMENTO () ALIMENTAÇÃO () INTERAÇÃO ()
Observador de Fauna pronto?	OBSERVAÇÕES MEGAFAUNA 6
Câmera gravando em 4K 30fps?	TÁXON (Nº IND.): AVE() TARTARUGA() MAMÍFERO() INDETERMINADO()
Goggles transmitindo com 1080p30?	ESPÉCIE
Gravando legenda?	HORA
Observador de Drone pronto?	COMPORTAMENTO: DESLOCAMENTO () ALIMENTAÇÃO () INTERAÇÃO ()
Motores iniciados e funcionando sem ruído?	OBSERVAÇÕES MEGAFAUNA 7
Decolagem com raio 5m livre?	TÁXON (Nº IND.): AVE() TARTARUGA() MAMÍFERO() INDETERMINADO()
Parada de 150 metros para o binóculo.	ESPÉCIE
Ângulo da câmera em -27°?	HORA
Gravando com Foco?	COMPORTAMENTO: DESLOCAMENTO () ALIMENTAÇÃO () INTERAÇÃO ()
OBSERVAÇÕES MEGAFAUNA 8	
CHECKLIST PÓS-VOO	
Baterias do RC, RPA e display desligado?	TÁXON (Nº IND.): AVE() TARTARUGA() MAMÍFERO() INDETERMINADO()
Trava do Gimbal instalada?	ESPÉCIE
Cartão de Memória retirado?	HORA
COMPORTAMENTO: DESLOCAMENTO () ALIMENTAÇÃO () INTERAÇÃO ()	
OBSERVAÇÕES EXTRAS	

1.1.3 Área de estudo e coleta de dados

O início do transecto é realizado em ponto fixo. Os pontos de decolagem estão 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 (Tabela 2, Figura 2). O desenho amostral do dronemonitoramento (Figura 3) representa a área que abrange o raio de 3 km a partir dos pontos apresentados na Tabela 3. 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, são realizados dois (02) transectos dentro da área de amostragem. Cada um dos transectos percorre 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 é realizado com as mesmas características de amostragem dos outros pontos.

Os transectos foram desenhados de forma a obter-se a maior área varrida, como menor sobreposição. No caso dos pontos de Linhares, uma réplica é considerada completa quando os dois (02) transectos – denominados Norte e Sul – forem finalizados (Figura 4). Em Aracruz, o transecto é chamado de Único. Em ambos os pontos de amostragem, o transecto deve ser concluído em um único voo. Cada voo realizado durante transecto tem duração de até 16 min, quando um grupo de cetáceo for avistado a observação pode durar até 4 min, totalizando o tempo máximo de 20 min 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 50m 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, tem-se o padrão de voo ideal para o monitoramento de megafauna marinha em ambiente natural.

As campanhas são realizadas mensalmente, em uma janela de oito (08) dias, com até seis (06) dias efetivos de amostragem. O esforço de coleta é realizado em somente um ponto de decolagem em cada dia. Cada área amostrada terá 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 são 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 deverá ocorrer, ou será interrompido, quando a Escala Beaufort for igual ou superior a quatro (04), ou o vento na superfície for acima de 26 km/h.

Figura 2: Equipe em atividade de campo, realizando o dronemonitoramento da megafauna marinha (Foto: Acervo LABNecton/UFES)



Figura 3: Desenho amostral do dronemonitoramento da megafauna marinha

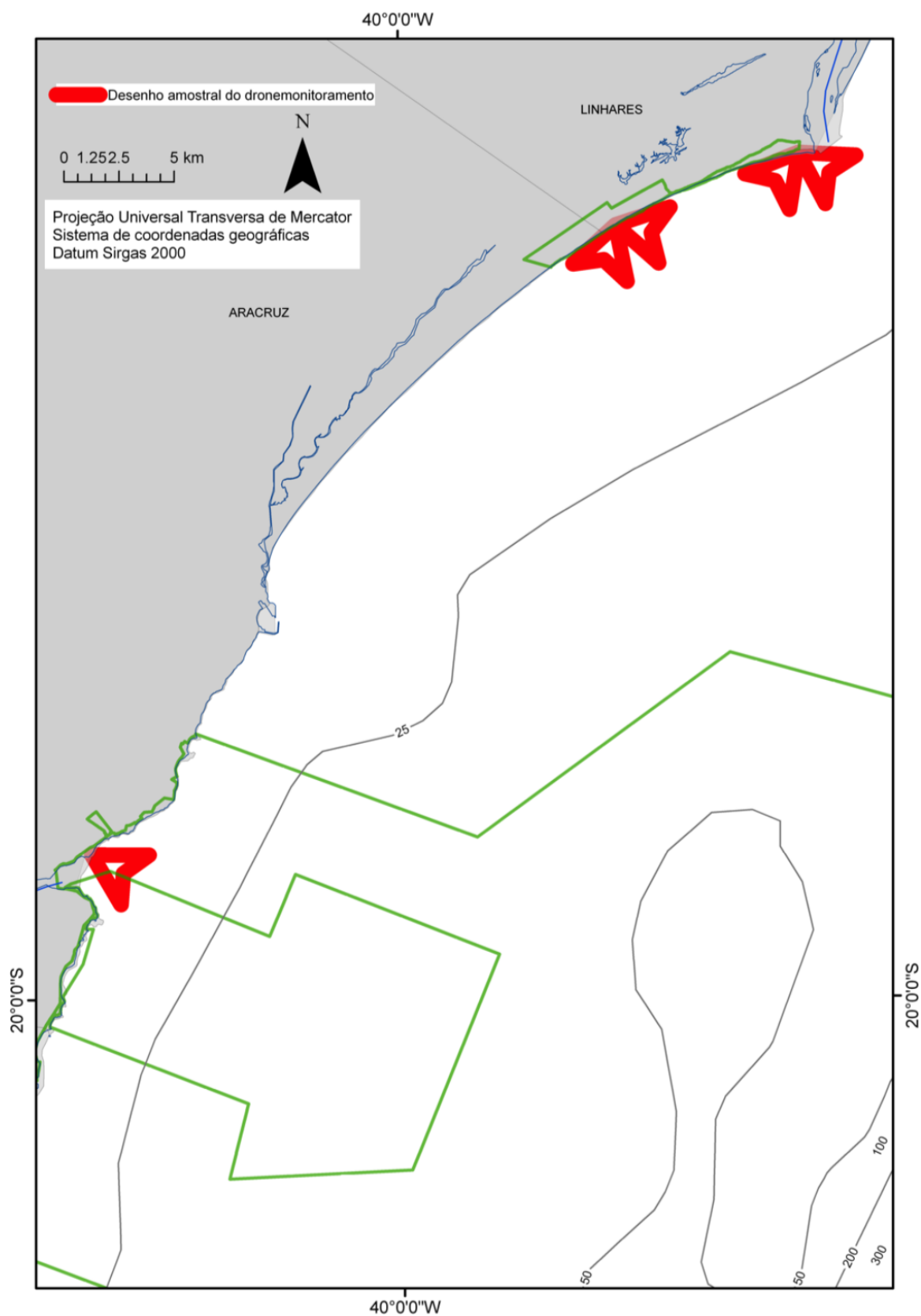


Figura 4: Exemplo de transecto, no modelo Norte-Sul, utilizado para o dronemonitoramento da megafauna marinha

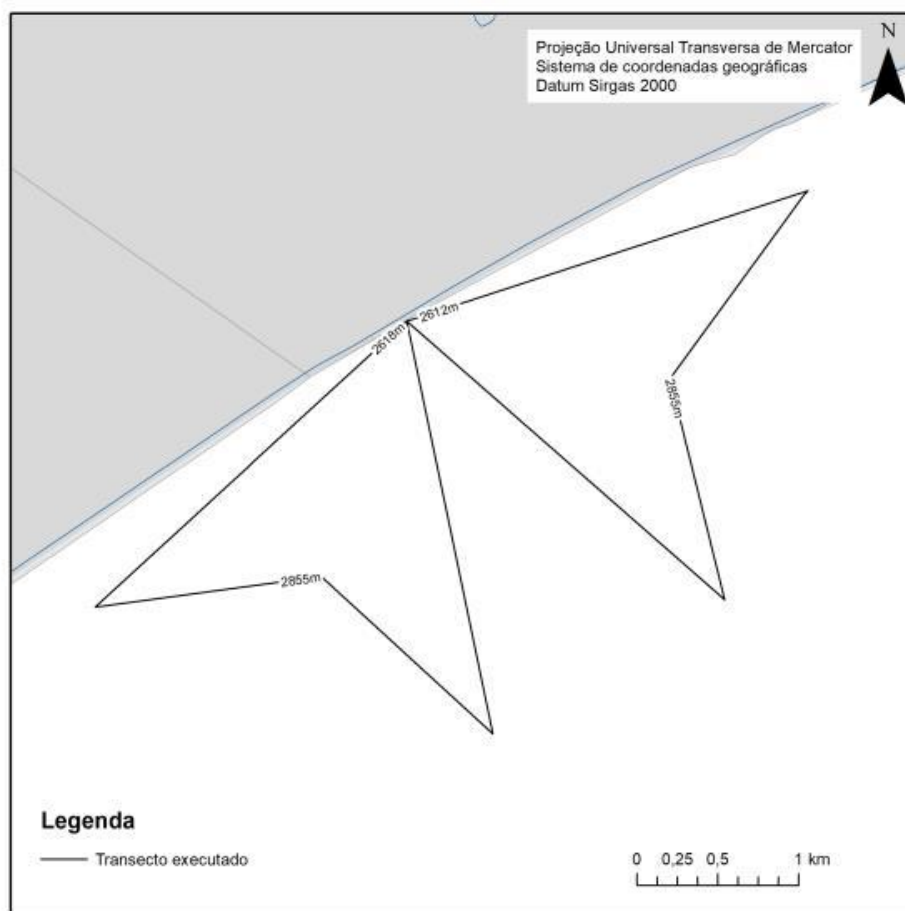


Tabela 2: Descrição das estações amostrais do dronemonitoramento da megafauna marinha

Nome da estação amostral	Código da estação	UTM_Y	UTM_X	Descrição	Decolagem	Área de varredura de vídeo
Doce	01	7826436,443	414092,5491	Área com raio de 3km da Foz do Rio Doce	Em frente à Vila de Regência	8 km²
Comboios	02	7823240,301	405046,1961	Área com raio de 3km da praia da REBIO de Comboios	Km 26 da Praia de Comboios	8 km²
Piraque	03	7794646,911	381053,9376	Área com raio de 3km da Foz do Rio Piraquê-Açu, que alcança a REVIS de Santa Cruz e APA Costa das Algas	Praia de Coqueiral	4 km²

1.1.4 Edição e análise dos vídeos

Cada transecto realizado representa uma amostra, a qual deverá ser 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), será 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, será realizada uma edição do vídeo, com um recorte somente do momento da observação. Para cada vídeo serão 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 serão analisados sempre pelo mesmo pesquisador, previamente capacitado. Os registros de megafauna serão todos validados por outro pesquisador especialista. Será utilizada uma (01) Ficha de Análise de Vídeos para o registro (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) de cada grupo analisado, a qual deverá ter o tempo (em minutos e segundos) de início e o final da avistagem. Caso outro grupo seja observado durante o mesmo transecto, deverá ser registrado em outra ficha. Além do tempo de início e do final da avistagem deverá ser registrada também a posição geográfica de início e final da observação. É considerado “grupo” qualquer observação a partir de um (01) indivíduo.

Para o grupo dos Cetáceos, serão identificadas as espécies e o número de animais encontrados em cada observação diferenciando em adultos, juvenis e filhotes. O comportamento (Deslocamento, Alimentação e Interação) deverá ser registrado sempre que possível. Para o grupo das Tartarugas Marinhas, a espécie e a classe etária também podem ser registradas com precisão, entretanto, o comportamento desses indivíduos durante o dronemonitoramento nem sempre há clareza. Já para as Aves Marinhas, grande parte dos registros será realizada somente até o nível de Família, devido à dificuldade de identificação das espécies durante o voo. Da mesma forma, o comportamento e a classe etária das aves, somente será coletada quando o tempo de observação dos espécimes for suficiente para a certeza do comportamento aplicado no momento do registro.

Figura 5: Modelo de ficha de análise de vídeos do dronemonitoramento da megafauna marinha

MONITORAMENTO DA MEGAFUNA - FICHA DE ANÁLISE DE VÍDEOS
ID_VOO:
DATA DA ANÁLISE DO VÍDEO:
NOME DO OBSERVADOR DO VÍDEO:
TÁXON (NÚMERO DE INDIVÍDUOS): AVE () QUELÔNIO () MAMÍFERO () INDETERMINADO ()
ESPÉCIE / GÊNERO / FAMÍLIA:
REGISTRO EM CAMPO: SIM () NÃO ()
HORÁRIO REAL:
TEMPO DO VÍDEO (início e final):
LATITUDE:
LONGITUDE:
INCIDÊNCIA DE PLUMA: SIM () NÃO ()
COMPORTAMENTO: DESLOCAMENTO () ALIMENTAÇÃO () INTERAÇÃO () INDETERMINADO ()
TAMANHO DOS INDIVÍDUOS:
OBSERVAÇÕES:

1.1.5 Banco de dados e análise de dados

Após análise integrada dos vídeos, as informações serão inseridas no banco de dados em Excel, separados em Parâmetros de Voo (no qual estarão os dados referentes aos transectos, como operação dos voos e condições meteorológicas), e Observação de Megafauna (no qual estarão os dados referentes aos animais registrados em campo ou em laboratório, bem como seus comportamentos, composição social e local do registro).

Todas as análises foram realizadas no pacote estatístico R Project (R Development Core Team, 2008) e representadas em boxplot, gráficos percentuais ou pontos de médias com erro padrão associados. O teste estatístico aplicado foi o Mann-Whitney, não paramétrico para duas amostras independentes ao nível de 0,05 de significância (Zar, 1984).

1.1.6 ROV- mapeamento de habitats

O desenho amostral para vídeo amostragem com ROV (*Remotely Operated Underwater Vehicle*) baseou-se nos dados obtidos pelos outros monitoramentos do Anexo 6 do PMBA, executado pela RRDM. A partir das informações parciais destes subprojetos, foram escolhidos pontos representativos das áreas de agregação da megafauna marinha na área de amostragem, entre os municípios de Aracruz e Conceição da Barra no norte do Espírito Santo.

1.1.7 Equipe e equipamentos

Os equipamentos utilizados foram definidos a partir da escolha do ROV, o qual deveria ser portátil, estável e altamente manobrável. O modelo *BlueROV2*, da fabricante *Blue Robotics*, foi considerado o mais apropriado devido a capacidade para operações em águas rasas a moderadas, com uma classificação de profundidade padrão de 100m e comprimentos de corda de até 300m disponíveis, com filmagem em Full HD. Os equipamentos, equipe e infraestrutura necessários estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Descrição de equipamentos e equipe necessária durante operação do ROV

Descritivo operacional para o monitoramento de habitats com ROV	
Equipamentos	2 <i>BlueROV2</i> , 4 Baterias, 1 Computador iMac Pro 27``, 1 MacBook Pro, 10 HD Backup Plus Hub Seagate 8TB.
Infraestrutura	Barco com casaria fechada, mesa para operação, e popa ampla e segura para operação dos equipamentos; EPI.
Equipe	Operador do ROV, Operador de Cabo, Anotador, Operador Logístico.

1.1.8 Área de estudo e coleta de dados

A partir dos dados obtidos pelos monitoramentos por sobrevoos tripulados, dronemonitoramento e monitoramentos embarcados de megafauna, foram definidos pontos representativos das áreas de agregação da megafauna na região marinha situada entre os municípios de Aracruz e Conceição da Barra, no norte do Espírito Santo. Desta forma, foram programadas campanhas de amostragem que abrangem o máximo de pontos na região de estudo de acordo com o tempo disponível.

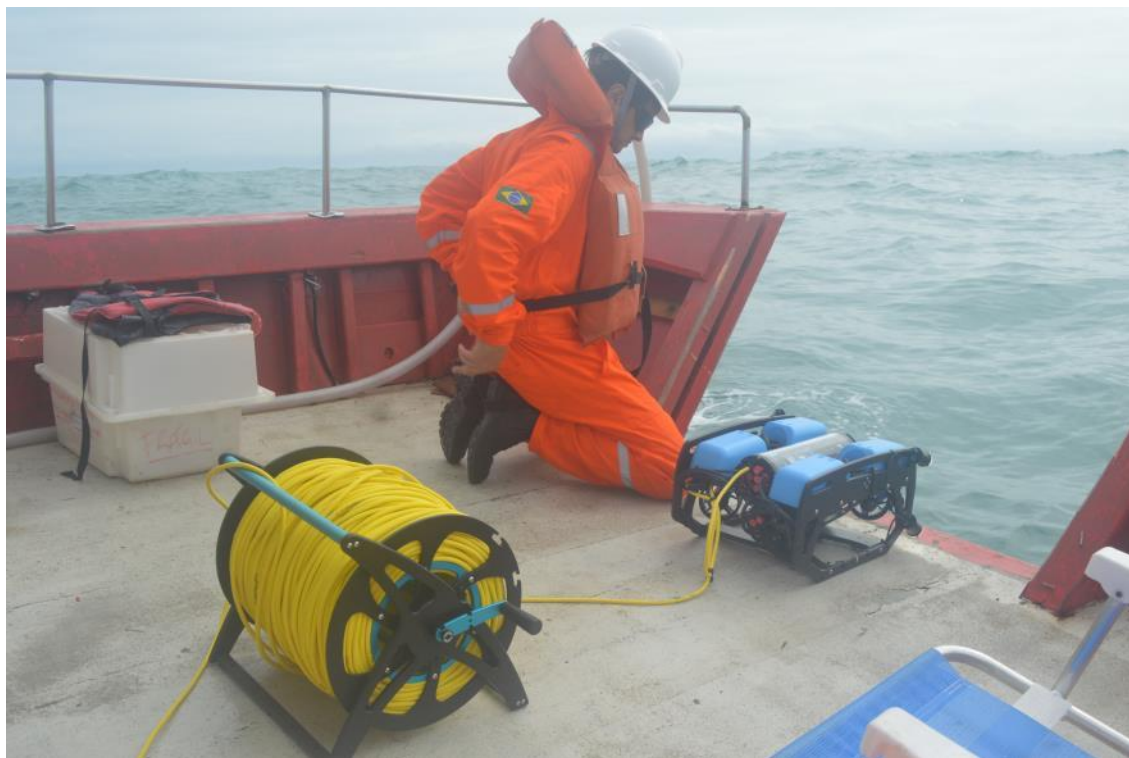
Nesta operação, é realizado um transecto de 100m de comprimento, navegando linearmente. A distância é calculada a partir do momento que o equipamento toca o fundo, utilizando as marcações de metragem que contém no cabo umbilical do ROV. O equipamento é pilotado com um controle remoto conectado a um computador, onde o Operador do ROV visualiza o que está a frente do equipamento durante o deslocamento no transecto, enquanto fala sobre os eventos para que o Anotador, utilizando a hora do evento para ser localizado o ponto exato de cada mudança de ambiente ou registro de fauna e flora.

Com um esforço amostral controlado, são realizadas as filmagens em 4K. O controle de esforço é mais efetivo com o uso de um GPS subaquático, acoplado ao ROV, que nos permite controlar exatamente a distância percorrida. Outras informações do transecto como, profundidade, visibilidade e corrente são coletadas (Figura 6). O Operador Logístico, que auxilia no desenvolvimento de toda operação, fica também atento ao Operador de Cabo e todos os pesquisadores para garantir a segurança da equipe (Figura 7).

Figura 6: Modelo de ficha de coleta de dados e checklist para operação de mergulho do ROV

MONITORAMENTO DO ROV - FICHA DE CAMPO			
DATA:	H. INÍCIO:	H. FINAL:	Local:
OPERADOR ROV:	OPERADOR AUX.:	ANOTADOR:	
BATERIA:	ÂNGULO:	COORDENADAS:	
BEAUFORT:	TIPO DE FUNDO PREDOMINANTE:		
PROFUNDIDADE:	TEMPERATURA DA ÁGUA:	Corrente:	
N. DIVE DO DIA:	TAMANHO DO TRANSECTO:	Visibilidade:	
HORA	EVENTO		
OBS.:			

Figura 7: Equipe em atividade de campo, realizando o ROV mapeamento de habitats (Foto: Acervo LABNecton/UFES)



1.1.9 Edição e análise dos vídeos

Cada mergulho realizado representa uma amostra, a qual deverá ser analisada em laboratório. Durante a análise dos vídeos, o tempo de vídeo será registrado com o objetivo de obter o esforço amostral. Após a detecção do tempo (minutos e segundos) de vídeo com registro de fauna/ habitat, é feita uma edição do vídeo, com um recorte somente do momento da observação.

Os vídeos registrados durante o monitoramento serão analisados sempre pelo mesmo pesquisador, previamente capacitado. Será utilizada uma (01) Ficha de Análise de Vídeos para o registro das características ambientais, bem como, o número de indivíduos, a taxonomia e observações relevantes observadas (Figura 8).

A identificação dos tipos de habitats é feita a partir do substrato predominante ou dos organismos predominantes, com o objetivo de identificar e descrever os tipos de fundo nas regiões com registros de comportamento alimentar da megafauna, ou demais áreas de agregação. Os substratos são classificados em sete (07) morfotipos: areia; areia e lama; areia com fragmentos de conchas calcárias; estruturas recifais; briozoários/esponjas e algas; lama; e rodolitos.

Figura 8: Modelo de ficha de análise de vídeos do ROV mapeamento de habitats

MONITORAMENTO DO ROV - FICHA DE ANÁLISE DOS VÍDEOS			
ID_VÍDEO:			OBSERVADOR DO VÍDEO:
TEMPO DO VÍDEO:		TAXONOMIA:	
N.INDIVÍDUOS:		OBSERVAÇÃO:	
ID_VÍDEO:			OBSERVADOR DO VÍDEO:
TEMPO DO VÍDEO:		TAXONOMIA:	
N.INDIVÍDUOS:		OBSERVAÇÃO:	
ID_VÍDEO:			OBSERVADOR DO VÍDEO:
TEMPO DO VÍDEO:		TAXONOMIA:	
N.INDIVÍDUOS:		OBSERVAÇÃO:	

1.1.10 Banco de dados e análise de dados

Após análise dos vídeos coletados com o ROV, na qual é registrada a situação do ambiente encontrado e os organismos possíveis de serem identificados, são realizados agrupamentos para identificação de classes de habitats bentônicos. A estrutura taxonômica de peixes e bentos são registradas no banco de dados, conforme os habitats correspondentes.

Com informações previamente obtidas com instrumentos geofísicos, são extrapoladas as classes de habitats que foram encontradas, respeitando os limites dos tipos de fundo conhecidos. Desta forma, são realizadas a correlação espacial entre as classes de habitats e a ocorrência e o comportamento de cada espécie de megafauna marinha.

1.1.11 Comunicação

Os contatos dos pesquisadores do LABNecton/UFES (PMBA/RRDM), são:

- Dr Agnaldo Silva Martins (27) 9 8808 2207 - agnaldo.ufes@gmail.com
- Dr. João Batista Teixeira (27) 9 9239 5693 – jboceano@gmail.com
- Me. Amanda Di Giacomo (27) 9 9792 3547 – amandagiacom@gmail.com
- Me. Jonathas Barreto (51) 9 9342 3461 – barreto.jonathas@gmail.com
- Biólogo Nelson Barcelos (27) 9 9869 7145 – nelsonbarcelos@gmail.com
- Geógrafo Luciano Cajaíba (27) 9 8136 8883 – cajaiba@gmail.com
- Oceanógrafa Lorena Oliveira do Nascimento (27) 9 9906 2303 – lorena.lon@hotmail.com

1.2 SOBREVOOS TRIPULADOS

O delineamento amostral é parte importante do planejamento e monitoramento da megafauna marinha e, assim, o delineamento utilizado seguiu o padrão estabelecido em trabalhos anteriores da equipe proponente (Danilewicz et al. 2010; Danilewicz et al. 2012; Sucunza et al. 2019). O desenho amostral das campanhas do período chuvoso teve o esforço concentrado em áreas próximas à costa, enquanto nas campanhas do período seco, além do esforço costeiro, uma parte do esforço foi direcionado a região *offshore* (i.e., profundidades maiores de 30m). A malha amostral foi desenhada para cobrir de forma homogênea e aleatória toda a área de interesse, evitando, assim, vieses de interpretação ocasionados por esforço de coleta heterogêneos entre áreas. A seguir apresentamos detalhes da área de estudo e desenho amostral de cada campanha.

Durante a campanha do período chuvoso de 2019, foram sobrevoadas 72 linhas perpendiculares à costa cobrindo toda a área de estudo. Posteriormente, com o objetivo de avaliar a área de maior concentração de toninhas (sul do Rio Doce), foram sobrevoadas mais 16 linhas perpendiculares à costa e intercaladas às linhas iniciais (*Figura 9A*).

Na campanha do período seco de 2019, os sobrevoos foram realizados tendo a isóbata de 500m como limite *offshore*. Foram sobrevoadas 153 linhas perpendiculares à costa cobrindo toda a área de estudo.

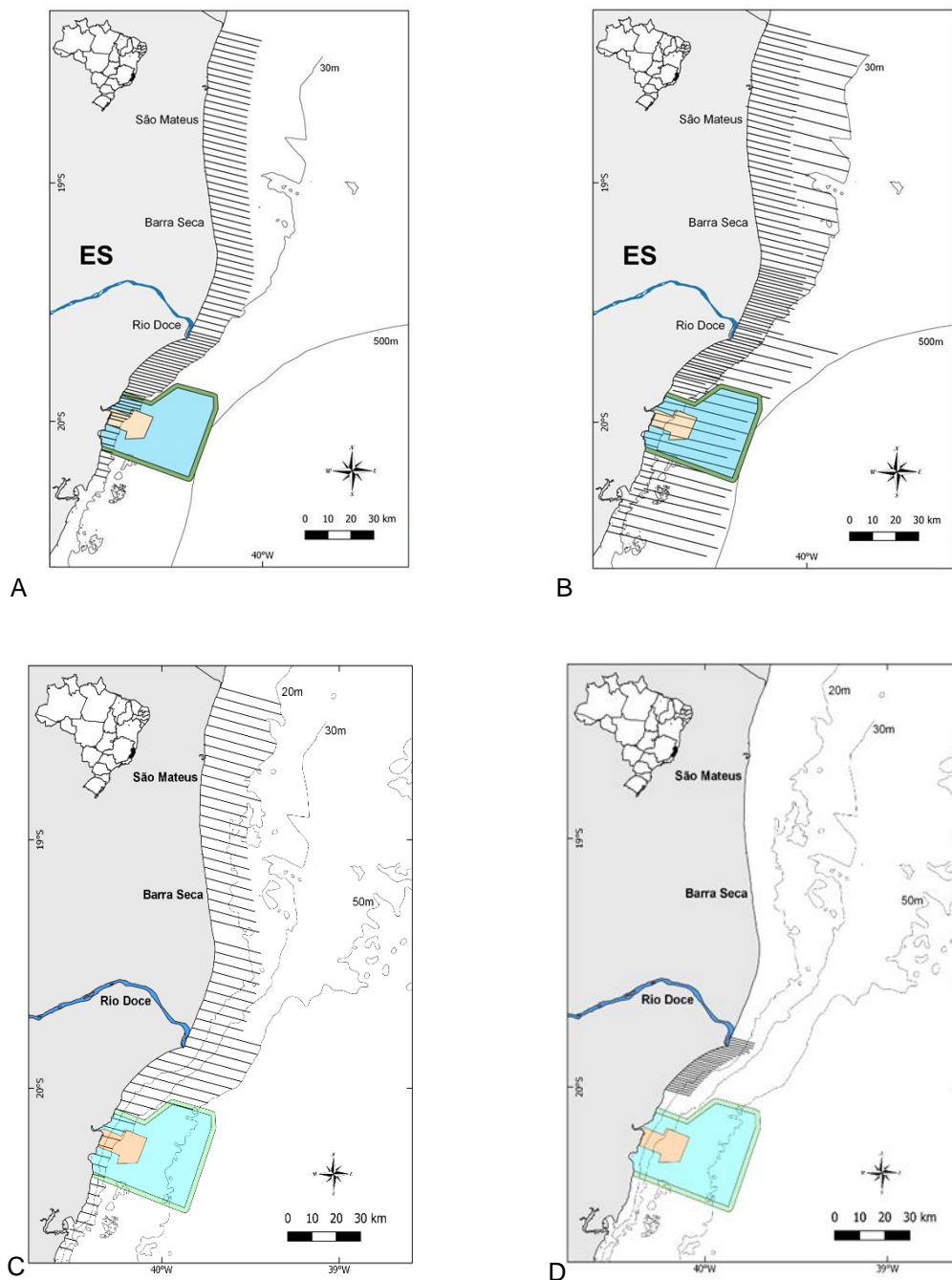
Destas, 125 linhas partiam da costa até a isóbata de 30m e 28 linhas da isóbata de 30m até a isóbata de 500m (*Figura 9B*).

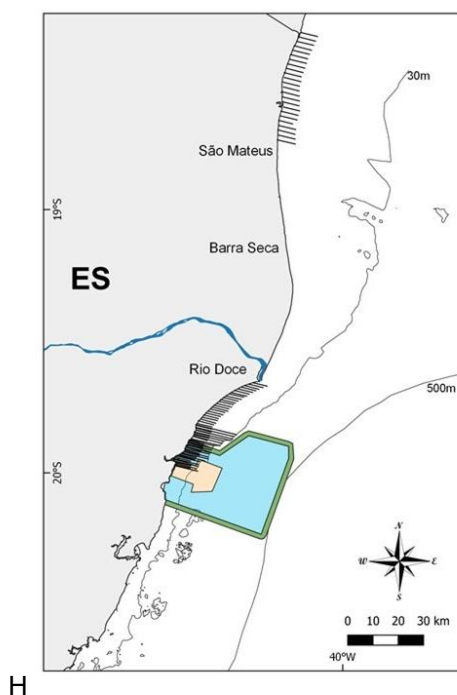
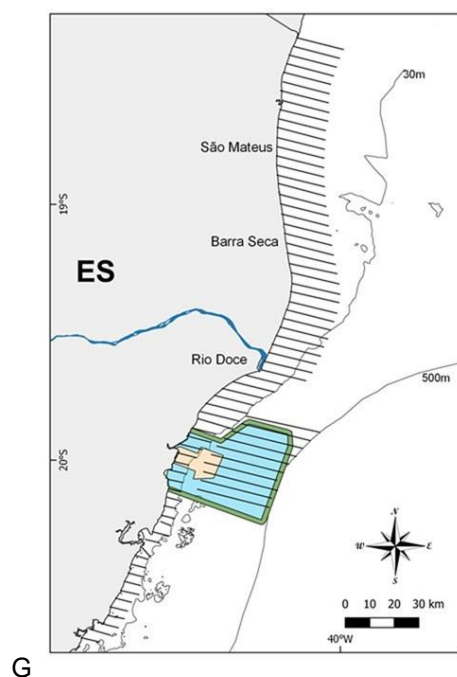
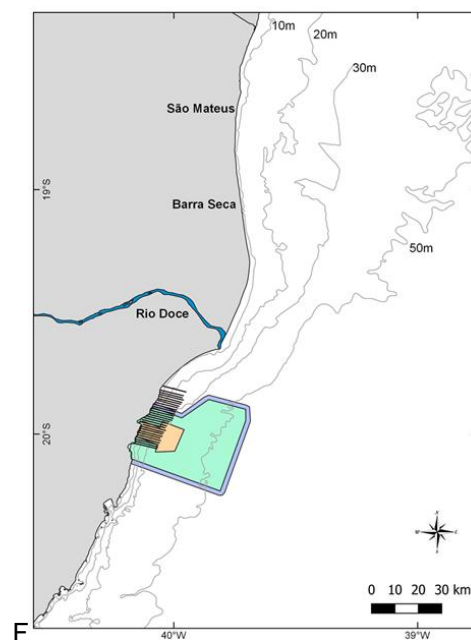
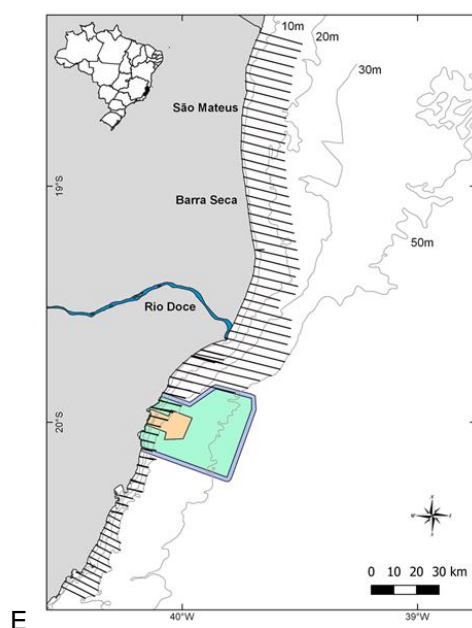
Ao longo da campanha do período chuvoso de 2020, foram sobrevoadas 60 linhas espaçadas 4km entre si e limitadas pela isóbata de 20 metros, cobrindo toda a área de estudo, resultando, desta forma, em linhas com diferentes comprimentos (*Figura 9C*). Posteriormente, com o objetivo de avaliar a área de maior concentração de toninhas (sul do Rio Doce), a malha de linhas do primeiro desenho amostral foi deslocada 1km para o norte e foram desenhadas 28 linhas, com 10km de comprimento e espaçamento de 1km (*Figura 9D*).

Durante a campanha do período chuvoso de 2021, foram sobrevoadas 87 linhas com espaçamento de 4km e limitadas, em sua maioria, pela isóbata de 30 metros, resultando em linhas com diferentes comprimentos (*Figura 9E*). No segundo desenho, optamos por realizar uma amostragem com enfoque ao sul das áreas de maior concentração da toninha. Assim, foi desenhada uma nova malha com 28 linhas, com comprimento máximo de 10km e espaçamento de 1km (*Figura 9F*).

Na campanha do período seco de 2021, foram realizados dois desenhos distintos. O primeiro desenho amostral, cobrindo toda a área de estudo, foi composto por 80 linhas com espaçamento de 4km e limitadas, em sua maioria, pela isóbata de 30 metros (*Figura 9G*). No segundo desenho, o objetivo foi avaliar de forma refinada os limites sul e norte da população da toninha. Assim, sobrevoamos uma nova malha com 90 linhas com comprimento máximo de 17km e espaçamento de 1km ao sul, e 24 linhas com comprimento de 7km e espaçamento de 2km ao norte (*Figura 9H*).

Figura 9: Área de estudo e desenhos amostrais realizados no âmbito do subprojeto “Monitoramento de cetáceos a partir de técnicas de sobrevoos”, durante os 3 anos de monitoramento do PMBA/Fest-RRDM: A) campanha do período chuvoso de 2019; B) campanha do período seco de 2019; C e D) campanha do período chuvoso de 2020; E e F) campanha do período chuvoso de 2021; G e H) campanha do período seco de 2021. Em destaque a APA Costa das Algas e o REVIS Santa Cruz.





Durante os sobrevoos cada observador trabalhou de forma independente, não havendo comunicação visual ou acústica entre eles. Dois pesquisadores tinham sua posição de observação nas janelas bolhas (dianteiras) e dois nas janelas planas (traseiras). Os dados de avistagem, início e final de linha e qualquer informação adicional, foram registrados em um gravador digital Panasonic RR-US 300 individual com horário sincronizado com o GPS para posterior georreferenciamento. Para cada grupo detectado, foi tomado o ângulo de declinação entre o horizonte e o grupo utilizando um inclinômetro

Suunto-PM5. Adicionalmente, sempre que possível, foram realizados registros fotográficos utilizando máquina fotográfica Canon 6D Mark II com lente Canon 70-200L, os grupos escolhidos para fotos foram circulados por 5-15 minutos (*Figura 10*). Os seguintes dados abióticos foram tomados a cada início e final de linha, e sempre que uma mudança ambiental ocorria: transparência da água (clara ou turva), cor da água (marrom, verde ou azul), reflexo (ausente, fraco, moderado ou forte), condição do mar de acordo com a escala *Beaufort* e visibilidade (ruim, moderada, boa ou ótima).

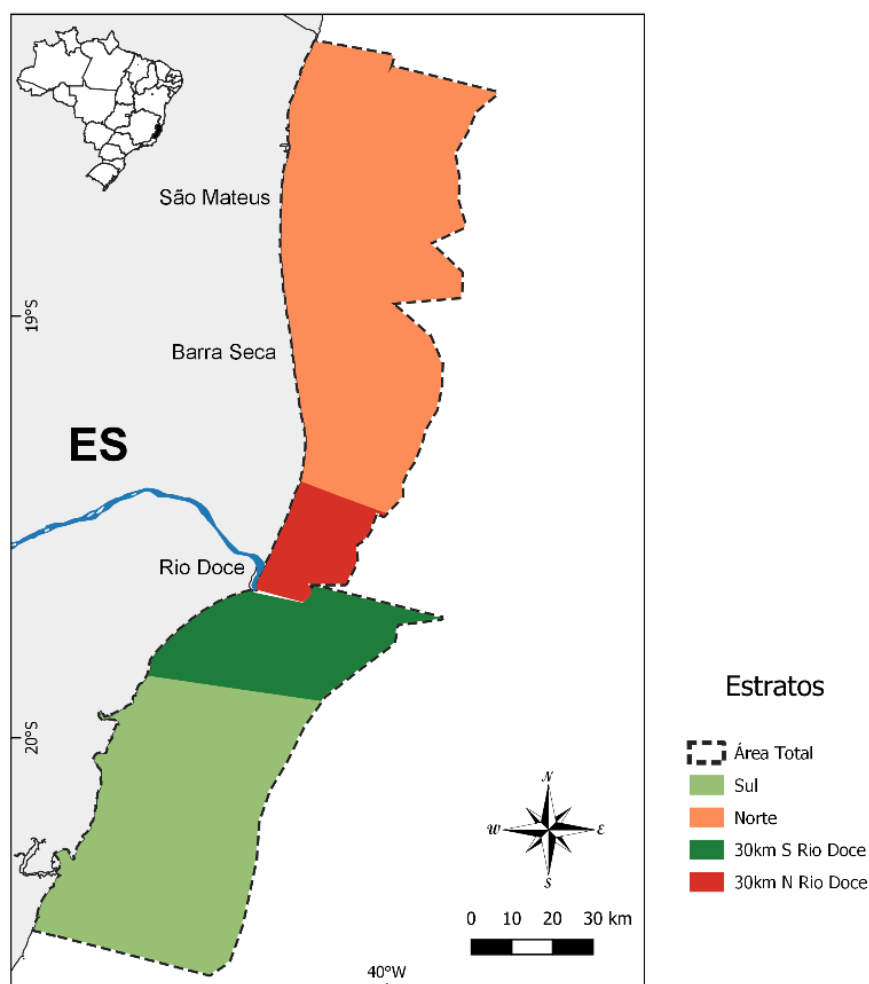
Figura 10: Pesquisadores do Grupo de Estudos de Mamíferos Aquáticos do Rio Grande do Sul trabalhando durante campanha de sobrevoio no âmbito do subprojeto “Monitoramento de cetáceos a partir de técnicas de sobrevoos”: A) observador registrando dados em esforço de observação; B) observador trabalhando na janela bolha; C) imagem interna de um observador em esforço de observação; D) observador realizando registro fotográfico durante sobrevoio.



A partir dos dados georreferenciados das avistagens foram gerados mapas de distribuição para cada espécie utilizando o software livre QGIS (versão 3.4.11). As taxas de encontro (TE) foram calculadas como quociente do número de grupos avistados pela distância sobrevoada em esforço de observação (i.e., grupos/km). A TE foi calculada para os seguintes estratos: 1) toda a área de estudo, 2) toda a área

ao norte do Rio Doce, 3) toda a área ao sul do Rio Doce, 4) uma área de 30km ao norte do Rio Doce e 5) uma área de 30km ao sul do Rio Doce. Os estratos 4 e 5 foram considerados como áreas de influência direta do Rio Doce (*Figura 11*). A abundância de toninhas, baleias jubarte e outros pequenos cetáceos foi estimada através de métodos de amostragem de distâncias (*distance sampling*) (Buckland et al. 2001). Todas as análises foram realizadas utilizando uma série de funções customizadas no programa R (versão 3.5.1) com o pacote “mrds” (Laake et al. 2018). Os gráficos das taxas de encontro e distância da costa foram elaborados utilizando o pacote “ggplot2” (Wickham 2016). As TE foram adotadas como medida para comparar as variações temporal (período chuvoso e seco de cada ano) e espacial (entre estratos) nos padrões de distribuição dos grupos registrados.

Figura 11: Mapa esquemático indicando os cinco estratos em que a área de estudo foi dividida para o cálculo da Taxa de Encontro e posterior comparação das variações temporal e espacial nos padrões de distribuição dos grupos registrados, durante os 3 anos de monitoramento do PMBA/Fest-RRDM no âmbito do subprojeto “Monitoramento de cetáceos a partir de técnicas de sobrevoos”.



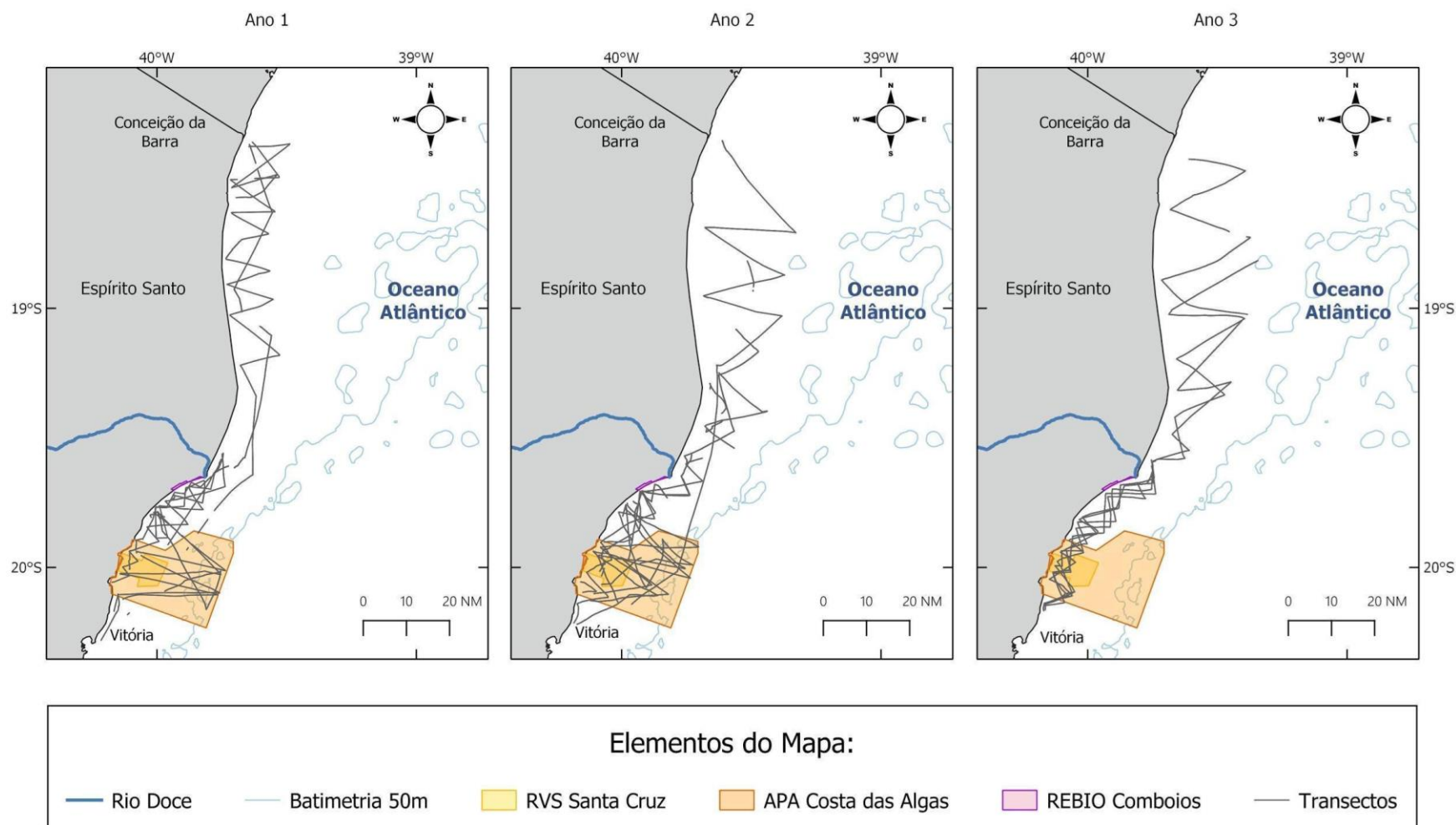
1.3 BIOACÚSTICA

1.4 MÉTODOS DE CAMPO

1.4.1 Área de estudo

As três etapas de campo do Anexo 6 – Projeto Megafauna/Bioacústica (Ano 1: Fev/2019 a Maio/2019, Ano 2: Dez/2019 a Março/2020 e Ano 3: Jan/2021, Abr/2021 e Mail/2021), ocorreram entre a cidade de Vitória – ES (7752067,98 m; 360001,72 m) e o limite norte do Estado do Espírito Santo (7972252,32 m; 429613,26 m). Foram percorridos trechos ao redor da foz do Rio Doce, abrangendo áreas marinhas costeiras e oceânicas adjacentes, incluindo REBIO Comboios, APA Costa das Algas e REVIS de Santa Cruz (Figura 12).

Figura 12: Mapa da área de estudo, destacando os transectos amostrados durante as campanhas realizadas entre fevereiro e maio 2019, dezembro de 2019 e março de 2020 e janeiro, março e abril de 2021, pelo Anexo 6 - Projeto Megafauna/Bioacústica.



1.4.2 Coleta de dados

No Ano 1 foram realizadas 14 campanhas de coletas de dados, durante o período de 22 de fevereiro de 2019 e 23 de maio de 2019 (*Material Suplementar A6MSbS1, Tabela 1*), com total de 90 dias corridos. Durante o Ano 2, aconteceram 10 campanhas de coletas de dados, durante o período de 21 de dezembro de 2019 e 17 de março de 2020 (*Material Suplementar A6MSbS1, Tabela 2*), completando 87 dias corridos de campo (o trabalho precisou ser interrompido três dias antes do previsto devido ao decreto de ocorrência da pandemia de coronavírus). Enquanto ao longo do Ano 3 foram realizadas 7 campanhas de coleta de dados, durante o período entre 10 a 28 de fevereiro e 01 de abril a 31 de maio de 2021, totalizando 79 dias corridos de campo (*Material Suplementar A6MSbS1, Tabela 3*). As saídas de campo foram programadas de acordo com as condições ambientais: diariamente foi realizado um monitoramento climatológico através do Windy (www.windy.com) e WindGuru (www.windguru.cz) para verificar se haviam condições favoráveis para a navegação à vela na área de estudo. Durante os períodos, o Iate Clube do Espírito Santo (Vitória-ES) serviu como base de apoio para a equipe e para a embarcação, quando os dias não estavam aptos para navegação.

O monitoramento da área foi conduzido a bordo de um veleiro de 40 pés, seguindo um desenho amostral de transectos em zig-zag, exceto quando as condições ambientais não estavam favoráveis para a embarcação à vela seguir este desenho. A procura por cetáceos foi realizada tanto através do monitoramento visual quanto do monitoramento acústico.

O monitoramento visual ocorreu a olho nu e com o auxílio de binóculo, durante o período de luminosidade e quando as condições ambientais estavam favoráveis para a observação de cetáceos: escala *Beaufort* até cinco, boas condições de visibilidade e altura de onda até dois metros. A cada encontro visual de um grupo de cetáceos, foram coletadas as seguintes informações: localização, hora, escala *Beaufort*, altura das ondas, composição do grupo, espécie e comportamento. Os registros fotográficos foram realizados pela câmera fotográfica Canon EOS 6D acoplada a uma lente EF 24 - 105mm f/3.5-5.6L STM, enquanto as filmagens (fora da água e subaquáticas) das avistagens foram feitas, respectivamente, pela câmera GoPro Hero 5 acoplada a um capacete e pela câmera GoPro Fusion 360 acoplada a um bastão de 3 metros.

O monitoramento acústico ocorreu através do arrasto de uma matriz de hidrofones pelo veleiro, de forma contínua. Este monitoramento somente foi interrompido quando as condições ambientais não eram favoráveis para a manutenção da navegação à vela ou tivesse risco de dano ao equipamento de arrasto: *Beaufort* a partir de seis (Castro, 2018), altura de onda superior a três metros e velocidade do vento insuficiente. O sistema de aquisição de dados consiste em uma matriz de 50m com quatro hidrofones omnidirecionais (frequência máxima de amostragem de 500kHz) acoplado a um sistema de gravação autônomo – placa de aquisição Sail Daq com resposta de 250 kHz. Quando possível, durante a avistagem de um grupo de cetáceos, foi utilizado o hidrofone portátil modelo Cetacean Research TM C75 (com resposta de frequência: 0,003 a 250kHz, +3/- 12 dB, - 200 dB re: 1V/μPa) acoplado

diretamente ao gravador digital Tascam DR-100 MKIII com amostragem de 192 kHz/24 bits para gravar suas emissões acústicas.

Os arquivos de áudio foram salvos no formato “.wav” e os dados de GPS da rota da navegação registrados e salvos em banco de dados apropriado.

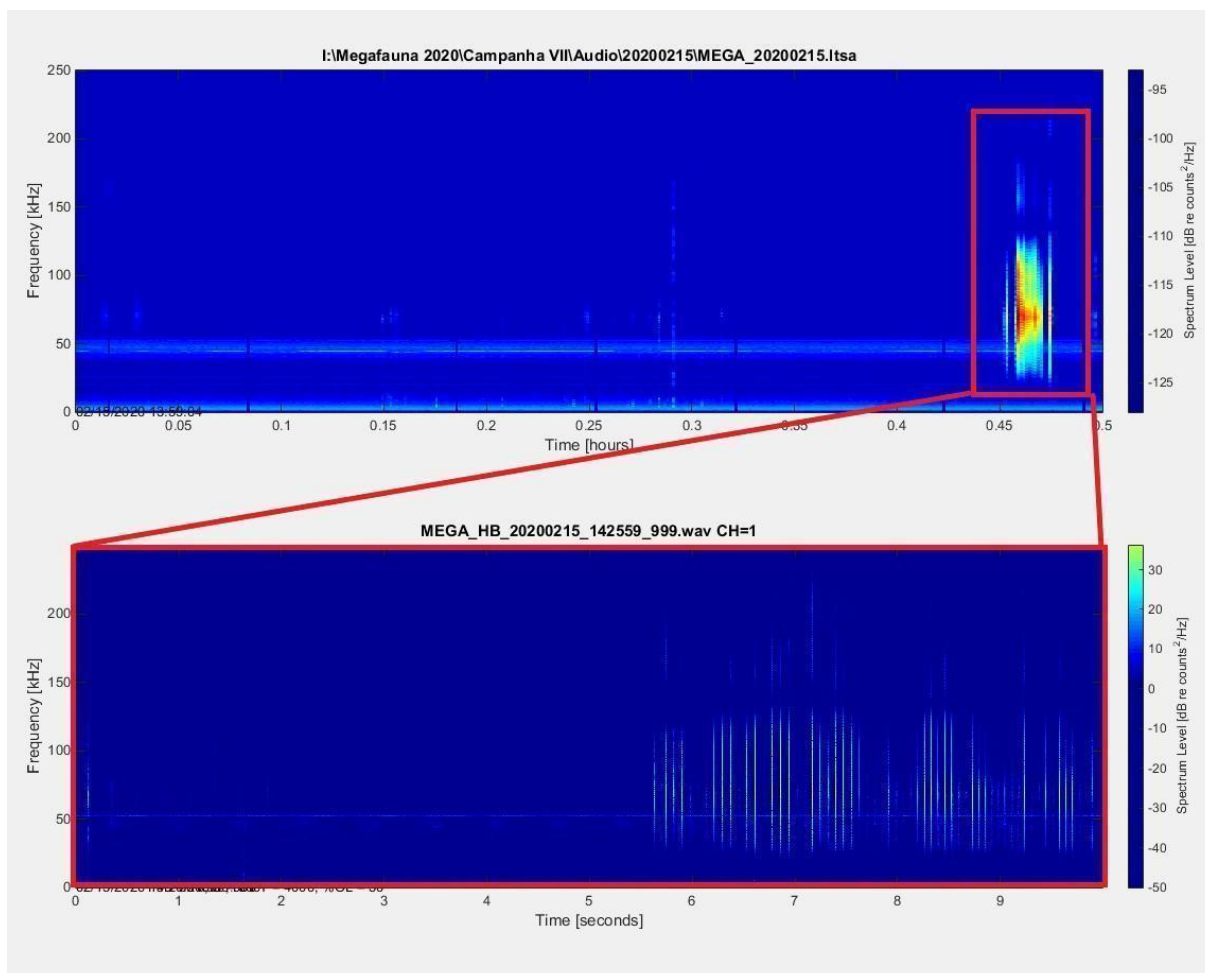
1.5 ANÁLISES ACÚSTICAS

1.5.1 Produção e inspeção de LTSA

Os arquivos de som gravados durante as etapas de campo foram investigados detalhadamente a fim de identificar os momentos de ocorrência de sinais de interesse ao projeto, isto é, vocalizações de cetáceos, camarões e peixes. Para isso foram gerados – através do programa MATLAB (MathWorks INC.) em conjugação com o pacote Triton (Scripps Research Institute) – Long Term Spectrograms Average (LTSA), que consistem em espectrogramas compilados de todos os arquivos em análise. A partir do LTSA é possível identificar visualmente e acusticamente os sons pulsados e tonais de interesse, selecionando os arquivos a serem analisados.

Os parâmetros de visualização do LTSA foram padronizados com janela de 30 minutos e parâmetros de brilho a 300%dB e contraste a 315%dB. Já para os espectrogramas dos eventos de interesse foi definido: Overlap 80%, Brilho -30dB, Contraste 208%dB e ajustes variáveis do FFT para melhor definição de acordo com o sinal apresentado. Essa padronização promove a disposição mais nítida dos eventos, mesmo daqueles com menor energia. A Figura 13 mostra, respectivamente, um LTSA em janela de 30 minutos e o espectrograma de parte de um evento de interesse identificado.

Figura 13 : Imagem representativa do processo de análise conduzido utilizando Long Term Spectrogram Average – LTSA. Eixo x= tempo (s) e y = frequência (kHz).

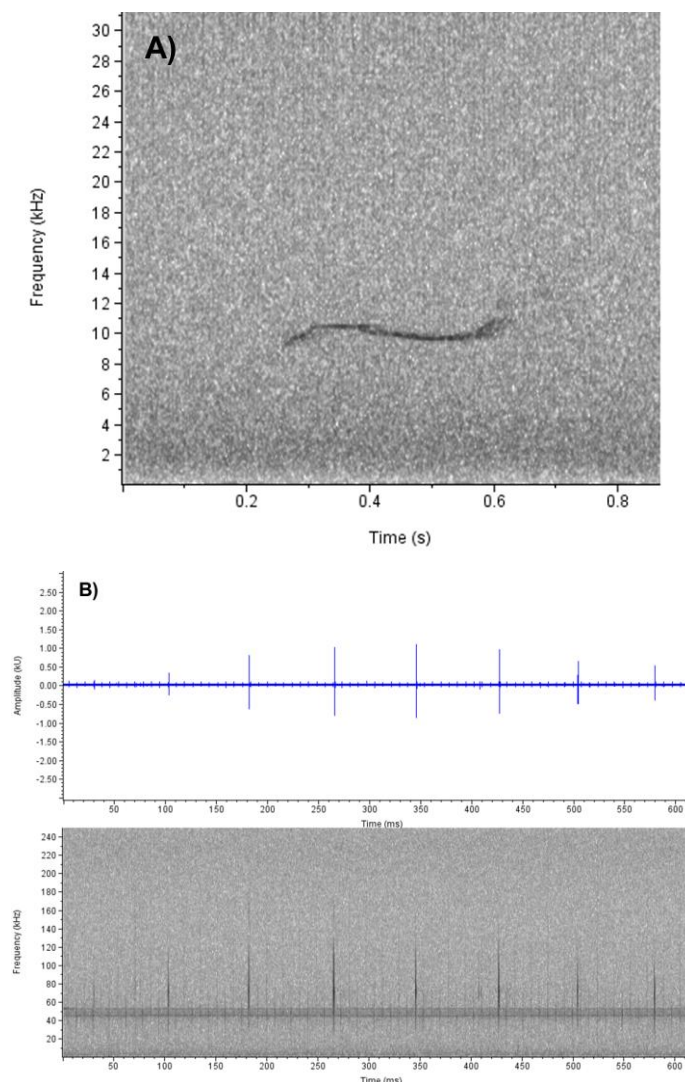


1.5.2 Extração de parâmetros

Vocalizações tonais – assobios – (Figura 14) foram analisadas para a extração de parâmetros de frequência (mínima, máxima, delta, pico, central, inicial e final), tempo (duração) e de modulação do contorno. No caso dos sons pulsados – cliques de ecolocalização – (Figura 14B), foram estimados parâmetros de frequência (mínima, máxima, pico, largura de banda 3dB e largura de banda 10dB), tempo (intervalo-inter-clique) e de intensidade (nível de pressão sonora – SPL)

Os procedimentos de extração de parâmetros ocorreram em duas etapas. A primeira foi realizada através do programa *Raven Pro 1.6* (Cornell Laboratory of Ornithology, NY), no qual foram extraídos os parâmetros acústicos das vocalizações tonais e sons pulsados explosivos; e identificados os momentos de ocorrência de cadeias de cliques de ecolocalização. A análise dos espectrogramas foi padronizada usando janela Hann, DFT de 1024 pontos com sobreposição de 60%. Na segunda etapa foram extraídos os parâmetros dos cliques de ecolocalização, utilizando um script especializado através do programa MATLAB R2014b.

Figura 14: Representação espectral e/ou do formato de onda dos diferentes tipos de sinais acústicos produzidos por odontocetos: A) assobios; B) cliques de ecolocalização. Eixo x = tempo (ms); eixo y = frequência (kHz)/amplitude (U).



1.6 ANÁLISES DE LOCALIZAÇÃO

Blocos de detecção contendo sons pulsados de curta duração (cliques de ecolocalização) foram usados para localizar o indivíduo ou o grupo emissor da atividade vocal. Como os cliques são discretos no tempo, sua análise permite uma avaliação mais precisa da diferença no tempo de chegada do mesmo sinal em diferentes canais por meio de correlação cruzada. Para cada bloco de detecção, um evento correspondente a uma ou mais cadeias de cliques foi determinado (Swift et al., 2009). Foi realizada a Análise de Movimento Alvo (Target Motion Analysis - TMA) para avaliar a localização de cada evento. Assim, quando o veleiro de pesquisa passou por um indivíduo ou grupo, o ângulo azimutal correspondente a cada evento foi estipulado a partir de diferentes pontos ao longo da transecção; e a distância perpendicular do indivíduo ou grupo em relação à embarcação foi estimada (Gillespie, 1997, Leaper et al., 2000, Hastie et al., 2003, Barlow & Taylor, 2005, Lewis et al., 2007). Dois modelos de

localização foram gerados, e o *Akaike Information Criteria* (AIC) foi usado para selecionar o modelo mais adequado para a localização de cada cadeia. Para os assobios foram consideradas as coordenadas do veleiro uma vez que esse tipo vocal não é discreto no tempo e, portanto, não apropriado para a TMA. Além disso, considerando que assobios são vocalizações de transmissão acústica de curtas distâncias e apresentam frequência fundamental omnidirecional (Janik, 2009; Jensen et al., 2012), a latitude e longitude do veleiro são apropriadas para representarem a sua localização no espaço.

As coordenadas dos eventos localizados (encontros acústicos) foram plotadas através do QGIS (versão 3.12). Para isso, o sistema de coordenadas adotado foi o 'Universal Transverse Mercator (UTM)' – SIRGAS 2000, Zona 24° Sul (UTM 24S).

1.7 CLASSIFICAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO ACÚSTICA DAS ESPÉCIES.

A classificação em nível de espécie para registros exclusivamente acústicos tomou como base os cliques e assobios de *Sotalia guianensis* e *Tursiops truncatus* que foram identificados e confirmados por avistagens nos três anos, juntamente com cliques e assobios de *Steno bredanensis* disponibilizados pelo LABEC (Laboratório de Ecologia Comportamental e Bioacústica da UFJF), uma vez que a ocorrência dessa espécie na área de estudo foi confirmada pelo subprojeto Sobrevoos e Dronemonitoramento do Anexo 6. A espécie *Pontoporia blainvillei* não integrou as análises de identificação acústica uma vez que seus cliques apresentam padrão único e alta banda de frequência, o que permite identificação por espectrograma.

A partir disso, modelos de classificação com assobios e cliques foram construídos através do algoritmo de Árvore Randômica computado no programa R (pacote randomForest) que gerou um total de 1000 árvores e seus respectivos OOB (*Out of Bag*) erro. Para o modelo de assobios, os parâmetros acústicos considerados foram: frequência inicial, frequência final, frequência máxima, frequência mínima, variação de frequência, frequência pico, frequência central e duração. Para o modelo de assobios foram utilizados os parâmetros de frequência pico, largura de banda de 3dB e largura de banda de 10dB. O nível de pressão sonora (*spl*) não foi utilizado para a classificação das espécies, pois é altamente associado à distância que o animal está do hidrofone e, por isso, apresenta instabilidade na determinação de propriedades espécie-específicas. Em seguida, avaliando a acurácia (acurácia total, acurácia balanceada por classe e curvas ROC) de cada modelo previamente definido, as vocalizações de registros exclusivamente acústicos tiveram suas espécies definidas através de previsões confirmadas por probabilidade. Esse modelo por Árvore Randômica permite maior acurácia e robustez para a identificação das espécies em relação ao algoritmo c5.0 utilizado no Ano 1 e, por isso, os registros não identificados remanescentes do Ano 1 tiveram sua espécie designada. Por fim, cada classificação resultante teve seu encontro acústico associado e uma coordenada geográfica foi determinada de modo a integrar as análises espaciais e de relação com variáveis ambientais.

1.8 ANÁLISES ESPACIAIS.

1.8.1 Cálculo das Capturas por Unidade de Esforço (CPUE).

O índice de abundância relativa utilizado foi estimado utilizando o método da Captura por Unidade de Esforço (CPUE), calculada pela razão entre a unidade acústica amostral como cadeias de cliques de cetáceos, identificadas e localizadas, pelo total de milhas náuticas percorridas pela embarcação ao longo das transecções. Durante o Ano 1 foram navegadas 741,205 milhas náuticas, 661,035 para o Ano 2 e 526,180 milhas náuticas no ano 3.

Densidade de Kernel

A análise estatística espacial foi realizada no software QGIS (Versão 3.10.13), utilizando mapas de Kernel para estimar a distribuição geográfica das concentrações de registros acústicos (cadeias de cliques e assobios) e identificar as áreas com alta concentração de pontos detectados. O valor de concentração de cada detecção acústica foi correlacionado com os dados geoespaciais do respectivo ponto de amostragem. Os mapas de Kernel foram gerados a partir de modelos de interpolação gaussiana da função. O valor do raio utilizado foi determinado a partir da subtração e adição da média da distância (\bar{X}) de cada um dos pontos com a média do desvio padrão ($\bar{X}\sigma$), segundo proposto por Rizzatti et al. (2020), a fim de tentar aproximar um valor adequado aos pontos, conforme a Equação 1.

Equação 1: Densidade de Kernel

$$R = (\bar{X}) \pm (\bar{X}\sigma)$$

Onde: (\bar{X}) média da distância média; ($\bar{X}\sigma$) média do desvio padrão.

Optou-se assim por utilizar apenas a subtração, pois foi observado que o menor valor não gerou descontinuidade e nem amaciamento exagerado. Do contrário, o maior valor suavizou excessivamente as classes, o que poderia conduzir a possíveis interpretações errôneas.

Foram feitas as correções na escala de valores mínimos e máximos dos rasters, provenientes das análises, para cada uma das espécies, com base nos três anos amostrados, proporcionando assim representar a densidade relativa, através do método de Kernel, de forma comparativa entre os três períodos amostrados (Ano 1, Ano 2 e Ano 3).

Em seguida, o grau de concordância entre as densidades relativas ajustadas pelo esforço (milhas náuticas navegadas) para cada espécie durante os três anos foi determinado através do coeficiente de concordância de Kendall (*Kendall's W*). Esse coeficiente mede o grau e associação entre observações ordinais, e varia de 0 (não concordante) a 1 (muito concordante). Portanto, as densidades foram ranqueadas pela área amostrada e testou-se a hipótese de concordância entre as distribuições dos cetáceos nos três anos amostrados. Essa análise foi realizada pelo pacote DescTools no R (Andri et al. 2001).