



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA
INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Nota Técnica nº 2/2024/CTBio/DIBIO/ICMBio

Vitória-ES, 19 janeiro de 2024

Assunto: Análise do 4º Relatório Anual do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I - Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira .

1. DESTINATÁRIO

Comitê Interfederativo - CIF.

2. INTERESSADO

Fundação RENOVA;

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA;

Instituto Estadual de Florestas - IEF;

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IEMA;

Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade - ICMBio;

Ministério Público Estadual e Federal;

Atingidos pelo desastre da SAMARCO;

Assessoria Técnica Independente (ATI ASPERQD).

3. REFERÊNCIA

Dando Continuidade no Histórico do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática - PMBA, na porção capixaba:

09/02/2023 - Ofício SEI nº5/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 13576833) - CTBio emite Ofício solicitando os arquivos *shapefile* dos Mapas Apresentados no RA2021_RT39F_Matriz de Resultados do Relatório Anual de Evolução de 2021 (RA2021) do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática.

10/02/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.0321 (SEI 13591467) - Entrega do Quarto Relatório Semestral de Evolução do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente (PMBA/FEST); Atendimento às Deliberações nº 579 e nº 631/2022.

24/02/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.0464 (SEI 14047802) - Entrega do Relatório mensal de atividades da FUNDAÇÃO PROJETO TAMAR, referente à cláusula 165 do TTAC.

27/02/2023 - Nota Técnica nº 4/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 13707131) - Inclusão de análises para identificação e quantificação de Metilmercúrio no escopo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, previsto pela Cláusula 165 do Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC).

27/02/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.0476 (SEI 14179415) - Retorno sobre o Ofício nº 86/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio – Requerimento de entrega dos dados e resultados faltantes no 3º Relatório Anual do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), na porção capixaba, referente aos 3 anos de estudo.

01/03/2023 - Ofício SEI Nº 13/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 13742807) - CTBio encaminha Nota Técnica nº 4/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio.

03/03/2023 - Ofício SEI Nº 19/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 13782218) - CTBio encaminhar ofício apresentando de acordo com a proposta do Diagnóstico e Análise Integrada da Biodiversidade Aquática Dulcícola do Rio Doce, Cláusula 165 – Plano de Trabalho resposta ao Ofício FR.2023.0170, entanto apresentamos as considerações de correções no documento apresentado.

03/03/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.0517 (SEI 14048207) - Apresenta o Relatório e dados brutos do Subprojeto V.

08/03/2023 - Ofício FR.2023.0544 (SEI 14047898) - Apresentação do Plano de Trabalho Atualizado do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática - Porção Capixaba Do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente (PMBA/FEST).

13/03/2023 - Nota Técnica nº 5/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 13866524) - Análise do Relatório Anual de Evolução de 2021 (RA2021) do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I - Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente (PMBA/FEST-RRDM).

14/03/2023 – Ofício SEI nº 21/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 13884131) - CTBio encaminha Nota Técnica nº 5/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio.

14/03/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.0324 (SEI 14046785) - Envio dos arquivos “*shapefiles*” solicitados pelo Ofício SEI nº 5/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio.

30/03/2023 - Deliberação CIF nº 666, de 30 de março de 2023 - Inclusão de análises para identificação e quantificação de metilmercúrio no escopo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, previsto pela Cláusula 165 do Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC).

11/04/2023 - Ofício SEI Nº24/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 14209916) - CTBio solicita Esclarecimentos sobre a integração dos resultados do Monitoramento de ictioplâncton, ictiofauna e zoobentos na porção capixaba, pertencente ao anexo 2 do Termo de Referência nº 04/2016 (TR4) - Cláusula 165 do TTAC, para cumprimento das Deliberações CIF nº 579/2022 e nº 631/2022.

11/04/2023 - Nota Técnica nº 7/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 14210168) - Análise dos Ofícios FR.2022.2089 (em resposta ao solicitado no Ofício nº 84/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio) e FR.2023.0476 (em resposta ao Ofício nº 86/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio) da Fundação Renova sobre o “*Requerimento de entrega dos dados e resultados faltantes no 3º Relatório Anual do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), na porção capixaba, referente aos 3 anos de estudo*”.

11/04/2023 – Ofício SEI nº 25/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 14211503) - CTBio Encaminha a Nota Técnica nº 7/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio.

14/04/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.0903 (SEI 14268902) - Relatório mensal de atividades da FUNDAÇÃO PRÓ-TAMAR, referente à cláusula 165 do TTAC.

26/04/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.0973 (SEI 14403572) - Resposta ao Ofício Sei nº 24/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio Deliberações CIF nº 579/2022 E nº 631/2022 Cláusula 165.

27/04/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.0963 (SEI 14473025) - Entrega do “Relatório Final do Monitoramento Reprodutivo e Satelital das Tartarugas Marinhas na Região da Foz do Rio Doce, Espírito Santo, Brasil” em atendimento à Cláusula 165, anexo 6 do Termo de Referência 4.

03/05/2023 – Ofício SEI Nº27/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 14451611) - CTBio emite Ofício em Resposta ao ofício FR.2023.0973 e seu anexo CE-SUP-144/2023, enviado em resposta ao Ofício SEI Nº 24/2023/CTBio/DIBIO/ICMBIO (“Esclarecimentos sobre a integração dos resultados do Monitoramento

de ictioplâncton, ictiofauna e zoobentos na porção capixaba, pertencente ao anexo 2 do Termo de Referência nº 04/2016 (TR4) - Cláusula 165 do TTAC, para cumprimento das Deliberações CIF nº 579/2022 e nº 631/2022”).

04/05/2023 – Ofício SEI nº 28/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 14469467) - CTBio faz solicitação de cronograma de campo online.

02/05/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.1032 (SEI 14500742) - Contextualização para Encerramento do item de Cláusula 165 Inciso I.

11/05/2023 - OFÍCIO nº 00319/2023/NAP/EIMA-PRF1-PRF6/PGF/AGU (SEI 14598677) - O juízo do feito designou audiência de conciliação para discutir a questão relacionada ao Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, com foco na identificação e enfrentamento da divergência atual em relação ao termo de referência.

12/05/2023 - Deliberação CIF nº 684, de 12 de maio de 2023 - Aprovar a Nota Técnica nº 5/2023/CTBio/DIBIO/GABIN, referente à análise do 3º Relatório anual da Cláusula 165 do Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC), do Programa de monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), na porção capixaba, discutido no âmbito da Câmara Técnica de Conservação da Biodiversidade - CT-BIO/CIF.

15/05/2023 - Ofício SEI nº 33/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 14600837) - CTBio emite Ofício em Resposta ao ofício n. 00319/2023/NAP/EIMA-PRF1-PRF6/PGF/AGU.

26/06/2023 - Relatório nº 5/2023 - CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 15059600) - Acompanhamento de atividade em campo, acompanhamento das atividades de campo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), executadas pela FEST, especificamente para aves marinhas (ANEXO 6).

26/06/2023 – Ofício SEI nº 41/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 15071828) - CTBio encaminha relatório de acompanhamento das atividades de campo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática.

26/06/2023 – Ofício SEI nº 42/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 15074687) - CTBio responde Ofício FR.2023.1032, referente Manifestação da Câmara Técnica de Biodiversidade quanto ao encerramento do Inciso I da cláusula 165.

29/06/2023 - Deliberação CIF nº 693, de 29 de junho de 2023 - Aprova o cumprimento da cláusula 165, inciso I, do TTAC.

29/06/2023 - Deliberação CIF nº 694, de 29 de junho de 2023 - Aprovadas Nota Técnica nº 6/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio, referente avaliação Final das entregas realizadas pela Consultora Especializada para estudos Ecotoxicológicos, conforme proposto pelo Edital nº 001/2022 – Flacso.

30/06/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.1578 (SEI 15225182) - Entrega do 4º Relatório Anual do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I - Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente - PMBA/ES - CI 165.

05/07/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.1628 (SEI 15225290) - Apresentação do Plano de Trabalho para Inclusão e Avaliação do Metilmercúrio No PMBA - Atendimento Deliberação nº 666 de 30 de março de 2023.

22/08/2023 – Ofício SEI nº 54/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 15777233) - CTBio emite Ofício solicitando Agendamento de uma reunião setorial - Metilmercúrio porção mineira.

24/08/2023 – Ofício SEI nº 56/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 15811001) - CTBio emite Ofício referente a Análise do Plano de Trabalho da Fundação Renova referente à inclusão de análises para identificação e quantificação de metilmercúrio no escopo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), em atendimento à Deliberação CIF nº 666/2023.

03/08/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.1906 (SEI 15561608) - Revisão do Plano de Trabalho para Inclusão e Avaliação do Metilmercúrio no PMBA - Atendimento Deliberação 666 de 30 de março de 2023.

25/08/2023 - Nota Técnica nº 8/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 15827090) - Aprovação da proposta de premissas para a continuidade do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática na porção capixaba da bacia do rio Doce e zona costeiro - marinha adjacente.

30/08/2023 – Ofício SEI nº 58/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 15870734) - CTBio Encaminhamento da Nota Técnica nº 8/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio.

04/09/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.2215 (SEI 15948620) - Resposta aos Ofícios nº 54 e 56/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio - Inclusão de análises para identificação e quantificação de Metilmercúrio no escopo do programa de monitoramento da biodiversidade aquática.

04/09/2023 - Relatório nº 7/2023 - CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 15922241) - CTBio emite Relatório de acompanhamento das atividades de campo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), no âmbito da Câmara Técnica de Conservação da Biodiversidade (CTBio), executadas pela Rede Rio Doce Mar/FEST.

20/09/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.2327 (SEI 16139537) - Encaminhar “dados brutos dos anos I e II da Chamada 10/2018 FAPEMIG” em atendimento à Cláusula 165.

27/09/2023 - Nota Técnica nº 10/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 16238624) - Análises de metilmercúrio no escopo metodológico do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA) em Minas Gerais - Ofício FR.2021.0799_01, em 22 de dezembro Fundação Renova.

29/09/2023 - Deliberação CIF nº 726, de 29 de setembro de 2023 - Aprovar as premissas elencadas na Nota Técnica nº 8/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio para a nova fase do monitoramento da biodiversidade aquática na porção capixaba na bacia do rio Doce e zona costeiro - marinha.

03/10/2023 – Ofício SEI nº 62/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 16307972) - CTBio Encaminhamento da Nota Técnica nº 10/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio.

09/10/2023 – Ofício Fundação Renova FR.2023.2552 - resp. a Nota Técnica nº 10/2023 (SEI 16383050) - Resposta à Nota Técnica nº 10/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio - Pedido de Reconsideração - Não descumprimento da Deliberação CIF nº 666/2023.

4. FUNDAMENTAÇÃO/ANÁLISE TÉCNICA/PARECER

4.1 Objetivos

A presente Nota Técnica tem por finalidade apresentar ao Comitê Interfederativo - CIF a avaliação do Relatório Anual (RA2022) do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I - Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente (PMBA/FEST), e entregue pela Fundação Renova em 30 de junho de 2023 - FR.2023. 1578.

Esta avaliação traz principalmente:

- Verificação da aderência dos dados apresentados no Relatório Anual com o Plano de Trabalho atual (2022) da Fundação Espírito-Santense de Tecnologia - FEST para o PMBA, para fins de cumprimento da Cláusula 165 na porção capixaba, do TTAC da SAMARCO;
- Apontar eventuais dados que necessitem complementações de informações e/ou alterações para serem solicitados à RRDM e Fundação Renova;
- Apontar ao CIF direcionamentos quanto aos impactos do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana/MG na biodiversidade e seus habitats estudados;
- Apontar dados para subsidiar decisões governamentais, caso necessário.

4.2 Aderência ao Novo Plano de trabalho (2022).

O *status* de cumprimento quanto ao Novo Plano de Trabalho, *Nota Técnica nº 15/2020/CTBio/DIBIO/GABIN*, *Nota Técnica nº 08/2022/CTBio/DIBIO/GABIN*, *Nota Técnica nº 5/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio*, *Ofício SEI nº 85/2022/CTBio/DIBIO/ICMBio*, *Ofício FR.2023.0214*, *Ofício SEI nº 4/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio*, segue em planilhas *Excel* anexadas a esta Nota Técnica. No âmbito dos ambientes analisados:

- Ambiente Dulcícola;
- Ambiente Marinho; e
- Ambiente Costeiro.

A aderência foi analisada em relação a malha amostral, periodicidade, metodologia e resultados, classificando-os em cumprido, não cumprido ou cumprido parcialmente, com uma breve justificativa.

A seguir apresenta-se uma análise técnica quanto à evolução ao longo dos resultados apresentados, pontuando-se *highlights* no entendimento e avaliação dos impactos e tendências observados através do monitoramento vigente.

4.3 Considerações da CTBio sobre as informações apresentadas no Relatório Técnico

4.3.1 AMBIENTE DULCÍCOLA

4.3.1.1 Avaliação de Impactos Ambientais e Identificação de Tendências nos Parâmetros monitorados

a) Ecotoxicologia

Os estudos em ecotoxicologia são essenciais para verificar a qualidade ambiental, identificar substâncias tóxicas, monitorar a contaminação, avaliar o risco ecológico, embasar decisões e prevenir danos ao meio ambiente. Esses estudos também possibilitam a análise dos efeitos a longo prazo e o desenvolvimento de estratégias de remediação para áreas contaminadas.

No compartimento dulcícola, inclusa a calha do rio Doce e as lagoas adjacentes, foram identificadas amplas variações de concentrações de ferro (Fe) e alumínio (Al) total na água, os quais não reduzem os altos percentuais do Índice de Não Conformidade (INC) na calha fluvial, nos sistema lacustres e sobretudo nas lagoas, sendo maiores no período chuvoso, quando do maior carreamento e ressuspensão pelo aporte de maior volume e fluxo hídrico na bacia. Além de Fe e Al, marcadores da presença do rejeito, os metais bário (Ba), chumbo (Pb), arsênio (As) e cromo (Cr) continuam sendo identificados em concentrações mais elevadas em relação a dados pretéritos na calha do rio Doce e nas lagoas usadas para captação de água, recreação, pesca e cultivo de organismos aquáticos, exigindo atenção especial dos órgãos públicos, considerando suas altas concentrações e risco a saúde humana e animal.

Os maiores valores de riqueza da biota, nos ambientes fluviais, ocorreram com as menores concentrações de contaminantes. Nas cores sedimentares, onde se citam as lagoas do Areal, Areão e Juparanã, há uma elevada presença dos elementos ferro (Fe), alumínio (Al), manganês (Mn) e bário (Ba), indicativos do aporte e deposição do rejeito nos fundos destes sistemas; o que ocasiona a contaminação crônica, através de processos ressuspensivos e de circulação vertical, a partir da mistura devido a eventos de ventos e intensificação da pluviosidade. Apesar das grandes flutuações ambientais sazonais, os produtores basais (fitoplâncton e macrófitas aquáticas) mantiveram a tendência de incremento na riqueza de espécies conforme progressão temporal do monitoramento. Contudo, este dado deve ser observado com cautela, pois não é possível afirmar que esta condição se refira ao enriquecimento de traços funcionais e/ou melhoria do funcionamento ecossistêmico, que viabiliza a recuperação da diversidade de produtores primários. Isto se evidencia, por exemplo, com a elevada representatividade do grupo de cianobactérias, as quais excedem o limite de concentração de colônias nas amostras de água, de acordo com a Resolução Conama nº 357/2005. Ademais, para o zooplâncton, obteve-se no quarto ano de monitoramento uma perda de atributos funcionais, com desestruturação da comunidade ainda presente.

Um dos pontos mais relevantes sobre a contaminação de espécies aquáticas é referente à Ictiofauna. Ao longo do monitoramento, e em particular, neste quarto ano de monitoramento, a fauna nativa apresenta perda de riqueza de espécies em todos os trechos analisados do rio, lagos e lagoas marginais, e em especial, para aquelas espécies ocorrentes na foz do rio Doce. Há uma redução da diversidade gênica, perda do fitness reprodutivo, desestruturação da comunidade e perda de espécies raras, com a redução total da riqueza ao longo de toda a bacia. Por outro lado, espécies exóticas, com potencial invasor e mais tolerantes (a exemplo de carpas e tilápias) apresentaram leve tendência a ganho de riqueza

apenas para o rio Doce, sendo a foz o setor onde esta alteração da comunidade se faz mais notória. Sendo assim, há um desequilíbrio ecológico e um progressivo processo de substituição, resultante da menor tolerância à contaminação e redução da capacidade reprodutiva das espécies nativas, em decorrência da presença de contaminantes na água, e da inviabilidade de ovos e larvas, com redução da taxa de eclosão e altas proporções de deformidades em larvas e juvenis, inviabilizando seu recrutamento à fase adulta.

Ressalta-se que há uma progressiva acumulação de todos os elementos metálicos e arsênio, analisados no escopo do PMBA, no sangue e demais tecidos analisados para peixes e camarões. Ainda, os biomarcadores mais relevantes, para monitoramento dos efeitos crônicos da contaminação do rejeito, são a lipoperoxidação lipídica, para camarões, e para os peixes, também dos danos de DNA.

Para os ensaios ecotoxicológicos, ainda que se verifique uma redução da toxicidade para a matriz água, há uma resposta inversa para a matriz sedimento. Nos ensaios realizados para o quarto ano de monitoramento, campanha 7, houve aumento da toxicidade do sedimento em comparação ao ano anterior, corroborando que a toxicidade está associada com efeitos de ressuspensão e disponibilização dos metais na coluna de água.

Há dúvidas quanto aos resultados apresentados, uma vez que não foram apresentados dados relativos às concentrações de metais e arsênio na água e sedimento, bem como as correlações a eles associadas, impedindo assim possíveis análises de bioacumulação destes metais e arsênio nos músculos de pescados e na microbiota. Destaca-se que a suspensão até fevereiro de 2023 destas análises, conforme consta na página 34 do relatório do PMBA, ocorreu por ordem da Fundação RENOVA.

A ausência dos dados relativos à 8ª campanha impede uma conclusão devidamente embasada e ainda prejudica a Matriz de Resultados e Análise Integrativa. A constituição da Matriz de Resultados do Programa de Monitoramento de Biodiversidade Aquática apresenta sete categorias de análise, que, no total, contemplam 24 agrupamentos de impactos. Contudo, dentre estes agrupamentos, apenas 5 levam em conta os ambientes Dulcícolas, Costeiro e Marinho.

b) Bacia Integração

Para a caracterização hidrológica global, visando compreender o aporte de água doce, e o transporte de sedimentos no ambiente estuarino-marinho do rio Doce, foram utilizados bancos de dados públicos da ANA, IGAM, Incaper, CEMADEN e INMET. Esses dados subsidiaram os modelos empregados para análises da descarga líquida e sólida ao longo da bacia do rio Doce. Juntamente com os dados coletados, forneceram informações cruciais para uma visão abrangente da situação da bacia.

No relatório, é enunciado que foram habilitadas 38 estações de monitoramento com longa série histórica (pelo menos 30 anos de dados contínuos). Entretanto, não foi destacado no relatório nem no Material Suplementar o motivo de algumas estações estarem localizadas fora da bacia do rio Doce, enquanto nenhuma na foz e/ou região deltaica foi considerada. Além disso, não foi explicado o motivo da bacia apresentada ter sido truncada na região da sede do município de Linhares (i). Para as estações com dados diários recentes, foram selecionadas aquelas da ANA, INMET e CEMADEN. No entanto, assim como nas estações de longa série histórica, não houve justificativa para a ausência de estações na foz e/ou região deltaica, e tampouco para a truncagem da bacia na região da sede do município de Linhares (ii).

No que se refere a precipitação e produção de água, o material suplementar relata que se buscou responder à pergunta: ‘Qual a porcentagem da água monitorada em um determinado dia que vem da região próxima à barragem de Fundão, e qual é a porcentagem vinda de sub-bacias não impactadas pelo rompimento da barragem?’. Os resultados são apresentados por meio de gráficos de pizza, indicando que esse percentual variou consideravelmente de acordo com a precipitação. Nota-se que, no período chuvoso do ano 4, o total precipitado na bacia, principalmente nas bacias do Piracicaba, Carmo e Piranga, foi o dobro em relação ao período chuvoso no ano 1. Em termos percentuais, a contribuição no volume a jusante do reservatório de Aimorés variou de 12,7% (período chuvoso ano 1) para 28% (período chuvoso ano 4).

Com relação ao uso do modelo SWAT para o cálculo do transporte de sedimentos, é necessário salientar que o estudo detalhado desse tema é conduzida no âmbito da Câmara Técnica de Gestão de Rejeitos e Segurança Ambiental (CT-GRSA), a qual está atualmente judicializado e sob a tutela do Tribunal Regional Federal da 6ª Vara - TRF6. Porém, considerando a relevância para a compreensão da bacia e como o transporte dos elementos químicos ocorre tanto através dos particulados sólidos quanto no fluxo das águas, uma análise sobre o tema também foi conduzida no âmbito do PMBA.

Neste contexto, foram observados alguns pontos que exigem cautela, como o uso de um modelo digital de terreno com 10 metros de planimetria e 5 metros de altimetria, o que pode resultar em erros significativos na bacia do rio Doce, principalmente na região capixaba, devido a topografia desta (iii). Além disso, foi utilizado para uso e ocupação do solo disponibilizado pela ANA, datado de 2018, em vez de bases atualizadas disponibilizadas pelo Geobases (iv).

Ainda foi notado que, para a mensuração da descarga total de sedimentos, foram utilizados dados de descarga de sedimentos em suspensão (v), embora seja sabido que esse percentual não é fixo para toda a bacia do Doce, variando de 5 a 15%. Não foi observado no relatório e no material suplementar que tal variação foi considerada durante os cálculos (vi). Levando em consideração os pontos de atenção listados de (iii) a (vi) e reconhecendo que o estudo detalhado sobre o tema é conduzido pela CT-GRSA, destaca-se que as *'descargas médias e máximas diárias de sedimentos totais para o período chuvoso no ano 4 (20.809 e 186.983 t/d) são superiores às obtidas nos demais anos de monitoramento para o mesmo período: 2.260 e 36.589 t/d (ano 1), 10.700 e 155.254 t/d (ano 2) e 5.774 e 48.635 t/d (ano 3)'*. Com base nesses cálculos, foram previstos os fluxos de metais para os elementos alumínio, ferro e manganês, sendo evidente que a disponibilização desses elementos foi superior aos demais anos de monitoramento do PMBA.

No que diz respeito à caracterização e análise de inter-relações envolvendo ações na bacia hidrográfica e aspectos de quantidade/qualidade da água e biodiversidade aquática, embora a explicação do banco de dados apresentada no relatório complementar do tema tenha sido bastante didática, não foi possível acessá-lo e verificá-lo por meio do *link* disponibilizado na página 38/75. Ressalta-se a importância de considerar não apenas as ações de responsabilidade de implementação pela Fundação Renova, mas também aquelas realizadas por outras fontes, conforme apresentadas no Plano Diretor da Bacia do Rio Doce - PIRH (vii).

O relatório informa que diversas submetas (nºs 2, 3, 4, 10, 11, 12, 13 e 14), do plano de trabalho da FEST/PMBA atual, não tiveram tempo hábil para obtenção de resultados ou detalhamento das metodologias e serão abordadas em produtos futuros. No entanto, durante a leitura do relatório e do material suplementar não foram fornecidas as devidas justificativas.

c) Limnologia

Para o rio Doce e rio Guandú as concentrações de Material Particulado em Suspensão (MPS) e turbidez, foram significativamente maiores durante o período chuvoso. O relatório também evidencia a ocorrência de variações anuais, com aumentos significativos ao longo dos anos.

Quanto às lagoas do Areão, Areal e Monsarás as concentrações de MPS e turbidez não apresentaram diferença entre os períodos seco e chuvoso, mas exibiram variação significativa anual, com tendência de aumento em relação ao primeiro ano de monitoramento. Isso pode afetar a penetração da luz e a disponibilidade de nutrientes para os organismos aquáticos.

Outro destaque importante é a contaminação da água e dos sedimentos por metais pesados, como alumínio (Al), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni) e cromo (Cr), que podem afetar a saúde e a sobrevivência dos organismos aquáticos, sendo as comunidades bentônicas as mais afetadas.

Houve também a redução da qualidade da água, com aumento da concentração de nutrientes e de matéria orgânica, o que pode comprometer a qualidade da água para consumo humano e para a vida aquática.

d) Mineralogia

A mineralogia dos sedimentos é importante para o monitoramento da biodiversidade aquática, pois os minerais presentes nos sedimentos podem influenciar a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos.

A composição mineralógica dos sedimentos pode afetar a disponibilidade de nutrientes e a toxicidade de metais pesados. Além disso, a mineralogia dos sedimentos pode fornecer informações sobre a origem e o transporte de sedimentos, bem como sobre a história geológica da região. Assim, a análise mineralógica é uma ferramenta importante para avaliar a saúde dos ecossistemas aquáticos e para orientar a gestão e a conservação desses ambientes.

O Material Suplementar do tema Mineralogia apresentou os dados de composição mineralógica, suscetibilidade magnética, fase de oxihidróxidos de ferro dos sedimentos e composição mineralógica do material particulado em suspensão (MPS). Os resultados mostraram que a caulinita é a fase cristalina predominante nos sedimentos fluviais e lacustres, exceto na lagoa Areal (E24). Os oxihidróxidos de Fe (marcadores de rejeito de mineração de ferro) geralmente são fases minoritárias nos sedimentos, exceto na lagoa Areal (E24), onde a goethita é a fase cristalina dominante. Em todos os ambientes dulcícolas os teores dos minerais não apresentaram uma relação clara com os períodos secos e chuvosos na bacia do rio Doce.

Os valores de suscetibilidade magnética nos sedimentos foram considerados muito baixos ($\leq 5 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$), e o estudo indica que estações amostrais expostas aos rejeitos de mineração de ferro (Fe) não receberam material (sedimentos e MPS) enriquecido em magnetita. A suscetibilidade magnética na fração lama de estações amostrais de ambientes dulcícolas passou a ser monitorada no novo ciclo do PMBA/FEST.

Em todos os ambientes dulcícolas, os oxihidróxidos de Fe são predominantemente cristalinos ($\text{Feo/Fed} \leq 0,48$). A amplitude dos valores do índice de cristalinidade dos oxihidróxidos de Fe (Feo/Fed : 0,01 a 0,48) sugerem variações expressivas nas condições químicas dos rios, lagos, lagoas e represas.

A composição mineralógica do material particulado em suspensão apresentou picos de difração mais intensos para caulinita e mica, e menos intensos para os oxihidróxidos de Fe, mostrando relação com a composição dos sedimentos.

e) Qualidade de Água e Sedimentos

Quanto aos resultados das análises de hidrocarbonetos alifáticos e poliaromáticos no sedimento, indicaram que a região monitorada apresenta níveis elevados desses compostos, principalmente nas áreas mais próximas à foz do rio Doce.

A análise de pesticidas na água reportou um aumento do teor de pesticidas para o rio Doce, Guandu, Lagos e Lagoas, em todas as estações amostrais no período seco da amostragem, diferentemente da maioria dos outros impactos. O relatório sugere que este fato provavelmente ocorre porque no período de chuvas não há pulverização com pesticidas.

Para teor de PCBs - bifenilas policloradas na água, foi observado aumento para todas as estações nos rios Doce e Guandu, lagos e lagoas, apresentando valores acima do NOAA crônico no período de out/21 a mar/22. Entretanto, tem-se observado redução ao longo do período de monitoramento do PMBA.

Com relação aos esteróis totais na água, também ocorreu um aumento do teor observado para todas as estações no rio Doce, Guandu, lagos e lagoas no período de out/21 a mar/22 e de abr/22 a set/22. Entretanto, houve redução ao longo do PMBA, mas há tendência de aumento nos períodos chuvosos.

Quanto à concentração de fenóis na água, foram reportados resultados até julho/2022, observando-se uma redução dos fenóis totais, bem como dos nitrofenóis e dos clorofenóis.

É apontado no item “2.1.2 - *Destaques*” que a variabilidade pluviométrica sazonal constitui a principal força motriz do transporte de sedimentos e aumento da concentração de contaminantes na calha fluvial. É importante notar e destacar que outros fatores, como o uso do solo, a vegetação ripária, a topografia e as práticas de manejo ambiental, também desempenham papéis cruciais no transporte de sedimentos. Portanto, embora a variabilidade pluviométrica seja uma influência significativa, é preciso considerar o contexto ambiental mais amplo para compreender os processos de transporte de sedimentos.

Ao analisar a seção intitulada “*Síntese Integrativa*” no relatório, tornou-se evidente a ausência de integração do ambiente costeiro. Essa lacuna compromete a compreensão clara da integração entre os diferentes ambientes e os resultados alcançados. Além disso, o documento da maneira que foi escrito contribui para a confusão em vários aspectos. Para aprimorar a coesão e abordar essa falha específica, é importante incorporar dados relevantes sobre o ambiente costeiro na síntese integrativa. Dessa forma, não apenas se preenche a lacuna identificada, mas também se fortalece a compreensão abrangente da interconexão entre os diferentes ambientes analisados, proporcionando uma leitura mais clara e coerente

do relatório.

f) Fitoplâncton

O monitoramento do fitoplâncton em ambientes de água doce desempenha um papel crucial na avaliação da saúde dos ecossistemas aquáticos. Como indicador sensível às condições ambientais, o fitoplâncton fornece informações valiosas sobre a qualidade da água, ciclos de nutrientes e respostas a mudanças ambientais. Além de ser a base da cadeia alimentar aquática, o acompanhamento do fitoplâncton é essencial para detectar potenciais riscos, como a presença de espécies de cianobactérias produtoras de toxinas, garantindo a gestão sustentável e a preservação dos ecossistemas aquáticos.

A análise dos dados de fitoplâncton indica que houve uma redução na diversidade e na abundância de espécies após o rompimento da barragem de Fundão, especialmente nos ambientes fluviais.

A presença de metais pesados e outros contaminantes tiveram um efeito significativo afetando negativamente a diversidade e a abundância do fitoplâncton em ambientes de água doce na bacia do rio Doce.

Todos os metais analisados contribuíram para a variação dos indicadores da comunidade, indicando um impacto mais pronunciado dessas variáveis na calha principal em comparação com outros ambientes.

Durante o período chuvoso, os metais bário (Ba) e cromo (Cr) foram associados a um aumento na densidade de cianobactérias nos rios Doce e Guandú, além das lagoas, enquanto manganês (Mn) e vanádio (V) mostraram efeitos negativos. O ferro contribuiu positivamente para a diversidade no rio Doce e em lagos durante a estação chuvosa, bem como em lagoas durante a estação seca. O impacto significativo na densidade de células de cianobactérias foi observado apenas durante o período seco no rio Doce.

Além dos metais, variáveis ambientais físicas e de nutrientes (nitrogênio e fósforo) também estão relacionadas a densidade de células de cianobactérias do baixo rio Doce. No período chuvoso, a maior precipitação e aporte de material alóctone promovem maior disponibilidade de recursos favorecendo o desenvolvimento desses organismos.

No rio Doce, houve uma leve tendência de redução da densidade de células de cianobactérias a partir do período chuvoso do ano 3. Para a profundidade de compensação dos lagos, houve tendência de aumento na densidade de cianobactérias até o final do período chuvoso do ano 2 e de redução a partir do período chuvoso do ano 3.

g) Zooplâncton

A análise dos dados de zooplâncton indica que houve uma redução na diversidade e na abundância de espécies após o rompimento da barragem de Fundão, especialmente para o rio Doce.

A análise temporal revelou uma tendência de perda de traços funcionais no rio Guandu e rio Doce, enquanto nos lagos, após um pequeno declínio, a riqueza dos traços funcionais exibiu pequenas flutuações cíclicas ao longo dos anos.

A presença de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, pode afetar positivamente a diversidade e a abundância de espécies de zooplâncton em ambientes de água doce na bacia do rio Doce.

A presença de metais pesados e outros contaminantes pode afetar negativamente a diversidade e a abundância do zooplâncton em ambientes de água doce na bacia do rio Doce.

A influência dos metais (Al, Ba, Fe e Zn) na diversidade do zooplâncton, especialmente nas lagoas durante o período chuvoso, indica possíveis efeitos da contaminação por metais nos ecossistemas aquáticos.

A presença de sedimentos finos e a turbidez da água podem afetar negativamente a diversidade e a abundância do zooplâncton em ambientes de água doce na bacia do rio Doce.

A análise dos dados de zooplâncton também indica que houve uma mudança na composição das espécies, com a predominância de espécies tolerantes a condições de estresse ambiental, o

que pode ser interpretado como um indicador de impactos ambientais adversos e mudanças significativas nas condições ecológicas do ambiente aquático.

h) Perifiton

Descargas de poluentes, como metais pesados, substâncias químicas tóxicas, nutrientes em excesso (eutrofização) e resíduos orgânicos, podem afetar negativamente a comunidade de perifiton, reduzindo a diversidade de espécies e a saúde do ecossistema aquático.

A presença de metais, como alumínio (Al), bário (Ba), cromo (Cr), ferro (Fe) e manganês (Mn), pode afetar a variabilidade das diatomáceas perifíticas, indicando um impacto potencial da contaminação por metais na comunidade perifítica.

Excesso de nutrientes, como nitrogênio (N) e fósforo (P), pode resultar na eutrofização dos corpos d'água, o que, por sua vez, pode prejudicar a comunidade perifítica, reduzindo a diversidade de espécies e a saúde do ecossistema aquático.

A introdução de espécies invasoras de plantas aquáticas, animais ou microorganismos pode competir com o perifiton nativo, alterando a estrutura e a função do ecossistema aquático.

Conforme indicado no relatório, a presença de sedimentos finos e a turbidez da água podem afetar negativamente a diversidade e a abundância do perifiton em ambientes de água doce na bacia do rio Doce.

Observou-se uma tendência de aumento da riqueza de espécies da comunidade perifítica em períodos de seca, principalmente no rio Guandu e no rio Doce, indicando que a redução da vazão e da turbidez nesses ambientes pode propiciar o desenvolvimento do perifiton.

Foi notada uma tendência de aumento na diversidade da comunidade perifítica ao longo do período monitorado, principalmente nas lagoas, indicando que a comunidade perifítica pode se recuperar após eventos de perturbação.

Relatou-se uma variação temporal na riqueza de espécies da comunidade perifítica, relacionada a mudanças nas condições ambientais em escalas temporais, regionais e locais, como períodos de seca e chuva, indicando que a comunidade perifítica é sensível a alterações sazonais e ambientais.

Essas tendências ressaltam a dinâmica da comunidade perifítica em resposta a fatores ambientais e climáticos, destacando a importância de monitorar e compreender essas tendências para a conservação da biodiversidade aquática.

i) Macrófitas

A análise da partição da variância da comunidade de macrófitas aquáticas em relação ao ambiente, metais e espaço por período sazonal revelou correlações significativas entre a comunidade de macrófitas e as condicionantes ambientais, metais e espaço tanto no período chuvoso quanto no período seco.

O relatório destaca que a riqueza, composição e diversidade das macrófitas aquáticas são diretamente influenciadas pelas condições ambientais, incluindo as flutuações hidrológicas e as características químicas da água e do sedimento.

No rio Guandu, foi observada uma tendência para a estabilidade da riqueza, independentemente do período sazonal analisado. Já para o rio Doce, verifica-se uma tendência para a diminuição da riqueza, de maneira geral, desde o final do 3º período seco, continuando em declínio no 4º período chuvoso e seco. Nos lagos, há uma tendência no aumento do número de espécies ao longo do tempo. Por fim, nas lagoas, observam-se grandes flutuações em relação ao número de espécies encontradas, com um declínio desde a metade para o final do 3º período seco.

Com relação a Figura 2 do *MS_AD_Macrófita*, que analisa a abundância espaço-temporal de macrófitas, destaca-se que a figura apresenta baixa qualidade de imagem. Este fato já foi reportado na análise do 3º Relatório anual do PMBA/FEST. A dificuldade para diferenciar a coloração das linhas dificulta o entendimento, e os resultados apresentados se restringem a descrever a imagem sem

correlacionar os dados obtidos a nenhuma outra informação (dados biótico, abióticos e/ou bibliografia) e simplesmente comparar período seco com o chuvoso ao longo dos anos.

Na descrição, ainda são utilizadas expressões subjetivas que pouco acrescentam ao entendimento e confiabilidade da informação, como:

“...parecem estar em uma fase de estabilização...” (página 10), e

“...está em uma leve ascendência em comparação com E18...” (página 10).

A figura 3 do *MS_AD_Macrófita* apresenta 5 blocos de barras coloridas agrupando os pontos amostrais, entretanto, não há indicação do que as cores representam, nem na legenda nem no texto. O relatório deve não apenas mencionar os locais onde ocorrem aumentos ou declínios nesse parâmetro, mas também apresentar e discutir as mudanças na uniformidade espaço-temporal, explorando como essas alterações afetam ou refletem a saúde do ecossistema aquático.

A figura 10 (página 19 - *MS_AD_Macrófitas*) apresenta baixa qualidade de imagem, conforme já reportado na análise do 3º Relatório anual do PMBA/FEST. A dificuldade para diferenciar a coloração das linhas dificulta o entendimento.

j) Ictiofauna Dulcícola

Primeiramente, se faz necessário o apontamento de alguns equívocos observados durante a análise do 4º Relatório Anual (RA2022-RT43) do PMBA, no que se refere ao ambiente dulcícola tema X - Ictiofauna dulcícola.

Na planilha *Excel “MS_Malha amostral_Novo Ciclo”*, que pertence ao Material Suplementar do 4º Relatório anual do PMBA, há um equívoco nas coordenadas apresentadas na aba “*Macroinvertebrados e Ictiofauna dulcícola*” onde os pontos P01B (calha rio Doce - Reservatório UHE Mascarenhas/Baixo Guandu-ES) e P10 (lago das Palmas/Linhares-ES) possui as mesmas coordenadas. O equívoco deve advir do Plano de Trabalho atualizado (2022) da FEST, cujas coordenadas apresentadas na tabela 6 (páginas 107-108) são as mesmas para os pontos P01B e P10 na malha amostral atual do PMBA para o tema macroinvertebrados e Ictiofauna, entretanto nas planilhas de dados brutos as coordenadas já estão ajustadas.

Há equívocos na parte escrita da metodologia apresentada no material suplementar “*MS_AD_Ictiofauna_Ictioplâncton_Macroinvertebrados*”, por exemplo na página 5, cita que no ponto 09 (córrego São Pedro Frio) as coletas de ictiofauna foram realizadas com pesca elétrica num trecho de 150 m e com um esforço de 1 hora, e na página 6 também menciona o ponto 09 na coleta de macroinvertebrados bentônicos, entretanto este ponto P09 já foi excluído de acordo com o Plano de Trabalho da FEST (2022).

Algo semelhante ocorreu também, na parte escrita, do item “HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS”, no material suplementar “*MS_AD_Ictiofauna_Ictioplâncton_Macroinvertebrados*”, página 14, onde menciona que para Ictiofauna Dulcícola (Ecologia) ocorreu a inclusão de dois pontos, um na UHE Aimorés e outro no rio Manhuaçu, entretanto não informou a exclusão do ponto 09 no córrego São Pedro Frio, conforme o Plano de Trabalho da FEST (2022). Destaca-se ainda que na página seguinte (15), não foi citada a inclusão dos pontos P12 (rio Manhuaçu/Aimorés-MG) e P13 (calha do rio Doce - reservatório UHE Aimorés-MG) para os estudos de ictioplâncton, assim como não foi mencionada a inclusão dos pontos P11 (calha do rio Doce - reservatório UHE Aimorés-MG) e P12 (rio Manhuaçu/Aimorés-MG) para macroinvertebrados.

Importante destacar que estes equívocos na parte escrita da metodologia, apontados nos dois parágrafos anteriores, apesar de dificultar bastante a leitura e análise do relatório, não traz prejuízos aos resultados apresentados, tendo em vista que após verificação das planilhas de dados brutos, a malha amostral condiz com a apresentada no Plano de Trabalho atualizado da FEST.

No que se refere ao atendimento à proposta de otimização apresentada pela FEST (CE SUP nº 027/2023), em resposta ao Ofício nº 85/2022- CTBIO/DIBIO/ICMBIO, aprovada por meio do Ofício nº 04/2023- CTBIO/DIBIO/ICMBIO, cabe informar que a integração dos ambientes foi realizada apenas com alguns setores/indicadores/grupos selecionados, sem ao menos apresentar justificativas para tais escolhas. Além disso, a integração foi realizada somente com o ambiente dulcícola e marinho, e a integração do ambiente costeiro será inserida somente no próximo relatório, sendo importante destacar que esta decisão não foi comunicada e/ou acordada com CT-Bio e Fundação Renova, ou seja, isso faz com que

a síntese dos ambientes e síntese integrativa apresentadas no 4º Relatório anual do PMBA atende parcialmente à proposta de otimização apresentada no documento da FEST (CE SUP nº 027/2023) e aprovado por meio do Ofício nº 04/2023-CTBio/DIBIO/ICMBio.

Cabe destacar ainda que a planilha de dados brutos “*PMBA-A7D-ICTIOPLÂNCTON-DULC-20230530*” referente ao ictioplâncton apresenta inconsistências quanto ao preenchimento, considerando que na aba “*A7D-TAXONS LARVAS*” consta identificação de apenas 6 larvas na campanha 47, entretanto na aba “*A7D-ICTIOPLÂNCTON*” indica que foram coletadas 12 larvas para esta campanha em diversos pontos amostrais (P1-2 larvas, P2-2 larvas, P3-3 larvas, P4-3 larvas e P13-2 larvas). Além disso, não foi somente a campanha 47 que coletou larvas, outras campanhas também coletaram e não foram inseridas na aba de identificação, reforçando então o atendimento parcial à proposta de otimização, uma vez que as planilhas de dados brutos devem ser completas para todas as campanhas, conforme o item 2c do Ofício nº 85/2022- CTBIO/DIBIO/ICMBIO.

Diante do problema observado no preenchimento da planilha de ictioplâncton mencionado acima, levanta-se o questionamento sobre a real explicação do equívoco ocorrido nesta planilha. Se não foi possível identificar as demais larvas, então isso deveria estar apontado na planilha e/ou informado no relatório; Caso as larvas ainda estejam em fase de identificação, causa bastante estranheza o grande atraso, tendo em vista que são coletas de mais de um ano atrás (por exemplo, campanha 47 - agosto de 2022); E ainda, o menos provável, que o motivo seja um grande equívoco nos dados quantitativos apresentados na aba “*A7D-ICTIOPLÂNCTON*”.

Para o grupo de *Macroinvertebrados*, foram observadas que as menores riquezas e abundâncias na calha do rio Doce estão relacionadas a diversos impactos e distúrbios históricos, como o estado de conservação da bacia, a raridade ou ausência de habitats necessários à fixação dos organismos, assoreamento do leito com predominância de sedimentos finos, e aos efeitos do esgoto industrial e doméstico.

No que se refere a *Ictioplâncton*, as maiores densidades de ovos ocorreram nas estações da calha do rio Doce, sendo mais expressivo nos pontos correspondentes à Colatina e Linhares, semelhante às larvas que a densidade foi mais expressiva no trecho em Colatina e todas as estações de amostragem na calha do rio Doce registraram mais de 100 larvas/10m³.

O material suplementar “*MS_AD_Ictiofauna_Ictioplâncton_Macroinvertebrados*”, página 5, necessita de ajuste quando contabiliza as estações amostrais para *Ictioplâncton*, onde se lê: *sete nos principais tributários do Baixo Rio Doce, leia-se: oito nos principais tributários do Baixo Rio Doce.*

Ainda no material suplementar “*MS_AD_Ictiofauna_Ictioplâncton_Macroinvertebrados*”, página 141, consta no item “INTEGRIDADE E VIABILIDADE DAS LARVAS E JUVENIS”, a Figura 24 - Alterações na viabilidade das larvas, que possui legenda incompleta, pois não apresenta as explicações referentes às letras para cada imagem, conforme segue no parágrafo posterior a figura.

Na página 12 do material suplementar “*MS_AD_Ictiofauna_Ictioplâncton_Macroinvertebrados*”, informa que “*sob o microscópio estereoscópico, o nível de integridade física das larvas foi analisado e as anomalias identificadas foram classificadas como: RCA (rompimento da cavidade abdominal), SAC (sedimento avermelhado aderido ao corpo), SCI (sedimento avermelhado em cavidades internas)...*”, entretanto não fica claro se foram realizadas análises e identificação a fim de confirmação do entendimento que o material avermelhado, aderido ao corpo (SAC) ou em cavidades internas (SCI), é considerado sedimento.

No que tange a *Ictiofauna ecologia*, a riqueza foi representada por 75 espécies, sendo 51 espécies nativas e 24 introduzidas na bacia do rio Doce. Além disso, 15 espécies de habitats marinhos ou estuarinos são encontradas no ambiente dulcícola, o que mostra a importância desse ambiente como berçário ou área de reprodução para essas espécies.

Ao longo do monitoramento do PMBA, foram analisados 5.296 estômagos pertencentes a 70 espécies de peixes, sendo 47 nativas e 23 introduzidas. As espécies introduzidas apresentam uma dieta mais ampla de itens alimentares em relação às espécies nativas, em todos os ambientes avaliados.

Para a ictiofauna, é possível identificar os efeitos dos metais a partir da presença na coluna d'água ou bioacumulado no plâncton. Após a absorção, os metais podem interagir diretamente com componentes celulares provocando estresse oxidativo, bioacumular em brânquias, fígado e músculo, bem

como ser incorporados aos otólitos. Os efeitos desses processos podem ser observados em diferentes níveis de organização biológica, incluindo danos histopatológicos, deformidades em estágios iniciais de vida, crescimento comprometido, redução da diversidade e abundância de espécies, levando a uma desestruturação da comunidade de peixes.

A evidência do empobrecimento taxonômico da comunidade de peixes é preocupante, acarretando um possível aumento da vulnerabilidade e extinções locais de espécies, por vezes endêmicas na calha do rio Doce.

No material suplementar “*MS_AD_Ictiofauna_Ictioplâncton_Macroinvertebrados*”, página 4, informa que a coleta da ictiofauna foi realizada utilizando-se o esforço amostral de redes duplicado em cada ponto no mês de agosto, mas não ficou justificado o motivo para tal alteração somente com este petrecho e somente para este mês. Dificultando um pouco o entendimento do ocorrido, e somente na página 14, no item “*HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS*”, foi mencionado a seguinte informação: “*Na campanha de agosto, as condições de coleta foram inadequadas para a coleta com redes de espera, tais como: nível baixo do rio e local com vários trechos de leito rochoso. Assim, o esforço de coleta ficou reduzido a um pequeno trecho do rio com forte correnteza, diminuindo as chances de captura dos peixes*”, ou seja, apesar do problema de coleta do mês de agosto ter sido mencionado mais pra frente do texto, continua não sanando as dúvidas, gerando ainda mais confusão, tendo em vista que apontou-se a “*redução no esforço de coleta a um pequeno trecho do rio*” e não “*esforço amostral de redes duplicado em cada ponto no mês de agosto*”.

No material suplementar “*MS_AD_Ictiofauna_Ictioplâncton_Macroinvertebrados*”, nas páginas 43 e 45 apresentam frases/parágrafos semelhantes, como informações repetidas referente a ictiofauna analisada: “*Os estágios de maturação gonadal (EMG) nas espécies nativas e introduzidas...*”.

Se tratando do estudo de *Ictiofauna genética*, para a avaliação das alterações moleculares das populações piscívoras foram utilizados os marcadores de diversidade genética das espécies nativas, redução populacional das espécies nativas e diversidade filogenética total das espécies nativas e exóticas. Destaque para a grande redução da diversidade filogenética das espécies nativas, com consequente simplificação da diversidade funcional.

Na página 41, o item 2.1.5 “*Síntese Gráfica*” apresenta a Figura 6 - *Síntese gráfica dos resultados do Ambiente Dulcícola*, apesar da notória importância gráfica, não consta explicações na legenda e nem no texto, que inclusive poderia apontar destaques relevantes para a interpretação. Esta ausência de informações pode ser tendenciosa, pois a interpretação pode variar a cada leitor.

Após leitura, o entendimento é de que a “*Síntese integrativa*”, apresentada no 4º Relatório anual do PMBA, está com a interpretação comprometida, tendo em vista as diversas utilizações seletivas de apenas alguns setores, indicadores e/ou grupos para cada análise específica, sem explicações, muitas vezes arriscando tendenciar os resultados do estudo e dificultando a compreensão dos reais resultados e suas tendências, o que pode prejudicar a análise, sem contar a ausência de integração do ambiente costeiro. Mesmo assim, seguem abaixo alguns apontamentos relevantes do tema.

Na página 10 do Relatório anual (RA2022_RT43) informa equivocadamente que “*a Síntese Integrativa é uma abordagem totalmente nova para o PMBA/Fest, apresentada pela primeira vez no RA2022*”, pois sempre ocorreu tentativa de entrega. No primeiro Relatório anual foram realizadas integrações nos documentos ART-27 à RT-32 e desde o segundo Relatório anual do PMBA vem sendo entregue documento a parte intitulados “*Síntese integrativa*” (RA2020_RT36E_ Síntese integrativa e RA2021_RT39E_ Síntese integrativa), entretanto desta vez foi elaborado e aprovado uma proposta com pontos de atenção para melhorias e necessidades na síntese integrativa, a fim de melhorar a interpretação dos impactos nos ambientes estudados.

A síntese integrativa foi realizada somente com o ambiente dulcícola e marinho, pois o ambiente costeiro não foi integrado neste relatório. Decisão esta dos técnicos do PMBA sem ao menos consultar e/ou informar a CT-Bio e Fundação Renova. E ainda na integração dos ambientes dulcícola e marinho foram utilizados apenas alguns setores/indicadores/grupos também definidos unilateralmente pela equipe técnica do PMBA. A preocupação é destas decisões causarem prejuízos a análise e interpretação, principalmente no que diz respeito a ausência do ambiente costeiro (localização intermediária entre os ambientes).

Nas páginas 173 a 178 do Relatório, as legendas das Figuras 39 à 43 - *Representação gráfica do resultado do modelo de equações estruturais*, devem apresentar os significados das siglas

apresentadas na imagem gráfica, para melhor leitura e interpretação.

4.3.1.2 Conclusões – Ambiente Dulcícola

a) Ecotoxicologia

Verifica-se uma forte influência dos processos hidrológicos, meteorológicos e de uso das margens da calha do rio Doce, dos lagos e lagoas sobre a dinâmica do ambiente aquático. De modo geral, há a corroboração do efeito crônico de carreamento de sedimentos contaminados através da bacia, com relação aos períodos chuvosos, quando também há verificação do fenômeno de ressuspensão dos sedimentos depositados no fundo do rio, das lagoas e lagos marginais. Estes processos meteorológicos (ventos, pluviosidade) interferem sobremaneira na biodisponibilidade dos elementos metálicos, tanto por variações dos parâmetros físico-químicos (que permitem uma maior dissociação iônica destes elementos) quando pelo próprio aumento da turbidez e da fração de material particulado em suspensão.

Ainda que haja a ausência de dados a respeito de concentrações de metais na biota, referentes à campanha 8, no quarto ano de monitoramento, algumas tendências foram apontadas para o ambiente dulcícola. Primeiramente, destaca-se a dinâmica dos produtores primários, com aumento da riqueza e diversidade ao longo do tempo, mas ainda sem uma completa reestruturação da comunidade. Além disso, evidencia-se que os produtores primários sofrem, na perspectiva do *fitness*, com os processos de disponibilização de metais na coluna d'água, o que implica em flutuações sazonais sobre os atributos da assembleia. Ademais, ainda se fazem presentes, nos ambientes lacustres, grandes frações de cianobactérias, em descumprimento aos padrões de qualidade de água estabelecidos em legislação para o uso seguro dos corpos hídricos com finalidade de dessedimentação, recreação e contato direto da população.

Em relação à fauna, ainda há uma desestruturação da comunidade zooplânctônica, que implica na disponibilidade de recursos de forrageio para os níveis tróficos superiores. Também esta assembleia apresenta menor riqueza em relação a dados pretéritos, e em especial dos atributos funcionais, não sendo estabelecido um equilíbrio trófico. Para a carcinofauna e ictiofauna, há uma desestruturação do fluxo gênico, comprometendo a variabilidade e o *pool* genético das populações, que podem se tornar mais vulneráveis a eventos mais drásticos de disponibilização dos contaminantes, perdendo-se o aspecto qualitativo das matrizes reprodutoras se houver novos eventos de mortalidade maciça. Os dados em DNA também são observados com a menor viabilidade reprodutiva, redução da taxa de eclosão e de viabilidade de larvas, pós-larvas (camarões) e juvenis (peixes).

Ainda neste aspecto, e em atenção à assembleia de peixes, há uma predominância de riqueza e abundância de espécies exóticas e potencialmente invasoras, com crescente proporção em gradiente longitudinal entre a nascente e a foz do rio doce, sendo os ambientes proximais ao estuário os que apresentam a maior desestruturação da comunidade. Estas espécies invasoras são mais tolerantes a condições desfavoráveis, como a contaminação pelos metais, e apresentam maior competitividade por recursos, como nicho reprodutivo e alimentar. Sendo assim, ainda neste quarto ano de monitoramento, não é possível estabelecer que haja uma estabilização da assembleia, e há indícios de perda da biodiversidade em decorrência da contaminação crônica.

b) Bacia Integração

A influência da precipitação na produção de água e no transporte de sedimentos, assim como aumento do fluxo de metais para a região do baixo Doce, torna-se evidente ao analisar o item em discussão. Ações como Manejo de Rejeitos no reservatório da UHE Candonga, a Recuperação de Nascentes (34,2% da meta), as Áreas Reflorestadas (27,1% da meta) e as Áreas de Preservação Permanente Recuperadas (29,2% da meta) ainda não foram suficientes para reduzir o transporte de sedimentos e rejeitos para o baixo Doce, de acordo com o período monitorado.

c) Limnologia

O rompimento da barragem de Fundão afetou tanto diretamente quanto indiretamente o ambiente dulcícola, com impactos observados em diferentes compartimentos (sedimento, coluna d'água e biota) e em diferentes níveis de organização biológica.

A qualidade da água foi comprometida, evidenciando o aumento na turbidez, na concentração de sólidos suspensos, de nutrientes e de matéria orgânica.

A contaminação por metais pesados, como alumínio (Al), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni) e cromo (Cr), destacou-se como um dos principais impactos negativos observados em relação à limnologia, afetando a saúde e a sobrevivência dos organismos aquáticos, com destaque nos impactos negativos causados às comunidades bentônicas do ambiente dulcícola.

A implementação de medidas de recuperação e conservação dos ecossistemas, como ações de reflorestamento e a criação de unidades de conservação baseadas em modelos que considerem a hidrologia e os processos de conectividade com os ambientes costeiros e marinhos, é fundamental para a recuperação dos ambientes afetados.

Eventos climáticos extremos são capazes de remobilizar materiais represados oriundos do rompimento da barragem de Fundão, intensificando os efeitos negativos sobre todo o sistema. Portanto, justifica-se a ampliação e/ou a manutenção da avaliação temporal dos efeitos do rompimento sobre a estrutura das comunidades.

As únicas inconformidades observadas para o Tema III - Limnologia referem-se à ausência de coletas nos meses de junho de 2022 e abril de 2023 (período de frequência amostral mensal para todos os pontos), sem justificativa apresentada.

d) Mineralogia

Os dados de composição mineralógica dos sedimentos e do material particulado em suspensão contribuem para o rastreamento do material oriundo do rompimento da barragem de Fundão e o entendimento do padrão de deposição, ressuspensão e transporte do material aportado pelo rio Doce.

Os resultados indicam que os impactos ainda persistem na região estudada, pois a presença de oxihidróxidos de Fe (marcadores de rejeito de mineração de ferro) foi identificada nos sedimentos e no material particulado em suspensão dos ambientes dulcícolas.

Se faz necessário o apontamento de alguns equívocos/inconformidades observados durante a análise do relatório do PMBA, no que se refere ao ambiente dulcícola:

No

Anexo_15125396_Anexo_1_Plano_de_Trabalho_Dulcicola_Costeiro_Marinho_Integracao (1), página 46, as coordenadas do ponto amostral E2 estão diferentes das coordenadas que constam na planilha *PMBA-A3D-SEDIMENTO_MINERALOGIA-DULC-20230531*, aba *malha_amostral*, pertencente aos dados brutos do Material Suplementar;

No

Anexo_15125396_Anexo_1_Plano_de_Trabalho_Dulcicola_Costeiro_Marinho_Integracao (1), página 46, consta que “*Os lagos (Zméd > 3,0 m) são Palmas, Nova e Juparanã, enquanto as lagoas (Zméd < 3,0 m) são Areal e Cacimbas e a laguna é representada por Monsarás. Os reservatórios são representados pelas represas de Aimorés e Monsarás*”, porém, provavelmente, o nome do reservatório seja Mascarenhas e não Monsarás;

No *Anexo 2_Material Suplementar*, arquivo *MS_AD_Mineralogia*, página 8, consta que “*A caulinita é o mineral ..., exceto nas lagoas Areal (E24 e E24-RL) e Cacimbas (E27 e E27-RL) (Figura 2)*”, porém, não são apresentados dados na figura 2 para os pontos E24-RL, E27 e E27-RL.

e) Qualidade de Água e Sedimentos

Com relação aos impactos e tendências relacionados à qualidade de água e sedimentos, pode-se concluir que o aumento da turbidez na água do rio Doce e de seus afluentes após o rompimento da barragem de Fundão é devido à presença de sedimentos em suspensão. Essa tendência foi observada em diversos pontos de monitoramento ao longo do tempo.

Essas alterações na composição química do sedimento, decorrentes do aumento significativo na concentração de metais pesados e outro contaminantes na água do rio Doce e de seus afluentes, podem modificar e afetar a biota aquática, incluindo a mortalidade de peixes e outros organismos, além de reduzir a diversidade de espécies e a alterar a estrutura das comunidades bióticas.

f) Fitoplâncton

Com base nas tendências identificadas no relatório, podemos concluir que o monitoramento do fitoplâncton em ambientes de água doce revela a influência significativa de variáveis ambientais, como precipitação, nutrientes e metais totais, na densidade e diversidade das comunidades fitoplanctônicas. A maior disponibilidade de recursos durante o período chuvoso promove condições favoráveis para o desenvolvimento de cianobactérias, enquanto o período de seca reduz o impacto dessas variáveis, mas ainda mantém influência significativa.

Essas conclusões ressaltam a importância do monitoramento contínuo do fitoplâncton em ambientes de água doce, a fim de compreender melhor as tendências e os fatores que influenciam a dinâmica dessas comunidades, contribuindo para a gestão e conservação dos ecossistemas aquáticos.

g) Zooplâncton

O monitoramento do zooplâncton de água doce na região do baixo rio Doce é fundamental para avaliar a qualidade ambiental e a biodiversidade aquática da região.

A composição taxonômica e funcional das comunidades zooplanctônicas varia ao longo do tempo e entre diferentes tipos de ambientes, refletindo possíveis impactos ambientais e antropogênicos.

Os metais (Al, Ba, Fe e Zn) podem influenciar a diversidade do zooplâncton, especialmente nas lagoas, durante o período chuvoso.

A contaminação do zooplâncton tem sido registrada ao longo dos anos do PMBA/FEST, com aumento do dano lipídico e concentração de metalotioneínas nesses organismos, reforçando a contaminação crônica do ambiente.

O monitoramento contínuo é necessário para avaliar a biodiversidade zooplanctônica na região e identificar possíveis impactos ambientais e antropogênicos.

h) Perifíton

O perifíton é um componente importante dos ecossistemas aquáticos, desempenhando um papel fundamental na ciclagem de nutrientes e na produção primária.

A análise dos dados de perifíton indicou uma diminuição da diversidade e da saúde fisiológica da comunidade durante os períodos secos, especialmente na foz do rio Doce, possivelmente relacionada aos aumentos de nutrientes e metais nesse período.

i) Macrófitas

O rompimento da barragem de Fundão em Mariana (MG) provocou impactos significativos na distribuição e diversidade das macrófitas aquáticas ao longo do rio Doce. A comunidade dessas plantas serve como indicador valioso de mudanças na qualidade do ambiente em resposta a variáveis como nutrientes, hidroquímica e flutuações hidrológicas. A presença de metais pesados, como alumínio (Al), arsênio (As) e cádmio (Cd), também afeta a saúde e o desenvolvimento das macrófitas. Esses impactos destacam a importância de monitorar e compreender as respostas dessas plantas às alterações ambientais desencadeadas pelo rompimento da barragem e pela presença de metais pesados na região.

j) Ictiofauna Dulcícola

Os principais pontos de destaque para o Tema X - Ictiofauna dulcícola, segue abaixo em suas subdivisões:

Macroinvertebrados:

- A menor riqueza taxonômica e abundância ocorreu na calha do rio Doce, enquanto maiores valores foram observados nos tributários;

- Houve dominância de formas indicadoras de impacto (coletores-catadores) nos trechos da calha do rio Doce.

Ictioplâncton:

- Anomalias morfológicas foram detectadas, incluindo deformidades e presença de sedimento avermelhado em cavidades internas;

- A calha do rio Doce é a principal região de desova de peixes e deriva de ovos e larvas.

Ictiofauna ecologia:

- Tendência de declínio na abundância, riqueza e biomassa para as espécies nativas dulcícola (predadores de topo da cadeia alimentar aquática);

- Maior desempenho reprodutivo das espécies introduzidas em relação às espécies nativas na região do baixo rio Doce.

Ictiofauna genética:

- Houve grande redução da diversidade filogenética das espécies nativas, com consequente simplificação da diversidade funcional.

4.3.1.3 Propostas de Encaminhamentos - Ambiente Dulcícola

a) Ecotoxicologia

Apresentar dados referentes à concentração de metais e arsênio na água e sedimentos, bem como as correlações a eles associadas;

Adequar, atualizar e, eventualmente corrigir a Matriz de Resultados e Análise Integrativa, diante da inserção dos dados referentes à concentração de metais e arsênio na água e sedimentos;

Utilizar a sugestão proposta na página 42 do relatório de fazer uso de abordagens funcionais como ferramenta na descrição de respostas em comunidades biológicas.

b) Bacia Integração

Os itens não observados e listados de (i) a (vii) devem ser abordados no próximo relatório. Quando não possível cumpri-los, é necessário apresentar as devidas justificativas, assim como as submetas que não foram apresentadas. Se possível, nos resultados dos fluxos de metais, incluir a análise de outros elementos que frequentemente estiveram acima dos padrões brasileiros ou normativas internacionais, tais como As, Cd, Ni, Cu, V e Zn.

c) Limnologia

Espera-se que a frequência amostral estabelecida para as análises limnológicas seja seguida e caso não seja possível, o fato deve ser relatado com as devidas justificativas;

Recomenda-se uma análise mais aprofundada e integrada das possíveis causas e consequências do rompimento da barragem de Fundão. Esta análise deve incluir a integração de dados e temas diversos, como limnologia, qualidade da água, sedimento, mineralogia e biodiversidade, para uma compreensão mais abrangente dos impactos do rompimento da barragem;

Sugere-se a elaboração de recomendações específicas para a gestão e conservação dos ecossistemas aquáticos afetados pelo desastre. Essas recomendações devem destacar possíveis áreas que

necessitam de monitoramento contínuo e identificar possíveis ações de mitigação;

Recomenda-se considerar a possibilidade de reorganizar a estrutura do relatório para facilitar a compreensão e a navegação, garantindo uma apresentação mais clara e lógica das informações. Como já relatado em análises anteriores, o relatório possui muitos arquivos separados, o que dificulta a análise;

Sugere-se melhorar a qualidade e a resolução dos gráficos e figuras, utilizando linhas com padrões e cores diferentes para cada ponto amostral, o que permitirá uma melhor compreensão do tema.

d) Mineralogia

No próximo relatório apresentar a concentração de Mn associada aos oxihidróxidos de Fe dos sedimentos ou justificar a ausência da concentração desse elemento nos resultados apresentados.

e) Qualidade de Água e Sedimentos

A análise dos documentos possibilitou a conclusão de que o relatório apresenta a necessidade de ajustes significativos em relação à estrutura textual, figuras e tabelas. Observa-se uma disposição que carece de clareza, evidenciando uma ausência notável de informações importantes. Para aprimorar a qualidade do relatório, sugere-se uma reorganização da estrutura textual, assegurando uma distribuição lógica e coerente das informações.

Também é crucial revisar a apresentação das figuras e tabelas, garantindo que estejam devidamente integradas ao texto e forneçam uma contribuição significativa para a compreensão de todo conteúdo. A inclusão de detalhes adicionais onde há lacunas de informações importantes, especialmente onde foi descrito anteriormente, enriquecerá a abordagem do relatório, tornando-o mais completo e esclarecedor.

Como sugestão, no próximo relatório deve-se avaliar a metodologia de análise das amostras de sedimento para o elemento mercúrio (Hg), considerando uma técnica que seja eficiente para quantificá-lo nessa matriz.

No item “2.1.3 - *Contextualização do ambiente*”, é recomendável a apresentação do mapa da Figura 1 com uma resolução aprimorada, especialmente no que se refere à legenda. Essa melhoria na qualidade visual é essencial para garantir uma interpretação mais clara e precisa do contexto ambiental em questão.

Adicionalmente, no item “2.1.5 - *Síntese gráfica*”, é imprescindível incluir um texto resumo que sintetiza as principais conclusões e descobertas representadas graficamente. Essa síntese é importante para aprofundar o entendimento do fechamento do estudo em relação aos resultados obtidos no ambiente dulcícola. Destacar os pontos-chave derivados das representações gráficas contribuirá significativamente para a compreensão global dos resultados, fortalecendo a coerência entre a análise gráfica e as conclusões, proporcionando uma visão abrangente do impacto no ambiente estudado.

No documento “*MS_AD_Qualidade de água e sedimentos*”, os resultados das amostras de água e sedimentos são apresentados em gráficos e tabelas. No entanto, é fundamental incluir, logo abaixo dessas figuras e tabelas, breves explicações que ofereçam maior detalhamento. Atualmente, o texto é bastante geral, o que pode resultar em confusão para o leitor em várias ocasiões. Ao acrescentar essas explicações, o entendimento será facilitado, proporcionando ao leitor informações mais precisas e contextualizadas sobre os resultados apresentados nos gráficos e tabelas. Isso garantirá uma interpretação mais clara e aprofundada dos dados, contribuindo para a qualidade e a compreensão do conteúdo do documento.

Ainda, no documento “*MS_AD_Qualidade de água e sedimentos*”, que abrange a análise de 30 elementos (Al, As, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Hg, Ho, La, Lu, Mn, Nd, Ni, Pb, Pr, Sm, Sn, Th, Tm, U, V, Yb e Zn), observa-se que alguns dos elementos terras raras (Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, Lu, Nd, Pr, Sm, Sn, Th, Tm, Yb) não são apresentados nos resultados fornecidos no material suplementar, sem que haja uma justificativa clara para essa ausência. Recomenda-se que esses elementos sejam devidamente incluídos nesses resultados do próximo relatório, acompanhados de explicações adequadas.

Por exemplo, se estiverem abaixo do limite de quantificação (LQ), essa informação deve ser explicitamente relatada nas tabelas de resultados do material suplementar, garantindo transparência e precisão da comunicação dos dados analíticos obtidos.

A Tabela 5 do “*MS_AD_Qualidade de água e sedimentos*”, abrange os recentes pontos de coleta, os quais correspondem aos reservatórios de Mascarenhas e Aimorés. É crucial ressaltar essa particularidade no título da tabela, visto que tal informação está disponível exclusivamente no texto geral do 4º Relatório Anual (RA2022-RT43).

A Figura 14 do documento “*MS_AD_Qualidade de água e sedimentos*”, que engloba os gráficos *box plot*, apresenta um problema na legenda lateral, a qual está cortada. Ademais, é observado que os limites estabelecidos pelo Conama não são visíveis no gráfico, constando apenas o limite estipulado pelo NOAA. Isso também é notado nos gráficos das figuras 6, 7, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20. Para aprimorar a visualização do gráfico, é recomendável ajustar a barra vertical de modo que ambos os valores de referência estejam claramente visíveis. Essa modificação garantirá uma representação mais abrangente, exibindo de forma adequada os limites estabelecidos tanto pelo Conama quanto pelo NOAA.

f) Fitoplâncton

Recomenda-se no próximo relatório apresentar os dados faltantes ou as devidas justificativas para a descontinuidade das campanhas (2019-2022), uma vez que esse fato ocorreu somente para os dados de fitoplâncton, e para os demais (zooplâncton e perifiton) não houve a descontinuidade de forma tão longa.

Na apresentação dos resultados na tabela 2 - pág. 37 do Anexo 1 - RA 2022 - RT43 do PMBA - não ficou claro qual a estação seca e chuvosa nas curvas de suavização. Solicita-se que no próximo relatório as informações sejam apresentadas separadamente por grupos bióticos X estação X período.

i) Macrófitas

A apresentação dos gráficos/dados deve ser melhorada (utilização de cores e linhas passíveis de diferenciação) para permitir/facilitar a compreensão. As figuras poderiam ser contextualizadas e/ou apresentar explicações para ajudar os leitores a entenderem melhor os dados apresentados.

j) Ictiofauna Dulcícola

Solicita-se que a Fundação Renova e a FEST/RRDM verifique e efetue as correções devidas apontadas ao longo do texto referente ao tema acima, a fim de manter a coerência entre o plano de trabalho, metodologia, planilha de dados brutos e relatório.

4.3.2 AMBIENTE MARINHO

4.3.2.1 Avaliação de Impactos Ambientais e Identificação de Tendências nos Parâmetros monitorados

a) Ecotoxicologia

Em consonância com as tendências já apresentadas, ao longo dos três anos anteriores de monitoramento, é apontado que os impactos identificados no compartimento biótico marinho mantêm suas características de distribuição espaço-temporal (Relatório Anual, Anexo 1, p. 49-62). Há uma inter-relação bem definida entre a vazão do Rio Doce e a distribuição do rejeito associado ao desastre, com uma dispersão predominantemente dominante no sentido sul-norte a partir da foz. No período chuvoso (representado pelas coletas de jan./fev.) o aporte se dá no sentido norte sul, com redistribuição por correntes marinhas ao longo do período seco (representado pelas coletas de set./out.). Tal fenômeno é corroborado com a marcação isotópica dos sedimentos, e a sua identificação na biota.

Os principais indicativos de contaminação da biota, em todos os níveis tróficos analisados, podem ser sintetizados na seguinte proporcionalidade:

- **Plâncton:** há uma tendência, ao longo do monitoramento, de aumento da abundância, mas com redução da riqueza. No 4º ano de monitoramento, o fitoplâncton apresentou menor fitness e maior acumulação histórica para o elemento Fe associado à Foz do Rio Doce. Já para o zooplâncton, os períodos chuvosos contribuem para a maior resposta aos contaminantes, sendo os níveis de As, Cd, Cr, Cu, Hg e Pb ainda mais elevados em relação aos dados pretéritos de rompimento. A maior contaminação do zooplâncton se concentra nas estações da Foz do Rio Doce, com relação aos elementos Ni, Hg, Cu e Cr, e na campanha do período seco, ao As.

- **Ictiofauna:** para o ictioplâncton, ainda se observa alta proporção de ovos inviáveis relacionados com os elementos Fe, Cr, Mn, Ba e Co. Para as larvas de peixes, parcela significativa é encontrada com o trato digestivo destruído, provavelmente relacionado com necroses resultantes do contato com os contaminantes mediante consumo de fito e zooplâncton, particularmente, nas amostras coletadas na Foz do Rio Doce, bem como na APA Costa das Algas e REVIS Santa Cruz. Na assembleia de peixes estuarinos, as espécies onívoras apresentam maior concentração de metais nos setores ao norte da Foz do Rio Doce (Mn, Cd, Al, Cr e Hg), e mesmo na FRD, há acúmulo de As e Fe, nos tecidos de brânquias e fígado. Já para os peixes carnívoros, há maior contribuição de contaminação aos elementos As e Hg, principalmente na FRD para os tecidos branquiais. Chama a atenção os resultados obtidos para o quarto ano de monitoramento ao grupo dos peixes recifais, com significativas mudanças na estrutura da comunidade, e altas concentrações em tecido branquial dos elementos Fe, Al, Ba, Cd, Cr, Mn e Pb.

- **Carcinofauna:** há indicativo de contaminação crônica da carcinofauna, com disseminação do impacto no sentido sul a norte a partir da FRD. O tecido que representa melhor os efeitos da contaminação como matriz para análises fisiológicas é o hepatopâncreas, para todos os metais e metalóides quantificados, e o indicador mais efetivo é a dosagem de metalotioneínas e peroxidação lipídica. Não foram apresentados dados relacionados com a concentração de metais no músculo dos animais especificamente relacionados ao ambiente marinho, não sendo estabelecidas tendências para tal. Contudo, destaca-se que há ruptura do fluxo gênico e diminuição da diversidade genética.

- **Corais e hidrocorais:** o marcador lipoperoxidação é o que apresenta maior efetividade ao monitoramento do coral *Mussismilia harttii* e do hidrocoral *Millepora alcicornis*. Dados apresentados do monitoramento ao ano quatro não permitem análise mais aprofundada e discussão sobre tendências dos marcadores fisiológicos para os táxons. Contudo, na campanha do 4º ano, há um aumento da concentração de Fe nos tecidos dos corais do setor de Abrolhos. (Relatório Anual, Anexo 1, p. 59).

- **Microbiota associada a corais/hidrocorais:** merece atenção o monitoramento da microbiota associada aos fundos recifais de Abrolhos, pela prevalência de desequilíbrio da comunidade. Há dominâncias de táxons por ponto amostral, diferindo a composição e proporção de abundância destes entre as estações. O grupo *Pirellulaceae* é indicador da contaminação crônica por metais, uma vez que foi notada a sua presença em todas as estações amostrais em Abrolhos (ABRC1, ABR01, ABR02 e ABR04) e ao sul da Foz do Rio Doce, em maior proporção a monitoramentos anteriores, e particularmente associado com o elevado nível de Fe no sedimento do setor.

- **Megafauna:**

1. *Tartarugas:* em toda a área de forrageio e desova das tartarugas marinhas (*Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, *Dermochelys coriacea*), observou-se uma alta ocorrência de doenças nos animais, inclusas fibropapilomatose, ectoparasitas e lesões oculares. Na análise dos ovos, todos apresentavam níveis elevados de concentração de metais, para o perfil completo analisado, bem como níveis elevados dos elementos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Zn e Pb) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) nos adultos. Além disso, há indicativos de contaminação crônica destes animais por alterações nos parâmetros fisiológicos, registrados nas análises hematológicas.
2. *Cetáceos:* para os cetáceos monitorados - toninhas e boto cinza - houve impacto na área de forrageio, com altas taxas de encalhe mesmo no quarto ano de monitoramento. Há redução da diversidade genética das populações, e processos infecciosos são indicativos de mortalidade dos animais. As toninhas apresentam representativa marcação de efeito crônico de contaminação do elemento Fe no tecido do fígado. Os marcadores de monitoramento para concentração de metais nos rins, fígado e músculo prevalecem com concentrações elevadas de Zn, Cu, Cd e, com destaque, As e Hg.
3. *Aves:* devido à ausência de dados de bioacumulação do último relatório anual, não é possível mensurar os níveis atuais de metais e metalóides nas aves monitoradas. Contudo, nos

relatórios pregressos, obteve-se a tendência de acumulação de metais nos adultos, conforme resultados da análise das penas e desvios dos parâmetros de saúde (hemograma). Ainda, houve um aumento nas concentrações de As, Cd, Pb e Hg entre os períodos pré e pós-rompimento da barragem para as espécies que usam a área do PARNA Abrolhos como refúgio reprodutivo, sugerindo um processo de contaminação crônica incluso pela menor viabilidade de prole.

b) Modelagem numérica

O indicador relacionado ao tema Modelagem Numérica, que é explicitamente tratado no ANEXO 2 Material Suplementar - MODELAGEM, é o denominado 'TURBIDEZ/ CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO NA COLUNA D'ÁGUA'. Este indicador está associado aos impactos denominados 'Aumento da concentração do material particulado em suspensão e turbidez' e 'Aumento na turbidez de fundo devido à ressuspensão provocada pela entrada de ondulações remotas', que são tratados no Relatório.

Com relação ao indicador, observa-se uma continuidade de sua distribuição por toda área de estudo, ao longo da costa, desde o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos até a Área de Proteção Ambiental Costa das Algas.

Nos períodos chuvosos a pluma do Rio Doce foi direcionada para S-SO paralelamente à costa, devido à ocorrência majoritária de ventos N-NE. Neste período a extensão (largura) da pluma de turbidez variou entre 9,6 km da costa em Degredo (ao norte da foz do Rio Doce) e ficando mais estreita (cerca de 9,3 km) ao sul da foz do Rio Doce no Setor APA Costa das Algas.

Os períodos secos apresentam uma maior extensão (largura) da pluma de turbidez, atingindo cerca de 32,7 km em Degredo e aproximadamente 27,2 km no Setor APA Costa das Algas. Esse comportamento está associado ao processo de ressuspensão de sedimentos de fundo a partir do aumento da ocorrência de ondas com maior energia (maior altura significativa e maior período de pico) associada à passagem de sistemas transientes e ondulações remotas, além do aporte sedimentar oriundo do rio e do transporte residual de sedimentos (deriva litorânea). Estas conclusões, ainda que sejam informações novas no tocante às figuras numéricas apresentadas, não alteram significativamente o corpo de conhecimentos já acumulados relacionados aos processos meteo-oceanográficos do ambiente marinho e em particular sobre o comportamento da turbidez.

Os resultados estimados das vazões litorâneas residuais mostraram que o transporte residual ocasionado pela deriva litorânea foi preferencialmente de Sul para Norte durante todo o período de monitoramento. Eventos de grande energia de ondas amplificam este processo. Estas afirmações até antes do presente relatório estavam mais no âmbito especulativo e qualitativo do que no quantitativo, que agora são confirmadas através de experimentos numéricos e podem ser consideradas melhores evidências.

Importante notar que constatou-se, novamente, que eventos de aumento significativo de turbidez foram decorrentes da passagem de sistemas transientes. O que foi mais uma vez confirmado tanto pela via experimental quanto pela da simulação numérica.

Durante o período seco, quando o aporte de sedimentos finos do Rio Doce reduziu drasticamente, confirmou-se (por mais esta via) que a pluma é mais extensa neste período, quando favorecida pela ação das ondas de SE e ventos intensos, com a pluma confinada junto à costa e transportada preferencialmente pela deriva litorânea na direção NE. Estas últimas afirmações também foram confirmadas tanto pela via experimental quanto pela da simulação numérica.

Na avaliação os impactos citados foram classificados como indiretos, contudo, o Relatório definiu (p. 91) que um impacto tem 'Relação com o Rompimento' direta quando: "é possível afirmar que o impacto é decorrente diretamente da passagem do material oriundo do rompimento da barragem ou está associado à presença do rejeito no ambiente." Afirmamos que os impactos citados acima são relativos ao aumento da turbidez e do material particulado. Este aumento na turbidez e no MPS foi demonstrado ser decorrente da passagem do material oriundo do rompimento, tanto por imagens de satélite quanto por medições da razão isotópica do MPS. Portanto estes impactos devem ser classificados como diretos.

c) Sedimentação Marinha:

O relatório observa que o padrão sazonal é caracterizado por aumento da vazão fluvial nos períodos chuvosos e aumento da energia associada às ondas no período seco. Desta forma, durante a estação chuvosa, a pluma do rio Doce é direcionada preferencialmente para Sul-Sudeste paralelamente à costa, e como consequência é observado um aumento da turbidez e na concentração de material particulado em suspensão, na redução da salinidade superficial no setor Foz e na APA Costa das Algas/REVIS Santa Cruz. Já durante o período seco, o aporte fluvial do rio Doce é direcionado para os setores Foz e Norte, e somado a energia das ondas, promove a ressuspensão de sedimento do fundo marinho e eleva a turbidez e a concentração de material particulado em suspensão. Observa-se que os valores de concentração de material particulado em suspensão apresentou uma leve redução ao longo do monitoramento, porém com valores ainda maiores do que os dados pretéritos.

Para analisar os dados de sedimentação marinha é importante retornar as informações do padrão sazonal, pois esta irá influenciar diretamente. De acordo com o apresentado no relatório, o “indicador de integridade dos habitats de fundos lamosos e arenosos nos setores Foz e Norte (Degredo e Barra Seca) e habitats da APA Costa das Algas/REVIS Santa Cruz apresentaram constantemente a presença de rejeitos, medida pelo indicador mineralógico de susceptibilidade magnética (IMS - Iron Mineralogical Set)”. A presença do rejeito foi observada na porção mais rasa - até 20 metros de profundidade, sendo o setor Foz o mais afetado, com feições erosivas em direção offshore e também foi observado um aumento de sinal no setor APA Costa das Algas/REVIS Santa Cruz.

Ainda de acordo com o apresentado no relatório, a redução da densidade superficial do sedimento de fundo resulta em uma menor resiliência aos processos de ressuspensão e maior suscetibilidade à remobilização, que somado com o aumento da energia de ondas resultam na perda da qualidade das águas no período seco.

d) Fitoplâncton:

Conforme descrito nos documentos, as análises de fitoplâncton seguiram o plano de trabalho para o grupo, sendo realizadas todas as coletas previstas. Entretanto, a documentação carece de detalhamento como, por exemplo, quanto à totalidade ou não de análises do material coletado.

Quanto aos resultados das análises, para o fitoplâncton, há tendência de melhora para todos os setores, em especial para o setor Abrolhos. Entretanto, o monitoramento ainda aponta uma comunidade com estrutura de “moderadamente” a “altamente alterada”. Para o grupo, que apresenta respostas tipicamente agudas às alterações do ambiente, o padrão de respostas se manteve condizente com o apresentado nos anos anteriores, especialmente na Foz. Como exemplo, a abundância se mostrou diretamente proporcional ao volume dos eventos hídricos na bacia do rio Doce. No sentido contrário, saúde fisiológica e diversidade do grupo apresentaram valores inversamente proporcionais a estes eventos.

Nos dados da campanha chuvosa do ano 4, foram registrados grandes volumes de chuva o que coincidiu com índices altos de bioacumulação para plâncton em geral. No setor Foz, os níveis médios de Fe foram os mais altos de todo o monitoramento. Da mesma forma, os setores Norte e APA Costa das Algas também responderam diretamente aos eventos hidrológicos do rio Doce, indicando a influência direta do rio na contaminação destes setores.

Apesar da típica resposta aguda do fitoplâncton às variações de contaminantes, em especial à variação da qualidade da água ao longo do monitoramento, o aumento dos danos lipídicos e a concentração de metalotioneínas (proteínas com alta afinidade à íons metálicos livres) no plâncton em geral reforçam a resposta crônica do impacto. Esta resposta é muito reforçada pelo zooplâncton, grupo que influencia de forma mais significativa os indicadores de bioacumulação e biomarcadores.

Assim, como impactos identificados até esta etapa do monitoramento para fitoplâncton temos o aumento na abundância de indivíduos e mudança na composição dos grupos taxonômicos (período seco e chuvoso) e a diminuição na saúde fisiológica da comunidade com base na clorofila ativa (período seco) para todos os setores e a diminuição da diversidade da comunidade fitoplancônica para o setor Foz (período seco).

e) Zooplâncton:

Conforme descrito nos documentos, as análises de zooplâncton seguiram o plano de trabalho para o grupo, sendo realizadas todas as coletas previstas. Entretanto, a documentação carece de detalhamento como, por exemplo, quanto à totalidade ou não de análises do material coletado.

Quanto aos resultados, para o zooplâncton, há uma defasagem temporal quanto às contaminações e devido à posição destes organismos na cadeia trófica e por características inerentes à evolução dos impactos. Em especial, ao longo do tempo, a fração particulada dos metais aumentou, tornando estes mais biodisponíveis ao zooplâncton que pode ingerir essas partículas.

Entretanto, devido ao ciclo curto de vida ainda é possível relação direta e aguda dos indicadores ecológicos, apesar de atenuada pelos motivos descritos, com os eventos hidrológicos e consequente aporte de contaminantes provenientes do rio Doce no ambiente marinho. Esta resposta está alinhada, no nível de comunidade, com as respostas obtidas pelo fitoplâncton. Esta relação é explicitada pelo aumento do índice de prevalência de espécies Indicadoras de impacto (IPI) e pela redução nos valores de Diversidade (H') e Equitabilidade (J) nos setores APA, Foz e Norte nos períodos de alta vazão do rio Doce.

Apesar de haver tendência de melhora dos indicadores ecológicos do grupo no setor norte ao longo do monitoramento, elementos como As, Cd, Cr, Cu, Hg e Pb, ainda são encontrados em níveis acima dos valores pretéritos para o zooplâncton, independente do setor.

É importante destacar que algumas variáveis comuns ao ambiente marinho, associadas à presença de rejeito nos sedimentos, podem ter influenciado os resultados para este grupo. Isso parece ter ocorrido, por exemplo, quando a diversidade de Shannon no período seco da quarta campanha não se comportou como o esperado. Dentre outros motivos possíveis, atribui-se os resultados ao revolvimento do sedimento em isóbatas menores devido à temporada de fortes ondas. Apesar desta correlação ainda precisar de reforço, ela pode demonstrar que, apesar da tendência de melhora de alguns indicadores ao longo do tempo, eventos naturais poderão disponibilizar contaminantes ainda por muitos anos.

f) Ictioplâncton:

Para este grupo, apesar de diferenças significativas entre setores, campanhas e períodos chuvosos, não houve a identificação de um padrão para a desova devido à grande variação do indicador ao longo do monitoramento. Entretanto, vale destacar que a proporção de ovos inviáveis coletados durante as atividades teve uma média de 50% ao longo do monitoramento. Em algumas coletas esse valor chegou a 90%. Como afirmam os pesquisadores, *“Testes estatísticos realizados com os parâmetros ambientais e as densidades de ovos de peixes ao longo do monitoramento mostraram que os ovos não viáveis têm relação direta com a alta disponibilidade de metais/semi-metais, principalmente manganês, cromo, ferro, bário e cobalto, oriundos do rompimento da barragem”*.

Considerando a diversidade de larvas, os valores médios foram considerados baixos para todos os setores, especialmente na coluna d'água onde foram encontradas entre 72% e 90% das espécies esperadas. Este padrão de baixa diversidade de larvas foi considerado impacto direto do rompimento e consequente disponibilização de contaminantes no ambiente.

Por fim, a destruição do trato digestório das larvas, que afeta a sobrevivência de longo prazo destes indivíduos, continuou sendo identificada ao longo do último ciclo do monitoramento. Apesar de ocorrerem desde Vitória até Abrolhos, as maiores concentrações dessas larvas ocorreram nos setores Foz do Rio Doce e APA Costa das Algas, corroborando sua relação direta com os impactos do rompimento.

g) Bentos de fundos inconsolidado:

As amostragens e análise para o grupo foram realizadas de acordo com o cronograma, segundo informado nos documentos entregues à CT-Bio.

Os bentos são uma fração biológica importante e intimamente ligados ao sedimento e, por isso, seus vestígios são considerados biodetritos. Os grupos taxonômicos *Mollusca* e *Polychaeta* foram definidos como indicadores por serem encontrados em altas densidades em diversas estações amostrais, além de serem táxons consagrados como bioindicadores de impactos em ambientes marinhos. Para *Mollusca*, foram consideradas também as partes moles encontradas nas amostras, o que indica organismos vivos durante a coleta.

Ao longo dos anos do PMBA, foram coletados praticamente 800.000 indivíduos, sendo eles triados, categorizados e identificados ao nível mais específico possível. A identificação ao nível de gênero ou espécie não é o foco do monitoramento.

Como tendência consolidada, a análise dos dados demonstrou que este grupo não diferiu significativamente em abundância quando comparadas as diferentes áreas de estudo. Entretanto, há diferença significativamente à menor quando consideramos as menores profundidades.

Diferentemente da abundância, a análise da riqueza apresentou diferenças significativamente à menor para o setor foz, em especial para as menores profundidades. O setor também apresenta menor riqueza para poliquetas, local onde este grupo apresentou maior abundância.

De forma geral, os resultados foram uniformes entre campanhas, havendo poucas variações deste padrão indicado acima. Entretanto, a qualidade ambiental parece ter se degradado ao longo das campanhas e isso se refletiu no aumento da proporção de vestígios de Mollusca, o que indicaria aumento da mortandade.

Um padrão esperado, e que surgiu de forma significativa para a diversidade de Simpson, por exemplo, foi o aumento da diversidade no setor Abrolhos. Para este mesmo indicador, o setor APA apresentou, de forma significativa, os menores valores para a diversidade.

Localmente, a diversidade das comunidades bentônicas diminuiu com o aumento do índice mineralógico do ferro - IMS e da proporção de sedimentos finos, que são sinais de acúmulo do rejeito. Importante destacar que a diversidade dos organismos indicadores, especialmente os táxons mais raros, diminuem drasticamente nas amostras com presença do rejeito, padrão que apareceu ao longo de todo o monitoramento.

Uma série de análises apontou o período seco de 08-22 como diferencial. O fato parece estar relacionado a um evento climático intenso (chuva) o que conseqüentemente aumenta a vazão do rio Doce e altera as características da foz e adjacências.

Apesar da maioria das análises não apontar diferenças entre os setores, quando ela ocorre, ocorre na Foz ou em Abrolhos, não coincidentemente, opostas pelo gradiente de impacto. Isto comprova a influência do rio sobre estes indicadores.

h) Fundos Recifais:

O tema “Fundos Recifais” contempla a caracterização e o monitoramento de ambientes recifais e bancos de rodolitos nas imediações do Parque Nacional Marinho de Abrolhos (área "A"); na área dos "recifes esquecidos" ao largo de São Mateus/ES (área "B"); ao largo da foz do rio Doce (na área próxima à quebra da plataforma continental - área "C"); na APA Costa das Algas (área "D"); e em Guarapari/ES. Também contempla a identificação de macroalgas e de algas calcárias incrustantes; amostragem a partir da colonização de substratos artificiais (placas), avaliação da condição fisiológica dos corais; análise quali-quantitativa de zooxantelas; coletas de dados abióticos (sensores instalados in situ, sensoriamento remoto e perfilagem da coluna d'água), quantificação de pigmentos clorofilianos e análise mineralógica de sedimentos. A complexidade dos ambientes recifais, sua sensibilidade e as diferentes escalas de resposta a estressores ambientais, conforme abordadas no PMBA, precisam ser levadas em consideração para a devida interpretação dos resultados.

De forma geral, foram cumpridas as metas propostas pelo Plano de Trabalho, bem como, foi coberta toda a malha amostral na periodicidade proposta (amostragens semestrais). Uma lacuna nos resultados deste quarto relatório é que não foram apresentados os dados referentes às metas 3 e 6 previstas no Plano de Trabalho, referentes à “Caracterizar a água sobrejacente aos recifes com fundeios multiparamétricos” e “Compilar e interpretar séries mensais, semestrais e anuais de dados de sensoriamento remoto cobrindo toda a malha do projeto”, respectivamente.

Quanto à caracterização dos impactos, no quarto ano de monitoramento foram identificados impactos nos seguintes componentes:

(i) Nos sedimentos depositados nos ambientes recifais e bancos de rodolitos, em que foram identificados: “a associação de sedimentos ferrosos com o rompimento da barragem foi demonstrada através de assinaturas microestruturais e químicas das partículas minerais ferrosas, as quais

foram similares entre as quatro áreas de estudo (inclusive nos sedimentos internos dos rodolitos) e aquelas oriundas do local onde ocorreu o rompimento da barragem”

(ii) Mudança na comunidade de macroalgas na setor APA Costa das Algas, em que foram observados nos primeiros anos de monitoramentos “o aumento na participação relativa de algas coriáceas, especialmente *Sargassum* spp., após o rompimento, com conseqüente redução na diversidade. Neste quarto ano de monitoramento foi registrada uma tendência recente, a partir de 2022, da recuperação na estrutura das comunidades, especialmente no sítio D19.”

(iii) DIVERSIDADE GENÉTICA DE SIMBIONTES DE CORAIS, em que foi registrados menores índices de riqueza e diversidade de organismos simbiontes na área mais impactada (Setor Recife Esquecidos) quando comparada com a área menos impactada (Setor Abrolhos).

(iv) COBERTURA BÊNICA DE RECIFES CORALÍNEOS, em que foram identificadas mudanças nas comunidades bentônicas dos ambientes recifais, associada aos efeitos do rompimento da barragem. As mudanças nas comunidades foram identificadas, principalmente, no grupo dos corais, onde foi registradas: “cobertura relativa aumentada do grupo funcional AGARICIAS, que abrange espécies com colônias relativamente pequenas, de crescimento mais rápido e vida mais curta, as quais tendem a ser relativamente mais resiliente. Por outro lado, a cobertura relativa pelos corais do grupo funcional MONTASTRAEAS, que abrange corais longevos e de crescimento lento, com esqueletos de alta densidade, tendeu a diminuir em todos os sítios após o rompimento, especialmente a partir de 2019. Um padrão semelhante de declínio também foi registrado para o grupo funcional das MUSSISMILIAS, que abrange espécies massivas de crescimento intermediário e alta longevidade, porém com inflexão a partir de 2018 ou 2019, a depender dos sítios.”

i) Ictiofauna e Carcinofauna Marinha:

A ictiofauna e a carcinofauna foram grupos extremamente impactados pelos efeitos da barragem de Fundão. A lista de impactos é vasta e abrange alterações comportamentais de indivíduos e populações, de parâmetros de saúde e fisiologia, alterações morfológicas, genéticas, ecológicas e químicas.

As análises realizadas ainda estão incompletas, mas trazem bom cenário a respeito destes grupos. Conforme informado nos documentos suplementares do relatório, os resultados dos índices de diversidade e estruturação genética de peixes estuarinos não foram apresentados neste relatório. A informação é importante e deve ser priorizada para o próximo documento.

A ictiofauna, em seu estágio pós-larval, apresentou melhora nos indicadores de diversidade ao longo do monitoramento, em especial nos seus últimos dois ciclos. Entretanto, claramente se mantém sob a influência da contaminação da foz do rio Doce, apresentando os menores índices de biomassa e abundância média quando comparado a outros estuários. A redução na biomassa pode indicar uma menor disponibilidade de indivíduos ou mesmo o subdesenvolvimento destas larvas, o que pode impactar diretamente tanto na disponibilidade de adultos aptos quanto na estrutura das comunidades. O setor foz foi o setor que apresentou o menor sucesso de coleta de pós-larvas dentre todos os monitorados.

Um dos achados mais emblemáticos para as pós-larvas na região da foz do rio Doce é a presença de lama aderida ao corpo das mesmas. Esta foi uma situação identificada ao longo de todo o monitoramento que é considerado um impacto diretamente relacionado ao desastre. Os efeitos dessa aderência ainda não são completamente conhecidos, entretanto, infere-se que, caso os metais comumente associados ao rejeito componham esta lama, a mesma possa interferir no metabolismo e no desenvolvimento destas larvas. O mesmo já foi identificado para ovos em ciclos anteriores do monitoramento.

Apesar dos impactos identificados para pós-larvas, o aumento dos índices de diversidade alfa na área de impacto, mesmo de forma não-significativa, aponta uma tendência de recuperação das assembleias de pós-larvas nas áreas amostradas.

Quando observados os peixes, os resultados do monitoramento apresentam uma tendência de declínio na densidade, biomassa e riqueza de espécies na região da foz do rio Doce. Outra alteração identificada é a redução da diversidade e da qualidade dos recursos consumidos por espécies estuarinas. Apesar de ser um impacto considerado indireto, este pode ser resultado da contaminação em níveis tróficos inferiores.

O comportamento destes animais também foi indiretamente alterado pelo rompimento. Fatores como a turbidez da água podem ser os responsáveis. Alterações no uso do habitat e na distribuição dos indivíduos pelo rio alteram o fluxo gênico na região e, quando associadas ao gargalo gerado pela alta mortalidade de peixes no auge da contaminação, alteram a diversidade alélica como foi identificado para peixes estuarinos. Neste contexto, algumas espécies reduziram ou pararam de subir o rio.

Quando é feita a análise de contaminação individual e relação com os componentes do rejeito, a microquímica de otólitos destacou-se pelos resultados claros, objetivos e incontestáveis. Além das brânquias, a acumulação de elementos químicos nos otólitos, registra condições às quais os peixes foram expostos. Para o bagre-guri, por exemplo, a relação Fe:Ca nos otólitos é quatro vezes maior que em estuários de referência. Em indivíduos vivos desde a data do rompimento, pode ser notada a “assinatura” do rompimento. De forma geral, para os peixes estuarinos, as concentrações de Al, Ba, Cd, Cr, Fe, Mn e Pb nos otólitos dos peixes estuarinos é um impacto direto e claro do rompimento, demonstrando que estes animais incorporaram os componentes disponibilizados e revolvidos pelo desastre.

Para os peixes recifais, o setor mais impactado foi o setor APA Costa das Algas/REVIS Santa Cruz, onde foram identificados menores valores de abundância, biomassa, índices de diversidade de espécies raras e comuns, além de uma composição de espécies diferenciada quando comparada com áreas de menor impacto situadas ao norte e sul da foz do Rio Doce. Adicionalmente, a diminuição na abundância de grupos tróficos-chave para os ambientes recifais também foi identificada. Estes impactos foram relacionados indiretamente ao rompimento.

Quanto à carcinofauna, as análises da variação espaço-temporal mostraram que não houve diferença significativa na variação da densidade, biomassa e riqueza de espécies de crustáceos entre a área impactada (Rio Doce) e as áreas indiretamente impactadas (São Mateus e Piraquê-Açu) ao longo de todo monitoramento.

De forma geral, alguns indicadores se diferenciam de forma significativa, entretanto sem desenhar uma tendência clara e objetiva quanto à relação com o rompimento. Como exemplo, pode-se citar a diversidade genética dos crustáceos marinhos na região da foz, a menor dentre as áreas estudadas.

j) Tartarugas Marinhas

Os impactos ambientais sobre a população de tartarugas marinhas, descritos na matriz de resultados, são:

- Contaminação por metais e metalóide - Grau crítico
- Contaminação por compostos orgânicos - Grau médio
- Alterações nos parâmetros reprodutivos - Grau alto
- Alterações da diversidade e estrutura genética - Grau alto
- Alterações nos parâmetros de saúde e fisiologia - Grau crítico
- Doenças e presença de agentes infecciosos - Grau crítico

Os impactos relacionados à contaminação de metais e metalóides na tartaruga verde; à alteração nos parâmetros reprodutivos, de saúde e fisiologia; e doenças e presença de agentes infecciosos foram classificados como diretamente vinculados ao rompimento da barragem de rejeitos; a contaminação de metais e metalóides para os ovos da tartaruga cabeçuda foi definido como impacto indireto; e para os demais impactos não há relação definida ainda.

Diversidade Genética

No geral, as alterações da diversidade e estrutura genética foram classificadas como altas para tartarugas marinhas na região afetada do ES.

De acordo com os dados apresentados no relatório, os juvenis de *C. mydas* e as populações de *Dermochelys coriacea* e de *C. caretta* do Espírito Santo evidenciaram perda de haplótipos mitocondriais de linhagens exclusivas do Atlântico Sudoeste e conseqüentemente menor diversidade haplotípica quando comparadas com as populações da Bahia, e entre os períodos Pré e Pós desastre no ES. Para todas as espécies foi constatado também gargalo populacional recente.

Avaliação da Saúde

Caretta caretta

Quanto aos parâmetros de saúde, diferente do observado na área controle (Praia do Forte e Arembepe-BA), na área impactada no ES (Praia de Povoação e Regência) houve tartarugas marinhas com condição corporal média ou ruim, além de maior presença de ectoparasitas e fibropapilomatose na área diretamente afetada pela pluma de rejeitos e lesões oculares e maior carga epibiônica.

No que se refere aos metais pesados, as tartarugas cabeçudas da área afetada no ES apresentaram um aumento significativo no Ano 4, em relação ao Ano 1, nas concentrações de As, Cd, Cr, Fe, Hg, Pb e Zn no plasma, enquanto os níveis de Cu e Mn diminuíram.

Os ovos recém colocados apresentaram concentrações detectáveis de todos os metais analisados, demonstrando que houve transferência materna para a espécie. Foi possível observar ainda a transferência de contaminantes do sedimento para os ovos das tartarugas, durante o período de incubação, uma vez que os natimortos apresentaram níveis significativamente mais elevados de alguns metais pesados.

No âmbito dos dados reprodutivos apresentados pelo relatório, os metais tóxicos (As, Cd, Hg e Pb) correlacionaram-se negativamente com o número total de ovos no ninho e a taxa de eclosão, e positivamente com o tempo de incubação, número de natimortos e ovos não eclodidos nas tartarugas cabeçudas, ou seja, quanto maior a concentração desses metais nos ovos e natimortos, menor a taxa de eclosão e o número de ovos no ninho e maior o tempo de incubação, o número de natimortos e ovos não eclodidos.

Entretanto, destaca-se que os resultados do monitoramento reprodutivo realizado pela Fundação Projeto Tamar – FPT, em atendimento ao Termo de Referência no 4 – Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, referente ao cumprimento da Cláusula 165 do TTAC, não identificou aumento no tempo de incubação, de natimortos e de ovos não eclodidos, nem diminuição da taxa de eclosão para o período pós desastre (2015 – 2021) em relação ao período pré desastre (2009 a 2014). Contudo, a FPT destaca que a presença dos contaminantes sobre o sucesso reprodutivo e outros parâmetros demográficos ainda não é bem compreendida, e que alterações nos parâmetros reprodutivos que possam estar relacionados aos contaminantes podem demorar muitos anos para se manifestar.

Chelonia Mydas

Quanto aos parâmetros de saúde, o relatório traz à informação de que ao longo dos 4 anos de monitoramento do PMBA/Fest, as tartarugas verdes juvenis que se alimentam na APA Costa das Algas - em Santa Cruz (ES) estão menos saudáveis (alterações em parâmetros clínicos, bioquímicos e hematológicos) comparadas com a área controle da BA (Coroa Vermelha), com destaque para maior prevalência da fibropapilomatose e de ectoparasitas.

No que se refere aos metais pesados, as tartarugas verdes juvenis que se alimentam na área impactada (ES) tiveram um aumento significativo nas concentrações dos metais Cd, Cr, Cu e Hg no plasma, no Ano 4 em relação ao Ano 1, já os metais Fe, Mn e Zn diminuíram suas concentrações. O relatório conclui que as altas concentrações de metais no sangue das populações de tartarugas verdes da região de Santa Cruz (Aracruz) demonstram o impacto direto do rompimento das barragens nessa espécie.

Dermochelys coriacea

No que se refere aos metais pesados, os ovos recém colocados também apresentaram concentrações detectáveis de todos os metais analisados, demonstrando que houve transferência materna na tartaruga de couro. Também foi possível observar a transferência de contaminantes do sedimento para os ovos das tartarugas, durante o período de incubação, uma vez que os natimortos apresentaram níveis significativamente mais elevados de alguns metais pesados.

No âmbito dos dados reprodutivos apresentados pelo relatório, foram encontradas correlações positivas entre os metais tóxicos e o número de ovos não eclodidos e o tempo de incubação e correlações negativas entre os metais tóxicos e a taxa de eclosão.

Assim como para os resultados de *C. caretta*, o relatório do monitoramento reprodutivo realizado pela Fundação Projeto Tamar – FPT não identificou aumento no tempo de incubação e de ovos não eclodidos, nem diminuição da taxa de eclosão para o período pós desastre (2015 – 2021) para a *D. coriacea*.

Síntese Integrativa

O relatório apresenta análise de síntese integrativa, considerando diferentes abordagens, como Mapeamento Sistemático da Literatura, Modelos Conceituais, Análise da Paisagem e dados pretéritos, Processos e indicadores da qualidade ambiental, Vias de Desfechos Adversos (VDAs), e Relações ambientais no nível da comunidade e ecossistemas. Para as VDAs, foi feito um modelo para tartarugas marinhas, representando um nível trófico mais elevado.

De acordo com o relatório, as Vias de Desfecho Adversos são construções conceituais desenvolvidas para apoiar a avaliação de risco, por meio da descrição da sequência de eventos biológicos que se relacionam a partir da exposição a um estressor ambiental até um efeito adverso específico de interesse regulatório, em um organismo ou população.

O modelo gerado para tartarugas aponta como os dados de saúde das tartarugas estão relacionados em uma sequência de eventos a partir de fontes de exposição (água, sedimento, plâncton, corais, crustáceos e peixes) e consequente bioacumulação de metais, encontrados em natimortos, ovos (cascas e inteiros) e no plasma, que pode levar à geração de espécies reativas de oxigênio (EROs).

O relatório detalha os processos que podem estar ocorrendo nas tartarugas marinhas a partir do desdobramento de eventos chave organizados em sequência lógica a nível de células e tecidos até o alcance de indivíduos e população. É informado que o estresse oxidativo induzido por metais pode causar danos moleculares e celulares, constatados por alterações nas atividades da CPK, ALT e AST. Tais danos podem levar à morte celular e respostas inflamatórias, expressos em alterações significativas da série vermelha e branca do hemograma das tartarugas. Segundo o modelo, quando persistentes, esses efeitos a nível molecular e celular são traduzidos em alterações do desenvolvimento e comprometimento da imunidade, eventos-chave representados pela alteração no crescimento, morte de indivíduos e presença de fibropapilomatose, que sucedem o desfecho adverso de interesse regulatório, que seria a perda da diversidade genética e tamanho da população.

É destacado também que metais e outros contaminantes aumentam a demanda metabólica dos indivíduos afetados, e que esse desgaste energético (constatado para as tartarugas marinhas a partir de alterações em marcadores como glicemia/glicose, colesterol total, albumina e proteínas totais) pode vulnerabilizar os indivíduos, comprometendo a imunidade e o desenvolvimento adequado e consequentemente, levando ao desfecho adverso de interesse regulatório. Além disso, é informado que alguns metais e outros contaminantes podem agir como desreguladores endócrinos, comprometendo o desenvolvimento reprodutivo das tartarugas. Como consequência, pode ocorrer uma redução da fecundidade e postura de ovos associada a presença de metais, afetando significativamente o tamanho da população e diversidade genética.

Como as sequências apresentadas no modelo serão validadas e atualizadas conforme o avanço analítico, faz-se importante a continuidade do monitoramento reprodutivo, de saúde e genética das tartarugas marinhas, inclusive com maior integração dos dados reprodutivos.

Outra consequência que a contaminação por metais pode causar é a alteração na proporção de machos e fêmeas da ninhada. Apesar de não haver muitos trabalhos a respeito, estudo realizado por Barraza et al. (2023), identificou que cádmio, antimônio, cobalto, chumbo e bário tiveram relações significativas com a proporção sexual de ninhadas de tartaruga verde. Os autores concluem que os contaminantes, possivelmente, afetem a proporção sexual e o desvio da proporção sexual, tendendo à feminização.

Assim, considera-se importante a inclusão da análise da verificação sexual de uma proporção dos filhotes e da temperatura dos ninhos por meio de *data loggers* (termômetros), uma vez que este fator também influencia na determinação sexual. Assim, as informações serão importantes para melhor avaliação das alterações nos parâmetros verificados, além de fornecer mais subsídios para análise de correlação com fatores como o vazamento de rejeitos e mudanças climáticas, dentre outros.

Referência:

Bibliografia - Barraza AD, Young L, Smith CE, Booth DT, Hof CAM, Finlayson KA, Leusch FDL and van de Merwe JP (2023). Exploring contaminants as a disruptor of temperature-dependent sex determination in sea turtle hatchlings. *Front. Mar. Sci.* 10:1238837. doi: 10.3389/fmars.2023.1238837.

k) Cetáceos

Ajustes técnicos de malha e frequência amostral foram propostos para o novo ciclo do PMBA. Para o tema Megafauna-Cetáceos, foram definidos os seguintes estudos no Plano de Trabalho apresentado pela Fundação Renova, com levantamento trimestral e esporádico (encalhes): uso do habitat, encalhes nas praias do litoral do Espírito Santo, diversidade genética, histopatologias, análise de contaminantes, estimativa de idade, maturação e taxa de fecundidade, ecologia trófica partir de isótopos estáveis e interação dos pequenos cetáceos com a pesca.

No presente Relatório Anual, para avaliar o impacto nas espécies de cetáceos do litoral do ES referente ao rompimento da barragem de Fundão em Mariana, dois indicadores foram removidos, a saber: I) Taxa de distribuição espacial de encalhes de cetáceos na costa do Espírito Santo, e II) Taxa de distribuição espacial de encalhes de cetáceos do Espírito Santo em relação à Foz do Rio Doce, permanecendo apenas 3 indicadores. A justificativa para a remoção dos indicadores foi que estes parâmetros não foram úteis para a finalidade de avaliação de impacto.

Além disso, os parâmetros “Ocorrência de *Sotalia guianensis* e *Pontoporia blainvillei* na região que abrange a foz do rio Doce até a foz do rio Piraquê-açu, presença de filhotes na composição dos grupos observados e registro de comportamento de alimentação” e “Interação dos cetáceos com a pesca” não foram contemplados no Novo Ciclo do PMBA/Fest em agosto de 2022, sendo que foram avaliados de setembro de 2018 a julho de 2022.

1. Resultado dos indicadores analisados

1.1. Taxa anual de encalhes, de distribuição sazonal e espacial e de óbitos de cetáceos na costa do Espírito Santo

1.1.1 Taxa anual de encalhes de cetáceos na costa do Espírito Santo. Atenção especial para Odontocetos (*Sotalia guianensis* e *Pontoporia blainvillei*)

Durante os quatro anos de estudo ao longo da costa do Espírito Santo, foram registrados 13 gêneros, destacando-se duas espécies principais: o boto-cinza (*Sotalia guianensis*) e a toninha (*Pontoporia blainvillei*). No período chuvoso, ocorreram 35 encalhes, sendo 80% de botos-cinza (n=28) e 20% de toninhas (n=7). No período seco, houve 42 ocorrências com sete espécies, onde o boto-cinza representou 59,5% (n=25) e a toninha 4,7% (n=2) dos encalhes.

Ao longo dos anos, os botos-cinza apresentaram mais encalhes de machos do que fêmeas, sendo que no Ano 4, os machos superaram as fêmeas em 9,5%. As toninhas também exibiram essa tendência, com exceção da fase Pré-rompimento, na qual o número de encalhes de fêmeas foi o dobro do de machos, e na fase Pré-PMBA/Fest, onde os machos tiveram sete vezes mais ocorrências do que as fêmeas. No Ano 4, os machos de toninhas apresentaram 22,2% a mais de encalhes em relação às fêmeas. Vale destacar que esses resultados devem considerar que nem todos os animais puderam ser sexados devido às condições das carcaças encontradas, apresentando 11,3% de indeterminados no Ano 4 e 32,3% no somatório dos anos de monitoramento no caso dos botos-cinza, e 55,6% no Ano 4 e 46,6% no total no caso das toninhas.

No caso dos botos-cinza, no Ano 4, os encalhes mais frequentes foram de animais adultos (66%), mantendo a predominância observada nas demais fases de monitoramento. A análise histórica indicou que o maior percentual de filhotes ocorreu na fase de Ano 1 (12,8%), 9,8% acima da fase Pré-rompimento. Já a maior ocorrência de encalhes de juvenis foi na fase Pré-PMBA/Fest (42,5%), 11,5% acima da fase pré-rompimento. Esses resultados sugerem impacto dos rejeitos na mortalidade de botos-cinzas jovens após o rompimento da barragem.

Para as toninhas, no Ano 4, a faixa etária predominante continuou sendo a de animais juvenis (55,6%). Na série histórica, o maior percentual de filhotes foi observado na fase Pré-PMBA/Fest e na fase Ano 4, 17,2 % acima da fase Pré-rompimento. A maior ocorrência de encalhes de toninhas juvenis ocorreu na fase Pré-PMBA/Fest (42,5%), 10,9 % acima da fase Pré-rompimento. Esses achados indicam possíveis impactos contínuos dos rejeitos na mortalidade de toninhas jovens nos primeiros anos após o rompimento da barragem.

1.1.2 Taxa de distribuição sazonal de encalhes de *Sotalia guianensis* e *Pontoporia blainvillei* na costa do Espírito Santo

Os encalhes de *S. guianensis* não mostraram uma frequência mensal específica, mas ao considerar o total das fases, destacaram-se em março (12,3%), coincidindo com aumento nas fases Pré-PMBA/Fest e Ano 1. No Ano 4, o maior percentual ocorreu em dezembro (15,1%). Em relação às estações do ano, os encalhes de botos-cinza predominaram no verão nos Anos 1, 3 e 4, assim como no total geral (28,2%). Os encalhes se concentraram no período chuvoso em todas as fases do monitoramento.

No caso das toninhas, os encalhes predominaram na primavera no Ano 4, registrando recorde para esta estação ao longo da série histórica (55,6%), enquanto, nas outras fases do monitoramento, os encalhes ocorreram no verão. Na fase Pré-PMBA/Fest, os encalhes concentraram-se fora da época usual, coincidindo com o inverno (46,7%), possivelmente associado aos efeitos do impacto dos rejeitos da barragem. Em todas as fases, os encalhes predominaram na época das chuvas, porém na fase Pré-PMBA ocorreu uma inversão neste padrão, sugerindo um potencial impacto Pós-rompimento para essa espécie neste período.

1.1.3 Taxa de óbito para *Sotalia guianensis* e *Pontoporia blainvillei* do Espírito Santo por diagnóstico da causa morte

Considerando as duas espécies alvo deste monitoramento, 57,2% dos diagnósticos de causa de óbito foram indeterminados, em média ao longo de todas as fases. No Ano 4, esse percentual chegou a 86% no caso das toninhas e 57% em botos-cinza.

O emalhe predominou como diagnóstico conclusivo em ambas as espécies, 32% no caso dos botos-cinza e 58% no caso das toninhas, em média. No Ano 4, esse diagnóstico bateu recorde no caso das toninhas, chegando a 67%. Os processos infecciosos constituíram a segunda causa principal de óbitos para as duas espécies entre as fases. As demais causas como traumatismo e causas naturais estiveram abaixo de 4% e 15%, respectivamente, no caso dos botos-cinza e toninhas.

1.2 Saúde dos Cetáceos

Na apresentação dos resultados dos indicadores, não foram fornecidos dados numéricos sobre a amostragem do material analisado pela histopatologia, a qual, com poucos exemplos, evidenciam sinais de comprometimento de órgãos vitais para a manutenção da saúde. Diante da alta taxa de diagnósticos de causa de óbito indeterminados (no Ano 4, 86% para toninhas e 57% para botos-cinza), inferir diretamente sobre a saúde dos cetáceos é um desafio.

Contudo, as elevadas taxas de encalhe registradas podem também estar vinculadas ao comprometimento da saúde da população. Além disso, a detecção de altas taxas de contaminantes nos órgãos e tecidos podem promover a supressão da imunidade e desencadear uma variedade de efeitos adversos na saúde dos animais.

A abertura do arco neural, considerada uma anomalia congênita em pequenos cetáceos, foi encontrada em uma frequência maior nos espécimes avaliados pelo PMBA/Fest do que o descrito na literatura, mas precisa de maior aprofundamento para análise.

Além dos microorganismos encontrados desde o início do monitoramento, uma nova espécie (*Koserella trabulsii*) e um novo gênero de bactéria (*Streptococcus*) foram encontrados no Ano 4. Essa variação de microorganismos, muitos deles patogênicos, pode indicar influência das mudanças ambientais e pode interferir na saúde dos indivíduos.

1.3 Alterações nas concentrações de contaminantes em *Sotalia guianensis* e *Pontoporia blainvillei*

Nos botos-cinza analisados, as concentrações mais elevadas de HgT foram encontradas no fígado, as quais estão acima do limite de tolerância estabelecido na literatura que pode causar danos hepáticos nos mamíferos marinhos, seguido do rim e do músculo. As concentrações hepáticas médias dos indivíduos de botos-cinza analisados (n=175) durante os anos de monitoramento do PMBA/Fest encontram-se na mesma ordem de grandeza que as médias mais elevadas do Brasil.

Considerando as diferentes regiões da costa do Espírito Santo analisadas, os indivíduos de *Sotalia guianensis* apresentaram mediana das concentrações hepáticas de Arsênio (As) maiores que a reportada na literatura. As concentrações dos outros elementos-traço estão na mesma ordem de magnitude das reportadas na literatura, que abrange estudos realizados em locais mais urbanizados e industrializados que a costa do ES. No rim, as concentrações medianas de Cd estão maiores que as reportadas na literatura para a espécie, com destaque para a região Barra do Riacho/Metropolitana. Na região 1 (São Mateus), as concentrações hepáticas de Cu e Mn e renais de Mn e Zn Dão significativamente maiores que na Região 5 (Extremo Sul) (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$).

Considerando os diferentes Anos de monitoramento do PMBA/Fest, houve um aumento significativo nas concentrações hepáticas de As nas regiões de São Mateus e Barra do Riacho/região metropolitana (3/4), enquanto no Extremo Sul, embora não tenha sido estatisticamente significativo, o Ano 3 registrou a maior mediana. Para os demais tecidos, as maiores medianas também foram observadas no Ano 3. As concentrações elevadas de As destacadas neste relatório reforçam os riscos enfrentados pelos cetáceos na área afetada pelo rompimento da barragem de Fundão. Houve uma redução significativa nas concentrações de As encontradas no rim na região 3/4-Barra do Riacho/Metropolitana no Ano 2. Nessa mesma região, a diferença entre o segundo e o terceiro ano é principalmente devido a um indivíduo com uma das maiores concentrações registradas (EAE_S117: 3,3 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso úmido). As altas concentrações de Cd destacadas no relatório reforçam os riscos enfrentados pelos cetáceos na área afetada pelo rompimento da barragem de Fundão.

As concentrações medianas de Mn e Fe no fígado das **toninhas** (*Pontoporia blainvillei*) analisadas no PMBA/Fest permanecem maiores que as dos animais Pré e Pós-rompimento da barragem de Fundão (período entre 2015 a 2019; Manhães et al., 2022), assim como as concentrações medianas de Cd no rim. As concentrações musculares de As e as concentrações hepáticas de Zn nos animais analisados no Ano 4 foram significativamente maiores do que aquelas do Ano 2 do PMBA/Fest.

Organoclorados

Altas concentrações de ΣPCB foram encontradas em **botos-cinza** de todas as regiões monitoradas, assim como em um macho de golfinho-de-dentes-rugosos, ultrapassando os 17 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ lip, sugerindo efeitos prejudiciais em mamíferos marinhos. O aumento da amostragem de toninhas (17) revelou elevação nas concentrações de DDT neste monitoramento. As medianas das concentrações de PCBs no tecido adiposo subcutâneo de botos-cinza (n=168) aumentaram gradativamente do Norte (região 1-São Mateus) para o sul (região 5-Extremo sul), com diferença significativa entre a região 1 e as regiões 3/4 (Barra do Riacho/região metropolitana) e 5. Quanto aos pesticidas organoclorados (DDT, HCB, HCH e Mirex), as concentrações foram semelhantes entre as regiões. Temporalmente, os pesticidas organoclorados mostraram concentrações mais altas nos Anos 3 e 4 do PMBA/Fest.

O perfil de contaminação dos organoclorados nas **toninhas** é dominado por DDTs, seguido de PCBs, mirex, HCB e HCHs, diferentemente o que foi observado nos botos-cinza, cuja predominância foi de PCBs, com maior contribuição de DDT observada na região 1. Porém, as concentrações encontradas de PCB nas regiões 2 (Rio Doce), 3/4 e 5 e em 31% dos animais analisados na região 1 ultrapassam o limite estabelecido para efeitos adversos para a saúde dos cetáceos.

Nas regiões 1 e 3/4, as concentrações de DDT em botos-cinza aumentou gradativamente ao decorrer dos anos de monitoramento. Atualmente, as concentrações de DDTs em toninhas são mais altas do que as concentrações de PCBs, o que difere dos padrões observados em botos-cinza na mesma região e em cetáceos costeiros do sudeste do Brasil. As concentrações de mirex em botos-cinza também

apresentaram aumento gradativo ao longo dos anos de monitoramento na costa do ES e as de HCB foram maiores nos anos 3 e 4 respectivamente.

Compostos Organobromados

Em botos-cinza, foi observado um aumento gradual de compostos orgânicos naturais com diferenças significativas entre os períodos de monitoramento. As concentrações de PBDEs aumentaram desde o período Pré-PMBA/Fest e o Ano 3 na região 1, e são semelhantes às observadas em locais altamente impactados na costa do Brasil. As concentrações de compostos organobromados de origem natural e antrópica são semelhantes para as toninhas na mesma região.

Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs)

As concentrações medianas encontradas em golfinhos-de-dentes-rugosos (*Steno bradanensis*) são maiores que as observadas em botos-cinza e toninhas. O perfil encontrado em golfinhos-de-dentes-rugosos e botos-cinza é predominantemente de alto peso molecular, enquanto nas toninhas apresentam predominância de compostos de baixo peso molecular.

O benzo(a)pireno possui alto potencial carcinogênico em mamíferos e já foi sugerido como a principal causa em promover neoplasias em belugas (DESFORGES et al., 2012). As concentrações encontradas na área de estudo são maiores ou estão na mesma ordem de grandeza que as encontradas em outras regiões que sofrem altos impactos ambientais.

1.4 Estrutura etária e sexual das populações de *Sotalia guianensis* e *Pontoporia blainvillei*

Destaca-se uma maior frequência de encalhe de **botos-cinza** maduros, com médias de idade de 12,34 anos para fêmeas e 11,06 anos para machos ao longo dos anos 1,2,3 e 4 do PMBA/Fest. As classes etárias mais comuns nos encalhes são de até 6 anos. Além disso, os dados indicam um aumento da idade média dos animais encalhados em relação à literatura. Apesar das discrepâncias na frequência de machos imaturos através dos dados obtidos das análises das gônadas (possivelmente um artefato da amostragem, que é cerca de 50% menor no caso das gônadas em relação aos dentes), os resultados levantam preocupações sobre a maior mortalidade de botos-cinza com alta capacidade reprodutiva, o que pode impactar a persistência da espécie na região.

No caso das toninhas, a classe etária mais frequente nos encalhes foi de indivíduos até 4 anos. Devido ao baixo N amostral, não foi possível a análise da estrutura etária e da maturidade sexual da espécie na costa do Espírito Santo, sendo necessário a continuidade do monitoramento e do aumento da amostragem para a compreensão do impacto na sua persistência na região.

1.5 Índices de diversidade e estruturação genética dos cetáceos

As coletas foram realizadas nos indivíduos mortos encalhados nas praias da costa do Espírito Santo, divididas nas seguintes regiões para análise: Região Norte (sob influência do Rio São Mateus, Região Central (Rio Doce e Rio Piraquê-Açu) e Região Extremo-Sul.

Sotalia guianensis

No total, foram analisados 351 indivíduos de *Sotalia Guianensis*. Os resultados indicam uma perda expressiva do número de haplótipos conforme resultados da análise espaço-temporal (Pré e Pós-rompimento) nas diferentes regiões avaliadas na costa do Espírito Santo, para três haplótipos nas regiões Norte + Central, e somente dois haplótipos na região Extremo Sul no período Pós-rompimento da barragem.

Os valores de diversidade genética mitocondrial para a espécie foram moderados nas regiões avaliadas. A região sob influência direta do Rio Doce apresentou os menores valores,

especialmente no período pós-rompimento, indicando uma redução acentuada na diversidade genética.

Foram identificados 13 haplótipos, com compartilhamento observado entre os períodos Pré e Pós-rompimento, bem como entre as regiões avaliadas (Norte/Central e Extremo Sul). Os valores encontrados na análise da estruturação genética mitocondrial indicam duas populações: Região Norte + Região Central e Região Extremo Sul e estruturação temporal em Pré e Pós rompimento.

Para a análise de diversidade genética nuclear foram avaliados 251 indivíduos no total, cujos valores evidenciam índices de diversidade genética baixos. As análises dos índices de estruturação genética nuclear também revelam uma estruturação genética entre a Região Norte + Região Central e a Região Extremo Sul, indicando duas populações distintas e uma estruturação temporal entre os períodos Pré-rompimento (N=88) e Pós-rompimento (N=163). Assim como os valores baixos do índice F_{st} sugerem intenso fluxo gênico entre essas populações, o gráfico da média da probabilidade log (Lk) indica a presença de somente uma população.

Pontoporia blainvillei

Através da análise dos índices de diversidade genética mitocondrial, não foi observada estruturação genética entre os períodos e regiões, indicando uma única população no litoral do Espírito Santo. Apesar do aumento amostral, a diversidade genética mitocondrial permanece baixa, com um haplótipo principal em 97% da população.

1.6 Razão Isotópica de C e N em amostras de Sotalia guianensis e Pontoporia blainvillei

Foram considerados apenas os resultados provenientes de indivíduos adultos e jovens, com base na maturidade sexual e idade dentária. Os filhotes foram excluídos das análises, resultando em um total de 169 espécimes de boto-cinza e 15 de toninhas.

Os resultados indicam que os botos-cinza das Regiões 1 (São Mateus) e 2 (Rio Doce) têm áreas de forrageio distintas. Os indivíduos da Região 1 mostram valores associados às presas coletadas nos rios São Mateus e Ipiranga, enquanto os da Região 2 se alimentam na área de influência do Rio Doce. Esses resultados sugerem diferenças na ecologia alimentar e/ou área de forrageamento ao longo da costa do Espírito Santo, indicando uma certa fidelidade de sítio por parte dos indivíduos.

As análises apontam sobreposição de nicho isotópico entre todas as regiões e, embora haja compartilhamento parcial na ecologia alimentar e/ou área de forrageamento dos botos-cinza, a Região 5 (Extremo Sul) apresentou a menor sobreposição. A necessidade de mais amostras na Região 2 foi destacada para uma compreensão mais abrangente da ecologia alimentar. Os resultados indicam a presença de possíveis grupos ecológicos distintos na área estudada, e a continuidade do estudo é crucial para entender a conectividade e a fidelidade de sítio em cada região costeira do Espírito Santo.

Devido ao baixo N amostral das toninhas em outras regiões, somente foram considerados os animais da Região 1 ao longo dos quatro anos de monitoramento. Os botos-cinza e as toninhas exibiram nichos isotópicos distintos, com uma baixa sobreposição de 13%, indicando segregação trófica na Região 1. Os botos-cinzas mostraram uma amplitude e largura de nicho isotópico maior, enquanto as toninhas apresentaram uma área de nicho isotópico reduzida, indicando uma ecologia alimentar mais especializada. Não foi possível a comparação entre os anos para as toninhas, devido ao baixo número de amostras.

I) Aves Marinhas

No 4º ano do PMBA foi implementada uma série de alterações metodológicas provenientes da aprovação do novo plano de trabalho. Algumas das espécies com dados coletados no Arquipélago de Abrolhos (*Pterodroma arminjoniana* e *Thalassarche chlororhynchos*) foram removidas da amostragem. Ainda em relação às amostragens em Abrolhos, especificamente para demografia e reprodução, foram utilizados ninhos encontrados na Ilha de Santa Bárbara e em outras ilhas do arquipélago. As análises de elementos traço em Sterninae capturados na foz do Rio Doce serão apresentadas somente nos próximos relatórios, em vista do atraso da aprovação do novo plano de trabalho que postulou essa inclusão, o que inviabilizou sua pronta execução.

Contagens de aves na foz do Rio Doce e adjacências – Costa

As 43 espécies de aves aquáticas registradas ao longo dos quatro anos de amostragem, incluindo espécies migratórias que utilizam a área para alimentação e descanso, demonstram a importância da região da Foz do Rio Doce e costa adjacente para o grupo. Essa relevância é reforçada pela presença de espécies ameaçadas em nível nacional ou mesmo em nível global, como no caso da espécie *Calidris pusilla*. As maiores abundâncias foram observadas em Regência e em Povoação, trechos que ficam imediatamente ao sul e ao norte da foz do Rio Doce, respectivamente. No Ano 1 foi registrado o maior número de espécies (35 spp.), incluindo sete espécies que não foram registradas nos anos seguintes. A riqueza de espécies do Ano 2 (27 spp.), Ano 3 (29 spp.) e Ano 4 (27 spp.) foi semelhante, apesar de novas espécies terem sido registradas em todos os anos.

O número de aves aquáticas (24.782 indivíduos), junto ao número de espécies registradas ao longo dos quatro anos de amostragem, destacam a importância da região da Foz do Rio Doce e costa adjacente. Durante o período chuvoso, foi registrado o maior número de aves aquáticas (77%), quando comparado ao período seco (23%), o que aparentemente está associado com a maior presença de espécies migratórias como *Sterna hirundo*, umas das espécies mais abundantes ao longo dos quatro anos de amostragem. Esse é um fator de preocupação em relação à contaminação das aves, pois no período chuvoso ocorre recontaminação da região costeira a partir dos rejeitos ainda presentes no leito do Rio Doce.

Assim como para a abundância, as maiores riquezas de espécies foram observadas em Regência e em Povoação, trechos que ficam imediatamente ao sul e ao norte da foz do Rio Doce, respectivamente. A presença massiva de aves costeiras na foz do rio Doce indica que há disponibilidade de alimento para essas aves, o que pode funcionar como uma armadilha ecológica, considerando que há grande chance de as presas estarem contaminadas. Além disso, um processo de recontaminação durante o período chuvoso, acaba por expor espécies migratórias oriundas do hemisfério norte, para onde as mesmas podem transportar os referidos contaminantes, ampliando espacialmente o impacto dos rejeitos.

Contagens de aves na foz do Rio Doce e adjacências – Mar

As 32 espécies de aves registradas ao longo dos quatro anos de amostragem, incluindo espécies migratórias que utilizam a área para alimentação, demonstram a importância da região da foz do Rio Doce e águas adjacentes. Importância é reforçada pela presença de espécies ameaçadas (13 spp.) em nível nacional ou mesmo em nível global, como no caso das espécies *Thalassarche chlororhynchos*, *Hydrobates leucorhous*, *Pterodroma incerta*, *Procellaria aequinoctialis* e *Calonectris borealis*. Assim como para as aves costeiras, esse é um fator de preocupação em relação à exposição à contaminação das aves, pois no período chuvoso ocorre recontaminação da zona pelágica a partir dos rejeitos ainda presentes no leito do Rio Doce, enquanto os rejeitos depositados na plataforma continental sofrem remobilização em eventos de maré meteorológica. As espécies mais abundantes foram *Sterna hirundo*, *Anous stolidus*, *Sula dactylatra* e *Fregata magnificens*, respectivamente. *Sterna hirundo* é uma espécie migratória, já *A. stolidus*, *S. dactylatra* e *F. magnificens* são espécies residentes e o Arquipélago dos Abrolhos é um dos locais onde elas se reproduzem. Durante o Ano 2 e Ano 4 foram registradas as maiores densidades. A densidade de aves variou entre as transecções, com densidade maior de aves na Foz do Rio Doce (TFOZ) e em Abrolhos (TN4).

As espécies que se reproduzem em ilhas marinhas do Brasil, a exemplo do Arquipélago dos Abrolhos, o qual abriga colônias de *Sula leucogaster*, *S. dactylatra*, *Phaethon aethereus* e *Fregata magnificens*, todas observadas na área monitorada, também podem servir como biovetores de contaminantes para as áreas reprodutivas, ampliando o impacto dos rejeitos para demais organismos da comunidade insular terrestre, além de organismos marinhos associados aos recifes de corais e bancos de rodolitos no seu entorno imediato.

Demografia e Reprodução em Abrolhos

Dados do pré-rompimento da barragem obtidos da literatura e pesquisas prévias de membros da equipe mostram que o tamanho populacional de *P. aethereus em Abrolhos* foi estimado entre 200 e 700 aves. Atualmente, dados do pós-rompimento da barragem estimam o tamanho populacional atual

de *P. aethereus* entre 600 e 700 adultos. Portanto, aparentemente a população da espécie no Arquipélago vem se mantendo estável em torno de 700 indivíduos. Vale ressaltar que dados do relatório anual do Parque de 2021 e 2022 ainda não foram divulgados.

A população reprodutiva de *P. aethereus* que vem sendo monitorada na ilha Santa Bárbara em Abrolhos variou no sentido decrescente entre 17 e 1 ninhos ativos, consequentemente, 34 e 2 adultos reprodutores, nos períodos chuvosos de 2018 a 2022, acompanhando a dinâmica do regime de chuvas. Nos períodos secos de 2019 a 2022, a população reprodutiva variou entre 2 e 22 ninhos ativos e, consequentemente, 4 e 44 adultos reprodutores. A espécie apresenta um novo aumento populacional nos meses centrais do período seco (maio/junho) coincidindo com novo pico reprodutivo e confirmando a existência de duas subpopulações no Arquipélago, as quais se revezam ao longo do ano.

Avaliação do sucesso de eclosão da população reprodutiva de *P. aethereus* a partir de dados obtidos mensalmente pela equipe do PMBA/Fest em parceria com a equipe do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, nos períodos chuvosos de 2018 a 2022 mostrando que a taxa de eclosão ficou entre 32% e 44% e a taxa de sucesso variou entre 29% e 97%. As taxas de eclosão da população de Abrolhos no período chuvoso ainda se encontram abaixo dos valores encontrados em colônias do Caribe, área central de distribuição da espécie no Atlântico (eclosão 55-84%) e vem se mantendo aparentemente constante ao longo do período de estudo. Por outro lado, a taxa de sucesso dos filhotes nascidos aumentou e encontra-se semelhante às populações do Caribe (sucesso 35%-86%). Levando em consideração a recente desratização da ilha, espera-se que as taxas aumentem significativamente nos próximos anos. Dados de monitoramento nos períodos secos mostram que no ano de 2019 a colônia de *P. aethereus* foi fortemente afetada com baixo número de ovos e sucesso de filhotes. A ausência de dados durante os períodos secos da pandemia compromete a análise da tendência da reprodução da espécie nesse período climático. No ano de 2022 os números de ovos e filhotes retornaram aos valores médios da colônia estudada.

Dados do pré-rompimento da barragem obtidos da literatura e pesquisas prévias de membros da equipe estimam o tamanho populacional de *S. leucogaster* entre 700 e 1200 adultos reprodutores. Atualmente, dados do pós-rompimento da barragem obtidos e cedidos pelo ICMBio, como parte do “Programa de Monitoramento das Aves Marinhas do Parque Nacional dos Abrolhos”, mostram uma preocupante diminuição na população em 2020. Assim, diante da confirmação de contaminação no substrato marinho, peixes e aves nos locais onde os atobás-marrom de Abrolhos forrageiam, torna-se necessário avaliar o tamanho populacional nos próximos anos em busca da tendência de recuperação ou queda mais acentuada da população. Vale ressaltar que dados do relatório anual do Parque de 2021 e 2022 ainda não foram divulgados.

A população reprodutiva de *S. leucogaster* que vem sendo monitorada na ilha Santa Bárbara em Abrolhos variou entre 10 e 42 adultos reprodutores, nos períodos chuvosos de 2018 a 2022, com os maiores números populacionais no início do período (outubro) encerrando o ciclo reprodutivo da espécie na ilha. Nos períodos secos a população reprodutora variou entre 10 e 68 adultos reprodutores, de 2019 a 2022, indicando um aumento populacional no meio do período (maio a julho), o que coincide com o pico do período reprodutivo da espécie na ilha Santa Bárbara.

Para indivíduos de *Sterna hirundinacea* nidificantes em ilhas de Vila Velha (Itatiaias) e Vitória (Galhetas) no Espírito Santo, foram obtidos dados nas expedições realizadas pela equipe do PMBA/Fest durante o inverno, pico reprodutivo da espécie nas colônias. Os resultados mostram que o número de adultos reprodutores variou entre 6 e 200 adultos. Essa enorme variação pode ser explicada pelo comportamento de alternância de sítios reprodutivos deste grupo de aves migratórias ao longo dos anos.

Rastreamento Remoto em Abrolhos

Em todos os anos amostrados, após o rompimento da barragem, *P. aethereus* permaneceu utilizando o entorno do Arquipélago durante viagens de alimento em período reprodutivo. Existem variações interanuais na utilização do espaço para captura das presas, mas não são substanciais o suficiente para apontar alterações nas áreas de alimentação entre os períodos. De forma similar ao período pré-rompimento da barragem, a espécie permaneceu utilizando a plataforma continental no entorno do Arquipélago de Abrolhos, bem como o talude e áreas oceânicas ao norte. Considerando que, especialmente, a região ao sul do Arquipélago foi impactada pelo rompimento da barragem, e que há um processo de recontaminação crônica da região, é possível inferir que *P. aethereus* está permanentemente

exposta aos contaminantes presentes na coluna d'água durante viagens de alimentação em período reprodutivo, ilustrando o conceito de armadilha ecológica. Em todos os anos após o rompimento, *S. leucogaster* permaneceu utilizando o entorno do Arquipélago durante viagens de alimento em período reprodutivo, sempre com a mesma tendência de rumar em direção ao continente. Existem variações interanuais na utilização do espaço, mas não são substanciais o suficiente para apontar alterações nas áreas de alimentação, pois o padrão de utilizar regiões costeiras permaneceu. Há uma forte sobreposição entre as áreas de alimentação dos períodos pré e pós rompimento, indicando que *S. leucogaster* permanece utilizando, no período pós-rompimento, a plataforma continental ao sul de Abrolhos, bem como o talude e as áreas oceânicas ao norte do Arquipélago.

Isótopos Estáveis (Ecologia Trófica)

Observou-se uma diminuição na média de $\delta^{13}\text{C}$ tanto para *S. leucogaster* como para *P. aethereus* entre antes e depois do rompimento da barragem para o período chuvoso e seco, podendo indicar uma mudança da distância de áreas de forrageio em relação à costa. Além disso, durante o período seco, as médias de $\delta^{13}\text{C}$ tendem a ser menores do que no período chuvoso, o que pode ser também decorrente de variação de área de forrageio entre os períodos ou ainda de variações na produtividade primária. As médias $\delta^{15}\text{N}$ não apresentaram padrão de aumento ou diminuição entre antes e depois do rompimento da barragem em ambas as espécies e entre os períodos chuvoso e seco. Entretanto, estas tendem a ser maiores durante o período seco do que no período chuvoso, tanto antes como depois do rompimento da barragem para ambas as espécies, podendo indicar o consumo de espécies com níveis tróficos mais altos durante o período seco. Para *S. leucogaster*, o período após o rompimento apresenta maior nicho isotópico do que o período anterior ao rompimento, padrão oposto do encontrado durante o período seco. Para *P. aethereus* o período anterior ao rompimento apresenta nichos mais largos do que depois do rompimento para o período seco e chuvoso.

Quanto às espécies consumidas (peixes e lulas), escolhidas com base em dados de regurgitos e também em múltiplas modelagens, todas apresentam médias similares de $\delta^{13}\text{C}$, indicando que possivelmente estão localizadas em distâncias semelhantes da costa; e médias de $\delta^{15}\text{N}$ mais variáveis indicando que podem representar diferentes níveis tróficos. Antes do rompimento, as maiores contribuições foram de Hemiramphidae, Exocoetidae e *Opisthonema oglinum* no período chuvoso e *O. oglinum* e Hemiramphidae no período seco. Depois do rompimento *Hirundichthys affinis* demonstrou ser a presa com maior contribuição para a dieta nos períodos chuvoso e seco, seguida por *H. brasiliensis* em período chuvoso e *O. oglinum* em período seco, demonstrando uma potencial troca das presas principais entre os períodos antes e depois do rompimento (*Hirundichthys affinis* à Exocoetidae).

Observou-se uma diminuição dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ tanto para *S. leucogaster* como para *P. aethereus* entre antes os anos depois do rompimento da barragem para o período chuvoso, sendo mais acentuada em *S. leucogaster* do que em *P. aethereus*. Para ambas as espécies no período seco observa-se uma diminuição dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ no Ano 3 seguido por um aumento no Ano 4. Essas variações podem indicar diferenças nas áreas de forrageio exploradas em relação à distância da costa entre o período anterior ao rompimento e os anos seguintes após. Além disso, os valores $\delta^{13}\text{C}$ tendem a ser menores no período seco do que no período chuvoso em todos os anos, exceto para o Ano 4 em ambas as espécies. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ não aparentam seguir um padrão de variação, embora exista a tendência de ser mais altos durante o período seco para ambas as espécies e também de que no Ano 2 foi observado os maiores valores para ambas as espécies.

Regurgitados (Ecologia Trófica)

A análise de presas em material regurgitado de *P. aethereus* no período pós rompimento da barragem (95 itens presas em 45 materiais regurgitados) identificou possíveis diferenças em relação à composição da dieta entre os dois períodos analisados. Sendo assim, no pós-rompimento, *P. aethereus* explorou um número maior de presas. *H. brasiliensis* é a única espécie que ainda é consumida, porém, assim como no pré-rompimento, não é uma presa com elevada importância para a dieta. Para *S. leucogaster*, foram analisados 25 materiais regurgitados e 124 espécimes, para os quais foram identificadas nove espécies. A composição da dieta variou em relação ao período do pré-rompimento da barragem.

Entretanto, *H. brasiliensis* ainda permanece sendo a principal espécie consumida. Anteriormente, apenas cinco espécies foram identificadas. Assim, *P. brachypterus* (que foi considerado um dos principais itens alimentares) e *Caranx* sp. não estiveram presentes na dieta no pós-rompimento, bem como representantes da família Scombridae. Por outro lado, a família Pristigasteridae aparece como novidade no pós-rompimento. *A. hians*, *O. oglinum* e *H. brasiliensis* são espécies que continuam compondo a dieta da espécie.

Elementos-traço (Contaminantes)

Sangue e penas apresentaram níveis detectáveis de elementos-traço não essenciais e também apresentaram flutuações temporais nas concentrações tanto nas concentrações de elementos-traço essenciais como não-essenciais, evidenciando que as concentrações de elementos-traço variam em sangue e penas de aves marinhas ao longo do tempo, provavelmente decorrentes de variações na exposição do habitat e das presas aos contaminantes. Cabe salientar que as análises desse parâmetro culminaram no único impacto com valores críticos para aves marinhas dentro da Matriz de Resultados do PMBA. Em um contexto geral, *S. leucogaster* apresentou concentrações maiores de elementos-traço quando comparado com *P. aethereus* na maioria dos elementos e períodos analisados, o que pode estar ligado a diferentes dietas e/ou áreas de alimentação entre as espécies. Concentrações mais elevadas foram encontradas, em geral, em penas, o que pode sugerir uma via de descontaminação sistêmica. Assim como *P. aethereus*, *S. leucogaster* também apresentou valores mais elevados de concentração de alguns elementos-traço durante o período chuvoso do ano 3, novamente essa relação sendo mais marcada nas penas para Cd, Hg e Pb. Para Hg e Pb, valores elevados também foram observados no período anterior ao rompimento da barragem nas penas, significativamente maiores que alguns períodos posteriores. Fe nas penas de *S. leucogaster* apresentou um padrão semelhante a *P. aethereus*, com valores elevados no período anterior ao rompimento da barragem. Elementos como Cu, Cr, Fe e Zn apresentaram valores mais variáveis e equiparáveis ao longo dos anos e períodos, e a maioria dos elementos e anos apresentaram os valores mais elevados durante o período chuvoso. A variação dos padrões de concentração entre os elementos evidencia a complexidade e a dinâmica temporal na contaminação dessas aves. Foi detectada a presença de elementos-traço não-essenciais nos tecidos das presas das aves marinhas que se reproduzem no Arquipélago dos Abrolhos.

Genética de populações (Diversidade genética)

Para *S. leucogaster*, observou-se uma diminuição na diversidade genética (H) em Abrolhos nas amostras coletadas pós-rompimento (0,4), em comparação aos amostrados previamente ao rompimento (0,43). Adicionalmente, o valor do coeficiente de endogamia (índice que indica desvios no Equilíbrio de Hardy-Weiberg – EHW, pela presença de cruzamentos entre indivíduos aparentados, ou próximos geneticamente - FIS), foi significativo ($p \leq 0,0001$) para amostras coletadas pós-rompimento (Tabela 29) indicando que há um déficit de indivíduos heterozigotos maior do que o esperado para estas amostras, o que pode ser causado por endogamia. A comparação dos dados por ano de coleta não demonstrou grande variação.

Para *P. aethereus*, a heterozigosidade média observada se manteve quase igual entre as amostras coletadas pré e após o rompimento. Já a heterozigosidade média esperada, diminuiu de 0,30 (pré) a 0,28 (após o rompimento). A diversidade gênica entre os conjuntos de dados pré e pós-rompimento se manteve constante (0,22). Já a riqueza alélica apresentou queda para amostras coletadas após o rompimento (3,27 para amostras pré rompimento e 2,80 para amostras pós-rompimento). Os valores de HO e HE apresentaram oscilações ao longo dos anos amostrados, sendo mais altos no ano de 2022 (HO = 0,46 e HE = 0,44), e apresentando uma queda em 2021 com valores mais próximos aos encontrados para amostras coletadas antes do rompimento. Valor de FIS significativo ($p \leq 0,0001$) para amostras coletadas pré-rompimento e em 2021 indica que há um déficit de indivíduos heterozigotos maior do que o esperado para estas amostras.

Saúde

Em *P. aethereus* e *S. leucogaster*, o resultado das contagens das hemácias realizadas indicou que as aves estavam em condições satisfatórias de saúde, neste método analítico, não sendo visto

diferenças, da contagem de hemácias, entre os semestres e estações de coleta, não mostrando diferença significativa entre períodos e anos. As contagens de hemácias mantiveram-se dentro do esperado de uma ave hígida. Contudo, a partir da campanha de abril de 2019 no Arquipélago de Abrolhos, as aves apresentaram uma aparente desidratação, verificada no momento da venopunção. Esse mesmo evento foi observado nas campanhas dos anos seguintes, 2020 (ano 02), 2021 (ano 03) e 2022 (ano 04), mas não sendo significativo para alterações no hemograma e hematoscopia (em lâmina pontos de hemoconcentração). O resultado da contagem de leucócitos indicou que as aves estavam em condição satisfatória entre os semestres e estações de coleta, não mostrando diferença significativa entre períodos e anos. Os resultados da contagem dos parâmetros hematológicos (diferenciais) não indicaram nenhuma anormalidade.

Por outro lado, em *Phaethon aethereus* foram identificadas bactérias de importância em saúde pública e global (estão na lista de bactérias de prioridade da OMS) nas amostras provenientes de Abrolhos, como *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella oxytoca*, *Klebsiella pneumoniae* e *Enterobacter aerogenes*. Também foram identificadas outras enterobactérias, sendo *Escherichia coli* a espécie de importância mais frequente em todos os anos e períodos amostrados, com valores altos de frequência especialmente na estação chuvosa seguido de *Klebsiella pneumoniae*, que só não esteve presente no Ano 3 e *Acinetobacter baumannii*. *Staphylococcus aureus*, também de importância, foi a bactéria com altos índices de frequência na estação seca. As aves amostradas neste estudo apresentaram microrganismos com potencial patogênico, no entanto, a ausência de sinal clínico associada à sensibilidade dos patógenos a grande parte dos antibióticos a que foram expostos, sugere a higidez dos indivíduos. Este fato não descarta o potencial de transmissão de zoonoses para hospedeiros humanos e outras espécies de animais, uma vez que muitas cepas bacterianas aqui descritas já foram implicadas em quadros nosocomiais graves.

Em *S. leucogaster* foram identificadas bactérias de importância em saúde pública e global (estão na lista de bactérias de prioridade da OMS) nas amostras provenientes de Abrolhos, como *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella oxytoca*, *Klebsiella pneumoniae* e *Enterobacter aerogenes* e *Bordetella* spp. Também foram identificadas outras enterobactérias. *Escherichia coli* foi a bactéria, de importância em saúde pública global, com maior frequência nos anos e períodos amostrados, majoritariamente no período seco, sendo ausente somente na estação chuvosa do terceiro ano, seguido de *Klebsiella pneumoniae* e *Acinetobacter baumannii*. As aves amostradas no estudo apresentaram microrganismos com potencial patogênico, no entanto, a ausência de sinal clínico associada à sensibilidade dos patógenos a grande parte dos antibióticos a que foram expostos, sugere a higidez dos indivíduos. Este fato não descarta o potencial de transmissão de zoonoses para hospedeiros humanos e outras espécies de animais, uma vez que muitas cepas bacterianas aqui descritas já foram implicadas em quadros nosocomiais graves.

m) Monitoramento remoto da megafauna

Vulnerabilidade Populacional da Toninha (Pontoporia blainvillei) e análise do comportamento alimentar - Dronemonitoramento

Comportamento alimentar da toninha (P. blainvillei)

O monitoramento revelou que a região de Comboios apresenta uma maior ocorrência de *P. blainvillei*, com um maior percentual do registro de seu comportamento alimentar durante os períodos seco e chuvoso. Não houve variação significativa de registros entre os trimestres na região da foz do Rio Doce. A única diminuição de registros em Comboios foi registrada no primeiro trimestre de 2021, coincidindo com o aumento de registros na foz do Rio Doce, desta forma mostrando uma tendência de a população utilizar de forma alternada essas duas regiões. Entre os trimestres 02 e 04 de 2020 não houve monitoramento devido à pandemia de Covid-19.

Estrutura populacional da toninha

Foi analisada a ocorrência da espécie nas duas áreas de estudo. A população estudada foi dividida em filhotes/juvenis e adultos/indeterminados. A região da foz do Rio Doce apresentou um aumento de registros a partir do primeiro trimestre de 2021, principalmente por indivíduos adultos. Em Comboios, houve um maior número de filhotes durante o período chuvoso, possivelmente relacionado ao período de nascimento da espécie, preferencialmente na primavera. As porcentagens de presença de filhotes/juvenis na região do Rio Doce variaram ao longo dos anos, sem uma diminuição significativa.

- Caracterização do fundo marinho

De acordo com a correlação espacial entre a densidade kernel dos registros bioacústicos da toninha e os tipos de fundos identificados, os quatro anos de monitoramento registrou uma alta correlação da ocorrência da espécie com o habitat lama terrígena, com alta fidelidade da espécie ao habitat lamoso imediatamente ao sul da foz do Rio Doce, destacando a alta vulnerabilidade da toninha às regiões com mais depósito dos rejeitos tóxicos provenientes do rompimento da barragem do Fundão em Mariana.

- Agregação e abundância da toninha a partir da bioacústica e sobrevoo tripulado

Os resultados analisam o índice de agregação populacional, localização e abundância dessas agregações em relação às áreas mais impactadas ao longo dos anos. Foi encontrado um alto grau de concordância indicando uma possível fidelidade da população remanescente da toninha (área de manejo FMA Ia) às áreas costeiras ao redor da foz do Rio Doce, com concentração ao sul desta. Não foram encontradas diferenças de abundância durante os anos de monitoramento.

o) Sedimentação Costeira:

Foram caracterizados os impactos da sedimentação dos rejeitos de mineração que ocorrem ao longo da região de Abrolhos, sendo que existe uma relação direta entre o aumento da vazão do rio Doce e o aumento da sedimentação nessa área, além da relação direta entre a ocorrência de ventos do quadrante sul (frentes frias) e o aumento das taxas de sedimentação nessa região.

4.3.2.2 Conclusões - Ambiente Marinho

a) Ecotoxicologia

No compartimento marinho, as principais conclusões obtidas para a temática de ecotoxicologia, a partir da análise do relatório anual, seus anexos e banco de dados é a de uma persistência da contaminação da biota, com reflexos sobre a fisiologia e a ecologia dos organismos aquáticos e das aves. Após quatro anos de monitoramento, o nexos causal entre os impactos observados sobre a fisiologia, ecologia e, no âmbito desta análise, dos descritores ecotoxicológicos é evidente e inquestionável. Ademais, alguns padrões de espacialização também foram definidos dentro do escopo, de modo que é possível apontar tendências de progressão da qualidade ambiental, bem como dos efeitos crônicos que tal contaminação representa para as comunidades marinhas.

Particularmente, deve ser destacado a integração entre as dinâmicas ambientais e costeiras sobre o compartimento marinho. A dispersão do rejeito ainda se faz contínua, com aportes sazonais, oriundos dos processos de carreamento superficial da calha do rio e entradas no ambiente da foz - para os períodos chuvosos - e de distribuição em gradiente latitudinal, através do trabalho de correntes marinhas - nos períodos secos. Desta forma, a contaminação do ambiente marinho por elementos metálicos e As adquire não mais um caráter agudo, quando do aporte da primeira pluma, mas sim crônico, sendo a qualidade da água e dos sedimentos responsiva aos processos continentais de restauração ambiental.

No tocante ao compartimento biótico, as tendências de espacialização dos impactos se fazem mais claras para a quase totalidade das guildas em análise. De modo geral, infere-se que o setor da Foz e adjacências, em gradiente a partir da costa, mantém, em todos os pontos de coleta analisados, os maiores efeitos da contaminação crônica pelos contaminantes do rejeito. Todos os grupos analisados apresentam maiores desvios de fitness, alterações em marcadores fisiológicos e, comparativamente a dados

pretéritos ao derrame, uma maior concentração de metais nos tecidos. Soma-se a esta inferência a bem estabelecida relação de transmissão trófica da contaminação, observando-se que organismos de topo de cadeia - nominalmente, cetáceos, aves e tartarugas - apresentam, ao longo do tempo, um agravamento em condições de saúde, com maior incidência de doenças e parasitoses, além da interferência sobre suas áreas de forrageio e procriação.

Analisando pontualmente por grupos tróficos, obteve-se que o plâncton, organismos de base de cadeia, apresentam, no quarto ano de monitoramento e para a sétima campanha de amostragem, o pior fitness. As microalgas mostram uma relação direta da saúde fisiológica em comparação à qualidade da água, sendo no período chuvoso quando, além da maior acumulação de metais, apresentam piora nos indicadores de biomarcação. Da mesma forma, o zooplâncton apresenta uma resposta tardia, indicando um efeito de deslocamento do período de contaminação, associado aos processos de consumo e acumulação a partir do fitoplâncton. Tal efeito é observado similarmente nos níveis tróficos imediatamente superiores, inclusive crustáceos e peixes onívoros, sendo a sazonalidade determinante sobre a fisiologia da fauna marinha. Ainda sobre o plâncton, estes microrganismos apresentam, em níveis comparados a dados pretéritos, valores mais altos em tecidos dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Hg e Pb.

Para a guilda dos peixes, o processo de contaminação ainda exerce influência sobre a reprodução e o recrutamento de larvas e juvenis. O ictioplâncton ainda apresenta alta inviabilidade de desenvolvimento e/ou eclosão de ovos, que são relacionados a níveis altos de Fe, Cr, Mn, Ba e Co. A inviabilidade de larvas, particularmente, de espécies utilizadas para a alimentação das populações ribeirinhas e comunidades pesqueiras, pode representar uma problemática para a pesca, não apenas por conta da possível contaminação do pescado, como da própria redução do estoque pesqueiro. No âmbito da ecotoxicologia, em particular, os indicadores de danos de DNA e deformidades associadas a necroses por contato com elementos metálicos reforçam que a assembleia reproduz os efeitos de uma contaminação crônica, que interfere nos aspectos reprodutivos, no desenvolvimento dos organismos até a fase adulta, no seu comportamento reprodutivo e área de forrageio. Especialmente, os peixes onívoros e herbívoros apresentam padrão de acumulação de metais similar ao fito e zooplâncton, para os mesmos setores, em gradiente de maior contaminação a partir da Foz e nos setores ao norte. Na análise dos otólitos, por fim, é identificado que os animais apresentam alta concentração histórica, a partir do derrame, dos elementos Fe, Al, Ba, Cd, Cr, Mn e Pb.

Igualmente, a carcinofauna também apresenta gradiente de efeitos da contaminação com distribuição a partir da foz em sentido ao norte, ainda que as amostras coletadas na APA Costa das algas reflitam também condições de contaminação crônica, sendo neste setor que os índices de acumulação de metais em camarões são mais representativos, logo em sequência às amostras da foz. Outro ponto de destaque é que, para o grupo, os bioindicadores de metalotioneínas e peroxidação lipídica foram altamente representativos para a caracterização dos danos fisiológicos em resposta aos metais presentes no rejeito.

A megafauna, para os três grupos analisados - aves, cetáceos e tartarugas - sofre diretamente com alterações na sua área de forrageio, além da alta incidência de doenças e parasitoses, como atribuídas em relação à redução da saúde e manutenção da homeostase fisiológica. Todos os metais monitorados no âmbito do PMBA foram identificados nos ovos das tartarugas, que usam áreas ao redor da foz do rio Doce como refúgio reprodutivo. Ademais, as espécies apresentam alterações bioquímicas e hematológicas, que refletem a contaminação por metais. Já para os cetáceos, conclui-se que a contaminação ainda ocasiona a alta taxa de mortalidade de juvenis, identificando-se altas concentrações de Zn, Cu, As, Cd e Hg em tecidos musculares, renais e hepáticos. Da mesma forma, as aves marinhas, que usam da zona costeira e do PARNA Abrolhos como área de forrageio apresentam níveis crescentes de As, Cd, Pb e Hg, simultaneamente que indicadores de saúde apontam um menor fitness, devido à má qualidade nutricional dos recursos.

Por fim, talvez um dos dados mais relevantes seja o da avaliação da microbiota, como indicadores de perturbação ambiental e processos de decomposição, biodisponibilização e da estrutura da alça microbiana em si. No último ano do monitoramento, o grupo de bactérias *Pirellulaceae* se apresenta como representativo, proporcionalmente dentre todos os táxons avaliados, para todas as áreas de amostragem. Particularmente, deve ser dada atenção para a ocorrência do grupo no PARNA Abrolhos nas amostras de fundo. O grupo *Pirellulaceae* é um indicador da presença de metais e contaminantes, presente em rejeitos de mineração; no caso das amostras analisadas, o que se evidencia é a marcação da presença do rejeito mesmo no PARNA Abrolhos, e possíveis alterações na comunidade microbiana em decorrência da presença do rejeito. Sendo assim, a análise de microbiota é um descritor relevante de monitoramento da progressão da qualidade ambiental no ambiente marinho.

b) Modelagem numérica

O Relatório e seus anexos, com relação à construção e apresentação do indicador TURBIDEZ/ CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO NA COLUNA D'ÁGUA, em seu tema Modelagem Numérica, atingiu satisfatoriamente os objetivos e as metas propostas no Plano de Trabalho.

Os dados, informações geradas e conhecimento adquirido no tema Modelagem Numérica corroboram a avaliação do impacto 'Aumento da concentração do material particulado em suspensão e turbidez' apresentada no Relatório.

Entendemos que está correta a 'Matriz de Resultados para o Ambiente Marinho'(p. 104) do Relatório onde é apresentado o impacto 'Aumento da concentração do material particulado em suspensão e turbidez' que foi classificado com o valor = -13 que é categorizado como Alto.

c) Hidrogeoquímica

Níveis de concentração do Material Ligado ao Desastre - MLD se mantêm na água e no sedimento ao longo do período e da área monitorada, acima dos limites pré-rompimento, e com disponibilização dos mesmos a biota em diferentes épocas e regiões.

Observa-se tendência na melhora da qualidade da água e do sedimento dos índices de qualidade de sedimento (SQG-q).

d) Sedimentação Marinha

Os dados e análise do relatório, realizadas com a utilização do índice geoquímico de qualidade do sedimento (SQG-q) utilizando os metais Ag, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Hg e Zn, permitem concluir que o sedimento do ambiente marinho apresentou-se, durante o tempo de monitoramento, moderadamente impactado, exceto para o setor Abrolhos (impactado somente no Ano 1 de monitoramento). Ainda apresenta que as maiores correlações observadas foram com os metais Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, V e Zn (também encontrados nos rejeitos). Para além dos metais, também foram mensurados nos sedimentos marinhos HPAs, com aumento da contaminação ao longo do tempo de monitoramento, principalmente nos períodos chuvosos.

e) Fitoplâncton

A sinalização de que há tendência de melhora para todos os setores é importante e positiva. Entretanto, é necessária cautela uma vez que este grupo responde principalmente de forma aguda e que, apesar da aparente melhora ambiental, eventos climáticos podem alterar o cenário rapidamente.

f) Zooplâncton

Com respostas ecológicas alinhadas com as respostas do fitoplâncton, os padrões de comunidade do zooplâncton vem apresentando sinais de impacto crônico. Além disso, as tendências de resposta aguda aos mesmos eventos climáticos que afetam o fitoplâncton são pontos de atenção para o grupo.

g) Ictioplâncton

A proporção de ovos inviáveis encontrados nas coletas, as alterações na estrutura das comunidades e as alterações morfológicas no trato digestório das larvas foram impactos diretos e significativos evidenciados pelas análises. Isso demonstra que os impactos têm atuado sobre a ictiofauna desde suas fases iniciais, reforçando os riscos referentes à bioacumulação nestes animais.

h) Bentos de fundos inconsolidado:

De forma geral, esse grupo apresentou uma série de impactos relacionados diretamente com o rompimento, mesmo com grande parte das análises não apresentando variações ao longo do monitoramento. Conforme destacado, nas menores profundidades houve a diminuição da riqueza, diversidade e abundância dos taxóons na foz e suas adjacências, assim como a diminuição da abundância relativa para Amphipoda no setor foz.

Conforme esperado, organismos mais resilientes foram priorizados na sucessão, sendo que algumas famílias de poliquetas predominaram nas áreas mais impactadas como as porções mais rasas da foz e suas adjacências.

i) Fundos Recifais

Os resultados obtidos contemplam contrastes entre sítios mais ou menos impactados, contrastes antes-depois do rompimento da barragem da barragem (em áreas possivelmente menos impactadas, considerando as já mencionadas limitações das linhas de base), e análises de séries temporais (a maioria ainda curtas). De certa forma, parte dos resultados obtidos passam a constituir uma linha de base, cujas tendências serão acompanhadas ao longo da continuidade do PMBA, permitindo a construção de séries históricas mais robustas que permitam avaliar os impactos inerentes ao rompimento da barragem nas comunidades recifais, fundos de algas e bancos de rodólitos.

j) Ictiofauna e carcinofauna Marinha:

Os impactos sofridos por estes grupos, em especial a ictiofauna, abrangendo alterações comportamentais de indivíduos e populações, de parâmetros de saúde e fisiologia, alterações morfológicas, genéticas, ecológicas e químicas. Possivelmente o impacto mais emblemático, a presença de lama aderida ao corpo das pós-larvas ainda não tem um efeito conhecido sobre este estágio, diferentemente do impacto sobre estágio anteriores (ovos e larvas).

A bioacumulação também é um fator de grande impacto para este grupo e a possibilidade de biomagnificação - inclusive para humanos! - deve ser considerada sempre.

Por fim, este tema, que abrange um dos grupos mais importantes e mais impactados, sofreu com alguns contratempos que merecem esclarecimentos e ações. Apesar de alguns contratempos independentemente da ação direta dos pesquisadores, a responsabilidade pela informação permanece, o que demanda algumas ações em caráter de urgência.

k) Tartarugas Marinhas

De modo geral, houve uma tendência de piora no que diz respeito à saúde e diversidade haplotípica das tartarugas ao longo do tempo, inclusive de haplótipos de linhagens exclusivas do Atlântico Sudoeste.

A presença periódica dos rejeitos expõe constantemente as tartarugas aos metais pesados característicos do rejeito, bem como a outros contaminantes mobilizados pelo seu fluxo. De modo que, os juvenis de *C. mydas* estudados estão mais suscetíveis aos malefícios causados pelos contaminantes como os encontrados nas áreas monitoradas no ES, por permanecerem mais tempo na região que os animais adultos.

Ao comparar os resultados do relatório da Fundação Projeto Tamar, que realiza o Monitoramento Reprodutivo das Tartarugas Marinhas, observou-se que para diversos parâmetros reprodutivos foi registrada diferença entre os períodos pré e pós desastre, sendo que o relatório conclui que estas alterações podem estar relacionadas a fatores climáticos e ambientais. Não foi apresentada uma relação que possa evidenciar um impacto negativo direto causado sobre essas populações, ao focar exclusivamente nos parâmetros de incubação.

Em contrapartida, o relatório do PMBA/Fest em análise, identificou correlações com os dados reprodutivos a partir das análises dos contaminantes, reforçando cada vez mais a necessidade de análise integrada dos diferentes monitoramentos de tartarugas marinhas, a fim de diminuir incertezas e padronizar metodologias de campo e de análises.

De acordo como o relatório, fatores físicos, como temperatura, umidade, tamanho dos grãos de areia e inundação das marés, juntamente com a saúde materna e o genótipo das fêmeas, contribuem para reduzir o sucesso de eclosão das tartarugas marinhas, porém, nas áreas impactadas parece que os contaminantes estão contribuindo mais para redução do sucesso de eclosão e aumento da mortalidade no ninho, do que os outros fatores (físicos e biológicos), uma vez que foram encontradas diversas correlações entre os metais pesados e os dados reprodutivos.

As correlações positivas entre os metais não essenciais (As, Cd, Hg e Pb) e o tempo de incubação encontradas nas tartarugas cabeçuda e de couro indicam que esses metais podem ser particularmente tóxicos neste período chave do desenvolvimento e podem atrasar e/ou prejudicar a formação dos ovos, aumentando o período de incubação.

É destacado que, apesar de não ser possível verificar ainda efeito óbvio da contaminação sobre os parâmetros demográficos (analisados pela Fundação Projeto Tamar-FPT), a longo prazo, esse fator pode comprometer a sobrevivência das espécies, especialmente quando se observa que os parâmetros genéticos indicam um forte gargalo populacional nas últimas gerações. Além disso, relatam que tanto a FPT, quanto o PMBA/Fest tem observado interferência de agentes abióticos e bióticos, como mudanças no ambiente praias com perda de ninhos devido à redução da faixa de praia onde as tartarugas desovam e aumento da predação. Considerando a soma das ameaças para a conservação das tartarugas marinhas, é necessária a continuidade das ações de manejo e monitoramento.

Os resultados do relatório são preocupantes, com impactos comprovados sobre as tartarugas marinhas. Importante destacar que as tartarugas possuem ciclo de vida longo, e alterações no processo reprodutivo podem demorar anos para serem constatadas, como uma possível redução no tamanho populacional das tartarugas. Tal impacto é ainda mais crítico para a *D. coriacea*, que tem uma população reduzida e classificada como criticamente em perigo.

l) Cetáceos

O maior percentual de impactos considerados como efeito direto do rejeito, de acordo com o critério de Relação com o Rompimento, foi observado no Ambiente Marinho (46%). Considerando todos os ambientes, verificou-se a predominância dos impactos registrados no compartimento biótico, sendo o topo de cadeia o mais impactado no Ambiente Marinho (49%), muitas vezes refletindo o que ocorre nos níveis tróficos inferiores, inclusive respondendo às mudanças no meio abiótico.

Diante disso, a Matriz de Resultados do Ambiente Marinho apresentou impactos com níveis críticos em quase todas as categorias (Sedimentologia, Química, Ecologia, Genética e Saúde), à exceção da Ecotoxicologia e Comportamento. Esses resultados refletem nos impactos apresentados para o meio biótico, observados em valor crítico para os cetáceos na categoria Genética (alterações da diversidade e estrutura genética), e em valores altos nas categorias Química (contaminação por compostos orgânicos), Saúde (alterações nos parâmetros de saúde e fisiologia e mortalidade de organismos) e Comportamento (alterações na taxa de enalhes).

O estudo revela diferenças significativas nos padrões de enalhes entre botos-cinza e toninhas ao longo dos quatro anos, o que evidencia possíveis impactos dos rejeitos da barragem, especialmente na mortalidade de animais jovens. A predominância de enalhes de botos-cinza no verão e a inversão desse padrão em relação a fase Pré-rompimento indicam possíveis impactos Pós-rompimento, enquanto a ocorrência fora da época usual (inverno) de enalhes de toninhas também na fase Pré-PMBA sugere efeitos adversos associados aos rejeitos da barragem.

A análise da bioacústica sugere que a população remanescente de toninhas tem possível fidelidade às áreas costeiras ao redor da Foz do Rio Doce, especialmente ao sul. Essa região, identificada como a mais impactada por outros indicadores do PMBA/Fest, reflete nas condições de saúde das toninhas e do boto-cinza, possivelmente contribuindo para aumentar suas taxas de enalhe e tornando as populações locais vulneráveis a outras mudanças ambientais.

Apesar das taxas de óbitos classificados como indeterminados apresentarem valores muito altos (no Ano 4 chegou a 86% no caso das toninhas), o emalhe predominou como diagnóstico conclusivo em ambas as espécies alvo, seguido por processos infecciosos, traumatismos e outros como causas de mortalidade. Infelizmente, o parâmetro “Interação dos cetáceos com a pesca” não foi contemplado nesse Novo Ciclo do PMBA/Fest, o que prejudica a avaliação perante os cenários observados

pelos pescadores, como em relação ao avistamento dos cetáceos e a percepção dos efeitos negativos do rompimento da barragem e seus rejeitos sobre a pesca desenvolvida na região, sendo que estes fatores podem permitir um melhor entendimento sobre os impactos nas camadas de base da cadeia trófica, o que poderia aumentar a competição por recursos alimentares pelos indivíduos e outras causas de mortalidade de cetáceos relacionados a este desastre.

A apresentação dos resultados dos indicadores não inclui dados numéricos sobre a amostragem analisada pela histopatologia, que revela sinais de comprometimento de órgãos vitais. A alta taxa de diagnósticos de óbitos indeterminados dificulta inferências diretas sobre a saúde dos cetáceos. Porém, as elevadas taxas de encalhe registradas podem estar relacionadas ao comprometimento da saúde, somada a detecção de altas concentrações de contaminantes nos órgãos e tecidos, as quais podem causar supressão imunológica e efeitos adversos no organismo dos animais. A anomalia congênita da abertura do arco neural é mais frequente nos espécimes do PMBA/Fest do que na literatura, requerendo análise mais aprofundada. No Ano 4, foram encontradas novas espécies de microorganismos, indicando possíveis influências ambientais e potenciais impactos na saúde dos cetáceos.

O estudo analisa os níveis de mercúrio, arsênio, cádmio, cobre, manganês, zinco, PCBs, DDT, mirex, HCB e HPAs em botos-cinza e toninhas nas diferentes Regiões estabelecidas na costa do Espírito Santo. Botos-cinza apresentaram altas concentrações de mercúrio e arsênio, indicando riscos hepáticos, com variações ao longo dos anos. Toninhas mostraram persistência de manganês e ferro no fígado Pós-rompimento, além de aumentos de arsênio no músculo e zinco no fígado no quarto ano. Altas concentrações de Σ PCB em botos-cinza em todas as regiões monitoradas, assim como em um macho de golfinho-de-dentes-rugosos, indicou potenciais efeitos prejudiciais em mamíferos marinhos, e DDT aumentou com o tempo em algumas regiões. O perfil de contaminação dos organoclorados nas toninhas é dominado por DDTs, seguido de PCBs, mirex, HCB e HCHs. Mirex em botos-cinza aumentou gradualmente, e HCB foi mais alto nos Anos 3 e 4. As concentrações de HPAs na área são comparáveis a regiões ambientalmente impactadas. Os resultados deste relatório suscitam preocupações sobre os riscos de bioacumulação e efeitos tóxicos em longo prazo nas espécies, especialmente nas toninhas, uma população isolada e em área de ocorrência irregular e de baixa variabilidade genética da espécie.

Os valores de diversidade genética mitocondrial para os botos-cinza foram moderados nas regiões avaliadas ao longo dos anos de monitoramento. A região sob influência direta do Rio Doce apresentou os menores valores, especialmente no período Pós-rompimento, indicando uma redução acentuada na diversidade genética e sugerindo uma relação causal com a chegada do rejeito no ambiente marinho. Os valores encontrados na análise da estruturação genética mitocondrial indicam duas populações: Região Norte + Região Central e Região Extremo Sul e estruturação temporal em Pré e Pós rompimento.

A análise genética nuclear também indicou baixa diversidade genética, assim como estruturação genética foi observada entre as Regiões Norte + Central e Extremo Sul na análise nuclear, apontando para a existência de duas populações distintas de botos-cinza, e uma estruturação temporal entre os períodos Pré e Pós-rompimento. Os baixos valores do índice F_{st} indicam um intenso fluxo gênico entre essas populações, porém o gráfico da média da probabilidade log (Lk) sugere a presença de apenas uma população.

No caso das toninhas, espécie classificada como “criticamente em perigo” na Lista Oficial de espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção (2022), a diversidade genética continua com valores baixos ao longo do monitoramento. As análises da estruturação genética mitocondrial indicam se tratar de uma única população na área de estudo, com um haplótipo principal em 97% da população. A baixa diversidade genética aumenta a vulnerabilidade da população a fatores sinérgicos que podem resultar em dificuldades no seu reestabelecimento na região.

Destaca-se que os impactos genéticos representam uma exceção a reversibilidade ao longo do tempo, não sendo possível o retorno à condição pretérita com a adoção de medidas apropriadas de mitigação, reparação e conservação das condições abióticas e bióticas nos ecossistemas afetados, e, portanto, requerendo abordagens específicas e emergentes no caso dos cetáceos.

Os resultados quanto à estrutura etária e sexual dos animais encalhados levanta preocupação devido à maior mortalidade de botos-cinza com alta capacidade reprodutiva, o que pode afetar a persistência da espécie na região. O número insuficiente de amostras de indivíduos de *P. blainvillei* não permitiu uma análise desta situação, sugerindo a continuidade do monitoramento para o melhor entendimento do impacto nessa espécie.

Na Região 1 (São Mateus), as análises de nicho isotópico revelaram segregação trófica, com os botos-cinza apresentando um nicho isotópico mais abrangente do que as toninhas. Esse padrão indica uma ecologia alimentar mais especializada por parte das toninhas, o que as torna mais sensíveis às perturbações e mudanças no ambiente.

O PMBA/Fest-RRDM identifica impactos regionais persistentes, especialmente na megafauna marinha, resultantes do rompimento da Barragem de Fundão. A evolução temporal desses impactos revela sua natureza crônica e duradoura, afetando diversos níveis tróficos e prejudicando o patrimônio genético da biodiversidade aquática. A permanência desses impactos no Ambiente Marinho destaca a urgência de continuidade no monitoramento. Os resultados indicam exposição contínua de cetáceos e outras espécies a fatores prejudiciais, ressaltando a importância de preencher lacunas de conhecimento Pós-rompimento para compreender plenamente as causas e efeitos das alterações identificadas.

m) Aves Marinhas

A região impactada pelo rompimento é importante para aves marinhas, sejam costeiras ou oceânicas, incluindo espécies ameaçadas, tanto em abundância quanto em diversidade. Espécies migratórias são registradas e influenciam a composição e a sazonalidade da avifauna. Destacam-se as regiões mais próximas à foz do Rio Doce, os períodos chuvosos e as áreas próximas ao Parque Nacional Marinho de Abrolhos;

A população de *P. aethereus* em Abrolhos, aparentemente, encontra-se estável quanto à abundância total (aproximadamente 700 aves). No entanto, dados de reprodução indicam grande variação na população reprodutora, havendo estimativas reduzidas (10% da população total estimada) e fatores sazonais importantes a serem considerados. Fatores associados à mortalidade na fase de ninho (ovos e ninhos) também precisam ser melhor estudados. A população de *S. leucogaster*, estimada entre 700 e 1200 aves antes do rompimento da barragem, apresentou redução significativa em 2020. Estimativas para 2021 e 2022 não são apresentadas. Para indivíduos de *Sterna hirundinacea* nidificantes no Espírito Santo, o relatório indica que a espécie vem diminuindo suas populações ao longo dos anos em toda a costa brasileira;

Para as espécies que nidificam em Abrolhos (*P. aethereus* e *S. leucogaster*), existem variações interanuais na utilização do espaço para captura das presas, conforme mapeado pelo sensoriamento remoto; mas não substanciais o suficiente para apontar alterações nas áreas de alimentação entre os períodos pré e pós-rompimento;

Para as espécies monitoradas através de isótopos estáveis (*P. aethereus* e *S. leucogaster*), há indicativos de mudanças na distância de captura de alimentos em relação à costa e do nicho trófico, entre estações (seca/chuva) e entre períodos (antes e pós-rompimento);

Estudos de itens alimentares, comparando dados pretéritos e atuais, indicam mudanças na composição da dieta das espécies, com aparente substituição de itens capturados (peixes e lulas);

As concentrações de elementos-traço variaram em sangue e penas de aves marinhas de Abrolhos ao longo do tempo, provavelmente decorrente de modificação na exposição do habitat e das presas aos contaminantes. Em um contexto geral, *S. leucogaster* apresentou concentrações maiores de elementos-traço quando comparado com *P. aethereus* na maioria dos elementos e períodos analisados, o que pode estar ligado a diferentes dietas e/ou áreas de alimentação entre as espécies;

Para *S. leucogaster*, observou-se uma diminuição na diversidade genética em Abrolhos nas amostras coletadas pós-rompimento, em comparação aos amostrados previamente. Para *P. aethereus*, a heterozigiosidade média observada se manteve quase igual entre as amostras coletadas pré e após o rompimento, indicando possível estabilidade populacional;

Análises de sangue de aves em Abrolhos indicam condições satisfatórias de saúde, neste método analítico, não sendo visto diferenças significativas da contagem de glóbulos e outros elementos, entre os semestres e estações de coleta, não mostrando variação notável entre períodos e anos. Há indicativos de desidratação de 2019 a 2022 mas não sendo significativo para alterações no hemograma e hematoscopia. Bactérias patógenas importantes foram detectadas nas espécies;

Após quatro anos de monitoramento, o relatório sugere que os rejeitos não inviabilizaram, por completo, a alimentação nas adjacências da foz do Rio Doce, o que pode ter um efeito ainda mais grave sobre as espécies de aves marinhas e costeiras que utilizam a região, pois o uso continuado de uma área contaminada pode causar efeitos deletérios em médio prazo, especialmente em espécies K-estrategistas e ameaçadas de extinção. O cenário observado é ilustrativo de uma armadilha ecológica, pois as aves permanecem utilizando as mesmas áreas e os mesmos recursos alimentares, os quais estão agora contaminados;

A alimentação nas áreas atingidas pelos rejeitos da barragem pode contaminar os ambientes terrestres de importantes conjuntos de ilhas e faixas costeiras, como a costa do Espírito Santo, a qual é utilizada como área de descanso de aves Sternidae entre atividades de alimentação; as ilhas costeiras do Espírito Santo, as quais abrigam a reprodução de trinta-réis; o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, o qual abriga colônias de sete espécies de aves marinhas que se alimentam no entorno do Arquipélago; das ilhas Trindade e Martin Vaz, as quais abrigam a reprodução de *P. arminjoniana*; o Arquipélago de Tristão da Cunha, localizada a mais de 3000 km da foz do Rio Doce, mas que é conectada à área contaminada pelas viagens realizadas por *T. chlororhynchos*; além de outros locais cujas espécies migram para a região, mas não foram utilizadas como modelos, ou espécies sentinelas, para esse monitoramento;

Aves marinhas são organismos K-estrategistas, visto que possuem relativamente elevada expectativa de vida, atingem a maturidade sexual tardiamente (entre 2 e 10 anos de idade), reproduzem-se anualmente, com ocorrência de ano sabático em algumas espécies, apresentam baixa fecundidade (1 a 3 ovos) e extenso período de cuidado parental (50 a 350 dias). Essas estratégias de vida, associadas a diversas ameaças à conservação, como contaminação marinha, captura incidental em pescarias, e predação de ninhos por espécies exóticas, colocam o grupo como o mais ameaçado entre toda a Classe Aves, pois os atributos de vida lentos representam, em última instância, baixa resiliência frente a eventos de declínio populacional.

n) Monitoramento remoto da megafauna

Não foram apresentados resultados e análises de dados sobre os botos-cinzas (*Sotalia guianensis*) como nas fases anteriores do PMBA/Fest, uma espécie classificada como vulnerável na Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção. Além disso, outras espécies de cetáceos da megafauna analisadas já foram removidas das demais análises deste Relatório, o que diminui a qualidade de dados para avaliarmos a dimensão dos efeitos causados e persistentes dos rejeitos provenientes do rompimento da barragem do Fundão sobre este táxon.

O comportamento alimentar das toninhas apresentou maior concentração na Região de Comboios, mas há uma tendência de alternância com a Região do Rio Doce. A caracterização do fundo marinho mostrou alta correlação entre a densidade kernel dos registros bioacústicos da toninha e o habitat de lama terrígena, destacando a vulnerabilidade da espécie às áreas com mais depósitos tóxicos provenientes do rompimento da barragem de Fundão em Mariana.

o) Sedimentação Costeira:

Sobre o valor da razão isotópica Sr/Nd em sedimentos da coluna d'água, o relatório apresenta uma correlação entre a vazão do rio Doce e o aporte de sedimentos da região sobre o arco de recifes interno, intermediário e externo do Banco dos Abrolhos, evidenciando o aumento da deposição de sedimentos oriundos do rio Doce em função do aumento da vazão do rio.

Porém também houve aumento do sinal isotópico do rio Doce em período com vazão do Rio Doce decrescente, como conclui o relatório, "pode estar associado à ação das frentes frias que geraram ressuspensão do material sedimentar e seu transporte em direção a regiões mais intermediárias de Abrolhos."

O relatório aponta que os recifes de Abrolhos sofrem influência direta dos sedimentos transportados pelo rio Doce, sendo que a contribuição é mais constante nas amostras do arco intermediário, na região do recife Popa Verde.

Quanto ao excesso de Fe e Mn em sedimentos na coluna d'água, apesar da tendência de redução ao longo da série temporal, Abrolhos continua sob influência de sedimentos de fontes externas contendo Fe. Sobre a mineralogia dos sedimentos na coluna d'água o relatório traz um descritivo do status quo sem esclarecer relações entre a mineralogia do rio Doce com Abrolhos.

4.3.2.3 Propostas de Encaminhamentos - Ambiente Marinho

É de extrema importância técnica e, especialmente, social que todas as pendências de coletas, análises, processamentos e discussões sejam sanadas até o último relatório.

a) Ecotoxicologia

- Apresentar, à similaridade dos relatórios progressos, os **valores referentes aos índices IBR Bioacumulação** para os materiais referência músculo de pescado (carcinofauna, ictiofauna herbívora/onívora e ictiofauna carnívora), para todos os metais e metalóide e compostos orgânicos analisados;

- Informar **padrões de calibração e análises estatísticas pertinentes**, de modo a corroborar a similaridade dos resultados apresentados pelo laboratório creditado Aplysia - Soluções Ambientais, relativamente à série histórica de dados, tal como realizada pelo grupo de pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande desde o início do monitoramento;

- Adequar e inserir, no Material Suplementar do Anexo Ecotoxicologia de ambientes marinhos, possíveis adequações e/ou modificações metodológicas procedidas pela empresa acreditada, relativamente aos protocolos e metodologias adotados preteritamente pelos laboratórios institucionais das Universidades UFRGS e UFES, e em justificativa ao Plano de Trabalho do monitoramento ecotoxicológico;

- Apresentar **atualizações para a Matriz de Resultados**, informando a correção no procedimento de cálculo, bem como **indicando possíveis alterações nos resultados obtidos com esta modificação** em comparação com resultados apresentados no presente relatório;

- **Reestruturar a discussão integrativa dos dados**, com base nos resultados obtidos a partir do novo cálculo da Matriz de Resultados. Igualmente, indicar se houve alteração na classificação dos impactos em cada guilda analisada, e apresentando as conclusões pertinentes sobre estas análises para a compreensão da dinâmica histórica dos impactos do rejeito sobre a biota no tocante aos descritores e marcadores sob o escopo das análises de ecotoxicologia.

b) Modelagem numérica

Reitera-se aqui algumas das recomendações apresentadas na Nota Técnica nº 5/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (Sei! nº s13866524):

1. Para facilitar a compreensão dos dados e facilitar a análise dos resultados solicita-se que sejam apresentados nos próximos relatórios fluxogramas do processo de modelagem, com os dados de entrada, os principais tratamentos de dados (filtragens), os modelos empregados, e finalmente os principais produtos gerados. Entendemos que Fluxogramas, ou Modelos Conceituais de Dados (em sua forma mais técnica) são importantes não só para a avaliação dos relatórios, mas para o entendimento das equipes que colaboram na execução do Programa de Monitoramento entenderem o funcionamento, os produtos gerados pela modelagem e vislumbrar as possibilidades da ferramenta. Este Modelo Conceitual de Dados poderia inclusive evoluir para um Modelo Conceitual de Banco de Dados Geoespacial onde todos os dados das modelagens numéricas poderiam ser gerenciados de forma relacional.
2. Além disso, recomenda-se que os próximos relatório tragam (como anexo) uma sistematização do histórico, com maior detalhamento da evolução das metodologias. O histórico das malhas amostrais foi apresentado, e em parte um resumo da evolução das modelagens também foi feita no Anexo 2. Contudo entendemos que uma sistematização do histórico detalhado da implementação dos modelos, com indicação das forças e parâmetros utilizados, permitirá a reprodutibilidade do experimento

(numérico) bem como a colaboração com outros grupos interessados na utilização do modelo. Para tanto sugerimos a adoção de ferramentas de controle de versões, como o [Git \(Git – Wikipédia, a enciclopédia livre\)](#) em paralelo com sua publicização.

3. Por fim, é recomendada a construção de um banco de dados para registro e gestão das informações relativas aos modelos utilizados e dos parâmetros adotados nas modelagens. Conforme já indicado no item anterior, entendemos que é recomendável a construção de um Banco de Dados Geoespacial onde todos os dados utilizados na implementação dos modelos, quanto os dados gerados pelo modelo (bem como outros do PMBA) poderiam ser gerenciados de forma relacional.

Recomendamos ainda a implementação ou (caso tenha sido implementada mas não apresentada) a apresentação ou indicação da referência onde se encontra o registro dos seguintes itens, definidos como metas no Plano de Trabalho.

4. Perfilagem de CTD:

- Validação da modelagem numérica hidrodinâmica e de dispersão de sedimentos.

Não foram apresentadas discussões a respeito. Solicita-se que seja apresentada nos próximos relatórios, mesmo que de forma resumida, a metodologia e o resultado da validação utilizando os dados de CTD.

5. Sensoriamento Remoto:

- ‘Evolução espaço temporal das feições térmicas’ e ‘evolução espaço temporal da produtividade primária’.

A evolução e variabilidade destes parâmetros não foi apresentada e discutida. Recomenda-se que sejam apresentadas nos próximos relatórios.

- A validação dos modelos numéricos (hidrodinâmico e de transporte de sedimentos).

Não foram apresentadas discussões a respeito. Solicita-se que seja apresentada nos próximos relatórios, mesmo que de forma resumida, a metodologia e o resultado da validação utilizando os dados de Sensoriamento Remoto.

6. Modelagem numérica de transporte de sedimentos:

- Identificação do destino do rejeito de mineração no ambiente marinho.

Entendemos que o relatório da modelagem não contribuiu diretamente, de forma clara e objetiva com esta meta. Solicita-se que nos próximos relatórios sejam gerados produtos específicos para o atendimento desta meta.

- Integração dos resultados das diferentes atividades.

Não identificamos no relatório uma discussão ou apresentação da integração dos resultados da modelagem com os outros temas. Solicitamos que seja apresentada uma lista de produtos que utilizaram os resultados da modelagem numérica. Sugerimos a implementação de um fluxograma (ou o modelo conceitual de dados) que pode servir para esta mesma finalidade.

- Divulgação dos resultados.

Ainda que dados e informações tenham sido apresentadas em mapas, gráficos e diagramas; ainda que os dados e informações tenham sido disponibilizados de diversas formas, consideramos que a complexidade e volume de informações dificulta muito a compreensão da relação dos indicadores com os impactos. Portanto recomendamos o desenvolvimento de uma ferramenta de visualização espacializada (SIG) onde os dados, informações e resultados da modelagem numérica (bem como a de outros temas) possam ser explorados e confrontados de forma experimental e lúdica.

Com relação à avaliação dos impactos:

7. Os impactos 'Aumento da concentração do material particulado em suspensão e turbidez' apresentada no Relatório e os impactos 'Aumento na turbidez de fundo devido à ressuspensão provocada pela entrada de ondulações remotas' e 'Aumento na turbidez superficial' foram classificados como indiretos, contudo demonstrou-se que o aumento na turbidez e no MPS são decorrentes da passagem do material oriundo do rompimento e de sua presença no ambiente. Assim, recomenda-se que estes impactos sejam classificados como diretos.

c) Sedimentação Marinha

Manutenção do monitoramento e análises.

d) Fitoplâncton

É importante que, além da informação de que todas as coletas foram realizadas, informar se todas as amostras foram processadas e incluídas nas estatísticas/discussão.

e) Zooplâncton

É importante que, além da informação de que todas as coletas foram realizadas, informar se todas as amostras foram processadas e incluídas nas estatísticas/discussão.

f) Ictioplâncton

É importante que, além da informação de que todas as coletas foram realizadas, informar se todas as amostras foram processadas e incluídas nas estatísticas/discussão.

g) Bentos de fundos inconsolidado

Relacionar os achados e suas relações com o sedimento com documentos aprovados no âmbito da Câmara Técnica de Gestão de Rejeitos e Segurança Ambiental - CT-GRSA.

h) Fundos Recifais

O monitoramento dos ambientes recifais tem sido importante para caracterização e monitoramento dos impactos do rompimento da barragem de Fundão nos ambientes recifais do litoral do Espírito Santo e sul da Bahia. De certa forma, parte dos resultados obtidos passam a constituir uma linha de base, cujas tendências serão acompanhadas ao longo da continuidade do PMBA, permitindo a construção de séries históricas mais robustas que permitam compreender as tendências dos parâmetros analisados.

i) Ictiofauna e carcinofauna Marinha

Disponibilizar os resultados dos índices de diversidade e estruturação genética de peixes estuarinos o quanto antes;

Se ainda houver coletas, reorganizar cronograma e comunicar eventuais alterações ou falha nos dados previamente à CT-Bio a respeito da telemetria estuarina para que o último relatório não seja comprometido.

j) Tartarugas Marinhas

Excluir amostragens em ovos de *Dermochelys coriacea*, conforme já havia sido solicitado na Nota Técnica nº 8/2022/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI ICMBio 11216882), da avaliação do segundo relatório anual (RA2020) PMBA/Fest-RRDM, e na Nota Técnica nº 5/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI ICMBio 13866524), da avaliação do terceiro relatório anual (RA2021) PMBA/Fest-RRDM. Devem ser mantidas as análises em ovos não eclodidos.

Para Avaliação do Sucesso Reprodutivo, informar se os resultados foram obtidos de ninhos apenas *in situ* ou se também incluem dados de ninhos transferidos (manejados). Essa informação é importante, porque o manejo dos ninhos pode interferir na taxa de eclosão e tempo de incubação, o que pode interferir no resultado final da análise de impacto. A informação deve ser enviada como complementar ao relatório em análise e incorporada aos próximos relatórios também.

Verificar possibilidade de integração dos dados históricos da Fundação Projeto Tamar (dados reprodutivos e fibropapilomatose), que realiza o Monitoramento Reprodutivo das Tartarugas Marinhas em atendimento ao Termo de Referência no 4 – Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, referente ao cumprimento da Cláusula 165 do TTAC.

Incluir análise da verificação sexual de uma proporção dos filhotes e da temperatura dos ninhos por meio de *data loggers* (termômetros), e verificar se a contaminação por metais está interferindo na proporção de machos e fêmeas das ninhadas (desvio da proporção sexual).

k) Cetáceos

A descrição dos resultados dos indicadores de acordo com o tema Cetáceos apresentou erros gramaticais e muitas vezes exposição escrita confusa, prejudicando a análise dos dados e uma conclusão específica da situação. Na apresentação dos resultados do indicador Índices de Diversidade e Estruturação Genética de Cetáceos, houve falha na organização da apresentação dos dados em relação às tabelas das duas espécies na análise da diversidade genética mitocondrial, o que dificultou a compreensão das conclusões apresentadas. Assim, sugere-se uma revisão mais acurada dos textos antes da finalização dos documentos.

Para a seção destinada aos resultados histopatológicos encontrados na categoria Saúde dos cetáceos, sugere-se a análise e apresentação de forma mais integrativa com os demais resultados obtidos nas outras categorias do monitoramento (e.g. altas concentrações de contaminantes, baixa diversidade genética), além de dados numéricos e estatísticos, quando possível.

A ausência do parâmetro "Interação dos cetáceos com a pesca" no novo ciclo do PMBA/Fest prejudica a avaliação dos impactos do rompimento da barragem sobre a percepção dos pescadores, o avistamento de cetáceos e os efeitos negativos na pesca regional, elementos adicionais para compreender os impactos nas camadas de base da cadeia trófica e na mortalidade dos cetáceos relacionados ao desastre, inclusive indicando fatores contribuintes para o aumento no número de interações com a pesca e o emalhe de animais, o que justifica o retorno da análise desse parâmetro.

A evolução temporal dos impactos e a persistência dos danos na megafauna marinha destacam a urgência em continuar o monitoramento, com o intuito de aprofundar a compreensão da dinâmica desses efeitos ao longo do tempo. Isso é especialmente importante ao considerar a longevidade dos cetáceos e sua vulnerabilidade aos efeitos de contaminantes com capacidade de bioacumular e/ou biomagnificar na biomassa, dada sua posição como animais topo de cadeia.

l) Aves Marinhas

Metodologias de marcação (anilhamento) e monitoramento remoto (GPS) são recomendadas para compreender os padrões espaciais e temporais de aves marinhas na região, propondo-se ampliação das espécies monitoradas para inclusão de aves migratórias e ameaçadas. A continuidade da análise envolvendo rastreamento das espécies de aves marinhas selecionadas é importante para que se possa ampliar o número de indivíduos rastreados. Variáveis ambientais, associadas com a distribuição das presas das espécies (temperatura da água, clorofila- α e batimetria) podem ser medidas para subsidiar a melhor análise dos resultados;

Aprofundar as estimativas populacionais de aves marinhas reprodutoras em Abrolhos e no litoral do Espírito Santo, incluindo metodologias de marcação e recaptura; e gerando modelos

demográficos que contemplem mortalidade, reprodução e recrutamento. Recomenda-se que sejam intensificados os esforços para o monitoramento reprodutivo de *S. hirundinacea* no litoral do Espírito Santo. A avaliação de causas de mortalidade e insucesso reprodutivo (ex. predação, condições climáticas extremas, patógenos, entre outros fatores) necessita de maior atenção;

Continuidade e ampliação do estudo da dieta das espécies através da análise de regurgitações, considerando o número reduzido de amostras obtidas e analisadas em 2022. Incluir espécies da Família Sternidae;

Contemplar a avaliação da contaminação das presas das aves marinhas, e do ambiente no qual nidificam (solo). Recomenda-se que seja realizada amostragem detalhada de indivíduos que apresentem anomalias de formação e saúde, entre outros;

Sugere-se que no próximo relatório anual seja avaliada a correlação da presença de patógenos e resistência a antibióticos com a área de vida das populações de aves monitoradas, sazonalidade e variáveis ambientais a fim de identificar se há ou não correlação entre a presença de patógenos e a proximidade com a pluma de rejeitos;

Portanto, sugere-se a continuidade do monitoramento por, pelo menos, uma janela temporal que contemple o tempo de uma geração para aves marinhas. Além dos indicadores atualmente utilizados, recomenda-se a otimização do monitoramento.

m) Monitoramento remoto da megafauna

As análises sobre o comportamento alimentar dos botos-cinza ao longo do tempo foram prejudicadas por não estarem contempladas como espécie monitorada remotamente neste último relatório, assim como as metodologias utilizadas (dronemonitoramento, ROV, bioacústica e sobrevoo tripulado) poderiam nos fornecer informações dos demais cetáceos que frequentam a região. Sugere-se que a espécie *S. guianensis* seja novamente incorporada a essas análises, assim como, pelo menos oportunisticamente, as outras espécies de cetáceos.

n) Sedimentação Costeira

Na figura 6 o título cita a frequência de frentes frias e frequência de ventos sul em Abrolhos, porém a metodologia, no item 2.2 descreve que dados sobre as frentes frias e ventos sul são coletados em latitude 20°S e longitude 40°W (ao sul da foz do rio Doce, em frente ao município de Aracruz). Porém, como às frentes frias causam a ressuspensão do material sedimentar do rio Doce depositado ao longo da costa adjacente à foz, a coleta de dados sobre as frentes frias também ao norte da foz (ou ao sul do arquipélago dos Abrolhos) se faz importante considerando que nem toda frente fria ao sul da foz do rio Doce chega a Abrolhos. Esta análise pode contribuir com o esclarecimento da relação destas características meteoceanográficas com o aporte de sedimentos na região dos Abrolhos.

Não foram considerados dados sobre a dragagem do canal do Tomba/rio Caravelas, e da área de descarte da referida dragagem, que foi sazonal durante as campanhas de coleta de dados em campo. Sendo que a última campanha de dragagem realizada antes da desativação do Porto da Suzano em Caravelas, em fevereiro de 2021, foi realizada entre os dias 11 de dezembro de 2019 e 31 de março de 2020.

Não consta no relatório referência a Área de Proteção Ambiental Ponta da Baleia Abrolhos, apesar de solicitações anteriores e apesar de pontos de amostragem estarem no interior desta UC.

4.3.3 AMBIENTE COSTEIRO

4.3.3.1 Avaliação de Impactos Ambientais e Identificação de Tendências nos Parâmetros monitorados

A partir da solicitação da CTBIO, por meio do Ofício SEI nº 85/2022/CTBIO/DIBIO/ICMBio (SEI 13241968) e após aprovação de proposta apresentada pela FEST e Fundação RENOVA, foi alterada a estrutura dos relatórios do PMBA, visando apresentar de forma objetiva e clara os resultados, com análise crítica pelos pesquisadores, a fim de subsidiar os governos e demais

tomadores de decisão, reduzir o volume de informações de baixa relevância e propiciar a comparação objetiva com dados de relatórios anteriores.

Porém, a nova forma de apresentação do relatório, com a Síntese dos Ambientes, que sem dúvida avançou na compreensão e análise da abrangência e efeitos da dispersão da lama de rejeitos na região costeira e marinha, dificultou a verificação das fontes de dados e análises (dados brutos, gráficos, tabelas, citações bibliográficas) que corroboram as afirmações e indicações apresentadas ao longo do texto, ao menos para o Ambiente Costeiro.

A redação do texto está com uma melhor qualidade que em anos anteriores, comparando os resultados dos diferentes ecossistemas. A qualidade das figuras é melhor e elas são mais intuitivas, e a manutenção da matriz de resultados (baseada na matriz de Leopold) é um avanço importante. No entanto, com os resultados apresentados de forma genérica, sem especificar quantidades ou apresentar as comparações a que se refere, não permite fazer uma real avaliação do que foi feito e dos resultados obtidos.

O ambiente costeiro, que é influenciado pelos sistemas marinho, dulcícola e atmosférico, destacando sua complexidade e transicionalidade, teve seu monitoramento estruturado com foco nos ecossistemas de praia, manguezal e restinga, influenciados pela interação de fatores geomorfológicos e hidrodinâmicos que afetam suas variáveis abióticas (como sedimento) e bióticas (flora e fauna).

Especificamente para este ambiente, a área amostral foi subdividida nos compartimentos A (as praias associadas às falésias e terraços de abrasão, localizadas ao sul da planície deltaica do Rio Doce, no litoral dos municípios de Serra/ES e Aracruz/ES - Estações S1, S2 e S3), B (praias localizadas no extremo sul da planície do Rio Doce e inclui as praias de Barra do Riacho e da Reserva Indígena de Comboios (Estação S4* e S5), B' (praias da REBIO de Comboios e Regência, ao sul da desembocadura, e Povoação, ao norte da desembocadura do Rio Doce (Estações S6, S7 e N1), e C (praias ao norte da planície deltaica do Rio Doce (Estações N2, N3*, N4, N5 e N6), em função das características geomorfológicas, geoquímicas e sedimentológicas de cada trecho.

*As estações S4 e N3 foram suprimidas a partir de agosto/2023, conforme justificativas apresentadas pela FEST e acatadas pela CT-BIO.

a) Praias

O relatório destaca a influência das oscilações dos padrões hidrológicos e meteoceanográficos na distribuição do material lamoso ao longo da região costeira, fração onde predomina a concentração dos elementos químicos. Ressalta que, nos períodos chuvosos, ocorre maior aporte lamoso pelo rio e eventos inundacionais do sedimento da restinga. Nos períodos secos, há maior probabilidade de eventos de maior energia das ondas, e conseqüentemente mobilização e transporte do material pelas ondas e correntes costeiras para a praia e manguezal, sendo provável que o material oriundo do rompimento da barragem, que se encontra depositado ao longo da bacia e na plataforma, esteja recorrentemente se distribuindo ao longo da costa.

Ao longo dos quatro anos do monitoramento, foi possível verificar que ocorreu o enriquecimento das concentrações de alguns elementos químicos nas praias adjacentes à desembocadura do Rio Doce (Compartimentos B' e C), provenientes do aporte do rejeito de mineração (Al, Ba, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e V) na plataforma continental, em especial na isóbata de 10 metros, juntamente com os maiores teores de lama litoclástica.

Devido à proximidade da foz e do sentido preferencial da deriva longitudinal, estes compartimentos são os que recebem e depositam os maiores teores de lama e de contaminantes na antepraia e, em menor quantidade, na praia emersa, sendo maior ainda a contaminação no compartimento C.

O compartimento B é o trecho considerado mais resiliente aos prováveis impactos associados à contaminação por elementos químicos, pois apresenta maior potencial de autolimpeza em função das características morfodinâmicas. Por isso, a comunidade bentônica desse compartimento apresenta menor evidência de impacto ao rejeito de minério e maior adaptação aos estresses naturais atuantes, onde a ausência dos contaminantes favorece o recrutamento e permanência dos organismos da macrofauna bentônica.

A lama na antepraia do Compartimento B' apresenta maiores variações nos teores pela influência direta da vazão do Rio Doce. Os teores máximos de lama e elementos químicos estão associados à períodos chuvosos ou eventos de alta energia de onda. O aumento significativo da vazão fluvial (período chuvoso) traz sedimentos mais mal selecionados e elementos químicos, enquanto os eventos de alta energia podem contribuir para mobilização do sedimento lamoso para antepraia.

As praias do Compartimento B permaneceram com os teores de lama próximos a zero ao longo de todo o período de monitoramento, mesmo quando há maior contribuição de sedimentos terrígenos pela alta vazão do Rio Doce, em face do estado morfodinâmico tipicamente refletivo das praias, com perfis elevados de areia grossa, favorecendo que os elementos químicos sejam naturalmente expulsos da praia. Assim, o relatório considera que este é o trecho mais resiliente, do ponto de vista morfodinâmico, aos prováveis impactos associados à contaminação por elementos químicos, pois apresenta maior potencial de autolimpeza, onde a comunidade bentônica apresenta menor evidência de impacto ao rejeito de minério e maior adaptação aos estresses naturais atuantes.

Quanto ao Compartimento A, o relatório aponta que os teores de lama na praia emersa são praticamente inexistentes (0 a 0,5%) e na antepraia variam de 0 a 25,6%. Destaca ainda que, sob condições de ventos e ondas de nordeste com alta duração, a pluma do Rio Doce, associados aos elementos químicos do rejeito de minério, pode transpor as barreiras dos terraços e alcançar as praias, restingas e estuários, porém por um pequeno intervalo de tempo, o que pode favorecer sua gradual dissipação.

No compartimento A, os elementos químicos dos sedimentos das praias são os que apresentam maiores concentração na região emersa, com destaque para As, Hg, Mn, Ni e V. A concentração dos elementos químicos, de maneira geral, tem apresentado baixa variabilidade ao longo do monitoramento o que indica que não há uma tendência de recuperação das praias considerando a variabilidade dos resultados na série histórica.

Com relação às alterações morfológicas, o relatório aponta uma tendência erosiva nas praias do Compartimento C, sendo que na praia de Degredo (N2), durante todo o período de monitoramento, verificou-se um recuo da linha de costa em aproximadamente 20m, bem como a instabilidade dos valores dos parâmetros ecológicos da fauna bentônica, quando comparados a dados do período pré-rompimento. No compartimento B', as praias de Regência (S7) e Povoação (N1) vem apresentando uma tendência geral erosiva, com recuo da linha de costa na ordem de 50m, apesar da progradação registrada de aproximadamente 100 m da face praial desde janeiro/2021 em Povoação (N1).

O compartimento A, que em função de suas características morfodinâmicas possui baixa mobilidade do sedimento, pode ser caracterizado como um sistema de baixa energia e possivelmente baixa resiliência quanto a aspectos de poluição.

O relatório destaca que os parâmetros ecológicos da macrofauna e meiofauna bentônica apresentam relações negativas com o aumento de As, Al, Ba, Fe e Pb na antepraia; que a riqueza da macrofauna e a densidade de copépodos, que são organismos mais sensíveis, vem reduzindo com o tempo; e que há uma tendência de aumento da densidade de Nematoda, que apresenta característica de maior tolerância aos estressores ambientais.

Para as praias emersas, o monitoramento vem mostrando uma tendência de redução da densidade da macrofauna no compartimento C ao longo das campanhas, assim como a redução da diversidade de Shannon-Wiener e equitabilidade de Pielou da meiofauna. No entanto, ambos parâmetros têm relações negativas com o Al, que está presente em maior quantidade nesse compartimento. Sendo assim, no Compartimento C os parâmetros da macrofauna das praias emersas continuam com valores reduzidos onde deveriam ser altos, como previsto na literatura para praias com características mais dissipativas.

Os caranguejos maria-farinha apontaram também um aumento considerável nos níveis teciduais de metais, o que foi observado nos três compartimentos, sendo no C os teores mais elevados.

Destaca-se ainda que a contaminação por elementos químicos nos sedimentos praias, representada pelos altos níveis de As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Zn e Pb, foi transferida para os ovos de tartarugas durante o período de incubação nas praias do Compartimento C, como também nos Compartimentos B' e A.

b) Manguezal

Os impactos sobre os sedimentos e a flora dos manguezais estão sujeitos às oscilações sazonais em função dos maiores aportes fluviais no período chuvoso, já a densidade e tamanho das carapaças dos caranguejos se apresentam impactados e ainda em processos de adaptação em função dos altos teores de elementos químicos no ecossistema. Já o monitoramento do IBR biomarcador indica o aumento de estresse fisiológico nos caranguejos dos estuários na porção do Rio Doce e litoral norte.

O compartimento C possui predominância de sedimentos de granulometria mais fina no substrato dos manguezais de Urussuquara, Barra Nova e São Mateus, o que favorece a permanência dos elementos químicos sobre o sedimento e nas folhas da *Rhizophora mangle*. Destaca-se a maior concentração de Mn, principalmente nos períodos secos, associada à maior intensidade dos ventos e possibilidade de transporte por aerossol, o que reduz o desempenho fotossintético causando a menor assimilação de carbono e ainda, maior estresse oxidativo.

Sobre o guaiamum, o relatório aponta que houve declínio significativo na foz do Rio Doce, onde ressalta-se o impacto direto da pluma de rejeitos sobre o habitat da espécie e os compartimentos biótico e abiótico, passando de 1.5 indivíduo/m² (período chuvoso 2018/2019) para 0.7 indivíduo/m² (período seco 2022).

Em relação ao de *U. cordatus* nos compartimentos B' e C, houve declínio significativo na foz do Rio Doce, onde ressalta-se o impacto direto da pluma de rejeitos sobre o habitat da espécie e os compartimentos biótico e abiótico, passando de 1.5 indivíduo/m² (período chuvoso 2018/2019) para 0.7 indivíduo/m² (período seco 2022). A média abaixo do tamanho comercial (indivíduos com largura do cefalotórax \geq mm 60 mm) em todos os períodos foi verificada. O tamanho médio foi positivamente correlacionado com a concentração de metais no sedimento (Al, Co, Cr, Cu, Fe, Pb, V e Zn) e nas folhas (Zn e Mn), demonstrando que indivíduos maiores ocorrem em bosques com as maiores concentrações de metais e juvenis em áreas com as menores concentrações.

Nos compartimentos B' e C, o relatório identifica que o estoque comercial de *U. cordatus* está comprometido e que os parâmetros avaliados em escala temporal são relevantes para verificar a vulnerabilidade da espécie, especialmente os indivíduos nas maiores classes etárias, frente aos riscos da concentração de metais no compartimento biótico (flora) e abiótico (sedimento) em longo prazo.

Os parâmetros estruturais dos caranguejos (densidade e tamanho médio da carapaça) se mantêm uniformes ao considerar os períodos de abrangência do PMBA/Fest, nos quais as médias de tamanho ficam próximas a faixa etária dos adultos (LC > 45 mm) a partir do Ano 3, mas inferiores aos dados pretéritos existentes.

Como consequência da presença de frações granulométricas maiores de sedimento, o manguezal de Barra do Riacho, que possui a mais baixa composição de granulometria fina e maiores de cascalho e areia, quando comparado aos demais estuários, apresenta as concentrações relativamente mais baixas de elementos químicos ao longo do monitoramento, ainda que área tenha forte conexão com a bacia hidrográfica do Rio Doce.

c) Restinga

O relatório fornece informações sobre os impactos na restinga da região costeira do Espírito Santo, especialmente nos Compartimentos B' e C, resultantes do aporte de rejeito de mineração proveniente do Rio Doce.

A vegetação de restinga, composta por três formações vegetais (herbácea, arbustiva e arbórea), responde à contaminação pelo rejeito de mineração. Os impactos dependem da disponibilidade dos elementos químicos, sujeitos a fatores como eventos de inundação, exposição ao aerossol marinho, precipitação, aumento de descarga fluvial e remobilização marinha.

Há um enriquecimento das concentrações de alguns elementos químicos na plataforma continental e nas praias adjacentes à desembocadura do Rio Doce nos Compartimentos B' e C. Isso ocorre devido ao aporte de rejeito de mineração.

Os padrões hidrológicos e meteoceanográficos afetam a distribuição do material lamoso ao longo da região costeira. Períodos chuvosos aumentam o aporte lamoso pelo rio, enquanto períodos secos aumentam a probabilidade de eventos de maior energia das ondas.

A análise de agrupamento apresentada no relatório, revela que a riqueza da vegetação de restinga acompanha a compartimentação proposta pelo monitoramento, indicando variações na flora associadas aos diferentes compartimentos avaliados.

Em resumo, o relatório destaca os efeitos complexos do aporte de rejeito de mineração nos ecossistemas costeiros, especialmente na restinga, e como fatores sazonais e hidrológicos influenciam a distribuição e impactos dos elementos químicos na região, como exemplo:

- i) Redução dos valores de importância de espécies típicas da restinga da região à barlavento, incluindo espécies estoloníferas e uma espécie subarbusciva ameaçada de extinção. Alterações na sincronia reprodutiva e na comunidade herbácea são observadas.
- ii) A exposição das plantas ao aerossol marinho favorece a adesão de elementos na superfície das folhas. As concentrações de elementos químicos observadas nas formações herbáceas e arbustivas são decorrentes das particularidades da distribuição da vegetação.
- iii) O aporte de elementos químicos via aerossol marinho afeta diretamente a vitalidade da vegetação de restinga, comprometendo a produtividade primária, o metabolismo primário, causando estresse oxidativo e afetando a reprodução.

O relatório ainda descreve uma série de impactos ambientais nos Compartimentos B' e C, especialmente ao redor da foz do Rio Doce, relatados resumidamente a seguir:

- Contaminação por Elementos Químicos:

As restingas próximas à foz do Rio Doce e litoral norte sofrem recorrência de impactos à vegetação devido a eventos de inundação, variações climáticas e morfodinâmicas, resultando na redução da vitalidade de espécies arbustivas e arbóreas.

A análise dos elementos químicos indica aumento das concentrações de As, Cr, Mn, Pb, e Al nos tecidos foliares das plantas da restinga.

- Impacto na Vegetação e Ecossistema:

Redução nos valores de importância de espécies na comunidade herbácea da restinga, com estratégias de desenvolvimento distintas, sugerindo impactos não compreendidos.

A análise dos elementos químicos indica aumento das concentrações de diversos metais nos tecidos foliares, influenciando na vitalidade, produtividade primária e estresse oxidativo da vegetação.

A assimilação de carbono da espécie *Talipariti pernambucense* manteve tendência de redução, associada ao aumento na concentração de metais no tecido foliar.

d) Ecotoxicologia

Manguezal

Nos caranguejos de mangue coletados durante o período chuvoso de 2022 (Campanha 7 - março de 2022), os resultados do IBR bioacumulação revelaram um aumento nos níveis de elementos nos tecidos dos animais nos setores A e B em comparação com campanhas anteriores. No setor A, notou-se um aumento significativo nas concentrações de As, Fe, Hg e Zn, enquanto no setor B, representado pelo estuário do Rio Doce, houve um aumento nas concentrações de Mn, Cd, Cu e Fe nos caranguejos coletados.

Os resultados do IBR biomarcador para os caranguejos de mangue coletados durante o último período chuvoso (Campanha 7 - mar 2022) indicaram um padrão de resposta muito similar àquela observada na campanha anterior (Campanha 6 - jul/ago 2021). Apesar do discreto aumento na resposta biológica dos crustáceos coletados no setor A durante o período chuvoso de 2022, em comparação àquela observada no período seco de 2021, os caranguejos de mangue do Setor B ainda se destacaram sobre os demais, em termos de resposta biológica.

Cabe destacar que os maiores níveis de lipoperoxidação observados nas brânquias dos caranguejos de mangue, nas duas últimas campanhas realizadas (Campanha 6 - jul/ago 2021 e Campanha 7

- mar 2022), indicam que este órgão é o mais afetado pela exposição aos metais, visto que o mesmo se encontra em contato direto com a água.

Praia

Quanto dos bioindicadores: Antes de tudo, é importante destacar que os indicadores apresentados neste contexto têm como objetivo esclarecer e resumir a trajetória histórica dos resultados, interpretações e conclusões do monitoramento. Eles desempenham um papel crucial ao permitir o acompanhamento espaço-temporal da qualidade ambiental e biodiversidade, ao mesmo tempo em que se configuram como ferramentas essenciais de apoio para os gestores ambientais. A análise desses indicadores possibilita a identificação de impactos relacionados direta ou indiretamente ao rompimento da Barragem de Fundão em Mariana (MG).

A partir da análise dos quadrantes superiores da PCA, pode ser observado que a maior parte dos elementos analisados nos tecidos dos caranguejos de praia estiveram associados às estações amostrais DNU (Urussuquara), DSC (Comboios), ARR (Refúgio/Aracruz) e DNP (Povoação).

Os caranguejos maria-farinha apresentaram um aumento significativo nas concentrações de elementos nos tecidos durante o último período chuvoso (Campanha 7 - março de 2022), em comparação com períodos anteriores. Este aumento foi observado nos três setores amostrais, com o setor C (Norte) apresentando um discreto aumento em relação aos demais setores.

Os resultados do IBR bioacumulação nos caranguejos maria-farinha revelaram um aumento significativo nas concentrações de elementos nos tecidos durante o último período chuvoso (Campanha 7 - março de 2022), comparado a períodos anteriores. É notável que esse aumento nos níveis totais de elementos nos tecidos variou em cada setor amostral. Por exemplo, no setor C, houve picos de bioacumulação de Hg, enquanto no setor B, os caranguejos apresentaram níveis mais elevados de As e Cu. No setor A, os animais se destacaram pelos maiores níveis de Cr e Fe.

Os resultados do IBR bioacumulação obtidos para os outros invertebrados (anfípodes e isópodes), somando ao período chuvoso de 2022 (Campanha 7 - mar 2022), demonstraram uma tendência de estabilização das concentrações totais de metais ao longo do tempo, a partir da Campanha 2 (jan/fev 2019), com os maiores valores do índice associados à Campanha 1 (set/out 2018). Esta observação sugere a ocorrência de um impacto agudo que vem sendo atenuado ao longo do tempo, no caso deste grupo de organismos.

Nos invertebrados de praia (anfípodes e isópodes), foi observada uma diminuição no valor do IBR biomarcador durante a Campanha 7 (mar 2022 - período chuvoso), em relação àqueles valores observados nas duas campanhas anteriores, em todos os setores amostrais, e em maior intensidade para os organismos coletados no setor C.

Cabe destacar que os maiores níveis de Hg em invertebrados de praia também foram obtidos durante este último período chuvoso (Campanha 7 - mar 2022). Assim como observado para os outros organismos costeiros (caranguejos de praia e de manguezais). Isto pode indicar a existência de um maior aporte de metal para os ambientes costeiros durante os períodos caracterizados por altos índices de pluviosidade.

Aves

É possível observar na PCA (Figura 13 - MS_AC_Ecotoxicologia, p.33) gerada para os dados da Campanha 7 (março 2021), a formação de dois agrupamentos. No primeiro deles, as amostras provenientes da área de manguezal foram bem caracterizadas pela presença de pesticidas e HPAs. Por outro lado, no segundo grupo, as amostras provenientes da região de estuário e costeira se relacionaram às quantificações de PCBs.

Os resultados do IBR bioacumulação específicos para a Campanha 7 (mar 2022 – estação chuvosa) indicaram um discreto aumento nos níveis dos elementos nas aves costeiras, em relação à Campanha 6 (jul/ago 2021 - estação seca), sendo que tais níveis foram similares aos observados para o período chuvoso anterior (Campanha 5, jan/fev 2021).

Neste caso, cabe destacar que as aves costeiras coletadas durante o período chuvoso de 2022 apresentaram um aumento nos níveis de Fe nas penas e no sangue, corroborando os resultados observados para outros organismos costeiros, tais como os caranguejos de manguezais e de praia. Esta observação pode indicar um maior aporte de Fe para a região em estudo durante os períodos de maior pluviosidade.

4.3.3.2 Conclusões – Ambiente Costeiro

O relatório aponta que o rejeito de minério, que atingiu a costa em 2015, continua a impactar a linha costeira sazonalmente, sendo transportado por elementos como ondas, correntes, marés e vento.

Na Matriz de Resultados para o ambiente costeiro, verifica-se que foram classificados como impactos críticos a alteração nas características físicas da praia e as alterações na estrutura de comunidades da macrofauna e da meiofauna bentônicas; e como impacto alto a contaminação do sedimento de praia por metais e metalóides.

Observa-se pelo relatório que o impacto ainda persiste na região estudada pelo PMBA/FEST, com evidências mostrando que mesmo os níveis ambientais mais básicos ainda estão sob o efeito das mudanças ambientais.

Observando a matriz de resultados para o ambiente costeiro, observa a predominância entre os níveis abióticos e bióticos a presença impactos denominados altos e críticos, com destaque para os críticos: Bentos: macrofauna, Bentos meiofauna relacionando-se à alterações ecológicas na estrutura de comunidade, em contaminação química por metais e metalóides, os resultados aparecem altos e críticos, tanto para sedimento de praia, sedimento de restinga, sedimento de manguezal, vegetação de restinga, caranguejos de manguezal e crustáceos de praia; houve aumento nos índices de resposta biológica, em caranguejos de manguezal e crustáceos de praia. Isto posto, sob a observação que em ecotoxicologia, não houve inserção de informações referentes à campanha 8, logo essa análise não é completa para o período entregue.

a) Praias

No que se refere à evolução dos impactos, devido às alternâncias entre aportes fluviais do Rio Doce e mobilidade do material do rejeito depositado na antepraia e plataforma continental, os ecossistemas costeiros, exceto por registros pontuais, não apresentam tendência de diminuição do impacto causado pelas altas concentrações de elementos químicos.

Considerando a série histórica e o índice de contaminação (SQG-q *sediment quality guidelines quotient*) observa-se que não há a tendência de recuperação ou de agravamento, pois sazonalmente se alternam os valores altos e médios e as praias se apresentam como moderadamente contaminadas.

Destacam-se os impactos sobre a fauna, cujo período de resposta dos indicadores reprodutivos e de desenvolvimento são específicos para cada espécie, e ainda dificultado pela manutenção do aporte fluvial e marinho de elementos químicos ao sistema costeiro. Por outro lado, após o impacto agudo verificado no início do monitoramento, os resultados do IBR obtidos para os anfípodas e isópodos e a contaminação das penas e aves, indicam uma pequena diminuição e posterior estabilização dos contaminantes.

Na avaliação temporal, os maiores índices de contaminação e maiores impactos do rejeito sobre a comunidade bentônica de praia e no sedimento dos manguezais estão associados ao compartimento C.

Os resultados indicam que o Compartimento C tem se apresentado como a região da malha amostral mais severamente impactada pelo aporte do Rio Doce, onde maiores concentrações dos elementos químicos (Al, Ba, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e V) são encontrados na isóbata de 10 metros, juntamente com os maiores teores de lama litoclástica. Os indicadores ecológicos da fauna bentônica continuam apresentando relações com elementos químicos potencialmente tóxicos associados aos rejeitos de minério de ferro (Fe, Al, Mn, As, Ba, Ni) que estão em maiores concentrações nesses compartimentos.

b) Manguezal

O relatório aponta que o estuário de Caravelas (BA) não foi agrupado nesses compartimentos, sob a justificativa de que se encontra em outro estado e associado a uma bacia hidrográfica que recorta uma área grande e, desta forma, a sedimentação e hidrodinâmica estão sujeitas às particularidades naturais, climáticas e antropogênicas regionais. Aponta ainda que a partir de agosto de 2022 (novo monitoramento PMBA/FEST), este estuário foi excluído da malha amostral por apresentar outras influências ambientais que não permitem análises com a contribuição do rejeito de minério, além de não apresentar agrupamentos com os demais estuários.

Apesar desta argumentação, verifica-se na Matriz de Resultados - PMBA/Fest 2022 para o Ambiente Costeiro, que a contaminação por metais e metalóides do sedimento do manguezal do estuário de Caravelas foi classificada como impacto crítico; também foram classificadas como impactos altos a contaminação por metais e metalóides da vegetação de mangue e a alteração na estrutura da população do caranguejo-uçá deste estuário, importante recurso alimentar e econômico para a região.

Em relação à fauna do manguezal, não foram apresentados resultados e análises envolvendo razão sexual. Além disso, os dados de mapeamento estão incompletos; por exemplo: não foi apresentado mapa das unidades de paisagem com indicação da área de uso das espécies; também não foi identificado processamento de imagem de satélite com o intuito de realizar o referido mapeamento.

c) Restinga

De maneira geral, os estudos estão sendo adequadamente conduzidos, com a metodologia seguindo o estabelecido no plano de trabalho e já pode ser observado evolução ao longo dos 4 anos de monitoramento; porém, vale ressaltar que o layout adotado dificulta de certa forma a análise além de alguns resultados serem apresentados de forma genérica. Nota-se ainda uma dificuldade na interpretação de algumas figuras e gráficos apresentados no material suplementar, separados do texto.

Em síntese, o relatório de Análise do Ambiente Costeiro – RESTINGA oferece uma compreensão abrangente dos impactos causados pela incorporação de rejeitos de mineração na região costeira do Espírito Santo ao longo de quatro anos de monitoramento. A análise aborda a complexidade e a transicionalidade desse ecossistema, influenciado por fatores marinhos, dulcícolas e atmosféricos. O estudo destaca a interação entre fatores geomorfológicos e hidrodinâmicos, ressaltando a diversidade ao longo do litoral.

Os impactos observados na vegetação de restinga são detalhadamente descritos, evidenciando a contaminação por elementos químicos provenientes do Rio Doce. A redução na vitalidade de espécies arbustivas e arbóreas, alterações na sincronia reprodutiva e na comunidade herbácea são apontadas como consequências desse impacto ambiental persistente.

Para enfrentar esses desafios, o relatório propõe estratégias de recuperação da restinga, enfatizando a importância do monitoramento *in situ* e *ex situ*, além de destacar o potencial de espécies resilientes, como *Jacquinia armillaris*. A utilização de microrganismos promotores de crescimento e a identificação de genes de interesse são apresentadas como abordagens promissoras para impulsionar a regeneração do ecossistema.

Além disso, o relatório sugere melhorias no modelo conceitual e analítico dos ambientes estudados, propondo uma abordagem integrada que leve em conta os processos físicos, biogeoquímicos e as interações entre os compartimentos. Recomenda-se ainda a inclusão de medidas de conservação e recuperação específicas para os diferentes ecossistemas.

Em última análise, o relatório não apenas documenta os impactos persistentes na região, mas também oferece um caminho claro para a recuperação, promovendo a compreensão aprofundada dos processos ambientais e propondo estratégias práticas para mitigar os efeitos adversos. A continuidade do monitoramento e a implementação efetiva das medidas sugeridas são essenciais para avaliar a eficácia das ações de recuperação e garantir a sustentabilidade dos ecossistemas costeiros.

O relatório apresenta uma análise detalhada de diferentes estratégias e ferramentas utilizadas no estudo e possível recuperação de áreas de restinga:

- Monitoramento *in situ* e análise *ex situ*:

O texto destaca a importância do monitoramento *in situ* (realizado no local) e da análise *ex situ* (realizada fora do ambiente natural) para a definição de estratégias de reparação em áreas de restinga.

- Comportamento de espécies na Restinga:

Observa-se que a maioria das espécies da Restinga possui um crescimento lento. Análises preliminares apontam diferenças significativas entre as herbáceas, especialmente em relação à porcentagem de estacas mortas durante os períodos seco e chuvoso.

- Espécie "vulnerável" - *Jacquinia armillaris*:

Destaca-se o sucesso no brotamento de uma espécie listada como "vulnerável" na lista de espécies ameaçadas de extinção no Espírito Santo. O método de brotamento e enraizamento de estacas é considerado uma estratégia importante para superar dificuldades de propagação por sementes.

- Uso de microrganismos promotores de crescimento:

O relatório aborda ensaios em andamento para identificar o potencial uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal nas áreas costeiras. Resultados preliminares sugerem que a microbiota associada ao sistema radicular das espécies herbáceas têm maior capacidade de promover o crescimento.

- Identificação de genes de interesse:

Além da busca por microrganismos, os ensaios visam identificar genes de interesse relacionados à produção de reguladores de crescimento, fixação de nitrogênio e produção de ACC deaminases. Ferramentas moleculares serão utilizadas para analisar esses genes.

- Bioensaios para determinação do efeito dose-resposta:

O relatório menciona a aplicação de bioensaios para avaliar o efeito dose-resposta a partir de extratos solubilizados do sedimento. Estes bioensaios visam determinar danos aos sistemas biológicos, bioquímicos e moleculares, utilizando índices como germinação, crescimento radicular e análises de quebras na cadeia de DNA.

Aprimoramentos no modelo conceitual e analítico dos ambientes estudados, integrando respostas da biodiversidade decorrentes da presença do material oriundo do rompimento ou de processos naturais em diferentes escalas e compartimentos.

d) Ecotoxicologia

No geral, apesar da vacância de informações da campanha 8 da ecotoxicologia, cujas variáveis integram a matriz de análise dos impactos provenientes do aporte de sedimentos advindos da calha, alcançando estuário, foz, e compartimentos praias e marinhos, fica ainda evidenciado que o aporte, proveniente da carga do Rio Doce, e a distribuição do material lamoso ao longo da região costeira, fração onde predomina a concentração dos elementos químicos, são subordinados às oscilações dos padrões hidrológicos e meteoceanográficos. Períodos chuvosos representam maior aporte lamoso pelo rio e eventos inundacionais do sedimento da restinga. E, nos períodos secos, há maior probabilidade de eventos de maior energia das ondas, e conseqüentemente mobilização e transporte do material pelas ondas e correntes costeiras para a praia e manguezal. Assim, é provável que o material oriundo do rompimento da barragem, que se encontra depositado ao longo da bacia e na plataforma, esteja recorrentemente se distribuindo ao longo da costa.

Para o ambiente praias, no âmbito da ecotoxicologia, (considerando somente os dados apresentados - campanha 7) o teor de lama ao longo dos perfis tem sido correlacionado com as elevadas concentrações de elementos químicos associados ao rejeito de minério de ferro. Este material, quando transportado para a praia emersa reduz a permeabilidade do sedimento com conseqüente alteração na

composição e diversidade da fauna bentônica. A forma como a geomorfologia e os processos oceanográficos se distribuem tem um efeito significativo nos indicadores abióticos e bióticos usados para avaliar os impactos da contaminação causada pelos resíduos de mineração nos ecossistemas da restinga, manguezal e praias. Esses impactos são mais pronunciados nas áreas próximas à foz do Rio Doce e na costa norte.

Destacam-se impactos sobre os bentos da praia ao norte do Rio Doce em função da concentração de elementos químicos e desequilíbrios ecológicos em função da morfodinâmica praial em praias de maior mobilidade.

A densidade e tamanho das carapaças dos caranguejos se apresentam impactados e ainda em processos de adaptação em função dos altos teores de elementos químicos no ecossistema. Já o monitoramento do IBR biomarcador indica o aumento de estresse fisiológico nos caranguejos dos estuários na porção do Rio Doce e litoral norte.

Os resultados do IBR obtidos para os outros invertebrados (anfípodas e isópodos) coletados nas praias apontaram, de maneira geral, pouca variação e tendência de estabilidade dos níveis dos elementos químicos nestes organismos entre os diferentes Compartimentos, ao longo do monitoramento após o impacto agudo da campanha de setembro de 2018. Por outro lado, os maiores níveis de Hg em invertebrados de praia e nos outros organismos costeiros durante os períodos chuvosos sugere o maior aporte deste elemento para os ambientes costeiros sob altos índices pluviométricos.

Para o ambiente manguezal, no âmbito da ecotoxicologia, (considerando somente os dados apresentados - campanha 7) o caranguejo de mangue tem se mostrado um ótimo indicador do impacto por elementos químicos, sobre o tamanho das carapaças e densidade, mas principalmente nos estuários do compartimento C e B', representado pelo rio Doce.

Os resultados ecotoxicológicos revelaram que o IBR biomarcador apontou aumento do estresse fisiológico nos caranguejos dos estuários dos compartimentos B' e C durante o período chuvoso. Notavelmente, houve aumento nos níveis de Mn, Cd, Cu e Fe nos tecidos, especialmente durante a última campanha chuvosa. A lipoperoxidação mais pronunciada nas brânquias dos caranguejos sugere que esse órgão é o mais afetado pela exposição aos metais, dada sua proximidade direta com a água.

Os caranguejos maria-farinha apontaram também um aumento considerável nos níveis teciduais de metais e, vale destacar, que este aumento foi observado nos três Compartimentos, sendo no C, observados os teores mais elevados.

Observando a matriz de resultados para o ambiente costeiro, observa a predominância entre os níveis abióticos e bióticos a presença impactos denominados altos e críticos, com destaque para os críticos: Bentos: macrofauna, Bentos meiofauna relacionando-se à alterações ecológicas na estrutura de comunidade, em contaminação química por metais e metalóides, os resultados aparecem altos e críticos, tanto para sedimento de praia, sedimento de restinga, sedimento de manguezal, vegetação de restinga, caranguejos de manguezal e crustáceos de praia; houve aumento nos índices de resposta biológica, em caranguejos de manguezal e crustáceos de praia. Isto posto, sob a observação que em ecotoxicologia, não houve inserção de informações referentes à campanha 8, logo essa análise é parcial.

Ao analisar exclusivamente os processos hidro-meteoceanográficos em relação aos índices, constatou-se uma correlação negativa entre o MPS (Material Particulado em Suspensão), a turbidez e as ondas com o PLI (Índice de carga poluente). Em resumo, maiores concentrações de partículas suspensas na água estão associadas a menores concentrações de metais dissolvidos, seguindo o mesmo padrão para as ondas. É importante notar que o PLI considera apenas quatro metais em sua forma dissolvida (Fe, Co, Cu e Hg), os quais possuem valores de referência nas legislações brasileiras e mundiais. No entanto, deve-se interpretar com cautela essas relações, pois, mesmo que o ambiente seja classificado como não poluído para esses quatro metais, concentrações de outros metais (dissolvidos e/ou particulados) podem impactar a qualidade ambiental da coluna d'água e da biota.

Utilizando os modelos conceituais como ponto de partida, a relação entre as concentrações de metais totais e dissolvidos na água superficial e de fundo, bioacumulado no fitoplâncton e zooplâncton, e com os níveis de lipoperoxidação (LPO) e níveis de metalotioneína foram estruturados em modelos lineares mistos sequenciais, dentro do contexto de pSEM. A LPO mostrou-se uma resposta robusta, consistentemente relacionada à presença dos metais na coluna d'água, bioacumulados nos organismos ou diretamente associada aos níveis de metalotioneína nos diferentes setores e ambientes. Esse

padrão sugere que em setores onde o dano oxidativo é alto e fortemente associado à presença dos metais, as defesas antioxidantes representadas pela metalotioneína encontram-se reduzidas.

Após o impacto agudo verificado no início do monitoramento, os resultados do IBR obtidos para os anfípodes e isópodes e a contaminação das penas e aves, indicam uma pequena diminuição e posterior estabilização dos contaminantes. A falta de informações provenientes da campanha 8ª, não reflete a realidade do período completo monitorado, nem a tendência, para afirmar quaisquer "melhora ou piora" nos ambientes.

4.3.3.3 Proposta de Encaminhamento – Ambiente Costeiro

Considerando a nova forma de apresentação do relatório, é fundamental que no capítulo relativo à Síntese do Ambiente Costeiro, o texto seja complementado com a inserção de referências aos dados brutos, gráficos, tabelas e citações bibliográficas, presentes nos documentos do anexo Material Suplementar, em formato que permita a eventual checagem das fontes que corroborem as afirmações e indicações de impactos apresentadas, visando dar maior robustez às importantíssimas conclusões resultantes do monitoramento. Adicionalmente, é importante a apresentação de um mapa ilustrando a distribuição das estações amostrais e seus respectivos compartimentos.

A persistência do impacto na região, conforme observado pelo PMBA/Fest, destaca a influência contínua das mudanças ambientais nos níveis mais básicos do ambiente. Neste contexto, a manutenção do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA) se torna fundamental. Este novo ciclo de monitoramento não apenas permitirá registrar a permanência ou redução do impacto crônico a longo prazo, mas também documentará as tendências futuras nas condições ambientais e na biodiversidade dos ecossistemas.

A relevância do PMBA estende-se à avaliação da eficácia das ações de recuperação ambiental implementadas na bacia do Rio Doce e na região costeira e marinha afetada. Ao acompanhar de perto as mudanças nos indicadores ambientais e nos níveis de biodiversidade, o programa fornece insights cruciais para a adaptação e aprimoramento contínuo das estratégias de restauração e conservação. Assim, a manutenção do monitoramento emerge como uma ferramenta estratégica para orientar a gestão sustentável da bacia do Rio Doce e promover a resiliência dos ecossistemas afetados.

As perspectivas e conclusões apresentadas no relatório devem ser consideradas na definição de ações do Plano de Ação para a Recuperação e Conservação da Biodiversidade Aquática dos Ambientes Costeiro e Marinho. Especialmente para o ecossistema restinga, foram discutidas algumas questões que devem ser avaliadas. Recomendamos que para os outros tópicos, os pesquisadores também apontem considerações que possam ajudar na implementação de ações de conservação e recuperação no âmbito do referido Plano de Ação. Nesse contexto, é necessária a continuidade de monitoramento dos parâmetros estudados, inclusive quando do início do processo de implementação do referido Plano, a fim de avaliar os resultados efetivos alcançados com a implementação das ações.

A manutenção do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática poderá registrar em longo prazo a permanência ou redução do impacto crônico, documentando as tendências futuras das condições ambientais e da biodiversidade nos ecossistemas, assim como monitorar a eficiência das ações de recuperação ambiental implementadas na bacia do Rio Doce e região costeira e marinha afetada.

a) Praias

No tópico Perspectivas e considerações, foi apontado que a apresentação, no próximo relatório, dos dados relativos ao monitoramento da linha de costa poderá auxiliar na avaliação de uma possível tendência de aplainamento do perfil topográfico, por conta da presença de lama no sistema praiial; que seria adequado concluir o mapeamento da lama de fundo com uma malha amostral refinada na antepraia, até o limite com a plataforma continental interna (20 m de profundidade) na região do polígono desenhado na frente da foz do Rio Doce; e que há necessidade de obtenção de imagens aéreas atualizadas, por meio de drone, para a avaliação da mobilidade da linha de costa e da declividade da face praiial.

Sugerem, ainda, excluir da análise os poliquetas intersticiais (*Saccocirrus pussicus* e *Hesionura variodentata*), por não estarem respondendo aos impactos do rejeito em função das preferências por grãos mais grossos.

As necessidades apontadas parecem plausíveis, mas faz-se necessária uma melhor fundamentação de como estes resultados adicionais proporcionarão melhores elementos para a compreensão dos impactos decorrentes do desastre, visando subsidiar a tomada de decisões pelas instâncias competentes.

Da mesma forma, a exclusão da análise dos poliquetas requer melhor fundamentação quanto à alegada não resposta aos impactos, antes que esta alteração seja efetivada.

b) Manguezal

Quanto à exclusão do estuário de Caravelas (BA) da malha amostral na nova fase do monitoramento PMBA, é importante que sejam apresentadas justificativas mais robustas para respaldar a exclusão, ou então que a referida estação amostral seja novamente incorporada ao monitoramento PMBA/FEST, considerando os indicativos deste relatório e dos anteriores do PMBA quanto a presença de elementos dos rejeitos de mineração na região, bem como pela relevância do estuário de Caravelas para a conservação e uso sustentável da biodiversidade aquática da região de Abrolhos.

Quanto às análises relacionadas à fauna do manguezal, recomenda-se:

- apresentar resultados e análises envolvendo razão sexual;
- apresentar os resultados e análises referentes ao mapeamento dos *habitats* das espécies de *U. cordatus* e *C. guanhumi*, conforme Submeta 2.3 do plano de trabalho do PMBA.

c) Restinga

Recomenda-se o desenvolvimento de alguns produtos e abordagens elencados no relatório e citados a seguir, que ainda estão em desenvolvimento considerando a abordagem integrada dos ambientes:

- i) *Inclusão e descrição de modelos conceituais e analíticos para o ambiente costeiro.*
- ii) *Avanços no entendimento dos processos físicos, biogeoquímicos e interação entre os compartimentos nos três ambientes.*
- iii) *Elaboração e descrição de modelos conceituais e analíticos integrativos dos três ambientes, incluindo modelos com níveis tróficos e ecológicos.*
- iv) *Visualização da escala de tempo nos principais processos e cadeias de impacto.*
- v) *Análises integradas entre os ambientes (dulcícola, marinho e costeiro) considerando mudanças na resiliência da bacia e incorporando a variabilidade climática.*
- vi) *Construção de variáveis compostas, que sintetizam a presença de todos os metais no ambiente externo e bioacumulados, para aumentar a complexidade do modelo e nosso entendimento das relações.*
- vii) *Sugerir medidas de conservação e/ou recuperação a serem implementadas nos diferentes ecossistemas.*

d) Ecotoxicologia

Considerando o tema de Ecotoxicologia perpassa os três ambientes as propostas de encaminhamentos se encontram em Encaminhamentos Gerais da Nota Técnica.

5. CONCLUSÃO E/OU PROPOSIÇÃO

A partir dos resultados dos Relatórios do PMBA/FEST, assegura-se de forma inequívoca que o material proveniente do rompimento da barragem de Fundão afetou profundamente, direta e indiretamente os ambientes dulcícola, costeiro e marinho. Os efeitos foram observados nos diferentes compartimentos do sedimento, coluna d'água e biota, e em diferentes níveis de organização biológica.

A apresentação da Matriz de Resultados se mostrou uma ótima ferramenta para análise dos ambientes impactados e a evolução dos impactos tanto temporal quanto espacialmente.

A setorização dos ambientes, os critérios elencados e a discretização permitiu, durante a leitura, um entendimento dos principais pontos a serem observados.

O relatório, por meio da matriz de resultados, apontou um total de 295 impactos, distribuídos da seguinte forma: 96 impactos no ambiente dulcícola, 130 impactos no ambiente marinho e 69 impactos no ambiente costeiro. A análise da similaridade entre os impactos observados possibilitou a consolidação destes em 24 agrupamentos, os quais foram organizados em sete categorias principais: Sedimentologia, Química, Ecotoxicologia, Ecologia, Genética, Saúde e Comportamento.

A matriz de resultados do ambiente dulcícola, indica que os impactos mais frequentes no compartimento abiótico foram observados na matriz água. Já nos compartimentos bióticos, o grupo com o maior número de impactos foi o de peixes, seguido por macroinvertebrados. Em destaque, os impactos com valores críticos para o ambiente dulcícola foram observados na categoria de sedimentologia, química, ecologia e genética.

Observando a matriz de resultados para o ambiente costeiro, observa a predominância entre os níveis abióticos e bióticos da presença impactos denominados altos e críticos, com destaque para os críticos: Bentos macrofauna, Bentos meiofauna relacionado-se à alterações ecológicas na estrutura de comunidade, em contaminação química por metais e metalóides, os resultados aparecem altos e críticos, tanto para sedimento de praia, sedimento de restinga, sedimento de manguezal, vegetação de restinga, caranguejos de manguezal e crustáceos de praia; houve aumento nos índices de resposta biológica, em caranguejos de manguezal e crustáceos de praia.

Os efeitos do rejeito de mineração no ambiente marinho ainda são evidentes, mas com sinais de diminuição. As respostas de recuperação, apesar de *sutis*, começam a aparecer na água e nos grupos mais basais da cadeia trófica, concentrando-se a contaminação nos topos de cadeia alimentar. Para os três grupos estudados de Megafauna foi possível observar a influência da passagem (e persistência) do rejeito de mineração e metais relacionados no ambiente marinho, desde alterações no comportamento, saúde, populacional e genético. Estes efeitos podem estar relacionados diretamente com as condições ambientais ou por efeitos de cascata trófica, uma vez que foram observadas alterações nos organismos de níveis tróficos de base.

Porém considerando ser esse ambiente o receptor final de toda a descarga oriundo do rio, e que há muito rejeito depositado ao longo do mesmo, com intervenções sendo executadas ou previstas, além do fenômeno das cheias, é necessário o acompanhamento contínuo dessas oscilações observadas, com melhoras e piores de tendências.

É destacado que o manejo e gerenciamento da área afetada, assim como as ações de recuperação, podem ser favorecidos a partir dos resultados apresentados no capítulo de Matriz de Resultados do relatório RA2022 PMBA/Fest, permitindo ainda a definição de ações de restauração ou mitigação do impacto de forma mais pontual e, por vezes, mais efetiva. É ressaltado também, a possibilidade de definir os compartimentos e setores chave para acompanhamento dos resultados da recuperação.

Assim, a manutenção do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática poderá registrar em longo prazo a permanência ou redução do impacto crônico, documentando as tendências futuras das condições ambientais e da biodiversidade nos ecossistemas, bem como monitorar a eficiência das ações de recuperação ambiental implementadas na bacia do rio Doce e região costeira e marinha afetada.

A análise realizada conclui que o 4º Relatório anual do PMBA (RA2022_RT43), objeto desta Nota Técnica, atende parcialmente à otimização apresentada pela FEST (CE SUP nº 027/2023), em resposta ao Ofício nº 85/2022- CTBIO/DIBIO/ICMBIO, aprovada por meio do Ofício nº 04/2023-CTBIO/DIBIO/ICMBIO, tendo em vista os diversos apontamentos acima mencionados, como exemplo as planilhas incompletas de dados brutos para as campanhas, conforme determinava o item 2c do Ofício nº

85/2022- CTBIO/DIBIO/ICMBIO, assim como a integração foi realizada somente entre o ambiente dulcícola e marinho, sem comunicar e/ou acordar com a CT-Bio, ou seja, isso faz com que a síntese dos ambientes e síntese integrativa apresentadas no 4º Relatório anual do PMBA também não atenda na íntegra a otimização aprovada.

Da mesma forma, a análise realizada conclui que atende parcialmente o Plano de Trabalho encaminhado pelo Ofício FR.2023.0544 e aprovado pela CTBio, conforme as diversas inconsistências mencionadas nesta Nota Técnica.

6. ENCAMINHAMENTOS GERAIS

A análise dos documentos possibilitou a conclusão de que o relatório ainda apresenta a necessidade de ajustes significativos em relação à estrutura textual, figuras e tabelas. Observa-se uma disposição que carece de clareza, evidenciando uma ausência notável de informações importantes. Para aprimorar a qualidade do relatório, sugere-se uma reorganização da estrutura textual, em discussão com a CTBIO, assegurando uma distribuição lógica e coerente das informações, facilitando o acesso aos resultados.

Na perspectiva das análises ecotoxicológicas, que seja mantida, integralmente, a proposta do plano atual de monitoramento, para todos os ambientes, incluso: malha amostral; periodicidade de coletas; total de réplicas por grupo trófico; marcadores e parâmetros de avaliação da saúde da biota; testes e ensaios laboratoriais de toxicidade, com todas as matrizes, para todos os pontos amostrais atualmente vigentes; e cálculo das matrizes integrativas com a totalidade dos parâmetros componentes.

É importante a apresentação dos resultados da 8ª campanha para uma avaliação atualizada dos impactos ecotoxicológicos em todos os ambientes constantes do monitoramento (ambientes dulcícola, costeiro e marinho), resultando em uma correta avaliação histórica da progressão da qualidade ambiental dos ecossistemas diretamente impactados pelos rejeitos oriundos do desastre.

Quanto a continuidade do monitoramento, já em discussão na CTBIO, primando pela não paralisação e transição planejadas de novos indicadores e focos, visando acompanhamento das tendências, entretanto deve-se atentar aos seguintes pontos :

- Os resultados do presente monitoramento já estão sendo utilizados para elaboração dos Planos de Ação para Conservação da Biodiversidade Aquática que contarão com medidas de mitigação, reparação e compensação;
- Que a Fundação Renova e a FEST concluam o Sistema de Informação com todos os dados do PMBA, já apresentado a CT-Bio, de forma que esta e a sociedade possam acompanhar em tempo real o andamento das coletas, análises e resultados do Programa de Monitoramento, embasando as políticas públicas a serem implementadas à luz destes resultados.

Adicionalmente, é importante que os Planos de Ação da Bacia do Rio Doce e dos Ambientes Costeiro e Marinho, assimilem os resultados e indicadores já apresentados pelo PMBA, a fim de tornar as ações mais efetivas.

Por fim, considerando um fechamento de ciclo do PMBA, destaca-se a importância de inclusão de um resumo sobre todo o estudo, em linguagem acessível e com foco na população atingida, contendo as conclusões de todos os anos de monitoramento, com figuras de simples entendimento, para ampla divulgação dos resultados.

Considerando a interface com as demais Câmaras Técnicas do CIF, sugerimos o encaminhamento desta Nota Técnica para demais Câmaras Técnicas.

ANEXO I – MINUTA DE DELIBERAÇÃO DO COMITÊ INTERFEDERATIVO

COMITÊ INTERFEDERATIVO

Deliberação nº XX/2024, de xx de fevereiro de 2024.

Notificar a Fundação Renova, pelo cumprimento parcial do modelo de otimização do Relatório (aprovado pela CTBIO - Ofício nº 04/2023-CTBIO/DIBIO/ICMBIO), assim como o Plano de Trabalho encaminhado pelo Ofício FR.2023.0544 e aprovado pela CTBio, conforme as diversas inconsistências mencionadas na Nota Técnica nº 2/2024/CTBio/DIBIO/GABIN de análise do 4º Relatório anual do PMBA na porção capixaba, pertencente à cláusula 165 do TTAC.

Em atenção ao TERMO DE TRANSAÇÃO E DE AJUSTAMENTO DE CONDUTA - TTAC, entre União, estados de Minas Gerais, Espírito Santo e as empresas Samarco Mineração S/A, Vale S/A e BHP Billiton Brasil LTDA.; e

Considerando o discutido nas Reuniões Ordinárias da CT-BIO/CIF e disposições previstas *no Plano de Trabalho atual (2022) da FEST/RRDM, na Nota Técnica nº 15/2020/CTBio/DIBIO/GABIN, na Nota Técnica nº 08/2022/CTBio/DIBIO/GABIN, na Nota Técnica nº 5/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio, no Ofício SEI nº 85/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio nas modificações ao longo do processo e na Nota Técnica nº 2/2024/CTBio/DIBIO/GABIN.* O COMITÊ INTERFEDERATIVO delibera:

Deliberação do CIF:

1. Aprovar a Nota Técnica nº 2/2024/CTBio/DIBIO/GABIN, referente ao 4º Relatório Anual (RA2022) do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), na porção capixaba do rio Doce e região marinha e costeira adjacente, como atendimento parcial à Cláusula 165 do Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC), apresentado pela Fundação Renova e executado pela PMBA/FEST (Programa de monitoramento da Biodiversidade Aquática/Fundação Espírito-santense de Tecnologia) em Acordo de Cooperação;
2. Determinar que a Fundação Renova solicite a FEST a apresentação de uma síntese dos resultados do PMBA em linguagem acessível à sociedade com resultados cumulativos, junto ao próximo relatório anual;
3. Determina-se que a Fundação Renova e a FEST verifiquem e efetuem para o próximo relatório as correções devidas apontadas ao longo da Nota Técnica nº 2/2024/CTBio/DIBIO/GABIN, a fim de manter a coerência entre o plano de trabalho, metodologia, planilha de dados brutos e relatório;
4. Notificar a Fundação Renova, pelo cumprimento parcial do modelo de otimização do Relatório (aprovado pela CTBIO - Ofício nº 04/2023-CTBIO/DIBIO/ICMBIO), assim como o Plano de Trabalho encaminhado pelo Ofício FR.2023.0544 e aprovado pela CTBio, conforme as diversas inconsistências mencionadas na Nota Técnica nº 2/2024/CTBio/DIBIO/GABIN de análise do 4º Relatório anual do PMBA na porção capixaba, pertencente à cláusula 165 do TTAC;
5. Permanecendo o descumprimento no próximo relatório entregue, serão aplicadas sanções previstas na cláusula 247 do TTAC.

Brasília, xx de fevereiro de 2024.

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Presidente do Comitê Interfederativo



Documento assinado eletronicamente por **Miguel Bernardino dos Santos, Usuário Externo**, em 22/01/2024, às 11:53, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Patrick Calatroni Hemaidam, Usuário Externo**, em 22/01/2024, às 13:49, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Paula Moraes Pereira, Usuário Externo**, em 22/01/2024, às 14:10, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Sosti Perini, Usuário Externo**, em 22/01/2024, às 14:25, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Gabriella Tiradentes Pizetta, Analista Ambiental**, em 22/01/2024, às 14:47, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marcello Vicente Lourenço, Analista Ambiental**, em 22/01/2024, às 14:48, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Correia de Freitas, Analista Ambiental**, em 22/01/2024, às 14:49, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Antonio De Padua Leite Serra De Almeida, Chefe**, em 22/01/2024, às 14:50, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Roberto Sforza, Analista Ambiental**, em 22/01/2024, às 15:27, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Larissa Novaes Simões, Usuário Externo**, em 22/01/2024, às 16:03, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANO DE OLIVEIRA BARBIRATO, Usuário Externo**, em 22/01/2024, às 16:11, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Cabral Lage Ferreira, Terceirizado(a)**, em 22/01/2024, às 17:14, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Cezar Neubert Goncalves, Chefe**, em 22/01/2024, às 18:45, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Giulia Burle Costa, Usuário Externo**, em 22/01/2024, às 20:18, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Maria Regina Gonçalves De Souza Soranna, Servidor Cedido**, em 23/01/2024, às 10:01, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **MÔNICA MAGALHÃES BARBOSA, Usuário Externo**, em 23/01/2024, às 10:24, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Joao Carlos Alciati Thome, Analista Ambiental**, em 23/01/2024, às 13:50, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.icmbio.gov.br/autenticidade> informando o código verificador **17573643** e o código CRC **440A9622**.
