



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Nota Técnica nº 5/2023/CTBio/DIBIO/ICMBio

Vitória-ES, 13 março de 2023

Assunto: 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).

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,

31/05/2022 - Nota Técnica nº 8/2022/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 11216882) - Avaliação do documento do Segundo Relatório Anual (RA2020) 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).

26/05/2022 - Ofício FR.2022.0809 Relatório mensal TAMAR (SEI 11263992) - Relatório mensal de atividades da FUNDAÇÃO PRÓ-TAMAR, referente à cláusula 165 do TTAC. Relatório Técnico Mensal TAMAR - Maio (SEI 11264004).

01/06/2022 - Ofício SEI nº 39/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 11233908) - CTBio encaminhar a Nota Técnica nº 8/2022/CTBio/DIBIO/ICMBio.

03/06/2022 - Ofício FR.2022.0590-01 Escopo PMBA Costeiro (SEI 11263798) - Proposta de atualizações metodológicas para o PMBA no ambiente costeiro. Anexo 1 - Proposta PMBA Ambiente Costeiro (SEI 11263822).

03/06/2022 - Ofício Fundação Renova FR.2022.0590-01 - Proposta de atualizações metodológicas para o PMBA no ambiente Costeiro. Anexo Proposta PMBA para CTBio Ambiente Costeiro (SEI 11842448).

15/06/2022 - Ofício FR.2022.0902- Participantes e Datas PAI (SEI 11349050) - Lista de participantes e datas das oficinas do “Plano de Ação Integrado para Recuperação e Conservação da Biodiversidade Aquática da Bacia do Rio Doce e dos Ambientes Costeiro e Marinho”.

20/06/2022 - Ofício SEI nº 46/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 11348682) - Resposta ao ofício FR.2022.0590-01 - Proposta de atualizações metodológicas para o PMBA no ambiente Costeiro.

23/06/2022 - Ofício SEI nº 49/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 11378722) - Resposta aos ofícios FR.2022.0558 e FR.2022.0902.

27/06/2022 - Ofício FR.2022.0954 Relatório mensal TAMAR (SEI 11457992) - Relatório mensal de atividades da FUNDAÇÃO PRÓ-TAMAR, referente à cláusula 165 do TTAC. Relatório Técnico Mensal TAMAR - Junho (SEI 11458010).

28/07/2022 - Nota Técnica nº 9/2022/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 11679498) - Análise do 4º Relatório Anual “Monitoramento Reprodutivo das Tartarugas Marinhas na Planície Costeira do Rio Doce – agosto/2020 a julho/2021”, elaborado pela Fundação Projeto TAMAR para a Fundação Renova, em atendimento à cláusula 165 do Termo de Referência 4 - Anexo 6.

05/08/2022 - Deliberação CIF nº 601, de 05 de agosto de 2022 (SEI 12606706) - Aprova a retificação dos programas 28, 29 e 39 acompanhados no âmbito da Câmara Técnica de Conservação da Biodiversidade (CTBio).

05/08/2022 - Ofício SEI nº 59/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 11679846) - CTBio encaminhar Nota Técnica nº 9/2022/CTBio/DIBIO/ICMBio.

25/07/2022 - Ofício FR.2022.1085 Relatório TAMAR (SEI 11714462) - Relatório mensal de atividades da FUNDAÇÃO PRÓ-TAMAR, referente à cláusula 165 do TTAC. Anexo Relatório mensal TAMAR julho (SEI 11714486).

19/08/2022 - Ofício FR.2022.1206 Relatórios Subprojetos I e IV (SEI 11906660) - Deliberação CIF nº 521/2021 Cláusula 165. Anexos Relatórios Subprojetos I e IV (SEI 11906792).

01/09/2022 - Ofício FR.2022.1317 (SEI 12153942) - Relatório mensal de atividades da FUNDAÇÃO PRÓ-TAMAR, referente à cláusula 165 do TTAC. Anexo Relatório TAMAR agosto (SEI 12153996).

13/09/2022 - Ofício SEI nº 66/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 12313474) - CTBio solicita a Rede Rio Doce Mar realizar Apresentações por Anexo do Relatório Anual 2021 do PMBA/FEST-RRDM.

15/09/2022 - Deliberação CIF nº 607, de 15 de setembro de 2022 (SEI 13557443) - Aprovação do 4º Relatório Anual “Monitoramento Reprodutivo das Tartarugas Marinhas na Planície Costeira do Rio Doce – agosto/2020 a julho/2021”, elaborado pela Fundação Projeto TAMAR para a Fundação Renova, em atendimento à cláusula 165, Termo de Referência 4 - Anexo 6.

27/09/2022 - Decisão referente ao PMBA (SEI 12713490) Intimem-se as partes interessadas.

b) Promova o ICMBio a imediata instauração de processo administrativo relacionado ao pedido autorização de coleta solicitado pela Ambipar Control, sem condicionar a instauração do processo administrativo ao resultado de quaisquer processos disciplinares, devendo a conclusão do referido procedimento ocorrer em até 180 dias

c) Promova a Fundação Renova a continuidade do PMBA com a contratação da FEST inclusive na execução do Anexo I do PMBA até que o ICMBio conceda a autorização ambiental no âmbito administrativo. No caso de negativa do órgão ambiental ou verificada a sua inércia, caso as empresas e a Fundação Renova mantenham o interesse na contratação da Ambipar Control, caberá a realização de perícia técnica para fins de a um só tempo verificar a capacidade da Ambipar Control na execução do TR4, bem como adentrar no mérito quanto ao direito à obtenção da autorização de coleta.

Cumpra salientar que o objetivo do juízo não é o de manter a FEST a qualquer custo, contudo não cabe ao poder judiciário suprir a atuação do órgão ambiental e, uma vez evidenciada a divergência, resta ao magistrado determinar a abertura do processo administrativo e, permanecendo o litígio, determinar a realização de perícia, com profissionais qualificados que possuam o conhecimento técnico necessário a fim de constatar a suficiência e preenchimento dos requisitos para a continuidade do programa.

Caso a Fundação Renova obtenha a autorização de coleta ou entre em composição com o CIF e o ICMBio, fica autorizada a substituição da FEST pela AMBIPAR na execução do Anexo I do TR4.

28/09/2022 - Ofício FR.2022.1471 (SEI 12639468) - Relatório mensal de atividades da FUNDAÇÃO PRÓ-TAMAR, referente à cláusula 165 do TTAC. Anexo Relatório TAMAR setembro (SEI 12639474).

29/09/2022 - Documentação Definição PG-28 (SEI 12654448) - Definição de Programa 28 - Conservação da Biodiversidade.

06/10/2022 - Despacho Interlocutório CTBio (SEI 12713552) - que determina, entre outras coisas, o seguinte:

"b) Promova o ICMBio a imediata instauração de processo administrativo relacionado ao pedido autorização de coleta solicitado pela Ambipar Control, sem condicionar a instauração do processo administrativo ao resultado de quaisquer processos disciplinares, devendo a conclusão do referido procedimento ocorrer em até 180 dias" pg 81/82.

Considerando que o presente processo trata da cláusula 165 do TTAC, abarcando diversas demandas distintas, recomendamos a abertura de processo específico para tratar da solicitação de pesquisa da empresa AMBIPAR, ainda sem definição.

07/10/2022 - Ofício FR.2022.1538 (SEI 12732724) - Resposta à Deliberação CIF nº 579, de 23 de março de 2022. Anexo 1 - Cronograma_PMBA (SEI 12732746). Anexo 1 - Cronograma_PMBA excel (SEI 12732758).

18/10/2022 - Despacho nº 13918159/2022-CIF/Gabin (SEI 13025758) - SECEX solicita à CTBio apresentação das análises efetuadas pela CT-Bio quanto à área impactada pela pluma de rejeitos e sua implicação na biota aquática da região do Estado da Bahia.

18/10/2022 - Ofício SEI nº 80/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 13030040) - CTBio emite Ofício em resposta ao Despacho nº 13918159/2022-CIF/Gabin (SEI) e Despacho nº 13939229/2022-CIF/Gabin (SEI 13030616).

27/10/2022 - Nota Técnica nº 12/2022/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 12866834) - Descumprimento da Deliberação CIF nº 579/2022, referente à apresentação 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.

27/10/2022 - Ofício SEI nº 69/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 12867070) - CTBio faz a seguinte solicitação a AGU:

“solicitamos que a AGU possa intervir e peticionar em juízo a revisão da decisão proferida, à luz dos novos entendimentos aqui relatados.”

24/10/2022 - Ofício FR.2022.1631 (SEI 12872662) - Em resposta à Deliberação CIF nº 521/2021, Cláusula 165. Anexo Relatórios e Subprojetos II e IIIB (12872684).

28/10/2022 - Ofício SEI nº 70/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 12872520) - CTBio emite Ofício para Fundação Renova solicitando agendamento de vistoria de campo para acompanhamento das Cláusulas 165 e 168.

31/10/2022 - Informação Técnica 2 (12880226) - Complementação à Nota Técnica nº 08/2022/CTBio/DIBIO/ICMBio.

03/11/2022 - Ofício SEI nº 71/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 12899088) - Resposta ao OFÍCIO n. 00055/2022/IAJ/ETR-MA-PRF1/PGF/AGU.

08/11/2022 - Ofício SEI nº 74/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 12933748) - CTBio encaminhar a Informação Técnica nº 2/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio.

08/11/2022 - Ofício FR.2022.1746 (12951326) - ENCAMINHAMENTO DOS “RELATÓRIOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS PARCIAIS – ANO II” DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA BIODIVERSIDADE AQUÁTICA DA ÁREA AMBIENTAL I – PORÇÃO MINEIRA (CHAMADA 10/2018 FAPEMIG). Relatório Chamada 10/2018 FAPEMIG (12951356).

09/11/2022 - Ofício SEI nº 75/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 12953506) - CTBio encaminha Nota Técnica nº 12/2022/CTBio/DIBIO/ICMBio.

- 11/11/2022** - Ofício FR.2022.1739 (SEI 13167516) - Resposta ao Ofício SEI nº 70/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio. Cláusula 165 e 168.
- 25/11/2022** - Ofício FR FR.2022.1827 (SEI 13168590) - Relatório mensal de atividades da FUNDAÇÃO PRÓ-TAMAR, referente à cláusula 165 do TTAC. Anexo Anexo I - 2022.10_Relatorio_Tecnico_Mensal - Outubro (SEI 13168616). Anexo II 2022.11_Relatorio_Tecnico_Mensal - Novembro (13168674).
- 08/12/2022** - Deliberação CIF nº 631, de 08 de dezembro de 2022 (SEI 13557461) - Notificar a Fundação Renova acerca do descumprimento da Deliberação CIF nº 579/2022, referente à apresentação 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.
- 21/12/2022** - Ofício SEI nº 84/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 13237320) - CTBio emite Ofício para Fundação Renova Requerendo a 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.
- 22/12/2022** - Ofício SEI nº 85/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 13241968) - CTBio encaminhar Ofício para Fundação Renova com uma proposta de Otimização dos Relatórios do PMBA a serem entregues (SEI (13291877)).
- 28/12/2022** - Ofício FR FR.2022.2089 (SEI 13291837) e documento da FEST/RRDM CE-SUP- 199/2022 Solicita extensão de prazo para 15 de fevereiro de 2023 para atendimento ao Ofício SEI nº 84/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio.
- 28/12/2022** - Ofício FR.2022.2074 (13415933) - Relatório mensal de atividades da da FUNDAÇÃO PRÓ-TAMAR, referente à cláusula 165 do TTAC, do mês de novembro e dezembro (SEI 13415955).
- 30/12/2022** - Ofício SEI nº 86/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 13288155) - CTBio emite Ofício para Fundação Renova sendo favorável a extensão de prazo solicitado por meio do Ofício FR.2022.2089 para atendimento ao solicitado no Ofício SEI nº 84/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio, referente aos dados e resultados faltantes no 3º Relatório Anual do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), na porção capixaba.
- 04/01/2023** - Ofício SEI nº 2/2023-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 13313217) - CTBio emite Ofício para Fundação Renova com Esclarecimentos sobre o Ofício SEI nº 86/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio.
- 19/01/2023** - Ofício FR.2023.0134 (SEI 13420617) - Referente a Deliberação CIF nº 521/2021, Analisa o Relatório Anual dos "Estudo da ictiofauna da bacia do rio Doce após o rompimento da barragem de rejeito da Samarco" realizado em 2019, conduzido pela Universidade Federal de Viçosa – UFV. Anexo Relatório Subprojeto IIIA_RADSeq (SEI 13420643) e Anexo Dados brutos (SEI 13420663).
- 20/01/2023** - Ofício FR.2023.0147 (SEI 13547997) - Deliberação CIF nº 607 Plano de Trabalho TAMAR. Anexo I - Proposta de Plano de Trabalho TAMAR (SEI 13548081).
- 26/01/2023** - Ofício FR.2023.0195 - Relatório mensal TAMAR jan (SEI 13547557). Anexo I - Relatório Técnico Mensal Jan/23 (SEI 13547617).
- 27/01/2023** - Ofício FR.2023.0214 (SEI 13515133) - Retorno sobre o Ofício nº 85/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio – Otimização dos Relatórios do PMBA a serem entregues. Anexo 1 CESUP 027.2023 - Otimização dos relatórios do PMBA (SEI 13515183)
- 02/02/2023** - Ofício SEI nº 4/2023-CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI 13519241) - CTBio emite Ofício em Resposta ao ofício FR.2023.0214.

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 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), elaborado pela Rede Rio Doce Mar (RRDM)/FEST/UFES e entregue pela Fundação Renova em 18 de fevereiro de 2022, por meio do Ofício FR.2022.0259.

Esta avaliação traz principalmente:

- Verificação da aderência dos dados apresentados no Relatório Anual com o TR4 e suas alterações e com os Planos de Trabalho da Fundação Renova e Rede Rio Doce Mar para o PMBA, para fins de cumprimento da Cláusula 165, na porção capixaba, do TTAC;
- 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 a revisão do escopo do TR4, caso necessário.

O Relatório Anual RA2021 é composto por um conjunto de Relatórios Técnicos 39 (RT39), que descrevem as metodologias utilizadas nos diversos projetos desde a coleta das amostras até as análises em laboratório sendo composto por 7 itens distintos, RT 39A à RT 39F. A estrutura do relatório é apresentada abaixo:

1. RT-39A - Sumário Executivo;
2. RT-39B - Evolução espaço-temporal na qualidade ambiental e na biodiversidade no Ambiente Dulcícola;
3. RT-39C - Evolução espaço-temporal na qualidade ambiental e na biodiversidade no Ambiente Costeiro;
4. RT-39D - Evolução espaço-temporal na qualidade ambiental e na biodiversidade no Ambiente Marinho;
5. RT-39E - Síntese integrativa entre os Ambientes Dulcícola, Costeiro e Marinho;

6. RT-39F - Matriz de Resultados dos Ambientes Dulcícola, Costeiro e Marinho;
7. Pasta de documentos com os Materiais Suplementares para os Ambientes Dulcícola, Costeiro e Marinho.

4.2 Aderência ao Termo de Referência 4

O status de cumprimento quanto a *Aderência ao Termo de referência 4 - TR4/2016, ao histórico de ajustes do TR4, Plano de Trabalho da Rede Rio Doce Mar, Nota Técnica nº 15/2020/CTBio/DIBIO/GABIN, Nota Técnica nº 08/2022/CTBio/DIBIO/GABIN e suas modificações ao longo do processo*, segue em planilhas *Excel* (SEI 13883837) anexadas a esta Nota Técnica. No âmbito dos anexos analisados:

- Anexo 1: Monitoramento Ecotoxicologia;
- Anexo 3: Estudo e monitoramento no Ambiente Dulcícola (ES);
- Anexo 3: Estudo e monitoramento ambiente estuarino e marinho;
- Anexo 4: Monitoramento de potenciais impactos de rejeitos de minério de ferro na praia e antepraia;
- Anexo 5: Alteração ecológica na dinâmica dos manguezais e vegetação de restinga;
- Anexo 6: Monitoramento de mamíferos marinhos, tartarugas e aves marinhas associados à foz do rio Doce;
- Anexo 7: Estudo e monitoramento da ictiofauna marinha, estuarina e dulcícola; e
- Anexo 8: Monitoramento da sedimentação no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e regiões relacionadas.

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 compreende-se de análise técnica quanto da 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 Anexo 1 - Ecotoxicologia

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

Subprojetos Ambiente Dulcícola

A disponibilidade de metais continua alta e diretamente relacionada às variações sazonais. Chama atenção a presença de mercúrio em concentração ascendente, em diferentes seres de diferentes cadeias tróficas, contudo não há avaliação das formas orgânicas, tais como o metilmercúrio, que é a forma mais tóxica do mercúrio. A presença deste e de outras formas orgânicas do mercúrio devem ser apresentadas em relatórios futuros.

Sugere-se que em referência ao ponto Lagoa do Areão (LAO-02) não seja procedida a sua exclusão da malha amostral, devido ao interesse público relacionado com a área de monitoramento. Deve ser procedida a apresentação de documentação ao proprietário quanto ao prejuízo do não monitoramento da área por conta dos riscos à integridade ambiental e de saúde.

Sugere-se adicionalmente a notificação para ciência dos órgãos municipais, de saúde e meio ambiente, a respeito de possível presença de cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas no local, com implicações para a saúde pública mediante consumo humano direto de água sem tratamento, dessedentação animal e/ou consumo de produtos hortifrutigranjeiros produzidos por irrigação desta fonte hídrica, quando da ocorrência de florações ou identificação no aumento dos níveis de cianotoxinas.

Recomenda-se a adequação na descrição metodológica em relação ao ponto Lagoa do Areão, já que no presente relatório consta a inacessibilidade do ponto e dificuldades ao monitoramento, enquanto a série de dados continua sendo produzida, e assim deve ser mantida pela importância da proximidade da lagoa com o rio Doce e ocorrência novos aportes de rejeitos quando do período de cheia e extravasamento para as áreas adjacentes.

A diminuição na abundância dos organismos utilizados nos estudos deste relatório podem exigir adaptações, que devem ser comunicadas com a devida antecedência ou na pactuação do próximo TR.

Reitera-se a necessidade de citar a presença de cianotoxinas produzidas por cepas tóxicas de *Microcystis aeruginosa* quando submetidas a altas concentrações de ferro e níquel, ou, que haja referência a em que parte do relatório estas se encontram.

Os mecanismos que induzem a produção de cianotoxinas, cujos fatores abióticos estejam associados com as alterações nos parâmetros ambientais diretamente relacionados ao rejeito, devem ser melhor analisados. Considerando-se este contexto, e refletindo sobre possíveis adequações e complementações metodológicas, sugere-se que as populações de microalgas onde sejam identificadas cepas de interesse passem pelo processo analítico-laboratorial de isolamento. Nesse processo, com seleção de linhagem da cianobactéria devidamente identificada e depositada em herbários/cepários, possam ser procedidos estudos e ensaios que mimetizam as alterações ambientais observadas em campo, contribuindo à construção de um *baseline* de predições a possíveis variações nos níveis de toxinas mediante parâmetros abióticos identificados como chave para a ocorrência de florações.

Sugere-se atenção especial quando descrever grupos relacionados a diferentes pontos, a fim de não causar dificuldades de compreensão ao leitor.

Apesar de melhor que nos relatórios anteriores, o desenvolvimento de uma representação gráfica que possibilite a correta compreensão do que ocorre no tempo e no espaço com os diferentes metais e metalóides, deve ser incentivada e testada.

Deve-se manter a avaliação dos metais e metalóides, conforme sugerido no último TR, posto que a disponibilidade de metais continua alta e diretamente relacionada às variações sazonais, sendo mantida a necessidade de estudos nos períodos secos e chuvosos.

A presença de mercúrio, nos organismos de níveis tróficos distintos, exige a avaliação das formas orgânicas deste, tal qual o metilmercúrio, devendo ser apresentada em relatórios futuros, em especial nos seres vivos considerados topo de cadeia, eventualmente encontrados mortos ou encalhados, indicando, nesta fatalidade, a possibilidade de intoxicações severas, acumulativas, irreversíveis.

Subprojetos Ambiente Marinho

Conforme a análise do presente relatório e de seus anexos, e através da comparação espaço-temporal do monitoramento dos impactos do rejeito após o desastre, identifica-se que é possível apontar, com maior clareza e objetividade, a extensão dos danos relacionados ao evento. Ademais, com a realização de ensaios com organismos teste, e o contínuo na apresentação de sínteses integrativas e índices ecológicos, pode-se propor uma identificação na variabilidade espaço-temporal dos efeitos de toxicidade e acumulação biológica dos elementos metálicos e arsênio.

De modo geral, os impactos decorrentes da presença do rejeito podem ser considerados crônicos. A concentração dos elementos metálicos, e a sua disponibilidade nas frações sedimentar e/ou coluna d'água, tem uma relação direta com fatores abióticos tais como os climático-meteorológicos, particularmente a sazonalidade marcada entre os períodos de verão e inverno, sob influência do regime de chuvas, e fatores oceanográficos, com a dispersão da pluma e ressuspensão de rejeitos por conta das correntes marinhas. Quando do período chuvoso, ocorre o efeito de dissolução e dispersão dos rejeitos presentes no leito oceânico, quando são identificadas melhorias pontuais nos padrões de acumulação na biota e a redução da toxicidade das matrizes, o que é confirmado através dos ensaios ecotoxicológicos. Por outro lado, no período seco, a ressuspensão dos rejeitos eleva a toxicidade da matriz sedimentar, com reflexos evidentes sobre a biota.

A respeito da toxicidade da água e do sedimento, identifica-se uma marcação de elementos por estação amostral. As amostras de água apresentaram maior índice de contaminação nas estações foz do rio Doce e adjacências ao sul, enquanto a contaminação do sedimento se dá de forma diferenciada entre as estações, sendo que a presença de mercúrio é notada principalmente na foz do rio Doce e áreas adjacentes, tanto ao sul quanto ao norte. No terceiro ano de monitoramento, particularmente na sexta campanha, ainda é identificada uma presença representativa dos elementos Mn e Fe, associados ao rejeito, em todas as estações amostrais. Destaca-se também a identificação do elemento Hg em cinco estações na campanha 6 (Guarapari, APA Costa das Algas, Foz do Rio Doce, Degredo e Abrolhos), contra três estações na campanha 5 (Guarapari, APA Costa das Algas e Foz do Rio Doce). Tal resultado indica a variabilidade espaço temporal resultante dos processos oceanográficos sobre a dispersão destes contaminantes, sendo que as estações mais próximas da foz são também as que temporalmente apresentam níveis mais elevados de metais e As. Importante destacar que a presença de Hg ainda é pronunciada no compartimento abiótico, e tem consequências na sua identificação na biota também marcadamente conforme o período amostral.

No tocante ao monitoramento ecotoxicológico, encontram-se sinais dos impactos nas zonas atingidas pela pluma, e sob o efeito de sua dispersão de acordo com a distribuição das correntes. Considerando os organismos analisados, e os níveis de acumulação desde o princípio do monitoramento, resumiram-se os pontos a seguir por grupo analisado, e que refletem uma continuidade na inadequação aos parâmetros ambientais previstos em legislação e/ou aos dados pretéritos ao rompimento da barragem:

Plâncton: mesmo decorridos seis anos do desastre, ainda é possível identificar níveis elevados de As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb e Fe, sendo este último bastante pronunciado nas campanhas realizadas no período chuvoso e na fração do fitoplâncton. Já o zooplâncton apresenta concentrações elevadas dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn e Pb. De modo geral, o impacto sobre o plâncton é mais pronunciado na foz do rio Doce, APA Costa das Algas e nas estações imediatamente ao norte da foz. Os índices de IBR bioacumulação evidenciam os maiores índices no setor norte, relacionados aos elementos Hg, Cr e As, o que chama atenção ao potencial de bioacumulação do mercúrio na teia trófica. Também os índices IBR biomarcador indicam uma dispersão dos impactos no sentido Sul para o Norte, sendo a foz o setor mais atingido. Os marcadores de peroxidação lipídica foram relevantes para identificar o impacto nas estações Degredo e APA Costa das Algas, enquanto que as metalotioneínas marcaram o impacto na foz, Barra Nova e Itaúnas. Ambos os descritores também foram relevantes para identificação do impacto sobre o plâncton nas estações em Abrolhos, tanto nos arcos internos e externos do PARNA quanto na estação controle adjacente.

Camarões: a concentração de elementos metálicos na última campanha é a maior para o período seco desde o início do monitoramento, nas áreas da foz do rio Doce e Norte (Degredo, Itaúnas e Barra Nova). O ferro está presente na musculatura dos animais coletados em todos os pontos amostrais, sendo os níveis mais elevados identificados na foz do rio Doce. Ao longo dos três anos de monitoramento e das seis campanhas, houve alterações temporais nos níveis mais elevados quali-quantitativamente de elementos na musculatura. Entretanto, a presença majoritária de ferro e também de manganês na musculatura é indicativo da acumulação de metais diretamente relacionados com o rejeito, seguindo também as características de acumulação no plâncton, constituindo um elo na transmissão do impacto na cadeia trófica. Em relação aos dados pretéritos ao desastre, ainda se verificam elevados níveis de Cd, Cr, Cu e Mn. Os biomarcadores não mostraram um padrão temporal claro de repetição entre os tecidos analisados, sendo cada um dos descritores relevante para a identificação do impacto relativo a uma estação amostral, a exemplo das metalotioneínas, que indicam impactos na campanha 6 apenas nas estações de Vitória. Ainda assim, os maiores índices de toxicidade observados para os biomarcadores foram identificados para a foz do rio Doce na estação seca (campanhas 1 e 6), e na região sul no período chuvoso (campanhas 2, 3 e 5).

Ictiofauna: os danos observados à ictiofauna seguem o mesmo padrão de alteração de marcadores descritos para o plâncton, constituindo também uma evidência de transmissão de efeito acumulativo ao longo da cadeia trófica. É preciso destacar, em relação ao terceiro ano e campanha 6, que uma evidente marcação do elemento Fe foi observada em todas as estações e grupos funcionais (herbívoros/onívoros e carnívoros). O índice IBR acumulação indica a acumulação dos elementos Cd, Cr, Cu, Fe, Mn e Pb, atualmente em níveis mais elevados em relação aos dados pretéritos. Ainda que o índice tenha apresentado uma redução na última campanha, pode-se indicar uma progressiva concentração de elementos metálicos entre os níveis de consumidores primários (onívoros e herbívoros) aos carnívoros ao longo do tempo. Já para a espacialização da acumulação, na mesma tendência do plâncton, a distribuição do efeito do rejeito se dá na direção sul a norte, a partir da foz do rio Doce, sendo igualmente a foz a mais impactada entre as estações. Com relação aos marcadores, houve diferenças significativas em sua relevância entre os dois agrupamentos funcionais analisados. Para os herbívoros/onívoros todos os marcadores aplicados foram relevantes na avaliação dos impactos, uma vez que foi verificada a variação espacial da contribuição dos mesmos, sendo a peroxidação lipídica, oxidação de proteínas, metalotioneínas e atividade enzimática do metabolismo energético característicos das estações ao sul e foz do rio Doce até Degredo, e atividade enzimática antioxidante e do metabolismo energético também na foz do rio Doce. Já para o agrupamento funcional dos carnívoros, os marcadores não mostram padrões claros no espaço e no tempo, de modo que não é possível indicar um único descritor como referencial para o monitoramento dos dados relacionados aos rejeitos. De um modo geral, indica-se que o período chuvoso apresenta maior contribuição avaliativa para a peroxidação lipídica, e na estação seca das lesões morfológicas em fígado e brânquias

(ressaltando-se não serem apresentados estes dados descritivos no respectivo anexo), bem como as enzimas antioxidantes e do metabolismo energético. Na temporalidade, o ano 1 (campanhas 1 e 2) teve alterações em todos os marcadores, enquanto que no ano 2 (campanhas 3 e 4) a oxidação de proteínas e danos de DNA foram significativos. No presente ano 3, todos os descritores alertam para um aumento no efeito da toxicidade na ictiofauna.

Corais e hidrocorais: Desde o início do monitoramento, a estação ABR01 é a mais atingida pelos efeitos de toxicidade e bioacumulação relacionados ao rejeito. Especialmente, há diferenças na contribuição dos elementos para os danos em corais e hidrocorais, sendo ABC1 relacionado a Hg, Ni e Cr; ABR01 a Cu, Cd e Pb; e ABR02 e 04 a As, Fe, Mn, Al e Zn. Particularmente, os períodos chuvosos são indicados como a estação onde se observa uma menor concentração de metais nos corais, especialmente no ponto ABR01. Na campanha 6, o IBR acumulação apresentou os valores de escala mais altos das campanhas realizadas nos períodos secos, com aumento nos níveis dos elementos Hg, Pb e Cu, identificado em todos os pontos de Abrolhos. Em geral, corais e hidrocorais são organismos que apresentam um menor efeito de acumulação de elementos, em detrimento dos efeitos observados ao metabolismo ao longo do tempo, com forte influência sazonal. O índice IBR bioacumulação na campanha 5 (estação chuvosa) apresentou redução e tornou a aumentar na campanha 6 (período seco). Com isso, é possível identificar uma flutuação entre a bioacumulação e a biomarcação, sendo a elevação dos índices de bioacumulação identificada como principalmente ocorrente em períodos secos, e a importância de biomarcadores e alterações nos parâmetros descritivos ressaltada no monitoramento em estações chuvosas. Particularmente, com relação aos marcadores, foram identificados danos na atividade enzimática envolvida na calcificação, enzimas de regulação iônica e de regulação osmótica, aumentando os índices indicadores de dano metabólico ao longo do tempo. Desta feita, é possível apontar que os danos aos corais e hidrocorais tornam-se crônicos, com alterações metabólicas em escala local e relacionadas a diferentes elementos, mas identificadas em todas as estações abrangidas pelo PARNA Abrolhos (ABR01, 02 e 04) e estação adjacente, utilizada como referência (ABRC).

Microbiota: a análise da microbiota, ao longo do monitoramento, reflete a variabilidade espaço-temporal dos impactos do rejeito, encontrando-se bactérias associadas à degradação de elementos metálicos e tolerantes a concentrações elevadas dos mesmos, tendência retificada no presente relatório. Temporalmente, destacam-se os grupos Anaerolineaceae, Acinetobacter, Pirellulaceae e Planctomycetes, que como já mencionado, têm papel ecológico fundamental como bioindicadores de presença de elementos metálicos, e são os mais abundantes nas matrizes água (fundo e superfície) e sedimentos para todas as estações amostrais, sendo altamente recomendáveis à continuidade do monitoramento de qualidade ambiental. Ainda assim, nas estações dos setores Sul, Foz e Norte, ao longo do monitoramento, identifica-se uma maior diversidade com menor abundância nas amostras de água e sedimentos, mas sempre relacionando os agrupamentos taxonômicos anteriormente listados, indicadores de alteração em processos biológicos e na dinâmica biogeoquímica dos ambientes. Na foz do rio Doce, particularmente, é ressaltada a identificação na campanha 6 do grupo *Photobacterium*, utilizado como bioindicador de impactos relacionados a rejeitos de mineração e elementos metálicos, o que demonstra uma continuidade da relevância de aporte de rejeitos na estação amostral e uma progressiva alteração da estrutura da comunidade microbiana. Em Abrolhos, foi avaliada a composição da comunidade microbiana associada ao coral *Mussismilia harttii* e ao hidrocoral *Millepora alcicornis*. Para os corais, identificou-se uma dominância de determinados grupos bacterianos, relacionado especificamente com os pontos amostrais, mas com diferenças da diversidade e sem correlação entre os pontos, sendo a similaridade observada apenas entre as réplicas da mesma estação amostral. Já para o hidrocoral não foi observada dominância de nenhum grupo bacteriano específico, sem relação regional também entre os pontos amostrais, sendo igualmente a similaridade da composição da comunidade observada entre as réplicas do mesmo ponto. Entretanto, é válido destacar que foi encontrado associado ao hidrocoral na campanha 6 os grupos Paramaledivibacter, Clostridia e Halanaerobium, de metabolismo anaeróbico, também indicativo de alterações no metabolismo da comunidade. Também relativo com a campanha 6 e as amostras de Abrolhos é preciso destacar que o grupo Pirellulaceae não é comumente descrito com associações a corais. Esta presença é um fator representativo para a contínua análise da comunidade microbiana, considerando que a alteração na diversidade e abundância podem contribuir ao processo de disbiose, reduzindo a capacidade de resposta e resiliência dos corais frente a outras alterações ambientais.

Ensaio ecotoxicológicos: os ensaios ecotoxicológicos mostram a continuidade da toxicidade das matrizes água e sedimento ainda no presente. As respostas variam em função i. da matriz utilizada (água, sedimento ou elutriado); ii. do organismo (microalgas (*Thalassiosira pseudonana*), copépodos (*Nitokra* sp.), ouriços-do-mar (*Echinometra lucunter*) e peixes (*Poecilia vivipara*)); e iii. do tipo de ensaio (agudo ou crônico). Para as amostras de água, a toxicidade tem variações temporais de acordo com a estação amostral e com o elemento, ainda sem um padrão consistente entre as campanhas. Por outro lado, ainda que diferentes elementos contribuam com a resposta dos organismos, as amostras de sedimento de todas as campanhas e estações foram igualmente ou mais tóxicas que as amostras de água, particularmente para as estações da foz do rio Doce e Degredo. Incluso, para as duas estações anteriormente citadas, a fração sedimentar tem uma elevada toxicidade especialmente nas campanhas do período chuvoso, quando do maior aporte sedimentar oriundo do rio Doce. A partir das amostras coletadas na sexta campanha, identifica-se a resposta de toxicidade para microalgas aos ensaios com elutriado, enquanto que a toxicidade mais expressiva aos copépodos foi registrada para o sedimento oriundo de todas as estações amostrais. Por fim, na campanha 6, seguindo a tendência das demais campanhas, os ensaios de exposição crônica de fertilização e desenvolvimento larval de ouriços-do-mar mostraram o efeito deletério mais significativo, pela redução da taxa de fertilização e viabilidade de desenvolvimento das larvas.

Subprojetos Ambiente Costeiro

Manguezal

Frente à exposição destes resultados, é possível observar o surgimento de alguns padrões espaciais gerais para a contaminação do sedimento dos manguezais durante o Ano 3. No primeiro deles, podemos ver que o ponto referente à foz do rio Doce em Regência (FRG) foi muito bem caracterizado pela contaminação do sedimento pelos metais Cu, Fe, Al, Cr e Zn, alguns dos principais elementos característicos da lama oriunda do rompimento da barragem de Fundão.

Além disto, o ponto logo ao sul da foz, RCS2, apresentou em ambas as Campanhas perfil de contaminação semelhante, indicando uma tendência de deposição de sedimentos oriundos da foz do rio Doce nesta direção. Por outro lado, os pontos RSM e RCA, localizados ao norte, apresentaram perfil de contaminação semelhante entre si, caracterizado pelos elementos Hg e Pb, de forma aparentemente independente à foz do rio Doce.

Os elementos As, Cu, Zn e Al se mostraram bem relacionados ao ponto FRG. Já os pontos PAM e RSC, localizados mais ao sul, apresentaram relação com os metais Cd e Ni. Por outro lado, os pontos localizados mais ao norte, RSM, RCA e RMA, apresentaram-se

relacionados aos metais Hg e Pb. Por fim, os metais Mn, Cr e Fe estavam mais relacionados ao ponto RUR (RRDM, 2020b). Cabe ressaltar que os padrões de distribuição de metais em amostras de sedimento nos manguezais não seguiram uma clara tendência temporal, como foi observado para os dados relativos a estes elementos em amostras de água. Apesar disto, uma tendência espaço-temporal parece existir na contaminação da região da foz do rio Doce (FRG) e sul da foz do rio Doce (RSC2) pelos metais Cu, Fe, Al, Cr e Zn.

Em caranguejos, foi possível observar uma mudança geográfica importante na composição dos elementos, já que o ponto imediatamente ao norte da foz do rio Doce (RUR) também foi bem caracterizado por parte dos metais/As avaliados, juntamente aos pontos ao sul. Sendo assim, é possível observar uma mudança temporal clara no perfil espacial de contaminação de caranguejos de manguezal, o qual inicialmente estava mais relacionado com a foz do rio Doce e regiões ao sul, durante as Campanhas 1 (set/out 2018 – período seco), 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso) e 3 (set/out 2019 – período seco), passou a estar mais relacionada a uma distribuição da foz do rio Doce e regiões ao norte, a partir da Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso). Como sugerimos anteriormente, esta mudança pode ser reflexo das variações sazonais ocorridas no fim da estação chuvosa do Ano 2, caracterizadas por alta pluviosidade, maior vazão do rio Doce e aumento de turbidez na região costeira mais próxima à desembocadura do rio, com consequente *input* de metais nesta região.

Com relação aos resultados do Ano 3, é possível observar a formação de dois padrões evidentes de contaminação em caranguejos de manguezais coletados durante a Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso). O primeiro padrão está relacionado à orientação dos dados em relação ao componente 1 da PCA, que evidencia que os pontos FRG e RSC1 são aqueles mais bem caracterizados pela contaminação de todos os elementos avaliados nos tecidos-alvo.

Este primeiro resultado corrobora com aqueles observados para a contaminação sedimentar em manguezais e evidencia que a contaminação em caranguejos também é maior na foz do rio Doce e, principalmente, em regiões ao sul, mas também nas regiões imediatamente ao norte.

Um segundo padrão também pode ser observado ao olharmos a orientação dos dados em relação ao componente 2, o qual demonstra que a composição de contaminantes nos pontos amostrais citados apresenta particularidades distintas. As amostras do ponto FRG foram mais bem caracterizadas, de forma geral, pelos metais Fe, Cd e Mn. Por outro lado, os caranguejos obtidos no ponto RSC1 foram bem caracterizados pelos metais Cr, Hg, Al e Pb. Por fim, os animais oriundos do ponto RUR apresentaram contaminação mais evidente pelos elementos As e Cu.

Ao analisarmos os dados de contaminação dos caranguejos coletados durante a Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), podemos observar importantes mudanças nos padrões observados. Por mais que as duas componentes da PCA ainda separem os dados geograficamente (componente 1) e em relação à composição de contaminantes (componente 2), os perfis observados são bastante distintos. O primeiro componente demonstra claramente que as amostras provenientes dos pontos FRG, RUR e RCA foram as mais relevantes em termos de contaminação pelos elementos avaliados em todos os tecidos.

Este primeiro resultado demonstra que durante a Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), a contaminação destes animais foi claramente mais intensa na região da foz do rio Doce e áreas principalmente ao norte. Em termos da composição de contaminantes nas amostras de caranguejo, podemos observar que o ponto FRG foi caracterizado pelos elementos As, Pb, Cu e Mn, o ponto RUR foi caracterizado pelos metais Cd, Cr, Al e Ni, e o ponto RCA foi caracterizado pelo metal Mn.

A partir de comparações mais globais, é possível observar valores de IBR bioacumulação bem maiores no setor B, relativo à foz do rio Doce, em praticamente todas as Campanha avaliadas (exceção à Campanha 1), inclusive as do Ano 3.

Além disto, este índice apresentou um aumento intenso nos animais coletados no setor B durante a Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso). É interessante observar que uma elevação tão grande na contaminação destes animais indica um evento pontual importante de disponibilização de contaminantes na foz do rio Doce durante esta avaliação. As fortes chuvas que ocorreram neste período podem ter elevado bastante a energia dos corpos hídricos da região, aumentando a ressuspensão e lixiviação de contaminantes para as regiões de manguezal localizadas na foz do rio Doce. De fato, os resultados do PMBA/Fest-RRDM (RRDM, 2020a) indicaram que houve uma tendência de aumento na concentração para metais totais na água (As, Ba, Cr, Fe, Mn, Pb, V e Zn) do rio Doce durante o Ano 2 em relação ao Ano 1. Nas avaliações do Ano 3 que sucederam à Campanha 4 (jan/fev 2020 - período chuvoso), é possível observar uma diminuição deste índice no setor B, mas este ainda permaneceu como o mais relevante em comparação aos setores A e C, apresentando valores mais elevados.

Em relação aos resultados de biomarcadores avaliados por meio das PCAs, é possível observar que durante a Campanha 5 (jan/fev 2021 - período chuvoso), os caranguejos amostrados na foz do rio Doce e ao norte foram os que apresentaram maiores valores de biomarcadores.

Em termos gerais, é possível observar que até a Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), o setor B apresentou os maiores valores de IBR biomarcador em comparação aos outros setores. Este resultado é uma evidência de que a região da foz do rio Doce é de fato o local mais impactado, com base em análises da biota (caranguejos). Além disso, é possível observar um claro aumento nos valores de IBR biomarcador nas Campanhas 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso) e 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso). Estas Campanhas foram realizadas em períodos de chuva na região, portanto, um aumento na carga de contaminantes lixiviados para os manguezais pode explicar em parte este padrão. Por outro lado, um padrão bem diferente foi observado para o IBR biomarcador durante o período chuvoso de 2021 (Campanha 5 – jan/fev 2021), visto que este índice foi muito maior no setor C, indicando um aumento de estresse fisiológico nos organismos deste setor. Cabe destacar que este padrão espacial de resposta biológica em caranguejos de manguezais foi observado pela primeira vez ao longo dos três anos de monitoramento ecotoxicológico. Por fim, para o caso da Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), o setor B voltou a ser o mais relevante, apresentando valores comparáveis ao visto na Campanha anterior. Importante comentar que esta relevância do setor B, na Campanha 6, foi decorrente dos níveis mais baixos de IBR apresentados pelos setores A e C.

Praia

Os organismos da fauna bentônica de praias arenosas podem ser afetados pelos contaminantes desde os níveis genéticos e bioquímicos até os níveis de comunidades, a introdução de rejeitos de minério de ferro pode modificar o habitat, provocando a redução da diversidade de táxons, em função da redução do número de espécies, bem como o favorecimento de organismos oportunistas e redução na densidade, diversidade e biomassa de organismos bentônicos, além de modificações de sua estrutura trófica, decorrentes da introdução de rejeitos de mineração, foram reportadas para o estuário do rio Doce.

A macrofauna pode apresentar alterações morfológicas, fisiológicas, na composição específica e abundância como efeito da exposição a contaminantes. A introdução de elementos potencialmente tóxicos também pode causar efeitos deletérios na comunidade de Nematoda.

A persistência de contaminantes na praia está relacionada com a morfodinâmica. Praias refletivas com areias grossas, elevada declividade da zona de espraiamento-refluxo da onda, ausência ou reduzida largura da zona de surfe e elevada permeabilidade apresentam reduzida variabilidade topográfica do perfil praiial e elevada velocidade do refluxo da onda, com capacidade de carrear de volta ao mar partículas de sedimentos mais finos.

Bentos - Quanto aos compartimentos, a riqueza se mantém significativamente menor no Compartimento C, enquanto a densidade apresentou os menores valores nos Compartimentos A e C. Como já visto, as praias do Compartimento C possuem características mais dissipativas e é onde os processos costeiros favorecem a deposição dos sedimentos provenientes do rio Doce, a partir da deriva litorânea sentido norte. Dessa forma, os menores valores observados nesse compartimento sugerem que essa área ainda é afetada pelos rejeitos da barragem de Fundão.

Entre os grupos-chaves da macrofauna, a densidade de *Oligochaeta* foi significativamente menor no Compartimento C ($p < 0,05$). Em relação às campanhas, as menores densidades foram encontradas nas campanhas do Ano 3, sendo que na campanha 01/2021 os valores observados foram significativamente inferiores àqueles registrados nas demais campanhas ($p = 0,001$).

Em poliquetas, os maiores valores de densidade foram registrados no Compartimento B, com valores intermediários no compartimento C e valores inferiores no Compartimento A. As menores densidades de *Saccocirrus pussicus* também foram registradas em ambas as campanhas realizadas no Ano 3 (01/2021 e 07/2021) ($p = 0,01$), onde desapareceram das amostras coletadas no Compartimento A e tiveram seu número reduzido bruscamente nas amostras coletadas no compartimento C.

As estações amostrais Urussuquara (DNU), Vila de Cacimbas (DNC) e Regência (DSR) apresentaram-se bem relacionadas aos elementos Cu, Hg, As e Ni. Já os pontos Aracruz – Putiri (ARP), Aracruz – Refúgio (ARR) e Guriri (DNG) apresentaram-se bem relacionados aos metais Al, Fe, Pb e Cd. Por outro lado, os pontos Comboios (DSC), Povoação (DNP) e Pontal do Ipiranga (DNPI) apresentaram boa relação com os metais Cr, Mn e Zn. De forma muito interessante, é possível observar a formação destes mesmos três agrupamentos nas ordenações (PCAs) geradas para as outras Campanhas e apresentadas no relatório anual 2020 (RRDM, 2020b). Com base nos resultados expostos acima, é possível observar que os metais/As avaliados nas amostras de água coletadas no ambiente praiial ao longo dos 3 anos de monitoramento possuem um claro padrão que se repete tanto no tempo como no espaço, com pouquíssimas variações, formando os três agrupamentos de pontos e metais supracitados.

Em relação a comparações temporais, considerando as seis expedições realizadas pelo Anexo 1, sendo as quatro primeiras descritas no relatório anual 2020 (RRDM, 2020b), é possível observar um claro padrão espacial para a distribuição dos metais e As em amostras de sedimento coletadas no ambiente praiial. Por exemplo, os pontos DNC e DSR se mostraram bem caracterizados pela presença dos metais Zn, Cr, Cd, Hg e Al, indicando uma tendência desses elementos em ocorrer na foz do rio Doce e norte da região. Além disso, o ponto ARP se mostrou intimamente relacionado aos elementos Cu, Mn, Fe, Pb e Ni, mostrando a tendência de ocorrência destes metais mais ao sul da foz do rio Doce. Ainda, as estações amostrais DNP, DNPI, DNG, DSB, DNU e DSC foram bem caracterizadas pelo As, evidenciando que este metaloide caracteriza melhor os pontos mais ao norte da foz do rio Doce.

A análise dos padrões de bioacumulação de poliquetos não foi realizada devido à baixa abundância destes organismos. Apesar do grande esforço amostral, o baixo número de indivíduos coletados (completa ausência em muitas estações amostrais) não permitiu a execução das análises gráficas utilizadas no presente projeto.

Características morfodinâmicas e sedimentológicas próprias de cada setor podem estar intimamente relacionadas com os padrões de bioacumulação de metais observados nos invertebrados de praia (anfípoda e isópoda). Sendo assim, é possível observar na última campanha realizada uma clara tendência de contaminação de caranguejos de praia principalmente ao sul da foz do rio Doce, mesmo que a região imediatamente ao norte ainda apresente relevância para este processo. Importante frisar que este padrão espacial dos teores teciduais de metais/As em caranguejos de praia ainda não havia sido observado no contexto do presente monitoramento.

Em relação à comparação temporal global feita a partir da avaliação do IBR bioacumulação para caranguejos de praia determinado durante todos os anos de monitoramento (Anos 1, 2 e 3), é possível observar que os maiores valores do índice ocorreram durante a Campanha 1 (set/out 2019) para os três setores avaliados, com destaque para o setor B. Ainda, é possível observar que esta Campanha foi caracterizada por altos valores de acumulação de vários elementos, de forma difusa. Os valores de IBR durante a Campanha 2 (jan/fev 2019 - período chuvoso) se mantiveram altos apenas no setor B, o qual passou a demonstrar altos níveis de acumulação de elementos específicos (Zn, Mn, Fe e Cu). Após este primeiro período, os níveis de IBR bioacumulação diminuíram nos 3 setores durante as Campanhas 3 (set/out 2019 - período seco), 4 (jan/fev 2020 - período chuvoso) e 5 (jan/fev 2021 - período chuvoso), mas os metais Zn, Mn, Fe e Cu se mantiveram como os mais relevantes. Por outro lado, durante a Campanha 6 (jul/ago 2021 - período seco), foi possível observar um aumento no índice IBR bioacumulação dos caranguejos de praia no setor A, caracterizado, principalmente, pela acumulação de Mn, Cd e Fe. Este resultado evidencia algum evento importante na região, resultando em contaminação aguda nas áreas agrupadas neste setor. Sendo assim, de forma geral, a acumulação de metais/As em caranguejos de praia foi evidentemente maior no primeiro ano de avaliação do projeto, destacando-se a região no entorno da foz do rio Doce como a mais crítica. Com o passar do tempo, os níveis de bioacumulação diminuíram e foram se tornando mais homogêneos ao longo da malha amostral estudada. Adicionalmente, em um primeiro momento, essa contaminação foi referente a um número maior de elementos que, com o passar do tempo, se resumiram, de forma geral, aos metais Zn, Mn, Fe e Cu. A Campanha 1 (set/out 2018) destaca-se tanto para os caranguejos de praia, como para o grupo de “outros invertebrados”.

Aves

É possível observar que as concentrações de metais e As nas aves monitoradas ao longo do Ano 3 apresentaram um perfil espacial similar, demonstrando que, de forma geral, os indivíduos capturados em manguezais são aqueles que apresentaram maior grau de contaminação no sangue. Este interessante resultado pode indicar que a contaminação nas aves em manguezais é recente, visto que a presença de metais e As no sangue está geralmente relacionada à interação aguda com contaminantes. Por outro lado, os indivíduos obtidos nas regiões de praia foram os que apresentaram maiores valores dos elementos-alvo em penas, que indica processos de contaminação em longo prazo, sugerindo que os animais do ambiente praiial podem estar apresentando indícios de um evento de contaminação mais antigo.

É interessante observar que, apesar deste impacto ter diminuído consideravelmente durante os meses seguintes (jan/2019 à jan/2020), o aumento de bioacumulação observado novamente na Campanha 5 (jan/fev 2021 - período chuvoso) pode indicar a existência de processos temporais marcantes de contaminação e descontaminação por metais e As nas regiões estudadas, sugerindo a existência de impactos cíclicos para as aves avaliadas, os quais se estabelecem e, portanto, podem ser somente observados, em longo prazo.

Integração

Dulcícola

No compartimento dulcícola, o que se observa é o atendimento à periodicidade e aos procedimentos analíticos com recomendações de adaptações. Chama a atenção para dois pontos principais, no que concerne a metodologia, no tocante à exclusão do ponto Lagoa do Areão, que não se constitui ponto de acesso fácil ao monitoramento; e possíveis adequações em termos de coleta de fauna, tanto em aspectos qualitativos quanto quantitativos.

O último ponto ressaltado se deve ao fato que, como uma tendência geral, há uma diminuição na abundância de organismos coletados para fins de monitoramento de biomarcadores e bioacumulação, particularmente os anfíbios. Este dado revela preocupação, uma vez que, ao longo do monitoramento, possa ser constatada uma alteração na estrutura e dinâmica trófica, com exclusão de espécies mais sensíveis e/ou menor recrutamento das coortes.

No ambiente dulcícola, assim como será ressaltado em relação aos demais compartimentos, também há uma continuidade no aporte de elementos metálicos/As, bem como da ressuspensão dos sedimentos. Estes fenômenos são marcados pela sazonalidade, onde o regime das chuvas e o carreamento superficial ao longo da bacia é responsável tanto pela remobilização quanto pela disponibilização de menores descargas de rejeitos. A assinatura do elemento Fe, bem como Mn e Ni, está intimamente relacionada com os impactos diretos do desastre, quando da necessidade de manutenção da periodicidade do monitoramento em diferentes estações, com a continuidade na construção de um banco de dados que demonstre a evolução da qualidade ambiental do rio Doce e seus afluentes. Também é solicitada a atenção para a mensuração dos níveis de mercúrio em sua forma orgânica (metilmercúrio) e especiação do Arsênio, de modo a compreender a transmissão de elementos com potencial de biomagnificação na cadeia trófica.

Por fim, talvez um dos pontos que mais mereça destaque, é a presença da microalga *M. aeruginosa*, em cepas identificadas como tóxicas. Com já reforçado, poucos foram os dados apresentados no anexo de ecotoxicologia a respeito do monitoramento destas cepas, o que deve ser aprimorado no futuro ou pela inclusão dos dados ou pela correta indicação dos anexos onde se encontra disponível a informação. Esta microalga é capaz de produzir cianotoxinas quando da ocorrência de florações, mediante alterações ambientais que induzem ao aumento da concentração de microcistinas. A toxina microcistina é reconhecida como carcinogênica e indutora de genotoxicidade em sua forma mais tóxica, permanecendo estável no ambiente mesmo meses após a floração. Além disso, quando da presença desta toxina, cuidados adicionais ao tratamento de água devem ser acrescidos, o que demanda atenção à saúde pública. Sendo assim, maior atenção a organismos que possam causar danos sistêmicos e com consequência à saúde humana devem constar na continuidade dos ambientes dulcícolas, de modo a compreender o restabelecimento da dinâmica e estruturação da comunidade fitoplanctônica.

Estuarino-costeiro

Verifica-se o transporte e deposição do material lamoso e elementos químicos para o Compartimento C (ao norte da foz). Consequentemente, os sedimentos lamosos das isóbatas 5 e 10 m nos Compartimentos B' (foz, parte norte) e C, foram os que apresentaram as maiores concentrações dos elementos químicos associados ao rejeito de mineração, destacando Al, As, Ba, Cr, Fe, Mn, Ni e Pb, alguns deles com valores de referência acima dos propostos para não impactar a biota. Nas estações submersas destes compartimentos diversos parâmetros da fauna bentônica foram afetados pela presença dos elementos químicos, onde a riqueza da meiofauna foi reduzida com o aumento de Fe no sedimento, principalmente na isóbata de 10 m.

Os períodos chuvosos certamente incrementam os aportes terrígenos e mantêm o padrão cíclico dos indicadores morfodinâmicos, geoquímicos e bentônicos. No entanto, de forma geral, as alterações observadas na concentração dos elementos químicos e da fauna bentônica no período chuvoso do Ano 3 (01/21) também ocorreram no período seco (07/21). Na comunidade bentônica foram percebidos valores mais altos de IBR biomarcador nos invertebrados de praia (anfípodas e isópodes), amostrados pelo Anexo 1 Ecotoxicologia, nos Compartimentos A e, principalmente, C (ao norte da foz).

Em estuários, o rio Doce (Compartimento B) descreve uma tendência de aumento nas concentrações dos metais desde o monitoramento em 2018. Dentre os demais metais avaliados e correlacionados com aqueles típicos dos rejeitos da mineração, isto é, Fe, Mn, Al, Cr, Co e Pb, o período chuvoso de 2021 teve aumento expressivo.

As análises de PCA, referentes ao período Chuvoso 2018/2019 e o período Seco 2021, indicam *Rhizophora mangle* (espécie de mangue) como a espécie mais sensível às alterações devido aos efeitos tóxicos de metais no tecido foliar. O Mn detectado no tecido foliar foi correlacionado com o estresse oxidativo e acompanhado pela redução na assimilação de carbono nesta espécie, principalmente para Piraquê Mirim, São Mateus e Caravelas. Dados levantados ao longo de todo o monitoramento apontam que *R. mangle* está sob estresse oxidativo.

O habitat de *Cardisoma guanhumi* no rio Doce apresenta concentrações de Cr, Fe e Mn no sedimento acima do limite estabelecido pelo NOAA, metais tóxicos que exibem potenciais efeitos deletérios, em longo prazo, sobre a população.

Os padrões de bioacumulação de metais e As pelos organismos de diferentes níveis da cadeia trófica são apresentados e discutidos com base no Índice de bioacumulação (IBR bioacumulação). Para caranguejos de manguezais coletados nos períodos chuvoso e seco de 2021 (Campanha 5, jan/fev 2021 e Campanha 6, jun/ago 2021), os resultados do IBR bioacumulação indicaram um padrão espacial semelhante às três campanhas anteriores (Campanhas 2, 3 e 4), nas quais o setor "B (foz do rio Doce)" se destacou com relação aos demais setores, com realce para a bioacumulação dos metais Cd, Cu, Hg, Mn e Pb.

De forma geral, é possível observar uma concordância entre os maiores valores de IBR bioacumulação e IBR biomarcador, mostrando que, de fato, os padrões de contaminação observados nos diferentes organismos foram refletidos no grau de estresse fisiológico, indicando que os metais e As encontrados nos tecidos causaram impactos biológicos na biota costeira avaliada. Além disso, é possível verificar que, ao longo dos dois primeiros anos, esta relação se deu com maior intensidade no setor B, relativo aos pontos localizados no entorno da foz do rio Doce, mostrando que, a partir da perspectiva dos IBRs, esta foi a região mais impactada e mais estressante durante este primeiro período. Esta afirmação serve tanto para os organismos coletados em manguezais como para aqueles capturados em praias. Por outro lado, durante o Ano 3, é evidente que o setor norte se destacou como o mais relevante, tanto em termos do IBR biomarcador como de bioacumulação, sendo os "outros invertebrados" (anfípodas e isópodes) de praia os melhores indicadores dos impactos.

Sendo assim, é possível concluir que as áreas costeiras localizadas no entorno da foz do rio Doce apresentam claras evidências de impactos ambientais causados por elementos diretamente associados ao rompimento da barragem de Fundão, principalmente ao longo dos dois primeiros anos de monitoramento (2018-2020). Esta conclusão é sustentada, principalmente, pela co-ocorrência de elevados níveis

de bioacumulação (IBR bioacumulação) e de alterações e danos fisiológicos (IBR biomarcadores) em organismos do setor B, relativo às áreas do entorno da foz do rio Doce. Além disso, é interessante comentar que existem flutuações espaciais e sazonais nos valores de IBR, ocorrendo, inclusive, maiores níveis destes índices em outros setores, principalmente no setor norte durante o Ano 3. No entanto, a comentada co-ocorrência estabelecida entre acumulação e danos biológicos incide, majoritariamente, nas áreas diretamente associadas à foz do rio Doce, fortalecendo a tese de que esta região continua a ser impactada, mesmo tendo se passado seis anos do rompimento da barragem de Fundão. Os invertebrados de praia avaliados no setor norte, ao longo do Ano 3, também apresentaram evidente co-ocorrência entre os dois índices, sugerindo que esta região está começando a ter relevância no que se refere aos impactos ecotoxicológicos causados pelo rompimento da barragem de Fundão.

Marinho

Conforme avaliação procedida aos Anexos e Relatórios concernentes aos dados do subprojeto de Ecotoxicologia, o monitoramento indica a perpetuação dos impactos diretamente relacionados ao desastre ocorrido em 2015. De modo geral, o monitoramento realizado nos compartimentos biótico e abiótico indica que os efeitos temporais tornam-se crônicos, afetando a dinâmica e estruturação de comunidades, bem como especializações marcantes dos efeitos dos diferentes elementos metálicos, metalóide e compostos orgânicos presentes no rejeito, sendo perceptível uma variação entre os pontos amostrais.

No tocante ao ambiente marinho, o terceiro ano de monitoramento ressalta a conectividade dos impactos de acumulação entre os níveis tróficos. A variabilidade espaço-temporal no acúmulo de determinados elementos metálicos encontra correlações em diferentes guildas, e também caracteriza os impactos em cada ponto amostral. De acordo com a estação, em gradiente latitudinal, e com a sazonalidade, entre período seco e chuvoso, identifica-se uma dinâmica físico-química que interfere nos efeitos de toxicidade, bioacumulação e dispersão dos efeitos de contaminação. Presentemente, é indicado que a contribuição do aporte de rejeitos do rio Doce no ambiente marinho ainda é pronunciado e relacionado com o período chuvoso, enquanto que o período seco viabiliza a ressuspensão dos rejeitos pelo efeito das correntes marinhas e, como consequência, alterações nos índices de resposta biológica e dos parâmetros descritores do estresse resultantes da toxicidade das matrizes água e sedimentos.

É válido destacar a acumulação dos elementos ferro e manganês, oriundos do rejeito, ainda quantificados em níveis anormais à legislação e dados pretéritos no após ao derrame, especialmente em espécies de interesse econômico como recursos pesqueiros. Tal fato evidencia-se na musculatura de camarões, particularmente na foz do rio Doce, bem como na musculatura de peixes, com variações sazonais destes elementos entre os agrupamentos dos herbívoros/onívoros e carnívoros. Ademais, destaca-se a identificação do elemento mercúrio em níveis tróficos superiores, o que pode ser um indicativo do efeito de biomagnificação e bioacumulação. Até o presente os níveis de mercúrio são mensurados como mercúrio inorgânico total, devendo-se observar não apenas a necessidade de continuidade do seu monitoramento como a relevância na inclusão do descritor metilmercúrio como forma de melhor avaliar a dinâmica de transmissão deste elemento na cadeia trófica.

Os descritores utilizados para avaliação do estresse e resposta biológica à toxicidade dos elementos apresentam variações específicas aos grupos avaliados e também com a sazonalidade. Destaca-se que na assembleia dos peixes os biomarcadores não apresentam ainda padrões sazonais e espaciais claros, devendo-se manter a integralidade dos parâmetros de modo a contribuir na construção de um banco de dados históricos que melhor indique as tendências de resposta para este grupo. Em relação aos demais (fito e zooplâncton, carcinofauna, corais, hidrocorais e microbiota) os parâmetros elencados e mantidos entre as campanhas mostram-se adequados, podendo-se proceder a melhorias e novas adaptações quando de uma melhor compreensão das dinâmicas biogeoquímicas estabelecidas.

Por fim, no que se refere ao ambiente marinho, reforça-se que a continuidade do monitoramento sazonal, em todas as estações já definidas, deve ser priorizado. A construção do banco de dados até o presente é o que possibilita a identificação das tendências e impactos de médio e longo prazos, de modo que a manutenção dos descritores é fundamental para um contínuo aprimoramento de ações de intervenção e de conservação da biodiversidade. Os impactos continuam a se propagar na cadeia trófica, já sendo identificados danos fisiológicos não apenas na ictiofauna, mas no recrutamento de espécies de interesse econômico, com inviabilidade de larvas de peixes, além dos efeitos à saúde e metabolismo de tartarugas, aves e cetáceos. Desta feita, ainda não é possível inferir que todos os efeitos negativos da contaminação pelos rejeitos do desastre já foram mensurados ou conhecidos, e portanto, a manutenção de ações que visem o melhor entendimento dos mecanismos e mensuração da extensão dos danos deve ser priorizada para a contribuição às melhores estratégias de gestão do ambiente marinho.

4.3.1.2 Conclusões - Ecotoxicologia

Nos descritores morfofisiológicos da biota e nos descritores físico-químicos indicam impactos crônicos e diretamente relacionados com a deposição dos rejeitos. Ademais, é importante ressaltar que o aporte de tais sedimentos mantém-se contínuo no tempo e no espaço, com flutuações decorrentes da sazonalidade bem marcada entre os períodos seco e chuvoso, devido ao carreamento superficial pela bacia hidrográfica e deposição nos ambientes marinho-costeiro e marinho-oceânico.

Há estreita ligação e correlação entre os compartimentos analisados, entre os ambientes continental, costeiro e marinho. Isto evidencia uma transmissão sistêmica dos impactos decorrentes do rejeito, com reflexos na estruturação de comunidades e sucessão/supressão de organismos sensíveis ou menos tolerantes, com perdas à biodiversidade e mesmo aos recursos naturais de interesse econômico e social, tais como os recursos pesqueiros.

Em todos os ambientes, em ao menos um agrupamento trófico, é observado o acréscimo na concentração de mercúrio em sua forma inorgânica, destacando-se a importância e urgência para a inclusão de análises de mercúrio orgânico (metilmercúrio) em todos os organismos avaliados no monitoramento ecológico, como contribuição à construção de um panorama de transmissão de toxicidade que pode ter consequências graves à saúde humana, especialmente às comunidades ribeirinhas e de pescadores.

4.3.1.3 Propostas de Encaminhamentos

a) Constituem pontos gerais de análise e revisão na apresentação de dados, descrição de métodos e resultados e a representação gráfica do relatório relativo ao ambiente marinho:

- Ressalta-se a relevância de padronização nomenclatural na descrição de resultados como campanhas ou anos, pois estas indicações se alternam ao longo de todos os documentos, ora sendo apresentados de uma forma e sequencialmente de outra, o que ocasiona em um

lapso interpretativo aos dados do monitoramento;

- De forma geral, recomenda-se que os anexos relacionando os métodos empregados devem ser continuamente revisados, visando a síntese textual, adequação quanto aos marcadores que não se mostram relevantes para o monitoramento e a inclusão de demais parâmetros que sejam solicitados. Também se indica a atenção para a não repetição de conteúdos concernentes à metodologia nas descrições de resultados, uma vez que a repetição de informações não contribui à interpretação dos dados;

- O volume de informações sumarizadas nos resultados do anexo para a evolução espaço-temporal ainda contém uma extensa descrição narrativa, que não é favorável à apreensão facilitada de seu conteúdo. Ainda assim, comparativamente a relatórios anteriores, verifica-se a intencionalidade de uma descrição mais objetiva. Sugere-se o esforço progressivo nesta forma de descrição dos dados, para uma maior integração;

- No presente relatório, ainda não se incluem análises relacionadas com acumulação de metais, arsênio ou biomarcadores para a macrofauna bentônica (poliquetos e moluscos). É ressaltada novamente a dificuldade de coleta, triagem e obtenção de biomassa desses organismos que se faz necessária para os procedimentos analíticos. Apesar do reconhecimento das limitações metodológicas, sugere-se que alterações futuras nos procedimentos de coleta, campanhas específicas e inclusão de tais análises são altamente recomendadas para melhor avaliação dos impactos ambientais e compreensão das alterações na cadeia trófica. Particularmente, devido à identificação de danos crônicos em crustáceos e peixes, que são também dependentes destes recursos alimentares, faz-se necessária a caracterização dos impactos na estrutura trófica da comunidade, a acumulação de elementos em diferentes níveis tróficos e o potencial de bioacumulação, especialmente do mercúrio na forma de metilmercúrio e de bifenilas policloradas (PCBs), que despertam atenção para a segurança alimentar das comunidades ribeirinhas e de pescadores em relação ao consumo do pescado oriundo das áreas impactadas pelo rejeito;

b) É imprescindível a manutenção de todos os pontos amostrais, frequência de coletas e representatividade sazonal para a contínua caracterização do comportamento de toxicidade sobre a biota, bem como a caracterização abiótica da qualidade de água e sedimentos, pois há a espacialização dos efeitos de toxicidade dos elementos metálicos e As, com influências diretas relacionadas em cada estação amostral, devido aos efeitos de deposição, dispersão e ressuspensão do rejeito. Logo, a espacialização destes efeitos passa a ter um caráter de continuidade dos impactos ao longo do monitoramento;

c) Todos os descritores devem ser mantidos, para todos os organismos, visando a continuidade da construção do *baseline* dos impactos, e a avaliação temporal da evolução dos impactos sobre a biota e a estrutura de cadeia trófica, antes da tomada de decisão sobre quais são os melhores descritores a serem mantidos em um programa de monitoramento contínuo, visto que os biomarcadores e os índices de biomarcação e bioacumulação já demonstram a existência de padrões espaciais e temporais para alguns grupos tróficos de organismos dos ambientes dulcícola, marinho e costeiro, por exemplo caranguejos e microalgas, enquanto outros, como os peixes carnívoros marinhos e as aves costeiras/manguezal, ainda não apresentam clara definição da relevância de tais índices ao monitoramento;

d) Os textos de apresentação dos resultados podem ser mais diretos, tornando menos massivo, menos repetitivo, mais conectivo, com melhor fluência;

e) Com o advento de outros estudos provenientes do Eixo Prioritário 6, por meio da perícia judicial, em referência a Análise do Relatório nº 36 - Perito do Juízo, 12ª Vara da Justiça Federal Cível e Agrária da SJMG, na Ação Civil Pública, Processo nº 1000412-91.2020.4.01.3800 - Laudo Pericial da Segurança do Alimento - Pescado no rio Doce, foz e região marinha. Considerando que foi observada a presença de Mercúrio, Metilmercúrio, e Bifenila Policlorada (PCB), Arsênio Inorgânico (III e V) em algum momento do estudo. Para isso faz-se necessário o acréscimo de estudos com elementos não estudados até o momento, no âmbito da RRDM/FEST;

f) Requer-se uma maior atenção à redação dos relatórios técnicos e conclusões das sínteses integrativas, considerando análises e interpretações que visem o claro esclarecimento sobre a integração de tais impactos entre os ambientes avaliados e as correlações sistêmicas na espacialização e temporalização dos impactos, constituindo uma avaliação de impactos em nível ecossistêmico e com implicações à saúde humana e restauração ambiental;

g) Como sugestão, levando em consideração a necessidade e a importância da conectividade e das interações ecológicas entre os compartimentos avaliados, o Relatório de Integração deve priorizar essas discussões integradas. Há uma vacância de análise de causa-consequência entre os descritores bióticos e abióticos entre setores dulcícola, costeiro e marinho, sendo que é perceptível, principalmente na fauna, que os padrões sazonais e espaciais na concentração dos elementos e dos biomarcadores segue tendências similares, indicando uma possível correlação entre níveis tróficos e entre os compartimentos, o que não vem sendo sumarizado.

4.3.2 Anexo 3 - Análise abiótica e biótica no Ambiente Dulcícola

O Anexo 3 do 3º Relatório Anual (2021) do PMBA/FEST-RRDM RT- 39B – EVOLUÇÃO ESPAÇO TEMPORAL NA QUALIDADE AMBIENTAL E NA BIODIVERSIDADE NO AMBIENTE DULCÍCOLA está dividido em 7 itens: Integração Flúvio-Estuarina; Limnologia; Análises Químicas; Macrófitas; Fitoplâncton; Perifiton; e Zooplâncton.

4.3.2.1 Avaliação de impactos ambientais e identificação de tendências nos parâmetros monitorados

Integração Flúvio-Estuarina

O regime de chuvas seguiu o padrão de sazonalidade histórico, apresentando maiores volumes acumulados durante o período chuvoso nas bacias de cabeceira. Durante o Ano 1 os maiores volumes acumulados foram registrados nas bacias do rio Piranga (1.253,0 mm) e do rio do Carmo (947,9 mm), em Minas Gerais. No Ano 2, o maior valor registrado ocorreu na bacia do rio Santo Antônio (1.212,7 mm), seguido da bacia do rio do Carmo (1.175,9 mm).

Quanto ao ano 3, na página 47 do Relatório encontramos a seguinte afirmação que “O Ano 3 do PMBA/Fest-RRDM foi marcado por uma concentração maior de chuva na bacia do rio Piranga, com 1.414,4 mm, praticamente o mesmo valor da acumulada máxima da série histórica (1.413,7 mm). Em 13 das 17 regiões da Bacia do Rio Doce, o acumulado de precipitação foi maior no período chuvoso do Ano 3 em relação ao Ano 1 e ao Ano 2 do monitoramento, sendo que 6 das 17 regiões hidrográficas tiveram acumulados de precipitação mais elevados que a média da série histórica anterior ao rompimento da Barragem de Fundão.”. Observando o documento apresentado, inclusive o Material Suplementar A3DIFS2, Figuras 1 à 34, depreende-se que a série histórica se refere apenas aos anos de 1, 2 e 3 do monitoramento e não a série histórica anterior ao rompimento como afirma o texto.

Quanto à caracterização dos fluxos de sedimentos, nutrientes e metais, o Relatório aponta que “Durante as cheias do rio ocorre intensificação do transporte de sedimentos e de poluentes ao longo da calha, atingindo a região marinha.” (pág. 93).

Faz-se necessário checar se há alguma equívoco quanto aos valores e/ou anos citados no texto da página 94 “Considerando as estimativas de valores médios de descargas de sedimento em suspensão para os três anos de monitoramento, o período chuvoso do Ano 2 apresentou valores médios muito superiores (10.695 t.d^{-1}), em relação aos estimados para o Ano 1 (1.668 t.d^{-1}) e Ano 2 (4.505 t.d^{-1}), respectivamente.”. No trecho apresentado há a repetição da expressão “Ano 2” dificultando a compreensão da informação.

Segundo o Relatório mais de 85% das descargas sólidas totais estimadas no período de monitoramento correspondem a sedimentos suspensos, com os maiores valores de descargas sólidas diárias sendo observados em janeiro de 2020, juntamente quando ocorreram picos de vazão fluvial.

Os maiores valores de fluxos de Al, Fe e Mn na fração total foram obtidos para o período chuvoso do Ano 2, assim como as maiores concentrações relativas a esses parâmetros.

Nos períodos chuvosos dos Anos 2 e 3 foram observados os maiores fluxos de sedimentos, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e metais (Fe e Mn), muito superiores aos fluxos médios observados no período chuvoso do Ano 1.

Limnologia

Sistema Fluvial: rio Guandu e rio Doce

Segundo o relatório, a turbidez do rio Guandu (EA17) foi predominantemente superior à da calha do rio Doce, exceto no terceiro período chuvoso, quando o rio Doce apresentou aumento em sua turbidez média.

Apesar de não ter sido observado variação sazonal significativa entre as estações da calha do rio Doce, o período Chuvoso 3 foi o mais representativo. E as estações amostrais EA0, EA21, EA22 e EA26 apresentaram turbidez acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para águas de Classe 2 (100 UNT).

O relatório deixa evidente que tanto para o rio Doce quanto para o rio Guandu, a turbidez da água, ao longo do PMBA/Fest- RRDM, possui alta correlação com o material particulado em suspensão (MPS). E “ambos os parâmetros apresentam correlação direta com a vazão fluvial do rio Doce, com os pulsos elevados nos períodos chuvosos” (pág.101).

Com relação ao Nitrogênio (N), na página 103, o PMBA/Fest-RRDM, traz a seguinte informação “O excesso de N pode induzir a eutrofização dos ecossistemas aquáticos, sobretudo quando o nutriente é oriundo de atividades antropogênicas como os cultivos vegetais e criações animais. Rejeitos de minério de ferro podem impactar a dinâmica do nitrogênio nos ecossistemas aquáticos devido ao uso de flocculantes à base de aminas durante o processamento de minério (Costa et al., 2021)”.

Levando em consideração os dados obtidos em campo e a bibliografia, o PMBA/Fest-RRDM, afirma que o rio Doce, durante toda a série temporal, apresentou-se eutrofizado enquanto o rio Guandu apresentou essa condição somente em fevereiro de 2020.

Os fluxos de materiais foram mensurados, a partir da estação amostral E21 no rio Doce (fósforo total (P), fósforo inorgânico dissolvido (PID), nitrogênio total (N), nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), alumínio total (Al), ferro total (Fe) e manganês total (Mn)). Foi observado aumento expressivo durante os eventos de elevada vazão fluvial, porém baixa correlação com a vazão, com exceção de Fe e Mn que apresentaram correlação positiva. O relatório ainda destaca (Pág. 107) que em eventos hidrológicos com maiores valores de precipitação e vazão poderá ocasionar fluxos de materiais muito superiores aos encontrados no período monitorado devido a ressuspensão de sedimentos de fundo e carreamento desses materiais para a foz do rio Doce e oceano costeiro adjacente.

Sistema lacustre profundo: Lagos

Os lagos Nova e Limão, segundo aponta o relatório, apresentaram estratificação térmica no verão e mistura da coluna d’água no inverno. Sendo que, nos períodos chuvosos (verão) apresentaram concentração do oxigênio dissolvido (OD) geralmente abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/05 (5,0 mg/L), principalmente no hipolímnio desses corpos d’água. Sabe-se que condições de hipoxia e anoxia implicam em estresse fisiológico em peixes e invertebrados podendo levar a eventos de mortandade da fauna aquática.

Ambientes lacustres rasos: Lagoas

Conforme consta na página 113 do relatório “As lagoas costeiras Lagoa do Areão (E23), Lagoa do Areal (E24) e a Lagoa Monsarás (E25), incluindo o canal que recebe a drenagem da planície costeira norte do Rio Doce (E25a), são formações lacustres rasas ($Z_{méd} < 3,0m$)” e para estes sistemas lacustres rasos, destacam a turbidez e material particulado em suspensão como principais parâmetros da variação da estrutura ambiental. o canal da lagoa Monsarás apresentou a maior turbidez dos ecossistemas lacustres, sendo a turbidez associada a matéria orgânica dissolvida.

Análises Químicas

O relatório apresentou dados de análises químicas, contaminantes inorgânicos e orgânicos, para o ambiente dulcícola de rios, lagos e lagoas. Os resultados evidenciaram que os valores de Al total e dissolvido em água apresentaram valores mais elevados nos períodos chuvosos de 2020 e 2021, para os rios Guandu e Doce e estes valores estão acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA classe 2, com índices de não conformidade em metais solúveis do rio Doce de 0% (2019), 94,4% (2020) e 41,7% (2021). Destacando inclusive que os valores de Al total em água estão acima do limite NOAA crônico para todas as amostras (100% de não conformidade), segundo parâmetro internacional, para todos os ambientes monitorados.

O mesmo fato ocorreu para as concentrações totais de Ba, Fe, V e Pb na água dos rios e lagoas em períodos de chuva. O relatório demonstra que V e Pb são marcadores importantes do rejeito e podem confirmar ainda a presença deste na bacia. Entretanto, para o Fe dissolvido no rio Doce, apresentou uma tendência de estabilização/redução, com valores mais elevados nas lagoas e acima do limite NOAA crônico.

Quanto ao Ba, todas as amostras de água analisadas (lagos, lagoas, rio Guandu e rio Doce), no âmbito do PMBA/Fest-RRDM, apresentaram valores acima do limite estabelecido pelo CONAMA para águas de classe 2, ou seja, 100% não conformes.

O relatório evidencia uma tendência de redução do teor de Fe em sedimentos em rios e lagoas, ao longo dos anos após o desastre, com manutenção de teores mais altos nos lagos. E sugerem que este fato indica que grande parte do rejeito da barragem de Fundão depositado na calha do rio Doce está sendo transportado de forma efetiva em direção ao mar.

Ainda no que se refere aos metais nos sedimentos, destacam o elevado teor de As total na lagoa do Areal, apresentando valores acima do limite estabelecido pelo CONAMA para águas de classe 2.

Foi observado uma tendência de redução dos contaminantes fenóis totais esteróis, PCBs e hidrocarbonetos poliaromáticos – HPA, após a grande cheia de dez/2019 à mar/2020 e da interrupção do monitoramento devido à pandemia da COVID-19 e sugerem que, tal fato, provavelmente ocorreu por redução de atividades geradoras destes poluentes. Os hidrocarbonetos alifáticos - HA também apresentaram elevação dos valores no mesmo período, com posterior redução. Entretanto, observaram elevação com manutenção dos valores para pesticidas no período chuvoso de dez/20 à mar/21. Tal fato demonstra a necessidade de atenção devido ao perigo que estes compostos apresentam para a biota aquática.

Macrófitas

Segundo o relatório, a diversidade γ resultou em 107 táxons pertencentes a 65 gêneros e 33 famílias, das quais 5 famílias e 10 espécies correspondem a plantas vasculares sem sementes e 28 famílias e 97 espécies a angiospermas e foi considerada alta quando comparada a literatura.

Quanto à diversidade α , foi observado aumento ao longo dos três anos de monitoramento praticamente em todas as estações amostrais.

A maioria das espécies é nativa (99 ssp), possuindo ampla distribuição geográfica no território brasileiro. Sendo 3 endêmicas do Brasil (*Rhynchospora corymbosa*, *Stromanthe thalia* e *Nymphaea lingulata*), 6 naturalizadas (*Acmella oleraceae*, *Centella asiatica*, *Cyperus esculentus*, *Eleusine indica*, *Panicum repens* e *Urochloa brizantha*) e 1 espécie considerada ameaçada de extinção, na categoria vulnerável (*Sagittaria lancifolia*).

Sagittaria lancifolia é considerada vulnerável devido às especificidades e exigências ambientais e foi registrada nas estações E23 (lagoa Areão) e E24 (lagoa Areal), áreas onde, provavelmente ocorreu intrusão de rejeitos de minério, conforme relatado na página 144.

A diversidade beta também foi avaliada em relação a sazonalidade de período chuvoso ou seco e, em termos de estruturação e abundância, o rio Guandu apresentou maiores índices de heterogeneidade.

A análise de partição da variância, evidenciou que no período chuvoso, os metais possuem maior influência na estruturação da comunidade de macrófitas, enquanto para o período seco, os fatores de maior influência são aqueles relacionados ao ambiente.

Fitoplâncton

O Relatório apresenta o registro de 830 táxons, o que corresponde a incremento de 6,14% dos registrados no ano 2 (valor aproximadamente 6,14% maior que o número registrado anteriormente - 782 táxons) sendo que a lagoa Monsarás (E25) contribuiu com 40% da riqueza total.

As maiores contribuições relativas para a riqueza de espécies foram registradas para a lagoa Monsarás (E25) que contribui com 40% da riqueza total, seguida pelos lagos Nova (E19) e Juparanã (E20), que apresentaram aproximadamente 35% do total de táxons registrados para a região do baixo rio Doce. O relatório aponta que os lagos podem ser importantes fontes de dispersão de espécies após eventos de cheia nestes ecossistemas, ou até mesmo fontes de propágulos de táxons por outras formas de dispersão.

Com relação à diversidade, é informado que o padrão observado desde o ano 1 se mantém, indicando alto e/ou médio grau de estresse.

Foi observado que os valores de dominância se mantiveram elevados, em todos os ambientes estudados, devido principalmente a elevadas densidades de cianobactérias do gênero *Synechocystis*. Conforme descrito na página 177, este grupo de cianobactéria adapta-se bem a ambientes com baixas concentrações de nutrientes e recursos, podendo ser encontrado tanto em ambientes oligotróficos quanto em ambientes eutróficos. Além disso, possui sistemas especializados para absorção de ferro, o que confere uma vantagem seletiva para manter o sucesso de suas populações, conforme registrado na região do baixo rio Doce.

Os autores destacam que a tendência de redução da diversidade com aumento da dominância e baixa equitabilidade, encontrada nesse monitoramento, é bastante observada em ecossistemas impactados e com florações fitoplanctônicas sendo comum a alta densidade de espécies ruderais e/ou espécies nocivas, capazes de impactar ainda mais a qualidade ambiental do ecossistema, além de representar perigo à saúde humana, por meio de produção de cianotoxinas.

Salienta-se que o presente monitoramento registrou a ocorrência de 13 táxons de cianobactérias produtoras de toxinas, como por exemplo, *Synechocystis* spp registrados como dominantes e/ou abundantes nos ambientes monitorados na região do baixo rio Doce.

Com relação a densidade fitoplanctônica, o relatório evidenciou padrões sazonais, com aumento na densidade de indivíduos nos períodos chuvoso 1 para o rio Guandu e lagos e chuvoso 2 para o rio Doce. Para as lagoas Areal (E24) e Areão (E23), relatou pronunciado aumento de densidade total no período seco 1, fato este, atribuído às menores profundidades destas lagoas.

Destacaram também que grande parte da densidade de organismos era composta por cianobactérias, chegando a representar 99% da densidade total registrada na foz do rio Doce (E26).

Desta forma, enfatizando o uso múltiplo e difuso da água (abastecimento doméstico, recreativo, pesca intensiva, piscicultura intensiva), fica evidente a necessidade da manutenção do monitoramento da qualidade da água e da comunidade fitoplanctônica não só na região do baixo rio Doce, mas também ao longo de sua calha principal, nos lagos Nova, Juparanã e Limão e nas lagoas Areal e Monsarás.

Perifíton

O rio Doce compartilha grande parte de suas espécies com os demais ecossistemas avaliados. Os autores reforçam, mais uma vez, que “esses resultados indicam a importância dos ecossistemas adjacentes (afluentes, lagos e lagoas) na manutenção da biodiversidade de

algas perifíticas no Rio Doce, uma vez que podem servir como fonte de propágulos após algum distúrbio de intensidade maior, como foi o caso da passagem do rejeito de minério da Barragem de Fundão” (Pág. 189).

Quanto à diversidade, considerando Índice de Shannon, Equitabilidade e Dominância de Simpson, o rio Doce atingiu o menor valor nos meses chuvosos do ano 2.

Nas páginas 205 e 206 foi relatado que os resultados das análises evidenciam forte influência da sazonalidade no baixo rio Doce sobre a comunidade perifítica, principalmente nos ambientes lóticos, com tendência de aumento da diversidade nos períodos secos devido à maior heterogeneidade espacial e instabilidade durante o período chuvoso e maior estabilidade ambiental no período seco, permitindo maior riqueza. Constatam também que as variações das condições ambientais e das concentrações de metais são determinantes na estruturação da comunidade perifítica e as mudanças observadas nessa comunidade, sugerem que os ambientes lóticos e as lagoas sejam os ambientes mais impactados pelos metais. E afirmam que *“Especificamente para o Rio Doce, que recebeu cargas elevadas de rejeito após o rompimento da barragem, a relação do Arsênio com a riqueza de espécies da comunidade perifítica parece ser uma possível evidência dos efeitos residuais/crônicos desse rejeito de minério”.*

Zooplâncton

Durante os 3 anos foram encontradas 125 espécies do zooplâncton, sendo 2 espécies exclusivas do rio Guandu, 9 do rio Doce, 8 exclusivas dos lagos e 10 encontradas apenas nas lagoas. Houve a indicação de compartilhamento de espécies entre lagos e os sistemas fluviais (rio Guandu e rio Doce), indicando padrões de dispersão e conectividade biótica. Duas espécies exóticas foram registradas: o copépode *Mesocyclops ogunnus Onabamiro*, 1957, que ocorreu em todos os ambientes estudados e o rotífero *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908).

Para lagos e lagoas, a flutuação da biomassa de jovens ao longo do tempo não apresentou variação significativa, enquanto as calhas fluviais do rio Doce e do rio Guandu revelaram valores reduzidos, com tendência de estabilidade temporal. Tal evidência pode, segundo o relatório, ser preocupante pois essa redução no incremento de jovens pode sugerir que o zooplâncton estará ainda mais vulnerável diante de impactos ou alterações ambientais.

O relatório também indica uma influência significativa dos marcadores geoquímicos do rejeito na caracterização ambiental do baixo rio Doce (Al, Ba, Fe, Mn e Zn) para o zooplâncton dulcícola, e que apesar da diversidade beta no rio Doce apresentar aumento ao longo dos anos de monitoramento, ainda não há elementos para avaliar se esse aumento é uma resposta positiva quanto a evolução da qualidade ambiental do baixo rio Doce após a passagem e a permanência da onda de rejeito de mineração. Desta forma, o relatório conclui que *“como a calha fluvial ainda está perdendo espécies e traços funcionais é difícil prever um cenário de recuperação ambiental”* (pág 213).

4.3.2.2 Conclusões - Análise abiótica e biótica no Ambiente Dulcícola

No relatório ficou evidenciado ao longo do texto analisado tendência de intensificação do transporte de nutrientes, sedimentos e de poluentes devido ao efeitos de ressuspensão e carreamento desses elementos ao longo da calha do rio Doce, atingindo a região estuarina e costeira adjacente durante os períodos chuvosos mais intensos.

Principais evidências observadas seguem abaixo:

- Durante as cheias do rio ocorre intensificação do transporte de sedimentos e de poluentes ao longo da calha, atingindo a região marinha;
- Mais de 85% das descargas sólidas totais estimadas no período de monitoramento correspondem a sedimentos suspensos;
- Os maiores valores de fluxos de Al, Fe e Mn na fração total foram obtidos para o período chuvoso do Ano 2, assim como as maiores concentrações relativas a esses parâmetros;
- Nos períodos chuvosos dos Anos 2 e 3 foram observados os maiores fluxos de sedimentos, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e metais (Fe e Mn), muito superiores aos fluxos médios observados no período chuvoso do Ano 1;
- A turbidez do rio Guandu (EA17) foi predominantemente superior à da calha do rio Doce, exceto no terceiro período chuvoso, quando o rio Doce apresentou aumento em sua turbidez média;
- Tanto para o rio Doce quanto para o rio Guandu, a turbidez da água, possui alta correlação com o material particulado em suspensão (MPS);
- O rio Doce, durante toda a série temporal, apresentou-se eutrofizado enquanto o rio Guandu apresentou essa condição somente em fevereiro de 2020;
- Nos períodos chuvosos, os lagos Nova e Limão, apresentaram concentração do oxigênio dissolvido (OD) geralmente abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05 (5,0 mg/L), cujas condições de hipóxia e anoxia implicam em estresse fisiológico em peixes e invertebrados podendo levar a eventos de mortandade da fauna aquática;
- Os valores de Al total e dissolvido em água foram mais elevados nos períodos chuvosos de 2020 e 2021, para os rios Guandu e Doce e estão acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA classe 2, com índices de não conformidade em metais solúveis do rio Doce. Destacando inclusive que os valores de Al total em água estão acima do limite NOAA crônico para todas as amostras, segundo parâmetro internacional, para todos os ambientes monitorados;
- Para o Fe dissolvido no rio Doce, apresentou uma tendência de estabilização/redução, com valores mais elevados nas lagoas e acima do limite NOAA crônico;
- Quanto ao Ba, todas as amostras de água analisadas apresentaram valores acima do limite estabelecido pelo CONAMA para águas de classe 2;
- Em relação aos metais nos sedimentos, destacam o elevado teor de As total na lagoa do Areal, apresentando valores acima do limite estabelecido pelo CONAMA para águas de classe 2;
- Quanto à diversidade α de macrófitas, foi observado aumento ao longo dos três anos de monitoramento praticamente em todas as estações amostrais. A maioria das espécies é nativa, possuindo ampla distribuição geográfica no território brasileiro;
- A análise de partição da variância, evidenciou que no período chuvoso, os metais possuem maior influência na estruturação da comunidade de macrófitas, enquanto para o período seco, os fatores de maior influência são aqueles relacionados ao ambiente;

- Por apresentarem maiores valores de riqueza, os lagos podem ser importantes fontes de dispersão de espécies de fitoplâncton após eventos de cheia, ou até mesmo fontes de propágulos de táxons por outras formas de dispersão;
- Foi observado que os valores de dominância se mantiveram elevados, em todos os ambientes estudados, devido principalmente a elevadas densidades de cianobactérias do gênero *Synechocystis*;
- Houve tendência de redução da diversidade, aumento da dominância e baixa equitabilidade para o fitoplâncton;
- Necessidade da manutenção do monitoramento da qualidade da água e da comunidade fitoplanctônica não só na região do baixo rio Doce, mas também ao longo de sua calha principal, nos lagos Nova, Juparanã e Limão e nas lagoas Areal e Monsarás;
- Forte influência da sazonalidade no baixo rio Doce sobre a comunidade perifítica, principalmente nos ambientes lóticos, com tendência de aumento da diversidade nos períodos secos;
- Os ambientes lóticos e as lagoas foram os ambientes mais impactados pelos metais em relação ao perifíton;
- Indicação de compartilhamento de espécies do zooplâncton entre lagos e os sistemas fluviais (rio Guandu e rio Doce), indicando padrões de dispersão e conectividade biótica;
- Para lagos e lagoas, a flutuação da biomassa de jovens do zooplâncton ao longo do tempo não apresentou variação significativa, enquanto as calhas fluviais do rio Doce e do rio Guandu revelaram valores reduzidos, com tendência de estabilidade temporal.

4.3.2.3 Propostas de Encaminhamentos

Os encaminhamentos a seguir abrangem os anexos 3 e 7 dulcícola.

A fim de manter a coerência entre os dados brutos e os dados apresentados, solicita-se que a Fundação Renova/RRDM verifique e efetue as correções devidas para todos os dados/resultados apresentados ao longo de todo o Relatório, tendo em vista os vários equívocos apontados nesta Nota Técnica.

Suprimir ou substituir palavras que possuam uma carga de atribuição de valor, por exemplo, “interessante”, “claramente”, “fortemente”, “bastante”, “bem”, entre outras, com o intuito de manter a impessoalidade e não apontar tendenciosidades, uma vez que tais palavras induzem a interpretação e valora a informação na concepção do redator deixando pouca margem para a avaliação do leitor do material.

Sugere-se evitar o uso de estrangeirismos e em casos inevitáveis destacar os termos utilizando o tipo itálico.

Houve um esforço no sentido de correlacionar parâmetros bióticos e abióticos, entretanto faz-se necessário um aprofundamento da compreensão das relações entre o ictioplâncton e o zooplâncton para auxiliar no conhecimento acerca dos efeitos da passagem do rejeito de minério sobre essas assembleias.

Pelos resultados apresentados no 3º Relatório Anual (2021) do PMBA/FEST-RRDM RT- 39B, a riqueza das comunidades estudadas ainda se encontra subestimada, recomenda-se assim, a continuação do monitoramento no intuito de compreender melhor a estrutura dessas populações/comunidade na região e suas respostas ao longo do tempo e espaço.

No sentido de aprimorar a apresentação dos resultados e discussões e tornar a leitura e interpretação dos dados mais fluída, sugere-se que sejam inseridos *hiperlinks* para as figuras, tabelas e gráficos contidos em material suplementar e/ou anexos.

Recomenda-se manter o levantamento bibliográfico, incluindo dados pretéritos, que possibilite análise aprofundada tanto dos valores bióticos quanto abióticos encontrados no ambiente, e que permita inferir sobre as amplitudes de valores dos parâmetros ambientais mais adequados à manutenção da biota aquática da bacia hidrográfica em questão e compará-los aos valores encontrados atualmente.

Espera-se que para os próximos relatórios seja mantida e aprimorada/aprofundada a integração entre os vários parâmetros de qualidade de água, biota aquática e índices levantados.

Recomenda-se manter o padrão de utilização de bibliografia pertinente e as conclusões de outros relatórios e/ou os dados, elaborados pela Fundação Renova e terceirizadas, aprovados e/ou validados pelo CIF, no âmbito de outras câmaras técnicas.

O documento apresentou melhorias no formato da apresentação dos resultados e teceu algumas considerações sobre indicativos de impactos relacionados ao rejeito ou indicação de tendências temporais dos parâmetros monitorados. Contudo, o texto continua sendo muito descritivo, dificultando os trabalhos de outras instâncias envolvidas neste processo, obrigando-as a uma análise e verificação demorada, dispendiosa e por vezes exaustiva dos produtos apresentados na prospecção de informações relevantes à tomada de decisão.

Considerando que o relatório deveria ser apresentado conforme formato/modelo estrutural elaborado e entregue pela CTBIO, desde a análise do 1º Relatório Anual do PMBA, onde a metodologia deveria ser apresentada em um mesmo documento juntamente dos resultados e discussão, para melhor leitura e compreensão. A apresentação da metodologia em documento separado dos resultados e discussão está em discordância ao que já havia sido solicitado pela CT-BIO. Assim como, os resultados deveriam ser apresentados junto à discussão, pois a interpretação dos resultados não faz sentido sem a discussão, além disso a leitura da discussão necessita retornar a leitura e/ou visualização dos resultados nas partes anteriores do texto, dificultando muito a leitura e entendimento.

Comparando-se a diversidade atualmente encontrada à diversidade relatada na literatura utilizada pelo PMBA/Fest-RRDM, há indícios de perda de diversidade e ressalta a necessidade de analisar e monitorar ambientes pouco ou não impactados com a intrusão de rejeitos, pois esses locais podem servir de repositórios naturais de espécies ambientalmente exigentes e que já não são encontradas ou possuem suas populações em declínio nos ambientes que foram diretamente atingidos pela pluma de rejeitos.

Percebe-se a importância da continuidade do monitoramento, entretanto é notória a necessidade de apontarmos as medidas de mitigação dos impactos já evidenciados para auxiliar na recuperação do rio Doce. Inclusive, com o intuito de subsidiar tomadas de decisão pelos governos e demais tomadores de decisão de forma objetiva e desburocratizada.

4.3.3 Anexo 3 - Análise abiótica e biótica no Ambiente Marinho

O Anexo 3 (porção marinha) compreende nove subprojetos, a saber: Modelagem numérica; Hidrogeoquímica; Sedimentologia; Fitoplâncton; Zooplâncton; Ictioplâncton; Bentos de fundos inconsolidados; Fundos recifais, rodólitos e macroalgas; e Mapeamento de habitats.

4.3.3.1 Avaliação dos impactos ambientais e identificação de tendências nos parâmetros monitorados

Mapeamento de Habitat

Os resultados obtidos com este subprojeto destacam que a foz do rio Doce foi a região marinha mais diretamente afetada pelo aporte dos rejeitos oriundos da barragem de Fundão. Ainda, o mapeamento indicou que a combinação da topografia do leito marinho na região ao largo da foz do rio Doce, em conjunto com as características meteoceanográficas da região, pode promover o transporte para porções mais profundas da plataforma continental, conforme exposto no trecho transcrito a seguir:

“O habitat lamoso encontrado na plataforma continental interna do Rio Doce representa o depocentro gerado pelo aporte de sedimentos proveniente do rio, sendo a área mais exposta também em relação ao aporte do rejeito de minério. Entretanto, essa é uma região menos complexa e sem a presença de estruturas carbonáticas resultando em uma pontuação de habitat de menor sensibilidade. O mapeamento detalhado dessa região revelou a presença de cordão arenoso linear em direção offshore partindo do habitat lamoso e a ocorrência de feições erosivas. Os cordões arenosos e as escarpas reforçam a transição da dinâmica sedimentar de lama para areia em direção offshore indicadas anteriormente por Quaresma et al (2015) e Vieira et al (2019), permitindo inferir sobre um processo de erosão ativa e transporte de sedimentos que potencialmente poderiam ser direcionados para a plataforma externa. Assim, um material contaminado ali depositado, poderia ser transportado e remobilizado para regiões mais externas da plataforma.” (RA2021_RT39D_ Evolução espaço-temporal_Ambiente Marinho.pdf - pág. 130/1.409).

Os resultados obtidos por este subprojeto corroboram que o setor foz do rio Doce vem sendo afetado com maior intensidade em comparação com o setor APA Costa das Algas e com o setor Norte. Não obstante, essa área (ao largo da foz do rio Doce) é caracterizada por habitats de baixa complexidade estrutural, sem presença de substratos consolidados, como formações carbonáticas ou recifes, o que confere menos sensibilidade a estes habitats caracterizados por depósitos de sedimentos predominantemente finos; pela presença de formações de lama fluida sobre o leito; pela ocorrência de um cordão arenoso linear, orientado em direção *offshore*; e pela ocorrência de feições erosivas na porção média e porção externa da plataforma continental. Tal características morfológicas do leito indicam a possibilidade de transporte de sedimentos (e consequentemente, dos rejeitos de mineração) para regiões mais profundas na plataforma externa. Todavia, apesar da relativamente moderada sensibilidade dos habitats bentônicos na região da foz do rio Doce, essa região apresenta elevadíssima importância socioeconômica, uma vez que se tratava do principal pesqueiro de camarão no estado do Espírito Santo, até a proibição da pesca na área da foz do rio Doce (por ordem judicial, após a tragédia).

Os resultados obtidos pelos testemunhos corroboram o padrão de aporte de sedimentos finos, associados à descarga do rio Doce, na região da foz, indicando a intensificação do aporte da fração fina (silte e argila) após o rompimento da barragem de Fundão, sobretudo nos testemunhos localizados mais próximos à desembocadura do rio Doce (T3 e T4, ao sul da foz).

Cabe esclarecer que os resultados apresentados no 3º relatório anual do PMBA correspondem à 2ª campanha de coleta de testemunhos, ocorrida em maio de 2021, enquanto a 1ª foi realizada em novembro de 2018.

O Ferro, principal elemento componente do rejeito de mineração extravasado na bacia do rio Doce pelo rompimento da barragem, apresentou diferenças significativas entre as campanhas realizadas em novembro de 2018 e maio de 2021. Em linhas gerais, os valores médios de concentração de Fe (na camada superficial de cada testemunho) amostrados em 2021 foram menores em comparação aos amostrados em 2018, bem como a dispersão dos dados em torno do valor médio também apresentou menor amplitude em 2021.

Cumprе ressaltar que, não obstante a tendência de redução das concentrações de Fe no sedimento da camada superficial dos testemunhos entre as campanhas de 2018 e 2021, os valores obtidos para o índice de geoacumulação, aplicados às amostras obtidas em ambas as campanhas (2018 e 2021), *“...sugerem um ambiente extremamente poluído... O índice de geoacumulação para o Fe se manteve elevado em todos os testemunhos nas duas campanhas, mostrando a manutenção dos aportes elevados de ferro na plataforma.”* (RA2021_RT39D_ Evolução espaço-temporal_Ambiente Marinho.pdf – pág. 159/1.409).

Ainda, nos dados obtidos nas campanhas do PMBA se mostraram, em sua totalidade, os valores de concentração de Fe nos testemunhos foram superiores aos obtidos por Gomes e colaboradores (2017) em sedimentos superficiais coletados na foz do rio Doce apenas dois dias após a chegada dos rejeitos de mineração (provenientes do rompimento da barragem) na área marinha, ainda em 2015. Por exemplo, no testemunho “T6” (situado a cerca de 5 km ao norte da desembocadura do rio Doce, na plataforma interna a uma distância de aproximadamente 1,5 km da linha de costa) a concentração de Fe na camada superficial de sedimentos (topo do testemunho) ultrapassou 110.000 mg/kg, enquanto os valores apurados por Gomes e colaboradores (2017) foram inferiores a 50.000 mg/kg. Em suas considerações finais, o relatório aponta que:

“Com relação aos resultados obtidos a partir dos testemunhos, até o momento revelou-se forte contaminação da área de estudo por metais pesados em relação ao background local, com destaque para o ferro que apresentou índices de geoacumulação em torno de 30, classificando a área como extremamente poluída. Além disso, as concentrações dos elementos estudados ultrapassaram valores das diretrizes internacionais para avaliação da qualidade de sedimentos... O fato de as concentrações de metais pesados serem superiores aos valores encontrados na foz do Rio Doce apenas 2 dias após a chegada dos rejeitos de mineração provenientes do rompimento da barragem de Fundão, sugere um aporte massivo e contínuo desses elementos para a área de estudo.” (RA2021_RT39D_ Evolução espaço-temporal_Ambiente Marinho.pdf - pág. 163/1.409).

Modelagem Numérica

Para avaliação de dados meteoceanográficos foi trazida pelo subprojeto a caracterização e discussão dos seguintes fatores:

1. Série temporal de vazão do rio Doce entre novembro/2018 e setembro/2021;
2. Descarga de sólidos em suspensão entre novembro/2018 e setembro/2021;
3. Série temporal de turbidez (NTU) entre novembro/2018 e setembro/2021;
4. Série temporal de salinidade entre novembro/2018 e setembro/2021;
5. Série temporal de dados de ondas (Hs, Dp, Tp, direção e frequência) entre novembro/2018 e setembro/2021;
6. Série temporal de ventos entre novembro/2018 e setembro/2021;

7. Marés e seus efeitos na circulação;
8. Série temporal de correntes (componente paralela à costa, e direção de corrente de superfície e de fundo) entre novembro/2018 e setembro/2021;
9. Perfilagens e série temporal de salinidade superficial entre novembro/2018 e setembro/2021;
10. Série temporal de clorofila-a (superfície e fundo) entre novembro/2018 e setembro/2021,
11. Perfilagens e séries temporais de temperatura (superfície e fundo) entre novembro/2018 e setembro/2021;
12. Perfilagens e séries temporal e espacial de turbidez (superfície e fundo) entre novembro/2018 e setembro/2021.

Na discussão dos resultados o relatório menciona que o ano 3 se comportou de forma atípica em relação aos anos anteriores, isto é, a correlação entre a salinidade e a clorofila-a superficial não foi observada tanto no período chuvoso quanto no seco em F3. O padrão observado é consequência do desenvolvimento da ressurgência costeira com a intrusão da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) sobre a plataforma continental, uma massa d'água com altas concentrações de nutrientes que favorece o desenvolvimento de altas concentrações de clorofila-a, quando a luz não é um fator limitante (p. 199).

O atual relatório (fundado nos dados meteorológicos acumulados) reforça a conclusão (já indicada nos relatórios anteriores) de que a tipologia da vazão do rio, associada às condições de ventos atuantes sobre a plataforma continental, condicionam o padrão de espalhamento da pluma fluvial, fazendo com que esta se desloque mais próxima ou mais distante da costa, além de ser ora advectada para norte ou para sul (pp. 190).

Outro resultado discutido (já aventado nos relatórios anteriores) é o de que foi identificado padrão "*compatível com a ressuspensão de sedimentos pela ação das ondas, a advecção para norte da pluma de água e sedimentos (ressuspensionados e originados pela descarga do rio) pelos ventos e correntes e a possível captura da pluma pela deriva litorânea, principalmente até a isóbata de 10 m*" (pp. 218).

O presente relatório afirma que há uma nítida tendência de acúmulo de material nas regiões mais próximas à desembocadura do rio Doce, mas também no depocentro indicado por Quaresma e colaboradores (2015). Nos pontos extremos norte e sul os valores de turbidez são reduzidos, mas ainda estão presentes (p. 209).

A modelagem numérica para três cenários diferentes: transporte e dispersão do sedimento em suspensão em resposta aos principais eventos onde foram analisados a passagem da Tempestade Tropical Iba e o evento denominado de Grandes Ondas (GO), que já haviam sido modeladas anteriormente, mas agora foram complementadas com estimativas das vazões líquidas de transporte longitudinal ao longo do litoral; ano 2019 e os períodos correspondentes aos dois cenários definidos (Iba e GO), e; período de novembro/2019 a março/2020 (vazão importante do rio Doce, período chuvoso do Ano 2).

Os resultados da modelagem foram comparados com os dados de turbidez, ondas e correntes medidas nos fundeios e séries temporais da velocidade do vento (p.226). E quando comparada (qualitativamente) a CSS modelada com as medições de turbidez, confirmou-se a capacidade do modelo de simular os eventos e a dinâmica de sedimentos em suspensão na região em estudo (p. 230).

A dispersão do sedimento em suspensão em resposta aos principais eventos foi simulada, a modelagem do transporte de sedimentos foi separada em duas frações, uma representativa do depósito e outra proveniente do rio Doce (p. 229).

O aumento dos sedimentos em suspensão sob influência da ressuspensão pelas ondas (CSS oriunda do Banco de Lama - sedimentos ressuspensionados dos bancos lamosos já formados ao longo da costa), assim como a influência dos eventos de alta vazão (CSS oriunda do rio Doce - sedimentos de origem fluvial) foram modelados. Indicando que há contribuição das fontes de sedimentos consideradas para as variações encontradas na turbidez (p. 230).

A modelagem do transporte de sedimentos finos ressuspensionados (dos fundos lamosos nas proximidades do rio Doce) indicam que a CSS em eventos de ressuspensão pode ser significativamente maior que a média anual fluvial (p. 239).

O estudo de modelagem indica que a corrente litorânea captura tanto os sedimentos provenientes da pluma do rio Doce quanto os ressuspensionados do depósito da plataforma, configurando um processo importante para o transporte dos sedimentos e rejeitos oriundos do rio Doce para o Norte (p. 240).

Sedimentologia

Em relação à variação espaço-temporal do MPS o relatório apresentou as seguintes tendências:

Durante todo o período de monitoramento observaram-se grandes diferenças nas condições conjuntas de vazão do rio Doce e ventos sobre a plataforma continental, que determinaram grandes diferenças nos padrões de dispersão de MPS e sedimento de fundo observados (p. 247).

A variação espaço-temporal do MPS e do MO no setor Norte indica que os eventos de ressuspensão são determinantes na dinâmica sedimentar desse setor (p. 247).

Para o setor Abrolhos o relatório indica que os eventos hidrológicos dos rios que deságuam nesse setor determinam as maiores concentrações de MPS observadas (p. 247).

O relatório indica que no setor Foz Central, o principal responsável pelo aporte de MPS é o aporte do rio Doce, enquanto nos setores Rio Doce Sul e Rio Doce Norte a ressuspensão e as condições meteorológicas extremas são as responsáveis pelos picos de MPS (p. 248).

Também é confirmado no relatório que eventos extremos de cheia, associados a condições oceanográficas, como por exemplo a maré vazante de sizígia possibilita um maior alcance do sedimento em suspensão exportado pelo rio Doce.

O relatório indicou que o aumento do MPS esteve associado à redução do teor de matéria orgânica do MPS, evidenciando a influência dos eventos de ressuspensão na produtividade (p. 250).

Para a densidade do sedimento superficial e potencial de mobilidade, foram feitas duas observações principais no relatório: o rejeito advindo do rompimento da barragem de Fundão, associado a uma condição sazonal extremamente seca, levou à formação de uma suspensão de lama de alta concentração, alterando os processos sedimentares ao longo da plataforma interna (p. 251). Foi observada ainda uma tendência de aumento do potencial de mobilidade do sedimento superficial ao longo dos Anos 1 e 2 para o setor Norte, com uma ausência de tendência para o ano 3 (p. 252).

No que se refere à presença do sinal do rejeito no sedimento de fundo, o relatório afirma que a presença do sinal de rejeito foi identificada, ao longo dos três anos do PMBA, nos setores Norte, Foz Norte, Foz Central e Foz Sul e APA Costa das Algas (p.253) e indica que o transporte de sedimentos na região marinha adjacente à foz do rio Doce, ao longo dos três anos do programa, tem os maiores volumes de rejeito encontrados na porção rasa dos setores Foz Norte e Foz Central, com evolução espaço-temporal preferencialmente na direção norte/nordeste, em batimetrias inferiores a 20m (p. 254).

Também é mostrado que além de os Índices de Massa Escalonado (IMS) nos setores da Foz do Rio Doce não apresentarem redução de seus valores, foi identificada uma tendência de aumento do IMS no setor Foz Central (p. 254).

Outra informação importante é a de que o rejeito que chega à foz apresenta um regime de fluxo contínuo (p. 254).

Por fim, o subprojeto de sedimentologia, na análise da resposta dos indicadores às ações realizadas na bacia do rio Doce, afirma que o material exportado pelo rio Doce devido ao rompimento da barragem de Fundão alterou as propriedades físicas do sedimento natural previamente observado na plataforma, e que o material oriundo do rompimento da barragem continua sendo depositado na plataforma continental adjacente (p. 255). É recomendado pelo relatório a continuação de esforços e uma maior atenção ao manejo do material ultrafino/colóide, que é carreado ao ambiente marinho e é, em parte, responsável pela alteração das propriedades físicas do sedimento marinho (p. 255).

O relatório conclui com a afirmação de que “a melhor forma de se reduzir os impactos no ambiente marinho é a redução do material de rejeito exportado pelo rio” (p. 255).

Hidrogeoquímica

Algumas inconsistências foram observadas nas referências do material suplementar em alguns pontos do texto (e.g. pág 369). Considerou-se também confusa a apresentação de parte das figuras ao longo do relatório e outra parte separada no “*Material Suplementar*”.

Em relação ao primeiro item dos 2.4.2 *Resultados e Discussões*, item 2.4.2.1 *Elementos associados ao rejeito*, cabe ressaltar que, assim como amplamente discutido na Câmara Técnica de Gestão de Rejeitos e Segurança Ambiental (CT-GRSA) e já descrito inclusive em Nota Técnica (e.g. NT CT-GRSA nº 14/2020 e NT CT-GRSA nº 12/2022), que comparações diretas entre as características do rejeito contido nas barragens e características do sedimento dos locais estudados podem ser simplistas, já que o rejeito liberado com imensa energia pelo evento, o rompimento da barragem de Fundão, “*escavou e revolveu as calhas dos rios atingidos, ressuspensando sedimentos que estavam estabilizados e “inerte”, e assim, disponibilizando os componentes químicos desses sedimentos na coluna d’água, contribuindo para a alteração da qualidade da água*”, por isso, o impacto ambiental proveniente do evento é a “*alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causadas pelo rompimento da barragem de Fundão, pertencente à SAMARCO, proveniente do rejeito liberado somado com a energia que escavou e revolveu as calhas dos rios atingidos, ressuspensando sedimentos que estavam estabilizados e “inertes”, e assim, disponibilizando os componentes químicos desses sedimentos na coluna d’água*”. Desta forma, as comparações para as discussões dos dados coletados pelo PMBA devem estar atreladas principalmente a dados pretéritos e não somente com resultados de análises do próprio rejeito da barragem de Santarém. No decorrer do relatório percebe-se que estes conceitos são corroborados, já que se utilizam deles para justificar a análise de alguns elementos que não são constituintes do rejeito de minério em si, além de se utilizarem destas explicações para justificar incremento de alguns elementos no ambiente marinho (e.g. págs. 281; 403 e 404).

Desta forma, comparações com dados pré-PMBA (período compreendido entre o rompimento da barragem de Fundão e o início das coletas do PMBA) podem mostrar tendências de melhora ou piora da qualidade do sedimento e da água, no entanto, apenas comparações com dados pretéritos serão capazes de relacionar essas diferenças da qualidade das matrizes analisadas com o rompimento da barragem de Fundão.

Neste sentido, considerando o carreamento de outros elementos, antes depositados na calha do rio Doce, pela onda de rejeitos, foi dada atenção aos PCB's devido à diversas solicitações de comparação dos resultados do PMBA com os resultados do Eixo Prioritário 6, por meio da perícia judicial, em referência à Análise do Relatório nº 36 - Perito do Juízo, 12ª Vara da Justiça Federal Cível e Agrária da SJMG, na Ação Civil Pública, Processo nº 1000412- 91.2020.4.01.3800 - Laudo Pericial da Segurança do Alimento - Pescado no rio Doce, foz e região marinha, em que foi identificada contaminação do pescado por PCB's no ambiente marinho. Os resultados do PMBA não identificaram PCB's na água, enquanto no sedimento foi registrado em todos os setores estudados nos três anos de monitoramento. Para o setor Abrolhos o registro é pontual e em concentração próximo ao limite de detecção. O setor Foz apresentou as maiores concentrações e/ou frequência de ocorrência nas amostras durante os três anos de monitoramento, entretanto as concentrações máximas registradas para os sete PCBs prioritários para monitoramento permanecem inferiores aos limites máximos regulamentados pelo CONAMA (resolução nº 454/12) e indicados no NOAA (BUCHMAN, 2008). Seguindo conclusões similares aos laudos da AECOM, que não identificaram nexo de causalidade com o rompimento da barragem de Fundão para os PCBs no ambiente marinho, o PMBA mostra que a média geral de PCBs totais nos três anos de monitoramento é cerca de 50x menor que a média registrada previamente ao rompimento da barragem, sugerindo que a passagem da onda de rejeitos liberados pelo rompimento da barragem ao longo da bacia do rio Doce não contribuiu para elevação da introdução de PCBs na área marinha afetada.

Os impactos diretamente relacionados ao rompimento da barragem de Fundão e manifestos na Matriz de Resultado para este subprojeto foram: (1) Aumento da sílica reativa dissolvida, na matriz água, no período chuvoso do Ano 2 e na campanha de abril (período seco) nos setores Note, foz do rio Doce e APA Costas das Algas/RVS Santa Cruz - pertencente ao agrupamento de impactos variação das concentrações de nutrientes. Pertencentes ao grupamento contaminação por metais e metalóides: (2) Contaminação por metais (V, Ni, Cu, Cd, Ba, Pb, Cr, Fe, Al, Mn, Zn) e metalóide (As), no sedimento, principalmente nos períodos chuvosos do Ano 1 e Ano 3, nos setores foz do rio Doce e APA Costas das Algas/RVS Santa Cruz; (3) Contaminação por metais e metalóide no sedimento superficial, no período chuvoso do Ano 1 (Ni, Cu, As, Ag, Hg), Ano 2 (As, Ag) e Ano 3 (As, Cr, Hg) no setor Norte; (4) Contaminação por metais (Co, Cu, Fe, Hg) na fração dissolvida (< 0.45 µm), na matriz água, no período seco do Ano 1 (especialmente nas campanhas de maio/2019 e julho/2019 e após a passagem da tempestade IBA) nos setores Norte, foz do rio Doce e APA Costas das Algas/RVS Santa Cruz; e, (5) Contaminação por metais (V, Co, Ni, Cu, Ag, Cd, Ba, Pb, Cr, Fe, Al, Mn, Zn) e metalóide (As) associados ao material particulado em suspensão (MPS) nos períodos chuvosos e secos nos setores Abrolhos, Norte, foz do rio Doce e APA Costas das Algas/RVS Santa Cruz. Além destes impactos diretamente relacionados ao rompimento da barragem de Fundão outros onze impactos, para este subprojeto, foram citados na matriz de resultados que foram classificados como indireto ou ainda sem relação definida com o evento.

Para análise integrada da qualidade da água e sedimento foi utilizado PCA para discussão dos efeitos das forçantes físicas sobre a distribuição de metais na foz do rio Doce. Desta forma, os dados foram agrupados, sendo que parte da distribuição desses grupamentos

foram explicados pela sazonalidade, altura das ondas e vazão:

“Assim, a vazão (associada ao aporte do Rio Doce) e a altura de ondas (associada aos eventos ressuspensivos) tiveram relação diferenciada, a depender da matriz ambiental e fração considerada para os metais. Em geral, a vazão apresentou associação com um maior número de metais na fração particulada (e.g. Ba, Pb e Zn), especialmente no período chuvoso do Ano 2, em que foi observado um aumento da vazão média total em relação ao Ano 1. Essas relações marcaram o aporte de metais associados ao material particulado em suspensão em momentos de maior influência continental. Já os metais dissolvidos correlacionam-se principalmente aos fatores de ressuspensão, com consequente resposta aos processos internos de reciclagem na plataforma continental” (RA2021_RT39D_Evolução espaço-temporal_Ambiente Marinho.pdf - pág. 440/1.409).

Fitoplâncton

De maneira geral, os indicadores ambientais do fitoplâncton (saúde fisiológica, densidade e composição) ao longo dos três anos de monitoramento mostram que as comunidades se encontram alteradas em todos os setores (Abrolhos, Norte, Foz e APA Costa da Algas), podendo indicar contínuos reinícios dos ciclos de sucessão ecológica de área recém-perturbada pelo aporte de material do rio Doce em períodos de maior precipitação ou pela periódica ressuspensão dos nutrientes do material depositado no fundo causada por eventos de aumento de energia das ondas, ventos e correntes na região.

A densidade numérica do fitoplâncton continua apresentando valores de abundância acima dos encontrados em levantamentos anteriores à novembro de 2015, assim como a predominância de algas verdes e cianobactérias da fração nanofitoplanctônica na composição qualitativa. Esses grupos apresentam alta taxa de reprodução, são mais resistentes às intempéries ambientais, e são comuns e abundantes em comunidades biológicas recém-perturbadas, indicando instabilidade ambiental por representarem o início da sucessão ecológica. Em contraposição, quando comparado aos dados pretéritos, as espécies mais sensíveis como os cocolitoforídeos, pertencentes ao Filo Haptophyta, além dos dinoflagelados e diatomáceas marinhas, tiveram redução drástica após o aporte dos rejeitos de mineração na área marinha. Verificou-se uma sutil recuperação das diatomáceas no ano 2 do monitoramento, que foram retornando aos poucos e voltando a ter representatividade, com aumento da contribuição no período chuvoso do ano 3. Todavia, dinoflagelados e cocolitoforídeos continuaram em reduzida proporção. Destaca-se que esses impactos podem causar alterações no fluxo de energia e biomassa ao longo da cadeia trófica.

Constatou-se, também, a redução da saúde fisiológica ao considerar os valores de biomassa em termos de clorofila-a, feopigmentos e clorofila ativa, principalmente durante a Campanha Emergencial realizada em janeiro de 2020, com aumento dos índices pluviométricos ao longo da extensão do rio Doce, que resultou em eventos de grande vazão hidrológica e ressuspensão de nutrientes depositados no assoalho fluvial e marinho.

No ano 3 do monitoramento a comunidade fitoplanctônica permaneceu com densidade total alta quando comparada aos dados anteriores ao rompimento da barragem, com maior contribuição e dominância de organismos nanofitoplanctônicos (<20µm) oportunistas, pioneiros, cosmopolitas e adaptáveis às perturbações ambientais. O ano 3 também foi marcado pelo aumento da contribuição das diatomáceas, todavia, essa contribuição ainda não corresponde à variedade de espécies pré-rompimento, assim como a abundância, variedade e a frequência de ocorrência dos cocolitoforídeos persistem reduzidos nos setores monitorados.

Destaca-se que na lista de impactos apresentada no Material Suplementar MRAM foram identificados os seguintes impactos ambientais, significativos, que apresentam nexo de causalidade com o rompimento da barragem e aporte de rejeitos de mineração na área marinha: (1) Aumento na abundância numérica do fitoplâncton; (2) Alteração na composição dos grupos taxonômicos; (3) Alterações na saúde fisiológica da comunidade.

Observa-se que a comunidade fitoplanctônica ainda não mostrou recuperação para as condições anteriores ao rompimento da barragem e nem melhoria significativa em relação aos resultados obtidos no ano 1 do PMBA, o que reforça a importância da continuidade do monitoramento.

Zooplâncton

Os resultados apresentados para o subprojeto zooplâncton são considerados separadamente para os setores de Abrolhos, Norte, Foz e APA Costa da Algas / RVS Santa Cruz. Seguem os principais apontamentos:

Setor Abrolhos - Nas amostras houve estabilidade na abundância e nos índices ecológicos riqueza de Margalef (d), diversidade de Shannon-Weaver (H') e equabilidade de Pielou (J') durante todo o PMBA, característico de água com propriedades termohalinas e caráter oligotrófico. Na maioria das coletas, a composição de espécies e os valores de abundância total de organismos corroboram com os resultados obtidos em estudos anteriores ao rompimento da barragem. A alta diversidade de táxons meroplanctônicos (superior aos demais setores, incluindo a APA Costa das Algas) também corroborou com estudo anterior, demonstrando a importância desse ambiente no recrutamento de larvas de diversas espécies de organismos, principalmente briozoários e ofiuróides.

Setor Norte - Não foram encontradas diferenças significativas nos índices ecológicos e abundância total entre os períodos de alta e baixa vazão do rio Doce, mas se observou um incremento nos índices H' e J' no ano 3 do PMBA. Com relação às espécies indicadoras, somente *Penilia avirostris* demonstrou correlação mais evidente com o fluxo do rio Doce, com valores de abundância total e relativa maiores durante o período de baixa vazão. As espécies que mais contribuíram na composição da comunidade zooplanctônica deste setor (*Paracalanus cf parvus*, *Temora stylifera* e espécies da família Sagittidae) possuem tolerância às variações nas condições ambientais onde se estabelecem. De forma geral, os resultados encontrados para o setor Norte durante o PMBA apontam para distúrbios pontuais no zooplâncton de acordo com a variação do aporte de material vindo do rio Doce nos períodos de alta vazão.

Setor Foz - No final de 2015 o rejeito de mineração proveniente do rompimento da barragem de Mariana chegou à região costeira, causando um impacto agudo na comunidade zooplanctônica, desencadeando um pico de abundância nos pontos mais próximos da desembocadura, que apresentaram perda de biodiversidade, com dominância de poucas espécies de hábito oportunista. Durante os dois primeiros anos de monitoramento e na campanha de janeiro de 2021, todos os índices ecológicos analisados apresentaram valores significativamente menores nos períodos chuvosos. Os momentos de menores valores dos índices ecológicos foram acompanhados do maior grau de dominância de espécies tolerantes aos impactos ambientais monitorados na região. Os táxons de maior representatividade no setor Foz durante os períodos de alta vazão foram apontados como bioindicadores de impactos ambientais na região no documento

“Lista de Impactos”, sendo resistentes à presença de material particulado em suspensão (MPS) em altas concentrações e outros poluentes inorgânicos, como os juvenis de *Paracalanus* e o gênero *Oikopleura*.

Setor APA Costa das Algas / RVS Santa Cruz - De modo geral, o setor APA apresentou os maiores valores de índices ecológicos registrados ao longo do PMBA, mesmo com a significativa variação observada entre os diferentes períodos de coleta. O equilíbrio na proporção entre juvenis e adultos da espécie indicadora *Paracalanus* cf. *parvus*, juntamente com os elevados valores dos índices ecológicos, permitem classificar a comunidade zooplânctônica do setor APA como menos impactada em comparação ao setor Foz.

Na lista de impactos apresentada no Material Suplementar MRAM foram identificados os seguintes impactos ambientais, significativos, que apresentam nexo de causalidade com o rompimento: (1) Redução nos valores de diversidade, riqueza e equitabilidade nos períodos de alta vazão do rio Doce nos setores Foz do rio Doce e APA Costa das Algas; (2) Aumento da abundância relativa do gênero *Oikopleura* durante períodos de alta vazão do rio Doce nos setores Norte, Foz e APA; (3) Aumento da abundância relativa e da proporção de juvenis/adultos de *Paracalanus* durante os períodos de alta vazão do rio Doce no setor Foz; e (4) Ausência da espécie *Penilia avirostris* no setor Foz durante períodos de alta vazão do rio Doce no ano de 2019.

Ictioplâncton

A partir dos dados coletados pelo subprojeto de ictioplâncton foi possível observar que:

*“Os indicadores do Ictioplâncton se mostraram eficientes e têm contribuído para avaliar o impacto residual do rompimento da barragem sobre a comunidade planctônica. O aumento da vazão do Rio Doce, a incidência de ondas, a disponibilidade de metais, a turbidez e a sazonalidade são parâmetros que alteraram a abundância, diversidade e a composição da comunidade ictioplânctônica. O rejeito do rompimento da barragem que vem sendo carregado e depositado na região costeira adjacente à foz do Rio Doce é constantemente ressuspensionado por eventos meteorológicos de alta energia, levando ao aumento da turbidez e nos níveis de contaminantes na coluna da água. A influência do rejeito com metais foi observada na presença de larvas de peixes com trato digestório danificado e de altos percentuais de ovos não viáveis, interferindo no recrutamento de larvas de peixes no ambiente. As abundâncias de ovos e larvas de peixes e a diversidade, de maneira geral, nos modelos lineares generalizados (GLMs) gerados nesse estudo ficaram associadas positivamente com ferro dissolvido e cádmio particulado. As curvas de acumulação de espécies mostraram que ainda não houve uma estabilização do número de táxons coletados. Esse fato é corroborado pela ausência de, pelo menos, cinco famílias e 21 espécies que foram registradas durante o pré-PMBA/Fest-RRDM em 2016 e que ainda não foram observadas ao longo do Ano 1, Ano 2 e Ano 3 do monitoramento do PMBA/Fest-RRDM. As análises das assembleias de larvas de peixes mostraram que entre os táxons com hábitos pelágicos que mais contribuíram para a sua formação estão os engraulídeos e os clupeídeos e com hábitos demersais os táxons cianídeos e haemulídeos. Recomenda-se que além destas famílias, deve ser feito um acompanhamento da palombeta *Chloroscombrus chrysurus*. Ela é considerada uma espécie bioacumuladora de metais, alimenta-se de material particulado indistintamente e foi encontrada no presente monitoramento com o trato digestório danificado.”* (RA2021_RT39D_Evolução espaço-temporal_Ambiente Marinho.pdf - pág. 588/1.409).

Desta maneira, as amostragens indicam que o ictioplâncton prossegue sob a influência dos constantes distúrbios do ambiente após 6 anos da chegada do rejeito de mineração na área marinha. Na lista de impactos apresentada no Material Suplementar MRAM foram identificados os seguintes impactos ambientais importantes que apresentam causalidade com o rompimento em todos os setores durante os 3 anos de monitoramento: (1) presença em maior número de ovos classificados como inviáveis em comparação com os viáveis; (2) alteração do recrutamento de larvas de peixes (impacto indireto); e (3) larvas de peixes com o trato digestório danificado.

Bentos de Substratos Inconsolidados

Os resultados do subprojeto de Bentos de Substrato Inconsolidado foram abordados considerando quatro hipóteses (H0, H1, H2, H3 e H4), com relação aos impactos causados pelo rompimento da barragem de Fundão. Em que a primeira e a segunda hipóteses (H0 e H1) excluem a presença de impacto ambiental de forma geral, enquanto que a hipótese “H2” considera que a estrutura da comunidade macrobentônica seja determinada pelo conjunto de variáveis ambientais e pela concentração de metais, e a hipótese “H3” prevê que, quanto mais próximo da foz e nos períodos de maior vazão do rio Doce, a contribuição desses metais esteja mais evidente.

A chegada do rejeito da barragem de Fundão no ambiente marinho ocorreu há mais de seis anos. Nesse sentido, era esperado que os efeitos desses contaminantes já estivessem reduzidos, em comparação à condição imediatamente após a sua chegada, ou seja, a fase aguda. Entretanto, os resultados apresentados mostram que o efeito de contaminantes que podem ser diretamente ligados ao rejeito ainda são observados no ambiente. A partir dos dados gerados por este subprojeto é possível concluir que duas das hipóteses, dentre as inicialmente consideradas, representam os padrões observados na comunidade bentônica por meio do monitoramento ambiental: (1) A variação encontrada nos diferentes descritores da estrutura das comunidades bentônicas é melhor explicada pelo conjunto de variáveis ambientais e contaminantes relacionados ao rejeito proveniente do rompimento da barragem de Fundão, principalmente os de efeito diretos, metais e sedimentos, além dos contaminantes de efeitos indiretos (DDD), ligado à H2, e (2) A influência dos contaminantes do rejeito proveniente do rompimento da barragem de Fundão, está mais evidente na região próxima da foz do rio Doce e nos períodos de maior vazão, ligado à “H3”.

Fundos Recifais, Banco de Rodólitos e Macroalgas

Foram identificados impactos ambientais relacionados diretamente ao rompimento da barragem de Fundão: (1) Presença de contaminantes, inclusive metais e/ou partículas metálicas oriundos do rompimento, em macroalgas, corais e algas coralíneas formadoras de rodólitos, confirmando que os efeitos do evento são de maior magnitude nas áreas recifais mais próximas da foz do rio Doce, mas se estendem até a região adjacente ao Parque Nacional Marinho de Abrolhos; (2) Alterações na estrutura de comunidades de macroalgas na área da APA Costa das Algas/REVIS Santa Cruz, com aumento na abundância de algas mais tolerantes a rejeitos de mineração após o rompimento, como exemplificado no trecho a seguir:

*“Registramos aqui uma mudança significativa na estrutura das assembleias de 2012 para 2019, evidenciada principalmente pelo aumento de cinco vezes na cobertura de *Sargassum* spp. e pela diminuição drástica de *Ulva* spp. e outras algas verdes. (...)*

*O aumento na cobertura de *Sargassum* spp. e outras espécies de algas pardas (e.g. *Padina* sp.) pode estar relacionado com sua alta tolerância à contaminação por metais-traço (AMADO-FILHO et al., 1997). (...) A predominância crescente de algas pardas nos recifes*

adjacentes ao litoral da Área D indica modificação associada à poluição por metais-traço (AMADO-FILHO et al., 1997; AMADO-FILHO et al., 1999; ALI et al., 2017)” (RA2021_RT39D_Evolução espaço-temporal_Ambiente Marinho.pdf - pág. 830/1.409).

Além de impactos diretamente relacionados ao rompimento da barragem de Fundão, foram identificadas pelas alterações que possivelmente se relacionam ao evento, em especial: (1) Impacto na integridade celular de macroalgas:

“Os resultados apontam para ocorrência de material sedimentar decorrente do rompimento da barragem em macroalgas da APA Costa das Algas e, em menor escala, em macroalgas da região de Abrolhos. O sinal do rejeito, detectado seis anos após o rompimento da barragem, revela a persistência deste material na área de estudo, e a detecção de metais-traço corrobora os indícios de toxicidade desse material.” (RA2021_RT39D_Evolução espaço-temporal_Ambiente Marinho.pdf - pág. 720/1.409).

(2) Impacto em processos ecológicos característicos dos recifes e bancos de rodolitos (por exemplo: mineralização de CaCO_3 , recrutamento, fotossíntese):

“O conjunto dos resultados aqui apresentados evidenciam a ocorrência, no interior de rodolitos, de partículas de sedimento com composição elementar equivalente àquela do rejeito, em todos os sítios amostrados, principalmente em C4 e D7. (...) A presença destes minerais ferrosos em rodolitos, seis anos após o rompimento, indica exposição crônica ao rejeito e riscos à biota marinha, uma vez que a redução do Fe^{3+} em Fe^{2+} , por conta de atividade microbiana ou processos de degradação de matéria orgânica, tem efeito importante na biodisponibilidade de metais traço. A presença dos metais-traço em rodolitos, que pode se amplificar com a re-disponibilização destes elementos na coluna d'água, pode comprometer a saúde das algas e impactar a biomineralização do CaCO_3 , um processo chave nos ecossistemas recifais e bancos de rodolitos.” (RA2021_RT39D_Evolução espaço-temporal_Ambiente Marinho.pdf - pág. 728/1.409).

(3) Impacto na condição sedimentar do fundo recifal (mineralogia):

“As análises morfológicas e microelementares das partículas de ferro encontradas nos sedimentos superficiais indicam que a maioria delas, principalmente aquelas das Áreas B, C e D, são oriundas de descargas fluviais recentes, podendo ser oriundas de regiões minerárias ao longo do curso do rio Doce. Há, portanto, evidências da influência regional de descarga fluvial na plataforma continental, e não se pode descartar a hipótese que as partículas de óxido de ferro podem ser associadas ao rompimento da barragem de Fundão.” (RA2021_RT39D_Evolução espaço-temporal_Ambiente Marinho.pdf - 716/1.409).

4.3.3.2 Conclusões - Análise abiótica e biótica no Ambiente Marinho

De forma abrangente, os resultados obtidos pelo monitoramento ambiental no âmbito de todos os subprojetos (com exceção do subprojeto de modelagem numérica, pois dado sua característica não se trata de monitoramento de parâmetros ambientais) corroboram a interpretação de que ainda persistem no ambiente efeitos negativos associados diretamente e indiretamente ao rompimento da barragem de Fundão, em Mariana/MG, ocorrido em 5.11.2015.

O subprojeto de Mapeamento de Habitats corrobora a maior influência do aporte de rejeitos de mineração no setor Foz do Rio Doce, o que também é refletido na análise dos testemunhos estratigráficos, onde observa-se a altas nas concentrações de Fe nas camadas superficiais do sedimento, sendo que o Fe é um dos principais componentes metálicos do rejeito.

O subprojeto de Modelagem Numérica possibilitou entender que os sedimentos liberados pelo rio Doce no ambiente marinho é um impacto persistente, posto que os principais fatores de ressuspensão são as frentes meteorológicas, ondas e correntes na plataforma continental, todos fenômenos recorrentes na região (p. 205 e 209). A modelagem (apresentada no 3º relatório) indicou que as concentrações devidas à pluma de sedimento aportados pelo rio Doce tendem a ficar mais restritas às regiões próximas da foz (p. 241). Já os sedimentos finos em suspensão (oriundos da remobilização) podem ser capturados pela corrente litorânea e transportados para norte (p. 241).

O subprojeto de Sedimentologia indica uma relação direta entre o aporte de rejeitos e todo o pacote sedimentar que foi carregado na torrente de rejeitos e as alterações observadas pelo monitoramento nos processos sedimentares ao longo da plataforma interna no setor Foz do Rio Doce, sobretudo no que se refere à formação de depósitos de lama fluida e ampliação de área de formação e ocorrência destes depósitos. Também indica a presença do sinal geoquímico do rejeito ao longo dos três anos do PMBA, nos setores Norte, Foz Norte, Foz Central e Foz Sul e APA Costa das Algas. Por fim, indica que a contenção do aporte de rejeitos na área marinha via descarga do rio Doce, que permanece a ocorrer e é acentuado em situações de altas vazões, é uma ação essencial para a reparação dos danos causados pelo rompimento da barragem.

O subprojeto de Hidrogeoquímica apresentou resultados analíticos que comprovam a contaminação do ambiente por elementos e substâncias presentes ou carregados pelo rejeito, inclusive com impactos relacionados diretamente ao rompimento da barragem de Fundão.

O subprojeto de Fitoplâncton indicou que ao longo dos três anos de monitoramento, os indicadores ambientais do fitoplâncton (saúde fisiológica, densidade e composição) mostram que, de forma abrangente, as comunidades se encontram alteradas em todos os setores (Abrolhos, Norte, Foz e APA Costa das Algas), principalmente nos períodos de aumento da vazão fluvial e de energia de ondas, sendo caracterizada pela dinâmica de distúrbio intermediário, que desencadeia o reinício intermitente dos ciclos de sucessão ecológica, resultando em alterações na estrutura e composição da comunidade fitoplanctônica. Em nenhum momento foi observado retorno das condições prévias ao rompimento da barragem de Fundão.

O subprojeto de Zooplâncton indica que a influência da tragédia do rompimento da barragem se dá de forma diferente entre os setores monitorados (Abrolhos, Norte, Foz e APA Costa das Algas). De forma resumida, os resultados indicam maior intensidade da perturbação no setor Foz e, ainda, que há nexo causal do rompimento da barragem com a redução nos valores de diversidade, riqueza e equitabilidade nos períodos de alta vazão do rio Doce nos setores Foz do Rio Doce e APA Costa das Algas; com o aumento da abundância relativa do gênero *Oikopleura* durante períodos de alta vazão do rio Doce nos setores Norte, Foz e APA; com o aumento da abundância relativa e da proporção de juvenis/adultos de Paracalanídeos durante os períodos de alta vazão do rio Doce no setor Foz; e com a ausência da espécie *Penilia avirostris* no Setor Foz durante períodos de alta vazão do rio Doce no ano de 2019.

O subprojeto de Ictioplâncton indica que, durante os três anos de monitoramento realizados no âmbito do PMBA, foram obtidos resultados que são consequência do rompimento da barragem: presença em maior número de ovos classificados como inviáveis em comparação com os viáveis; alteração do recrutamento de larvas de peixes (impacto indireto); e larvas de peixes com o trato digestório danificado.

O subprojeto de Bentos de Substrato Inconsolidado indica que as variações e alterações observadas na estrutura da macrofauna bentônica são decorrentes tanto da variação nos parâmetros ambientais quanto dos impactos causados pelo rompimento da barragem, sendo que no setor Foz do Rio Doce os impactos desempenham maior influência na estruturação da comunidade do que as variações nos parâmetros ambientais, como ondas, temperatura e outros.

O subprojeto Fundos Recifais, Bancos de Rodolitos e Macroalgas identificou impactos negativos que apresentam nexos causais com a tragédia do rompimento da barragem, destacando: presença de contaminantes, inclusive metais e/ou partículas metálicas oriundos do rompimento, em macroalgas, corais e algas coralíneas formadoras de rodolitos; e alterações na estrutura de comunidades de macroalgas na área da APA Costa das Algas/REVIS Santa Cruz, com aumento na abundância de algas mais tolerantes a estressores geoquímicos (metais). Ainda, foram identificados impactos potencialmente relacionados ao rompimento da barragem: impactos na integridade celular de macroalgas; impacto em processos ecológicos característicos dos recifes e bancos de rodolitos (por exemplo: mineralização de CaCO_3 , recrutamento, fotossíntese, etc.); e impacto da sedimentação sobre bancos de algas.

De modo geral, a maior parte dos impactos negativos observados a partir dos resultados dos subprojetos tende a ser potencializada quando há eventos ou períodos de alta vazão no rio Doce, o que promove o aporte de mais sedimentos, rejeitos e contaminantes que ainda permanecem depositados na calha do rio e nos reservatórios dos barramentos, e que são carregados em maior volume nestas condições; e também quando há eventos de alta energia na área marinha (tempestades; passagens de frentes frias com ventos fortes; ondulações com grande altura e período; e outros), o que promove o revolvimento dos depósitos sedimentares superficiais na plataforma interna, o aumento da turbidez e da concentração de MPS e, conseqüentemente, aumenta a biodisponibilidade dos contaminantes adsorvidos ao sedimento em processo de ressuspensão.

4.3.3.3 Proposta de Encaminhamento

Considerando que a modelagem numérica da circulação acoplada ao modelo biogeoquímico é peça fundamental para a compreensão da evolução espaço-temporal da qualidade ambiental e da biodiversidade no ambiente marinho da região, é recomendado o empenho de esforços para seu desenvolvimento.

Recomenda-se ainda que seja estudada a viabilidade de validação e refinamento da calibragem da modelagem de transporte sedimentar, através de dados do monitoramento de sedimentologia, devido à verificação de que as concentrações devidas à pluma de sedimento aportados pelo rio Doce tendem a ficar mais restritas às regiões próximas da foz (p. 241) e que os sedimentos finos em suspensão (oriundos da remobilização) podem ser capturados pela corrente litorânea e transportados para norte (p. 241).

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 (filtrações), os modelos empregados, e finalmente os principais produtos gerados. Além disso, recomenda-se que os próximos relatórios tragam (como anexo) um histórico da evolução das metodologias.

Por fim, é recomendado a construção de um banco de dados para registro e gestão das informações relativas aos modelos utilizados e dos parâmetros adotados nas modelagens.

Em relação ao subprojeto de Sedimentologia é recomendado pelo relatório a continuação de esforços e uma maior atenção ao manejo do material ultrafino/colóide, que é carregado ao ambiente marinho e é, em parte, responsável pela alteração das propriedades físicas do sedimento marinho (p. 255). Já a partir da observação de que na plataforma continental adjacente à foz, a lama de alta concentração (identificada em relatórios anteriores) oriunda do rejeito continua presente e que esta lama alterou os processos sedimentares ao longo da plataforma interna, bem como as propriedades físicas do sedimento natural previamente observado na plataforma, recomenda-se o refinamento do mapeamento deste fenômeno bem como uma discussão de seus impactos sobre outros compartimentos.

Considerando as informações apresentadas pela análise do subprojeto Hidrogeoquímica, solicita-se que os encaminhamentos dados pela Nota Técnica nº15/2020/CTBio/DIBIO/GABIN sejam atendidos.

Para o subprojeto de Fitoplâncton, os autores do estudo recomendaram a continuidade do programa, visando estabelecer melhor as variações interanuais do fitoplâncton para a região, bem como as suas relações com os nutrientes e metais presentes na água, posto que cada evento de ressuspensão dos sedimentos ou de grande vazão na foz do rio Doce provoca um reinício dos distúrbios, dificultando a restauração dos processos de recuperação da comunidade e sucessão ecológica progressiva. A continuidade do monitoramento para o subprojeto de Zooplâncton também é recomendada pelos autores do estudo, no entanto, apenas para os setores Foz, Norte e APA, visando estabelecer melhor as variações interanuais para a região. Já para o subprojeto de Ictioplâncton, após análise técnica, recomenda-se que seja analisada e discutida a simplificação do monitoramento indicando e justificando os parâmetros e pontos de amostragem imprescindíveis para acompanhamento dos impactos do rejeito no ictioplâncton.

Após análise dos subprojetos de Fitoplâncton, Zooplâncton e Ictioplâncton recomenda-se que seja apresentado um mapa da localização dos pontos de amostragem e uma tabela com a separação dos pontos por setor e detalhamento da frequência e parâmetros amostrados em cada estação amostral; e sejam sugeridas medidas mitigatórias ou de reparação nas áreas impactadas pelo rejeito (conforme Ofício SEI nº 85/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio).

4.3.4 Anexo 4 - Praias

4.3.4.1 Avaliação dos impactos ambientais e identificação de tendências nos parâmetros monitorados

O relatório evidencia a atuação dos fatores hidrológicos e meteorológicos na injeção de novos e contínuos aportes fluviais, bem como na competência das ondas e correntes na mobilização e transporte dos sedimentos ao longo da costa. O aumento da vazão fluvial nos períodos chuvosos incrementa e realimenta a antepraia e a praia com frações de sedimento lamoso, conseqüentemente elevando a concentração dos elementos químicos. A alta dinâmica das praias favorece a deposição da fração lama na isóbata de 10 m na antepraia e, devido ao alto volume, frequentemente teores significativos são verificados na isóbata de 5m, sob atuação das ondas. Nos eventos de tempestade e/ou maior energia das ondas, a mobilização dos sedimentos de fundo é maior e a fração lama chega às praias emersas, onde o espalhamento das ondas inunda a praia e há a possibilidade de os contaminantes alcançarem a praia alta e até mesmo a base das dunas (restingas).

Contudo, o aporte fluvial do rio Doce e, consequentemente, do material proveniente do rompimento da barragem de Fundão, ao chegar à costa, se distribui diferentemente ao longo das praias monitoradas em função da morfologia, dos processos costeiros e da distância de desembocadura.

O relatório destaca que o compartimento C (praias ao norte da planície deltaica do rio Doce (Estações N2, N3, N4, N5 e N6)) corresponde à área criticamente mais afetada, visto que a deriva litorânea no sentido norte favorece a deposição dos sedimentos fluviais nesta região, com a presença de lama na antepraia e areias finas ao longo dos perfis das praias amostradas, que por terem menores inclinações favorecem o alto potencial de transposição das ondas e a permanência e distribuição horizontal dos contaminantes, com consequente efeito na comunidade bentônica.

Para o compartimento 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 (Estações S4 e S5)) e, principalmente, para o 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)), o relatório considera ser o trecho mais resiliente aos prováveis impactos associados à contaminação por elementos químicos, que são encontrados junto à fração lamosa, por apresentar maior potencial de autolimpeza em função do alto grau de exposição às ondas, da alta mobilidade dos perfis praias e da presença de areias grossas a muito grossas, que caracterizam um ambiente dominado pela remoção de frações granulométricas finas, aos quais os contaminantes se associam preferencialmente.

Quanto ao compartimento 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)), o relatório registra que se diferencia dos demais pela presença dos terraços de abrasão, que funcionam como barreiras para o transporte da lama proveniente do rio Doce, como carga de fundo, para as praias emersas. Porém, destaca que este compartimento pode receber os sedimentos transportados em suspensão (pluma do rio), os quais podem ficar retidos em depressões abrigadas em meio aos terraços e, uma vez ali depositado, dificilmente serão remobilizados. Assim, as praias deste compartimento foram consideradas pouco resilientes em relação à contaminação por elementos químicos. Destaca também o enriquecimento de arsênio (As) nos sedimentos, provavelmente associado à formação geológica do substrato e aos processos de transporte dissipativo incidentes.

A partir dos resultados obtidos, o relatório enfatiza que não é possível observar ainda uma tendência de estabilidade na concentração dos elementos químicos dentro do período de execução do PMBA/Fest-RRDM, visto que eventos de cheia, característicos das estações chuvosas, promovem a ressuspensão do rejeito de minério de ferro depositado na calha do rio Doce e a reentrada sazonal de contaminantes químicos no ambiente praias.

Afirma ainda que, com base nos dados disponíveis na literatura, o estuário do rio Doce e a área ao norte de sua desembocadura se encontram fortemente impactados, sendo possível inferir que, em função da dinâmica da zona costeira, essa contaminação pode migrar para as praias ao sul e ao norte da foz, abrangidas no escopo do PMBA/Fest-RRDM, de forma que a contaminação ambiental ainda persiste na zona costeira.

Considerando a ausência de valores de referência locais para as concentrações de elementos químicos e de dados pretéritos à chegada do rejeito de minério de ferro na região, para avaliação do potencial de impacto sobre a biota foram utilizados os valores orientadores, preconizados pela NOAA. Os resultados comparativos indicam que no compartimento A e, principalmente, no compartimento C, a biota pode estar mais sujeita aos efeitos deletérios da presença desses contaminantes.

Por outro lado, destaca que, dentre todas as praias monitoradas, aquelas que se encontram mais próximas à desembocadura do rio Doce (S6, S7 e N1) estão mais sujeitas ao impacto ambiental e, consequentemente, são mais vulneráveis e sensíveis às variações de curto prazo, em função da cota de inundação ou outro evento climático que impacte tanto a bacia do rio Doce como a zona costeira.

Quanto às análises da fauna bentônica no ambiente praias, o relatório evidencia que os maiores impactos decorrentes do material contaminado proveniente do rio Doce foram observados nos Compartimentos B' e C, que recebem e depositam os maiores teores de lama e contaminantes na antepraia e, em menor quantidade, na praia emersa, devido ao sentido preferencial da deriva litorânea longitudinal para norte.

O relatório registra que na porção das praias emersas do Compartimento C, que têm características dissipativas, não foi possível observar o padrão ecológico esperado para a macrofauna bentônica, onde as maiores densidade e riqueza são encontradas em praias dissipativas, indicando que essa é, possivelmente, a principal área afetada pelos rejeitos da barragem de Fundão para este grupo.

Quanto à variação temporal da macrofauna, os resultados do Ano 3 apresentaram os menores valores médios significativos de riqueza, densidade e diversidade para este grupo, ao longo do PMBA, em toda a área monitorada, demonstrando que não se pode indicar uma tendência de recuperação da diversidade no ambiente praias.

4.3.4.2 Conclusões - Praias

Considerando que não foram verificadas não-conformidades com relação a aderência ao TR4 e respectivo Plano de Trabalho, não há necessidade de realização de ajustes específicos ou a apresentação de material complementar ao relatório. Contudo, algumas sugestões são apresentadas no item seguinte, em função dos resultados obtidos.

4.3.4.3 Proposta de encaminhamentos

Com relação aos impactos ambientais evidenciados e à falta de tendência clara de evolução dos parâmetros monitorados, em função das recorrências de aportes de contaminantes nos períodos chuvosos e ressuspensão de sedimentos na plataforma continental pelos fenômenos meteoceanográficos, recomenda-se a continuidade do monitoramento e da metodologia nele empregada, visando avaliar a evolução dos parâmetros bióticos e abióticos do ambiente praias e identificar possíveis efeitos da contaminação.

No compartimento B houve um deslocamento da bancada de ondas para o sul, nas proximidades da Sede da Reserva Biológica de Comboios. Considerando os potenciais reflexos do aumento do fluxo de pessoas para a prática do surfe na área, recomendamos uma avaliação da causalidade entre a deposição de sedimentos oriundos da barragem e o deslocamento da bancada.

Concomitantemente, foi verificada uma erosão acentuada da praia próximo à foz do rio Doce, acompanhada por acreções significativas ao sul, em frente à sede da REBIO; recomendamos que seja avaliada a possibilidade de uma abordagem visando uma melhor compreensão das causas deste fenômeno, e de possíveis relações com os sedimentos oriundos da Barragem de Fundão

4.3.5 Anexo 5 - Manguezal

4.3.5.1 Avaliação dos impactos ambientais e identificação de tendências nos parâmetros monitorados

Sedimentos

A Matriz de Resultados do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA/Fest-RRDM), destaca os seguintes impactos para o sedimento do manguezal, vinculados à contaminação por metais e metalóides: 1) Aumento na concentração dos metais Fe e Mn nos períodos chuvosos nos rios Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Caravelas, São Mateus, Barra Nova, Urussuquara, Barra do Riacho e Costa das Algas; 2) Impacto devido alta concentração de Fe e Mn para os períodos chuvoso 2019, seco 2019, chuvoso 2020 e chuvoso 2021 no rio Doce; 3) Maior concentração de Fe e Mn para os períodos chuvosos de 2019 e 2021 na região de Santa Cruz-ES e rio Caravelas-BA; 4) Impacto de Fe, Cr e Al no período chuvoso 2021 na Barra Nova, Barra do Riacho e Urussuquara; 5) Impacto dos metais Fe, Mn, Pb, Cu e Al nos períodos: chuvoso 2019, seco 2019, chuvoso 2020 e chuvoso 2021 em Caravelas; 6) Impacto de Mn no período chuvoso 2021 em Costa das Algas; 7) Impacto de metais Fe, Mn, Cr e Al em maior concentração nos períodos chuvoso 2020 e chuvoso 2021 no rio Doce, e 8) Maior concentração de Pb, Cu e Zn nos períodos chuvoso 2019 e chuvoso 2021 nos rios Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Caravelas, São Mateus, Barra Nova, Urussuquara, Barra do Riacho e Costa das Algas. Todos apresentam relação direta com o rompimento da barragem de rejeito, com exceção do impacto 8 (maior concentração de Pb, Cu e Zn), que apresenta relação indireta.

As análises iniciais dos resultados do monitoramento descreviam a variabilidade temporal observada na escala espacial, onde os estuários situados ao sul do rio Doce apresentaram as maiores concentrações de Fe e Mn no período chuvoso e, no período seco de 2019, os estuários ao norte descreveram as maiores concentrações destes elementos, corroborando com a variabilidade temporal dos contaminantes observada no ambiente costeiro (praias) e no marinho. O relatório indica que a presença do Fe e Mn no período chuvoso de 2019/2020 e 2021 está associada ao rio Doce. Apesar da ausência de coletas de forma sistemática ao longo de 2020 e 2021 devido à pandemia, que ocasionou a menor disponibilidade de informações, os resultados por estuários já permitem identificar a influência da variabilidade climática com ocorrência de várias tempestades tropicais sobre o regime de ventos e, conseqüentemente, sobre a direção das correntes de deriva litorânea, sendo que o padrão de variabilidade espaço-temporal observado no primeiro ano de monitoramento já se encontra bastante alterado devido às inúmeras tempestades tropicais com maior frequência de ocorrência observada para os anos de 2020 e 2021.

Em relação aos valores de concentração de metais obtidos para as amostras analisadas, em comparação com valores de referência (NOAA propostos por Buchman, 1999), os estuários que se destacam com valores maiores que o valor de referência para Fe foram Piraquê-Açu e Mirim, Barra Nova e Caravelas. Para Mn, exceto o estuário de Urussuquara, todos os demais estão com valores acima do referido. No período chuvoso de 2019 pode-se observar a maior concentração de Fe e Mn ocorrem preferencialmente nos estuários ao sul do rio Doce, com exceção de Caravelas. Para o período chuvoso de 2019/2020, os valores de Fe e Mn que excederam o valor de referência foram mais pontuais e restritos aos rios Piraquê-Açu e Mirim. No período chuvoso de 2021, os dados para Fe encontram-se acima do valor de referência empregado neste monitoramento em 60% das parcelas.

Em relação às comparações temporais por estuários, alguns elementos tiveram tendência de declínio ao longo do tempo ou se mantiveram constante, entretanto, o período chuvoso de 2021 registrou aumento nas concentrações de vários dos elementos analisados em todos os estuários, divergindo do padrão sazonal de variação espacial das concentrações mais elevadas ao longo dos estuários. O ano de 2020 registrou duas tempestades tropicais com forte influência no litoral do Espírito Santo (Kurumí e Mani), aspecto que contribuiu para a dispersão dos contaminantes tanto para o norte quanto para o sul, sem manter o padrão normal de pluma do rio Doce para o sul do litoral no período do verão. Além disso, a vazão do rio Doce foi bastante elevada nos anos de 2015, 2019 e 2020, contribuindo para o transporte de sedimentos e metais adsorvidos para a zona costeira.

Elementos potencialmente tóxicos, como As, foram observados, nos sedimentos, com teores cerca de 20 vezes superiores aos limites da legislação. Conforme literatura citada no relatório, apesar dos rejeitos não terem arsênio em altas concentrações, o que pode ter aumentado a quantidade destes elementos nos locais atingidos pelos rejeitos foi a solubilização destes elementos que estavam inertes no sedimento dos rios.

Vegetação

A Matriz de Resultados do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA/Fest-RRDM), destaca os seguintes impactos para a vegetação do manguezal:

1. Redução do desempenho fotossintético na espécie *Talipariti pernambucense* ao longo de todo monitoramento e, principalmente, no período seco do Ano 1 e Ano 3, no rio Doce;
2. Aumento de estresse oxidativo para *Rhizophora mangle* no período chuvoso do Ano 3 em relação aos demais períodos, em Piraquê-Mirim e Barra Nova;
3. Diminuição de estresse oxidativo para *Rhizophora mangle* no período chuvoso do Ano 3 em relação ao período chuvoso do Ano 2. Entretanto, os valores do parâmetro analisado continuam altos, em Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, São Mateus e Caravelas;
4. Aumento de estresse oxidativo para *Talipariti pernambucense* no período chuvoso do Ano 3 em relação aos demais períodos, no rio Doce;
5. Aumento de estresse oxidativo para *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana*, no período chuvoso do Ano 3 em relação aos demais períodos, em Barra Nova, Costa das Algas e Caravelas;
6. Diminuição de estresse oxidativo para *Laguncularia racemosa* no período chuvoso do Ano 3 em relação ao período chuvoso do Ano 2. Entretanto, os valores do parâmetro analisado continuam altos, em Urussuquara e São Mateus;
7. Diminuição na concentração de clorofila a e clorofila b para *Rhizophora mangle* no período seco de 2021 em relação ao período seco de 2019, em Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, São Mateus e Caravelas;
8. Diminuição na concentração de clorofila a e clorofila b para *Rhizophora mangle* no período chuvoso do Ano 3 em relação aos períodos chuvosos dos Anos 1 e 2, em Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas;
9. Diminuição na concentração de clorofila a para *Laguncularia racemosa* no período seco do Ano 3 em relação aos períodos seco do Ano 1 e chuvosos dos anos 1, 2 e 3, em Barra Nova, São Mateus e Caravelas;

10. Diminuição na concentração de clorofila a para *Laguncularia racemosa* no período chuvoso do Ano 3 em relação aos períodos chuvosos dos Anos 1 e 2, em Urussuquara, São Mateus e Caravelas;
11. Diminuição na concentração de clorofila a e clorofila b para *Avicennia schaueriana* no período seco do Ano 3 em relação ao período seco do Ano 1 e períodos chuvosos dos Anos 1, 2 e 3, em Costa das Algas;
12. Diminuição da concentração de carotenóides para *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana* no período seco do Ano 3 em relação aos demais períodos, em todos os estuários;
13. Redução da assimilação de carbono na espécie *Laguncularia racemosa* ao longo do monitoramento associado ao Fe no tecido foliar, em Urussuquara, São Mateus e Caravelas.

O rejeito advindo da barragem de Fundão é composto principalmente por óxidos de ferro, um grupo mineral que tem um importante papel na retenção de contaminantes, como por exemplo, metais pesados (p. 217). O relatório destaca que as partículas de ferro se associam facilmente com partículas de argila, o que leva a uma maior precipitação deste elemento nas regiões dos manguezais com menor energia hidráulica e maior tempo de decantação entre os ciclos de maré (p. 211). Os estuários que se destacam com valores maiores que o valor de referência para Ferro foram Piraquê-Açu e Mirim, Barra Nova e Caravelas. Para Manganês, exceto no estuário de Urussuquara, todos os demais estão com valores acima do referido. No período chuvoso de 2019 pode-se observar que a maior concentração de Fe e Mn ocorrem preferencialmente nos estuários ao sul do rio Doce, com exceção de Caravelas (Tognella et al., 2022). Para o período chuvoso de 2019/2020, os valores de Ferro e Manganês que excederam o valor de referência (Costa et al., 2016) foram mais pontuais e restritos aos rios Piraquê-Açu e Mirim (p. 215).

Os teores máximos para Ferro e Manganês observados foram de 78.637 e 1.586 mg kg⁻¹, respectivamente, para o estuário do rio Doce no período chuvoso de 2021. Uma variação de 357 e 610% em relação ao limite AET da NOAA de 22.000 e 260 mg kg⁻¹. Com exceção de Costa das Algas e Barra Nova, todos os estuários tiveram níveis de Ferro acima do permitido em pelo menos uma estação (principalmente no período chuvoso). Costa das Algas, rio Doce e Caravelas tiveram níveis de Manganês acima do permitido em pelo menos uma estação. E Caravelas e Costa das Algas tiveram níveis de Arsênio acima do permitido em pelo menos uma estação.

Quadro 1. Resumo das informações mais relevantes sobre as concentrações de metais nas folhas de cada espécie de mangue.

Metais/ Espécies	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Laguncularia racemosa</i>	<i>Avicennia schaueriana</i>	<i>Talipariti pernambucense</i> (foz do rio Doce)
Ferro	Redução da concentração em 2021, em comparação com períodos anteriores	Em Urussuquara e Barra Nova, houve maior concentração nos períodos seco/2019 do Ano 1, chuvoso/2020 do Ano 2 e chuvoso/2021 do Ano 3 e redução de Fe no período seco/2021 do Ano 3, com valores semelhantes aos reportados para o período chuvoso/2019 do Ano 1, início do monitoramento; em São Mateus houve aumento da concentração no período chuvoso do Ano 3 em relação aos períodos chuvosos dos Anos 1 e 2; em Caravelas foi identificado aumento do metal do período chuvoso/2019 do Ano 1 para o período chuvoso/2020 do Ano 2, com redução de valores médios no período chuvoso/2021 do Ano 3. Nesta localidade, a concentração de Fe foliar reduziu no período seco/2021 do Ano 3, comparado ao período seco/2019 do Ano 1	Concentração de Ferro foliar foi maior no período chuvoso de 2020	Redução tanto no período chuvoso quanto no seco, em comparação com anos anteriores
Manganês	O período chuvoso/2021 do Ano 3 apresentou os maiores valores de manganês foliar em <i>R. mangle</i> nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Barra do Riacho, Urussuquara, São Mateus e Caravelas; redução do Manganês em Costa das Algas e Barra Nova	Em Urussuquara e Barra Nova, aumentou no período chuvoso de 2021, em comparação com os anteriores; redução no estuário de São Mateus	Aumento em Caravelas a partir do período seco/2019 do Ano 1 até o período seco/2021 do Ano 3	Permaneceu sem variação
Zinco	Aumento na concentração nos períodos chuvoso/2021 e seco/2021 nos estuários de Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas e Barra do Riacho; Urussuquara,	Aumento em Urussuquara e Barra Nova; em Caravelas, a Zinco foliar, no período chuvoso/2021 do Ano 3, ficou acima da média mínima encontrada para a espécie	Aumento em Costa das Algas no período chuvoso/2021 do Ano 3 em relação aos períodos chuvosos 2019 e 2020 dos Anos 1 e 2, respectivamente; em Caravelas, houve	Aumentou no período chuvoso e não teve variação no seco

	Barra Nova, São Mateus e Caravelas tiveram redução nos valores de Zn a partir do período seco/2019 do Ano 1		tendência de redução do período chuvoso/2019 do Ano 1 para o período chuvoso/2020 do Ano 2	
Cobre	Aumento no período chuvoso do Ano 3 em relação aos períodos chuvosos dos Anos 1 e 2 no Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, São Mateus e Caravelas, diminuição em Barra do Riacho, Urussuquara e Barra Nova em 2021 em relação a períodos anteriores	Redução em Urussuquara, mas, aumento em Caravelas e São Mateus; apesar da redução dos valores de Cu nos períodos citados e respectivos estuários, todos ficaram acima do valor médio encontrado para a espécie	Maiores valores foram observados nos estuários de Costa das Algas e Caravelas no período chuvoso/2021 do Ano 3 em relação aos demais períodos	Manteve-se estável durante o monitoramento
Chumbo	Aumento no período chuvoso/2020 do Ano 2 nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas, com redução dos valores nos períodos seguintes, e em Costa das Algas, ocorreu redução gradativa de Pb nos períodos chuvosos e secos	Redução significativa nos períodos chuvoso/2021 e seco/2021 do Ano 3 em Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas	Redução em Costa das Algas e Caravelas	Atingiu um pico no período chuvoso de 2019 e teve redução significativa nos períodos seguintes

O monitoramento identificou uma série de efeitos da contaminação dos metais pesados sobre processos fisiológicos, biológicos e ecológicos da vegetação de manguezal nos estuários avaliados. Destacam-se os efeitos sobre os processos fotossintéticos das plantas, que estão resumidos no quadro 2 abaixo.

Quadro 2. Efeitos sobre os processos fotossintéticos das plantas.

Parâmetro/ Espécies	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Laguncularia racemosa</i>	<i>Avicennia schaueriana</i>	<i>Talipariti pernambucense</i> (foz do rio Doce)
Assimilação de carbono – atividade fotossintética	Redução	Redução ao longo do monitoramento em Urussuquara, Barra Nova e São Mateus; houve início da recuperação da atividade fotossintética em Urussuquara e São Mateus no período Chuvoso de 2021; em Caravelas, a assimilação de carbono manteve-se baixa e constante ao longo de todo o monitoramento, contudo, no período Seco 2021 houve aumento da atividade fotossintética	Redução em Caravelas e Costa das Algas	Tendência de redução da atividade fotossintética ao longo do monitoramento
Estresse oxidativo	Aumento	Redução no período chuvoso/2021 do Ano 3 quando comparado ao período chuvoso/2020 do Ano 2 nos estuários de Urussuquara, São Mateus e Caravelas; aumento no período seco/2021 do Ano 3 em comparação com o período seco/2019 do Ano 1 em Urussuquara, Barra Nova e São Mateus; ainda em Barra Nova,	Aumento em Caravelas e Costa das Algas	Aumento no período seco de 2021 em comparação com seco de 2019; no período chuvoso, o estresse oxidativo foi maior em 2020 em comparação com 2019 e 2021

		registrou-se altos valores de DPPH nos períodos chuvoso/2020 do Ano 2 e chuvoso/2021 do Ano 3;		
Clorofila a	Redução gradativa ao longo do monitoramento nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Urussuquara e Caravelas (em Barra Nova e São Mateus ocorreram oscilações)	Redução em Urussuquara em relação a períodos anteriores (tanto no período chuvoso quanto no seco); houve redução também em Barra Nova, Caravelas e São Mateus	Aumento em Costa das Algas nos períodos chuvosos, mas redução no período seco (em relação aos anteriores); em Caravelas houve redução tanto no período seco quanto no chuvoso	Maiores valores durante os períodos chuvosos
Clorofila b	Redução no período chuvoso/2021 e seco/2021 do Ano 3, comparados aos períodos chuvoso/2020 do Ano 2 e seco/2019 do Ano 1, respectivamente, nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e São Mateus; redução também na concentração do pigmento em Costa das Algas e São Mateus no período seco/2021 do Ano 3, comparativamente ao período seco/2019 do Ano 1, e, em Caravelas nos períodos chuvoso/2021 e seco/2021 do Ano 3 em comparação aos períodos chuvoso/2019 e seco/2019 do Ano 1 e chuvoso/2020 do Ano 2; aumento nesse pigmento em Barra do Riacho e em períodos chuvosos em Barra Nova do Ano 3	Padrão de redução semelhante ao observado para clorofila a	Aumento em Costa das Algas nos períodos chuvosos, mas redução no período seco (em relação aos anteriores); redução em Caravelas no período seco	Atingiu valores maiores nos períodos chuvosos dos anos 2 e 3
Carotenóides		Redução no período seco/2021 do Ano 3 em relação aos demais períodos	Redução no período seco/2021 do Ano 3 em relação aos demais períodos	Manteve um padrão de redução em todos os períodos após o período seco/2019
Eficiência fotossintética	Redução (com oscilações)	Recuperação foi observada no último período chuvoso (2021) em Urussuquara e Barra Nova, mas em Barra Nova voltou a declinar no período Seco 2021; em São Mateus, o parâmetro PITotal manteve-se similar ao longo do monitoramento, com redução nos períodos Chuvoso 2019_2020 e Seco 2021; em Caravelas houve aumento no período Chuvoso 2019_2020, mas nos dois últimos períodos avaliados, mostrou-se similar aos dados avaliados ao longo de todo o monitoramento, não sendo possível verificar tendência de aumento ou redução da eficiência fotossintética		Tendência de redução ao longo do monitoramento, especialmente no período seco

O relatório traz ainda uma análise de PCA, procurando relacionar os teores de metais na vegetação com os efeitos, considerando as diferentes espécies e os estuários analisados.

Em *R. mangle*, no geral, maiores teores de Manganês estão associados a maior estresse oxidativo e a menor fotossíntese, enquanto maiores teores de Ferro e Zinco estão associados a maior fotossíntese. As análises dos dados coletados até o período seco de 2021 indicam *R. mangle* como a espécie mais sensível às alterações devido ao efeito tóxico de metais no tecido foliar. Os prejuízos causados pelo ferro para a espécie não foram identificados nas análises atuais. Contudo, é importante destacar que no relatório anual anterior (RRDM, 2020b), esse efeito foi registrado e, novamente, o efeito do metal sobre os parâmetros biológicos podem surgir, uma vez que no

período chuvoso de 2021 a concentração de metais no sedimento foi elevada (Material Suplementar A5MS2) e pode refletir na concentração do tecido foliar futuramente.

Para *L. racemosa*, no Ano 3, a concentração de metais (Fe, Mn, Zn e Cu) nas folhas da espécie aumentou em São Mateus resultando em redução da produção primária neste estuário. Esses resultados indicam que apesar da espécie ser apontada dentre as espécies de mangue como tendo maior desempenho fotossintético e menor variação sazonal (RRDM, 2020b), dependendo da concentração de metais na folha, alterações no desempenho fotossintético podem ser observadas em menor intensidade em longo prazo.

Para *A. schaueriana*, que só é monitorada em Costa das Algas e Caravelas, a maior concentração de metais no tecido foliar é registrada em Costa das Algas, o que é justificado pela proximidade com o rio Doce em detrimento de Caravelas, além da localização da floresta que está situada em contato direto com o oceano (TOGNELLA et al., 2022). O comportamento fotossintético e atividade antirradicalar são considerados intermediários dentre as espécies de mangue monitoradas (RRDM, 2020b). Ainda assim, é identificado aumento do estresse oxidativo na presença de Cobre foliar e redução de clorofila a com o aumento do Manganês, mesmo com a atenuação do efeito dos metais foliares no período chuvoso.

Por fim, *Talipariti pernambucense*, espécie alvo dominante no rio Doce, exhibe maior concentração de metais nas folhas, bem como melhor desempenho fotossintético dentro do monitoramento. Esse comportamento pode ser resultado da menor salinidade da região, o que ameniza as condições ambientais e melhora seu desempenho (TOGNELLA et al., 2022). Contudo, o acúmulo de metais foliares no período seco é associado à menor produção primária, com Cobre atuando negativamente sobre a concentração de clorofila e o Manganês sobre a assimilação de carbono.

Fauna Manguezal - Compartimento Caranguejos

A Matriz de Resultados do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA/Fest-RRDM), destaca os seguintes impactos nos caranguejos do manguezal, vinculados à contaminação por metais e metalóides: (1) maiores concentrações de metais no setor B a partir do período chuvoso de 2019, e (2) diminuição temporal nas concentrações de metais no setor A a partir do Ano 1, tendo estes impactos relações diretas com o rompimento da barragem.

Do ponto de vista de aumento nos valores de índice de resposta biológica, a Matriz de Resultados destaca ter havido (3) Maior efeito biológico em organismos coletados durante os períodos chuvosos dos Anos 1, 2 e 3, tendo este impacto relação indireta com o rompimento da barragem.

Considerando alterações nos índices ecológicos, nos parâmetros reprodutivos, e na estrutura de população, a Matriz de Resultados destaca ter havido os seguintes impactos nos caranguejos do manguezal: (4) redução da densidade de *C. guanhumi* no Ano 3 em relação ao Ano 1 do PMBA, (5) instabilidade na fecundidade das fêmeas de *U. cordatus* (redução no Ano 1 e aumento a partir do Ano 3), (6) modificação da comunidade local devido ao ingresso das espécies *U. cordatus* e *Goniopsis cruentata*, em função da competição pelo mesmo nicho ecológico, observado a partir do Ano 1, (7) baixa frequência relativa de indivíduos jovens em relação aos indivíduos adultos de *C. guanhumi* nas populações durante todo o monitoramento, e (8) aumento relativo da frequência de jovens de *U. cordatus* a partir do Ano 1 indicando comprometimento da população de adultos preteritamente. Tendo os impactos 4, 6, 7 e 8 relações indiretas com o rompimento da barragem, enquanto o impacto 5 apresenta relação indefinida.

A baixa densidade, declínio no recrutamento de jovens de *C. guanhumi* a partir do ano 1, distribuição da espécie nos estuários capixabas, além do levantamento feito nas populações do rio Doce, Urussuquara e São Mateus são pontos preocupantes para a conservação da espécie.

Chama a atenção o fato de a maioria dos impactos identificados na área terem abrangência regional e estarem afetando os caranguejos, animais que se situam nos níveis superiores da cadeia trófica, demonstrando assim que a evolução temporal dos impactos do rompimento da barragem de Fundão ainda está em andamento.

Importante também o cenário em que indivíduos adultos de caranguejos foram predominantes em todos os períodos nos bosques de *L. racemosa* no estuário do Piraquê-Açu, diferente do observado nos bosques de *R. mangle*. Estes resultados de alterações na estrutura populacional nas florestas de domínio de *R. mangle* podem indicar aumento no esforço pesqueiro não observado em anos anteriores. Com o distanciamento do desastre, é possível que a preocupação das populações humanas da região com a contaminação dos recursos tenha diminuído, além disto, a pandemia de Covid-19 provocou aumento na insegurança alimentar, o que pode ter levado a maior uso de alguns recursos, como os caranguejos, que são relativamente fáceis de serem capturados.

Sobre os braquiúros foi feito o levantamento de riqueza e abundância na APA Costa das Algas e a riqueza foi considerada baixa em relação aos outros manguezais do Brasil.

Os dados gerados no relatório sobre os caranguejos poderão auxiliar futuros planos de manejo da APA Costa das Algas, pois ainda há lacunas de conhecimento no Espírito Santo.

4.3.5.2 Conclusões - Manguezal

A nova estrutura apresentada do relatório facilitou a análise. A matriz de impacto ajuda a entender melhor os impactos, sua abrangência espaço-temporal e a relação com o rompimento da barragem de rejeitos. No entanto, é preciso estar atento ao resumo da matriz, pois muitos impactos que aparecem, por exemplo, nulos na matriz, considerando o conjunto de estações amostrais, são impactos diretos em determinados rios, enquanto contaminações que são descritas no relatório, como a concentração de metais nas folhas de mangue, não aparecem na matriz de impactos.

Ou seja, a matriz ajuda a entender a magnitude dos impactos, mas é necessário olhar os impactos em detalhe para observar suas especificidades nas diferentes regiões estudadas e é importante essas informações estarem claras na matriz resumida, que será disponibilizada para o público geral.

Considerando o contexto atual sobre a discussão do “Plano de Ação Integrado para Conservação para a Recuperação e Conservação da Biodiversidade Aquática – PAI” é necessário que a discussão dos resultados também avance na discussão de metodologias essenciais que devem ser consideradas no referido Plano para recuperação e remediação do ecossistema manguezal, considerando a continuidade da contaminação observada nos diferentes compartimentos avaliados (sedimento, vegetação e fauna).

No geral, apesar de variações nos níveis de contaminação, com tendências de aumento e diminuição sendo observadas, dependendo da espécie, estuário e período do ano (seco e chuvoso) considerados, conclui-se que o compartimento manguezal permanece com níveis elevados de contaminação por metais, com consequentes efeitos fisiológicos, biológicos e ecológicos sobre as espécies monitoradas.

No caso das árvores de mangue, os principais efeitos observados são a redução no desempenho fotossintético, redução da assimilação de carbono, aumento do estresse oxidativo e a redução na concentração de clorofila a, clorofila b e carotenóides. As análises dos dados coletados até o período seco de 2021 indicam *R. mangle* como a espécie mais sensível às alterações devido ao efeito tóxico de metais no tecido foliar. Em *L. racemosa*, espécie com maior desempenho fotossintético entre as três, a maior presença de chumbo e ferro levou, no geral, à queda da fotossíntese.

Com relação à fauna, chama a atenção o fato de a maioria dos impactos identificados na área terem abrangência regional e estarem afetando os caranguejos, animais que se situam nos níveis superiores da cadeia trófica, demonstrando assim que a evolução temporal dos impactos do rompimento da barragem de Fundão ainda está em andamento.

Destaque é feito em todos os relatórios sobre a importância das avaliações em longo prazo temporal e em larga escala espacial dada a variabilidade observada nos gradientes reguladores do desenvolvimento dos manguezais e na necessidade de assegurar a qualidade ambiental perante eventos agudos e/ou crônicos (TOGNELLA et al., 2022).

Assim, concluímos que é essencial a continuidade do monitoramento dos manguezais, associado ao estabelecimento de estratégias de recuperação e remediação das áreas contaminadas.

4.3.5.3 Proposta de Encaminhamento

De forma geral, recomendamos a apresentação, pelos especialistas do Anexo Manguezal, de propostas de ações de recuperação que devem ser executadas nesse ecossistema para incorporação no “Plano de Ação Integrado – Recuperação e Conservação da Biodiversidade Aquática”. Entendemos que o monitoramento tem revelado a continuidade da contaminação dos manguezais avaliados por metais, com consequências sobre a biologia e fisiologia das espécies vegetais e, portanto, sobre a ecologia dos manguezais. Será importante avançar do simples monitoramento para estratégias de recuperação deste ecossistema. Além disso, recomendamos também a apresentação dos mapas de vulnerabilidade do ecossistema.

É importante, ainda, que a Matriz de Impacto seja aperfeiçoada para esse Anexo, de forma a evidenciar os impactos que aparecem na discussão do relatório (por exemplo, impactos na vegetação referentes a concentração de metais que são demonstrados no relatório, mas não são evidenciados na Matriz de Resultados atualmente).

Para os diferentes compartimentos avaliados, especificamente, recomendamos no próximo relatório:

SEDIMENTO

- Apresentação de possíveis prejuízos referentes a não apresentação, nos três anos de PMBA, das análises dos seguintes parâmetros estabelecidos no Termo de Referência 4: análise de água, hidrocarbonetos e pesticidas clorados, C, H, N, O, S elementar e isótopos $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$;
- Apresentação de justificativa por não apresentarem dados do período seco de 2021 - coletas de maio e agosto, apesar da apresentação dos gráficos;
- Ampliar a discussão das flutuações dos elementos químicos, focando, além de Fe, Mn e As, nos outros elementos químicos que aparecem na lista de impactos apresentados, para melhor entendimento de tais impactos.

VEGETAÇÃO

- Incluir na matriz MRAC as informações sobre contaminação das folhas de mangue por metais.

FAUNA MANGUEZAL - COMPARTIMENTO CARANGUEJOS

- Necessidade de monitoramento em longo prazo para verificar alterações significativas na dinâmica, estrutura e fecundidade de caranguejos entre os anos, em cada estuário e quais os possíveis fatores de influência, inclusive aqueles ligados a captura para consumo/comercialização.

4.3.6 Anexo 5 - Restinga

4.3.6.1 Avaliação dos impactos ambientais e identificação de tendências nos parâmetros monitorados

Meta 1- Inventariar a flora da formação arbustiva - herbácea e arbórea de oito áreas da formação restinga, com a inserção de uma 9ª (nona) área a partir de 2020

Produtos Meta 1:

Foram apresentados os dados de inventário de 2.409 espécimes de angiospermas, reunidas em 375 espécies, 267 gêneros e 88 famílias. Entre 2020 e 2021, foram incluídas 533 novos espécimes, com identificação de 15 ameaçadas de extinção ao longo das estações de coleta, embora no material suplementar, quadro 2, página 55, indique 16 espécies ameaçadas de extinção.

O inventário nas Unidades de Conservação indicou a presença de 185 espécies na APA de Conceição da Barra, 196 espécies na REBIO de Comboios. A maior riqueza específica foi encontrada na estação 6 Cacimbas, com 167 espécies, e as com menores riquezas foram E9 - Mar Azul, com 68 espécies (justificado, segundo os autores, pelo menor esforço amostral), E4 (111 espécies) e E5 (125 espécies). O número total de espécies indica riqueza muito próxima dos dados de 2013, coletados para EIA do mineroduto Morro do Pilar/MG a Linhares/ES.

Após a descontaminação, as exsiccatas foram depositadas nos herbários VIES (CCHN/UFES), SAMES (CEUNES/UFES) e duplicatas foram enviadas aos Herbários RB, do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, e VIC, da Universidade Federal de Viçosa. Todas as exsiccatas foram digitalizadas e se encontram nos herbários virtuais REFLORA e INCT.

Meta 2- Analisar os efeitos dos rejeitos, ainda contidos no solo, na sobrevivência da vegetação jovem e adulta da vegetação da Restinga e Avaliar a estrutura da vegetação e a dinâmica temporal da comunidade vegetal das oito áreas

amostrais, sendo que em 2020 foi incorporada mais uma área amostral.

Produtos Meta 2:

Para a caracterização das áreas de restinga em relação às possíveis contaminações, resultantes do rompimento da barragem de Fundão, adotando o índice integrado de poluição, foram utilizadas três referências bibliográficas para comparação com os dados apurados: Estudo de Impacto Ambiental do Terminal Portuário Múltiplo da Nutripetro (PSG, 2013); os valores de referência de qualidade descritos por Paye et al. (2010) para solos de restinga do ES (regional); e as concentrações reportadas em crosta terrestre (mundial) em Turekian e Wedepohl (1961). Os resultados obtidos indicam que ocorreram concentrações acima da referência ao longo da costa de As, Co, Mn. As concentrações de Mn em todas as estações e formações continuaram acima da referência. Os níveis de As no solo apresentaram foram altos no ambiente costeiro, no sedimento da praia emersa e no solo das restingas. Maiores níveis de poluição foram observados no ano 1 (2018/2019), período seco, reduções foram observadas em períodos seguintes e voltaram a ocorrer no período seco, Ano 3 (2021). As estações com maiores índices de poluição são as mais próximas da foz do rio Doce (E5, E6 e E9), segundo o relatório.

4.3.6.2 Conclusões - Restinga

Segundo dados da síntese integrativa as restingas localizadas ao norte da foz do rio Doce (compartimento C) apresentaram maiores alterações quanto aos indicadores: atividade fotossintética, dos metabólitos, reserva de carboidratos, atividade antioxidante e processos reprodutivos.

Os níveis de As, Mn e Co apresentaram teores acima dos valores de referência ao longo da costa. As informações do período seco Ano 3 (2021) indicaram que os dados de contaminação ainda estão altos se comparados com os dados pretéritos de 2014 na região.

Em relação a perspectiva para a recuperação da vegetação de restinga os resultados de estudos *ex situ* com as espécies coletadas e estudadas *in situ* ainda são incipientes, mas podem trazer subsídios para o processo de restauração de restingas, pois já se sabe que no ecossistema a regeneração passiva não é facilitada e nem rápida. Os dados coletados indicam provável aclimatação das espécies às condições atuais.

O próprio relatório informa que “*Pesquisas voltadas aos efeitos do estresse mineral sobre a comunidade vegetal terrestre são poucas e demoradas, sugerindo-se pelo menos até 10 anos de estudos*”. Sendo assim, é imprescindível a continuidade do monitoramento da restinga.

4.3.6.3 Proposta de encaminhamento

De maneira geral os estudos foram bem conduzidos, porém a apresentação das informações de forma conjunta com todas as formações vegetais (arbórea, arbustiva e herbácea), 3 anos sendo 2 períodos em cada ano (seco e chuvoso) para 9 estações monitoradas dificulta a interpretação dos resultados obtidos. Ao longo do relatório, a maioria dos gráficos apresentam muitos dados condensados e a análise dos resultados poderia ser mais detalhada. Estes aspectos fazem com que a interpretação dos resultados a partir das figuras seja de difícil compreensão. Ficaria mais fácil separar os resultados por tópicos de formações vegetais de maneira a minimizar a “poluição” de informações. Algumas figuras devem ser revistas, como indicado abaixo:

– A “*Figura 94: Mapa comparativo da riqueza capturada nas estações amostrais e das formações vegetais de restinga avaliadas ao longo dos três anos do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática Área Ambiental I (PMBA/Fest-RRDM)*” é apresentado em formato de “pizza”, dificultando a comparação dos resultados ao longo dos 3 anos de monitoramento. A apresentação dos dados seria mais clara se fosse em forma de colunas conforme a figura 93;

Encaminhamento: Refazer a figura substituindo a forma de apresentação.

– A “*Figura 95: Mapa comparativo da fenologia reprodutiva (floração) das comunidades vegetais capturada durante o período chuvoso nas estações amostrais avaliadas ao longo dos três anos do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática Área Ambiental I*” é apresentado em formato de “pizza” dificultando a comparação dos resultados ao longo do período chuvoso dos 3 anos de monitoramento. Sugere-se que a apresentação dos dados seja em forma de colunas conforme a figura 93, sendo que a observação é válida para todas as figuras apresentadas em formato de “pizza”.

– A figura 100: Elementos químicos presentes no *spray* (aerossol marinho) depositado sobre a vegetação, no solo e nos tecidos foliares das formações Herbácea, Arbustiva e Arbórea nas estações amostrais da restinga, coletados no período Seco Ano 3 (2021) a norte da foz do rio Doce - APA Conceição da Barra (E1) e Cacimbas (E6), e a sul da foz - REBIO Comboios (E7) e Mar Azul (E9). Não há justificativa para que os resultados sejam apresentados apenas para estas estações.

Encaminhamento: Apresentar os resultados para todas as estações ou justificar a ausência da apresentação dos resultados.

Sugere-se que no relatório síntese sejam apresentadas as informações consolidadas, pois os dois anexos (metodologia e dados em gráficos e quadros) contém detalhamento das informações e dificultam a análise.

Encaminhamento: Revisar o relatório síntese acrescentando informações que permitam fazer a leitura e compreensão das metodologias e resultados, mesmo que descritos de forma sintética, sem ter que consultar os anexos para a compreensão. Os anexos devem conter os detalhes que não forem necessários para a compreensão geral do texto, mas que precisam estar disponíveis para consulta, caso necessário.

Abaixo são apresentados alguns aspectos específicos que devem ser revistos ou esclarecidos:

– O inventário da vegetação da restinga informa que “*No período entre dez/2020 e set/2021 foram incluídos 533 novos espécimes, representando um acréscimo de cerca de 22% em relação aos Anos 1 e 2. Destaca-se a presença de 15 espécies ameaçadas de extinção encontradas ao longo das estações amostrais (Material Suplementar A5RS2, Quadro 2)*”. Na forma como está redigido, não fica claro se são 15 espécies ameaçadas de extinção referente ao acréscimo de 22% no número de espécies ou se as 15 espécies são o total de espécies ameaçadas encontrado. Em relação a este ponto, o Quadro 2 do Material Suplementar A5RS2 traz um total de 16 espécies e não 15 conforme informado no relatório. Assim, é preciso esclarecer divergência.

– O Material Suplementar A5RS1 informa que para o inventário florístico espécimes férteis observados foram coletados, de um indivíduo por espécie, em cada fitofisionomia, em todas as áreas, durante 12 meses (outubro/2018 a setembro/2019). Para o ano 3 (período entre dez/2020 e set/2021), não está claro se as campanhas foram mensais, de acordo com o TR4, pois a coleta de indivíduos férteis é necessária para a correta identificação e depósito nas coleções. Esclarecer este ponto.

– O relatório informa a presença de espécies exóticas em algumas estações e que “*Algumas ações de contenção destas espécies por anelamento foram efetuadas por secretarias de meio ambiente (Aracruz e Linhares), em Mar Azul (E9) e em Pontal do Ipiranga (E5). Até o momento, a ação foi efetiva na E9, com mortalidade de Terminalia catappa L. (castanheira), e paliativa em E5, onde houve rebrota dos espécimes anelados de Acacia mangium Willd*”. Sendo assim, é importante uma avaliação referente à presença de espécies exóticas invasoras em todas as estações, com a indicação de ações de contenção para as que houver necessidade e/ou apoio às instituições que realizem essas ações.

– A matriz de resultados informa que existem 64 impactos no ambiente costeiro. É importante indicar quais destes impactos ainda não têm estudos em execução para minimizá-los e já iniciar estudos que visem mitigar e/ou compensar esses impactos já identificados para os próximos anos. Isto deve ser indicado na matriz ou em uma tabela própria.

– Para análise da eficiência fotossintética as campanhas são mensais, conforme definido na frequência amostral do TR4. Sendo assim, é necessário complementação dos 12 meses de análises fotossintéticas, considerando que estas análises só tiveram início na campanha 4. Apresentar os dados faltantes ou justificar, caso não tenha sido realizada.

– O relatório informa na página 160 que “*A baixa diversidade das estações dessa unidade de conservação (E1 e E2) no Ano 3 pode ser explicada pela elevada dominância de Protium heptaphyllum e pelo baixo número de espécies*”. Também faz referência a ocorrência prévia de um incêndio em E1. Não fica claro se a dominância de *P. heptaphyllum* é uma consequência da sobrevivência dos indivíduos atingidos pelo incêndio ou se há algum outro fator que leve a predominância desta espécie. Esclarecer e indicar se seria pertinente alguma ação de manejo da vegetação.

– No relatório anterior foram iniciados estudos de viabilidade polínica, com destaque para a vegetação herbácea, onde os esforços se centraram na espécie *Canavalia rosea* (Sw.) DC. Estes estudos não foram apresentados neste relatório e solicita-se a justificativa para a exclusão desses dados.

4.3.7 Anexo 6 - Megafauna

4.3.7.1 Avaliação dos impactos ambientais e identificação de tendências nos parâmetros monitorados

CETÁCEOS

Monitoramento Embarcado

Foram realizadas 1.257 avistagens, que representam 424 grupos observados predominantemente nas faixas de profundidades de 10 à 20m. Foram observados 41 indivíduos imaturos, em 19 grupos.

Foi observado um decréscimo nos registros na área de influência do rio Doce do Ano 1 para o Ano 3 e um aumento na área de influência do rio Piraquê-açu.

A estação chuvosa apresentou uma tendência de maior uso da área do rio Piraquê-açu com o passar dos anos de monitoramento, enquanto na estação seca esse uso foi maior na área do rio Doce.

A maioria dos grupos observados estavam realizando o comportamento de deslocamento quando registrados, 336 grupos (77,4%). O comportamento de alimentação foi observado em 98 grupos (22,6%).

Além disso, notou-se uma preferência do uso da área de influência do rio Doce para alimentação durante a estação seca, enquanto na estação chuvosa o uso preferencial foi maior na área do rio Piraquê-açu.

Monitoramento por ponto fixo

Foram realizadas 204 avistagens em Regência e 310 em Aracruz, sendo 99 e 128 grupos, respectivamente. Foram detectadas diferenças significativas no número de grupos entre os pontos A (rio Doce) e B (praia de Regência) em Regência ($p= 0,001$) em todos os anos monitorados, para um maior registro no ponto B em relação ao ponto A.

Assim como no monitoramento embarcado, os pontos fixos de Regência registraram um maior número de grupos em comportamento de descolamento ($N= 58$), do que em comportamento de alimentação ($N= 38$).

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

O total de ocorrência de encalhes de cetáceos nos três anos consecutivos foi de 263 ocorrências dentre as quais foram identificadas 11 espécies. Os encalhes referentes ao Ano 1 do monitoramento totalizaram 78 ocorrências, Ano 2 com 90 e Ano 3 com 95 ocorrências de encalhes.

a. Taxa anual de encalhes por espécie de cetáceos na costa do Espírito Santo

As duas espécies mais frequentes durante os três anos de monitoramento foram *Sotalia guianensis* (63%) e *Pontoporia blainvillei* (13%) que têm hábito costeiro.

O aumento nas taxas anuais de encalhes de *Sotalia guianensis* e *Pontoporia blainvillei* após o rompimento da barragem sugerem uma influência sobre as populações dessas espécies, com aumento no período chuvoso da fase aguda do desastre (2015 à 2017) para o boto-cinza e da fase crônica (2019 e 2020) para toninhas.

As taxas de encalhes anuais para o boto-cinza no comparativo entre as distintas fases temporais revelou aumento de 14,32 (21,88%) na razão entre a fase pré-PMBA com a anterior fase pretérita, e queda de 14,44 (22,07%) entre a fase PMBA em razão da predecessora fase pré-PMBA (Figura 602). Para a toninha foi observado o inverso, diminuição de 2,11 (37,67%) entre a fase pré-PMBA e fase pretérita, com aumento de 5,4 (49,1%) da fase PMBA em relação com a fase pré-PMBA.

b. Taxa de distribuição sazonal de encalhes de cetáceos na costa do Espírito Santo

Os encalhes em relação às estações anuais durante os três anos de monitoramento observou-se: no Ano 1 e Ano 3 que de uma forma geral foram mais frequentes no verão, o boto-cinza apresentou nesta estação 25 registros em cada ano, mais que o dobro do valor das

ocorrências de inverno; no Ano 2 os valores foram iguais com 16 ocorrências para verão e inverno para o boto-cinza. Para as toninhas, a predominância foi maior no verão com a mesma quantidade de encalhes nos dois primeiros anos de PMBA (8 registros/ano) e no terceiro ano reduziu pela metade com 4 ocorrências.

As duas metodologias apontaram a área de influência da foz do rio Doce como uma área de maior uso da espécie no período seco, enquanto a área de influência do rio Piraquê-açu apresentou-se importante no período chuvoso.

c. Taxa de distribuição espacial de encalhes de cetáceos na costa do Espírito Santo

O município de São Mateus foi o local que apresentou os maiores índices de encalhes tanto nos três anos de PMBA-Fest-RRDM quanto na análise das fases históricas, exceto para as toninhas, para esta espécie em especial a predominância de encalhes na fase pretérita eram mais próximos da foz do rio Doce ao longo do litoral de Linhares. Após o desastre, os encalhes desta espécie predominaram no município de São Mateus, esta alteração no padrão de encalhes pode sinalizar uma possibilidade de alteração na distribuição da espécie nos anos subsequentes ao desastre.

d. Taxa de distribuição espacial de encalhes de cetáceos do Espírito Santo em relação à foz do rio Doce

A distribuição espacial de carcaças de cetáceos na costa do Espírito Santo em relação à foz do rio Doce foi outro indicador utilizado para avaliação de impacto. Essa distribuição se apresentou diferente ao longo dos três anos de PMBA/Fest RRDM. Isoladamente na fase PMBA o indicador não ofereceu condições para conclusões relacionadas com o impacto.

e. Taxa de óbito para cetáceos do Espírito Santo por diagnóstico da causa da morte

Os resultados demonstraram que as principais causas envolvendo todas as espécies foram emalhes e processos infecciosos, ambos apresentaram 27% das ocorrências no primeiro ano de PMBA/Fest-RDDM, seguido de óbitos por traumas com 7% e 1% para obstrução alimentar.

Os casos de emalhes mantiveram seus percentuais altos ao longo dos três anos de PMBA, porém os casos de morte por infecções apresentaram uma queda com média de 9% no segundo e terceiro ano de monitoramento.

Prevalência de histopatologias

No Ano 3 PMBA/Fest-RRDM foram avaliadas mais de 350 amostras de tecido para a análise de histopatologias, oriundas de 50 espécimes. De acordo com os achados pulmonares, ao menos 70% dos espécimes foram compatíveis com o comprometimento da higidez. Observa-se que dos 36 espécimes que tiveram os pulmões analisados, 35 exibiam a saúde comprometida e 1 indivíduo estava com o tecido muito autolizado, impossibilitando a análise.

Muitas alterações ósseas foram descritas, desde origem traumáticas, patológicas e degenerativas, além de anomalias consideradas congênitas que se destacaram pelo alto índice de aparecimento nos espécimes da costa do estado do Espírito Santo, que podem estar relacionadas tanto a fatores genéticos quanto ambientais.

Todos os achados histopatológicos do Ano 3 PMBA/Fest-RRDM foram compatíveis com a literatura (DOMICIANO, 2012) e não divergiram dos resultados do Ano 1 e Ano 2, bem como os dados pretéritos de 2011, 2012 e 2013 avaliados no Ano 2 PMBA/Fest-RRDM.

Prevalência de patógenos bacterianos e fúngicos

No Ano 3 PMBA/Fest-RRDM, somente 15 amostras de microbiologia (bactérias e fungos) foram analisadas de 5 diferentes espécimes. Os microrganismos identificados, foram também encontrados no Ano 1 e Ano 2.

Alterações nas concentrações de elementos-traço em cetáceos

Com relação ao estado de saúde desses animais podemos destacar em relação às concentrações de elementos-traço, que as concentrações máximas de HgT em fígado de *Sotalia guianensis* estão acima do limite de tolerância estabelecido na literatura que pode causar danos hepáticos nos mamíferos marinhos (100 a $400 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, p. u.) para todas as regiões de estudo, exceto para a Região 2, próxima ao rio Doce.

As concentrações hepáticas em botos-cinza da região Barra do Riacho e as concentrações musculares em botos-cinza da Região Metropolitana, que antes haviam aumentado em relação ao Ano 1, permaneceram na mesma ordem de grandeza que os achados do Ano 2. Em relação a dados pretéritos, indivíduos de *Pontoporia blainvillei* da costa do Espírito Santo coletados no período de 2003 a 2015 apresentaram concentrações de HgT no músculo, fígado e rim similares ao PMBA/Fest-RRDM.

Para os demais elementos-traços, concentrações elevadas de Fe, Mn e Cd ainda foram encontradas em alguns indivíduos de *Sotalia guianensis* analisados no Ano 3. As concentrações medianas de Cd no rim para todas as regiões da costa de ES estão acima dos valores reportados na literatura.

Ainda, na região do rio Doce, as concentrações medianas de Mn no fígado e rim também subiram com o acréscimo de animais analisados neste RA2021. Alguns indivíduos apresentaram elevadas concentrações musculares de Fe na Região Extremo Sul.

Para as toninhas (*Pontoporia blainvillei*), não houve novos dados entre o RSE2021 e o presente RA2021. Desta forma, finalizando o Ano 3 do PMBA/Fest-RRDM, continuam em destaque as concentrações de Fe e Mn encontradas no fígado e a concentração de Cd no rim estão acima daquelas reportadas por alguns estudos.

Alterações nas concentrações de compostos organoclorados em cetáceos

Com relação às concentrações médias de compostos organoclorados nos cetáceos, foram encontradas altas concentrações de Σ PCB em botos-cinza das 5 regiões monitoradas, e no indivíduo macho de golfinho-de-dentes-rugosos, que excedem os valores de $17 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ lip sugeridos para desencadear efeitos deletérios em mamíferos marinhos. Além disso, essas concentrações são similares às reportadas para populações que residem em áreas que sofrem com a alta pressão antrópica. O monitoramento contínuo da área de estudo e aumento do número amostral por região demonstrou concentrações médias elevadas de compostos organoclorados ao longo de toda a costa do estado do Espírito Santo.

Alterações nas concentrações de compostos organobromados de origem antrópica e de origem natural em cetáceos

Avaliando-se as concentrações de compostos organobromados de origem antrópica e de origem natural os compostos metoxilados representaram mais de 90% do perfil para os cetáceos coletados, seguidos dos PBDEs e PBEB.

As concentrações encontradas nessas regiões são semelhantes e/ou uma ordem de grandeza maiores às observadas em locais altamente impactados na costa do Brasil, como a Baía de Guanabara, no estado do Rio de Janeiro. Em relação às toninhas, as concentrações de compostos organobromados de origem natural e antrópica se assemelham às do boto-cinza da mesma região.

Alterações nas concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) em Cetáceos

A presença de benzo(a)pireno (que possui cinco anéis aromáticos em sua composição) em botos-cinza e toninhas é um achado relevante. Em botos-cinza, este composto foi detectado em 22% dos indivíduos e em toninhas, foi detectado em 43%. 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 médias encontradas no presente período de monitoramento no tecido hepático de botos-cinza para o Σ HPAsUSEPA encontram-se na mesma ordem de grandeza que indivíduos da mesma espécie da Baía de Guanabara, RJ, exceto para a região São Mateus deste estudo, que apresentou valores uma ordem de grandeza superiores aos observados por Barros (2014).

Estrutura etária e sexual das populações de *S. guianensis* e *P. blainvillei*

Dos exemplares de boto-cinza analisados, a partir da determinação das idades, 55% eram maduros e 45% eram imaturos. Esse resultado representa uma reversão da proporção maduros: imaturos observada nos relatórios anteriores.

Portanto, os resultados obtidos com as duas metodologias agora divergem, e a continuidade do monitoramento e das análises é necessária para avaliar se houve mudança temporal nos padrões e se essa divergência é resultado da amostragem (que é cerca de 50% menor no caso das gônadas em relação aos dentes). Neste relatório também são apresentadas informações para a toninha (*P. blainvillei*), tendo sido reunido um número mínimo de amostras para análise estatística (N=16, lembrando que essa espécie só foi incluída no PMBA/Fest-RRDM em 2020).

A partir da análise de idade, 56% eram imaturos e 44% maduros. Esse resultado coincide com os obtidos no monitoramento realizado entre 2015 e 2019 na mesma área (N=45), em que 70,8% dos animais eram imaturos (MANHÃES et al. 2022).

Razão isotópica de C e N em amostras de *S. guianensis* e *P. blainvillei*

Ao longo dos três anos de monitoramento, foi realizada a análise de isótopos estáveis de carbono e de nitrogênio em 152 espécimes de três espécies de cetáceos: *Sotalia guianensis* (n=140, sendo oito filhotes), *Pontoporia blainvillei* (n=10) e *Steno bredanensis* (n=2). Os resultados em amostras de *S. guianensis* coletadas nos anos 1, 2 e 3 (n=132) apontam para uma separação em pelo menos três grupos: região 1 (São Mateus), regiões 2, 3 e 4 (rio Doce, Barra do Riacho e Metropolitana) e região 5 (extremo sul).

Esses resultados sugerem ecologia alimentar e área de forrageamento distintos para os indivíduos da espécie ao longo da costa do Espírito Santo, e é possível que essa separação esteja associada, pelo menos em parte da distribuição, a desembocadura e/ou entorno dos rios, com certa fidelidade de sítio dos indivíduos. Diante disso, um impacto local pode afetar toda uma população ecológica de *S. guianensis* em particular.

Ainda, os valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ de *P. blainvillei* foram distintos em relação aos indivíduos de *S. guianensis* coletados nas cinco regiões, sugerido que essas espécies ocupam nichos ecológicos distintos ou possuem baixa sobreposição de nicho na costa do Espírito Santo. O aumento do número de amostras tem possibilitado um entendimento mais claro e amplo da ecologia trófica das espécies de cetáceos investigadas.

Índices de diversidade e estruturação genética de cetáceos no litoral do Espírito Santo

No total, do Ano 1 ao Ano 3 (outubro de 2018 a setembro de 2021), foram recebidas 231 amostras de 11 espécies de cetáceos. Em relação ao Ano 2, no Ano 3 houve aumento no número de indivíduos analisados geneticamente.

a) *Sotalia guianensis* - diversidade e estruturação genética

Para todas as análises foi observado um aumento nos valores dos índices de estruturação em comparação ao Ano 2, reforçando a diferenciação entre os grupos.

Esses resultados, com um maior número amostral de todos os períodos e regiões avaliados, continuam evidenciando que os efeitos da presença do rejeito de minério no litoral do Espírito Santo, principalmente na região do rio Doce, podem não estar atuando em uma população grande e sim duas populações menores, o que pode significar efeitos mais acentuados à espécie na região.

Esses valores ressaltam a maior vulnerabilidade dessa população de *S. guianensis* a impactos ambientais, sendo justamente a população que se encontra na região mais afetada pelo rejeito de minério (RRDM, 2019 - RT23; RRDM, 2020 - RT36D).

Os resultados continuam demonstrando diminuição do número de haplótipos e da diversidade (nucleotídica e haplotípica) ao longo do tempo (pré-rompimento e pós-rompimento) em todas as diferentes regiões (Região Norte + Região Central, Região Extremo Sul).

O número de alelos (k) e os valores de heterozigidade observada (Ho) e esperada (He) foram de baixos a moderados para a maioria dos *locos* avaliados.

As análises genéticas de outubro de 2018 a setembro de 2021 demonstram que há clara diminuição da diversidade genética da espécie *Sotalia guianensis* no período posterior ao rompimento da barragem de Fundão (pós-rompimento). Os valores dos índices de estruturação (separação entre as populações), continuam significativos e foram maiores do que em relação ao Ano 2, com o aumento do número amostral principalmente para o período pós-rompimento da barragem de Fundão e mesmo considerando Região Norte + Região Central. Os resultados do DNA mitocondrial reforçam a ocorrência de mais de uma população dessa espécie no litoral do estado, uma associada ao rio São Mateus e ao rio Doce e uma terceira no Extremo Sul do estado.

Os resultados do DNA nuclear também evidenciaram mais de uma população, no entanto, ainda se faz necessário análises mais aprofundadas com um número amostral maior para esses marcadores.

b) *Pontoporia blainvillei* - diversidade genética e estruturação genética

Valores baixos de diversidade e baixa estimativa populacional (dados apresentados a partir dos sobrevoos tripulados) ressaltam a vulnerabilidade dessa população a impactos ambientais.

Esses resultados sustentam que há somente uma população de toninha (*Pontoporia blainvillei*) no litoral do Espírito Santo. Dados futuros de marcadores nucleares para essa espécie ajudarão a aumentar as informações sobre os valores de diversidade genética e estruturação genética.

A presença de praticamente um haplótipo e baixos níveis de diversidade genética para a espécie *Pontoporia blainvillei* são preocupantes uma vez que essa espécie está classificada como “*Criticamente em Perigo*”, de acordo com a Lista Nacional das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção (MMA, 2014) e sofre intensamente com os impactos decorrentes de capturas acidentais durante atividades pesqueiras na região e degradação do hábitat.

Interação dos cetáceos com a pesca

Para o Ano 3 na Interação com a pesca foram entrevistados 94 pescadores de seis comunidades pesqueiras.

Cinquenta pescadores relataram já ter tido captura acidental de cetáceos em seus equipamentos. Para 54,2% a pesca precisou ser interrompida em algum momento, 53,2% disseram ter que aumentar o esforço de pesca e 44,7% tiveram que buscar outras áreas de pesca. Dos 70 pescadores que observaram mudanças, 62,9% relataram a presença de peixes mortos ou doentes. Dos 94 pescadores entrevistados 57 (60,6%) afirmaram que houve mudanças em relação à avistagem de golfinhos e baleias após o rompimento da barragem, com a maioria (71,9%) informando que estes animais são vistos com menor frequência. Questionados por quanto tempo a pesca foi afetada, a grande maioria (96,8%) afirma que a pesca ainda é afetada.

Dronemonitoramento e caracterização de habitats com ROV

a. Padrões espaço-temporais das espécies indicadoras - Dronemonitoramento

O boto-cinza (*Sotalia guianensis*) apresentou uma redução significativa dos registros em alguns trimestres próxima à foz do rio Doce. A toninha (*Pontoporia blainvillei*) possui a sua distribuição muito restrita entre Comboios e a foz do rio Doce, sem nenhum registro na foz do rio Piraquê-Açu, com maior concentração na área em frente a Reserva Biológica de Comboios. Isso indica uma maior dependência da população remanescente das espécies, que já são altamente ameaçadas, a uma pequena área dentro da região mais impactada.

Pelas análises dos vídeos, verificou-se que a maior parte dos grupos de cetáceos está se alimentando, evidenciando a área como extremamente importante para o ciclo de vida desses animais, principalmente aqueles com a área de vida restrita, como é o caso da população endêmica de toninha que ocupa a região. Além disso, os elementos químicos oriundos dos rejeitos de mineração são incorporados nessas populações de megafauna marinha, principalmente por pertencerem a grupos que ocupam o topo da cadeia alimentar.

b. Cetáceos - Dronemonitoramento

As espécies de cetáceos avistadas foram *Sotalia guianensis* (boto-cinza), *Pontoporia blainvillei* (toninha) e *Steno bredanensis* (golfinho-de-dentes-rugosos), com 339 grupos avistados no total. *S. guianensis* e *P. blainvillei* foram as espécies mais observadas ao longo do monitoramento, com 647 e 207 indivíduos registrados, respectivamente.

A densidade de *S. guianensis* foi significativamente menor em alguns trimestres específicos, principalmente nos correspondentes a primavera e outono. Também chama atenção a ausência quase total de registros das espécies de pequenos cetáceos em todas as áreas monitoradas no segundo trimestre de 2021.

Em um estudo de estimativa populacional dos botos-cinza na região do rio Doce sugere que a espécie possui um alto grau de residência na região (Cepile, 2008). Durante todo o período amostral o comportamento de forrageamento (alimentação) estava presente, sendo este o principal uso registrado para todas as áreas amostradas.

A classificação etária de filhotes e juvenis representou entre 11% de todas as avistagens de botos-cinza. A diminuição do percentual de filhotes deve ser analisada a longo prazo para detectar um possível declínio populacional.

A área monitorada em Comboios se consolidou como o principal habitat usado pelas toninhas na região, destacando-se o comportamento alimentar, sempre presente nas amostragens.

A população de toninha localizada no Espírito Santo está geograficamente isolada, sendo a menor população em comparação com outras áreas de ocorrência da espécie (Siciliano *et al.*, 2002; Danilewicz *et al.*, 2012) o que ressalta a importância de mais estudos com a espécie em vida livre. No estudo com censo visual a partir de embarcação, realizado por Frizerra *et al.* (2012) na foz do rio Doce, nenhuma observação de toninha foi registrada, porém houve registros de encalhes na região.

Sobrevoos Tripulados

Foram registrados um total de 829 grupos de cetáceos, sendo possível identificar seis espécies: toninha (*Pontoporia blainvillei*), boto-cinza (*Sotalia guianensis*), golfinho-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*), golfinho-de-Risso (*Grampus griseus*), baleia jubarte (*Megaptera novaeangliae*) e baleia-franca-austral (*Eubalaena australis*).

a. Toninha (*Pontoporia blainvillei*)

Durante o período amostrado, os grupos de toninha foram registrados próximos à foz do rio Doce, principalmente ao sul de sua desembocadura.

Desta forma, espera-se que não mais de 388 sejam indivíduos maduros e não mais que 194 sejam fêmeas maduras (Danilewicz, 2003). Além disso, constatou-se que a população de toninhas do Espírito Santo é a menor e a que apresenta a área de vida mais restrita (2.366km²) entre todas as populações da espécie.

b. Boto-cinza (*Sotalia guianensis*)

Durante os períodos chuvosos, os grupos foram registrados mais próximos da costa (média= 4,7; DP= 3,5) do que nos períodos secos. Durante as cinco campanhas, as áreas do entorno do rio Doce concentraram as maiores densidades de grupos de boto-cinza.

Bioacústica

Foi demonstrado o efeito da turbidez das áreas mais impactadas pela lama na atenuação e degradação dos sinais acústicos (cliques de ecolocalização) usados pela toninha (*Pontoporia blainvillei*) na busca por alimento. Essa região ao sul do rio Doce, também apresentou alta densidade de grupos de boto-cinza (*Sotalia guianensis*).

a. Ocorrência e distribuição dos cetáceos identificados

Os cetáceos visualmente e acusticamente identificados correspondem às espécies *Sotalia guianensis* (boto-cinza), *Tursiops truncatus* (golfinho-nariz-de-garrafa), *Steno bredanensis* (golfinho-de-dentes rugosos) e *Pontoporia blainvillei* (toninha). Considerando os três anos de monitoramento, a distribuição e áreas de maior ocorrência de cada uma das espécies investigadas se sobrepueram entre si e com as áreas mais impactadas pela pluma de rejeitos.

Em termos da concordância das densidades distribuídas pela área de estudo, a espécie *Pontoporia blainvillei* foi a que apresentou maior grau de concordância ($W=0,703$) ao longo dos três anos de monitoramento, indicando uma possível fidelidade dessa espécie às áreas costeiras ao redor da foz do rio Doce.

A população remanescente da toninha da área de manejo FMA Ia apresentou distribuição mais restrita em comparação com as demais espécies. As maiores densidades foram encontradas ao sul da foz do rio Doce nos três anos de monitoramento, com a maioria das ocorrências fora das Unidades de Conservação APA Costa das Algas e REVIS de Santa Cruz. A toninha foi a espécie que apresentou maior grau de concordância entre sua ocorrência e distribuição ao longo dos três anos de estudo.

AVES MARINHAS

Rastreamento Remoto

De modo geral, todas as espécies permaneceram utilizando as mesmas áreas de forrageio no período pós-rompimento em comparação ao período pré-rompimento. *Phaethon aethereus* utiliza o entorno do Arquipélago para alimentação, explorando áreas a leste, na quebra da plataforma continental, e áreas ao sul, em direção à foz do rio Doce, podendo passar dos 200 km de distância da colônia. *Sula leucogaster* possui uma distribuição mais restrita no entorno de Abrolhos, realizando viagens mais curtas e com maior tendência de utilização da área compreendida entre o Arquipélago e a linha de costa. A análise de utilização da foz do rio Doce e adjacências por *Pterodroma arminjoniana* foi severamente impactada pela pandemia, pois as expedições à ilha da Trindade dependem do suporte logístico fornecido pela Marinha do Brasil, o qual foi interrompido no início da pandemia e persiste até o encerramento do presente relatório. No entanto, a comparação das probabilidades de uso da plataforma continental adjacente à foz do rio Doce indica que a espécie permaneceu utilizando a região no período pré-incubatório após o rompimento da barragem. Por fim, os dados de rastreamento remoto de *Thalassarche chlororhynchos* também demonstram que a espécie permaneceu utilizando a plataforma continental adjacente à foz do rio Doce durante viagens nos períodos reprodutivo e não reprodutivo.

Isótopos Estáveis (Ecologia Trófica)

Análises isotópicas de carbono e nitrogênio indicam uma tendência de continuidade de uso dos recursos alimentares no período pós-rompimento em comparação com amostras obtidas antes do rompimento, bem como nas comparações entre anos do período pós-rompimento, para as quatro espécies analisadas. No entanto, foram observadas diferenças estatísticas significativas ($p<0,05$) para $\delta^{13}C$ entre amostras de *S. leucogaster* obtidas no Ano 3 em relação ao Ano 1 e em relação ao período pré-rompimento, o que pode ser consequência de uma flutuação interanual na utilização de recursos alimentares, ou uma tendência de alteração na composição da dieta em direção a uma maior predominância de presas que ocorram em maiores distâncias da costa. Adicionalmente, foram observadas diferenças estatísticas significativas para $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ entre amostras de *T. chlororhynchos* obtidas antes e após o rompimento da barragem, as quais também podem estar associadas a flutuações interanuais na utilização de recursos alimentares. Apesar disso, as análises de nicho isotópico bidimensional apontaram uma forte sobreposição entre os períodos pré e pós, e entre os anos amostrados no período pós-rompimento para todas as espécies.

Elementos-traço (Contaminantes)

Em 2021 foi observado aumento significativo ($p < 0,05$) nas concentrações de Cr, Mn, Zn, Hg, Cd e Pb em penas de *S. leucogaster*. Para Mn e As no sangue de *S. leucogaster*, o aumento nas concentrações também ficou evidente. Em amostras de *P. aethereus*, também foi observado acréscimo nas concentrações de elementos-traço no Ano 3 para Cr, Cu, Mn e As, tanto em amostras de penas como de sangue. Para os elementos Cd, Hg e Pb essa tendência foi mais evidente em amostras de penas.

De modo geral, a mobilização de elementos para as penas, principalmente os não essenciais (incluindo Ni e Al, analisados pela primeira vez no Ano 3), pode representar um processo de desintoxicação nessas duas espécies, embora haja um recente aumento nas concentrações de As no sangue de ambas as espécies. Por fim, cabe destacar o aumento significativo de As e Cd observado em amostras de sangue e penas de *P. arminjoniana* e *T. chlororhynchos* no período pós-rompimento em relação ao pré-rompimento, além do aumento significativo nas concentrações de Fe, Hg e Pb no sangue de *T. chlororhynchos*. Em relação aos contaminantes orgânicos analisados em amostras de sangue e penas de *P. aethereus* e *S. leucogaster*, os três grupos considerados (PCBs, HPAs e pesticidas) apresentaram maiores concentrações no Ano 1 de amostragem em relação ao ano 3 (2021).

Genética de populações (Diversidade genética)

Sula leucogaster

Desvios consistentes no desequilíbrio de ligação não foram encontrados para nenhum conjunto de dados dessa espécie. Quando analisadas por ano de coleta, as amostras de *S. leucogaster* coletadas no ano de 2021 apresentaram o maior número de alelos (36) em comparação aos outros anos. No entanto, esse também foi o conjunto de dados com o maior tamanho amostral. O baixo tamanho amostral pode ter levado ao menor número de alelos encontrados para as amostras coletadas em 2019 e 2020. A comparação dos dados por ano de coleta não demonstrou substancial variação.

Phaeton aethereus

Não foram encontrados desvios consistentes do desequilíbrio de ligação para nenhum conjunto de dados dessa espécie. Os índices de diversidade gênica e riqueza alélica oscilaram pouco ao longo dos anos, e mesmo em comparação à amostragem feita antes do rompimento.

Pterodroma aminjoniana

A riqueza alélica da população amostrada pós-rompimento foi maior (3,97) do que a riqueza alélica na população amostrada antes do rompimento (3,81), refletindo um maior número de alelos encontrados nesta população. A PCoA mostrou dois grupos distintos em relação à composição alélica das populações amostradas antes e depois do rompimento. Há evidência de endogamia nesta população.

Demografia e Reprodução

Conforme dados do “Programa de Monitoramento das Aves Marinhas do Parque Nacional dos Abrolhos”, a população de adultos reprodutores de *S. leucogaster* mostrou uma preocupante diminuição na população entre 2018 (434 aves) e 2020 (190 aves). Por outro lado, o tamanho populacional atual de *P. aethereus* vem se mantendo estável, em torno de 700 indivíduos. Para *S. hirundinacea*, dados pretéritos compilados entre 1988 e 2006 por MESTRE *et al.* (2006) e outros colhidos em relatórios da Associação Vila-Velhense de Proteção Ambiental - AVIDEPA entre 2007 e 2015 em ilhas no estado do Espírito Santo mostram a população de *S. hirundinacea* pré-rompimento da barragem altamente variável com alguns anos atingindo cerca de 400-500 adultos e outros menos de 50. Os resultados obtidos para a espécie em 2021 (Tabela 6, A6MAS2) indicam apenas 50 indivíduos (junho + julho). No entanto, como as espécies de andorinhas-do-mar costumam mudar os locais de reprodução entre os anos e nem todas as ilhas do Espírito Santo foram amostradas, não foi possível avaliar a tendência populacional da espécie entre os períodos pré e pós-rompimento da barragem.

O estudo da fenologia reprodutiva mostrou que a reprodução de *S. leucogaster* na ilha Santa Bárbara vai de abril à julho, com a postura tendo seu pico em maio, com filhotes nascendo entre junho e julho e atingindo a idade de voo (*fledging*) em outubro. *P. aethereus*, na ilha Santa Bárbara, a maior do Arquipélago, tem seu pico reprodutivo nos meses de dezembro e janeiro, quando ocorre a maior postura. No entanto, percebe-se posturas ao longo de todo o ano, o que pode estar relacionado a novas posturas de casais que não tiveram sucesso ou novos casais iniciando seu ciclo reprodutivo. A taxa de eclosão *S. leucogaster* (2018-2020) foi estimada em 62% e a sobrevivência de ninhegos (*fledging success*) 89% no mesmo período. Para *P. aethereus*, a taxa de eclosão foi calculada em 22% e a sobrevivência de ninhegos 61%.

Saúde

Os resultados das análises hematológicas realizadas indicam que as aves estavam em condições satisfatórias de saúde. Foram pesquisadas e caracterizadas bactérias de interesse em saúde pública em aves marinhas amostradas na ilha da Trindade e no Arquipélago dos Abrolhos, sendo confirmada uma tendência crescente no número de aves positivas para os tipos de bactérias avaliadas ao longo dos três anos de monitoramento das aves marinhas. Em 2021, das 20 amostras de *S. leucogaster*, 18 tiveram crescimento em placa e múltipla resistência a antibióticos. Das 12 amostras de *P. aethereus*, 10 tiveram crescimento em placa e apresentaram múltipla resistência a antibióticos. Em 2021, as seguintes bactérias foram registradas: *S. aureus* e *E. coli*. As amostras de *swab* de orofaringe e cloaca foram negativas para os vírus testados (Influenza, Newcastle, Herpesvírus, Adenovírus, Circovírus e Avulavírus) para todas as amostras do período estudado. As amostras de sangue total de todas as aves testadas foram negativas para *Borrelia* spp.

O desenvolvimento de mecanismos de resistência a antibióticos em microrganismos potencialmente está relacionado à presença de altas concentrações de metais no ambiente. A continuidade de detecção de bactérias resistentes a antibióticos descritas para as aves monitoradas no relatório do primeiro ano de trabalho reforça a importância da continuidade do monitoramento da saúde das aves marinhas potencialmente impactadas pelo rompimento da barragem de Fundão.

Apesar do potencial zoonótico da maior parte das bactérias gram-negativas, muitas das cepas fazem parte da microbiota de aves marinhas, desempenhando um importante papel na manutenção da saúde do organismo, facilitando a absorção de nutrientes, desintoxicação e interações com o sistema imunológico.

Contagens de aves na foz do rio Doce e adjacências - Costa

Ao longo dos três anos de amostragem foram registradas 42 espécies de aves aquáticas, pertencentes a 16 famílias e 7 ordens, utilizando a foz do rio Doce e a costa adjacente, sendo 35, 27 e 29 o número de espécies registradas nos Anos 1, 2 e 3, respectivamente. Deste total, 28 são residentes e 14 são espécies migratórias Neárticas, as quais se reproduzem no Hemisfério Norte e invernam no Hemisfério Sul. Oito espécies foram registradas apenas no Ano 1 (*Mycteria americana*, *Syrigma sibilatrix*, *Calidris pusilla*, *Tringa melanoleuca*, *Stercorarius pomarinus*, *Larus dominicanus*, *Sternula supercilialis* e *Sterna dougalli*), três espécies foram registradas apenas no Ano 2 (*Butorides striata*, *Calidris fuscicollis* e *Sterna paradisaea*), e cinco espécies foram registradas apenas no Ano 3 (*Nycticorax nycticorax*, *Platalea ajaja*, *Gallinula galeata*, *Himantopus melanurus*, e *Chroicocephalus cirrocephalus*). O número total de aves aquáticas registradas foi de 21.939 indivíduos, sendo que 33% destes foram registrados nos meses de amostragem do Ano 1, 34% ao longo dos meses de amostragem do Ano 2, e 33% ao longo dos meses de amostragem do Ano 3. As duas espécies mais abundantes, *Sterna hirundo* (n = 8223, migrante do Hemisfério Norte) e *Thalasseus acuflavidus* (n = 7563, residente), corresponderam a 72% do número total de indivíduos registrados. As 6 espécies mais abundantes (n>500) corresponderam a 88% dos registros, que, além das duas espécies supracitadas, inclui *Phaetusa simplex* (n = 1167, residente), *Calidris alba* (n = 1033, migrante Neártica), *Charadrius collaris* (n = 795, residente), e *Charadrius semipalmatus* (n = 583, migrante Neártica).

Dentre as 42 espécies de aves aquáticas registradas no total do período, seis estão classificadas como ameaçadas em nível nacional (Portaria MMA 444/2014), sendo duas classificadas como ‘Em Perigo’ (*Thalasseus maximus* e *Calidris pusilla*), duas como ‘Vulnerável’ (*Sterna hirundinacea* e *Sterna dougalli*) e outras duas classificadas como ‘Quase Ameaçada’ (*Arenaria interpres* e *Haemantopus palliatus*). *Calidris pusilla* está classificado globalmente na categoria ‘Quase Ameaçada’.

A maior abundância e riqueza na assembleia de aves aquáticas ocorreu nos setores junto à foz do rio Doce. As espécies mais abundantes são da Família Sternidae, cuja área de forrageio principal são as águas costeiras e os estuários, englobando espécies migratórias, mas também que se reproduzem nas ilhas costeiras do Espírito Santo. A concentração das assembleias de aves aquáticas na foz do rio Doce se deve principalmente à oferta de local protegido para repouso e alimentação. Mais especificamente, é o principal local de repouso para as aves da família Sternidae, que correspondem a mais de 70% dos registros totais do relatório.

Contagens de aves na foz do rio Doce e adjacências - Mar

Do total de 28 espécies registradas ao longo de todo o período das amostragens, 9 são consideradas residentes no Brasil, 12 espécies são migrantes do Hemisfério Sul, enquanto 7 são migrantes do Hemisfério Norte. Do total de espécies registradas, 5 são classificadas como ameaçadas em nível global, sendo 5 destas também ameaçadas em nível nacional, além de outras 4 espécies ameaçadas em nível nacional apenas. A família mais representativa foi Procellariidae, com dez espécies. O número de espécies registradas apresentou diferença entre os anos, e tanto a riqueza como a frequência de ocorrência das aves marinhas variaram espacialmente (entre as transecções) e temporalmente (entre os anos) na área amostrada. Durante o monitoramento de fevereiro de 2021 (Ano 3) foram registradas 10 espécies, com a presença de uma nova espécie: *Stercorarius parasiticus*, enquanto em julho de 2021 foram registradas 10 espécies, totalizando 15 espécies registradas em 2021.

Durante os censos contínuos e instantâneos, 796 indivíduos foram contabilizados entre outubro de 2018 e setembro de 2019 e a densidade geral de aves marinhas para a área foi de 0,472 aves/km². Entre outubro de 2019 e março de 2020 (Ano 2), 410 indivíduos foram contabilizados nos censos contínuos e instantâneos, e a densidade de aves marinhas foi de 0,981 aves/km². Por fim, em fevereiro/março e em julho de 2021 foram registradas 329 aves nos censos contínuos e instantâneos, e a densidade de aves foi de 0,861 aves/km². O Ano 1 foi aquele com menor densidade de aves quando comparado aos anteriores, e uma densidade maior de aves foi registrada no período seco deste ano quando comparado ao período chuvoso. O mesmo padrão pode ser observado para o Ano 3, com densidade maior de aves no período seco. Quando comparamos as estações, o período chuvoso do ano dois foi aquele com maior densidade de aves. Considerando a densidade para todas as espécies em conjunto, mais indivíduos foram encontrados próximo à Abrolhos no período chuvoso de 2018/2019 e no período seco de 2019, enquanto no período chuvoso de 2019/2020 uma maior densidade de aves foi observada próxima à foz do rio Doce. Quando considerada a densidade a partir de todos os registros de aves marinhas durante os embarques no Espírito Santo para todos os períodos, entre 2018 e 2021, podemos observar índices mais elevados próximos ao Parque Nacional Marinho de Abrolhos e à foz do rio Doce.

Encalhe de aves nas praias

Os dados de encalhe foram extraídos da plataforma SIMBA para os períodos entre outubro de 2017 e julho de 2021, e foram encontradas 45 espécies de aves pertencentes a 18 famílias e 8 ordens encalhadas ao longo do litoral do estado do Espírito Santo. As espécies presentes nos registros de 2021, que não foram registradas anteriormente foram *Charadrius semipalmatus* e *Himantopus melanurus*, encalhados ainda vivos. Dentre as espécies registradas, duas estão avaliadas como ameaçadas de extinção em nível global e nacional (*Thalassarche chlororhynchos* e *Procellaria aequinoctialis*), e duas espécies ameaçadas em nível nacional (*Phaethon aethereus* e *Thalasseus maximus*). Foram registrados 580 indivíduos encalhados na costa do estado do Espírito Santo entre setembro de 2017 e julho de 2021, dos quais 567 foram identificados em nível taxonômico de gênero e espécie (Tabela 109). Deste total, 234 foram encontrados mortos e 333 vivos. As espécies mais abundantes foram *Sula leucogaster* (n = 86), *Puffinus puffinus* (n = 77), *Thalasseus acuflavidus* (n = 69), *Sterna hirundo* (n = 51), *Procellaria aequinoctialis* (n = 34), *Anous stolidus* (n = 27) e *Fregata magnificens* (n = 19), as quais corresponderam a 64% do total de registros.

Os encalhes estão distribuídos ao longo de toda costa, com exceção de 2017 e do período seco de 2021. Houve mais encalhes nos períodos secos (n = 301; média = 75,2) quando comparados aos períodos chuvosos (n = 266; média = 66,5). A temporada com maior ocorrência de encalhes foi o período seco de 2020 (n = 104).

Em relação aos encalhes de aves marinhas nas adjacências da foz do rio Doce, a composição da assembleia de aves reportadas para o período pelo PMP reflete a avifauna marinha costeira que normalmente utiliza a costa brasileira para reprodução, alimentação e descanso, com espécies residentes e migratórias do sul e do norte. Entre elas, estão espécies residentes, como *F. magnificens*, *S. leucogaster* e *L. dominicanus*, e também migratórias transequatoriais, como *C. alba*, *A. interpres*, *P. puffinus*, e *S. hirundo*.

Padrões espaço-temporais das espécies indicadoras - Dronemonitoramento

Durante os três anos de coleta sistematizada foram observados 1867 registros de aves marinhas e costeiras nas três áreas de monitoramento, com um total de 4952 indivíduos. Foram identificadas 9 espécies de aves: *Fregata magnificens*, *Phaetusa simplex*, *Mycteria americana*, *Sula leucogaster*, *Sterna hirundo*, *Thalassarche sp.*, *Egretta thula*, *Nannopterum brasilianus* e *Sula dactylatra*. Para avaliar a densidade, todos os registros de aves marinhas e costeiras foram agrupados. O dronemonitoramento resultou em até 95 avistagens/km² de aves na foz do rio Doce, considerando todo o período monitorado. A densidade de registros foi menor em Comboios e na foz do rio Piraquê-Açu com meses sem registros (até 50 avistagens/km²). A família Sternidae foi identificada como a mais abundante em todas as áreas monitoradas. Ocorreu um pico em janeiro de 2019, devido ao registro de revoadas com mais de 200 indivíduos na foz do rio Doce.

TARTARUGAS MARINHAS

O relatório destaca os seguintes impactos (11) para Tartarugas Marinhas, por agrupamento:

CONTAMINAÇÃO POR COMPOSTOS ORGÂNICOS - 1) Níveis elevados de contaminantes orgânicos causadores de lesões hepáticas em *Chelonia mydas*, na área afetada, para o primeiro ano de monitoramento do PMBA; e 2) Alta concentração de contaminantes orgânicos no sangue de *Chelonia mydas* detectado para o primeiro ano de monitoramento do PMBA;

CONTAMINAÇÃO POR METAIS E METALOIDES - 3) Transferência de contaminante do sedimento para os ovos de tartarugas *Caretta caretta*, durante o período de incubação, detectado no primeiro ano (2018/2019) de monitoramento do PMBA;

ALTERAÇÃO NOS PARÂMETROS REPRODUTIVOS - 4) Alteração nos parâmetros reprodutivos (tempo de incubação, sucesso de incubação e sucesso de eclosão) de *Caretta caretta* detectado no primeiro ano (2018/2019) de monitoramento do PMBA. Com relação a este tópico, ressalta-se que estes resultados não foram observados nos relatórios do monitoramento reprodutivo de tartarugas marinhas, realizado pela Fundação Projeto Tamar-FPT. Assim, é importante entender a metodologia utilizada para obtenção desses resultados e aprimorar a discussão entre as equipes envolvidas (RRDM/Fest e FPT);

ALTERAÇÃO NA DIVERSIDADE GENÉTICA - 5) *Dermodochelys coriacea* apresentou menor diversidade genética considerando os três anos de monitoramento do PMBA; 6) *Chelonia mydas* apresentou menor diversidade haplotípica e menor tamanho populacional efetivo considerando os três anos de monitoramento do PMBA; 7) *Caretta caretta* apresentou menor diversidade haplotípica considerando os três anos de monitoramento do PMBA; e 8) Perda de haplótipos de linhagens mitocondriais endêmicas do Atlântico Sudoeste para as populações de *Caretta caretta* e *Chelonia mydas*, considerando os três anos de monitoramento do PMBA;

ALTERAÇÃO NOS PARÂMETROS DE SAÚDE E FISIOLOGIA - 9) *Chelonia mydas* com parâmetros de saúde piores, altas concentrações de metais no sangue e maior prevalência de fibropapilomatose na área impactada considerando os três anos de monitoramento do PMBA;

DOENÇAS E PRESENÇA DE AGENTES INFECCIOSOS - 10) Influência negativa dos contaminantes na saúde, aparecimento de lesões oftalmológicas e tumores sugestivos de fibropapilomatose em *Caretta caretta* na área de desova, nos três anos de monitoramento do PMBA; e

ALTERAÇÃO DO USO DO HABITAT - 11) Alta sobreposição de tartarugas marinhas (família Cheloniidae) com a região de maior aporte de rejeitos provenientes do rompimento da barragem de Fundão ao longo dos anos monitorados.

Os impactos relacionados à alteração nos parâmetros reprodutivos, de saúde, fisiologia, uso do hábitat, 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 foi definido como impacto indireto; e para os demais impactos não há relação definida ainda. Os impactos relacionados à alteração de parâmetros reprodutivos e diversidade genética foram considerados altos, e os de alteração dos parâmetros de saúde e fisiologia, doenças e presença de agentes infecciosos, e alteração de uso do hábitat foram considerados críticos.

Genética

O relatório indica uma redução significativa nas diversidades haplotípicas e nucleotídicas para as populações das três espécies de tartarugas marinhas do ES avaliadas, quando os períodos e áreas foram comparados. Além disso, foi diagnosticada perda de haplótipos de linhagens mitocondriais endêmicas do Atlântico Sudoeste para as populações de *C. caretta* e *C. mydas* do ES, bem como uma das menores diversidades relatadas para áreas de alimentação de *C. mydas* no Atlântico Sul. A situação de *D. coriacea* da foz do rio Doce (ES) é a mais delicada, pois detectou-se um dos menores índices de diversidade genética, considerando dados da literatura especializada.

Ao longo dos três anos de monitoramento foi detectado uma redução do número de alelos e da riqueza alélica nas populações de *C. mydas* entre as áreas estudadas. Dados da literatura consultada demonstram que os metais pesados podem, além de diminuir a resposta imune, deixar os animais mais vulneráveis (suscetíveis) às doenças diversas, como foi observada para *C. mydas*, especificamente, nas áreas impactadas do ES (APA Costa das Algas).

Durante a reunião de esclarecimentos de dúvidas com os pesquisadores e Renova foi informado que não foi observada melhora da situação a partir das análises mais recentes, sendo mantida a baixa diversidade para *C. caretta* e *C. mydas* em relação à área controle e pré desastre. Para todas as espécies foi verificado reduzido tamanho populacional.

Saúde

a. *Chelonya mydas*

Em relação aos dados de biometria, o relatório indica que no Ano 3, assim como no Ano 1, as *C. mydas* da área impactada do ES (APA Costa das Algas) foram menores e mais leves do que as da área não-impactada na Bahia (Coroa Vermelha), mas com um índice corporal (IC) ligeiramente maior, sendo que no Ano 2 as tartarugas de Coroa Vermelha eram menores e mais leves, porém o IC continuou sendo maior na APA Costa das Algas.

Sobre a presença de epibiontes, apenas no Ano 1 as tartarugas da APA apresentaram menor presença desses organismos; tais diferenças não foram encontradas nos anos 2 e 3. A infestação por ectoparasitas se manteve maior nas tartarugas da APA Costa das Algas, em todos os anos, assim como a maior prevalência de fibropapilomas. Apesar das tartarugas de Coroa Vermelha apresentarem fibropapilomas, nenhuma apresentou escore severo da doença, enquanto na APA Costa das Algas, 16,4%, 9,4% e 9,8% dos animais apresentaram escore

severo no Ano 1, 2 e 3, respectivamente. A prevalência de fibropapilomatose foi maior na APA do que em Coroa Vermelha nos 5 anos anteriores a 2021, com uma queda em 2020, mas ainda superior do que em Coroa Vermelha.

Quanto aos parâmetros hematológicos, as tartarugas da área afetada pela pluma principal de rejeitos apresentaram menores valores de hemoglobina, que se refletiram nos índices hematimétricos (HCM e CHCM), em todos os anos. No Ano 3, as tartarugas da APA Costa das Algas também apresentaram menor contagem de hemácias. A diminuição desses parâmetros (Hb, RBC, MCH e MCHC) define um quadro de anemia, que, segundo o relatório, pode estar associada a maior presença de ectoparasitas nesses animais. As tartarugas da APA Costa das Algas também apresentaram maiores contagens de leucócitos, trombócitos e heterófilos, nos 3 anos de monitoramento, e menores contagens de linfócitos no Ano 3. De maneira geral, o relatório indica que esses dados clínicos sugerem que as tartarugas da APA Costa das Algas possuem um déficit fisiológico no transporte de oxigênio pelas hemácias causado pelos níveis mais baixos de hemoglobina e maior desafio microbiano ou inflamatório que se reflete em maiores níveis leucocitários heterofílicos. A trombocitose pode aparecer em resposta a tumores (como fibropapilomas), inflamação crônica, sangramento ou deficiência de ferro.

Quanto aos parâmetros bioquímicos, no Ano 3, voltou a se encontrar alterações em parâmetros observados no Ano 1, que não foram encontradas no Ano 2 possivelmente em função do baixo N amostral daquele período, como níveis mais elevados de ALT, AST, fosfatase alcalina e fósforo e menores níveis de cálcio, CPK e globulina. Tais parâmetros podem indicar diminuição da síntese de anticorpos, doença renal e doença hepática.

Em relação aos metais pesados, foi feita apenas uma análise preliminar dos resultados, com a justificativa de que os dados foram recebidos em um prazo curto para a elaboração desse relatório. Foi indicado que a discussão desses resultados será apresentada em um adendo posterior. A análise realizada indica que nos Anos 1, 2 e 3 os animais de ambos os locais apresentaram um perfil semelhante na ordem de distribuição dos metais no sangue, sendo os metais essenciais (Fe, Zn, Mn, Cu, Cr) em maiores quantidades do que os metais tóxicos (As, Cd, Hg, Pb). No Ano 3, diversos parâmetros de saúde se correlacionaram com os metais tóxicos sugerindo que esses metais estão impactando a fisiologia dos animais nessa área, conforme observado em outros estudos no mundo.

b. *Caretta caretta*

Em relação à condição corporal dos animais avaliados, nos anos 1, 2 e 3, os animais de Povoação-ES apresentaram a condição corporal pior do que as tartarugas da área controle, com maior carga epibiótica e maior contagem de parasitas, além de apresentarem lesões oculares e tumores sugestivos de fibropapilomatose. No Ano 3, observa-se que as tartarugas do ES apresentaram menores contagens de leucócitos, heterófilos e monócitos, e maiores contagens de trombócitos e linfócitos, o que, de acordo com o relatório, pode estar relacionado a doenças inflamatórias, infecções parasitárias, resposta a tumores (como fibropapilomas) e/ou função imune suprimida, sendo necessário avaliar também a interferência nas condições ambientais resultantes da presença de rejeitos de mineração na saúde das tartarugas marinhas.

Quanto aos metais pesados, assim como para *C. mydas*, foi feita apenas uma análise preliminar dos resultados. Analisando as concentrações de metais no sangue das tartarugas amostradas no Ano 1, 2 e 3, observa-se que a ordem de distribuição dos metais no sangue segue o esperado de que os metais essenciais estão em maior quantidade (Zn, Fe, Cu, Mn, Cr) pois são regulados homeostaticamente, enquanto os metais não essenciais (As, Cd, Hg, Pb) não são controlados ativamente e podem mudar de acordo com o nível de exposição. Além disso, os ovos recém colocados apresentaram concentrações detectáveis de todos os metais analisados, demonstrando que houve transferência materna, sendo que a ordem dos metais nos ovos nos três anos de monitoramento também seguiu o padrão dos metais essenciais em maiores proporções, corroborando outros autores que verificaram que os metais essenciais são transferidos facilmente pois são necessários para o desenvolvimento do embrião, enquanto os metais não essenciais transferidos em pequenas quantidades.

Durante a reunião de esclarecimentos de dúvidas com os pesquisadores e Renova foi informado que não foi observada melhora da situação para as espécies analisadas a partir das análises mais recentes, sendo observado, por exemplo, piores condições da *C. mydas* na região da APA em relação à área controle.

Sobrevoos-Bioacústica

Os dados de Dronemonitoramento indicam que a tartaruga-verde (*Chelonia mydas*) foi a mais registrada, com alguns registros das espécies *Dermochelys coriacea*, *Caretta Caretta* e *Lepidochelys olivacea*. Em relação a avaliação espacial, a tartaruga-verde ocorreu em maior concentração de registros na foz do rio Piraquê-Açu, com a presença de 91% de tartarugas-verdes juvenis no Piraquê-Açu, identificando este local como o mais importante para a espécie dentre os pontos amostrados. O forrageamento foi o principal comportamento registrado em todas as áreas. A proporção de juvenis de tartarugas marinhas também foi maior em todos os pontos monitorados, sendo que em Comboios e na foz do rio Doce há uma maior concentração de indivíduos adultos, já que é uma importante área reprodutiva de tartaruga-cabeçuda e tartaruga-de-couro. Em Comboios, por exemplo, 28% dos registros são de indivíduos adultos das espécies *C. caretta* e *D. coriacea*.

Em relação à Avaliação do hábitat com ROV, foram identificados sete tipos de fundo que representam distintos habitats marinhos utilizados pela megafauna monitorada: 1) areia; 2) areia com fragmentos (principalmente de conchas de organismos bentônicos e algas); 3) areia e lama (sedimento relativamente mais fino, intercalado por faixas de lama fluida), 4) briozoários, esponjas e algas (possui predomínio de invertebrados bentônicos sésseis, intercalados por faixas de areia grossa); 5) estruturas Recifais (representa recifes expressivos intercalados por sedimento areia e cascalho); 6) rodolitos (representa grande quantidade de nódulos de algas calcárias sobre o sedimento inconsolidado); e 7) lama (representa sedimento relativamente mais fino que areia, com grande disponibilidade na coluna d'água, podendo ser classificado também como "lama fluida").

Sobre os resultados dos Sobrevoos tripulados, os grupos de tartarugas marinhas foram registrados a uma distância máxima de 41,8 km da costa (média= 8,54; DP= 9,68), sendo que durante os períodos chuvosos os grupos foram registrados mais próximos da costa (média= 6,64; DP= 6,92) do que nos períodos secos (média= 15,23; DP= 14,13) ($p < 0,001$). O mesmo padrão foi observado em relação a profundidade, com os grupos ocupando águas mais rasas durante o período chuvoso (média= 12,06; DP= 7,72) e mais profundas durante o período seco (média= 29,68; DP= 46) ($p < 0,001$). Durante as cinco campanhas, as tartarugas marinhas foram registradas ao longo de toda a área de estudo, com taxas de encontro maiores sempre registradas no período chuvoso.

O relatório destaca, no Material Suplementar 2022: MRAM, o seguinte impacto para tartarugas marinhas: Alta sobreposição de tartarugas marinhas (família Cheloniidae) com a região de maior aporte de rejeitos provenientes do rompimento da barragem de Fundão ao longo

dos anos monitorados, indicando que tal impacto tem relação Direta com o rompimento da barragem e a foz do rio Doce e 30km ao sul como abrangência espacial.

Durante a reunião de esclarecimentos de dúvidas com os pesquisadores e Renova, foi informado que o monitoramento desse projeto vem sendo alterado, conforme novo plano de trabalho. Os sobrevoos serão excluídos, tendo sido mantido o monitoramento por drone, que terá maior autonomia e cobrirá a área amostrada pelo sobrevoos. A periodicidade será trimestral. Assim, pretende-se aprimorar as análises, com identificação de uso de habitat em toda a área, o que não foi possível pelo monitoramento de sobrevoos. Foram também identificados os locais que permanecerão monitorados por ROV, que serão mais bem estudados, com identificação de riqueza, diversidade e integridade dos ambientes com maior uso pela megafauna.

4.3.7.2 Conclusão

As maiores concentrações da megafauna se encontram próximas ou dentro das áreas mais impactadas pela lama de rejeito. Em dois desses *hostspots* identificados (sul da foz do rio Doce e APA Costa das Algas) ficou evidente a grande intensidade de uso como área de alimentação dos animais avistados, indicando uma possível vulnerabilidade das espécies a incorporação de poluentes através da cadeia alimentar (com possíveis efeitos da biomagnificação) e a possíveis consequências de alterações ecossistêmicas (com influência na qualidade e quantidade de recursos alimentares) derivadas dos impactos causados pela lama do rejeito.

Segundo o relatório, potenciais efeitos da contaminação do sistema têm sido observados nos diferentes grupos monitorados, a exemplo das lesões oculares em tartarugas marinhas, altas taxas de contaminantes nos tecidos de aves e cetáceos, baixo sucesso reprodutivo das aves marinhas que nidificam em Abrolhos, e aumento do número de botos-cinza mortos nas praias (encalhados).

A grande maioria dos impactos identificados na área de escopo do PMBA/Fest-RRDM tem abrangência espacial em uma escala regional e estão afetando os níveis superiores da cadeia trófica do ecossistema marinho (megafauna). Esse fato demonstra claramente que a evolução temporal do comportamento esperado para um evento da natureza do rompimento da barragem de Fundão está em pleno curso, evidenciando atualmente seus efeitos mais crônicos, duradouros e de maior importância ecológica, especialmente quando são considerados os diferentes níveis tróficos afetados e os danos causados ao patrimônio genético da biodiversidade aquática na área impactada. Neste contexto, é de suma importância destacar o fato de que a grande maioria dos impactos tem duração permanente, especialmente no ambiente marinho, ou seja, estão sendo sempre verificados neste ambiente, independente do período ou das condições existentes quando o monitoramento é realizado.

CETÁCEOS

O monitoramento embarcado, por ponto fixo, bioacústica, sobrevoos e dronemonitoramento apresentaram resultados sobre a continuidade da utilização das áreas contaminadas, pelos rejeitos de minérios, pelos cetáceos. Os dados dos monitoramentos evidenciaram a exposição continuada aos minérios, atribuída, principalmente, pelo comportamento de alimentação dos espécimes nas áreas impactadas, possibilitando o acúmulo de contaminantes nos tecidos dos mamíferos marinhos, acarretando alterações nos organismos.

Conforme resultados apresentados no 3º Relatório Anual de Evolução de 2021 (RA 2021), na fase crônica, período pós-rompimento da barragem de Fundão, os cetáceos continuam apresentando alterações devido aos impactos dos rejeitos, tais como: menores valores de diversidade genética, alteração no uso do habitat, alteração nos parâmetros de saúde e fisiologia, aumento das taxas de encalhes, continuidade dos achados histopatológicos e presença de agentes infecciosos.

Nos tecidos dos espécimes de cetáceos foram encontradas elevadas concentrações de: hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), compostos organobromados, compostos organoclorados, elementos-traço como ferro, manganês, mercúrio e cádmio, nos respectivos parâmetros monitorados.

Em relação ao parâmetro "*Ecologia trófica a partir de isótopos estáveis*", os resultados apresentaram diferentes populações de botos-cinza (*Sotalia guianensis*) e no parâmetro "*Diversidade e Estruturação genética*", os dados evidenciaram menores valores de diversidade genética para botos-cinza (*S. guianensis*) e toninhas (*P. blainvillei*). Esses achados indicam a maior vulnerabilidade dessas populações.

Diante do exposto, em virtude dos constantes impactos dos rejeitos de minérios sobre os cetáceos, estes ameaçados de extinção e residentes da área, ressalta-se sobre a importância da continuidade do PMBA, com o objetivo de monitorar os parâmetros já estabelecidos, juntamente a adoção de possíveis medidas corretivas, com o intuito de avaliar, periodicamente, a efetividade das estratégias adotadas e minimização dos impactos sobre o táxon.

Análise de Impactos

Em relação a Matriz de Resultados, que estabeleceu a classificação dos impactos observados e sua relação com o rompimento da barragem de Fundão, os resultados referentes aos cetáceos são os seguintes: impactos com valores críticos estão representados pela alteração da diversidade genética (categoria Genética) e alteração no uso do habitat (categoria Comportamento); impactos com valores altos estão representados pela contaminação por metais e metalóides (categoria Química), alteração nos parâmetros de saúde e fisiologia e mortalidade de organismos de cetáceos (categoria Saúde) e nas taxas de encalhe de cetáceos (categoria Comportamento); impactos com valores de nível médio estão representados pelas doenças e presença de agentes infecciosos (categoria Saúde).

Ao longo desses três anos do PMPBA/FEST-RRDM foi possível observar que houve um aumento crescente no número de encalhes de cetáceos.

A análise das taxas de encalhes anuais sugere influência do impacto sobre as populações de boto-cinza e toninha, com aumento de encalhes para o boto mais acentuado na fase aguda do rompimento da barragem (fase pré-PMBA/Fest-RRDM, início do aumento em 2015 à 2017, com maior ocorrência no período chuvoso) e para toninha na fase crônica (fase PMBA/Fest-RRDM aumento acentuado nos anos 2019 e 2020, período chuvoso).

De maneira geral, notou-se uma preferência do uso da área de influência do rio Doce para alimentação durante a estação seca, enquanto na estação chuvosa o uso preferencial foi maior na área do rio Piraquê-Açu.

Ao longo dos três anos de estudo foram registrados grupos *S. guianensis* em comportamento de alimentação e com a presença de indivíduos imaturos na composição dos grupos na área criticamente afetada pelo rejeito de minério. Tratando-se de uma espécie classificada como "*Vulnerável*" no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada (2018), há uma grande preocupação no que se refere a

um provável declínio populacional da espécie na região. Azevedo e colaboradores (2017) relatam o primeiro declínio em uma população da espécie na baía da Guanabara e citam como prováveis motivos a exposição à poluentes imunossupressores e desreguladores endócrinos, tais como metais pesados, que contribuem para a mortalidade e uma possível diminuição nas taxas de sobrevivência e reprodutiva.

Elevadas concentrações de ferro, manganês, mercúrio e cádmio foram encontradas no fígado e rins de *S. guianensis* durante todo o PMBA (RRDM, 2021, C). Manhães e colaboradores (2022) detectaram tendências temporais crescentes de Hg e Zn em músculo e fígado de *P. blainvillei*, espécie classificada como “*Criticamente ameaçada*” (Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada, 2018).

Os menores valores de diversidade genética para *Sotalia guianensis* (boto cinza) continuam sendo observados para a região sobre maior influência do rio Doce e para o período pós-rompimento. Para a espécie *Pontoporia blainvillei* (toninha), continua sendo observada uma baixa diversidade genética mitocondrial.

A identificação de diferentes populações de *Sotalia guianensis* no litoral do Espírito Santo, pode representar que os impactos aplicados à região do rio Doce e outros pontos do litoral podem não estar sendo efetuados em uma população grande e sim em populações menores, e que por isso os efeitos podem ser mais acentuados. Uma população pequena tende a uma homogeneidade genética e com isso menor poder adaptativo a pressões ambientais. Resultados de análises de isótopos estáveis de cetáceos, também apresentados no relatório, sugerem a provável presença de mais de uma população ecológica no litoral do Espírito Santo.

As maiores concentrações da megafauna se encontram próximas ou dentro das áreas mais impactadas pela lama de rejeito. Em dois desses *host-spots* identificados (sul da foz do rio Doce e APA Costa das Algas) ficou evidente a grande intensidade de uso como área de alimentação dos animais avistados, indicando uma possível vulnerabilidade das espécies a incorporação de poluentes através da cadeia alimentar (com possíveis efeitos da biomagnificação) e a possíveis consequências de alterações ecossistêmicas (com influência na qualidade e quantidade de recursos alimentares) derivadas dos impactos causados pela lama do rejeito.

Ressalta-se sobre a presença de uma população de cetáceo isolada pertencente a uma espécie altamente ameaçada que é a toninha (*Pontoporia blainvillei*). No período monitorado, foi constatada a presença de não mais do que 194 fêmeas em idade reprodutiva e há indícios de redução gradativa da área de ocupação desse restrito grupo de animais com predominância ao sul da foz do rio Doce, área mais impactada pela lama de rejeito. Dessa forma, medidas de proteção e recuperação dessa área visando a redução desse e demais impactos que atingem essa e as demais espécies são urgentes.

Foi demonstrado o efeito da turbidez das áreas mais impactadas pela lama na atenuação e degradação dos sinais acústicos (cliques de ecolocalização) usados pela toninha (*Pontoporia blainvillei*) na busca por alimento. Essa região ao sul do rio Doce, também apresentou alta densidade de grupos de boto-cinza (*Sotalia guianensis*).

Os resultados do PMBA/Fest-RRDM têm demonstrado que os cetáceos e outras espécies estão expostos a diversos fatores que podem causar impacto tanto na saúde dos organismos, quanto no ecossistema e que ainda há lacunas de conhecimento quanto às condições pós-rompimento da barragem. Por isso, todas as alterações, patologias e índices investigados neste monitoramento são importantes na avaliação da saúde e do ambiente, sendo imprescindível sua continuidade para a identificação das causas e efeitos justificáveis das alterações encontradas.

AVES

O rastreamento remoto das aves marinhas que utilizam a foz do rio Doce e adjacências indica uma continuidade no uso da região, dependendo da escala espacial em que o fenômeno é observado. Embora tenha sido registrada redução na presença geral de aves em algumas áreas, as aves marinhas e costeiras permanecem utilizando o espaço e os recursos alimentares na foz do rio Doce e adjacências, sem alterações substanciais nas áreas de alimentação e no nicho trófico entre os períodos pré e pós-rompimento da barragem de Fundão. Após três anos de monitoramento, 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. 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. As aves registradas são predadoras nas teias tróficas dos ecossistemas dos rios, estuários, águas costeiras e oceânicas; assim, essas aves são sujeitas aos efeitos da biomagnificação de componentes tóxicos presentes no meio aquático através da cadeia alimentar.

Devido aos movimentos (deslocamentos e migrações) das aves, a alimentação nas áreas atingidas pelos rejeitos da barragem pode contaminar também os ambientes terrestres de importantes conjuntos de ilhas e faixas costeiras, como: a costa do Espírito Santo, a qual é utilizada para reprodução e como área de descanso de aves Sternidae (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. chlororhynchus*; além de outros locais cujas espécies migram para a região.

Ao comparar as concentrações dos elementos-traço nas aves entre os períodos pré-rompimento da barragem de Fundão e o Ano 1, observa-se uma diminuição geral nos valores dos elementos essenciais e um aumento dos não essenciais nas quatro espécies alvo. As aves mais impactadas são as que nidificam no Arquipélago dos Abrolhos, *S. leucogaster* e *P. aethereus*. No Ano 3, foi observado um aumento geral nas concentrações de elementos essenciais no sangue e nas penas das espécies estudadas, sugerindo uma tendência de reação dos organismos, embora o efeito da contaminação crônica do ambiente possa alterar o cenário em uma nova onda de contaminação do sistema. O relatório deixa clara a contaminação das amostras analisadas, o que representa uma forte evidência do impacto dos rejeitos sobre as aves que deve ser investigado amplamente e monitorado em longo prazo. Quadros de desidratação, baixo sucesso reprodutivo e falhas reprodutivas de espécies ameaçadas (e.g. *P. aethereus* e *S. hirundinacea*) foram documentados. O aspecto mais preocupante, quanto à saúde das aves, permanece sendo a presença de patógenos com perfil de resistência a substâncias antimicrobianas. A disseminação de bactérias resistentes a antibióticos no ecossistema marinho vem sendo reportada como uma ameaça global à saúde pública, devido ao alto potencial patogênico desses agentes.

Para *S. hirundinacea*, espécie ameaçada nacionalmente, o cenário observado ao longo do período de monitoramento demonstrou situação alarmante para a espécie. Não foi possível construir sua fenologia reprodutiva devido à dificuldade na coleta de dados decorrente da pequena quantidade de ninhos ativos encontrados pela equipe nas colônias no Espírito Santo, um dos principais locais conhecidos de reprodução da espécie no país. O padrão de variação do DNA nuclear, documentado aqui para *S. leucogaster*, é consistente com os padrões de variação relatados na literatura para a mesma espécie. Valores descritivos da diversidade genética (média de alelos, riqueza

alélica e diversidade genética) encontrados para indivíduos de *S. leucogaster* amostrados após o rompimento, mostram-se mais altos em relação aos amostrados antes do rompimento, indicando que há possivelmente um aporte de novos alelos chegando em Abrolhos. Por sua vez, *P. aethereus* teve uma sutil perda de alelos na comparação entre os conjuntos de dados pré e pós-rompimento, porém, a diversidade gênica se manteve estável e, quando analisados por ano de amostragem, valores de riqueza alélica e diversidade gênica não oscilaram.

Durante as contagens de aves na foz do rio Doce e adjacências, a frequência de ocorrência de aves marinhas variou espacialmente (entre as transecções) e temporalmente (entre as estações do ano). As aves, em geral, estão concentrando-se nas áreas mais afetadas pelos resíduos do rompimento da barragem e utilizam essas áreas para alimentação. A maior abundância e riqueza na assembleia de aves aquáticas ocorreu nos setores junto à foz do rio Doce. As espécies mais abundantes são da Família Sternidae, englobando espécies migratórias, cujas áreas de forrageio principal são as águas costeiras e os estuários. Destacam-se as elevadas abundâncias de *S. hirundo*, espécie migratória oriunda do hemisfério norte, além de *T. acufavidus*, *T. maximus* e *S. hirundinacea*, as quais se reproduzem na costa do Espírito Santo, estando as duas últimas ameaçadas de extinção nacionalmente (Portaria MMA 444/2014). No total, 74% das espécies registradas na foz do rio Doce, em áreas costeiras e oceânicas adjacentes, possuem algum grau de ameaça e/ou suas populações estão em declínio globalmente, segundo a lista da União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (IUCN, 2020). Considerando a avaliação das espécies registradas até o momento, em nível nacional, 37% constam em alguma categoria de ameaça (Portaria MMA 444/2014).

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) (Schreiber & Burger, 2002). 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 (Crocoll et al., 2012), pois os atributos de vida lentos representam, em última instância, baixa resiliência frente a eventos de declínio populacional.

TARTARUGAS MARINHAS

As análises apresentadas destacam a ocorrência de “*Alteração da diversidade genética*”, que foi classificada como Alto Impacto para tartarugas marinhas. As três espécies de tartarugas marinhas avaliadas (*C. mydas*, *D. coriacea* e *C. caretta*) apresentam baixa variabilidade genética, tornando-as mais suscetíveis aos efeitos de impactos antrópicos como é o caso dos rejeitos de mineração provenientes da ruptura da barragem de Fundão.

Além disso, foram detectados efeitos sobre a saúde, que, de acordo com o relatório, podem interferir ainda mais na capacidade de resiliência destes animais já ameaçados por outros fatores antrópicos. Destaca-se que os juvenis de *C. mydas* na APA Costa das Algas-ES apresentam uma situação complexa por estarem menos saudáveis (alterações em parâmetros clínicos, bioquímicos e hematológicos) ao longo dos 3 anos do monitoramento, quando comparados com a população de *C. mydas* da área controle (Coroa Vermelha-BA).

Foi indicado ainda, pelo projeto de sobrevoos, alta sobreposição de tartarugas marinhas com a região de maior aporte de rejeitos provenientes do rompimento da barragem de Fundão. A partir dos resultados das análises de saúde, genética e sobrevoos, o local amostrado na APA Costa das Algas pode ser considerado um *hotspot* de ameaças à conservação.

O relatório conclui que a redução da diversidade genética, do tamanho populacional, o comprometimento imunológico, a vulnerabilidade a doenças, as alterações físico-químicas do ambiente praiado e áreas neríticas, dentre outros, são algumas das condições desfavoráveis que as tartarugas estão sujeitas.

4.3.7.3 Proposta de Encaminhamento

Considerando o contexto atual sobre a discussão do “*Plano de Ação Integrado para Conservação para a Recuperação e Conservação da Biodiversidade Aquática - PAI*” é necessário que a discussão dos resultados também avance na discussão de metodologias essenciais que devem ser consideradas no referido Plano visando a recuperação da Megafauna. Paralelo ao PAI, é essencial a continuidade do Programa de Monitoramento para acompanhamento dos resultados dos parâmetros ambientais do referido Plano.

CETÁCEOS

No próximo relatório, recomenda-se, se for possível, integrar estudos de bioacústica com estudos das atividades pesqueiras e ictiofauna para monitoramento da distribuição e ocorrência de presas (camarões e peixes), conforme estabelecido no TR4.

Apesar da clareza na apresentação das análises dos dados e das conclusões, restou uma dúvida pontual. Não houve entendimento em relação às predominâncias de comportamentos em alguns estudos, a saber: No monitoramento embarcado e ponto fixo o comportamento predominante, s.m.j, foi o deslocamento, enquanto no dronemonitoramento constatou-se o forrageamento. Essa possível diferença seria por conta das metodologias ou com o decorrer dos estudos essa dúvida poderia ser respondida?

Sugere-se a análise da viabilidade de inclusão de estudo referente a alterações nos parâmetros reprodutivos em cetáceos, o qual seria incorporado na meta já existente: “*Estimativa da idade dos cetáceos, maturação e taxa de fecundidade*”.

Em decorrência da continuidade dos impactos dos rejeitos de minérios sobre os cetáceos, é necessária a realização de reuniões, entre pesquisadores dos projetos e órgãos ambientais envolvidos, para avaliação de medidas de mitigação, reparação e conservação da megafauna marinha presente nas áreas impactadas pelo rompimento da barragem de Fundão.

AVES

Os resultados do monitoramento reforçam a importância da região para a conservação de aves marinhas e costeiras, sejam migratórias ou residentes com reprodução no entorno da foz do rio Doce. O monitoramento da assembleia de aves marinhas e aquáticas em longo prazo é ferramenta importante para inferência da qualidade ambiental, uma vez que esses animais são sentinelas da saúde dos ecossistemas. 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, com a exclusão de alguns aspectos e a ampliação de outros, visando, por exemplo, contemplar a avaliação da contaminação das presas das aves marinhas e do ambiente no qual nidificam (e.g. contaminação do solo).

Rastreamento remoto

A continuidade da análise envolvendo rastreamento das espécies de aves marinhas selecionadas é importante para que se possa ampliar o número de indivíduos rastreados pós rompimento da barragem, especialmente para propiciar uma comparação mais robusta de dados pré e pós rompimento. Para se inferir se o uso e escolha do espaço pelas aves são determinados por algum fator oceanográfico ou se, com as mesmas condições ambientais, as aves mudaram sua área de uso devido a um possível impacto local ocorrido depois do rompimento da barragem, os dados de temperatura superficial do mar (TSM), clorofila- α e batimetria necessitam ser obtidos de acordo com as posições geográficas nas viagens de cada indivíduo. Tais variáveis são representativas dos fatores que influenciam na distribuição das presas das aves e, por isso, são excelentes *proxies* de condição das áreas de alimentação. Recomenda-se a inclusão das variáveis citadas nas futuras análises.

Isótopos Estáveis (Ecologia Trófica)

O cenário observado corrobora a necessidade da continuidade do monitoramento da ecologia trófica das aves, além de sua análise integrada com a disponibilidade e distribuição espacial de suas presas, a fim de verificar se a ingestão de alimento potencialmente contaminado permanece ao longo do tempo. Recomenda-se que os estudos sejam complementados com o estudo atual da dieta das espécies na área de estudo, através de coleta de regurgitação e outras técnicas, obtendo amostras concretas dos itens alimentares que podem indicar hábitos e fornecer materiais para a análise de contaminantes, entre outros aspectos.

Elementos-traço (Contaminantes)

O cenário observado corrobora a necessidade da continuidade do monitoramento dos contaminantes nas aves e que, além dos indicadores atualmente utilizados, seja considerada a necessidade de contemplar a avaliação da contaminação das presas das aves marinhas, e do ambiente no qual nidificam (solo). Recomenda-se que nas futuras revisões do escopo do monitoramento seja especificada metodologia para amostragem de indivíduos que apresentarem anomalias de formação e saúde, entre outros.

Genética de populações (Diversidade genética)

Incluir, para o próximo relatório, aos moldes da tabela 102, o número de indivíduos de *P. aethereus* e *P. arminjoniana* estudados por ano, local e mês de coleta.

Demografia e Reprodução

Enfatizamos a pequena quantidade de ninhos ativos de *S. hirundinacea* que puderam ser localizados ao longo dos dois primeiros anos do monitoramento, o que pode representar um alerta para a espécie no estado do Espírito Santo, refletindo no mínimo a necessidade de intensificar o monitoramento desta ave na região. Como encaminhamento, sugerimos que sejam intensificados os esforços para o monitoramento reprodutivo da espécie na região. Especialmente porque constata-se que a espécie permanece alimentando-se e utilizando a área diretamente afetada pelo rompimento da barragem de rejeitos de Fundão.

Saúde

Sugere-se que no próximo relatório anual seja avaliada a correlação da presença de patógenos e resistência a antibióticos com a área de vida da população, 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.

Para o próximo relatório anual, é importante também esclarecer se houve total ausência de detecção durante análise microscópica dos esfregaços para quaisquer Haemosporida (*Haemoproteus*, *Plasmodium*, *Leucocytozoon*) desde o início das amostragens para análise de saúde.

Contagens de aves na foz do rio Doce e adjacências - Costa

Uma vez que não foram identificadas não-conformidades com relação a aderência ao TR4 e respectivo plano de trabalho, o único encaminhamento proposto trata da necessária continuidade do monitoramento incluindo também o presente subprojeto.

Contagens de aves na foz do rio Doce e adjacências - Mar

Uma vez que não foram identificadas não-conformidades com relação a aderência ao TR4 e respectivo plano de trabalho, o único encaminhamento proposto trata da necessária continuidade do monitoramento incluindo também o presente subprojeto.

TARTARUGAS MARINHAS

Considerando a realização do programa de monitoramento reprodutivo das tartarugas marinhas no âmbito do PMBA, mas em execução pela Fundação Projeto Tamar, faz-se necessária maior integração dos resultados. A apresentação dos resultados do Relatórios em análise (PMBA/Fest-RRDM), de forma desconecta do Relatório do Monitoramento Reprodutivo e Telemetria Satelital de Tartarugas Marinhas, não parece ser a mais adequada, seja por apresentar estruturas diferentes de relatórios, seja por dificultar a análise integrada dos dados obtidos pelos diversos monitoramentos. Assim, reiteramos a necessidade de integração de todos os projetos de tartarugas marinhas.

Genética

Não é feita nenhuma discussão sobre o N amostral, e se eventuais valores baixos estão comprometendo as análises. Destaca-se ainda que não foi localizado, nos documentos que compõem o relatório, informações sobre análises provenientes de animais encalhados. Durante a reunião de esclarecimentos de dúvidas com os pesquisadores e Renova foi informado que, com exceção da *Dermodochelys coriacea*, o N amostral tem sido bom, inclusive com proposta de diminuição no novo plano de trabalho apresentado e já em execução (de 60 para 45 indivíduos de *C. mydas*). Para o atual escopo também foram excluídas análises oriundas de animais encalhados.

Assim, para os próximos relatórios, informar na discussão, as análises em que o N amostral baixo é pouco relevante ou irrelevante, evitando assim, incerteza generalizada do resultado das análises. E apresentar de forma clara informações sobre o N amostral utilizado, em relação ao estabelecido no plano de trabalho.

Saúde

Também não é feita nenhuma discussão sobre o N amostral, e se eventuais valores baixos estão comprometendo as análises. Durante a reunião de esclarecimentos de dúvidas com os pesquisadores e Renova foi informado que o N amostral para *D. coriacea* tem sido muito baixo, devido ao baixo número de ninhos da espécie na região. Foi ressaltado ainda que o novo plano de trabalho apresentado e já em execução contempla amostragem em ovos dessa espécie, apesar de ter sido indicado, na revisão do Termo de Referência e na Nota Técnica nº 8/2022/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI ICMBio 11216882), a exclusão de amostras em ovos de *D. coriacea*.

Assim, para os próximos relatórios, informar na discussão, as análises em que o N amostral baixo é pouco relevante ou irrelevante, evitando assim, incerteza generalizada do resultado das análises. E apresentar de forma clara informações sobre o N amostral utilizado, em relação ao estabelecido no plano de trabalho.

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.

Durante a reunião de esclarecimentos de dúvidas com os pesquisadores e Renova foi informado que os resultados de contaminantes seriam repassados em breve pelo laboratório aos pesquisadores e que todos os dados serão apresentados e discutidos no próximo relatório anual (metais pesados e contaminantes orgânicos).

Assim, solicitamos apresentar, no próximo relatório anual, os dados de metais pesados e poluentes orgânicos, com devida discussão, a partir do ano 1. Deve-se apresentar solução para evitar o atraso das análises dos metais para os próximos anos.

Conforme já indicado na Nota Técnica referente ao relatório do Ano 2 (Nota Técnica nº 8/2022/CTBio/DIBIO/ICMBio (SEI ICMBio 11216882)), recomendamos apontar recursos necessários e metodologia para atendimento veterinário e administração de antibióticos em campo nos casos severos de lesão ocular. Além disso, recomendamos a avaliação e indicação de outras medidas que podem ajudar na mitigação dos impactos causados a esses animais, por exemplo, avaliar a necessidade de estabelecimento e/ou fortalecimento de centros de recuperação desses animais, e laboratórios para execução de análises clínicas.

Sobrevoos-Bioacústica

Seguindo o padrão dos outros subprojetos, sugerimos concentrar informações de metodologia no material suplementar, sendo que o material suplementar que trazem resultados deve conter um título mais específico a fim de facilitar a busca de informações, considerando que são apresentados resultados para quatro metodologias aplicadas.

Recomendamos aperfeiçoar a apresentação dos resultados para facilitar entendimento. Por exemplo, sobre os dados de Dronemonitoramento, a tabela com o número de avistamentos (Tabela 1 - *Material Suplementar A6MSbS2*) e figura sobre a estrutura populacional dos grupos (Figura 3 - *Material Suplementar A6MSbS2*) não trazem o período de referência dos dados; outro exemplo é a escala gráfica da Figura 2 (em especial o eixo Y do gráfico) do *Material Suplementar A6MSbS2*, que não permitiu identificar facilmente as diferenças de densidades indicadas entre os períodos, e quais dessas diferenças eram estatisticamente significativas. Além disso, recomendamos observar se as áreas de uso se diferenciaram entre os anos, e se as diferenças observadas entre os anos e as áreas de uso podem ter relação com a pluma de rejeitos.

Avaliar a pertinência de realizar análise comparando os fundos identificados na avaliação do hábitat com o ROV com a densidade de avistamentos, e o uso de ferramentas de geoestatística para avaliar as possíveis diferenças de densidades entre anos e áreas.

Conforme já indicado em nota técnica anterior, recomendamos analisar os dados produzidos por esse subprojeto em conjunto com os resultados da telemetria satelital em fêmeas de *Caretta caretta*, como subsídio para identificação das áreas mais utilizadas pelos animais.

4.3.8 Anexo 7 - Dulcícola

O Anexo 7 do 3º Relatório Anual (2021) do PMBA/FEST-RRDM RT- 39B - EVOLUÇÃO ESPAÇO TEMPORAL NA QUALIDADE AMBIENTAL E NA BIODIVERSIDADE NO AMBIENTE DULCÍCOLA está dividido em 3 itens, sendo eles:

1. Macroinvertebrados bentônicos;
2. Ictioplâncton; e
3. Ictiofauna.

No material suplementar identificado por “A7DSI”, que contempla a metodologia do Relatório do PMBA, observou-se um equívoco na página 6, pois o ponto P09 que se refere ao Córrego São Pedro Frio, não está apresentado na legenda (identificação dos pontos) da figura 1 de localização dos pontos de monitoramento da ictiofauna e macroinvertebrados bentônicos, entretanto consta logo abaixo da figura, na tabela 1 de identificação e coordenadas UTM dos pontos de coleta, na mesma página.

E ainda na metodologia (A7DSI), na página 16, no item “Coleta de ictioplâncton” possui uma informação já apresentada anteriormente no item “Área de estudos” e o texto ficou repetitivo, talvez seria mais interessante alterar a escrita da metodologia para ficar mais objetiva e sucinta, por exemplo, apresentar área de estudo, coleta e análise de dados de um grupo por vez, facilitando na escrita, leitura e compreensão.

4.3.8.1 Avaliação de impactos ambientais e identificação de tendências nos parâmetros monitorados

Macroinvertebrados bentônicos

Em relação à estrutura e composição das comunidades bentônicas nos ambientes lóticos e lênticos no período chuvoso 2019/2020, foram coletados um total de 1050 indivíduos distribuídos em 76 táxons nos trechos lóticos e um total de 1933 indivíduos distribuídos em 48 táxons nos ambientes lênticos, contudo estes valores de densidade divergem do apresentado na tabela 17, nas páginas 234 à 239.

No período seco 2021, foram coletados um total de 5363 macroinvertebrados bentônicos distribuídos em 115 táxons nos ambientes lóticos e nos ambientes lênticos do baixo rio Doce um total de 1296 indivíduos coletados distribuídos em 56 táxons, entretanto este valor de densidade não condiz com o apresentado na tabela 20, nas páginas 250 à 252.

No geral, nos trechos lóticos as riquezas foram maiores no período seco, sendo a maior riqueza encontrada no ponto P07 (50 táxons), no período seco em abril de 2021. A maior densidade média de organismos foi encontrada no ponto P07 (aproximadamente 7000 ind/m²) no período seco de junho/2021.

Para os trechos lênticos, a página 230 do relatório informa que “*As maiores riquezas de táxons no período seco foram encontradas no Lago do Óleo P06 (28 táxons) e Lago do Limão P05 (20 táxons)...*”, entretanto não condiz com os valores apresentados na figura 116, na mesma página, onde no período seco (abril/2021) foram encontrados as maiores riquezas de 23 táxons no lago do Óleo (P06) e 17 táxons no lago do Limão (P05). Em relação às densidades, em todos os lagos no período chuvoso (dezembro/2019) foram encontrados os maiores valores.

A composição das comunidades em grupos tróficos funcionais no período chuvoso 2019/2020 na calha do rio Doce, foi principalmente por coletores-catadores. Já no período seco 2021 foi mais distribuída entre os pontos, havendo predominância de coletores-catadores nos pontos P02, P04 e P08B (respectivamente 76%, 69% e 51%), nos pontos P01B, P03 e P09 houve predomínio de macroinvertebrados filtradores (respectivamente 60%, 55% e 60%), e o ribeirão Palmas (P07) foi o único ponto que apresentou uma elevada proporção de raspadores (53%).

No trecho lêntico, no período chuvoso 2019/2020, a predominância foi de filtradores, com exceção da lagoa das Palmas (P10) que é de coletores-catadores. Já no período seco 2021, o grupo trófico coletores-catadores foi predominante nos lagos do Óleo e das Palmas.

No item 3.1.8 intitulado *Avaliação da qualidade de água dos trechos lóticos do baixo rio Doce*, na página 268 do relatório, foi observado alguns conflitos de interpretação, primeiramente por tratar somente dos ambientes lóticos, tendo em vista que no material suplementar (A7DS1), que apresenta a metodologia aplicada, informa que “*Para os trechos lóticos foram utilizadas como variáveis preditoras os fatores ambientais obtidos pelo protocolo de habitat (CALLISTO et al., 2002) e fatores físico-químicos de qualidade de água (pH, temperatura °C, condutividade elétrica µS/cm, oxigênio dissolvido e turbidez NTU) e para as lagoas foram utilizados os fatores físico-químicos*”, entretanto não foram mencionados os resultados da qualidade de água para os ambientes lênticos. Outro ponto observado foi que a figura 136, na página 269, apresenta em sua legenda os pontos das lagoas, mesmo não tratando dos mesmos neste item.

Quanto à deformidades em aparelho bucal (mento) de larvas de gêneros da família Chironomidae (Diptera) coletores-catadores, no período chuvoso 2019/2020 teve destaque o ponto P06 (lago do Óleo) que apresentou um alto percentual (69%) em relação ao total deste grupo coletados neste ponto, diferente do período seco 2021, que os pontos na calha do rio Doce P02 e P08B apresentaram os maiores percentuais (respectivamente 18% e 14%).

O período seco é o mais importante para estudar os padrões de estrutura e composição de comunidades de macroinvertebrados bentônicos sob influência de fatores ambientais naturais e antrópicos no baixo rio Doce.

Ictioplâncton

Durante o Ano 3 foram coletados 1.792 ovos, 1.846 larvas e 13 juvenis. As densidades totais equivalem-se a 279,94 ovos/10m³, 431,72 larvas/10m³ e 1,66 juvenis/10m³. As estações de amostragem da calha do rio Doce concentraram as maiores densidades de ovos e larvas, sendo responsável por 100% dos ovos e 92% das larvas capturadas.

Ao todo, foram identificados 16 táxons, dos quais quatro permaneceram ao nível de família, três ao nível de gênero e nove ao nível de espécie, sendo o mandi-amarelo (*Pimelodus maculatus*) a espécie mais abundante. Menos de 1% dos indivíduos capturados não foram classificados por estarem danificados ou serem recém-eclodidos. Em termos de riqueza, houve um maior número de táxons de espécies nativas, enquanto para abundância o destaque é para as espécies introduzidas.

Importante apontar que dentre as larvas e juvenis analisados, cerca de 51% dos indivíduos apresentaram alterações morfológicas incomuns (rompimento da cavidade abdominal; sedimento avermelhado aderido em alguma região do corpo; e sedimento avermelhado em cavidades internas como boca e intestino) e que tais alterações foram registradas exclusivamente nos pontos de amostragem da calha do rio Doce (área afetada pelo rompimento), enquanto que todas as larvas registradas nos tributários (área não afetada) apresentavam condições de integridade normal.

Houve dificuldade no entendimento da informação que consta na tabela 23 (página 286) apresentando valores médios dos parâmetros abióticos da água superficial mensurados em cada ponto amostral no Ano 3, pois na metodologia apresentada no material suplementar (A7DS1) esta análise não é citada, o que impossibilita a interpretação dos resultados quando o texto cita que “*Comparando as variáveis abióticas obtidas em todo o período analisado, diferenças maiores foram observadas entre os valores médios de turbidez e condutividade elétrica*”, não deixando claro se foram realizadas quaisquer análises estatísticas para tal afirmação, além de não demonstrar o intuito de comparar ambientes distintos (calha X tributários).

No que se refere ao recrutamento, nos lagos amostrados foram capturados 378 indivíduos. Os indivíduos foram identificados ao menor nível taxonômico possível totalizando 15 espécies identificadas (70% nativas à bacia do rio Doce e 12% introduzidas).

A espécie nativa de maior representatividade nas capturas, foi o barrigudinho (*Poecilia vivipara*), responsável por 44% das capturas totais, com destaque como a única espécie coletada em todos os pontos amostrais. Enquanto que o tucunaré-amarelo (*Cichla kelberi*) apresentou a maior abundância entre as espécies introduzidas.

Na tabela 24 (página 286) intitulada “*Composição taxonômica e distribuição espacial de juvenis de peixes, capturados em lagoas marginais durante o Ano 3 no baixo rio Doce, Espírito Santo*”, deve apresentar em sua legenda o significado do emoji (espécie exótica), assim como foi apresentada na tabela 21 da página 282.

Além do impacto da presença de espécies introduzidas que estão se reproduzindo intensamente em alguns pontos de coleta, alterações morfológicas incomuns foram observadas nas larvas, especialmente naquelas capturadas na calha principal do rio Doce, semelhante ao observado em larvas marinhas e o relatório sugere um impacto advindo do rompimento da barragem de Fundão, mas seria interessante tornar mais robusta esta hipótese, talvez apontar justificativas/explicações para tal suposição, ou até mesmo apontando outros estudos comparativos que possam auxiliar a este entendimento.

Na página 289, discute que “*O sedimento avermelhado aderido as larvas é uma evidência de traços de rejeito ainda presentes na calha do rio Doce durante o Ano 3. Alterações como estas também foram descritas em amostragens de ictioplâncton marinho pelo PMBA/Fest-*

RRDM (RRDM, 2020b). Além disso, Bonecker e colaboradores (2019) mostraram que larvas com o trato digestório danificado apresentavam maiores concentrações de metais em relação as larvas integras, na foz do Rio Doce e ao longo das áreas costeiras”, mas percebe-se pouco embasamento para tal afirmação e a figura 144 (pág. 285) não evidencia a presença de sedimento avermelhado na boca e intestino das larvas.

Ictiofauna

A riqueza da ictiofauna que ocorre na porção capixaba do rio Doce, considerando levantamento de registros bibliográficos e o monitoramento do PMBA, está representada por 103 espécies de peixes alocadas em 15 ordens e 37 famílias, sendo 73 nativas e 30 introduzidas. Importante destacar que observa-se estabilidade no número de espécies nativas e aumento no número de espécies introduzidas após o rompimento da barragem.

Na página 291, a figura 146 que aponta o número de espécies nativas e introduzidas antes e depois do rompimento da barragem de Fundão, apresenta-se muito confusa, pois os valores não condizem com o texto supracitado (103 espécies, 73 nativas e 30 introduzidas), diferentemente da tabela 25 nas páginas 292-298, que está coerente com estes valores do texto.

Considerando apenas o levantamento do PMBA, foram coletadas 72 espécies de peixes, sendo 47 nativas e 25 introduzidas. E adicionalmente o texto apresenta uma informação bastante confusa para o leitor (página 299), que “...em coleta exploratória realizada em setembro/outubro de 2019 nos rios Pancas e São João Grande, três espécies adicionais foram registradas, sendo duas delas, características da calha do rio e de tributários do alto e médio rio Doce”, e ainda “Nenhuma dessas espécies foi coletada na calha do rio durante o Ano 1, Ano 2 e Ano 3 do monitoramento do PMBA/Fest-RRDM”, mesmo buscando na metodologia (material suplementar) não há explicações sobre o que seria esta coleta exploratória e como foi realizada.

Ainda na página 299, outra informação que corrobora com a confusão no entendimento do resultado do levantamento da ictiofauna é que “Considerando as coletas realizadas com os petrechos redes de espera, arrasto e tarrafa, foram amostradas 68 espécies (45 nativas e 23 introduzidas)”, não deixando claro como foram coletadas as 4 espécies faltantes desta quantificação. Desta forma, o texto se apresentou muito confuso no que se refere ao Levantamento da ictiofauna no item Estrutura e dinâmica das populações de ictiofauna, nem mesmo olhando o material suplementar para entender a metodologia possibilitou o entendimento e interpretação dos resultados. Percebe-se que o número encontrado nas “coletas realizadas” por petrecho são menores do que o do “levantamento”, logo se faz necessário a explicação sobre as demais espécies coletadas.

Na figura 145, página 290, apresenta um diagrama mostrando a diversidade de ordens da ictiofauna do baixo rio Doce, porém a visualização e interpretação ficou ruim, pois não apresenta os valores/percentuais para cada ordem, deixando a critério de cada leitor a possibilidade de supor a representatividade de cada ordem. Sendo assim, o diagrama deveria conter os valores/percentuais ou a diversidade de ordens da ictiofauna ser apresentada de outra forma gráfica.

As espécies de habitat estuarino ou marinho somam 20% do total, com destaque para as que possuem importância para pesca como os robalos (*Centropomus* spp.), tainhas (*Mugil* spp.) e xaréus (*Caranx* spp.), que utilizam o ambiente dulcícola/estuarino como locais de reprodução ou berçários (MAPA, 2020).

Para a tabela 26, nas páginas 300 à 303, necessita-se que na legenda informe que o número “1” significa presença e o “campo sem preenchimento” ausência da ictiofauna nativa e introduzida registrada em cada ponto ao longo dos três anos de monitoramento do PMBA.

Ao longo das 26 campanhas do monitoramento da PMBA, observou-se a perda ou declínio de 13 espécies de peixes no Ano 1 e Ano 2. Por outro lado, *Rhamdia quelen* teve um comportamento inverso, ou seja, um exemplar foi capturado no início do monitoramento e, depois, a espécie voltou a aparecer em maior proporção, a partir do Ano 2 e Ano 3. As piranhas e o dourado, ambos introduzidos na bacia, são exemplos de outras espécies que apresentaram aumento de suas frequências, principalmente no final do monitoramento, entretanto esta informação não está tão clara quando visualizada no gráfico da figura 150 (página 306), principalmente para piranha vermelha (*Pygocentrus nattereri*).

Conforme a lista de espécies ameaçadas da Portaria do Ministério do Meio Ambiente nº 445/2014, o status de conservação das espécies presentes na bacia do rio Doce foram: o crumatá *Prochilodus vimboides* considerado vulnerável (VU); o peixe-anual *Xenurolebias izecksohni* e a piabanha *Brycon dulcis* classificadas como em perigo (EN); dentre os Siluriformes, o surubim-do-rio-doce *Steindachneridion doceanum* e o bagre-guri *Paragenidens grandoculis* são classificados como espécies criticamente ameaçadas (CR).

As espécies de interesse comercial identificadas no levantamento da ictiofauna para o baixo rio Doce, somam 57, destas 37 espécies são nativas e 20 espécies introduzidas.

Para a caracterização da ictiofauna, as espécies coletadas pelo PMBA durante os três anos foram apresentadas individualmente com imagem (foto), características taxonômicas, ecológicas e genéticas nas páginas 308 à 407. Importante ressaltar que algumas fotos estão ruins, como exemplo a figura 163 (página 324) que apresenta um exemplar de *Deuterodon cf. taeniatus* e a figura 210 (página 387) com a espécie *Clarias gariepinus*. Além disso, a figura 179 - *Pygocentrus nattereri* (página 346) está no fundo branco ao invés de fundo preto como as demais, despadronizando as imagens.

Na página 415, a tabela 28 apresenta valores dos índices descritores da comunidade de ictiofauna do baixo rio Doce considerando o córrego São Pedro Frio (ponto 09 situado à montante de uma drenagem do rio Doce - único ponto onde as coletas foram realizadas com pesca elétrica num trecho de 150 m e com um esforço de 1 hora), porém não fica esclarecido o motivo pelo qual trata somente os períodos chuvoso 19/20, chuvoso 20/21 e seco 21. Importante citar que na metodologia (material suplementar) a única informação para o item Índices descritores da comunidade de ictiofauna se refere à análise de dados (página 27-28), que consiste em “Para a descrição da comunidade foram apresentados os seguintes índices: Índice de Diversidade de Shannon-Wiener; com intervalos de confiança obtidos por meio da aplicação de procedimento bootstrap; Índice de Simpson - dominância e equitabilidade. Todos os índices foram obtidos com os pacotes vegan (OKSANEN et al., 2020) e BiodiversityR do R (KINDT; COE, 2005)”, não acrescentando informações que possam elucidar a questão.

Em geral, a turbidez apresentou uma relação negativa com a riqueza de espécies na calha e positiva nos lagos e córregos. E ainda, nos córregos e no lago das Palmas, essa relação positiva esteve associada à riqueza de espécies introduzidas.

No que tange a ecologia trófica, ao longo das 26 campanhas do monitoramento, foram analisados 3.503 estômagos pertencentes a 69 espécies, sendo 45 nativas e 24 introduzidas, e foi possível identificar 17 categorias alimentares. Os itens consumidos por cada espécie

foram determinantes para classificar as guildas tróficas, sendo identificadas 10 guildas tróficas: bentófago, carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, insetívoro aquático, insetívoro terrestre, invertívoro, onívoro e piscívoro.

Na tabela 33 que apresenta valores das porcentagens de volume (%V) das categorias alimentares consumidas pelas espécies de peixes do baixo rio Doce e o número de estômagos analisados por espécie (N), percebe-se um pequeno equívoco na legenda, página 446, pois “*Rot:Rotifera*” não está presente na tabela, logo não há necessidade de constar na legenda.

Na página 449, a figura 254 possui um incoerência quanto à quantidade de riqueza de espécies carnívoras quando comparada a quantidade apresentada pela tabela 33 (página 446-448).

No texto da página 450, afirma que “*Ao considerar os pontos de amostragem localizados somente na calha do rio Doce, a proporção de guilda trófica tende a mudar ao longo do gradiente longitudinal (P1 até P4), ou seja, a riqueza de guilda trófica aumenta à medida que as estações de coleta se aproximam à foz do rio*”, porém a interpretação não está clara visualizando a figura 255, na mesma página, onde o ponto P4 (mais próximo à foz) apresenta menor riqueza de guilda trófica que os pontos P2 e P3 da calha do rio Doce.

Ficou confusa a informação da página 452 que cita “*Vale ressaltar que o Sarapó, G. sylvius, apesar de ter sido coletada somente uma vez na calha do rio Doce, ela também ocorre nos ambientes de lagos e córregos do monitoramento*”, pois na figura 257 que apresenta a evolução temporal do indicador abundância para as espécies de peixes da guilda trófica carnívoro na calha do rio Doce, é possível observar que a espécie foi coletada em fev/2020 e jan/2021, ou seja não foi somente uma vez. A menos que a frase esteja se referindo somente à coleta no ano 3, sendo necessário reescrever para melhorar o entendimento da informação.

Dentre os peixes nativos registrados nas campanhas do Ano 1, Ano 2 e Ano 3, houve predominância de fêmeas (65%) em relação aos machos (35%), enquanto nas espécies introduzidas, houve leve predominância de fêmeas (51%).

Na página 464 consta que “*Os valores de relação gonadossomática (RGS) nos períodos chuvoso e seco no Ano 3 foram maiores do que nos Anos 1 e 2 nas fêmeas e machos de Lambari *Astyanax lacustris* e Curvina *Pachyurus adspersus*...*”, entretanto este resultado não condiz com o apresentado nos gráficos das figuras 268, 269 e 270 (páginas 465 e 466), onde não há diferença significativa maior para o ano 3 em relação aos anos 1 e 2 para machos no período chuvoso, e tampouco para machos e fêmeas da espécie *A. lacustris* no período seco.

Em seguida no texto, algo semelhante pode ser observado (página 464) onde menciona que “*Quando comparado por pontos na calha do rio Doce, os valores de RGS foram menores nas fêmeas e machos das espécies nativas *Astyanax lacustris* e *Pachyurus adspersus* nos pontos 3 e 4...*”, porém esta informação deve ser reescrita, pois os valores foram significativamente menores para machos e fêmeas da espécie *A. lacustris* no ponto 4 e para machos da espécie *P. adspersus* no ponto 3.

Quanto à avaliação genética, foram utilizadas três abordagens distintas: DNA *barcode*, genética de populações e diversidade filogenética. O DNA *Barcode* foi eficaz em discriminar corretamente 42% das espécies analisadas neste estudo (51 de 118). No que se refere às análises de genética de populações, foram encontrados altos índices de endogamia em todas as espécies analisadas, mas ainda não está claro se essa endogamia é natural ou foi causada pelos impactos do rompimento da barragem, sofridos pelas populações dessas espécies.

Na comparação entre as comunidades de peixes do alto e do baixo rio Doce, encontramos que a diversidade filogenética das assembleias de espécies nativas é 30% maior na região do alto rio Doce em comparação com a das assembleias de espécies nativas do baixo rio Doce. Os resultados da comparação entre o baixo e o alto rio Doce ajudam a reforçar a hipótese de que houve uma contribuição desproporcional das espécies introduzidas nas assembleias de peixes, principalmente do baixo rio Doce, as quais estariam iniciando um processo de substituição das espécies nativas daquela região.

4.3.8.2 Conclusões - *Dulcícola*

Principais evidências observadas seguem abaixo:

Macroinvertebrados bentônicos

- Maior riqueza e abundância de táxons no período seco na calha do rio Doce e riachos;
- Predomínio de quironomídeos e minhocas d’ água coletores-catadores e raspadores moluscos nos pontos impactados e alterados com baixa qualidade de água na bacia;
- O predomínio de macroinvertebrados coletores-catadores com elevadas densidades apontam para um desequilíbrio ambiental na bacia;
- O predomínio dos gêneros de quironomídeos filtradores no lago do Limão sugere melhor qualidade de suas águas em relação aos lagos do Óleo e das Palmas que apresentaram maiores abundâncias de quironomídeos coletores-catadores.

Ictioplâncton

- A calha principal do baixo rio Doce concentrou as maiores densidades de ictioplâncton durante o estudo, especialmente a jusante da UHE Mascarenhas;
- Espécies nativas e introduzidas foram encontradas no ictioplâncton, assim como espécies dulcícolas e de origem marinha;
- As espécies nativas apresentaram maior riqueza, enquanto as exóticas *P. maculatus* e *P. nattereri* apresentaram maior abundância;
- Verificou se a ocorrência de espécies tolerantes e intolerantes com alterações morfológicas;
- A integridade larval de espécies intolerantes e, especialmente, daquelas tolerantes à passagem do rejeito pode ser utilizada como bioindicador da qualidade ambiental.

Ictiofauna

- Diminuição no número de espécies nativas amostradas ao longo do monitoramento;
- A evolução espaço-temporal do monitoramento da ictiofauna do baixo rio Doce mostra que, além da diminuição da diversidade gama, a riqueza de espécies amostradas nos pontos monitorados também diminuiu;
- Grande proporção de riqueza e biomassa de espécies introduzidas;

- Redução de carnívoros e piscívoros na calha do rio Doce;
- A atividade reprodutiva nas espécies nativas e introduzidas durante os períodos chuvoso e seca, com pico reprodutivo no período chuvoso;
- Maior número de fêmeas nas populações de nativas (o esperado em populações naturais é uma razão de 1:1) e recrutamento relevante de espécies introduzidas;
- Observado um forte gargalo populacional persistente ao longo dos anos;
- A diversidade filogenética do baixo rio Doce é menor que a observada no alto e médio rio Doce;
- A perda de diversidade filogenética é mais evidente nas espécies nativas.

A concentração de material em suspensão na água aliado a contaminação alta de metais trouxe consequências a nível crítico para a estrutura das populações ícticas com alteração significativa da diversidade genética e redução da diversidade filogenética; com estado crítico para fitoplâncton, zooplâncton, macronutrientes e peixes, bases da cadeia trófica.

4.3.8.3 Propostas de Encaminhamentos

Os encaminhamentos foram apresentados junto ao anexo 3 do ambiente dulcícola.

4.3.9 Anexo 7 - Marinho

4.3.9.1 Avaliação de impactos ambientais e identificação de tendências nos parâmetros monitorados

O relatório informa que, para os estudos de genética de populações, foram coletadas amostras de peixes, recifais e estuarinos. Para os peixes estuarinos as amostras foram coletadas concomitantemente com as campanhas dos estudos de ictiofauna e carcinofauna estuarinas/marinhas, nos rios: Caravelas, Doce, Ipiranga e São Mateus. Para os peixes recifais foram delimitadas quatro áreas ao longo da área de abrangência do PMBA/Fest-RRDM sendo: A1 -Norte de Abrolhos e Royal Charlotte, A2 - Sul do banco de Abrolhos, A3 - Plataforma estreita entre Linhares e Piúma, A4 - Marataízes e norte do RJ (ver Protocolo Genética de Populações - página 2 anexo A7MICS11). Porém, na Figura 1 (pág. 4 anexo A7MICS11), os pontos para genética populacional estão apresentados apenas na Resex Cassurubá, dificultando a compreensão de quais os pontos foram amostrados para genética populacional.

Ictiofauna Estuarina/Marinha

O peso total alegado para as coletas foi de 1.071,7t para um total de 90.097 indivíduos, perfazendo uma média de praticamente 12kg por indivíduo.

Neste item, foi relatada a ocorrência de *Clarias gariepinus* (bagre-africano), espécie exótica invasora, oriunda da África, extremamente rústica e oportunista, o que representa uma ameaça para a biodiversidade local.

É informado que entre os estuários estudados, o rio Doce apresentou menor riqueza de espécies absolutas tanto na área interna (exceto rio Ipiranga), quanto na externa, sendo a espécie *Genidens genidens* (bagre-guri) a que possui maior biomassa relativa para áreas internas. Não se discute se a menor riqueza do rio Doce se deve à presença do rejeito de minério.

Para as interações entre variáveis ambientais e as comunidades, a estrutura da comunidade de peixes, interações *Local x Período* e indicadores de riqueza e diversidade, não foram encontradas diferenças significativas para os indicadores propostos. Entretanto, esse fato não indica que as comunidades de peixes não estão sendo afetadas pelos rejeitos de minério. O fato pode ser explicado pela mobilidade dos peixes, permitindo que os indivíduos se desloquem para áreas menos perturbadas.

É observado que a curva de rarefação para a riqueza, ainda não atingiu os valores esperados em nenhum dos estuários amostrados.

Carcinofauna Estuarina/Marinha

O relatório informa a coleta de 230kg de amostras distribuídas por 176.372 indivíduos, o que perfaz a média de 1,3g por indivíduo coletado. Com relação à biomassa, a espécie *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão sete-barbas) foi a mais representativa, configurando mais da metade da massa coletada. Esta espécie é considerada um dos recursos pesqueiros mais importantes da região, as espécies *Xiphopenaeus kroyeri* e *Callinectes ornatus* foram as espécies mais frequentes nas coletas.

É discutido que não foi detectado o impacto do rejeito sobre as assembleias de crustáceos nos testes de hipótese das análises de variância realizadas. O fato poderia ser explicado pela falta de dados pretéritos ao rompimento da barragem de Fundão, somada à interrupção das amostragens nos períodos Seco 2 e Chuvoso 3, por causa da pandemia de Covid-19. Assim, apesar de algumas tendências terem se destacado ao longo das análises, ainda não foi possível compreender os efeitos do impacto do rompimento sobre a variabilidade natural da fauna de crustáceos no espaço e no tempo.

DNA Barcoding

Considerando-se o volume informado das coletas e o aparente sucesso no estabelecimento dos protocolos, as 1764 amostras (24%) que foram processadas durante os três anos de estudo aparentam um ritmo de análise abaixo do esperado. Considerando-se uma amostra por indivíduo, isso corresponde a um passivo de mais de 5.000 amostras ainda a serem processadas. De igual maneira, apenas 982 sequências das 1764 amostras foram analisadas.

As análises efetuadas identificaram algumas espécies exóticas invasoras: *Butis koilomatodon*; *Clarias gariepinus*; e *Achirus mucuri*. Esta última ainda não havia sido registrada para o litoral do Espírito Santo. As análises também detectaram espécies que não haviam sido coletadas nos Anos 1 e 2.

Recrutamento da Ictiofauna

A zona de impacto foi o ponto que produziu o menor número de indivíduos coletados. Temporalmente, foram encontradas diferenças significativas nas análises de variância dos índices ecológicos envolvendo a riqueza e biomassa das espécies comuns e dominantes do rio Doce, quando comparadas a área impactada e de controle. Estas diferenças podem chegar à 20x e significam uma resposta significativa ao fator impacto.

Foi constatado que, como nos anos anteriores, espécimes coletados na foz do rio Doce e adjacências apresentaram lama aderida à superfície do corpo. Isso foi observado nas pós-larvas das famílias Monacanthidae (*Catherhines pullus*) e Gerreidae, e também em ovos não identificados. Este fato evidenciou a influência negativa do rejeito de minério no desenvolvimento larval dos peixes.

O relatório destaca ainda que o tamanho de pós-larvas cresce proporcionalmente à distância da costa e proximidade dos recifes costeiros, possivelmente evidenciando o resultado dos impactos - relacionados ou não ao rompimento de Fundão - sofridos por este grupo na região.

Em contraste com os relatórios anteriores, não houve citação da constatação de larvas de peixes com trato digestivo danificado.

Ecologia Trófica - Isótopos Estáveis

O estudo apresenta o papel de destaque da espécie *Genidens genidens* (bagre-guri), indicada pelo método como a espécie de topo dentre todas as demais estudadas. Importante discussão se dá pelo histórico de outros relatórios da RRDM/FEST onde se identificou a contaminação na espécie - e outras - pela alta concentração de metais vinculados ao rejeito.

Condição Corporal de Peixes Estuarinos/ Marinhos

Devido à inconstância de coletas com foco nesta variável, as comparações entre anos se tornaram inviáveis.

Sobre a variação do índice escalonado de massa (IMS), a falta de resultados significativos para 7 das 8 espécies aponta para a ausência de impactos diretos a este indicador do estudo. O Cangoa, *Stellifer rastrifer*, uma das importantes fontes alimentares de toninhas e botos, foi a única espécie para qual o índice diferiu significativamente entre áreas-controle e zona de impacto.

Importante o registro de que ainda não foi identificada diferença significativa no IMS para *Stellifer brasiliensis*, em tese uma espécie mais ligada ao estuário e que se alimenta próximo ao fundo. Entretanto, foi demonstrada uma tendência de indivíduos menores no estuário do rio Doce.

De acordo com as análises estatísticas efetuadas, não foram encontradas diferenças marcantes entre os locais estudados, na condição corporal das oito espécies de peixes estudadas. Porém, o padrão espacial observado para seis espécies na estação seca (*C. bleekermanus*, *O. mucronatus*, *P. harroweri*, *I. parvipinnis*, *S. brasiliensis* e *S. rastrifer*), considera a possibilidade de ser um efeito crônico negativo do rejeito.

Por fim, destaca-se a seguinte consideração: “*Em síntese, não foram encontradas diferenças marcantes entre os locais na condição corporal das oito espécies estudadas(...) entretanto, o padrão espacial observado para seis espécies na estação seca é consistente com o que seria esperado frente a um efeito crônico negativo do rejeito: baixa condição no local impactado e um incremento gradual à medida que se distancia dele*”.

Ictiofauna Recifal

Quanto ao censo visual subaquático (UVC), o relatório traz que “*De uma forma geral, as menores médias de abundância e biomassa no Ano 3 foram observadas na zona de impacto - APA Costa das algas. Na área norte (I, C1-C4), as assembleias de peixes recifais amostradas na zona de impacto apresentaram diferenças significativas para abundância, riqueza, diversidade e composição de comunidade. Na área sul (I, C5, C6), abundância total e equitatividade de Pielou foram significativamente diferentes no contraste do que nas zonas de controle*”. Igualmente, algumas espécies raras parecem ter sua diversidade diminuída na zona de impacto. Ou seja, ao que tudo indica, a estrutura das comunidades está sendo impactada em decorrência do rompimento. Informação esta, corroborada pela análise que demonstra o fator “*distância do rio Doce*” como uma das que melhor explicou os resultados.

Em relação à genética de populações e diversidade genética, apesar de vários resultados importantes sobre a diversidade alélica das populações de peixes nas regiões impactadas, nenhuma característica ou diferença foi vinculada exclusivamente ao potencial impacto do rompimento sobre essas populações.

Telemetria Estuarina

De forma relevante, os estudos indicaram alta fidelidade dos indivíduos ao estuário, especificamente nos locais mais profundos do rio (margem direita).

Foi relatado também que os indivíduos não se deslocaram à montante da foz, como seria esperado. Adicionalmente, 44% dos indivíduos rastreados no rio migraram para o mar e não retornaram.

Em análise estatística, foram relacionados significativamente locais de alta turbidez com a ausência de robalos, indicador que pode ser diretamente impactado pela ressuspensão de sedimentos do rompimento.

Microquímica de Otólitos

Na análise foram identificadas algumas diferenças significativas a maior concentração de Ba:Ca para robalo-peva foi maior para o rio Doce, podendo estar relacionada ao impacto do rompimento. Entretanto, cabe salientar que a relação Fe:Ca, Mn:Ca e Mg:Ca aparentemente não corroboram esta hipótese por não serem significativas ou por apresentarem valores maiores para áreas mais distantes da zona impactada.

Para a espécie robalo-flecha, a relevância se dá pela tendência de diminuição da relação Fe:Ca à medida que se afasta da zona de impacto.

Considerando o bagre-guri, o estuário do rio Doce apresentou diferença significativa com as maiores médias nas razões dos elementos-traço Ba:Ca, Fe:Ca e Mn:Ca. Entretanto, a diferença não se confirma para Mg:Ca.

Telemetria Recife

O texto referente ao tópico foi integralmente copiado do relatório RA 2020-RT36D, apenas com atualização de referências de figuras e anexos. O assunto foi inicialmente relatado pela CT-Bio no Ofício SEI nº 84/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio.

Erros textuais do relatório de resultados

Abaixo estão referenciados e sublinhados os principais erros de informação / textuais identificados:

- Página 1021. “apenas 10 e 7 espécies compuseram 90% da abundância e da biomassa, respectivamente, nesta área do Rio Doce”.
- Página 1040. “A análise de componentes principais (PCA) indicou que a variável mais representativa na zona de impacto foi a claridade da água (KD490) ou da turbidez (PSU)”.

4.3.9.2 Conclusão - Marinho

Os estudos realizados até o momento identificaram, de forma mais direta e associativa ao rompimento, o seguinte:

- O estuário do rio Doce apresentou menor riqueza de espécies;
- Com relação ao recrutamento da ictiofauna, a zona de impacto foi a que produziu a menor abundância;
- Ainda são encontrados ovos e pós-larvas com lama aderida à sua superfície;
- Algumas espécies raras parecem ter sua diversidade diminuída na zona de impacto;
- O tamanho de pós-larvas cresce proporcionalmente à distância da costa e proximidade dos recifes costeiros, possivelmente evidenciando o resultado dos impactos;
- A espécie *Genidens genidens* (bagre-guri), indicada como contaminada em relatórios anteriores, confirmou-se como a espécie de topo dentre todas as demais estudadas, indicando potencial acúmulo na cadeia trófica;
- Para o Cangoá, fonte alimentar de toninhas e botos, o índice escalonado de massa diferiu significativamente entre áreas-controle e zona de impacto;
- As análises de *DNA barcoding* efetuadas identificaram algumas espécies exóticas invasoras;
- Durante o censo visual subaquático, as menores médias de abundância e biomassa no Ano 3 foram observadas na zona de impacto - APA Costa das algas;
- Na região estuarina, foram relacionados significativamente locais de alta turbidez com a ausência de robalos;
- Para a microquímica de otólitos do bagre-guri, o estuário do rio Doce apresentou diferença significativa para elementos-traço característicos do rejeito.

4.3.9.3 Proposta de Encaminhamentos

Sobre a coleta de indivíduos, descrever no relatório o método de eutanásia dos crustáceos;

Para a análise de dados, sugere-se - quando aplicável - definir com maior clareza quais são os protocolos baseados e validados pela literatura e os que são protocolos de análise de dados / estatísticos originais ou inéditos utilizados pelas equipes de pesquisa;

Revisitar a afirmação: “A área de atuação do monitoramento no ambiente marinho, ao longo destes 3 anos do PMBA (2018 - 2021), compreendeu a região da plataforma continental que se estende desde o município de Guarapari/ES até o Parque Nacional Marinho de Abrolhos/BA.”, uma vez que pontos amostrais de Guarapari e Vitória foram suprimidos;

Com relação aos quantitativos informados para as coletas da ictiofauna e carcinofauna, os valores apresentados estão aparentemente errados. Sugere-se a revisão;

É necessária a padronização dos nomes populares das espécies dentro do relatório;

Solicita-se discorrer sobre a aparente baixa produtividade do processo de análises de *DNA Barcoding*;

Solicita-se para o próximo relatório a discussão de forma mais aprofundada, embasada em literatura, da questão da diferença significativa de biomassa e abundância entre área impactada e controles para a recrutamento de ictiofauna.

Sobre as larvas e ovos com presença de lama na superfície, solicita-se a inserção na discussão:

- Se o fato se mostra normal/anormal, esperado/inesperado de acordo com a literatura;
- Esclarecer se antes do rompimento havia a identificação de substrato aderido e se a análise era feita ou não;
- Quanto às fotos da lama aderida, é importante que haja a identificação por seta ou outro símbolo da lama. Em algumas fotos surge a dúvida sobre o que se está vendo: se é lama ou coloração normal do indivíduo;

Revisar os gráficos apresentados na Figura 10 do anexo A7MICS4, pois não apresentam o tamanho das pós-larvas na região costeira, o que é mostrado na figura 5 do mesmo anexo - e que deve ser referenciado corretamente no texto;

Solicita-se discorrer mais sobre a variação no tamanho das pós-larvas em relação à distância da costa e sua possível relação com o rompimento.

4.3.10 Anexo 8 - Sedimentação em Abrolhos

O Anexo 8 - Sedimentação em Abrolhos compreendeu análises no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, a APA Estadual Ponta da Baleia/Abrolhos e a Reserva Extrativista de Cassurubá e sua zona de amortecimento.

4.3.10.1 Avaliação dos impactos ambientais e identificação de tendências nos parâmetros monitorados

Apesar do 3º relatório concentrar os resultados dos 3 anos de monitoramento, ele não foi tão incisivo em suas conclusões como o 2º relatório, que indicou claramente a presença de sedimentos da foz do rio Doce na região de Abrolhos/BA após o rompimento da barragem de Fundão. Segue abaixo um resumo dos principais resultados apontados no atual relatório do PMBA.

De acordo com as análises por imagens de satélite, padrão das concentrações de MPS e coeficiente de atenuação difusa a 490nm (kd490), o rompimento da barragem do Fundão não alterou a disponibilidade de luz na coluna de água em Abrolhos.

Durante o PMBA não foi possível identificar a pluma do rio Doce em Abrolhos devido a mistura com o sedimento das outras regiões ao norte, no entanto, a direção das correntes superficiais ao longo da costa do ES e da BA é totalmente favorável ao transporte do sedimento do rio Doce até Abrolhos. Neste sentido, as análises demonstraram que a concentração mensal de MPS em Abrolhos está mais relacionada com a intensidade do vento do que com a variação da vazão dos rios. A variação dos sedimentos em suspensão em Abrolhos está relacionada com os sistemas frontais associados com fortes ventos de S, SE e SO, principalmente no inverno, que além de poderem inverter a corrente marítima para norte, favorecendo o transporte de sedimento do rio Doce para Abrolhos, provocam a ressuspensão do sedimento marinho. Uma comparação entre o sinal isotópico em Abrolhos (arco externo), decorrente da foz do rio Doce, e os ventos de superfície mostra uma clara associação.

A ressuspensão de sedimento do fundo marinho ocorre diversas vezes ao longo do ano, aumentando o impacto dos poluentes sobre os recifes de corais.

Os sedimentos coletados pelas armadilhas instaladas próximas às áreas de recifes em Abrolhos indicaram que a composição isotópica dessas amostras é composta por uma mistura entre diferentes fontes de sedimentos durante o período estudado. Os sedimentos da foz do rio Doce após a ruptura da barragem de Fundão fornecem componentes sedimentares que podem explicar a composição isotópica dos sedimentos coletados em Abrolhos, em especial, os pontos com maior variação da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em comparação com a razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$. Nas amostras coletadas no Arco Externo, o sinal isotópico do rio Doce é, no geral, menor que nos sedimentos dos arcos Interno e Intermediário.

Verificou-se uma mudança na mineralogia das amostras do Arco Interno na região de Sebastião Gomes no período de janeiro a julho/2020, ocorrendo um pico de quartzo associado à presença de albite e diminuição das concentrações de muscovita e gibbsita, e ausência de minerais carbonáticos. Segundo os pesquisadores, esse evento deve estar associado à maior vazão do rio Doce, que atingiu sua máxima para o período de janeiro/2019 a setembro/2021, causando aumento na entrada de material terrígeno.

O relatório apresenta tendência de redução no sinal do rio Doce para o arco externo na análise dos dados isotópicos. Por outro lado, no arco interno a tendência foi de um leve aumento de sinal do rejeito, mesmo após 6 anos da sua chegada à foz do rio Doce.

4.3.10.2 Conclusões - Sedimentação em Abrolhos

O estudo cumpriu os principais objetivos propostos, monitorando o MPS, a deposição de material nas armadilhas e comparando a mineralogia e composição isotópica entre as amostras nos arcos recifais interno, intermediário e externo na região de Abrolhos. O estudo produziu uma importante linha de base sobre a mineralogia e composição dos sedimentos na área afetada pelos rejeitos. Essa linha de base contribui para a tomada de decisão, identificação de impactos e monitoramento de impactos e medidas reparatórias, além de ser uma fonte de informação científica para universidades e Unidades de Conservação afetadas pelo rompimento da barragem.

O 2º relatório conclui que a partir das assinaturas radiométricas por isótopos radiogênicos (razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$), em sedimentos coletados em Abrolhos, considerando as assinaturas de outros rios que aportam na região e a condição pristina (anterior ao desastre da Samarco), foi possível detectar a presença de sedimentos caracterizados pela mistura dos rejeitos da Samarco e do material sedimentar do leito do rio Doce na região dos Abrolhos. A presença da mistura se manteve constante para as localidades monitoradas no arco interno da zona recifal (corroborado por modelos de dispersão) e fortemente dependente das condições meteorológicas atuantes no arco externo de Abrolhos.

Já o 3º relatório indica que os dados isotópicos mostraram redução ao longo do tempo no sinal do rio Doce para o arco externo. No entanto, foi observada uma leve tendência de aumento de sinal do rejeito no arco interno, mesmo após 6 anos da sua chegada à foz do rio Doce.

Na matriz de resultados do PMBA são apresentados os seguintes impactos no sedimento da região de Abrolhos: (1) “Mudança na qualidade do sedimento observado pela alteração de marcadores isotópicos. A contribuição do rio Doce nos sedimentos do Arco Externo foi superior a 60 % principalmente nos períodos de março-agosto/2019 (incidência de frentes frias) e janeiro-abril/2021 (verão)”; e, (2) “Observação de enriquecimento de Fe em Abrolhos. Concentrações de Fe e Al são maiores que 1 nas amostras do arco interno, mais próximas ao estuário de Caravelas”.

4.3.10.3 Proposta de Encaminhamento

O 3º Relatório não traz recomendações para o anexo 8. Assim, após análise técnica do relatório, recomenda-se que sejam realizadas as seguintes complementações para o próximo relatório: (1) Revisão das figuras e análises em relação ao ponto de amostragem localizado nas Timbebas, pois ele aparece como arco externo, mas, apesar de ser uma poligonal do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, está alinhado com os recifes do arco interno; (2) Avaliação da necessidade do monitoramento na região e, em caso positivo, avaliar a possibilidade de simplificação do estudo, indicando quais parâmetros e pontos de amostragem são imprescindíveis para acompanhamento dos impactos da deposição do rejeito na região dos Abrolhos, relacionando às temáticas ou indicadores biológicos; (3) Apresentar mapa de localização dos pontos de amostragem para cada item que contenha pontos diferentes, sendo pontos das armadilhas (que já consta no material suplementar, mas não inclui os limites da APA Estadual Ponta da Baleia/Abrolhos), das coletas de MPS, mineralogia e parâmetros físicos da água, a fim de facilitar o entendimento das amostragens pelos analistas; (4) Sugerir medidas mitigatórias ou de reparação nas áreas impactadas (conforme Ofício SEI nº 85/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio); e (5) Apresentar um resumo sobre o estudo

em linguagem acessível, contendo as conclusões dos 3 anos de monitoramento e figuras de simples entendimento, para divulgação dos resultados aos diversos atores locais.

5. CONCLUSÃO E/OU PROPOSIÇÃO

Inicialmente, faz-se necessário destacar que, ao longo desta Nota Técnica, são apresentadas conclusões específicas para cada ambiente (dulcícola, costeiro e marinho) e respectivos projetos e subprojetos, nas quais são detalhadas as conclusões específicas para cada tema em questão. Consequentemente, este item foca nas conclusões de caráter geral e nos impactos mais relevantes por ambientes indicados no relatório do PMBA.

O Relatório aponta que no **ambiente dulcícola** os impactos mais frequentes no compartimento abiótico foram observados na matriz Água, e nos compartimentos bióticos, o grupo mais impactado foi o de peixes. Este é seguido pela microbiota, fitoplâncton, zooplâncton e macroinvertebrados. No **ambiente costeiro**, os impactos químicos no compartimento abiótico ficaram restritos aos sedimentos (devido ao desenho amostral adotado no PMBA). Nos compartimentos bióticos, os caranguejos do manguezal se apresentaram como sendo o grupo mais impactado. No **ambiente marinho**, ambos compartimentos abióticos (água e sedimento) apresentaram-se impactados em três categorias: Sedimentologia, Química e Ecotoxicologia. No compartimento biótico, toda a cadeia trófica apresentou algum tipo de impacto, destacando-se os níveis tróficos mais elevados (peixes, tartarugas, aves e cetáceos) e os compartimentos planctônicos e bentônicos.

Os impactos considerados críticos, que merecem maior atenção e medidas de mitigação, reparação e compensação são: a) Contaminação por metais e metalóides no zooplâncton, bentos de fundo inconsolidado, peixes e aves; b) alteração dos índices ecológicos em zooplâncton e bentos de fundo inconsolidado; c) aumento na abundância de espécies indicadoras de impacto na microbiota; d) alteração nos parâmetros reprodutivos associados ao ictioplâncton; e) alterações na estrutura de comunidades do fitoplâncton e bentos de fundo inconsolidado; f) alteração da diversidade genética de cetáceos; g) doença e presença de agentes infecciosos em tartarugas; h) alterações dos parâmetros de saúde e fisiologia do fitoplâncton e tartarugas marinhas; i) mortalidade de organismos do bentos de fundo inconsolidado; j) danos morfológicos no ictioplâncton; e k) alteração no uso do habitat em tartarugas, cetáceos e aves.

O relatório indica que a área monitorada de Serra/ES ao Sul da Bahia foi impactada, por alguns dos itens acima citados, e destaca que a porção ao norte da foz do rio Doce corresponde à área criticamente mais afetada, visto que, ao longo dos anos, a deriva litorânea no sentido norte favorece o transporte de sedimentos para esta região, com a presença de contaminantes associados.

Considerando os documentos apresentados pela FEST/RRDM e analisados pela CT-Bio, levando-se em conta as justificativas apresentadas para o não cumprimento integral do período amostral estabelecido, especialmente as relacionadas à Pandemia COVID-19, quando as coletas foram interrompidas por um período, entende-se que o 3º Relatório Anual (2021) do PMBA/FEST-RRDM atende parcialmente ao estabelecido no Termo de Referência 04/2016 e Plano de Trabalho aprovado pela CT-BIO, por meio da Nota Técnica nº 8/2019/CTBIO/DIBIO/ICMBio (SEI 4787186), e ajustado ao longo do processo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), de acordo com as ressalvas e propostas de encaminhamento apresentadas nesta Nota Técnica.

6. ENCAMINHAMENTOS GERAIS

As análises apontaram que a leitura, análise e compreensão do relatório estão confusas devido à utilização de vários arquivos avulsos ao longo do processo, além de imagens e gráficos de baixa clareza em tendências e impactos e pouca integração entre os anexos e ambientes, e ainda um longo e complexo histórico da evolução das metodologias. Diante disto, recomenda-se que o próximo relatório seja apresentado conforme os apontamentos apresentados por meio do Ofício SEI nº 85/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio (Otimização dos Relatórios do PMBA a serem entregues) e do Ofício SEI nº 4/2023-CTBio/DIBIO/ICMBio.

Além das ressalvas individuais constantes de cada Anexo analisado e das planilhas *Excel* (Planilha de aderência ao escopo) (SEI 13883837) anexas a esta Nota Técnica, segue abaixo algumas das questões gerais a serem atendidas impreterivelmente a partir do próximo relatório.

A fim de manter a coerência entre os dados brutos e os dados apresentados, deve-se realizar as correções devidas para todos os dados/resultados apresentados ao longo de todo o Relatório, tendo em vista os vários equívocos apontados nesta Nota Técnica, atentando-se a todos os demais encaminhamentos e proposições descritos nas análises dos respectivos anexos. Inclusive, solicita-se revisão ortográfica, gramatical e de referências aos anexos e bibliográfica.

Faz-se necessário definir mais precisamente a terminologia de forma a separar termos estatísticos específicos (significância de resultados) da livre utilização da língua portuguesa. Aparentemente, em vários casos, a palavra “*significativo(a)*” é utilizada sem relação estatística com os dados.

Para todo o método descrito, é importante delimitar de forma mais clara a janela temporal de coleta dos dados apresentados, bem como os limites temporais de integração dos dados.

Sugere-se apresentar um resumo sobre todo o estudo, em linguagem acessível e com foco na população atingida, contendo as conclusões de todos os anos de monitoramento e figuras de simples entendimento, para ampla divulgação dos resultados.

Por fim, destaca-se a importância da continuidade do monitoramento, entretanto atentando-se aos seguintes pontos :

- Com as ausência de restrições sanitárias, orçamentárias, etc, entre elas as impostas pela pandemia da COVID-19, é imprescindível que o esforço amostral e analítico previstos nos documentos de referência sejam cumpridos;
- Os resultados do presente monitoramento já estão sendo utilizados para elaboração dos Planos de Ação para Conservação da Biodiversidade Aquática e contarão medidas de mitigação, reparação e compensação;
- Que a Fundação Renova e a FEST/RRDM concluam o Sistema de Informação com todos os dados do PMBA, já apresentado a CT-Bio, de forma que esta e a sociedade possa 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.

**ANEXO I – MINUTA DE DELIBERAÇÃO DO COMITÊ INTERFEDERATIVO
COMITÊ INTERFEDERATIVO**

Deliberação nº XX/2023, de xx de março 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.

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 *Termo de referência 4 - TR4/2016, no histórico de ajustes do TR4, no Plano de Trabalho da Rede Rio Doce Mar, na Nota Técnica nº 15/2020/CTBio/DIBIO/GABIN, na Nota Técnica nº 08/2022/CTBio/DIBIO/GABIN, nas modificações ao longo do processo e na Nota Técnica nº 5/2023/CTBio/DIBIO/GABIN*, o COMITÊ INTERFEDERATIVO delibera:

Deliberação do CIF:

1. Aprovar a Nota Técnica nº 5/2023/CTBio/DIBIO/GABIN, referente à análise do terceiro Relatório Anual (RA2021) 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 FEST/RRDM (Fundação Espírito-santense de Tecnologia/Rede Rio Doce Mar) em Acordo de Cooperação;
2. Determinar que Fundação Renova apresente o próximo Relatório Anual do PMBA de forma otimizada conforme proposto no Ofício SEI nº 85/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio e Ofício SEI nº 4/2023-CTBio/DIBIO/ICMBio, atendendo as recomendações/proposições citadas na Nota Técnica nº 5/2023/CTBio/DIBIO/GABIN;
3. Determinar que a Fundação Renova apresente um Relatório com a síntese dos resultados do PMBA em linguagem acessível à sociedade com resultados cumulativos, entregue junto ao Relatório anual.

Brasília, xx de xxx de 2023.

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Presidente do Comitê Interfederativo

Informamos que a Coordenação Técnica da avaliação do relatório esteve sobre a regência **Sr. João Carlos Alciami Thomé**, Coordenador Suplente da CTBio/CIF.

NOME DO(S) SIGNATÁRIO(S) RESPONSÁVEL(S)

Anexo 1- Monitoramento Ecotoxicológico em Regiões Dulcícolas, Estuarinas E Marinhas.

Miguel Bernardinho Campos - IBAMA (Coordenador de análise do anexo)

Juliano De Oliveira Barbirato - IEMA

Dandara Silva Cabral - ASPERQD

Mariangela De Lorenzo - Consultora Camaroeiros de Vitória

Giulia Burle Costa - Doutorado em Ecologia, voluntária.

Anexo 3 - Estudo e Monitoramento Ambiental no Rio Doce, Área Estuarina e Marinha (Área Ambiental 1).

Meio Dulcícola
Maria Regina Goncalves Souza Soranna - ICMBio/CEPTA (Coordenadora de análise do anexo)
José Savio Colares De Melo - ICMBio/CEPTA
Meio Marinho
Gustavo Vaz De Mello Baez Almada - IBAMA (Coordenador de análise do anexo)
Carina Tostes Abreu - ICMBio/NGI Abrolhos
Fadima Guimarães de Avila Augusto - IEMA
Daniel Correia de Freitas - ICMBio/NGI Curitiba
João Carlos Alciati Thomé - ICMBio/Centro Tamar
<i>Anexo 4 – Monitoramento de Potenciais Impactos do Rejeito de Minério de Ferro na Praia e Antepraia Adjacentes da desembocadura do Rio Doce</i>
Antônio de Pádua Leite Serra de Almeida - ICMBio/Rebio Comboios (Coordenador de análise do anexo)
Roberto Sforza - ICMBio/ Centro Tamar
<i>Anexo 5 – Alterações Ecológicas na Dinâmica dos Manguezais e Vegetação de Restinga Sob Influência dos Sedimentos Provenientes do Rio Doce.</i>
Manguezal
Luiz Francisco Ditzel Faraco - ICMBio/ NGI Curitiba (Coordenador de análise do anexo)
Marília das Graças Mesquita Repinaldo - ICMBio/Centro Tamar
Aristides Salgado G. Neto - ICMBio/ NGI Abrolhos
Paula Moraes Pereira - IBAMA
Marcelo Derzi Vidal - ICMBio/CNPT
Restinga
Cezar Neubert Gonçalves - ICMBio/PNCD (Coordenador de análise do anexo)
Patrick Calatroni Hemaïdam - IEMA
Paula Moraes Pereira - IBAMA
<i>Anexo 6 – Monitoramento De Mamíferos, Tartarugas e Aves Marinhas Associados à Foz Do Rio Doce, Plataforma Continental e Áreas Protegidas Adjacentes</i>
Gabriella Tiradentes Pizetta - ICMBio/Centro Tamar (Coordenadora de análise do anexo)
Roberto Cavalcanti Barbosa Filho - ICMBio/CEMAV
Glaucia Pereira De Sousa - ICMBio/CGIMP
Hermes José Daros Filho - IEMA
<i>Anexo 7 – Estudo e Monitoramento da Ictiofauna Marinha e Estuarina.</i>
Marinha
Mônica Maria Vaz - ICMBio/NGI APA Costa das Algas - REVIS Santa Cruz
Eduardo Perini - IEMA
Dulcícola
Maria Regina Gonçalves Souza Soranna - ICMBio/CEPTA (Coordenadora de análise do anexo)
Larissa Novaes Simões Bueno - IEMA

Mônica Magalhães Barbosa - IBAMA

Anexo 8 – Monitoramento da Sedimentação no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Regiões Relacionadas

Carina Tostes Abreu - ICMBio/NGI Abrolhos (Coordenadora de análise do anexo)

Aristides Salgado G. Neto - ICMBio/NGI Abrolhos

Marcelo Lourenço - ICMBio/Centro Tamar



Documento assinado eletronicamente por **MÔNICA MAGALHÃES BARBOSA, Usuário Externo**, em 14/03/2023, às 12:34, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marilia das Gracas Mesquita Repinaldo, Analista Ambiental**, em 14/03/2023, às 13:40, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Roberto Cavalcanti Barbosa Filho, Analista Ambiental**, em 14/03/2023, às 14:18, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Fadima Guimarães de Ávila Augusto, Usuário Externo**, em 14/03/2023, às 14:27, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Larissa Novaes Simões, Usuário Externo**, em 14/03/2023, às 14:30, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Gabriella Tiradentes Pizetta, Analista Ambiental**, em 14/03/2023, às 14:32, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANO DE OLIVEIRA BARBIRATO, Usuário Externo**, em 14/03/2023, às 14:50, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Hermes José Daros Filho, Usuário Externo**, em 14/03/2023, às 14:56, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Patrick Calatroni Hemaidam, Usuário Externo**, em 14/03/2023, às 14:58, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Vaz de Mello Baez Almada, Usuário Externo**, em 14/03/2023, às 15:13, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Sosti Perini, Usuário Externo**, em 14/03/2023, às 15:23, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Carina Tostes Abreu, Analista Ambiental**, em 14/03/2023, às 16:21, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Correia de Freitas, Analista Ambiental**, em 14/03/2023, às 17:07, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Paula Moraes Pereira, Usuário Externo**, em 14/03/2023, às 20:59, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Glauca Pereira De Sousa, Analista Ambiental**, em 15/03/2023, às 10:19, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Dandara Silva Cabral, Usuário Externo**, em 15/03/2023, às 13:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Miguel Bernardino dos Santos, Usuário Externo**, em 16/03/2023, às 10:56, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Cezar Neubert Goncalves, Chefe Substituto(a)**, em 16/03/2023, às 11:20, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Maria Regina Gonçalves De Souza Soranna, Servidor Cedido**, em 16/03/2023, às 12:08, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Antonio De Padua Leite Serra De Almeida, Chefe**, em 17/03/2023, às 09:39, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Giulia Burle Costa, Usuário Externo**, em 20/03/2023, às 14:20, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Mônica Maria Vaz, Analista Ambiental**, em 22/03/2023, às 13:10, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Francisco Ditzel Faraco, Analista Ambiental**, em 23/03/2023, às 10:07, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Derzi Vidal, Analista Ambiental**, em 23/03/2023, às 10:24, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Cabral Lage Ferreira, Terceirizado(a)**, em 23/03/2023, às 10:51, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Joao Carlos Alciati Thome, Coordenador**, em 27/03/2023, às 12:29, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Roberto Sforza, Analista Ambiental**, em 28/03/2023, às 18:12, 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 **13866524** e o código CRC **270B210D**.

