



Análises Ambientais e o Nexu Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas



FUNDAÇÃO
renova

Julho de 2020

Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

RELATÓRIO CONSOLIDADO

Equipe:

Maria Claudia Braga Paley

Érica Cristina Padovani Haller

Cecília Alarsa

Maria Madalena Los

Vilma M. Cavinatto Rivero

Apresentação

Este relatório apresenta o trabalho elaborado pela Tetra Mais Consultoria Ltda. sobre a análise de estudos ambientais que abrangem a região denominada Novas Áreas. As análises sobre os estudos-chaves, disponibilizados no início de junho de 2020 pela Fundação Renova, buscaram relacionar as condições verificadas nos ambientes com as causas e seus efeitos que podem ter sido em consequência do rompimento da barragem de Fundão. O relatório abrange, também, a consolidação acerca das informações sobre impactos ambientais que constam dos estudos analisados.

Sumário Executivo

Foram analisadas informações provenientes de 17 estudos-chaves que tem como abrangência a região denominada Novas Áreas (litoral do Espírito Santo, entre os municípios de Conceição da Barra – ao norte, e Serra – ao sul), bem como 57 outros documentos para consulta e apoio. Essas análises foram feitas no contexto do rompimento da barragem de Fundão localizada em Mariana (MG), ocorrido em novembro de 2015, e considerou os efeitos sobre o ambiente decorrentes da liberação de rejeitos de minérios. A lama de rejeitos e sedimentos atingiu o rio Doce e chegou à costa do Estado do Espírito Santo. O objetivo foi avaliar as alterações ambientais apontadas nos estudos e se teriam relação de causalidade com o rompimento da barragem, ou se existem outros fatores independentes ou concorrentes das alterações verificadas no meio e em seus componentes. Neste relatório os aspectos avaliados abrangem como principais temas a Qualidade da Água e Sedimentos na Zona Costeira Adjacente às Novas Áreas e a Biodiversidade Marinha e Estuarina.

A região de Novas Áreas, tratando-se da faixa litorânea mais ao norte do Estado do Espírito Santo, apresenta em seu mosaico de usos atividades mais relacionadas ao turismo e à pesca, atividades ao ar livre, lazer, atividades agropecuárias e, localizadamente, vocação industrial. Essa região vem sofrendo com atividades antrópicas desde a década de 1960.

A bacia hidrográfica do rio Doce se destaca por suas grandes proporções, abrangendo parte do território dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Apresenta um histórico de degradação anterior ao rompimento da barragem, o que já possibilitava um acúmulo de constituintes nos trechos próximos à foz, tais como o ferro, que é um elemento característico da matriz geológica regional (APLYSIA, 2018a).

O rio Doce, um dos principais cursos d'água da costa brasileira, representa uma fonte significativa de aporte sedimentar para a faixa litorânea, com vazão média de 1.140 m³/s (PETROBRAS, 2015). No estudo pretérito ao evento da barragem de Fundão conduzido por Petrobras (2015) consta que a descarga de sedimentos em suspensão foi estimada em 12,7 x 10⁶ t/ano, uma das maiores do país. Ainda de acordo com este

trabalho dados obtidos entre 2010 a 2014 revelam a presença de ambientes majoritariamente prístinos (ou primitivos) nas zonas mais profundas e afastadas da costa e o aporte terrígeno nas faixas mais próximas, contendo maior conteúdo de sedimentos finos, de materiais orgânicos e de contaminantes provenientes da bacia de drenagem do rio Doce (ALBINO & SUGUIO, 2010).

Estudos já apontavam o direcionamento natural da pluma alimentada pela descarga do rio Doce em direção ao sul devido à predominância dos ventos do quadrante norte, sendo que os ventos do quadrante sul limitam esse espalhamento (CAMPOS, 2011, *apud* PETROBRAS, 2015), além da influência hidrodinâmica, conforme também identificado após o rompimento da barragem (MARTA-ALMEIDA, 2016; COPPETEC, 2020a).

A descarga fluvial, a dispersão de plumas e a distribuição de sedimentos na plataforma continental contribuem diretamente para os processos biogeoquímicos costeiros. Nesse aspecto, os estuários atuam como importantes armazenadores de elementos metálicos uma vez que grande parte dos metais precipita e sofre deposição nos sedimentos costeiros, como resultado da interação entre a mistura de água marinha com a água doce proveniente das bacias de drenagem dos rios associados (LIBES, 2009, *apud* PETROBRAS, 2015). Nessa perspectiva, além do rio Doce, deve ser considerada dentro do limite das Novas Áreas a contribuição dos demais cursos d'água afluentes, com destaque, ao norte, para os rios Itaúnas, São Mateus, Barra Nova, Ipiranga, e, ao sul, para os rios Tamoios, Riacho, Piraquê-Açú e Reis Magos.

A introdução de poluentes pelos rios, tanto em áreas urbanizadas, quanto em regiões com atividades agrícolas e pecuárias, levam ao aumento da eutrofização dos estuários e das águas marítimas costeiras, com reflexos para as comunidades aquáticas. Adicionalmente, o desmatamento e as intervenções nas drenagens naturais em áreas úmidas de planícies flúvio-lacustres e litorâneas visando à implantação de agricultura e pastagens, como espaço urbano, de lazer e de recreação, as atividades de pesca e aquicultura e a extração de petróleo constituem exemplos de intervenções antrópicas que alteram a dinâmica natural da paisagem estuarina e costeira.

No dia 05 de novembro de 2015, a barragem de rejeitos de mineração denominada de Fundão, operada pela mineradora Samarco no município de Mariana, Minas Gerais, se rompeu, liberando rejeitos para o sistema fluvial a jusante. A ruptura da barragem resultou na liberação de aproximadamente 39,2 Mm³ (milhões de metros cúbicos) de rejeito da área da Samarco Mineração S/A. Parte destes rejeitos foi depositada nas margens dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, outra parte ficou retida no reservatório da Usina Hidroelétrica (UHE) Risoleta Neves (Candonga), localizada nos municípios de Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, em Minas Gerais. Outra parte, predominantemente em suspensão como carga sólida, seguiu pela calha do rio Doce até o mar.

O alcance da pluma de sedimentos, identificado pela modelagem matemática (COPPETEC, 2020b), atingiu a região das Novas Áreas com distintos percentuais de persistência, alcançando toda faixa ao sul da foz do rio Doce. Em contraste, na porção norte, a extensão da pluma chegou até a costa na localidade de Degredo e não representou potencial para gerar interferências na faixa costeira entre a foz do rio Ipiranga até o rio Itaúnas.

A forma com que a pluma de rejeitos oriunda da barragem de Fundão se dispersou pelo litoral na zona costeira pode ser verificada nos resultados das modelagens hidro-sedimentológicas morfodinâmicas. Essas modelagens mostraram que o litoral das Novas Áreas foi alcançado pela pluma, mas não na totalidade de seus municípios, como por exemplo São Mateus e Conceição da Barra, nos quais não foi observada interferência pela pluma de rejeitos. Naqueles municípios onde houve alcance, a pluma ocorreu com intensidade, persistência e concentrações variáveis em cada localidade, a depender de fatores espaciais (distância e localização da foz do rio Doce) e temporais, a saber:

- A persistência de concentração da pluma de rejeito na área de estudo contemplou as faixas de sólidos suspensos totais (SST) entre 10 e 100 mg/L, entre 100 e 500 mg/L e entre 500 e 1000 mg/L limitada apenas ao período de cerca de 130 dias, entre 20/11/2015 a 30/03/2016.

- Os resultados obtidos, de acordo com COPPETEC (2020b), apontaram para a faixa de menor concentração, entre 10 e 100 mg/L de SST, o alcance da pluma até Degredo, situada a 42 km ao norte da foz do rio Doce, com persistência entre 1 e 5% do período de tempo apenas entre 20/11/2015 a 30/03/2016. Acima dessa distância, ao norte, nos municípios de São Mateus e Conceição da Barra, o modelo indica que não houve interferência da pluma de sedimentos, conforme citado.
- A maior persistência nessa faixa de SST (10 e 100 mg/L) ocorreu na localidade de Povoação, localizada a 9 km ao norte da foz do rio Doce, na qual a pluma permaneceu por aproximadamente 90% do período analisado.
- Ao sul da foz do rio Doce, destacaram-se nessa faixa de SST as comunidades de Regência e Vila do Riacho, cuja pluma manteve contato na zona costeira entre 75 a 80% no período apenas entre 20/11/15 a 30/03/16. Esse intervalo de concentração de SST chegou ao limite sul das Novas Áreas, desde Aracruz até o distrito de Nova Almeida, distante aproximadamente 72 km da foz, com percentuais de persistência entre 35 a 40% no referido intervalo de tempo.
- Para a faixa intermediária de concentração considerada na modelagem (SST entre 100 e 500 mg/L), o alcance ficou restrito à Povoação e Regência (no município de Linhares), compreendendo entre 1 e 5% e entre 25 a 30% do período acima mencionado, respectivamente. A faixa de maior concentração (entre 500 e 1.000 mg/L) se manteve restrita à foz do rio Doce, em 1% desse intervalo de tempo.

Assim, será averiguado se os efeitos ambientais associados ao rompimento da barragem de Fundão podem ter contribuído para alterações nos ecossistemas costeiros na região da foz do rio Doce somando-se as causas de uso antrópico, históricas e ambientais preexistentes já mencionadas.

Em relação aos temas abordados nesta análise de nexos de causalidade referente aos impactos no ambiente decorrente do rompimento da barragem apontam-se os seguintes:

Qualidade da Água

Considerou-se neste estudo a qualidade da água bruta, tal como encontrada em corpos d'água no meio natural para os quais existe na legislação brasileira a Resolução Conama 357/2005 que dispõe sobre sua classificação, diretrizes para seu enquadramento e estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes. As águas costeiras nas Novas Áreas têm características salobras (estuários) e salinas (mar) e são consideradas classe 1 pela referida resolução.

Conforme anteriormente descrito, o alcance da pluma de rejeitos na zona costeira ocorreu em distintas faixas de concentração e de tempo de persistência elevando o teor de sólidos suspensos totais na zona costeira e nos estuários (COPPETEC, 2020b).

A partir de abril de 2016 a quantidade de rejeitos transportada pelo rio Doce se tornou irrelevante, tratando-se de um impacto de escala temporária, com baixo nível de incerteza de magnitude, e cumulativo, pois as concentrações da pluma de rejeitos na zona costeira se somaram às contribuições naturais do rio Doce (COPPETEC, 2020b). A maior relevância do impacto derivado da pluma de rejeitos, tanto pela sua concentração quanto pelo seu nível de persistência, ocorreu nas imediações da foz do rio Doce, nas comunidades de Regência e de Povoação, no município de Linhares. Golder (2018) evidenciou redução nas concentrações medianas de sólidos suspensos totais (SST), no período de 27 de fevereiro a 31 de outubro de 2016, para valores inferiores aos apresentados para a região na literatura para o período pré-acidente (< 200 mg/L), o que denota retorno às condições prévias ao rompimento da barragem.

Em relação a não conformidades de padrões legais estabelecidos pela Resolução Conama 357/05 para qualidade da água (GOLDER, 2018) foram registradas para águas salobras e salinas classe 1 extrapolações relacionadas principalmente a ferro, alumínio e manganês, observadas com maior intensidade nas imediações da foz do rio Doce (em Linhares), bem como ao sul conforme resultados obtidos na APA Costa das Algas (em Santa Cruz) (GOLDER, 2018).

Trata-se de um impacto temporário, devido à dispersão dos componentes, também detectado pelos resultados dos monitoramentos realizados pelo Programa de

Monitoramento Quali-Quantitativo da Qualidade da Água e dos Sedimentos (PMQQS) desde 2017, que demonstra que já houve o retorno às condições prévias ao rompimento. Os dados disponíveis atestam que esse impacto representa um baixo nível de incerteza de magnitude. Além da influência da pluma, considera-se que ações passadas e presentes na bacia hidrográfica contribuem para a presença de metais na zona costeira.

Em relação ao aumento da concentração de metais que podem causar toxicidade, a dispersão da pluma de rejeitos ocasionou no curto prazo e imediatamente após o rompimento um aumento pontual na concentração de alguns metais potencialmente tóxicos em relação aos critérios estabelecidos pela Resolução Conama 357/05 para águas salobras e salinas classe 1 (GOLDER, 2018). Os metais cádmio, chumbo e zinco totais e cobre dissolvido apresentaram comportamento que sugere relação com a chegada dos rejeitos à região costeira (GOLDER, 2018).

Dentre estes parâmetros, apenas o zinco teve ocorrência frequente de não conformidades de acordo com dados obtidos no PMQQS, porém, não é possível traçar uma relação das concentrações atuais deste metal com o aporte decorrente do rio Doce e com o rompimento da barragem. O arsênio, metaloide que também apresentou maior concentração no período após a chegada da pluma, ocorre naturalmente em concentrações elevadas nos sedimentos na costa do estado do Espírito Santo. A persistência de metais no ambiente, avaliado pelo indicador de contaminação por tóxicos – CT, é considerada pontual frente a sua série histórica e padrão de ocorrência, assumindo maior relevância o zinco, sobretudo nos estuários do rio Doce, do rio Riacho e do rio Ipiranga e, com menor expressão, no estuário do rio Piraquê-Açú (dentro dos municípios de Linhares e Aracruz).

Para os estuários do rio Doce e do rio Riacho (nos municípios de Linhares e Aracruz, respectivamente), as alterações de cádmio, chumbo e zinco totais, cobre dissolvido e arsênio apresentam um nível médio de incerteza de magnitude pois, de acordo com os estudos da COPPETEC (2020b), a pluma na menor concentração (entre 10 e 100 mg/L de SST) persistiu, no período entre 20/11/2015 e 30/03/2016, conforme citado, entre 85 a 90% em Povoação e entre 75 a 80% em Vila do Riacho. A faixa de concentração

intermediária (SST entre 100 e 500 mg/L) se manteve no máximo a 9 km (Regência) e a 1km ao sul (Povoação), enquanto que a faixa de maior concentração (SST entre 500 e 1.000 mg/L) permaneceu por 1% do tempo da fase crítica circunscrita à Regência nas imediações da foz do rio Doce.

Quanto ao estuário do rio Ipiranga, essa manifestação de toxicidade pelo zinco pode ser atribuída à drenagem da bacia do rio Barra Seca (UGRH Doce), cujos solos orgânicos propiciam um maior fluxo de metais para as águas receptoras. Considerando o alcance da pluma até Degredo, o impacto no estuário do rio Ipiranga pelos rejeitos possui um nível alto de incerteza, uma vez que esse ambiente apresentou concentrações maiores de metais em relação ao estuário do rio Doce.

Os resultados da modelagem hidrossedimentológica (COPPETEC, 2020b) indicam que não houve alcance da pluma nos municípios de São Mateus e Conceição da Barra, nas UGRHs São Mateus e Itaúnas. Neste sentido, não há nexos causais estabelecidos para os estuários inseridos nessas unidades hidrográficas, sendo consideradas, assim, alterações na região entre Linhares e Aracruz. Trata-se de um impacto temporário, pois a evolução do indicador "contaminação por tóxicos – CT" prevalece com a classificação Muito Baixa, indicando consonância com a legislação vigente para todos os componentes e ambientes avaliados.

No município de São Mateus e na localidade de Degredo (município de Linhares), investigou-se a qualidade da água do rio São Mateus (que não tem conexão com o rio Doce) e de poços artesianos, respectivamente. A poluição do rio São Mateus é percebida devido à deficiência de saneamento básico, ao desmatamento de mata ciliar, irrigação, aplicação de agrotóxicos, descarte de lixo e de óleo, além do tráfego de embarcações e salinização da água (AGERH, 2018). Eventuais não conformidades identificadas nas águas dos poços artesianos também não foram associadas ao rompimento da barragem de Fundão.

Sedimentos

Em relação aos sedimentos, os rejeitos de minério transportados pelo rio Doce, após a ruptura da barragem de Fundão, nos primeiros 90 dias após o acidente, caracterizaram-

se por material fino. A modelagem hidrodinâmica, realizada por COPPETEC (2020a), mostrou que a região costeira não é favorável à deposição de sedimentos finos. Esse processo ocorreu nas imediações da foz do rio Doce, ficando na direção norte restrito a uma distância de 5 km (camada de aproximadamente 10 cm), diminuindo gradativamente ao sul, no qual chega a cerca de 5 cm próximo ao rio Riacho e 1 cm na foz do rio Piraquê-Açú (COPPETEC, 2020a).

A despeito do acúmulo de metais nos sedimentos, a concentração de alumínio, de ferro e de manganês se manteve em níveis de variação similares aos registrados antes do evento na maioria dos pontos amostrados. No entanto, as concentrações de ferro alcançaram resultados superiores aos valores reportados antes da passagem da pluma nas imediações da foz do rio Doce, o que pode ter sido afetado pela deposição de rejeitos nesse local (GOLDER, 2018). Entre os elementos contemplados pela Resolução Conama 454/12, conforme resultados do Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos – CQS, apenas o arsênio apresenta, de forma recorrente, extrapolações dos limites definidos pela legislação, porém, a concentração desse metaloide é naturalmente elevada na zona costeira do estado do Espírito Santo, principalmente ao sul, onde predominam algas calcárias.

O Projeto de Caracterização Ambiental Regional da Bacia do Espírito Santo e parte norte da Bacia de Campos (PETROBRAS, 2015) apontou em resultados que antecedem a passagem da pluma que arsênio, cromo, cobre e níquel apresentaram, na fração dissolvida, concentrações superiores nas imediações da foz do rio Doce. O ferro e o alumínio, que não possuem valores máximos determinados pela Resolução Conama 454/12, revelaram os maiores teores na área de influência da foz do rio Doce e mostraram correlação, indicando que seu transporte principal ocorre pela bacia de drenagem.

Adicionalmente, os sedimentos dessa região tendem a receber também a contribuição das falésias da Formação Barreiras e das lateritas existentes na costa do litoral norte do estado do Espírito Santo. Merece destaque em toda a zona costeira estadual o registro de valores anômalos de arsênio em sedimentos associados a detritos de algas calcárias, referenciando que esta é a condição pretérita ao rompimento da barragem de

Fundão. Outro estudo realizado na faixa costeira da UGRH Litoral Centro-Norte entre os municípios de Aracruz e Serra, anterior ao evento, também foi objeto de análise de arsênio nas praias, nos sedimentos de manguezais e na plataforma marítima (MIRLEAN et al., 2008), demonstrando altos níveis do metaloide.

Cabe ressaltar que não é possível relacionar nexos causais com os municípios de Fundão e Serra para os parâmetros de qualidade da água e sedimentos, sendo necessário analisar mais estudos associados ao período de persistência da pluma que contemplem essas localidades. De qualquer maneira, a região que engloba esses municípios é monitorada pelo PMQQS desde agosto de 2017, onde foram registradas somente alterações pontuais em 2017 e 2018, o que indica condições possivelmente não alteradas pela pluma.

Biodiversidade

Nos estudos avaliados sobre biodiversidade, compreendendo os períodos antes e após a passagem da pluma, observa-se que os resultados referentes às comunidades aquáticas analisadas abrangem um contexto regional impossibilitando a avaliação detalhada de dados específicos circunscritos às Novas Áreas, uma vez que não constam análises espaciais dos pontos amostrados. Além disso, o delineamento amostral entre os trabalhos consultados é notoriamente distinto, fatores que, associados, dificultam o estabelecimento de nexos causais entre as alterações verificadas nas comunidades bióticas consideradas e o rompimento da barragem de Fundão, em especial para as comunidades de fitoplâncton, de zooplâncton, de ictioplâncton e de invertebrados bentônicos.

No que diz respeito à integridade da vida marinha, o monitoramento de assembleias de organismos, como peixes e crustáceos, mostrou variações que podem ser atribuídas a causas naturais, não podendo ser estabelecida correlação direta com o rompimento da barragem de Fundão.

Os dados de monitoramento de ictiofauna realizados por CTA (2017) apontaram para o reestabelecimento da abundância de peixes na região. Um possível efeito decorrente da presença do rejeito sobre a riqueza de espécies talvez possa ser estabelecido,

contudo, as evidências são pouco conclusivas, já que os valores deste indicador, embora não significativos, foram relativamente maiores na área sem deposição de rejeitos. Há a possibilidade de que outros fatores possam ser os causadores desta diferença de valores de riqueza, mesmo que pouco significativa.

Com relação a carcinofauna, a Rede Rio Doce Mar - RRDM (FEST, 2019a) apontou que a espécie *Ucides cordatus* apresentou as menores densidades e tamanhos populacionais entre as áreas de monitoramento, o mesmo ocorrendo para guaiamu (*Cardisoma guanhumi*), que apresentou diminuição do tamanho e densidade mais acentuados na área da APA Costa das Algas (UGRH Litoral Centro-Norte). O estudo não permite identificar se as alterações populacionais verificadas nos monitoramentos estão ou não associadas ao rompimento da barragem pela ausência de dados pretéritos que garantam robustez na avaliação de potenciais inferências.

Assim, em relação à biodiversidade dos ambientes estuarinos e marinhos localizados nas Novas Áreas não foi possível estabelecer nexos causais entre as alterações apontadas nas comunidades aquáticas e o rompimento da barragem de Fundão.

Foi constatada a presença de concentrações de determinados metais em tecidos de organismos marinhos de interesse comercial e nutricional, sem que, no entanto, pudesse ser confirmada a tendência a bioacumulação ou a periculosidade da ingestão destes organismos por consumidores humanos. Assim, em relação à ecotoxicidade e bioacumulação na cadeia trófica, considerando as informações presentes nos estudos analisados, as alterações verificadas ou foram consideradas como semelhantes às condições pretéritas e/ou as concentrações foram muito baixas, com riscos baixos ou desprezíveis para a saúde humana, não sendo possível verificar alterações significativas nem nexos causais com o rompimento da barragem.

Dessa forma, em uma visão generalizada, é possível afirmar, com base nos estudos analisados, que foram identificados impactos ambientais em função do rompimento da barragem de Fundão na área costeira dos municípios de Linhares e Aracruz, constituintes de Novas Áreas.

Importante ressaltar, no contexto desses monitoramentos e para uma nova etapa, a necessidade de revisão das premissas, metodologias e indicadores, visando ao melhor aproveitamento dos resultados já obtidos e obtenção de consistência e robustez aos dados já levantados, ou seja, um aprimoramento dos estudos para resultados mais assertivos. Recomenda-se, a partir das informações obtidas, uma reavaliação dos monitoramentos em curso nas Novas Áreas, com foco nos locais onde os programas em andamento definirem a existência de depósitos de rejeitos, para avaliação da biota relacionada.

Cumprir registrar, por fim, que a avaliação ideal de precisão quanto ao nexos causal é, naturalmente, dificultada pelas diferentes variáveis, metodologias, áreas amostrais e objetivos distintos, o que levam a variações na homogeneidade de análises e resultados. Ademais, conforme já mencionado, essa precisão de avaliação do nexos causal é ainda prejudicada pelos fatores externos independentes e/ou mesmo pretéritos que geraram e ainda geram impactos nesta região.

Sumário

1. Introdução	1
1.1. Contextualização Técnica da Deliberação nº58/2017 do CIF.....	1
1.2. Novas Áreas e o rompimento da barragem de Fundão	5
2. Objetivo.....	8
3. Metodologia.....	9
3.1. Análise dos Estudos	10
3.1.1. Definição dos Estudos	10
3.1.2. Metodologia de Análise dos Estudos	12
3.1.3. Análise dos Resultados.....	13
3.2. Marco de Referência Teórica para a Contextualização dos Impactos Ambientais	15
3.2.1. Impactos e Nexo Causal.....	15
3.2.2. Quadro sinóptico dos impactos socioambientais	18
3.3. Indicadores do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo da Qualidade da Água e dos Sedimentos – PMQQS	22
4. Contextualização da Área de Estudo	29
4.1. Aspectos Hidrográficos e socioambientais das UGRHs	29
4.2. Alcance e Persistência da Pluma de Rejeitos	42
4.2.1. Monitoramento marinho por sobrevoo	42
4.2.2. Modelagens Hidrodinâmicas	44
5. Análise dos Estudos para Identificação dos Impactos Socioambientais.....	55
5.1. Qualidade da Água e Sedimentos na Zona Costeira	55
5.1.1. Qualidade da Água	57
5.1.2. Sedimentos.....	83
5.2. Biodiversidade Estuarina e Marinha.....	94

5.2.1. Diversidade das Comunidades Aquáticas	94
5.2.2. Bioacumulação em Cadeias Tróficas	113
6. Síntese dos Impactos Socioambientais	124
7. Conclusões	128
8. Referências Bibliográficas	133
9. Anexos	143
9.1. Anexo 1 - Resumo dos Estudos Utilizados	143
9.2. Anexo 2 – Apresentação da Equipe	198
9.3. Anexo 3 – ART do Contrato	200

Lista de Figuras

Figura 1- Áreas de proibição de pesca no mar nos municípios de Linhares e Aracruz, conforme Ação Civil Pública ajuizada pelo Ministério Público, (processo nº 0002571-13.2016.4.02.5004 (2016.50.04.002571-0))	3
Figura 2 - Linha do tempo sobre a criação de Novas Áreas.....	5
Figura 3 - Localização das comunidades que abrangem Novas Áreas	7
<i>Figura 4 - Localização dos pontos de monitoramento do PMQQS da Fundação Renova e respectivas UGRHs</i>	<i>25</i>
Figura 5 - UGRHs que abrangem Novas Áreas.....	32
Figura 6 - Unidades de Conservação na região das Novas Áreas nas UGRHs Itaúnas e São Mateus.....	33
Figura 7 - Unidades de Conservação na região das Novas Áreas nas UGRHs Doce e Litoral Centro-Norte.....	34
Figura 8 - Persistência de concentrações de rejeito proveniente do rompimento da barragem de Fundão entre 10 a 100 mg/L de 20/11/2015 a 30/03/2016 na região Novas Áreas.....	48
Figura 9 - Persistência de concentrações de rejeito proveniente do rompimento da barragem de Fundão entre 100 a 500 mg/L de 20/11/2015 a 30/03/2016 na região Novas Áreas.....	49
Figura 10- Persistência de concentrações de rejeito proveniente do rompimento da barragem de Fundão entre 500 a 1000 mg/L de 20/11/2015 a 30/03/2016 na região Novas Áreas.....	50
Figura 11 - Concentrações Médias Anuais de Ferro Dissolvido na Água nos Estuários e nas Zonas Costeiras das Novas Áreas. Legenda: código dos pontos com E = estuários e ZC =zona costeira. Linha vermelha = limite da Resolução Conama 357/05.	68
Figura 12 - Concentrações Médias Anuais de Turbidez na Água nos Estuários e nas Zonas Costeiras das Novas Áreas. Legenda: código com E =estuários e ZC = zona costeira.....	70

Figura 13 - Concentrações Médias Anuais de Sólidos Suspensos Totais na Água nos Estuários e nas Zonas Costeiras das Novas Áreas. Legenda: código com E = estuários e ZC = zona costeira.	72
Figura 14 - Concentrações Médias Anuais de Ferro Dissolvido nos Sedimentos nas Zonas Estuarinas e Costeiras das Novas Áreas. Legenda: código com E = estuários e ZC = zona costeira.....	88

Lista de Quadros

Quadro 1 - Lista dos Estudos analisados para a região de Novas Áreas e os Programas Ambientais (PG) da Fundação Renova aos quais estão vinculados.	10
Quadro 2 - Definições dos itens que compõem o quadro sinóptico de impactos socioambientais decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão com as respectivas descrições e critérios.	19
Quadro 3- Pontos do PMQQS Selecionados para a Caracterização das Novas Áreas..	23
Quadro 4 – Critérios de Avaliação de CT - Contaminação por Tóxicos Adaptado para Águas Salobras e Salinas.....	27
Quadro 5 - Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos - CQS.....	28
Quadro 6 - Porcentagens de persistência de sedimentos sólidos em suspensão no período de 20/11/2015 a 30/03/2016 em comunidades na região de Novas Áreas, bem como referências locais.....	52
Quadro 7 - Resultados dos Critérios de Avaliação de CT - Contaminação por Tóxicos (Ago/17 a Mar/20).	74
Quadro 8 - Resultados do Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos – CQS (Ago/17 a Mar/20).	90
Quadro 9 - Quadro sinóptico dos impactos socioambientais apontados nos estudos analisados, com existência de causalidade, e suas principais características na região de Novas Áreas.....	125
Quadro 10 - Informações apresentadas no Estudo da APLYSIA (2018)	143

Quadro 11 - Informações apresentadas no Parecer de Lowney (Aplysia, 2018b)....	146
Quadro 12 - Informações apresentadas no Parecer de Furley (Aplysia, 2018b).....	149
Quadro 13 - Informações apresentadas no Estudo da COPPETEC (2020a, b).....	153
Quadro 14 - Informações apresentadas no Estudo de CRISTIANO (2020).....	156
Quadro 15 - Informações apresentadas no Estudo da CTA (2017).....	159
Quadro 16 - Informações apresentadas no Estudo da ECONSERVATION (2016).....	161
Quadro 17 - Informações apresentadas no Estudo da FEST (2019a).....	164
Quadro 18 - Informações apresentadas no Estudo da FEST (2019b).....	168
Quadro 19 - Informações apresentadas no Estudo da FEST (2019c).....	170
Quadro 20 - Informações apresentadas no Estudo da FUNDAÇÃO RENOVA (2019).....	175
Quadro 21 - Informações apresentadas no Estudo da GOLDER (2018).....	179
Quadro 22 - Informações apresentadas no Estudo da HYDROBIOLOGY (2020).....	182
Quadro 23 - Informações apresentadas no Estudo de MARTA-ALMEIDA et al. (2016)	187
Quadro 24 - Informações apresentadas no Estudo da NEWFIELDS (2020).....	190
Quadro 25 - Informações apresentadas no Estudo da RHAMA (2019).....	194
Quadro 26 - Informações apresentadas no Estudo da TETRA TECH (2019).....	197

Lista de Nomenclaturas e Siglas

AGERH: Agência Estadual de Recursos Hídricos

APA: Área de Proteção Ambiental

ANA: Agência Nacional de Águas

ARIE: Área de Relevante Interesse Ecológico

CERH-MG: Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais

CIF: Comitê Interfederativo

COPAM: Conselho Estadual de Política Ambiental

CQS: Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos

CT: Contaminação por Tóxicos

DNOS: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, no âmbito do programa PROVARZEA

IBAMA: Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

ICMBIO: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IEMA: Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

IGAM: Instituto Mineiro de Gestão das Águas – Minas Gerais

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

PMQQS: Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático

REBIO: Reserva Biológica



RVS: Refúgio da Vida Silvestre

SST: Sólidos Suspensos Totais

TTAC: Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta

UC: Unidade de Conservação

UGRH: Unidade de Gestão de Recursos Hídricos

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

1. Introdução



Com o rompimento da barragem de Fundão em 2015, localizada no município de Mariana, Minas Gerais, estima-se que 39,2 milhões de metros cúbicos de rejeito passaram pela barragem de Santarém, pelos rios Gualaxo do Norte, do Carmo e rio Doce, chegando à sua foz no Oceano Atlântico em 21 de novembro de 2015.

Quando a onda de água contendo sedimentos de rejeito em suspensão alcançou o estuário, houve interação com as condições oceânicas, provocando uma diluição e dispersão dos sedimentos em suspensão. Dessa forma, houve a necessidade de uma avaliação dos supostos danos causados pelo rompimento da barragem de Fundão para além das áreas inicialmente contempladas no Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC), conforme previsão da Deliberação nº 58 do Comitê Interfederativo (CIF) de 31 de março de 2017, que foram denominadas de "Novas Áreas".

1.1. Contextualização Técnica da Deliberação nº58/2017 do CIF

Após o rompimento da barragem de Fundão no dia 05/11/2015, e à medida que a pluma dos rejeitos avançava na calha do rio Doce, a preocupação com a sua chegada ao mar se tornou latente. Sendo assim, com o intuito de obter alguma informação sobre a dispersão do rejeito no mar, foi proposto pelos órgãos ambientais uma operação de monitoramento da pluma, com vistas a identificar o seu comportamento, extensão e impacto.

O monitoramento da pluma foi realizado através de sobrevoos com helicóptero, por meio de monitoramento visual da pluma de rejeitos, iniciado no dia seguinte à sua chegada ao mar (22/11/2015). A partir do dia 23/11/2015 teve início a delimitação do alcance da pluma através de metodologia consensuada entre os órgãos ambientais e os técnicos da Econservation, responsáveis pela operação do sobrevoos, e a Samarco Mineração S/A.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

A partir desse monitoramento, a equipe do IEMA elaborou a Nota Técnica DT/Monitoramento Marinho n.º 002/2017, apresentando, de forma descritiva, todo o trabalho do monitoramento marinho realizado.

Em paralelo, ocorreram diversas movimentações no que diz respeito à chegada da pluma de rejeitos no ambiente marinho, conforme apresentado a seguir em ordem cronológica de eventos.

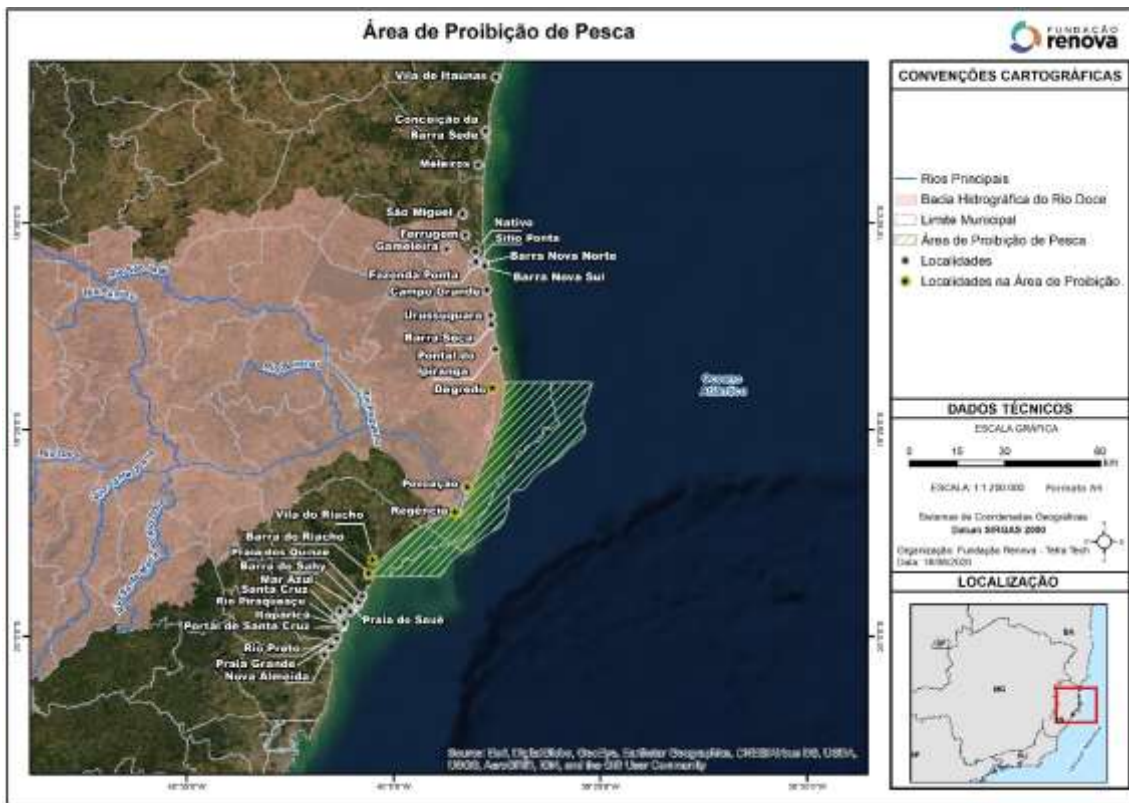
Em **17/02/2016**, cerca de 3 meses após a chegada da pluma ao mar, na Ação Civil Pública ajuizada pelo Ministério Público, (processo nº 0002571-13.2016.4.02.5004 (2016.50.04.002571-0)) foi proferida decisão judicial estabelecendo, dentre outros, a proibição da pesca entre a região de Barra do Riacho no município de Aracruz (ES) até Degredo/Ipiranguinha em Linhares (ES), dentro dos 25 metros de profundidade. Embora inexistissem na ocasião estudos específicos e quaisquer evidências de impacto e/ou risco ao meio ambiente e à saúde humana, a referida decisão amparou-se no princípio da precaução, aliada à preocupação da sociedade sobre consumo de pescado.

No dia **15/04/2016** a ANVISA publicou a Resolução-RE 989, informando que, em decorrência da decisão judicial do dia 17/02/2016, estavam também proibidos o armazenamento e distribuição de pescado oriundo da zona de proibição de pesca já determinada.

Em seguida, no dia **25/05/2016**, nova decisão judicial foi proferida, promovendo, dentre outros, a alteração da proibição de pesca para o limite de 20 metros de profundidade, e não mais de 25, acatando, portanto, solicitação do Ministério Público baseada em informações encaminhadas pelo ICMBIO.

A Figura 1 apresenta o mapa da área de proibição de pesca no mar, contemplando as duas isóbatas de proibição de pesca, oriunda da Ação Civil Pública mencionada acima, nos municípios de Linhares e Aracruz no Espírito Santo.



Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas



Fonte: Fundação Renova (2020)

Figura 1- Áreas de proibição de pesca no mar nos municípios de Linhares e Aracruz, conforme Ação Civil Pública ajuizada pelo Ministério Público, (processo nº 0002571-13.2016.4.02.5004 (2016.50.04.002571-0))

Posteriormente, em **21/11/2016** foi protocolado junto ao Comitê Interfederativo (CIF), a Nota Técnica 02/2016 do Grupo Interdefensorial do Rio Doce (GIRD). Nela, foi solicitado que a Fundação Renova e suas mantenedoras reconhecessem como áreas atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão as regiões de Barra do Sahy, em Aracruz, e aquelas em que habitam os moradores que compõem o Fórum Norte da Foz do Rio Doce. Além disso, de forma subsidiária, foi solicitada a apresentação de estudos multidisciplinares para a comprovação de que os moradores não foram afetados pelo dano socioambiental, além da prestação de auxílio emergencial aos moradores das referidas regiões.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



Em **09/01/2017**, o IEMA produziu a supracitada Nota Técnica 02/2017, detalhando os monitoramentos que foram apresentados nos parágrafos iniciais.

Em **17/02/2017**, o ICMBIO produziu a Nota Técnica NT 03/2017, na qual, por determinação do CIF, apresentou suas conclusões acerca da extensão da pluma de rejeitos para as comunidades pesqueiras da costa norte do Espírito Santo. Tal nota tinha como motivação principal a identificação das principais comunidades pesqueiras que estão na costa norte do estado, com fins de evidenciar os pleitos solicitados pelo GIRD, bem como fundamentar e embasar a zona de proibição de pesca também já supracitada.

A nota técnica do ICMBIO descreve de forma sucinta os monitoramentos marinhos realizados por sobrevoos, apresentando adicionalmente mapas e imagens de satélite que se basearam nesse mesmo contexto.

Em virtude dos referidos acontecimentos, em **31/03/2017**, o CIF emitiu a Deliberação nº58, que considera como áreas estuarinas, costeira e marinha impactadas pelo rompimento da barragem de Fundão as comunidades localizadas a partir de Nova Almeida à Conceição da Barra, dentre as quais, mas não se limitando: Urussuquara – São Mateus; Campo Grande – São Mateus; Barra Nova Sul – São Mateus; Barra Nova Norte – São Mateus; Nativo – São Mateus; Fazenda Ponta – São Mateus; São Miguel – São Mateus; Gameleira – São Mateus; Ferrugem – São Mateus; Pontal do Ipiranga – Linhares; Barra Seca – Linhares; Regência – Linhares; Povoação – Linhares; Degredo – Linhares; Portal de Santa Cruz – Aracruz; Itaparica – Aracruz; Santa Cruz – Aracruz; Mar Azul – Aracruz; Vila do Riacho - Aracruz; Rio Preto a Barra do Sahy – Aracruz; Barra do Riacho – Aracruz; Nova Almeida – Serra. Tal região passou a se denominar de Novas Áreas, na medida em que não estavam originalmente previstas no TTAC.

No ano de 2019 a Anvisa emitiu a Nota Técnica Nº 8/2019 que objetiva estimar o risco à saúde humana, decorrente da ingestão de metais, por meio do consumo de pescados originários de regiões afetadas pelo rompimento da Barragem do Fundão. Na nota técnica recomendou-se o consumo diário de pescados menor que 200g, para adultos, e de 50g para crianças.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Linha do tempo





Fonte: Fundação Renova (2020)

Figura 2 - Linha do tempo sobre a criação de Novas Áreas até a deliberação 58.

1.2. Novas Áreas e o rompimento da barragem de Fundão

Em decorrência da referida deliberação, a Fundação Renova, em sinal de boa-fé e proatividade, atuou na região mediante a execução de diversos Programas previstos no TTAC. Nesta data, após a execução de uma série de monitoramentos e estudos na região abrangida pela deliberação nº 58 do CIF, apresenta-se o presente estudo, com o intuito de avaliar, à luz dos estudos ambientais já produzidos na região, se os supostos impactos são, de fato, existentes e se há o eventual nexso de causalidade com o rompimento da barragem de Fundão. Ainda, avaliou-se também em toda a extensão de Novas Áreas, em quais localidades foi possível identificar os mesmos e sua causalidade.

Busca-se, com esta avaliação, mediante estudos mais completos, realizados a partir da coleta de dados primários, avaliações laboratoriais e estudos de modelagem com parâmetros mais robustos, compreender com maior assertividade

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

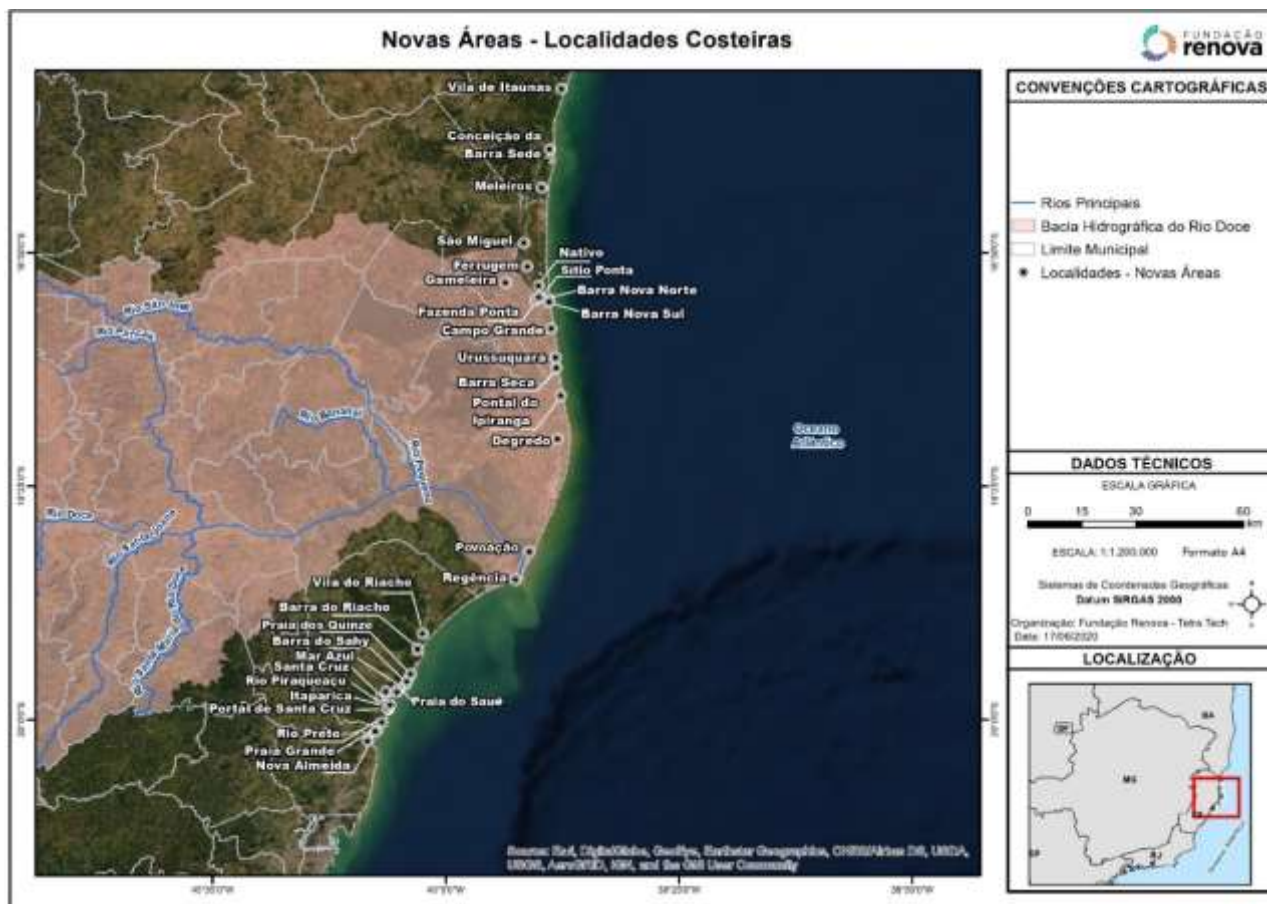
e confiabilidade as interações da pluma de rejeitos na costa norte do Espírito Santo.

É possível utilizar-se hoje de métodos mais precisos para definição da extensão da pluma e sua dispersão, com modelagens hidrodinâmicas baseadas em amostragens coletadas ao longo da calha do rio e no ambiente costeiro, bem como em imagens de satélite devidamente calibradas para a detecção da pluma. Também é possível compreender com maior profundidade as demais interferências sob ambiente em estudo, como, por exemplo, aquelas que também ocorrem sob as demais desembocaduras existentes na costa norte do estado, que influem na dinâmica do ambiente costeiro e precisam ser analisadas e separadas no que tange à determinação de nexos de causalidade.

Assim, na Figura 3 são apresentadas as comunidades que abrangem a região denominada Novas Áreas.



De forma a analisar a possibilidade de danos causados nas áreas estuarinas, costeira e marinha dessa região, foi necessário conhecer o histórico destas áreas (situação anterior ao evento) e comparar com estudos realizados posteriormente ao rompimento da barragem, para estabelecer, ou não, relações de causa e efeito ao rompimento de Fundão. Assim, este relatório integrou informações provenientes de estudos realizados na região de Novas Áreas, fornecidos pela Fundação Renova, buscando verificar o nexos causal com o rompimento. Cabe ressaltar que este relatório abrange somente as questões socioambientais (aspectos biofísicos) destacando-se os temas água, sedimentos e biodiversidade.

Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas





Fonte: Fundação Renova (2020)

Figura 3 - Localização das comunidades que abrangem Novas Áreas

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

2. Objetivo

Este documento apresenta uma análise de 17 estudos realizados na região de Novas Áreas, fornecidos pela Fundação Renova, buscando-se identificar o eventual nexos causal dos aspectos socioambientais apontados com o rompimento da barragem de Fundão. Também consolida as informações de impactos, com existência ou não de causalidade, e suas principais características.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

3. Metodologia

Com o objetivo de identificar eventual nexos causal entre impactos socioambientais verificados e o rompimento da Barragem de Fundão na Região denominada Novas Áreas, foram aplicadas as seguintes etapas gerais para o desenvolvimento do estudo:



- Avaliação dos estudos socioambientais de referência indicados pela Fundação Renova para análise e consulta;
- Avaliação de impactos socioambientais cujo nexos causal com o rompimento foi confirmado e consolidação em quadro descrevendo informações e principais características, com estabelecimento de recomendações sobre aspectos ambientais cuja avaliação foi inconclusiva.

O cenário espacial desta análise refere-se às Novas Áreas e a espacialização da persistência da concentração de SST atribuídas a pluma de rejeitos, definidas conforme modelagens realizadas por ocasião do evento (COPPETEC, 2020a, b) apresentadas adiante.

Com base nessas informações e em estudos de referência fornecidos pela Fundação Renova, foram realizadas reuniões para a contextualização pormenorizada dos temas a serem abordados no estudo, sendo definidos 3 grandes blocos de análise, a saber: **Qualidade das águas, Sedimentos e Biodiversidade.**

Conforme estabelecido entre as partes, a base metodológica deste relatório utilizou-se dos conhecimentos e referências de Sánchez (2013) e Sánchez *et al* (2019), em seu arcabouço de avaliação de impactos ambientais, e Cristiano (2020), que aborda uma discussão pertinente sobre nexos causal dos impactos gerados pelo rompimento.

A seguir são detalhados os procedimentos gerais utilizados para a exposição ordenada dos temas com foco nas Novas Áreas, embasados pelos marcos e

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

referências teóricas conceituais necessários para a adequada avaliação dos impactos e suas possibilidades.

3.1. Análise dos Estudos

3.1.1. Definição dos Estudos



Para a composição do presente relatório, foram utilizados, como referências técnicas, os estudos disponíveis até o momento, já elaborados e desenvolvidos para a própria Fundação Renova, considerando os recortes locais para a área geográfica compreendida pelas Novas Áreas. Além dos estudos elaborados no âmbito da Fundação Renova, também foram incluídos artigos técnicos e científicos e bibliografias complementares, buscando, dessa forma, prover maior fundamentação quanto às análises e entendimentos construídos ao longo dos trabalhos.

Os estudos disponíveis dentro do recorte geográfico das Novas Áreas utilizados para o presente relatório, são apresentados no Quadro 1 a seguir, bem como o seu vínculo ou origem com os programas de monitoramento em andamento que são executados pela referida Fundação. Estes estudos foram analisados em profundidade, referenciando os temas a serem avaliados, sendo apresentados os resumos no ANEXO 1 deste relatório. Nota-se que outras referências bibliográficas foram utilizadas para consulta e suporte e podem ser identificadas no Capítulo de Referências bibliográficas ao final do documento.

Quadro 1 - Lista dos Estudos analisados para a região de Novas Áreas e os Programas Ambientais (PG) da Fundação Renova aos quais estão vinculados.

Programa Vinculado	Estudo
Curadoria de Impactos	CRISTIANO, S. C. 2020. Análise de Estudos para a Identificação do Nexo Causal de Impactos do Rompimento da Barragem de Fundão – Municípios da Foz do Rio Doce e Litoral Adjacente. Produto 3 – Aspectos Socioambientais das Novas Áreas/Nexo Causal/Parecer sobre a avaliação de impacto dos estudos.

Programa Vinculado	Estudo
	MARTA-ALMEIDA <i>et al.</i> 2016. Fundão Dam collapse: Oceanic Dispersion of River Doce after the greatest Brazilian environmental accident.
Consultorias contratadas	HIDROBIOLOGY. 2020. BHP Marine & Coastal Survey at Rio Doce and Rio Jequitinhonha.
	APLYSIA. 2018a. Avaliação da presença de contaminantes no pescado comercializado na costa brasileira.
	NEWFIELDS. 2020. Memorando Técnico. Atualização da avaliação de risco para consumo de pescado proveniente de regiões afetadas pelo rompimento da Barragem de Fundão/MG.
SAMARCO	CTA. 2017. Relatório Final do Monitoramento da Ictiofauna na região marinha adjacente à foz do rio Doce, Linhares/ES.
PG 23 - Manejo de Rejeitos	COPPETEC. 2020a. Sobre sedimentos depositados na zona costeira adjacente à foz do rio Doce, após a ruptura da barragem da Samarco em 05/11/2015. P4 - Relatório de Processos Sedimentológicos Conexos Somente ao Rio Doce - Etapa 1.
	COPPETEC. 2020b. Parecer sobre o Rejeito na Área Marinha. Estudo sobre os sedimentos depositados na zona costeira adjacente à foz do rio doce, após a ruptura da barragem de fundão, em 05/11/2015.
	RENOVA. 2019. Avaliação Técnica - Município de São Mateus.
	RHAMA - Consultoria Ambiental. 2019. Avaliação das Comunidades Afetadas pela Turbidez na Costa do Espírito Santo.
	TETRA TECH. 2019. Estudo e investigação das alterações dos parâmetros de qualidade da água na região de Degredo, Linhares - ES.
PG 28 - Conservação da Biodiversidade	APLYSIA. 2018b. Pareceres técnicos independentes sobre a qualidade do pescado no Rio Doce e Zona Costeira Adjacente.
	ECONSERVATION. 2016. Monitoramento de Bioacumulação (Ictiofauna, Carcinofauna e Malacofauna) por Metais na Região Marinha Adjacente à Foz do Rio Doce e sob Possível Influência da Lama de Rejeitos Oriunda do Rompimento da Barragem de Fundão.
	FEST. 2019a. Anexo 1 - Monitoramento ecotoxicológico dos impactos causados pela lama oriunda do rompimento da barragem de Mariana (MG) em regiões dulcícolas, estuarinas e marinas. RT17 RRDM/NOV19.



	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Programa Vinculado	Estudo
	FEST. 2019b. Anexo 3 – Análise abiótica e biótica no Ambiente Marinho Discussão Integrada. Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente. RT-19K RRDM/NOV19.
	FEST. 2019c. Relatório Anual: Integração da Biodiversidade da Zona Costeira. Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente. RT-31 RRDM/NOV19.
PG 38 – Monitoramento da Bacia do Rio Doce	GOLDER. 2018. Qualidade da Água e do Sedimento na Zona Costeira Próxima à Foz do Rio Doce e na APA Costa das Algas - Relatório de Janeiro/2018.

3.1.2. Metodologia de Análise dos Estudos

Utilizando-se como referência os conceitos sobre revisão bibliográfica e revisão sistemática da literatura, a UNESP (2015) estruturou um resumo sobre os tipos existentes, estabelecendo de forma prática e em linhas gerais um roteiro para a aplicação de metodologias e desenvolvimento de estudos de forma consistente e justificada.

Considerando-se esta referência, os procedimentos gerais da análise realizada neste estudo têm como base uma revisão bibliográfica, com foco na delimitação geográfica das Novas Áreas. De acordo com UNESP (2015), *...Revisão da literatura é o processo de busca, análise e descrição de um corpo do conhecimento em busca de resposta a uma pergunta específica*. Dentro deste conceito existem os tipos de revisão, a saber: narrativa, sistemática e integrativa. No presente caso não se pode enquadrar o método utilizado em nenhum desses conceitos em sua íntegra, mas pode-se associar à continuidade da análise dentro do conceito adaptado da “revisão sistemática”, sendo esta um tipo de investigação científica que considera estudos observacionais retrospectivos ou estudos experimentais de recuperação e análise crítica do tema (UNESP, *op cit*). Na análise do presente estudo, não se objetivou testar hipóteses conforme preconizado pelo método, mas avaliar

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexos Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

criticamente e sintetizar os resultados de diversos estudos primários, buscando responder a uma pergunta claramente formulada sobre a existência de impactos e o seu nexos causal entre os impactos identificados nas “Novas Áreas” com o rompimento da barragem de Fundão.



Conforme apontado pela mesma fonte, pode-se trazer ainda algum viés da “revisão integrativa” como alternativa para combinar estudos com diversas metodologias, por exemplo, delineamento experimental e não experimental, e integrar os resultados. Pode-se aplicar em estudos de diversas áreas do conhecimento, que podem ser direcionados à definição de conceitos, identificação de lacunas nas áreas de estudos, e análise metodológica dos estudos sobre um determinado tópico. Este método amplia as possibilidades de análise da literatura.

A revisão sistemática vem sendo utilizada como método para suprir a lacuna da inconclusão deixada pelas revisões narrativas (que não tem perguntas formuladas e são de caráter subjetivo), de forma a resumir os dados existentes, refinar análises, e ajudar a definir os cenários de análise. Neste contexto, a revisão sistemática é uma opção para a descoberta de lacunas e direcionamentos viáveis para a elucidação de temas pertinentes, procedimento tomado no presente estudo.

Métodos explícitos e sistematizados ajudam a avaliar a qualidade e a validade desses estudos, assim como sua aplicabilidade. Com base nesta premissa, a revisão sistemática figura como método útil, oferecendo capacidade de síntese e novos direcionamentos.

3.1.3. Análise dos Resultados

Dentre as etapas apontadas em UNESP (2015) que podem ser aplicadas ao presente caso, destaca-se a **interpretação dos resultados**, sendo uma fase de discussão e identificação de conclusões e implicações resultantes da revisão integrativa, sendo possível identificar fatores que afetam o meio e tem relação com o rompimento da barragem. Além disso, a identificação de lacunas permite apontar sugestões pertinentes para futuras pesquisas direcionadas à identificação do nexos causal com o evento.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

De forma a contextualizar a integração das informações presentes nos estudos disponibilizados pela Fundação Renova e nortear a análise dos temas deste relatório, considerando-se o critério metodológico apontado acima, foram extraídas e sistematizadas, de cada referência bibliográfica, as seguintes informações (que são apresentadas no Anexo 1): área de abrangência do estudo; objetivo; público alvo; período analisado; temas abordados; metodologia utilizada; principais pontos levantados; existência de dados descritivos quanto ao período pré-rompimento; e as principais conclusões e recomendações.



Importante destacar que, no mecanismo de análise dos estudos, buscou-se:

- Identificar os temas abordados;
- Apontar se foram considerados impactos de alguma espécie;
- Apontar se foi possível identificar nexos causais entre o impacto e o rompimento da barragem de forma explícita e indicativa (com base em resultados físicos e preferencialmente quantificáveis);
- E, caso afirmativas as citações acima, se houve o apontamento de medidas e recomendações associadas ao impacto;
- E, no caso da negativa, quais seriam as recomendações para a identificação e confirmação ou não do nexos causal.

Os estudos de referência apresentaram diferentes objetivos, desde diagnósticos básicos sobre a situação das Novas Áreas, até algumas análises mais aprofundadas sobre a causalidade entre os impactos e o rompimento da barragem em temas de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Biodiversidade. Diferentes metodologias, distintas áreas geográficas, temas separados, enfim, um arcabouço eclético de informações foi avaliado buscando-se alguma integração e visualização / comprovação do nexos causal.

Para o dimensionamento geográfico do evento, foi fornecida pela Fundação RENOVA a espacialização de persistência e concentração de SST da pluma de rejeitos delimitada por modelagens e estudos realizados pela COPPETEC (2020b).

Na avaliação desses estudos, quando identificados possíveis impactos, foi analisada a causalidade conforme permitido pela consistência dos dados, a fim de

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

verificar se esta foi proveniente do rompimento da barragem, ou se poderiam existir fatores externos independentes exclusivos ou que, se concorrentes, agravaram, acumularam e/ou seriam os principais responsáveis pela alteração do meio. Buscou-se também apontar, com a análise destes estudos, as fragilidades e lacunas encontradas.

Em geral, a maior dificuldade para delimitar as conclusões a partir desta revisão na ausência de informações sobre características e resultados dos estudos relativos às fases anteriores ao rompimento.

3.2. Marco de Referência Teórica para a Contextualização dos Impactos Ambientais



A seguir são apontadas as considerações conceituais sobre impactos e nexos causal abordadas por Cristiano (2020), seguidas pela definição dos conceitos utilizados por Sánchez *et al.* (2019) para avaliação e gestão de impactos cumulativos. Sempre que necessário, outras referências de Sánchez foram acessadas para dar suporte conceitual.

O mapeamento dos impactos contou com experiência de especialistas buscando abordagem consistente de cada impacto e, neste caso específico, como preconizado por Sánchez (2013), em escala de tempo e espaço.

3.2.1. Impactos e Nexos Causal

3.2.1.1 Impacto Ambiental

Desde a década de 70, quando se iniciaram as discussões sobre sustentabilidade e meio ambiente, os conceitos de impactos ambientais vêm sendo aprimorados e discutidos inclusive em tons polêmicos, pois a interpretação está associada à percepção do observador numa extensa cadeia de eventos. Fato é que o tema, em sua abrangência, permite a vasta explanação sobre o assunto e seus encaminhamentos, assim como a definição de seus atributos, que será abordada

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				


adiante. Neste estudo são utilizados os conceitos estabelecidos por Sánchez (2013) e Sánchez *et al.* (2019).

Segundo Sánchez (2013), o impacto ambiental é associado a algum dano à natureza, no entanto, essa é apenas uma parte do conceito. É consenso na literatura que os impactos ambientais são oriundos de atividades antrópicas e podem ser tanto positivos quanto negativos. Segue pelo mesmo autor a compreensão de que existem pontes que conectam as causas aos impactos no receptor (ambientes físico, biótico ou antrópico).

No Brasil, a conceituação de impactos está presente na Constituição Federal de 1988 e a Resolução 001 de 1986, do CONAMA, que estabelece em primeira mão a obrigatoriedade da apresentação de estudos de impacto ambiental no Brasil e considera o termo “impacto” como as alterações das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a economia, a biota, a qualidade dos recursos naturais e humanos e o meio ambiente em geral.

Sánchez (2013) trata impactos cumulativos ou acumulativos como aqueles que se “acumulam no tempo ou no espaço, resultando de uma combinação de efeitos decorrentes de uma ou diversas ações”. Salaria que uma série de impactos insignificantes pode resultar em significativa degradação ambiental se concentrados espacialmente ou caso se sucedam no tempo. O autor destaca também que cumulatividade e sinergismos se referem, respectivamente, à possibilidade de os impactos se somarem ou se multiplicarem. Neste contexto, inserem-se os impactos acumulativos, os quais, segundo Cristiano (2020), não dispõem de uma metodologia bem estabelecida para identificação de causa e efeito, mas conecta diversas ações aos componentes ambientais afetados.

Para o presente estudo, será utilizada a categorização de impactos biofísicos definida por Sloomweg *et al* (2001, *apud* Cristiano, 2020), sendo os impactos que alteram os bens e serviços fornecidos pela natureza à sociedade, incluindo a alteração das funções ecossistêmicas desses bens à sociedade.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

3.2.1.2 Causalidade e Nexo Causal



Conforme apontado por Cristiano (2020), a discussão conceitual sobre impactos e causalidade é de fundamental importância, pois, quando não temos a “palavra” para decodificar a realidade, temos dificuldade de enxergá-la, ou seja, até que um conceito se torne definido, podemos ver a realidade, porém não conseguimos entender o que está sendo observado/analizado. Em seu estudo, Cristiano explora o vasto cenário conceitual sobre a relação entre as perturbações e as condições ambientais e suas relações, buscando identificar sentido causal com o evento do rompimento da barragem, considerando a situação pré-evento e a situação *a posteriori*, utilizando-se inclusive de análises subjetivas.

Analisando as relações ecossistêmicas, as características de cada um dos setores de Novas Áreas, suas condições fisiográficas antecedentes e posteriores ao rompimento, considera que um sistema tende ao equilíbrio a cada desequilíbrio provocado, sendo o efeito efetivo de uma perturbação ou mudança uma flutuação contínua, dada a capacidade de adaptação dos ecossistemas flexíveis às mudanças. O processo se faz deletério quando se extingue uma situação anterior por extrapolação de limites de sua capacidade de adaptação e consequente exaustão do sistema, não sendo possível compensar a alteração/perturbação/mudança (colapso do sistema).

Cristiano (2020) aponta que os sistemas abordados no contexto das Novas Áreas são complexos, não lineares e a redução simplória de relações a causas-efeitos lineares leva à não compreensão dos fatos e suas relações de interferência no âmbito socioambiental.

Com este cenário, pode-se concluir dois pontos fundamentais:

- que a compreensão dos ecossistemas em seu contexto biofísico é fundamental para a avaliação dos impactos ambientais e identificação do nexos causal em relação ao rompimento da barragem de Fundão; e
- que o impacto deverá ser avaliado à luz da espacialização e persistência da pluma de rejeitos no meio, sobre os componentes dos meios físico e biótico,

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

foco da presente avaliação, considerando-se ainda o histórico de usos das áreas e suas características precedentes ao rompimento.

3.2.2. Quadro sinóptico dos impactos socioambientais

O quadro sinóptico consolidando os impactos socioambientais apontados nos estudos analisados, com existência de causalidade, e suas principais características na região de Novas Áreas, baseia-se em Sánchez *et al* (2019).

Conforme apontado por Sánchez *et al* (2019), a montagem deste quadro não é um exercício isolado, mas sim uma atividade que deve ser objeto de aprimoramento contínuo, transformando o quadro em uma ferramenta viva. Não somente neste documento, mas em sua vasta bibliografia, o autor discute a dinâmica da avaliação de impactos ambientais e a necessidade de atualização dos sistemas em suas relações de causa e efeito, principalmente se estes forem alvo de programas ou outras ações decorrentes do evento e fatos externos.

Estes impactos são descritos e justificados a partir da interpretação e análise crítica dos estudos consultados e avaliados, procurando uma linha de base para identificar com consistência a origem dos mencionados impactos nas Novas Áreas.

Para a identificação dos impactos cumulativos, deve-se considerar apenas os que possuem contribuição do rompimento da barragem (Sánchez *et al.*, 2019), identificando-se os componentes de fato afetados com relações de causalidade e justificativas razoáveis.

O Quadro 2 a seguir apresenta as respectivas descrições e critérios a serem utilizados.

Quadro 2 - Definições dos itens que compõem o quadro sinóptico de impactos socioambientais decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão com as respectivas descrições e critérios.



Item	Descrição	Critérios
Componente	Atributos ambientais e sociais considerados importantes na avaliação dos riscos - categorias amplas	
Tipos	São partes de um componente valorizado. Essa divisão só será feita na medida em que possa ser útil à descrição de um impacto com os devidos detalhes, o que significa que alguns componentes não serão desagregados em tipos	
Descrição do impacto	Os enunciados devem ser concisos, suficientemente precisos para evitar ambiguidades na interpretação. Portanto, devem ser sintéticos, autoexplicativos e descrever o sentido das alterações (perda de..., aumento de..., destruição de...). Desse modo, estabeleceu-se uma estrutura preliminar de declaração de impacto: qualificação + processo + alvo. Tais recomendações servirão de referência para as revisões das cadeias causais	
Via de impacto ou processo afetado	Informação resumida sobre as conexões (ou possíveis conexões) entre o evento e os impactos descritos	
Área afetada	É importante ressaltar que a área de impacto pode mudar com o tempo e a magnitude do impacto pode variar dentro da área (ou seja, pode ser mais intensa em certos locais no interior da área afetada, podendo-se distinguir localidades dentro da área afetada sempre que a magnitude variar).	

Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

Item	Descrição	Critérios
Escala temporal	Refere-se à dimensão temporal da alteração do componente a partir do momento em que os impactos são desencadeados	<p>Temporária: impactos que manifestam durante um período e cessam quando acaba a ação que os causou</p> <p>Permanente: alteração definitiva de um componente do meio ambiente; são impactos que permanecem depois que cessa a ação que os causou.</p> <p>Desconhecida</p>
Indicador de magnitude do impacto	A magnitude de um impacto é uma descrição de sua intensidade. Quando for adequado, essa descrição deve, tanto quanto possível, ser de natureza quantitativa ou semi-quantitativa. Podem ser usados indicadores quantitativos ou qualitativos (ou uma combinação dos dois), com métricas confiáveis. Os indicadores devem conter informações sobre o impacto antes da mitigação.	<p>(descritivo)</p> <p>NA (Não Aplicável): se a incerteza sobre a magnitude do impacto for insignificante (ou seja, esta categoria não se aplica a esse impacto específico)</p> <p>ASD (A Ser Decidido): lacunas de informações</p>
Nível de incerteza na determinação da magnitude	Quando as métricas não são confiáveis ou são insuficientes para afirmar o grau de magnitude com precisão ou certeza. A incerteza na determinação da magnitude do impacto é inerente tanto às avaliações <i>ex-ante</i> quanto <i>ex-post</i> .	<p>Certo: o impacto é bem conhecido</p> <p>Baixo: a linha de base é bem conhecida e os impactos foram estimados com base em medições ou observações de campo, sensoriamento remoto, análise estatística ou outra técnica bem estabelecida</p>

Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

Item	Descrição	Critérios
		<p>Médio: a linha de base não é bem conhecida e a estimativa de magnitude tem fundamento em opiniões de profissionais ou alguma outra abordagem qualitativa, incluindo conhecimentos locais.</p> <p>Alto: a linha de base não é bem conhecida e existem informações contraditórias em relação à magnitude dos impactos</p>
Existem efeitos persistentes de ações passadas ou presentes que afetam o componente valorizado?	Os impactos cumulativos a serem considerados são aqueles para os quais o rompimento da barragem contribuiu. A avaliação deve considerar os efeitos cumulativos de outras ações (passadas e presentes) que possam afetar cada um dos componentes avaliados.	<p>Não: quando não existem outros fatores ou ações que existiram ou existam na área afetada, que contribuem para o potencial do impacto</p> <p>Sim: quando existem outros fatores ou ações que existiram ou existam na área afetada, que contribuem para o potencial do impacto</p> <p>ASD (A Ser Decidido): lacunas de informações</p>
Outras ações passadas ou presentes que afetam o componente valorizado	Descrever efeitos cumulativos das ações humanas (passadas e presentes)	<p>(descritivo)</p> <p>NA (Não Aplicável)</p> <p>ASD (A Ser Decidido): lacunas de informações</p>

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

3.3. Indicadores do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo da Qualidade da Água e dos Sedimentos – PMQQS

O Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo da Qualidade da Água e dos Sedimentos - PMQQS foi proposto para atender a cláusula 177 do Termo de Transição e Ajustamento de Conduta – TTAC.

O objetivo deste programa, conforme o anexo da Deliberação do Comitê Interfederativo - CIF nº 17, é acompanhar, ao longo do tempo, a recuperação da bacia hidrográfica do rio Doce, incluindo as zonas costeiras e estuarinas adjacentes, bem como a efetividade das intervenções permanentes realizadas, por meio da avaliação sistemática da qualidade das águas e dos sedimentos.

A rede de amostragem estabelecida para as zonas costeiras e estuarinas compreende um total de 36 pontos, sendo 18 representativos de estuários ao longo da costa central e norte do Espírito Santo e sul da Bahia e 18 na isóbata de 10 m na costa da plataforma continental entre os municípios de Serra (ES) e Caravelas (BA).

Para dar robustez na análise desse documento, nesse conjunto amostral, foram selecionados 27 pontos inseridos no limite das Novas Áreas (ES). Os códigos dos pontos são precedidos da letra E, seguido das iniciais do rio para os estuários (como exemplo, EIT – estuário do rio Itaúnas) e ZC para a zona costeira, os quais contêm ainda a referência da sua localização ao sul (ZCS) ou ao norte (ZCN) da foz do rio Doce. No Quadro 3 consta a localização da rede de amostragem, com as respectivas coordenadas, municípios e unidades hidrográficas, conforme esquematizado na Figura 4.

Merecem destaque no contexto das Novas Áreas os pontos ERD 01, no estuário do rio Doce, e ZCS 06, situado a cerca de 1 km da foz do rio Doce, na localidade de Regência, que correspondem aos locais que estariam mais suscetíveis a sofrer impacto decorrente da passagem da pluma de rejeitos.

As águas costeiras monitoradas têm características salobras (estuários) e salinas (mar) e são consideradas classe 1 de acordo com a Resolução Conama 357/05. As amostragens no âmbito do PMQQS abrangem dois estratos: superfície e fundo, sendo dada ênfase, neste documento, aos resultados de superfície.

Quadro 3– Pontos do PMQQS Selecionados para a Caracterização das Novas Áreas.

UGRH	Bacia Hidrográfica	Ponto*	Município	Localização	Coordenadas (Fuso 24S)		Águas Classe 1
					Longitude	Latitude	
Itaúnas	Rio Itaúnas/Rio Mucuri	ZCN 06	Conceição da Barra	Zona costeira no distrito de Itaúnas	427.588	7.963.203	Salinas
		EIT 01	Conceição da Barra	Estuário do rio Itaúnas	422.780	7.950.501	
		EIT 02	Conceição da Barra	Estuário do rio Itaúnas	422.619	7.950.925	
São Mateus	Rio São Mateus	ECR 01	Conceição da Barra	Estuário do rio Cricaré (ou São Mateus)	422.716	7.943.622	Salobras
		ECR 02	Conceição da Barra	Estuário do rio Cricaré (ou São Mateus)	420.569	7.943.570	
		ZCN 05	São Mateus	Direção da praia de Guriri	421.749	7.929.539	Salinas
		EBN 01	São Mateus	Estuário Barra Nova	422.015	7.904.152	Salobras
		EBN 02	São Mateus	Estuário Barra Nova	420.907	7.904.093	
		ZCN 04	São Mateus	Direção da praia de Urussuquara	423.755	7.897.720	Salinas
Doce	Rio Barra Seca/Rio Mucuri	ERI 01	Linhares	Estuário do rio Ipiranga	424.111	7.887.660	Salobras
		ERI 02	Linhares	Estuário do rio Ipiranga	424.088	7.886.463	
		ZCN 03	Linhares	Direção da praia de Pontal do Ipiranga	426.284	7.877.368	Salinas
	ZCN 02	Linhares	Vila de Cacimbas	427.508	7.857.955		
	ZCN 01	Linhares	Direção da praia de Povoação	418.522	7.834.347		
	Rio Doce	ERD 01	Linhares	Estuário do Rio Doce -	415.905	7.832.465	Salobras

Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

UGRH	Bacia Hidrográfica	Ponto*	Município	Localização	Coordenadas (Fuso 24S)		Águas Classe 1
					Longitude	Latitude	
				Distrito de Regência			
		ZCS 06	Linhares	Distrito de Regência	413.474	7.825.872	
		ZCS 05	Linhares	Distrito de Regência	407.632	7.824.028	Salinas
		ZCS 04	Aracruz	Direção da Praia de Comboios	398.753	7.818.301	
Litoral Centro-Norte	Rio Riacho	ERR 01	Aracruz	Estuário do rio Riacho	389.081	7.806.853	Salobras
		ERR 02	Aracruz	Estuário do rio Riacho	389.096	7.807.534	
		ZCS 03	Aracruz	Direção da Barra do Riacho	390.013	7.807.413	Salinas
		ZCS 02	Aracruz	Direção da praia dos Padres	383.423	7.794.615	
		EPA 01	Aracruz	Estuário do rio Piraquê-Acú	379.332	7.793.492	Salobras
		EPA 02	Aracruz	Estuário do rio Piraquê-Acú	377.128	7.793.763	
		ZCS 01	Aracruz	Na APA Refúgio da Vida Silvestre	381.272	7.788.632	Salinas
		ERM 01	Fundão	Estuário do rio Reis Magos	375.344	7.781.951	Salobras
		ERM 02	Fundão	Estuário do rio Reis Magos	375.374	7.782.899	

*Legenda: ZC= Zona Costeira (isóbata de 10 m). E = Estuário.



Fonte: PMQQS – Fundação Renova (2020)

Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas



Fonte: Tetra Mais Consultoria (2020). Baseado no PMQQS da Fundação Renova.

Figura 4 - Localização dos pontos de monitoramento do PMQQS da Fundação Renova e respectivas UGRHs

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

A frequência de monitoramento nestes pontos é mensal, com início em agosto de 2017. As informações da qualidade de água e dos sedimentos neste estudo foram disponibilizadas pela Fundação Renova em planilhas até março de 2020, sendo os resultados mais recentes.

Cabe destacar que toda a série de dados obtidos no monitoramento do PMQQS é fornecida por laboratórios acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, segundo a Norma da ABNT ISO/IEC 17025, o que garante o controle de qualidade e a rastreabilidade das informações. Os resultados passam ainda pelos critérios de validação estabelecidos pelo Grupo Técnico de Acompanhamento do PMQQS, integrante do Comitê Interfederativo - CIF.

Na avaliação dos resultados da qualidade da água e dos sedimentos do PMQQS foram aplicados os indicadores ambientais descritos a seguir, visando sintetizar o panorama ambiental destas matrizes:



a) Matriz: Água

- CT - Índice de Contaminação por Tóxicos

O índice de Contaminação por Tóxicos – CT é aplicado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM na rede de monitoramento do estado de Minas Gerais, na qual se insere a bacia do rio Doce. Este indicador avalia a presença e a concentração de 13 substâncias nas águas, incluindo metais traços e metalóide, compostos nitrogenados, fenólicos e cianeto livre.

Os dados obtidos são comparados com os limites definidos nas respectivas classes de enquadramento dos corpos de água pelo Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM e Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais - CERH-MG, na Deliberação Normativa Conjunta nº 01/08, com resultados classificados em três categorias: Baixa, Média e Alta.

No presente trabalho, este indicador foi adaptado para águas salobras e salinas, típicas da zona costeira, sendo considerados os metais: bário total, cádmio total,

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, mercúrio total e zinco total, além de arsênio total. Os resultados foram comparados aos limites da Resolução Conama 357/05 para águas salobras e salinas.

O índice estabelecido pelo IGAM não distingue na categoria Baixa as amostras que ocorreram em conformidade com a legislação daquelas que extrapolaram em até 20% os limites legais. Por esta razão, optou-se pela inclusão de uma classe adicional, correspondente à categoria Muito Baixa, cujos parâmetros atendem aos limites legais máximos permitidos. No Quadro 4, são apresentados os critérios estabelecidos para a classificação do CT. A pior situação no conjunto dos resultados, para qualquer parâmetro, define a faixa de contaminação final do ponto no período amostrado.

Quadro 4 – Critérios de Avaliação de CT - Contaminação por Tóxicos Adaptado para Águas Salobras e Salinas.

Grau de contaminação	Concentração em relação ao limite da classe de enquadramento
Muito Baixa	Atende o limite da classe de enquadramento para águas salinhas ou salobras – classe 1
Baixa	Entre o limite da classe até 20% superior para águas salinas ou salobras- classe 1
Média	Entre 20% a 100% do limite para águas salinas ou salobras- classe 1
Alta	Acima de 100% do limite para águas salinas ou salobras- classe 1



Nota: Limite de classe definido pela Resolução Conama 357/05.

Fonte: Adaptado de IGAM (2019).

b) Matriz: Sedimentos

- CQS – Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos

Para a análise dos diferentes parâmetros da qualidade dos sedimentos na malha amostral das Novas Áreas, aplicou-se o indicador CQS - Critério de Avaliação da

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Qualidade dos Sedimentos, adaptado da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb (2019), que permite a avaliação de várias linhas de abordagem da qualidade dos sedimentos, compondo resultados independentes (sem ponderação), separados em graus de qualidade. O CQS foi comparado com o padrão da Resolução Conama 454/12 para águas salobras e salinas, conforme níveis a seguir:



- Nível 1- limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota.
- Nível 2 - limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

Na área de interesse, adotou-se o critério de substâncias químicas, com foco em arsênio e nos metais: cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco. Os resultados são expressos nas categorias indicadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos - CQS

Critério	Classificação				
	Ótima	Boa	Regular	Ruim	Péssima
Sustâncias Químicas	Todos contaminantes em concentração inferior ao Nível 1	O pior contaminante com concentração acima de Nível 1, mas inferior a 50% da distância entre Nível 1 e Nível 2	O pior contaminante com concentração acima de Nível 1 e superior a 50% da distância entre Nível 1 e Nível 2, mas inferior a Nível 2	O pior contaminante com valor entre Nível 1 e até 1,5 Nível 2	O pior contaminante com valor superando 1,5 Nível 2

Fonte: Adaptado de Cetesb (2019).

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

4. Contextualização da Área de Estudo

Conforme apontado por Cristiano (2020), a região das Novas Áreas é composta por um mosaico de ambientes costeiros de grande importância ecológica, social e econômica. Integrado ao Bioma Mata Atlântica, apresenta mangues, restingas e floresta, praias, diferentes usos como agropecuária, pesca, turismo, entre outros. É uma região que apresenta atividades antrópicas em desenvolvimento que geram degradação ao meio ambiente quando realizadas sem planejamento e/ou controle ambiental.



O ambiente físico é representado por planícies fluvio-aluvionares e lacustres integradas ao sistema fluvio-marinho, representativas de processos de sedimentação recente do Quaternário. Esse tipo de sedimentação e a dinâmica atribuída aos fluxos hídricos promovem o bloqueio e abertura de canais resultando em lagoas e brejos, além de cordões litorâneos, planícies de inundação etc. Conforme apontado por Cristiano (2020), essa configuração está atribuída aos depósitos da costa norte do Espírito Santo pertencentes à Formação Linhares.

Ao longo de todo o litoral, também são identificadas feições associadas à formação Barreiras, representada por falésias e terraços de abrasão marinha. Esta formação é do terciário, decorrente de sedimentação em ambiente continental de material clástico originado de rochas metamórficas e ígneas.

Em relação aos aspectos socioambientais, a região apresenta um mosaico diversificado de uso e ocupação do solo entre outras atividades antrópicas, relacionadas à agropecuária, pesca, turismo, alteração da rede de drenagem por constituição de canais para drenagem, lançamento de efluentes domésticos e industriais, entre outros usos que comprometem a qualidade ambiental da região.

4.1. Aspectos Hidrográficos e socioambientais das UGRHs

O litoral do Espírito Santo possui extensão aproximada de 411 km, o que representa em torno de 5% da extensão litorânea do território brasileiro, que contém significativa representatividade de ecossistemas costeiros como rios,



	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

estuários, manguezais e restingas (PETROBRAS, 2015). Nessa faixa costeira, o limite das Novas Áreas ocupa aproximadamente 213 km de extensão entre as comunidades de Riacho Doce (ao norte) e Nova Almeida (ao sul).

A costa litorânea do Espírito Santo se insere na Plataforma Continental Leste do Brasil. É considerada uma plataforma estreita, com cerca de 30 km na região da foz do rio Doce, pouco erodida, mostrando queda abrupta que frequentemente ocorre entre as isóbatas de 40 e 80 m (KNOPPERS *et al.*, 1999). Em locais com plataforma estreita, a circulação oceânica exerce grande influência sobre sua dinâmica (PETROBRAS, 2015).

De acordo com a Resolução nº 001, de 13 de novembro de 2009, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH, referente aos corpos d'água de domínio do estado do Espírito Santo, as comunidades apontadas Figura 3 estão localizadas em quatro Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHs): Itáuínas, São Mateus, Doce e Litoral Centro-Norte, conforme mostra a Figura 5. Ao sul, além do limite das Novas Áreas, estão presentes as UGRHs Litoral Central, Litoral Centro-Sul, Itapemerim e Itabapoana, não contempladas neste estudo.

Ainda no contexto geral, vale citar as características fisiográficas da região costeira, observadas com base nas informações analisadas sobre bacias hidrográficas e sistemas de drenagem, experiências anteriores em ambientes similares, bem como endossado por Cristiano (2020). A região das Novas Áreas é constituída de planícies flúvio-aluvionares, marinhas e lacustres entremeadas com o sistema de marés. Estas planícies são de sedimentação recente (Quaternários), constituídas por sedimentos da rede de drenagem continental que escoam para o litoral e com a sedimentação do sistema de maré atual, representativos dos últimos períodos de transgressão e regressão marinha. O material de sedimentação pode se apresentar em diferentes granulometrias conforme cada tipo de ambiente, em fenômeno que é característico de um processo de sedimentação recente, e portanto, inconsolidado. Isto torna os ambientes integrados e interligados pelo fluxo hídrico, devido à constituição sedimentar recente, de pacotes espessos de sedimentos inconsolidados com nível d'água subaflorante.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

O mesmo é válido para contaminantes possíveis que possam existir tanto nos solos, nas águas doces ou na água do mar e, por conseguinte, na cunha salina de influência da maré. Em relação aos solos, estes traduzem a presente dinâmica, sendo em sua maioria areno-siltosos, destacando-se solos turfosos em alguns setores (principalmente nos mangues), inclusive em camadas subjacentes, com capacidade de emissão de gases e combustão devido à composição de turfas. Estas características tornam o ambiente naturalmente muito frágil, com alta suscetibilidade à contaminação de águas e solos por substâncias tóxicas e/ou nocivas ao homem e ao meio ambiente.

Outro aspecto importante para representar a região refere-se à presença de Unidades de Conservação estabelecidas pelas diferentes instâncias municipal, estadual e federal, e de diferentes classificações, conforme mostram a Figura 6 e Figura 7.

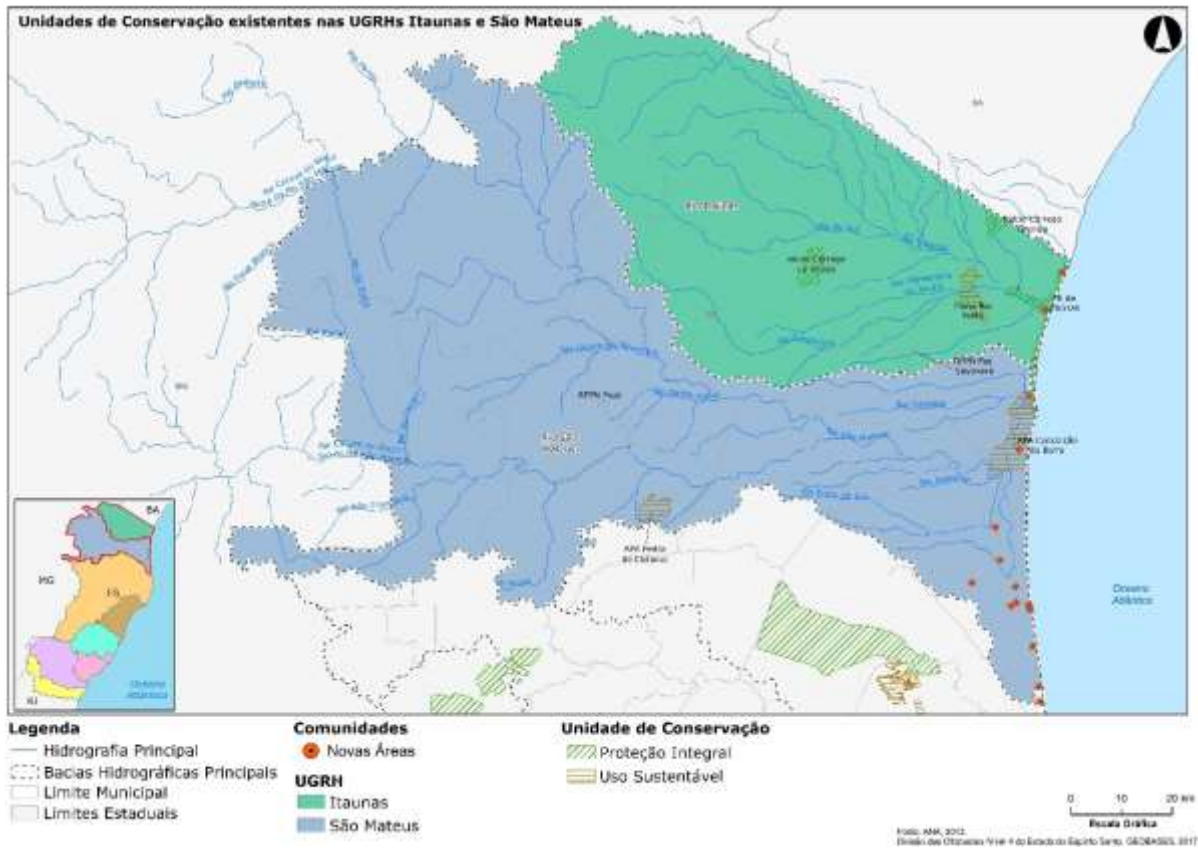
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas



Fonte: Tetra Mais Consultoria (2020).

Figura 5 - UGRHs que abrangem Novas Áreas.

Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas



Fonte: Tetra Mais Consultoria (2020).



Figura 6 - Unidades de Conservação na região das Novas Áreas nas UGRHs Itaúnas e São Mateus.

Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas



Fonte: Tetra Mais Consultoria (2020).

Figura 7 - Unidades de Conservação na região das Novas Áreas nas UGRHs Doce e Litoral Centro-Norte.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

➤ **UGRH Itaúnas**

- Bacia Hidrográfica do Rio Itaúnas



A bacia hidrográfica do rio Itaúnas se estende por 4.428 km² nos estados de Minas Gerais, Bahia e do Espírito Santo, no qual está compreendida cerca de 90% da sua área. O rio Itaúnas percorre cerca de 174 km de extensão em território capixaba, desde suas nascentes no município de Ponto Belo até Conceição da Barra, no qual deságua no Oceano Atlântico, próximo à vila de Itaúnas, em área do Parque Estadual de Itaúnas, que dista em torno de 128 km ao norte da foz do rio Doce.

Os principais afluentes do rio Itaúnas estão contidos na sua margem direita com destaque para o rio do Sul e rio Preto do Norte. Na margem esquerda, os afluentes são de menores dimensões, vários deles provenientes do nordeste de Minas Gerais e do extremo sul da Bahia, estados que, no conjunto, detêm cerca de 10% da área da bacia.

Segundo Lima (2014), o rio Itaúnas apresenta uma foz artificial, aberta em 1982 ao norte da sua foz natural (AGERH, 2018). Originalmente, a desembocadura deste rio se encontrava nas imediações da sede de Conceição da Barra, ao sul, próximo à foz do rio São Mateus.

Assim, a faixa costeira do município de Conceição da Barra, foco de interesse das Novas Áreas, pertence a duas unidades hidrográficas distintas – UGHR Itaúnas e UGRH São Mateus. Ambos os rios formam estuários com manguezais, que propiciam o desenvolvimento de várias espécies aquáticas constituindo, desse modo, criatórios naturais de peixes, moluscos e crustáceos (PETROBRAS, 2015). Conceição da Barra representa um importante polo de atividade pesqueira, além do turismo que tem como principais atrativos as praias, as dunas do rio Itaúnas entre outros recursos naturais.

Estes recursos naturais estão em parte protegidos na forma de unidade de conservação (UC) de proteção integral, qual seja, Parque Estadual (PE) de Itaúnas,

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

criado pelo Decreto Estadual nº. 4.967-E, em 8 novembro de 1991 e que preserva restinga, manguezal, dunas, remanescente de floresta de tabuleiro e alagados.

➤ **UGRH São Mateus**

- Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus



O rio São Mateus nasce em Minas Gerais, no município de São Félix de Minas. É formado pelos braços dos rios Cotaxé (braço norte) e Cricaré (braço sul), que se unem no baixo curso da bacia, no município de São Mateus. Após cruzar o município de origem e a comunidade de São Miguel, seu curso se inflete ao norte até Conceição da Barra, passando pelo povoado de Meleiras, à sua margem direita, e prossegue até desaguar no Oceano Atlântico, cerca de 120 km ao norte da foz do rio Doce.

No total, a bacia hidrográfica do rio São Mateus perfaz uma área de drenagem de aproximadamente 13.482 km², sendo 43% contida no estado de Minas Gerais e 57% no estado do Espírito Santo (SILVA, 2010).

No rio Mucuri, seu afluente da margem direita, foi aberto um canal para instalação de um porto fluvial, visando também ao esgotamento das águas dos terrenos para expansão da pecuária. Essa abertura formou uma foz artificial na bacia (Barra Nova), no município de São Mateus, distante aproximadamente 82 km ao norte da desembocadura do rio Doce.

Nas imediações de sua foz, o rio São Mateus forma um estuário com presença de manguezal, integrando a Área de Proteção Ambiental (APA) de Conceição da Barra, unidade de conservação de uso sustentável, criada pelo Decreto Estadual nº. 7.305-E/1998 e instituída pelo Decreto nº 1876-R/2007. Esta UC abarca ambientes costeiros, abrigando extensa faixa de restinga em bom estado de conservação, além do manguezal associado à foz do rio São Mateus, um dos principais motivos de sua criação. Tanto a foz natural como a artificial apresentam estuários de micromarés (amplitude máxima 2 m de altura).

Os manguezais dos rios Mariricu e Ipiranga (UGRH São Mateus) são dominados pela espécie *Laguncularia racemosa*, que coloniza ambientes com menor aporte

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

de nutrientes, enquanto na foz do rio São Mateus destaca-se *Rizophora mangle*, que domina as florestas mais próximas à desembocadura do estuário (FEST, 2019c).

O distrito de Barra Nova abriga uma vila de pescadores. Em termos gerais, a economia de São Mateus destaca-se pelas atividades agropecuárias, exploração de gás e petróleo. Rico em belezas naturais, o município atrai turistas em busca de lazer e entretenimento.

O estuário do rio São Mateus vem apresentando processos erosivos na sua principal praia, à margem esquerda, e modificações fisionômicas nos bosques de mangue em sua foz (PETROBRAS, 2015). De acordo com IEMA (2013 *apud* AGERH, 2018), ainda persistem os problemas de erosão e sedimentação nas praias adjacentes ao manguezal, sendo identificadas ocupações irregulares, desmatamentos para atividade agropecuária, lançamento de efluentes, entre outros fatores de degradação ambiental que se refletem no ambiente aquático.



➤ **UGRH Doce**

- Bacia Hidrográfica do Rio Doce

O rio Doce tem suas nascentes no estado de Minas Gerais e, após percorrer cerca de 850 km de extensão, desemboca no Oceano Atlântico, no município de Linhares, estado do Espírito Santo.

Esta bacia possui área de drenagem de, aproximadamente, 86.715 km², dos quais 86% está concentrada em Minas Gerais e apenas 14% no Espírito Santo. Os principais afluentes são, pela margem esquerda, os rios do Carmo, Piracicaba, Santo Antônio, Corrente Grande, Suaçuí Grande, São José e Pancas, e pela margem direita, os rios Casca, Matipó, Caratinga/Cuieté, Manhuaçu, Guandu, Santa Joana e Santa Maria do rio Doce (ANA, 2016). Na região do baixo curso, ocorre um notável complexo de lagoas costeiras, como Monsarás, Areão e Areal, que sofrem inundações periódicas das águas do rio Doce em épocas de cheia.

Em função do uso e ocupação do solo e do relevo, esta bacia apresenta alta suscetibilidade à erosão. Além disso, os cursos d'água da bacia do rio Doce são

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

receptores de esgotos domésticos das zonas urbanas, com destaque no baixo curso para o município de Linhares (ANA, 2016).

Esta bacia possui relevância na geração hidrelétrica, sendo encontradas 10 usinas hidrelétricas em sua extensão (UHEs), com destaque para quatro delas localizadas no rio Doce (Risoleta Neves - Candonga, Baguari, Aimorés e Mascarenhas).



- Bacia Hidrográfica do Rio Barra Seca

Localizada ao norte do delta do rio Doce, a bacia hidrográfica do rio Barra Seca integra a várzea litorânea do “Vale do Suruaca”, compreendida pela planície entre o rio Doce e o rio São Mateus. Ao final da década de 60, essa região sofreu inúmeras intervenções pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), no âmbito do programa PROVARZEA, visando ao aproveitamento dessas áreas para agricultura e posteriormente para implantação de estruturas para exploração de petróleo. Para tanto, foram construídos vários canais de drenagem que promoveram alterações no fluxo natural de suas águas (ZON, 2008).

O rio Barra Seca, após passar pela Reserva Biológica (REBIO) de Sooretama e pela Reserva Natural da Vale, encontra-se com as águas do rio Biriba, a jusante da lagoa Bonita, e deságua na lagoa Suruaca. Esta lagoa foi drenada e passou a se conectar com o rio Ipiranga na confluência com o canal de drenagem do DNOS.

O rio Ipiranga (Urussuquara) nasce no município de Linhares, passa pela comunidade de Degredo, segue para o norte em direção às localidades de Pontal de Ipiranga e Barra Seca, desaguando a seguir no mar, na praia de Urussuquara, na divisa entre os municípios de Linhares e São Mateus, a aproximadamente 64 km ao norte da foz do rio Doce.

Localiza-se, neste trecho, a Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) de Degredo, UC municipal, que se estende pela faixa litorânea ocupando 2,460 ha, criada em 2002 (LAMAS *et al*, 2015). Abriga inúmeras espécies de animais e plantas, principalmente orquídeas, que se encontram ameaçados de extinção e que têm como habitat a restinga ali presente.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Com as intervenções locais, um braço do rio Barra Seca, posteriormente denominado rio Barra Nova, passou a fluir em direção à sua foz artificial aberta junto ao rio Maricuru, conforme anteriormente descrito no contexto da bacia do rio São Mateus.

Levantamentos realizados pela Petrobras (2015) apontam que o Vale do Suruaca apresenta planícies que, em períodos de cheia, comunicam-se com o rio Doce, transformando a região em um grande banhado que atrai espécies aquáticas como garças, socós, biguás, entre outros, além de peixes que utilizam esses ambientes para se deslocarem entre os cursos d'água e lagoas costeiras existentes nessa planície.



Trata-se de uma região com solo orgânico, turfoso, no qual o uso intensivo de pastagens, da agricultura, a ocorrência de queimadas, aliadas às intervenções locais, têm acarretado degradação nos solos e alterações na qualidade da água, aspectos já identificados em época anterior ao evento da barragem (ZON, 2008).

➤ **UGRH Litoral Centro-Norte**

- Bacia Hidrográfica do Rio Riacho

A UGRH Litoral Centro-Norte abrange as bacias de drenagens dos rios Riacho, Piraquê-Açú e Reis Magos, cujas desembocaduras no Oceano Atlântico estão localizadas em torno de 29 km, 33 km, 53 km e 72 km ao sul da foz do rio Doce, respectivamente. É delimitada ao norte pela UGRH Doce e ao sul pela UGRH Litoral Central, onde se encontra Vitória, a capital do estado.

Esta UGRH tem sua costa litorânea ocupada em grande parte pelo município de Aracruz. Nessa área, o rio Riacho recebe pela margem esquerda o rio dos Comboios, que passa pela Vila do Riacho antes de desembocar próximo à comunidade Barra do Riacho. Ao final da década de 90, foi aberto um canal ligando o rio Doce através dos antigos canais do DNOS desaguando no rio Comboios. Esse canal está construído cerca de 22 km a montante da foz do rio Doce, sendo dotado de comportas para regularização da vazão.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



Seguindo em direção ao sul de Aracruz estão as localidades de Barra do Sahy, Putiri, Mar Azul, Praia do Sauê, Praia dos Padres e Coqueiral, todas incluídas no perímetro das Novas Áreas, com distâncias variáveis entre 42 a 52 km da foz do rio Doce.

O sistema estuarino formado pelos rios Piraquê-Açú (braço norte) e Piraquê-Mirim (braço sul) perfazem uma área total de 448 km². Suas nascentes estão localizadas na Reserva Biológica Augusto Ruschi, no município de Santa Teresa, e se unem cerca de 2 km a montante de sua foz, em Aracruz, no distrito de Santa Cruz, onde se desenvolve extensa área de manguezal e rica diversidade (SOUZA, 2012). O estuário é classificado como bem misturado, onde o fluxo de água das marés (micromarés com amplitude <2 m) se sobrepõe à do rio, ocorrendo variações na zona de mistura de acordo com a época do ano (BARROSO, 2004).

Trata-se de uma região que contém um dos maiores bancos de algas calcárias do país, que são importantes formadoras dos sistemas recifais, em parte protegidos por unidades de conservação de diferentes categorias.

No distrito de Santa Cruz, município de Aracruz, onde as águas dos rios Piraquê-Açú e Mirim encontram-se com as do mar, formando um complexo estuarino margeado por extensos manguezais, com grande diversidade biológica (SOUZA, 2012), encontra-se a Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas, de uso sustentável. Criada do por meio do Decreto s/nº de 17 de junho de 2010, tem como objetivo proteger a diversidade biológica local, bem como valorizar as atividades pesqueiras e extrativistas por comunidades tradicionais, garantindo assim a conservação da biodiversidade.

Internamente à APA, encontra-se o Refúgio da Vida Silvestre (RVS) de Santa Cruz, este, de proteção integral, criado pelo mesmo Decreto acima citado, com objetivo de preservar a biodiversidade biológica local, notadamente ambientes colonizados por algas e fauna bentônica associada, manguezais, vegetações costeiras e formações sedimentares. A presença dos rodolitos neste trecho da costa, formando bancos ou nódulos livres no ambiente, contribui para o aumento da heterogeneidade do ecossistema, possibilitando novos hábitats e nichos e

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

causando, por conseguinte, o aumento da abundância e riqueza de espécies bentônicas (STELLER *et al.*, 2003; BERLANDI *et al.*, 2011, *apud* SOUZA, *op.cit.*), sendo também uma área de ocupação intensiva de tartarugas marinhas e arraias (FEST, 2019c).



Tem-se, ainda, a Reserva Biológica (REBIO) Comboios, nas proximidades da comunidade de Regência e da Terra Indígena Comboios, protegendo cerca de 785 ha de ambientes praias, criada por meio do Decreto nº 90.222 de 25 de setembro de 1984.

À parte destas unidades de conservação, que protegem habitats do bioma Marinho Costeiro, outras unidades de conservação situadas na orla ou em suas proximidades podem ser enumeradas. Entre estas, destaca-se a Reserva de desenvolvimento Sustentável Piraquê-Açú e Piraquê-Mirim, que protege os extensos manguezais ali presentes e sua fauna associada. Outras unidades presentes nesse trecho junto à faixa litorânea podem ser citadas: Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Restinga de Aracruz, ARIE Aroeira do Riacho, APA da Lagoa Jacunem e APA da Praia do Mole. Evidencia-se, portanto, a importância conservacionista deste setor do litoral capixaba.

No município de Aracruz, onde as águas dos rios Piraquê-Açú e Mirim encontram-se com o mar, formando um complexo estuarino margeado por extensos manguezais, com grande diversidade biológica (SOUZA, 2012), encontra-se a Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas, de uso sustentável. Criada por meio do Decreto s/nº de 17 de junho de 2010, tem como objetivo proteger a diversidade biológica local, bem como valorizar as atividades pesqueiras e extrativistas por comunidades tradicionais, garantindo assim a conservação da biodiversidade.

O distrito de Santa Cruz também se destaca pela sua importância turística, ambiental e cultural, e conta com a presença de comunidades indígenas. Ao sul, estão situados nesse município os núcleos urbanos de Portal de Santa Cruz, Itaparica e de Rio Preto.

Vários empreendimentos de grande porte estão implantados em Aracruz, como terminais aquaviário e industrial em Barra do Riacho, estaleiro em Barra do Sahy,

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

entre outros que atendem à demanda de indústrias, principalmente a de celulose e de exploração e produção de petróleo e gás.

O município de Fundão abriga o distrito de Praia Grande, à margem esquerda do rio Reis Magos. Com área de drenagem de 328 km², esse rio delimita o município de Serra, à sua margem direita, onde se encontra o distrito de Nova Almeida, última comunidade contida no limite das Novas Áreas ao sul do estado do Espírito Santo, situada a aproximadamente 72 km da foz do rio Doce.

4.2. Alcance e Persistência da Pluma de Rejeitos



4.2.1. Monitoramento marinho por sobrevoo

Os dados descritos neste item foram fornecidos pela Fundação Renova, sendo referentes ao registro e acompanhamento da pluma de rejeitos na região de Novas Áreas.

Três dias após o rompimento da barragem de Fundão em Mariana/MG, o Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) do Estado do Espírito Santo emitiu os primeiros Autos de Intimação contra a Samarco, impondo à empresa, dentre outras medidas, a disponibilização de água à população, a disponibilização de aeronaves para sobrevoo da área afetada, suporte aos municípios e munícipes afetados, monitoramento do rio e mar, limpeza e reparação emergencial das áreas atingidas (IEMA, 2017).

No que se refere ao monitoramento por sobrevoo, esse teve início um dia após a chegada pluma de sedimentos no mar, e foi realizado diariamente até 15 de fevereiro de 2016, com periodicidade de três vezes por semana e, a partir de 2 de agosto de 2016, duas vezes por semana (ECOSERVATION, 2017).

A metodologia de classificação das plumas foi dividida em três fases: de 25/11/2015 a 07/03/2016, entre 09/03/2016 e 29/07/2016, e a partir do dia 02/08/2016 até o final do monitoramento.



	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Na primeira fase, de 25/11/2015 a 07/03/2016, as plumas foram classificadas em alta e média concentração, entre outras. As plumas de alta concentração eram aquelas de cor viva e homogênea, que apresentavam aspecto visual semelhante ao observado no leito do Rio Doce e possuíam um limite bem definido. Já as plumas de média concentração também tinham limite bem definido, eram homogêneas, mas menos intensas que as plumas de alta concentração. Por sua vez, as outras plumas tinham intensidades variadas, formadas em decorrência dos processos de mistura associados à circulação costeira, tais como, advecção, difusão, diluição, entre outros processos (p.ex. sedimentação e ressuspensão do material depositado) (ECOSERVATION, 2017).

A partir do dia 09/03/ 2016, por deliberação em reunião envolvendo representantes do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), IEMA, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e Samarco, o monitoramento da dispersão da pluma do rio Doce passou a ter por objeto apenas a Pluma Primária (relativa ao somatório das plumas de alta e média concentração).

Essas plumas primárias eram aquelas que se formavam diretamente a partir da foz do rio Doce, com coloração alaranjada, similar ao verificado no interior do rio. Abrangiam a área de maior concentração do aporte fluvial (a qual não aparentava mistura visível com a água do mar) e seus respectivos gradientes de dispersão com coloração alaranjada homogênea, mesmo que com menor intensidade de cor e limitada pela quebra de gradiente entre a pluma primária e área que apresenta visível mistura com a água do mar.

A partir do dia 02/08/2016 passaram a ser consideradas duas principais classificações: **a Pluma Contínua Densa (CDs)** e **a Pluma Contínua Degradê (CDg)**. As CDs eram equivalentes às plumas de alta e média concentração e primárias e, as CDg eram mais subjetivas, pois poderiam representar tanto a diluição do material lançado a partir da foz do rio Doce como processos naturais de ressuspensão de sedimentos, de contribuição de outros rios, etc.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Em todas as fases do monitoramento, os registros das imagens e o posicionamento dos limites das plumas foram feitos por fotos e marcação por GPS.

A metodologia utilizada à época foi baseada na percepção dos observadores de bordo, de modo que o posicionamento dos limites das plumas não teve precisão, pois os sobrevoos possuíam uma restrição de deslocamento, não sendo possível acompanhar a pluma de perto durante todo o tempo, principalmente à medida que se afastava da costa.

De acordo com o relatório apresentado pela Econservation, foi destacado que, ao longo do monitoramento, Plumias Contínuas Densas de outras desembocaduras ou até mesmo de processos erosivos costeiros foram observadas em diferentes trechos do litoral, ou seja, não há como se afirmar com certeza, dentro dessas Plumias Contínuas Densas, qual é a contribuição dos SSTs que saiam das outras fozes ou dos processos que ocorriam na costa.



O próprio estudo indicou que deveriam ser feitas análises mais consistentes com a série histórica atualizada do monitoramento da qualidade das águas marinhas para confirmar os resultados obtidos.

4.2.2. Modelagens Hidrodinâmicas

A pluma de sedimentos ocasionada pelo evento de ruptura da barragem de Fundão, em 05/11/2015, alcançou o município de Linhares em 21/11/2015 e se expandiu, a partir da foz do rio Doce, para a zona litorânea na forma de pluma, alcançando várias localidades costeiras.

Marta-Almeida (2016) utilizou um modelo matemático oceânico para avaliar a dispersão da pluma em uma faixa de 30 km de largura na linha costeira, com extensão de 1.200 km, desde o sul da Bahia (Canavieiras) passando pela costa dos estados do Espírito Santo e do Rio de Janeiro. A simulação abrange um período de dois meses desde a chegada da pluma no oceano, em 22/11/2015 até 25/01/2016.

Ressalvando as limitações do método, Marta-Almeida (*op cit*) indica que o movimento da pluma foi essencialmente para o sul. A região entre a foz do rio

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Doce e a cidade de Vitória manteve a maior frequência de contato com as águas afluentes, incluindo a foz dos rios das unidades de conservação ali existentes (Reserva Biológica de Comboios, na APA Costa das Algas e Reserva da Vida Silvestre de Santa Cruz). Em contraste, o Parque Nacional de Abrolhos, situado a 200 km ao norte, na Bahia, não foi afetado pelo alcance da pluma de rejeitos.



A avaliação da dispersão da pluma de sedimentos após a ruptura da barragem de Fundão foi também realizada com base na modelagem hidro-sedimentológica morfodinâmica conduzida pela COPPETEC (2020a), objetivando definir o rastro de deposição das plumas de sedimentos em suspensão oriundos do rompimento da barragem de Fundão, na foz do rio Doce a partir de 20/11/2015.

Cabe destacar que os Sólidos Suspensos Totais (SST) representam um agregado de possíveis partículas sólidas em suspensão, incluindo particulados de matéria orgânica e sedimentos finos de diversas origens e tamanhos. Os dados disponíveis de concentrações de SST não fazem distinção entre frações de particulados orgânicos e de sedimentos.

Nota-se também que, no total da fração de sedimentos em suspensão, não há distinção entre a parcela composta por sedimentos naturais da bacia do rio Doce e a parcela de sedimentos com características do rejeito da Samarco. Nesse sentido, considera-se que conservadoramente para os propósitos deste trabalho que todos os materiais que compõem as concentrações de SST adotadas, tenham características do material fino do rejeito da Samarco.

A proposta para o desenvolvimento dos estudos sobre os sedimentos depositados na zona costeira adjacente à foz do rio doce, após a ruptura da barragem de Fundão, em 05/11/2015, apresentou a divisão dos trabalhos em duas etapas:

- Etapa 1: Quantificação por modelagem dos processos sedimentológicos, via modelagem hidro-sedimentológica morfodinâmica, conforme anteriormente citado (COPPETEC, 2020a). Essa etapa, além de fornecer as alturas de sedimentação no rastro de deposição, deverá apresentar os resultados que determinam as concentrações de Sólidos Suspensos Totais (SST) e apontam

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

as probabilidades referentes à persistência de concentração de rejeito nas águas da plataforma costeira acima de valores característicos.



- Etapa 2: Quantificação por amostragem das alturas de sedimentação no rastro de deposição através de análise de amostras de sedimentos coletadas em locais mais prováveis, ou seja, em campo. Tais locais serão indicados pelos resultados da Etapa 1.

As modelagens consideraram exclusivamente a carga de SST do rio Doce, com zero estoque pretérito nos fundos da área modelada e zero carga de sedimentos dos rios adjacentes. O estudo cobriu o período da zero hora do dia 10/11/2015 às 24 horas do dia 30/06/2019, ou 3 anos, 7 meses e três semanas, praticamente 44 meses. Na data de coleta dos dados, junho de 2019 foi o mês mais atual em que havia dados consistentes para a modelagem.

Vale salientar que os resultados obtidos neste estudo fazem parte da Fase 1A – Caracterização Ambiental da Área de Estudo, no contexto do Gerenciamento do Plano de Manejo de Rejeito para o processo de tomada de decisão, a qual também abrange outras análises, como a caracterização físico-química dos sedimentos marinhos.

Para exemplificar a progressão dos processos sedimentológicos, são apresentados no estudo gráficos de séries temporais de concentração de SST (mg/L) e alturas de deposição (m) em local próximo da costa em cerca de 1.450m ao norte da foz do rio Doce, destacando-se que as maiores concentrações de SST nos primeiros 90 dias, de meados de novembro de 2015 a meados de fevereiro de 2016, indicam a contribuição significativa do material fino do rejeito devido à ruptura da barragem de Fundão (COPPETEC, 2020a).

A partir de 180 dias do evento, as elevações persistentes de concentração são diretamente relacionadas à época de chuvas natural na bacia do rio Doce. Os súbitos picos de concentração, especialmente fora das épocas chuvosas, correspondem a eventos de ressuspensão decorrentes de passagens de frentes frias que estimulam condições de tempo com eventos que causam a remobilização e erosão de material depositado.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

A modelagem aponta também que, devido aos aspectos hidrodinâmicos, a região não é favorável à deposição de sedimentos finos, ocorrendo muito pouca sedimentação para além de 5 km do norte da foz. Em face da maior ocorrência de correntes persistentes mais para sul do que para norte, praticamente todos os depósitos de sedimentos com alturas acima de um centímetro ficam ao sul da latitude de Linhares. Além disso, para mais de 70 km ao sul da foz, a camada sedimentada seria de poucos milímetros.

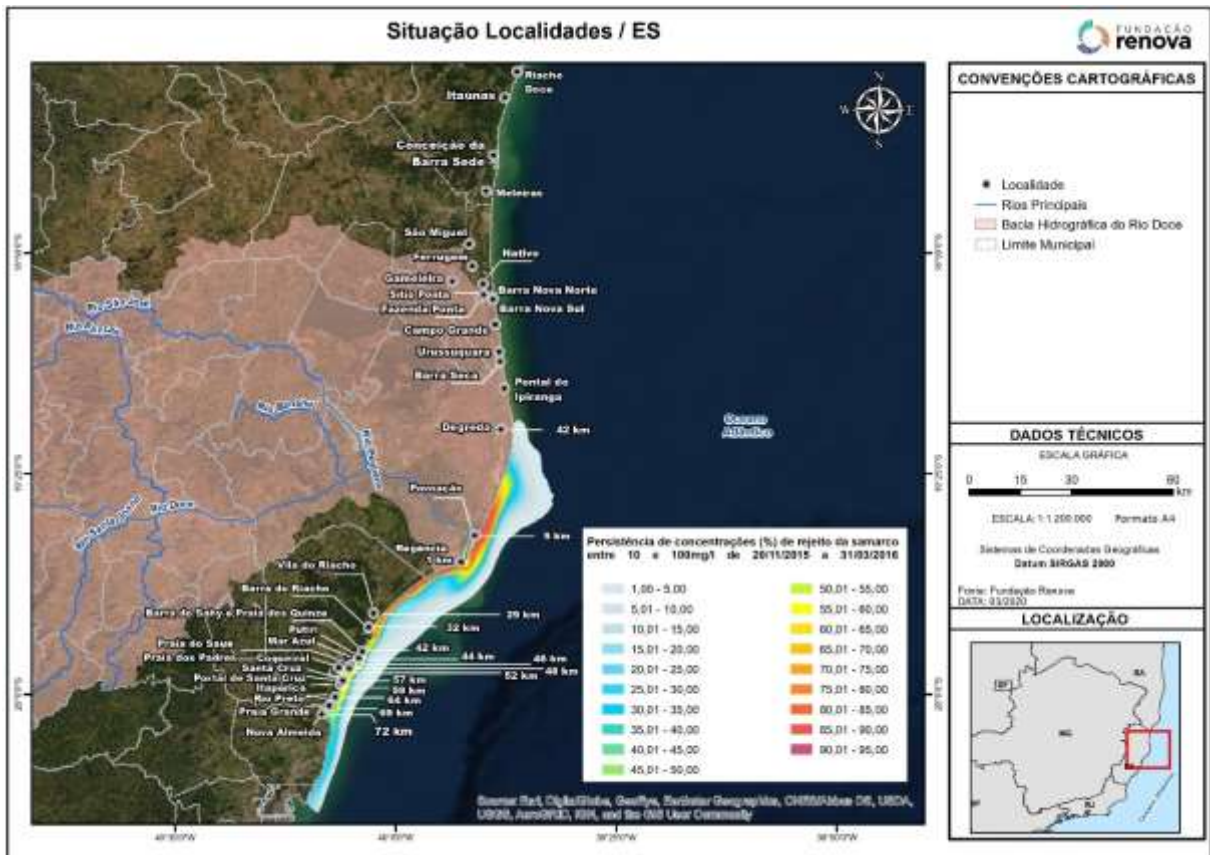
Para o fornecimento de subsídios mais adequados à avaliação da extensão dos rejeitos nas localidades de Novas Áreas, o PG23 juntamente com a COPPETEC elaborou um parecer para demonstrar o Alcance de Plumões de Rejeito nos Sólidos Suspensos Totais (SST) lançados ao mar pelo rio Doce (COPPETEC, 2020b).

Conforme consta no referido parecer, foi realizada uma análise comparativa entre concentrações de SST médias (medições/dia) e os valores previstos pela curva-chave da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), que pode ser considerada a linha de base das concentrações de sólidos suspensos totais naturalmente transportadas pelo rio Doce. Admite-se que a diferença entre as concentrações medidas e a curva-chave seja uma segura estimativa da parcela de rejeito da Samarco no total de SST transportado pelo rio Doce.

Importante ressaltar que a partir de abril de 2016 a quantidade de rejeito é irrelevante, pois quase sempre a concentração natural de SST esperada é similar à medida (COPPETEC, 2020b).

As figuras apresentadas a seguir indicam a persistência de concentração de concentração da pluma de rejeito na área de estudo, considerando as faixas entre 10 e 100 mg/L, entre 100 e 500 mg/L e entre 500 e 1000 mg/L no período de cerca de 130 dias, limitada ao período entre 20/11/2015 a 30/03/2016 (Figura 8, Figura 9 e Figura 10, respectivamente).

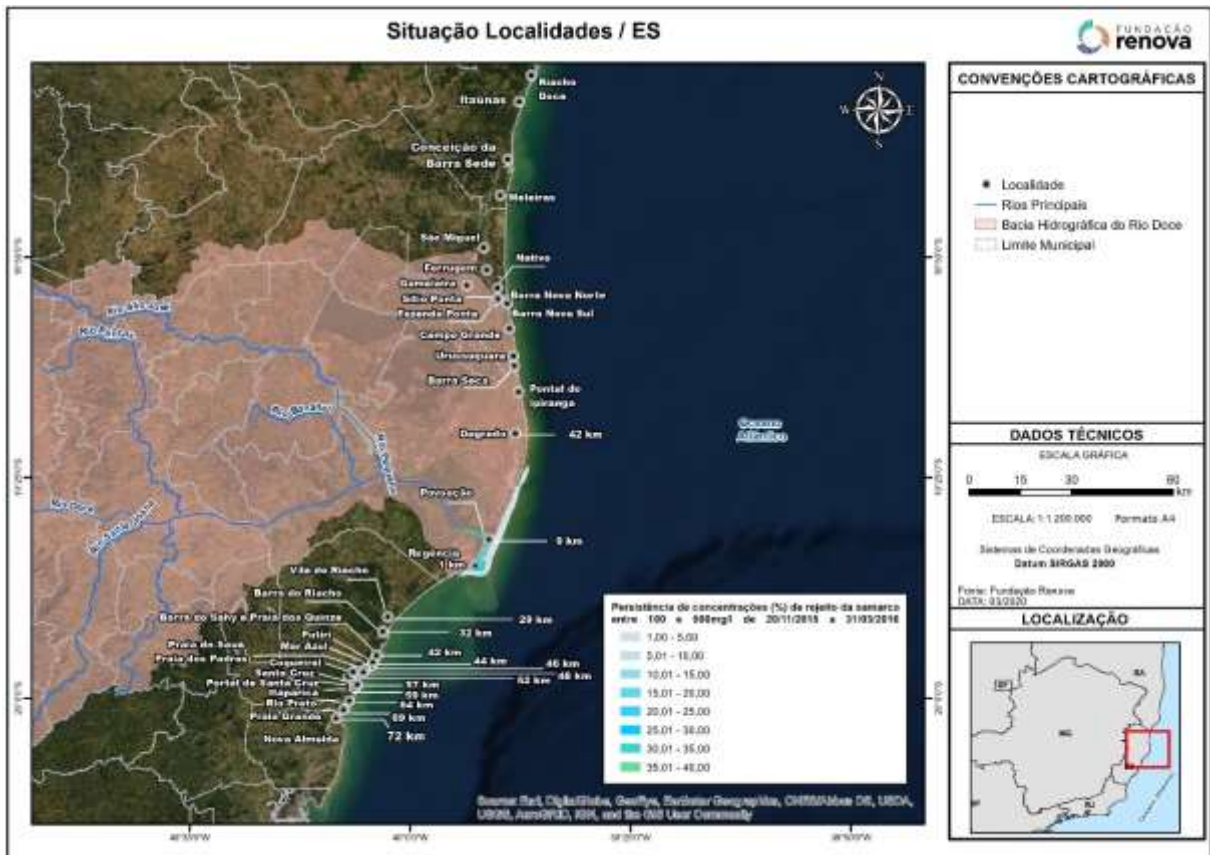
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas



Fonte: Fundação Renova (2020). Baseado na COPPETEC (2020b)

Figura 8 - Persistência de concentrações de rejeito proveniente do rompimento da barragem de Fundão entre 10 a 100 mg/L de 20/11/2015 a 30/03/2016 na região Novas Áreas.

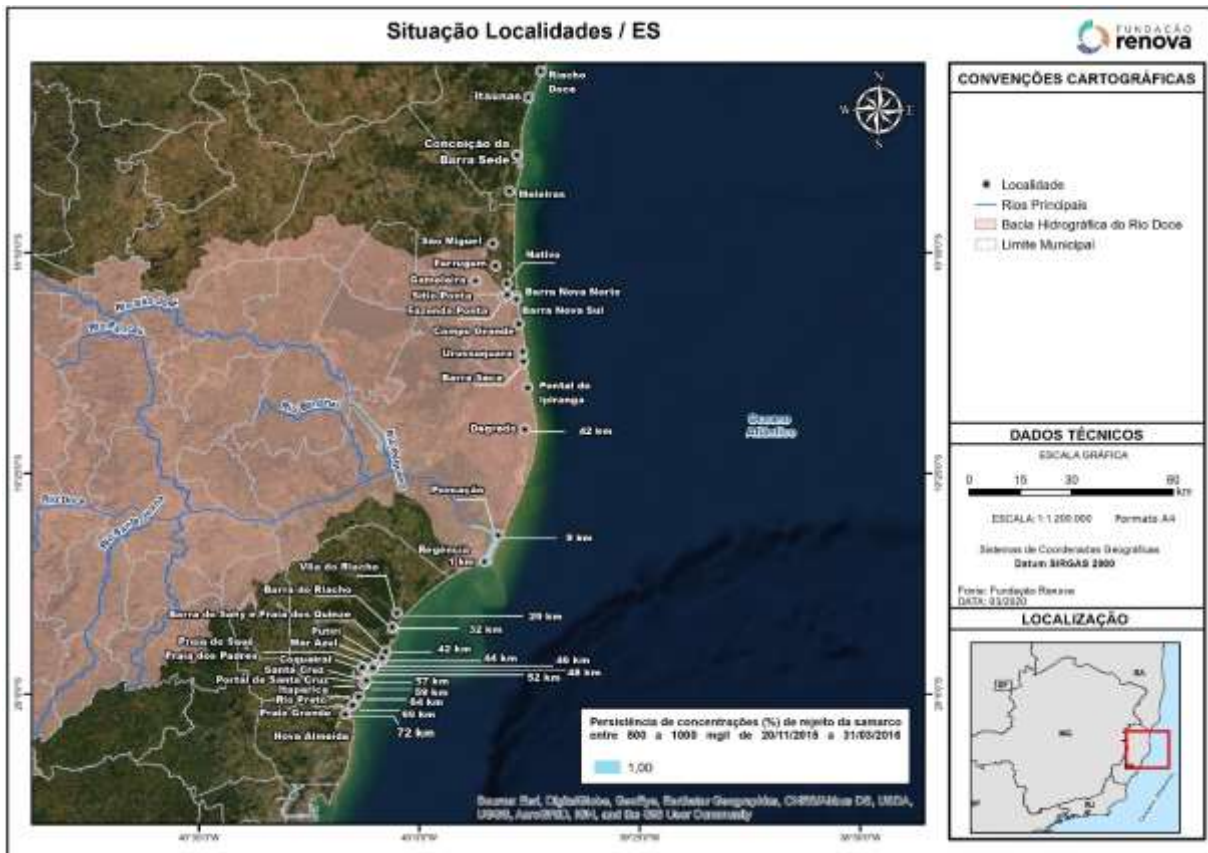
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas



Fonte: Fundação Renova (2020). Baseado na COPPETEC (2020b)

Figura 9 - Persistência de concentrações de rejeito proveniente do rompimento da barragem de Fundão entre 100 a 500 mg/L de 20/11/2015 a 30/03/2016 na região Novas Áreas.



Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas



Fonte: Fundação Renova (2020). Baseado na COPPETEC (2020b)

Figura 10- Persistência de concentrações de rejeito proveniente do rompimento da barragem de Fundão entre 500 a 1000 mg/L de 20/11/2015 a 30/03/2016 na região Novas Áreas.

Os resultados obtidos estão esquematizados no Quadro 6 (COPPETEC, 2020b). Para a faixa de menor concentração, entre 10 e 100 mg/L de SST, a pluma teve alcance até Degredo, situada a 42 km ao norte, na margem esquerda da foz do rio Doce, com persistência entre 1 e 5% do período de tempo entre 20/11/2015 a 30/03/2016. Acima dessa distância, ao norte, o modelo indica que não houve interferência da pluma de sedimentos. Contudo, a maior concentração nessa faixa de SST (10 e 100 mg/L) permanece na localidade de Povoação, localizada a 9 km ao norte da foz do rio Doce, na qual a pluma persistiu aproximadamente 90% do período analisado (UGRH Doce).

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Ao sul com relação a foz do rio Doce, destacam-se nessa faixa de SST as comunidades de Regência e Vila do Riacho, cuja pluma manteve contato na zona costeira entre 75 a 80% no período entre 20/11/15 a 30/03/16. Esse intervalo de concentração de SST chegou ao limite sul das Novas Áreas, em toda a extensão da UGRH Litoral Centro-Norte, até o distrito de Nova Almeida, distante de aproximadamente 72 km da foz, com percentuais de persistência entre 35 a 40% no referido intervalo de tempo.

Para a faixa intermediária de concentração considerada na modelagem (SST entre 100 e 500 mg/L), o alcance ficou restrito à Povoação e Regência, compreendendo entre 1 e 5% e entre 25 a 30% do período acima mencionado, respectivamente. A faixa de maior concentração (entre 500 e 1.000 mg/L) se manteve restrita à foz do rio Doce, em 1% desse intervalo de tempo.

Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

Quadro 6 - Porcentagens de persistência de sedimentos sólidos em suspensão no período de 20/11/2015 a 30/03/2016 em comunidades na região de Novas Áreas, bem como referências locais.

Referência em relação a Foz do rio Doce	UGRH	Unidades de Conservação UCs	Municípios	Comunidades/Estuários	Distância da Foz Rio Doce (km) Linha de Costa	Persistência de SST - período crítico (%) 20/11/2015 a 30/03/2016		
						Entre 10 e 100 mg/L	Entre 100 e 500 mg/L	Entre 500 a 1000 mg/L
NORTE	Itaúnas	Parque Estadual de Itaúnas	Conceição da Barra	Riacho Doce	149	Não teve alcance	Não teve alcance	Não teve alcance
		Parque Estadual de Itaúnas		Itaúnas	141			
				Foz Rio Itaúnas	128			
	APA Conceição da Barra	Sede		123				
		Foz Rio São Mateus		120				
	APA Conceição da Barra	Meleiras		112				
	São Mateus		São Mateus	São Miguel	98			
				Ferrugem	90			
				Gameleira	86			
				Nativo	85			
				Sítio Ponta	82			
				Barra Nova Norte	81			
				Foz Rio Mariricu / Córrego Barra Nova	82			
				Fazenda Ponta	81			
				Barra Nova Sul	80			
				Campo Grande	73			

Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas



Referência em relação a Foz do rio Doce	UGRH	Unidades de Conservação UCs	Municípios	Comunidades/Estuários	Distância da Foz Rio Doce (km) Linha de Costa	Persistência de SST - período crítico (%) 20/11/2015 a 30/03/2016		
						Entre 10 e 100 mg/L	Entre 100 e 500 mg/L	Entre 500 a 1000 mg/L
Foz do Rio Doce	Rio Doce			Urussuquara	65			
				Foz Rio Ipiranga (Urussuquara)	64			
		APA Barra Seca	Linhares	Barra Seca	62			
		APA Região Litorânea		Pontal do Ipiranga	54			
		ARIE do Degredo; APA Região Litorânea		Degredo	42	1 a 5%		
		APA Região Litorânea		Povoação	9	85 a 90%	1 a 5%	
				Foz Rio Doce	0			
	APA Região Litorânea; REBIO de Comboios	Regência	1	75 a 80%	25 a 30%	1%		
SUS	Litoral Centro-Norte		Aracruz	Vila do Riacho	29	75 a 80%	Persistência irrisória*	Não teve alcance
				Foz Rio Comboios	29	70 a 75%		
				Barra do Riacho	32	65 a 70%		
				Foz Rio Riacho	33	35 a 40%		
		APA Costa das Algas		Praia dos Quinze	42	60 a 65%		
		APA Costa das Algas		Barra do Sahy	42	60 a 65%		
		APA Costa das Algas		Putiri	44	60 a 65%		
		APA Costa das Algas		Mar Azul	46	60 a 65%		
		APA Costa das Algas		Praia do Sauê	48	60 a 65%		
		APA Costa das Algas		Praia dos Padres	49	60 a 65%		

Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

Referência em relação a Foz do rio Doce	UGRH	Unidades de Conservação UCs	Municípios	Comunidades/Estuários	Distância da Foz Rio Doce (km) Linha de Costa	Persistência de SST - período crítico (%) 20/11/2015 a 30/03/2016		
						Entre 10 e 100 mg/L	Entre 100 e 500 mg/L	Entre 500 a 1000 mg/L
		APA Costa das Algas		Coqueiral	52	55 a 60%		
				Foz Rio Piraquê-açu	53	45 a 50%		
		APA Costa das Algas; RVS de Santa Cruz		Santa Cruz	57	55 a 60%		
		APA Costa das Algas; RVS de Santa Cruz		Portal de Santa Cruz	58	55 a 60%		
		APA Costa das Algas; RVS de Santa Cruz		Itaparica	59	55 a 60%		
		APA Costa das Algas; RVS de Santa Cruz		Rio Preto	64	50 a 55%		
		APA Costa das Algas	Fundão	Praia Grande	69	40 a 45%		
			Serra	Foz Rio Reis Magos	72	35 a 40%		
		APA Costa das Algas		Nova Almeida	72	35 a 40%		

Fonte: Tetra Mais e Fundação Renova (2020). Baseado na COPPETEC (2020b)

* níveis de persistência de concentração muito baixa, não relevantes no ambiente real, sendo esses valores decorrentes do exercício matemático da modelagem (valores menores que 1 ao zero virtual, como 0,0001 por exemplo).

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexos Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

5. Análise dos Estudos para Identificação dos Impactos Socioambientais



5.1. Qualidade da Água e Sedimentos na Zona Costeira

A região costeira do Espírito Santo é caracterizada pela forte presença da corrente sul do Brasil (BC), cuja porção superficial é formada por águas tropicais relativamente quentes, que se movem ao longo da plataforma e se inclinam em direção ao sul.

O rio Doce é um dos principais cursos d'água da costa brasileira e representa uma fonte significativa de aporte sedimentar para a faixa litorânea, com vazão média de 1.140 m³/s (PETROBRAS, 2015). No estudo pretérito ao evento da barragem de Fundão conduzido por Petrobras (2015) consta que apontam a descarga de sedimentos em suspensão neste rio foi estimada em 12,7 x 10⁶ t/ano, uma das maiores do país. Ainda de acordo com este trabalho dados obtidos entre 2010 a 2014 revelam a presença de ambientes majoritariamente prístinos (ou primitivos) nas zonas mais profundas e afastadas da costa e o aporte terrígeno nas faixas mais próximas, contendo maior conteúdo de sedimentos finos, de materiais orgânicos e de contaminantes provenientes da bacia de drenagem do rio Doce. As características sedimentológicas das praias e da plataforma continental interna indicam que a influência do rio Doce é restrita ao entorno da sua desembocadura (ALBINO & SUGUIO, 2010).

Esses estudos já apontavam o direcionamento natural da pluma alimentada pela descarga do rio Doce em direção ao sul devido à predominância dos ventos do quadrante norte, sendo que os ventos do quadrante sul limitam esse espalhamento (CAMPOS, 2011, *apud* PETROBRAS, 2015), além da influência hidrodinâmica, conforme também identificado após o rompimento da barragem (MARTA-ALMEIDA, 2016; COPPETEC, 2020a).

A descarga fluvial, a dispersão de plumas e a distribuição de sedimentos na plataforma continental contribuem diretamente para os processos biogeoquímicos

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

costeiros. Nesse aspecto, os estuários atuam como importantes armazenadores de elementos metálicos uma vez que grande parte dos metais precipita e sofre deposição nos sedimentos costeiros, como resultado da interação entre a mistura de água marinha com a água doce proveniente das bacias de drenagem dos rios associados (LIBES, 2009, *apud* PETROBRAS, 2015).



Nessa perspectiva, além do rio Doce, deve ser considerada dentro do limite das Novas Áreas a contribuição dos demais cursos d'água afluentes, com destaque, ao norte, para os rios Itaúnas, São Mateus, Barra Nova, Ipiranga, e, ao sul, para os rios Tamoios, Riacho, Piraquê-Açú e Reis Magos.

A introdução de poluentes pelos rios, tanto em áreas urbanizadas, quanto em regiões com atividades agrícola e pecuária, levam ao aumento da eutrofização dos estuários e das águas marítimas costeiras, com reflexos para as comunidades aquáticas. Adicionalmente, o desmatamento e as intervenções nas drenagens naturais, o uso da faixa litorânea como espaço urbano, de lazer e de recreação, as atividades de pesca e aquicultura, a extração de petróleo, constituem exemplos de intervenções antrópicas que alteram estes ecossistemas.

No dia 05 de novembro de 2015, a barragem de rejeitos de mineração de Fundão, operada pela mineradora Samarco no município de Mariana, Minas Gerais, se rompeu, liberando rejeitos para o sistema fluvial a jusante. A ruptura da barragem resultou na liberação de grande quantidade de rejeitos, aproximadamente 32,9 Mm³ (milhões de metros cúbicos), causando grande impacto a jusante.

O material liberado alcançou o córrego Santarém, posteriormente atingindo o rio Gualaxo do Norte, que deságua no rio do Carmo, o qual, por sua vez, deságua no alto rio Doce. Um grande volume de rejeitos ficou retido a montante e no próprio reservatório da Usina Hidroelétrica (UHE) Risoleta Neves (Candonga), enquanto outra parte ultrapassou essa barragem, seguindo pelo rio Doce em direção ao mar como carga sólida.

Parte desses materiais em suspensão foram depositados na calha do rio Doce e nos demais reservatórios ao longo de seu curso a jusante, e parte deste material permaneceu em suspensão na água até a foz do rio Doce, com uma pluma de

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

coloração alaranjada, penetrando no ambiente estuarino e costeiro, 16 dias após o evento de rompimento (Plano de Manejo de Rejeitos Trecho16).

O alcance da pluma de sedimentos, identificado pela modelagem matemática (COPPETEC, 2020b), conforme anteriormente citado, atingiu com distintos percentuais de persistência a região das Novas Áreas, alcançando toda faixa ao sul da desembocadura do rio Doce. Em contraste, na porção norte, a extensão da pluma chegou até a costa da localidade de Degredo e não promoveu, potencialmente, interferências na faixa costeira entre a foz do rio Ipiranga até o rio Itaúnas.



Com base nessas premissas e nos levantamentos bibliográficos disponibilizados, é apresentada a seguir a caracterização da qualidade da água (item 5.1.1), dos sedimentos (item 5.1.2), dos aspectos da biodiversidade da comunidade aquática (item 5.1.3) e da bioacumulação de metais na cadeia alimentar aquática (item 5.1.4), comparando-se, quando possível, os dados anteriores e posteriores ao evento para dar subsídios à avaliação dos impactos nas Novas Áreas.

5.1.1. Qualidade da Água

5.1.1.1 Estudos Avaliados

O relatório de Qualidade da Água e do Sedimento na Zona Costeira Próxima à Foz do rio Doce e na APA Costa das Algas (GOLDER, 2018), região que abrange as UGRHs Doce e Litoral Centro-Norte, é traçada uma linha do tempo com os principais eventos relacionados ao rompimento da barragem de rejeitos e ao monitoramento da qualidade de água e sedimentos. O monitoramento da qualidade da água se estende desde 17 de novembro de 2015 até 31 de agosto de 2017, incluindo, assim, o período anterior e posterior à chegada da pluma no mar (21/11/2015). Em média, foram avaliados 28 pontos de amostragem compreendendo a zona costeira das Novas Áreas.

Os resultados desse estudo apontam não conformidades em 19 dos 21 parâmetros analisados que são contemplados pela Resolução Conama 357/05. Os parâmetros arsênio, cádmio, chumbo e zinco totais e cobre dissolvido apresentaram

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



comportamento que sugere relação com a chegada dos rejeitos à região costeira, não sendo observados valores “não conformes” para bário e cromo. No entanto, a partir de fevereiro de 2016, a frequência de não conformidades tornou-se cada vez mais baixa, mesmo nos pontos de coleta próximos à foz do rio Doce.

Observaram-se poucas diferenças entre as águas superficiais e as águas de fundo, destacando-se, nestas últimas, a elevada concentração de nutrientes como fosfato e nitrogênio amoniacal ao longo de todo o período amostral. As amostras de fundo, tomadas a 50 cm de altura do substrato, apresentaram valores de mediana de ferro total apenas ligeiramente superiores às das amostras de superfície, na região mais próxima à foz, o que sugere influência dos processos de ressuspensão dos sedimentos, o mesmo ocorrendo para o alumínio total e manganês total. A frequência de não conformidades para ferro e alumínio foi mais alta nas imediações da foz do rio Doce, o que sugere a influência da pluma de rejeitos.

Os parâmetros alumínio total, ferro total e dissolvido, manganês total, cor verdadeira e aparente, sólidos suspensos totais e turbidez apresentaram as alterações mais pronunciadas em resposta ao rompimento da barragem (maior magnitude de elevação ou maior persistência no tempo).

Para além dos maiores valores registrados no momento imediatamente após a chegada da pluma, que baixaram gradualmente a partir de então, houve uma ocorrência pontual por ocasião da estação chuvosa de novembro de 2016 a março de 2017. Nesse período, observou-se consequente elevação da vazão do rio Doce, refletindo nos teores de sólidos suspensos e de turbidez, de ferro dissolvido e total e de manganês total, que tiveram um novo aumento dos seus valores na região próxima à foz, contrariando a tendência de diminuição que vinha se verificando até então.

O aumento na concentração de ferro dissolvido e de manganês total, parâmetros para os quais existem limites máximos na legislação, elevou também a frequência de não conformidades em relação ao período imediatamente anterior (fevereiro a outubro de 2016). No entanto, a partir de abril de 2017, com o término do período chuvoso, as concentrações caíram e a frequência de não conformidades para estes

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

parâmetros voltou a ser muito baixa ou inexistente. Este padrão foi verificado tanto para as águas próximas à superfície quanto para as águas da região mais profunda (GOLDER, 2018).



Os resultados de arsênio, cádmio, chumbo e zinco totais, de coliformes termotolerantes, bem como de condutividade elétrica, DBO, *Escherichia coli*, fósforo total, pH, oxigênio dissolvido (OD) e sólidos dissolvidos totais (SDT) tiveram alteração de curto prazo e magnitudes variadas, não voltando a apresentar picos de elevação após fevereiro de 2016.

Para os demais parâmetros, não houve evidências de alteração. O estudo sugere que influências meteoceanográficas sobre a qualidade da água, bem como as correntes marinhas e os ventos podem estar relacionados com a melhoria da qualidade de água a partir de fevereiro de 2016.

Ao norte da foz do rio Doce, na UGRH São Mateus, as campanhas de monitoramento realizadas em 2017, em período posterior ao rompimento de Fundão (AGERH, 2018), mostraram uma condição predominantemente boa em toda a bacia de drenagem. As principais não conformidades estiveram relacionadas principalmente à deficiência de saneamento básico e às cargas difusas das pastagens, ocorrendo déficits de oxigênio dissolvido, componente essencial para a manutenção da vida aquática aeróbia, incluindo peixes, sem relação evidente com o rompimento da barragem de Fundão.

Na série histórica de monitoramento na bacia do rio São Mateus, entre 2007 e 2017 (AGERH, 2018), os resultados de condutividade, parâmetro correlacionado aos sólidos dissolvidos, além de sólidos totais e turbidez, apresentaram alguns picos anômalos (outubro/2016 e setembro/ 2017) nos locais que sofrem maior influência da intrusão das águas do mar e também em alguns pontos mais a montante na bacia. Nesse sentido, não é possível estabelecer o nexso causal com a pluma de sólidos em suspensão originada pelo rompimento da barragem de Fundão.

Deve-se considerar também que essa área, ao norte do delta do rio Doce, incluindo a bacia do rio Barra Seca, conforme salientado, têm sofrido significativas



	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

intervenções pela implantação de canais de drenagem. Os solos dessa área, caracterizados como turfosos (ZON, 2008) e naturalmente submetidos às alterações de nível da água, são alagados periodicamente, processo conhecido como “decoada”. Em decorrência da drenagem artificial dos solos, há liberação de substâncias ricas em ácidos orgânicos que alteram os padrões da qualidade da água e reações químicas que tornam as águas ácidas (RENOVA, 2019).

Nas imediações da comunidade de Degredo, verificou-se um processo de eutrofização em alguns canais de drenagem e no rio Ipiranga, que recebe parte das águas da bacia do rio Barra Seca. Essas alterações são atribuídas ao acúmulo de materiais orgânicos devido à abundância de plantas aquáticas, cuja decomposição, ao serem inundadas, reduz o teor de oxigênio dissolvido e do pH (TETRATECH, 2019).

Estudo realizado pela Rhama (2019) teve por objetivo identificar mananciais em 16 localidades (uma delas não encontrada) na costa do Espírito Santo passíveis de sofrerem intrusão das marés, e que potencialmente poderiam ser impactados pelo rompimento da barragem de Fundão. Essas localidades, pertencentes aos municípios de Conceição da Barra, São Mateus, Linhares, Aracruz e Serra, fazem parte das Novas Áreas, sendo investigadas seções dos rios Cricaré (rio São Mateus), Maricuru, Ipiranga, Comboios, Riacho, córrego Guaxindiba, córrego do Sauê e rio Reis Magos. No total, foram avaliadas 33 seções desses cursos d’água. Os resultados apontam que, de acordo com a metodologia adotada, cinco destas seções de corpos hídricos dificilmente poderiam ser alteradas pela água do mar, 22 provavelmente poderiam ter refluxo e seis poderiam ser afetadas. Contudo, o contato com a água do mar por si só não é considerado suficiente para garantir o transporte de material decorrente do rompimento da barragem até o local avaliado (RHAMA, 2019).

Em princípio, trechos de rios submetidos aos efeitos da intrusão das marés não são apropriados para abastecimento público, em função da salinidade, requerendo técnicas de tratamento mais avançadas.



	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Segundo depoimentos das comunidades pesquisadas, os mananciais utilizados para abastecimento fornecidos por concessionárias apresentaram pouca ou nenhuma alteração na qualidade da água após novembro de 2015. Em Regência, Povoação e Vila do Riacho, onde as captações eram feitas diretamente do rio Doce, foram deslocadas após o acidente para outras fontes ou se tornaram dependentes de caminhões-pipa. As outras comunidades não comentaram sobre impactos na água usada no abastecimento.

A exceção foi Degredo, em Linhares, onde a população realiza captação por poços profundos e alega que a qualidade das águas se deteriorou após o rompimento da barragem, em especial nos poços mais próximos ao rio Ipiranga. O estudo conclui que a probabilidade de que água subterrânea tenha sido contaminada pelos rejeitos do rompimento é muito pequena.

Em 2019, foi realizado um levantamento com o objetivo de identificar fatores que pudessem influenciar a qualidade das águas dos poços nessa área, incluindo eventual efeito da “decoada” (TETRATECH, 2019). Conforme citado, a drenagem artificial dos solos orgânicos presentes na bacia do rio Barra Seca e Mucuri, onde se insere o povoado de Degredo, favorece a eutrofização das águas pela presença de plantas aquáticas e a liberação de ácidos húmicos que tornam as águas ácidas e de coloração mais escuras.

Valores de pH mais baixos aumentam a solubilidade de alguns elementos como o alumínio (LINDSAY, 1979; BREEMEN, 1973). Há também a liberação de ferro, identificado nas bordas das valas de drenagem e na parte superficial dos solos, de cor amarelada (TETRATECH, 2019). A avaliação de 143 (cento e quarenta e três) laudos de qualidade de poços em relação à classe 1 da Resolução Conama 357/05 evidenciaram que as principais alterações, em termos percentuais, foram associadas aos parâmetros ferro (91,61%), coliformes fecais (80,42%), pH (59,44%), alumínio (30,07%), arsênio (11,89%), manganês (11,89%), cobre (7,69%) e chumbo (0,7%).

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

5.1.1.2 Indicadores do PMQQS



Os resultados do PMQQS, nos pontos dos estuários monitorados dentro do limite das Novas Áreas, considerando as amostras de superfície do período entre agosto de 2017 a março de 2020, demonstraram que os metais cádmio total, cromo total, prata total e mercúrio total estiveram em consonância com os padrões legais definidos pela Resolução Conama 357/05 para águas salobras classe 1.

O arsênio e os metais berílio total, chumbo total, cobre dissolvido, níquel total, selênio total e zinco total apresentaram concentrações pontuais acima do padrão legal, nos estuários, condição observada também para fluoreto, sulfeto e para os nutrientes fósforo total, polifosfato e compostos nitrogenados (nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal).

As alterações mais relevantes na qualidade da água, considerando a persistência no tempo e os maiores percentuais de não conformidades do padrão legal, desde Conceição da Barra até Aracruz, foram atribuídas aos metais alumínio dissolvido, ferro dissolvido, manganês total, boro total, além de carbono orgânico total, coliformes termotolerante (*Escherichia coli*), oxigênio dissolvido e pH. Segundo a CETESB (2019), o alumínio, ferro e manganês são agrupados entre as substâncias incluídas no padrão organoléptico, que engloba o conjunto de parâmetros caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para o consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde.

Em relação ao boro, cabe ponderar que as águas costeiras apresentam uma concentração natural elevada desse elemento, de forma que são comuns os registros de não conformidades nos ambientes estuarinos e não refletem necessariamente contaminação de fonte antrópica (CETESB, 2019).

Na região costeira, considerando os dados de superfície da isóbata de 10 m, observou-se qualidade da água em consonância com o padrão da Resolução Conama 357/05 para águas salinas classe 1, em todos os pontos e campanhas para vários parâmetros: alumínio dissolvido, bário total, berílio total, cádmio total, cromo total, selênio total, prata total, mercúrio total, níquel total, fluoreto total,

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrito e sulfeto. Alguns parâmetros apresentaram teores pontuais acima do limite legal, incluindo arsênio total, boro total, chumbo total, cobre dissolvido, zinco total, manganês total, ferro dissolvido, nitrato e polifosfato.

As principais alterações na faixa costeira são atribuídas aos elevados índices de *Escherichia coli*, ao maior conteúdo de materiais orgânicos expressos em termos de carbono orgânico total - COT, além de baixas taxas de oxigênio dissolvido, parâmetros que não guardam relação direta com os rejeitos.



Dentre estes, a presença elevada de *E. coli* reflete deficiências nos sistemas de saneamento e poluição por efluentes domésticos, condição recorrente na bacia do rio Doce (GOLDER, 2018), além de contribuições difusas continentais. De acordo com a Golder (2018), na região costeira da bacia do rio Doce (UGHR Doce), frequentemente são encontradas não conformidades de oxigênio dissolvido em relação ao mínimo requerido pela legislação para águas salinas (6 mg/L), padrão que já era verificado nesta região mesmo antes da passagem da pluma de rejeitos.

A seguir é apresentado um maior detalhamento da variação dos metais nas zonas costeiras e estuarina associados às características químicas dos rejeitos, segundo o monitoramento do PMQQS no período de agosto de 2017 a março de 2020.

Alumínio dissolvido

Este metal é encontrado em jazidas minerais na forma de bauxita. O alumínio e seus sais são usados no tratamento da água, como aditivo alimentar e em processos industriais. O limite preconizado pela Resolução Conama 357/05 para águas salobras classe 1 é de 0,1 mg/L e para águas salinas classe 1 é de 1,5 mg/L.

Nos estuários amostrados, as concentrações desse elemento oscilaram entre valores abaixo do limite de quantificação (<0,050 mg/L) a picos elevados e esporádicos de 76 mg/L e 75 mg/L (estuário do rio Ipiranga - ERI01 e ERI02, em janeiro de 2018). No estuário do rio Doce (ERD01), a média da concentração deste metal na superfície se manteve elevada (0,5 mg/L), superior ao limite da legislação (0,1 mg/L), com percentual de não conformidade mais acentuado em 2017,

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

ocorrendo melhoria gradual a partir de 2019, quando a maioria dos resultados se manteve abaixo do limite de quantificação do método analítico.

Nos pontos de interesse da zona costeira, a concentração máxima deste metal foi de 0,83 mg/L, em Aracruz (ZCS03, maio de 2018). A concentração média geral do alumínio dissolvido, considerando a totalidade dos pontos no período monitorado, foi igual a 0,06 mg/L, em conformidade com a legislação. No ponto mais próximo, cerca de 1km ao sul da foz do rio Doce (ZCS 06), em Regência, a concentração média desse elemento (0,1 mg/L) se manteve em um patamar semelhante aos setores ao norte e ao sul da bacia do rio Doce.



Segundo o relatório técnico da Golder (2018), não foram encontrados dados pretéritos à passagem da pluma para este parâmetro. Após a passagem da pluma no ambiente marinho, foram verificados pulsos de elevação de alumínio dissolvido, com mediana de até 0,21 mg/L (obtida entre 27 de fevereiro a 31 de outubro de 2016), na área dentro do raio de 5 km da foz do rio Doce, observando-se uma tendência de diminuição com aumento da distância da sua foz (fora do raio de 5 km).

Manganês total

O manganês é um elemento encontrado na maioria das rochas ígneas, estando associado frequentemente ao ferro, com o qual possui alto grau de semelhança no comportamento químico no ambiente. Para águas salobras e salinas classe 1 a Resolução Conama 357/05 estabelece o limite máximo de 0,1 mg/L.

Nos pontos de interesse nos estuários das Novas Áreas, os níveis deste metal variaram entre valores abaixo do limite de quantificação (<0,01 mg/L) aos resultados máximos de 6,7 mg/L e 7 mg/L, no estuário do rio Ipiranga (ERI02 e ERI01, em janeiro de 2018). No estuário do rio Doce (ERD01), o nível médio de manganês total foi de 0,12 mg/L, atingindo o máximo de 1,3 mg/L, em outubro de 2017.

Na faixa costeira, os níveis de manganês se mantiveram compatíveis com o limite da legislação, na maioria dos pontos e campanhas, com média de 0,01 mg/L. O

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

valor máximo registrado na faixa costeira foi de 0,319 mg/L, em Aracruz (ZCS03, em novembro de 2018), correspondendo a única não conformidade entre os anos de 2017 e de 2020. No ponto mais próximo à foz do rio Doce (ponto ZCS06) não há variações relevantes deste metal (média de 0,02 mg/L), em relação aos setores norte e sul.

De acordo com a Golder (2018), as concentrações do pré-pluma oscilaram entre valores abaixo do limite de quantificação do método analítico a 0,077 mg/L. Os resultados registrados após a passagem da pluma permaneceram dentro desta faixa de variação para a maioria dos dados, com pulsos de alteração apenas nas estações mais próximas à foz do rio Doce (<5 km).



Ferro dissolvido

Em geral, a presença de ferro nas águas está associada às características geoquímicas regionais, sendo considerado um elemento não tóxico. O limite da Resolução Conama 357/05 para o ferro dissolvido nas águas salobras e salinas classe 1 é de 0,3 mg/L.

Nos estuários, a concentração média deste parâmetro foi elevada (0,5 mg/L), com registro de picos principalmente no estuário do rio Ipiranga (ERI01 e ERI02). Na foz do rio Doce (ERD01), o teor médio deste metal na superfície também foi ligeiramente acentuado (0,4 mg/L), observando-se maior percentual de não conformidade no ano de 2017, com melhoria gradual a partir de 2019.

Os níveis deste metal na água do mar permaneceram abaixo do limite de quantificação do método analítico, na maioria dos pontos e das campanhas consideradas, com valor máximo de 0,504 mg/L, em Aracruz (ZCS01, maio de 2018), com média geral de 0,1 mg/L, o que reforça o atendimento ao padrão legal (0,3 mg/L), na maioria das amostras, incluindo a zona costeira na foz do rio Doce (ZCS06, média de 0,11 mg/L).

De acordo com a Golder (2018) o ferro, que constitui o principal marcador da presença de rejeitos da mineração, apresentou medianas na superfície com ampla faixa de variação. Os resultados acima do limite estabelecido pela Resolução



	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Conama 357/2005 foram pouco frequentes e restritos às proximidades da foz do rio Doce, considerando as amostragens realizadas logo após a passagem da pluma (dezembro de 2015) e até agosto de 2017.

De acordo com o autor este resultado sugere potencial ligação com o rompimento da barragem de rejeitos. Contudo, ponderou-se que as medianas nos pontos dentro do raio de 5 km da foz, no período entre fevereiro a outubro de 2016 e entre abril a agosto de 2017, se mantiveram próximos ao valor de 0,08 mg/L reportado por UFES (2016 apud Golder, 2018) para a zona estuarina antes da chegada dos rejeitos. Este é um dos poucos estudos a abordar as concentrações de ferro dissolvido para a zona costeira na etapa anterior à chegada da pluma na foz do rio Doce.

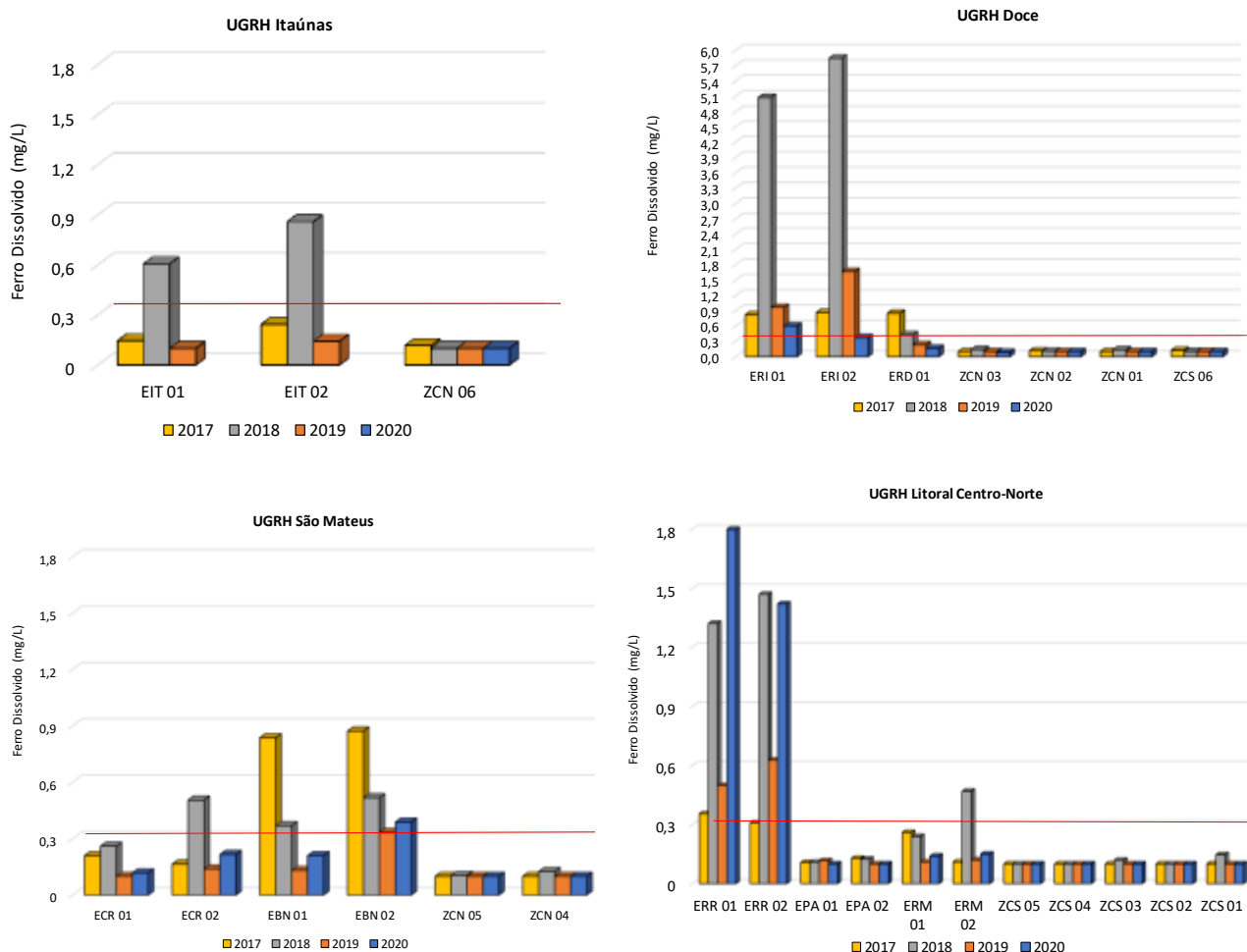
Na Figura 11 consta a média anual dos níveis de ferro dissolvido nos ambientes costeiros e estuarinos por unidade hidrográfica (UGRH), nos pontos monitorados pelo PMQQS, considerando a amostragem mensal entre agosto de 2017 e março de 2020. Os resultados gráficos apresentados na Figura 11 a seguir, comparados ao limite da legislação para águas salobras e salinas, revelam:

- Pequena oscilação no comportamento espacial desse elemento entre os pontos monitorados na zona costeira, incluindo a foz do rio Doce (ZCS06);
- Em contraste, verifica-se acentuada variabilidade nas concentrações de ferro dissolvido nos diversos sistemas estuarinos avaliados, que tendem a apresentar níveis mais elevados de ferro em relação ao ambiente marinho;
- Dentre os estuários amostrados o do rio Ipiranga (ERI01 e ERI02) apresentou picos mais elevados deste metal, sobretudo no ano de 2018, com posterior redução nos anos de 2019 e de 2020, mas ainda em níveis médios superiores à legislação (>0,3 mg/L). De acordo com a Tetrattech (2019), na região do rio Ipiranga, há a liberação de ferro, identificada nas bordas das valas de drenagem e na parte superficial dos solos de cor amarelada;

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

- Considerando que este estuário apresenta níveis mais elevados de ferro em relação ao estuário do Doce (ERD01) pondera-se que, neste ambiente, as não conformidades verificadas não possuem nexos causais evidentes com o rio Doce.
- As concentrações médias de ferro obtidas no estuário do Doce (ERD01) superaram o padrão legal, entre os anos de 2017 e 2018, ocorrendo melhoria gradual entre 2019 e 2020, quando prevaleceram teores em conformidade com o padrão legal;
- O estuário do rio Doce (ERD01) tende a apresentar teores de ferro dissolvido nas mesmas faixas de concentração de ferro dos setores ao norte e ao sul, com exceção do estuário do rio Piraquê-Acú (EPA 01 e EPA 02, cerca de 47 km ao sul da foz do rio Doce), cujos níveis de ferro foram os mais baixos dentre os estuários e não houve superação da legislação para os valores médios entre 2017 e 2020;
- Em toda a extensão do ambiente marinho, os teores médios de ferro atenderam ao padrão legal, em todos os pontos e anos, conforme citado, não havendo variação relevante entre os resultados obtidos nas proximidades da foz (ZCS06) e os pontos ao norte e ao sul;
- A avaliação média do conjunto de dados demonstra que, mesmo quando o estuário do rio Doce apresenta não conformidade em relação ao padrão legal, esta alteração em geral não persiste ou se propaga para outros pontos da zona costeira, promovendo impacto de magnitude capaz de provocar sistematicamente a superação do padrão legal, na faixa costeira.

Além dos metais citados, a turbidez e os sólidos suspensos totais se destacaram dentre os parâmetros que apresentaram alteração relevante após a passagem da pluma. As concentrações de sólidos suspensos totais não são controladas pela Resolução Conama 357/05 em águas salinas e salobras classe 1. Esta legislação indica que substâncias que produzem turbidez sejam virtualmente ausentes, motivo pelo qual não consta limite nos gráficos.





Fonte: Extraído do PMQQS (agosto de 2017 a março 2020).

Figura 11 - Concentrações Médias Anuais de Ferro Dissolvido na Água nos Estuários e nas Zonas Costeiras das Novas Áreas. Legenda: código dos pontos com E = estuários e ZC = zona costeira. Linha vermelha = limite da Resolução Conama 357/05.

Turbidez

De acordo com a Golder (2018), logo após o acidente, a elevada carga do rio Doce, inicialmente pelo fluxo causado pelo rompimento da barragem e, posteriormente, devido às fortes chuvas ocorridas em janeiro de 2016, provocaram aumentos na

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

turbidez da zona costeira. Passado este período, a contribuição do rio para os níveis de turbidez da zona costeira foi reduzida e, a partir de fevereiro de 2016, notou-se uma redução na área da pluma.

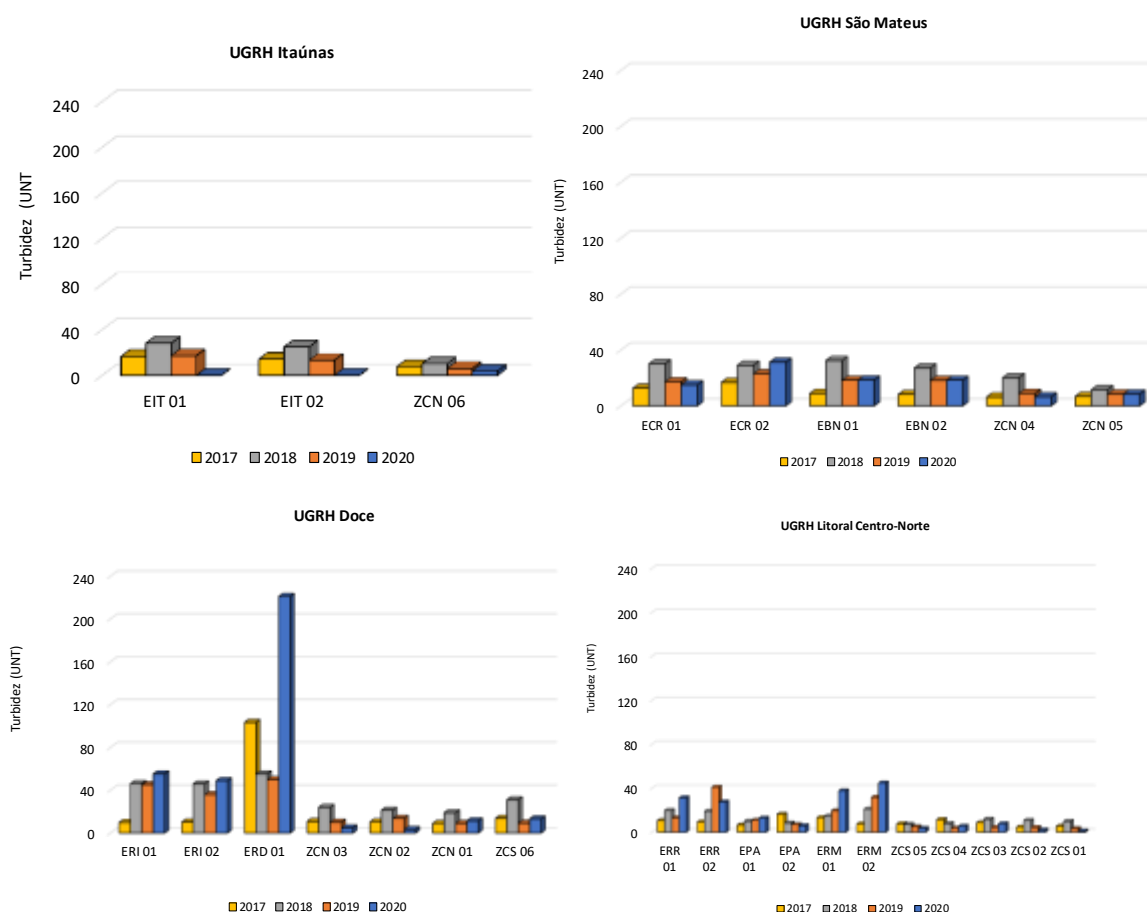
Os resultados na área costeira no raio de 5 km da foz do rio Doce apresentaram medianas entre 7,8 e 50,5 UNT, considerando dados do período imediatamente após a passagem da pluma (17 de novembro de 2015 até 31 de dezembro de 2015). De modo geral, os resultados frequentemente superam a faixa dos valores descritos no diagnóstico pré-evento (GOLDER, 2017 *apud* GOLDER, 2018), especialmente nas estações mais próximas à foz. Contudo, ponderou-se que os resultados pré-pluma foram considerados limitados, sobretudo para a zona mais próxima à foz do rio Doce, e não superam 50 UNT.

Um levantamento de qualidade da água foi realizado após a passagem da pluma, entre os meses de setembro e outubro de 2018, no final do período seco, abrangendo à região costeira da foz do rio Doce, em pontos distribuídos em até cerca de 20 km da respectiva foz, e a área marinha do rio Jequitinhonha que foi considerada referência para avaliar potenciais impactos do rompimento da barragem (HYDROBIOLOGY, 2020). Os parâmetros de água foram medidos *in situ*, incluindo turbidez, condutividade, salinidade e oxigênio dissolvido, dentre outros. O valor médio obtido de turbidez foi de 7,0 UNT, na foz do rio Jequitinhonha, aumentando para 9,2 UNT, na foz do rio Doce. Os testes estatísticos aplicados apontaram que não houve diferença estatisticamente significativa para este parâmetro entre as áreas amostradas.

Na série de dados obtida pelo PMQQS, entre agosto de 2017 a março de 2020, registrou-se concentração média de turbidez *in situ* equivalente a 26 UNT, na zona estuarina dos pontos de interesse das Novas Áreas. No estuário do rio Doce (ERD01), a turbidez média foi de 76 UNT, evidenciando tendência de incremento em relação à maioria dos locais monitorados, resultado que pode estar associado principalmente ao aporte de sedimentos naturais do rio Doce, considerado elevado de acordo com a PETROBRAS (2015) mesmo antes da passagem da pluma, conforme citado, além de potenciais contribuições de rejeitos que tenham se



depositado na bacia de drenagem e podem ser lixiviados para a região do estuário no período chuvoso. .

Na zona costeira, a média geral da turbidez foi de 10 UNT, no conjunto amostral no período monitorado. Especificamente no trecho mais próximo à foz do rio Doce (ZCS06), o pico máximo foi de 196 UNT (fevereiro de 2018), na estação chuvosa, enquanto a média foi de 18 UNT, valor que está dentro da faixa de variação dos resultados pré-pluma (< 50 UNT). Na Figura 12 consta a variação anual da turbidez possibilitando apontar que os estuários apresentam níveis mais elevados em relação à zona costeira.



Fonte: Extraído do PMQQS (agosto de 2017 a março 2020).

Figura 12 - Concentrações Médias Anuais de Turbidez na Água nos Estuários e nas Zonas Costeiras das Novas Áreas. Legenda: código com E =estuários e ZC = zona costeira.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

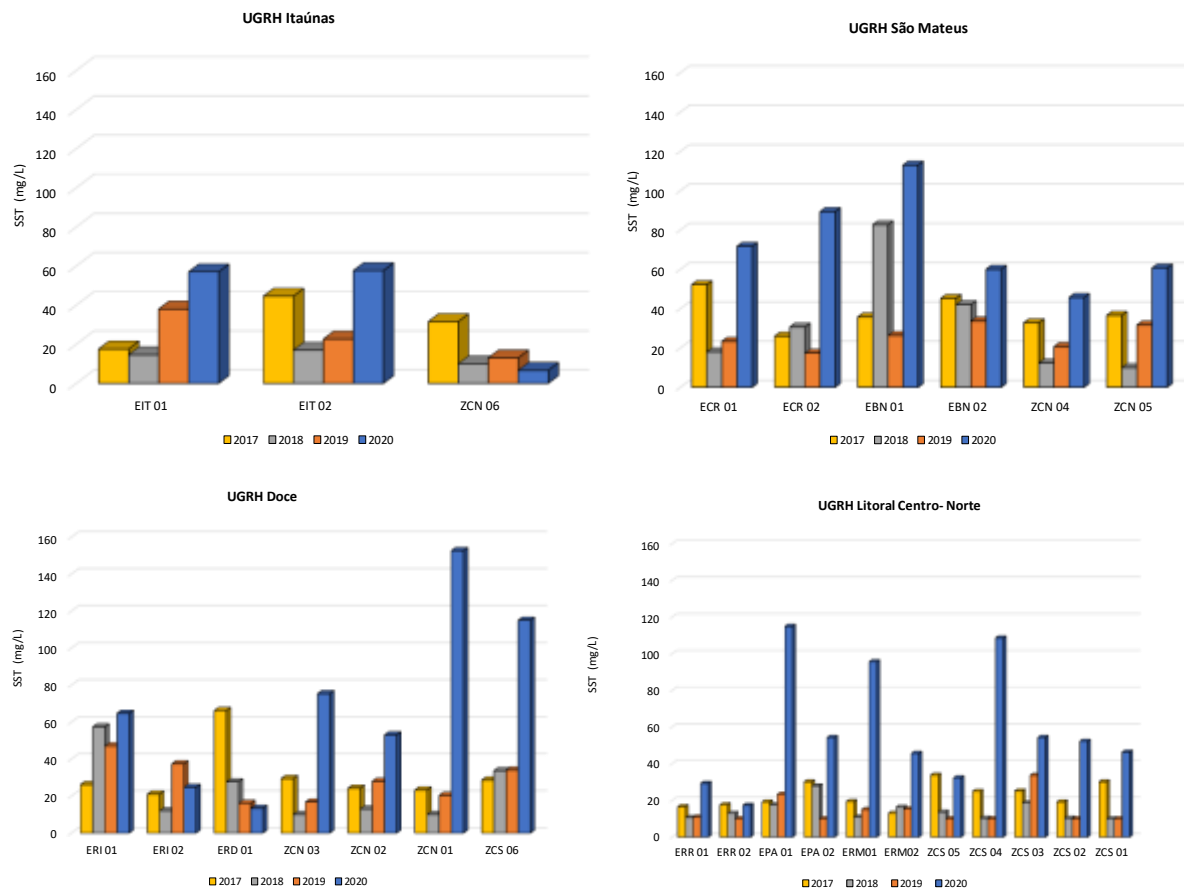
Sólidos Suspensos Totais - SST

No levantamento da Golder (2018), a avaliação de SST, considerando o período logo após a passagem da pluma (17 de novembro de 2015 até 31 de dezembro de 2015), evidenciou elevada variabilidade nos níveis de SST no mar, com teores medianos elevados, na faixa entre 90 e 487,5 mg/L nos pontos de amostragem mais próximos à foz do rio Doce (raio de 5 km).

No período de 27 de fevereiro a 31 de outubro de 2016 houve redução relevante nas medianas de SST, que permaneceram entre 5 a 11,9 mg/L, na faixa de 5 km da foz do rio Doce. Neste estudo ponderou-se que os dados deste período são coerentes com o que foi apresentado para a região na literatura para o período pré-acidente (< 200 mg/L) e após a chegada da pluma (UFES, 2016 *apud* Golder, 2018). UFES (2016 *apud* Golder, 2018) não registrou concentrações de SST acima de 300 mg/L. Em função da redução nas concentrações ter ocorrido de maneira brusca após a mudança de protocolo analítico, avaliou-se que as altas concentrações de SST no período de novembro a dezembro de 2015 foram consideradas superestimadas.



No âmbito do PMQQS, as concentrações médias de SST no estuário se mantiveram na faixa de 35 mg/L, considerando o conjunto de pontos, e na zona costeira foi de 30 mg/L. A média de SST no estuário do rio Doce (ERD01) foi de 42 mg/L e no ambiente marinho mais próximo à foz do rio Doce (ZCS06) foi de 36 mg/L, concentrações coerentes com o período pré pluma. Na Figura 13 consta a variação anual de SST, não sendo observada variação relevante dos pontos situados na zona costeira nos setores norte e sul em relação à foz do rio Doce (ZCS06). Houve incremento no SST em 2020, em função dos dados deste ano serem representativos da estação chuvosa (janeiro a março), enquanto os demais anos consideram dados integrados das estações seca e chuvosa.

Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas





Fonte: Extraído do PMQS (agosto de 2017 a março 2020).

Figura 13 - Concentrações Médias Anuais de Sólidos Suspensos Totais na Água nos Estuários e nas Zonas Costeiras das Novas Áreas. Legenda: código com E = estuários e ZC = zona costeira.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



Índice de Contaminação por Tóxico - CT

Conforme citado, aplicou-se o índice de Contaminação por Tóxicos – CT adaptado do IGAM para o conjunto de dados do PMQQS obtidos desde agosto de 2017 a março de 2020, levando em conta os metais bário total, cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, mercúrio total e zinco total, além do metaloide arsênio total. Os dados obtidos são comparados aos limites da Resolução Conama 357/05 para águas salobras e salinas e classificados em quatro categorias, que variam entre Muito Baixa (parâmetros em conformidade com a legislação) a Alta (superação acima de 100% do limite legal). No Quadro 7 constam os resultados obtidos.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Em relação aos resultados do CT é possível tecer as seguintes considerações:

- No conjunto de pontos amostrados pelo PMQQS na zona costeira das Novas Áreas, prevaleceram durante todo o período monitorado (agosto de 2017 a março de 2020) concentrações enquadradas nos padrões da legislação, prevalecendo a classificação Muito Baixa;
- Nas regiões estuarinas do rio Ipiranga (ERI01 e ERI02) e do rio Riacho (ERR01 e ERR02), além do próprio rio Doce (ERD01) foram registradas classificações de CT Média e Alta com maior frequência nestes estuários, refletindo as concentrações mais elevadas de chumbo total, cobre dissolvido e, sobretudo, de zinco total, que foi o metal que mais influenciou negativamente o CT;
- O zinco é um metal amplamente utilizado nas atividades agropecuárias, podendo os picos observados estarem relacionados ao uso e ocupação do solo na região (DIAS *et al.*, 2018). O zinco foi listado como um dos parâmetros que apresentaram evidências de alteração de curto prazo após a chegada da pluma de rejeitos na foz do rio Doce, porém, em longo prazo não voltou a apresentar pulso de elevação (GOLDER, 2018);
- Especificamente no ambiente marinho mais próximo à foz do rio Doce (ZCS06) não houve registro de contaminantes tóxicos, incluindo o zinco, em níveis acima dos padrões legais, de modo que não há indicação evidente de que as concentrações elevadas de CT, no período considerado após a passagem da pluma, sejam oriundas do rio Doce.
- Além disso, os resultados obtidos da modelagem (COPPETEC, 2020b), abordados anteriores, apontam que para a faixa de menor concentração, entre 10 e 100 mg/L de SST, a pluma teve alcance até Degredo, situada a 42 km ao norte, na margem esquerda da foz do rio Doce, com persistência entre 1 e 5% do período de tempo entre 20/11/15 a 30/03/16. Acima dessa distância, ao norte, o modelo indica que não houve interferência da pluma de sedimentos, conforme mapa apresentado na Figura 8, o que reforça que a presença generalizada de zinco não tem relação direta com contribuições

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

do rio Doce, uma vez que em locais onde não houve interferência da pluma também foram reportados níveis elevados deste metal.

- Em termos espaciais, os resultados demonstram uma melhoria gradual na classificação geral do CT, prevalecendo nas campanhas realizadas em 2020 a classificação Muito Baixa para todos os pontos.

5.1.1.3 Síntese dos Aspectos relacionados a Qualidade da Água



Aumento do teor de sólidos em suspensão

Levando-se em conta os seguintes aspectos:

- A modelagem hidrossedimentológica indicou, no período entre 20/11/2015 e 20/03/2016, o alcance da pluma de rejeitos na zona costeira em distintas faixas de concentração e de tempo de persistência.
- A pluma elevou a concentração de sólidos suspensos totais na zona costeira e nos estuários, nos locais onde chegou com concentrações significativas..
- Conforme Coppetec (2020b), admite-se que a diferença entre as medidas das concentrações de sólidos suspensos totais e os valores previstos pela curva-chave (SST característico do rio Doce) seja uma estimativa segura da parcela de rejeito da Samarco no total de SST transportado para a zona costeira.

Nesse sentido, considera-se que pluma de rejeitos promoveu a alteração da da qualidade da água pelo aumento do teor de sólidos em suspensão em distintas faixas de concentrações e persistência no período avaliado.

Destaca-se que a faixa de maior concentração (SST entre 500 e 1000 mg/L) permaneceu 1% do tempo da fase crítica (20/11/2015 a 20/03/2016) circunscrita à Regência nas imediações da foz do rio Doce. A faixa de concentração intermediária (SST entre 100 e 500 mg/L) se manteve no máximo a 9 km (Regência) e a 1km ao sul (Povoação).

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

A faixa de menor concentração (SST entre 10 a 100 mg/L) foi a que se estendeu por uma região mais ampla, entre Degredo ao norte (42km) e Nova Almeida ao sul (72 km), sendo que os maiores percentuais de permanência ocorreram em Povoação (85 e 90%), Regência e Vila do Riacho (75 e 85%).


A partir de abril de 2016 a quantidade de rejeitos transportada pelo rio Doce se tornou irrelevante, com picos atribuídos às chuvas que ocorreram na bacia de drenagem. Trata-se, portanto, de um impacto de escala temporária, com baixo nível de incerteza de magnitude.

É considerado de caráter cumulativo, pois as concentrações da pluma de rejeitos na zona costeira se somam às contribuições naturais do rio Doce, conforme avaliado pela curva-chave (COPPETEC, 2020b). Vale ressaltar que a carga de sedimento fluvial é tida como uma das maiores do país e que, devido às condições hidrodinâmicas, se dirige na maior parte do tempo ao sul (PETROBRAS, 2020).

Também deve ser agregada à pluma a carga de sedimentos gerada em outras bacias hidrográficas, principalmente em função do uso do solo, bem como das alterações da drenagem natural que ocorrem principalmente ao norte, nas bacias dos rios Barra Seca, São Mateus e Itaúnas, representando processos cumulativos de efeitos persistentes de ações passadas e presentes na bacia hidrográfica.

A maior relevância do impacto derivado da pluma de rejeitos, tanto pela sua concentração quanto pelo seu nível de persistência, ocorreu nas imediações da foz do rio Doce, nas comunidades de Regência e de Povoação, as quais também foram submetidas aos impactos na qualidade da água no trecho fluvial.

Cabe apontar que os levantamentos de qualidade da água conduzidos pela Golder (2018) evidenciaram redução nas concentrações medianas de SST, no período de 27 de fevereiro a 31 de outubro de 2016, para valores inferiores aos apresentados para a região na literatura para o período pré-acidente (< 200 mg/L), o que denota retorno às condições prévias ao rompimento da barragem.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Aumento de não conformidades de padrões legais, em especial relacionadas a ferro, alumínio e manganês



Segundo dados da bibliografia consultada (GOLDER, 2018):

- A dispersão a pluma de rejeitos proveniente do rio Doce ocasionou uma queda nos padrões da qualidade da água resultando em não conformidades para uma série de parâmetros cujos limites são estabelecidos pela Resolução Conama 357/05 para águas salobras e salinas classe 1.
- O rio Doce atuou como uma fonte de alguns metais, como ferro, alumínio e manganês, até o fim da primeira estação chuvosa (março de 2016). Esse processo se repetiu na estação chuvosa subsequente entre 2016 e 2017.
- Houve também incremento de sólidos suspensos totais e de turbidez após a chegada da pluma de rejeitos na zona costeira.

Nessa perspectiva, considera-se que a pluma de sólidos em suspensão promoveu a alteração da qualidade da água pelo aumento de não conformidades de padrões legais, em especial relacionadas a ferro, alumínio e manganês". Conforme anteriormente referenciado (CETESB, 2019), o alumínio, o ferro e o manganês são substâncias incluídas no padrão organoléptico, caracterizado por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para o consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde.

Essas não conformidades foram registradas com maior intensidade nas imediações da foz do rio Doce (em Linhares), bem como ao sul conforme resultados obtidos na APA Costa das Algas (em Santa Cruz) (GOLDER, 2018).

Trata-se de um impacto temporário, devido à dispersão dos componentes, segundo também detectado pelos resultados dos monitoramentos realizados, entre os quais do PMQQS, que demonstram que já houve o retorno às condições prévias ao rompimento. O período em que as condições se tornaram similares ao que era observado antes do rompimento varia de acordo com o parâmetro analisado e, por isso, são explicitados no item que detalha o PMQQS. Os dados disponíveis atestam que esse impacto representa um baixo nível de incerteza de magnitude.



	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Além da influência da pluma, considera-se que, em função dos usos do solo das bacias hidrográficas, em especial do rio Doce, que reflete a intensa atividade econômica regional, existem processos cumulativos de efeitos persistentes de ações passadas e presentes na bacia hidrográfica para contribuição desses metais na zona costeira. Como exemplo podem ser citadas as cargas difusas geradas pelas atividades agrícolas e pecuárias, de mineração, a alteração de drenagens naturais em solos orgânicos que levam a uma maior disponibilidade desses componentes nas águas fluviais.

Aumento da concentração de metais que podem causar toxicidade

De acordo com os levantamentos realizados:

- A dispersão da pluma de rejeitos proveniente do rio Doce ocasionou um aumento pontual na concentração de alguns metais potencialmente tóxicos no curto prazo (imediatamente após o rompimento) em relação aos critérios estabelecidos pela Resolução Conama 357/05 para águas salobras e salinas classe 1 (GOLDER, 2018).
- Os metais cádmio, chumbo e zinco totais e cobre dissolvido apresentaram comportamento que sugere relação com a chegada dos rejeitos à região costeira. Contudo, as alterações nestes parâmetros possuíam curta duração e limitada abrangência espacial (GOLDER, 2018). A seguir consta uma síntese dos resultados destes ensaios tendo como referência a avaliação conduzida pela Golder que se iniciou logo após a passagem da pluma (17 de novembro de 2015), e foi concluída em agosto de 2017:
 - Cádmio: este metal apresentou algumas amostras em desconformidade com o padrão da legislação, após a passagem da pluma, exclusivamente entre o período novembro de 2015 e de fevereiro de 2016, sobretudo nas estações próximas à foz do rio Doce (<5 km), onde foi reportada elevação de baixa magnitude em relação ao padrão legal e aos dados pretéritos.
 - Chumbo: este parâmetro apresentou elevação (acima do padrão legal e de dados pretéritos) considerável durante a chegada da pluma de rejeitos no mar (novembro de 2015), nas estações próximas à foz do rio



	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Doce (<5 km). Ponderou-se que no período entre abril a agosto de 2017 houve diminuição destas concentrações em todas as estações amostrais para valores abaixo do limite de quantificação do método analítico.

- Cobre: este parâmetro apresentou apenas algumas amostras esparsas com concentração acima do padrão legal, no período entre fevereiro de 2016 e outubro de 2016.
- Zinco: dentre os metais listados o zinco foi o que apresentou alterações mais persistentes com valores acima do padrão da legislação e dos dados pretéritos ao longo do período entre novembro de 2015 a fevereiro de 2016, especialmente nas estações mais próximas à foz do rio Doce. Após este pulso, observaram-se raras amostras com nível acima do limite de quantificação do método analítico entre fevereiro de 2016 e agosto de 2017, porém, não ultrapassaram o padrão legal e a faixa de variação pretérita.
- Cabe ressaltar que, novamente do conjunto de metais citados, apenas o zinco teve ocorrência frequente de não conformidades de acordo com os dados mais recentes obtidos no PMQQS (CT), entre agosto de 2017 a março de 2020, porém conforme detalhado não é possível relacionar às concentrações atuais deste metal ao aporte do rio Doce.
- O arsênio, metaloide que também apresentou maior concentração no período após a chegada da pluma, ocorre naturalmente em concentrações elevadas nos sedimentos na costa do estado do Espírito Santo.
- Os estuários atuam como importantes armazenadores de elementos metálicos.

Nesse sentido, considera-se que a pluma de sólidos em suspensão promoveu a alteração da qualidade da água pelo aumento da concentração de metais que podem causar toxicidade.

A persistência de metais no ambiente, avaliado pelo indicador de contaminação por tóxicos – CT, é considerada pontual (4 registros altos em 32 meses avaliados - 12,5% das observações), assumindo maior relevância o zinco, sobretudo nos

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



estuários do rio Doce e do rio Riacho, e do rio Ipiranga com menor expressão, no estuário do rio Piraquê-Açú.

Os picos de concentração observados de CT entre dezembro de 2017 a março de 2018 podem estar relacionados à época chuvosa e ao aumento de vazão que trazem os sedimentos das bacias hidrográficas, ou a passagens de frentes frias, no período seco, que causam ressuspensão de material depositado, de forma heterogênea ao longo da costa (COPPETEC, 2020a). Essa ressuspensão pode ocorrer simultaneamente com os rejeitos e sedimentos naturais, de forma que nem toda alteração na qualidade da água associada a esses eventos pode ser atribuída aos rejeitos (GOLDER, 2018).

A alteração na qualidade da água decorre também de ações passadas, pré-existent ao rompimento, que contribuíram historicamente e ainda contribuem para o aporte desses metais na zona costeira, a exemplo de insumos agrícolas, lançamento de efluentes industriais, entre outras atividades potencialmente poluidoras.

Para os estuários do rio Doce e do rio Riacho, essa alteração apresenta um nível médio de incerteza de magnitude pois, de acordo com os estudos da COPPETEC (2020b), a pluma na menor concentração (entre 10 e 100 mg/L de SST) persistiu, no período entre 20/11/2015 e 30/03/2016, conforme citado, entre 85 a 90% em Povoação e entre 75 a 80% em Vila do Riacho. A faixa de concentração intermediária (SST entre 100 e 500 mg/L) se manteve no máximo a 9 km (Regência) e a 1km ao sul (Povoação), enquanto que a faixa de maior concentração (SST entre 500 e 1.000 mg/L) permaneceu 1% do tempo circunscrita à Regência nas imediações da foz do rio Doce.

Quanto ao estuário do rio Ipiranga, essa manifestação de toxicidade pelo zinco pode ser também atribuída à drenagem da bacia do rio Barra Seca (UGRH Doce), cujos solos orgânicos propiciam um maior fluxo de metais para as águas receptoras. Considerando o alcance da pluma até Degredo, o impacto no estuário do rio Ipiranga pelos rejeitos possui um nível alto de incerteza, uma vez que esse ambiente apresentou concentrações maiores de metais em relação ao estuário do

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

rio Doce, e que os resultados da modelagem hidrossedimentológica (COPPETEC, 2020b) indicam que não houve alcance da pluma nas UGHRs São Mateus e Itaúnas. Neste sentido, não há nexos causais estabelecidos para os estuários inseridos nessas unidades hidrográficas, considerando, assim, alterações na região entre Linhares e Santa Cruz.

Trata-se de um impacto temporário, pois a evolução do indicador CT prevalece com a classificação Muito Baixa para todos os componentes e ambientes avaliados.



5.1.2. Sedimentos

5.1.2.1 Estudos Avaliados

O Projeto de Caracterização Ambiental Regional da Bacia do Espírito Santo e parte norte da Bacia de Campos (PETROBRAS, 2015) contemplou a avaliação das concentrações de metais e de metalóides (arsênio) nas frações totais e biodisponíveis em sedimentos na região costeira, tendo como foco a área de influência da foz do rio Doce. As campanhas de amostragem ocorreram em duas estações sazonais - verão (dezembro/2011 a janeiro/2012) e inverno (junho e julho/2013), anteriormente ao rompimento da barragem de Fundão.

Em termos gerais, alguns elementos presentes nos sedimentos podem ser classificados conforme sua origem: litogênicos (alumínio, ferro e silício), biogênicos (cálcio e estrôncio) e antrópicos (cobre, zinco), sendo derivados das rochas, dos processos biológicos e das ações humanas, respectivamente. O grupo de metais associado a depósitos de materiais terrígenos apresentam em geral concentrações mais elevadas próximas à costa, enquanto aqueles associados a depósitos biogênicos (carbonáticos) têm concentrações nas regiões mais afastadas.

A Resolução Conama 454/12 tem como limite a concentração total de metais e arsênio nos sedimentos. Para as frações biodisponíveis (solúveis), consideradas relevantes pelo seu potencial de incorporação na cadeia alimentar aquática, os

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



valores obtidos nos levantamentos da Petrobras (2015) foram confrontados com as referências do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Os resultados obtidos na passagem pré-pluma mostram que arsênio, cromo, cobre e níquel apresentaram, nessa fração, concentrações superiores nas imediações da foz do rio Doce.

Ainda de acordo com os estudos da Petrobras (2015), realizados entre 2011 e 2013, o ferro e o alumínio, que não possuem valores máximos determinados pela Resolução Conama 454/12, revelaram os maiores teores em ambas as frações na área de influência da foz do rio Doce e mostraram correlação entre si, indicando que seu transporte principal ocorre pela bacia de drenagem. Adicionalmente, os sedimentos dessa região tendem a receber também a contribuição das falésias da Formação Barreiras e das lateritas existentes na costa do litoral norte do estado do Espírito Santo.

Merece destaque em toda a zona costeira estadual o registro de valores anômalos de arsênio em sedimentos associados a detritos de algas calcárias. Vários trechos da costa brasileira apresentam teores elevados de arsênio, porém, os estados da Bahia e do Espírito Santo registram seu nível máximo. Em comparação à foz do rio Paraíba do Sul, os resultados das frações biodisponível e total na foz do rio Doce são, em média, 44% e 344% superiores, o que sugere que essa anomalia está associada à geologia local, tornando-se um caso específico na costa brasileira, sem associação direta com atividades antrópicas (PETROBRAS, 2015).

Outro estudo realizado na faixa costeira da UGRH Litoral Centro-Norte, anterior ao evento, também foi objeto de análise de arsênio nas praias, nos sedimentos de manguezais e na plataforma marítima (MIRLEAN *et al.*, 2008). Foram obtidos altos níveis do metaloide sendo que, em algumas amostras, como no porto de Aracruz, houve superação do limiar de 70 mg/kg, que corresponde ao nível 2 da Resolução Conama 454/12.

Neste estudo, algumas amostras dos sedimentos também apresentaram para outros metais valores máximos que ultrapassaram a legislação, como cádmio (1,25 mg/kg), cromo (134,71 mg/kg), cobre (47,37 mg/kg) e níquel (32,77

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexó Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

mg/kg). Essa mesma constatação foi descrita por Costa (2014) no Sistema Estuarino do Piraquê-Açú/Piraquê-Mirim, que foi considerado não enriquecido em metais por atividades antrópicas e por hidrocarbonetos petrogênicos.



Vale ressaltar, conforme citado, a presença de extensa zona de substrato calcário nessa área. Através de testes experimentais conduzidos em laboratório, Mirlean *et al* (2008) verificaram a habilidade de detritos da alga vermelha calcária *Corallina panizzoi* reterem arsênio em ambientes com características das águas do mar, referindo-se como as principais fontes desse elemento no Espírito Santo as rochas sedimentares do Grupo Barreiras.

No estudo da Golder (2018) na zona costeira próxima à foz do rio Doce e na APA Costa das Algas, o período de monitoramento da qualidade dos sedimentos ocorreu desde 17 de novembro de 2015 até 31 de agosto de 2017, embora para a maior parte dos pontos amostrais as coletas tenham se iniciado em março de 2016, após a chegada da pluma de rejeitos no mar. Os resultados obtidos foram comparados aos padrões da Resolução Conama 454/2012 e com dados pretéritos da literatura.

Os sedimentos eram compostos, majoritariamente, por misturas de areia e silte, com menor contribuição de argila, embora tenha sido registrada grande variabilidade na composição granulométrica. Encontraram-se diferenças entre as áreas mais próximas e as mais distantes da foz do rio Doce, sendo que, nas primeiras, predominaram as amostras silte-argilosas, que representam os sedimentos mais finos.

Obteve-se também forte correlação entre a concentração de sedimentos finos e os metais ferro, alumínio, manganês, níquel e chumbo. Entretanto, devido à presença histórica de uma área deposicional formando um banco de lama junto à foz, não é possível atribuir tal resultado aos rejeitos provenientes da barragem rompida.

Encontraram-se não conformidades para os parâmetros arsênio, cádmio, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco. No entanto, as faixas de concentração registradas são compatíveis com os valores pretéritos encontrados na literatura e não se evidenciou, para a maioria dos elementos traço, que as concentrações nos sedimentos costeiros tenham sido acentuadamente afetadas pelos rejeitos.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

O documento alerta para a maior incerteza na avaliação da qualidade do sedimento, uma vez que o monitoramento desta matriz teve início após a tomada de amostras de água. Para a grande maioria dos metais, as concentrações obtidas estavam dentro da faixa de variação já observada antes do rompimento. Os metais ferro e alumínio são apresentados como os mais prováveis de terem apresentado elevação em suas concentrações em decorrência do rompimento da barragem.



Vários elementos têm suas concentrações diminuídas com o aumento da distância à foz, embora arsênio e cromo apresentem o padrão contrário. Há forte correlação entre predominância de frações granulométricas finas e da concentração de metais.

5.1.2.2 *Indicadores do PMQQS*

Os dados do monitoramento mensal da qualidade dos sedimentos do PMQQS, entre agosto de 2017 a março de 2020 para as regiões estuarinas, desde a bacia do rio Itaúnas até a bacia do rio Riacho, evidenciam em todas as campanhas e pontos que os metais cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco apresentaram concentrações em conformidade com o nível 1 da Resolução Conama 454/2012, que corresponde ao limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota.

Dos elementos controlados por esta resolução, apenas o arsênio teve ultrapassagem recorrente do nível 1 (19 mg/kg), atingindo um pico pontual de 428 mg/kg, no estuário do rio Reis Magos (ERM02, em dezembro de 2019), sendo este o único valor que superou o nível 2 da Resolução Conama 454/2012 (70 mg/kg). No conjunto dos estuários monitorados obteve-se a concentração média de 13,2 mg/kg.

De forma similar, na zona costeira, apenas o arsênio foi frequentemente apontado em concentração superior ao nível 1, na maioria dos pontos, com extrapolação do nível 2 apenas na faixa costeira de Aracruz, na qual houve ocorrência de picos de 84 mg/kg (ZCS01, em dezembro de 2017), 81 mg/kg e 72 mg/kg (ZCS03, em novembro de 2017 e janeiro de 2018).

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Houve ainda registro de extrapolação do nível 1 para cobre, cromo e níquel, nas proximidades da foz do rio Doce (ZCS06) e de níquel, em ZCN03, na zona costeira da praia Pontal do Ipiranga, porém, com ocorrência pontual e restrita aos anos de 2017 e 2018.

Considerando todos os pontos monitorados nessa faixa, a concentração média do metalóide foi de 29 mg/kg. Na zona costeira mais próxima à foz do rio Doce (ZCS06), o teor médio de arsênio foi de 32 mg/kg, o que demonstra na maioria das coletas a superação do nível 1 (19 mg/kg).

A elevada concentração de arsênio obtida nas zonas costeiras e estuarinas já era esperada, considerando o enriquecimento natural deste metal nos sedimentos no estado do Espírito Santo, conforme reportado por Mirlean *et al.* (2012), Golder (2018) e Petrobras (2015). Cabe ponderar ainda que este metalóide na água tende a sofrer um processo de deposição muito rápido. Nos sedimentos marinhos o arsênio se acumula em concreções de ferro, tendo correlação alta com a distribuição do ferro nos sedimentos (TETRATECH, 2019).

Nesse sentido, não há uma relação causal direta do metalóide com o rompimento da barragem, uma vez que nos levantamentos conduzidos pela Golder (2018), as concentrações de arsênio após a passagem da pluma permaneceram dentro da faixa de variação verificada antes do evento.

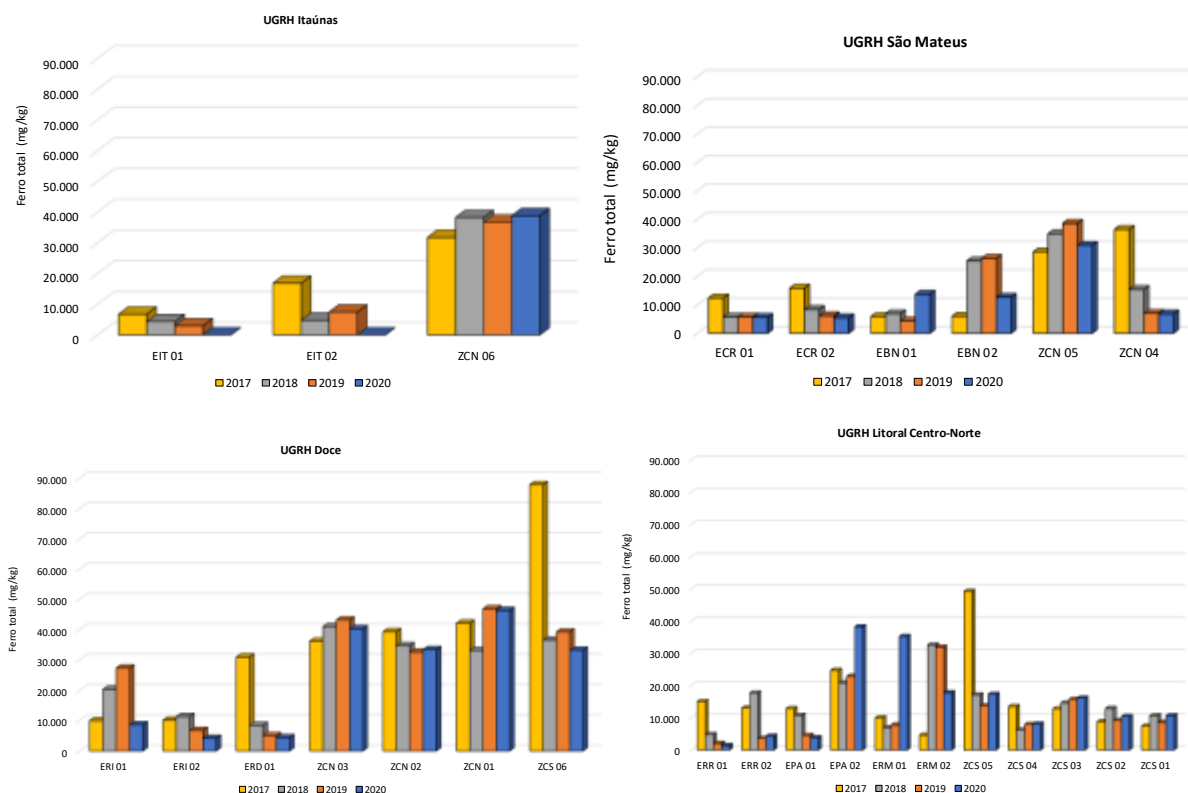
Conforme citado, o ferro nos sedimentos não é contemplado pela Resolução Conama 454/2012, mas consiste no principal metal relacionado à pluma de rejeitos.

Com base nos dados do PMQQS, foram elaborados os gráficos a seguir que ilustram a variação temporal (agosto de 2017 a março de 2020) e espacial (pontos no estuário e zona costeira) por unidade hidrográfica no limite das Novas Áreas (Figura 14).

Os resultados apontam elevada variação espacial e temporal e tendência de concentrações mais elevadas de ferro na bacia do rio Doce, sobretudo nas proximidades da foz (ZCS06), cujos teores médios mais elevados estiveram



relacionados ao ano de 2017 (87.835 mg/kg). A média de ferro neste ponto, considerando os dados integrados dos anos de 2017 e de 2018, foi de 45.271 mg/kg.

No estudo da Golder (2018) também foram obtidos níveis mais elevados de ferro na região próxima à foz do rio Doce, com resultados medianos, no raio de 5 km da foz entre 19.050 a 83.124 mg/kg. Neste documento, a comparação com o diagnóstico pré-evento realizada apontou que na maioria das estações de amostragem as concentrações estão dentro da faixa de variação anterior ao rompimento da barragem, com exceção dos pontos mais próximos à foz (< 5 km). As concentrações pré-evento se mantiveram em torno de 50.000 mg/kg, porém, foram detectados picos em torno de 100.000 mg/kg.



Fonte: Extraído do PMQQS (2017 a 2020).

Figura 14 - Concentrações Médias Anuais de Ferro Dissolvido nos Sedimentos nas Zonas Estuarinas e Costeiras das Novas Áreas. Legenda: código com E = estuários e ZC = zona costeira.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexó Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos – CQS

Os resultados da qualidade dos sedimentos do PMQQS foram ponderados por meio do indicador CQS para os pontos de interesse das zonas estuarinas e costeiras no período monitorado entre agosto de 2017 a março de 2018.

Os dados obtidos apontam:

- uma condição predominantemente Ótima e Boa e, em menor proporção, classificação Regular;
- A qualidade dos sedimentos considerada Ruim ocorreu de forma esporádica e concentrada em determinados pontos da malha amostral - ZCS 01 (setembro de 2017) e ZCS 03 (novembro de 2017 e janeiro de 2018), ambos em Aracruz, enquanto que o CQS Péssimo foi restrito ao estuário do rio Reis Magos, também neste município (ERM 02, em dezembro de 2019);
- O principal parâmetro responsável pelas alterações no CQS foi o arsênio, de forma recorrente, que se caracteriza por apresentar enriquecimento natural nos sedimentos no estado do Espírito Santo, conforme anteriormente explicitado e observado a seguir no Quadro 8;
- No estuário do rio Doce (ERD01), este metaloide apresentou teores superiores ao padrão legal apenas no ano de 2017, com redução a partir deste período, permanecendo neste ambiente em concentrações inferiores na maioria dos locais amostrados, de forma que não é possível estabelecer uma relação causal direta do metaloide com o rompimento da barragem, conforme citado.

Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

Quadro 8 - Resultados do Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos – CQS (Ago/17 a Mar/20).

UGR H	Pon to	2017					2018										2019										2020											
		Ago	Se t	O ut	No v	Dez	Ja n	Fe v	M ar	Ab r	M ai	Ju n	J ul	Ag o	Se t	O ut	No v	De z	Ja n	Fe v	M ar	Ab r	M ai	Ju n	J ul	Ag o	Se t	O ut	No v	De z	Ja n	Fe v	M ar					
Itaúnas	ZCN 06	As	As	As	As		As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As			
	EIT 01		As																					-	-	-	-		-		-	-	-					
	EIT 02	As																						-	-	-	-		-		-	-	-					
São Mateus	ECR 01		As																																			
	ECR 02								As																													
	ZCN 05		As	As	As	As		As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As		
	EBN 01		As							As																									As			
	EBN 02		As					As	As		As		As	As		As			As			As		As			As	As	As									
	ZCN 04	As	As	As	As	As		As								As																						
Doce	ERI 01				As					As		As	As		As	As	As		As		As		As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As		
	ERI 02	As	As		As				As																													
	ZCN 03		As	As	As	As	As	As, Ni	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	
	ZCN 02	As	As	As	As	As		As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	
	ZCN 01	As, Ni	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As
	ERD 01	As	As			As																																



Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

UGR H	Pon to	2017					2018										2019										2020							
		Ago	Se t	O ut	No v	Dez	Ja n	Fe v	M ar	Ab r	M ai	Ju n	J ul	Ag o	Se t	O ut	No v	De z	Ja n	Fe v	M ar	Ab r	M ai	Ju n	J ul	Ag o	Se t	O ut	No v	De z	Ja n	Fe v	M ar	
	ZCS 06	As	As	As	As	As,Cu,Cr,Ni		As	As					As, Ni		As							As	As		As	As	As					As	
Litorãl Centro Norte	ZCS 05	As	As		As	As								As								As		As					As			As		
	ZCS 04		As				As						As									As				As			As	As				
	ERR 01			As	As	As					As																							
	ERR 02			As		As			As	As							As																	
	ZCS 03		As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As
	ZCS 02		As	As	As	As	As	As		As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As
	EPA 01			As		As		As	As	As	As						As																	
	EPA 02		As	As	As	As		As		As		As	As	As	As	As	As			As		As	As	As	As		As	As		As	As	As		
	ZCS 01		As	As	As		As		As	As	As	As	As			As			As											As				As
	ERM 01		As	As												As										As				As			As	As
	ERM 02			As				As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As	As

Legenda: As=arsênio, Cu=cobre, Cr= cromo e Ni=níquel.

Fonte: Extraído do PMQQS (agosto de 2017 a março 2020).

Critério - CQS	
Classificação	Ótima
	Boa
	Regular
	Ruim
	Péssima

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

5.1.2.3 *Síntese dos Aspectos relacionados aos Sedimentos*



Depósito da camada de sedimentos com rejeitos de minérios contendo metais

Conforme os estudos consultados:

- Os rejeitos de minério transportados pelo rio Doce, após a ruptura da barragem de Fundão, nos primeiros 90 dias após o acidente, são constituídos de material fino.
- A modelagem hidrodinâmica (COPPETEC, 2020a) mostra que a região costeira não é favorável à deposição de sedimentos finos, esse processo ocorreu nas imediações da foz do rio Doce, sendo ao norte restrito a uma distância de 5 km.
- De acordo com o mapa de isolinhas de altura de deposição de lama inconsolidada oriunda da carga de SST do rio Doce (10/11/2015 a 30/06/2019), verifica-se uma camada de aproximadamente 10 cm no entorno da foz do rio Doce, diminuindo gradativamente ao sul, no qual chega a cerca de 5 cm próximo ao rio Riacho e 1 cm na foz do rio Piraquê-Açú (COPPETEC, 2020a).
- Em face das correntes oceânicas, para mais de 70 km ao sul da foz, a camada sedimentada, de poucos milímetros, representa fontes de ferro, de alumínio e de manganês à zona costeira.

Vale ressaltar que essas estimativas de deposição de sedimentos, elaboradas no âmbito a Etapa 1 da modelagem hidro-sedimentológica morfodinâmica, conforme anteriormente ressaltado, visam subsidiar a Etapa 2, de campo, na qual serão realizadas amostragens para quantificar as alturas de sedimentação do rejeito.

Ainda que estejam em andamento os estudos para determinar a exata localização e a altura da camada sedimentada, considera-se que houve deposição de sólidos suspensos associados aos rejeitos de minérios contendo metais transportados pelo rio Doce em função do rompimento da barragem de Fundão.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



As cargas de sedimentos transportadas pelo rio Doce são uma das maiores do país, o que configura a existência de efeitos persistentes ou de ações passadas e presentes que afetam esse componente, como processos erosivos dos solos, atividade agropecuária, mineração entre outras fontes.

A despeito desse acúmulo, a concentração de alumínio, de ferro e de manganês se manteve em níveis de variação similares aos registrados antes do evento, na maioria dos pontos amostrados. No entanto, as concentrações de ferro alcançaram resultados superiores aos valores reportados antes da passagem da pluma nas imediações da foz, o que pode ter sido afetado pela deposição de rejeitos nesse local (GOLDER, 2018).

Entre os elementos contemplados pela Resolução Conama 454/12, conforme resultados do Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos – CQS, apenas o arsênio apresenta, de forma recorrente, extrapolações dos limites definidos pela legislação, porém, a concentração desse metaloide é naturalmente elevada na zona costeira do estado do Espírito Santo, principalmente ao sul, onde predominam algas calcárias.

O depósito de sedimentos com acúmulo de minério assume um alto grau de incerteza diante dos estudos ainda em andamento para determinar a localização e a altura dos depósitos na área modelada (COPPETEC, 2020a), bem como em relação às alterações relacionadas ao ferro. Também não é possível estabelecer a temporalidade desta alteração até a conclusão da Etapa 2 dos “Estudos de quantificação por amostragem das alturas de sedimentação do rastro de deposição”, anteriormente mencionado.

Recomenda-se, a partir das informações obtidas, uma reavaliação dos monitoramentos em curso nas Novas Áreas, com foco nos locais onde os programas em curso definirem a existência de depósitos de rejeitos.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

5.2. Biodiversidade Estuarina e Marinha

5.2.1. Diversidade das Comunidades Aquáticas



5.2.1.1 *Estudos Avaliados*

De modo geral, observou-se nos estudos consultados, compreendendo os períodos antes e após a passagem da pluma, que a abordagem dos resultados das comunidades avaliadas ocorre em um contexto global, impossibilitando a avaliação detalhada de dados específicos circunscritos às Novas Áreas, uma vez que não constam análises espaciais de cada ponto amostrado. Além disso, o delineamento amostral entre os trabalhos consultados é notoriamente distinto, fatores que associados dificultam o estabelecimento de nexos causais entre os impactos para as comunidades bióticas avaliadas e o rompimento da barragem, condição verificada em especial para fitoplâncton, zooplâncton, ictioplâncton e invertebrados bentônicos.

Fitoplâncton

A comunidade fitoplanctônica reúne organismos microscópicos que realizam fotossíntese e que vivem nas camadas superficiais das águas, deslocando-se com a correnteza. Fazem parte dessa comunidade as algas e as cianobactérias (ODUM, 1983). A composição específica e abundância da comunidade fitoplanctônica podem ser amplamente variáveis em decorrência da influência de fatores físicos (ondas, correntes), químicos (entrada de nutrientes) e biológicos (herbivoria e migração vertical) (BRUNET & LIZON, 2003).

O estudo realizado pela Petrobras (2015), anteriormente citado, inclui uma ampla amostragem de fitoplâncton na bacia sedimentar do Espírito Santo e na porção norte da bacia sedimentar de Campos, desde a isóbata de 25 m até 3.000 m, incluindo a zona costeira da foz do rio Doce. As amostragens foram conduzidas no verão (dezembro/2011-janeiro/2012) e no inverno (junho e julho/2013), em 40 estações de amostragem distribuídas por cinco transectos perpendiculares à linha da costa entre os municípios de Vitória e Conceição da Barra. Em cada estação de amostragem foram tomadas amostras em duas profundidades, totalizando 160

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

amostras. Neste estudo não constam as coordenadas de cada estação amostral (dados espacializados em figuras), de forma que não é possível apontar com precisão quais os pontos que estão circunscritos à região das Novas Áreas.



Os resultados mostram uma comunidade típica de águas predominantemente oligotróficas, com densidades numéricas baixas e valores elevados de diversidade. A composição taxonômica nessa pesquisa reuniu um grande número de espécies de dinoflagelados e de diatomáceas, independentemente do período amostral.

Em termos de densidade, houve predomínio da fração de nanofitoplâncton, em quase todas as condições. Na fração microplanctônica, ocorreu supremacia de diatomáceas na plataforma em função das condições de maior turbulência e disponibilidade de nutrientes.

Especificamente na região da foz do rio Doce os resultados apontaram as diatomáceas como o grupo de maior biomassa, sobretudo no verão, sendo as maiores densidades obtidas durante o inverno. A comparação dos resultados apontou que as estações próximas da costa apresentaram maiores valores de densidade, porém concluiu-se que a influência do rio Doce sobre a densidade numérica fitoplanctônica foi limitada.

No relatório da FEST (2019b) consta uma avaliação integrada das interferências decorrentes do rompimento da barragem de Fundão para o componente biótico na região marinha e costeira adjacente ao rio Doce. Neste trabalho, que corresponde ao primeiro ano de monitoramento do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), foi realizado o acompanhamento da comunidade fitoplanctônica entre novembro de 2018 e setembro de 2019, em termos de indicadores como composição qualitativa da comunidade, biomassa em termos de clorofila-a, concentração de feopigmentos, porcentagem de clorofila ativa e densidade numérica. Não foi apresentado neste relatório uma visão espacializada detalhada dos resultados, o que dificulta a análise de causalidade, conforme citado.

Os autores citam sem, no entanto, apresentar valores específicos, que entre novembro/2015 e abril/2016 foi observado um aumento significativo da densidade numérica total do fitoplâncton na região marinha adjacente à foz do rio Doce,

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



quando comparados a dados pretéritos da Petrobras (2015). A partir de abril/2016, também foram observadas flutuações da densidade numérica com valores superiores aos observados nas campanhas anteriores ao rompimento, mostrando que a abundância de organismos não teria retornado aos valores pretéritos.

O aumento na densidade numérica da comunidade fitoplanctônica foi acompanhado por alterações na composição dessa comunidade no mesmo período, sendo que foi observada uma quase total substituição de espécies mais frágeis, mas de grande ocorrência em águas tropicais, como os coccolitoforídeos (LEVINGTON, 1995), por espécies oportunistas, de proliferação rápida, como as cianofíceas e clorofíceas (algas verdes) que se adaptam rapidamente a mudanças nas condições ambientais.

Foram observadas ainda florações de cianofíceas como *Synechococcus spp.*, *Synechocystis spp.*, além do aumento da ocorrência da também cianofícea *Trichodesmium spp.* e clorofíceas unicelulares nanofitoplanctônicas de formato esférico/ovalado (algas verdes). Após abril/2016, a composição mostrou uma persistência de organismos oportunistas (cianobactérias e clorofíceas), com o quase desaparecimento de indivíduos frágeis, como os coccolitoforídeos.

O comportamento da comunidade fitoplanctônica ao longo do primeiro ano do PMBA (novembro/2018 a setembro/2019) mostra, segundo o autor, que a comunidade tem estado sob a influência de constantes distúrbios intermediários, os quais têm impossibilitado que a comunidade se recupere, uma vez que os resultados mostraram a manutenção dos impactos observados entre novembro/2015 e abril/2016. Estes distúrbios foram atribuídos à continuidade do aporte do material oriundo do acidente pelo rio Doce e pela periódica ressuspensão desse material contido no sedimento.

Embora não sejam abordadas as amplitudes destas variações, os autores sugerem que ainda que as oscilações encontradas entre os setores Sul, Norte e Centro da foz do rio Doce (não são oferecidas as amplitudes destas variações) se devem às condições meteoceanográficas que controlam a dispersão de nutrientes e resultam em respostas diferenciadas na variação da densidade numérica do fitoplâncton.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

A composição do fitoplâncton durante o período efetivamente monitorado (nov/2018 a set/2019) manteve a dominância de cianobactérias e algas verdes oportunistas, em densidade superiores às previamente registradas, e uma menor contribuição das haptófitas (organismos sensíveis a mudanças nas condições ambientais) em todas as campanhas, mas principalmente naquelas campanhas (campanhas 1, 4, 8 e 9) caracterizadas por elevadas concentrações de metais na água, como ferro dissolvido e alumínio dissolvido.



Os autores destacam que, nas três últimas campanhas do monitoramento, foram registradas não só menores concentrações de metais na água, em comparação com os valores registrados no PMBA até então, como também um aumento na contribuição de haptófitas para a comunidade, indícios de um possível início de recuperação, sendo que as análises de correlação canônica confirmaram estes resultados.

Os impactos relacionados pela FEST no relatório em questão são tratados como uma possibilidade uma vez que carecem de mais dados de monitoramento para identificação ou não de causalidade. Ressalta-se ainda que o relatório não traz análises espaciais, o que dificulta ainda mais fazer correlação de causalidade, pois não se consegue avaliar comportamento dos possíveis impactos com a dispersão do rejeito e com a proximidade com a foz.

Zooplâncton

O zooplâncton representa um importante elo entre os produtores primários e os consumidores secundários. Sua distribuição e abundância podem influenciar diretamente na produtividade local e ocorrência de cardumes de peixes pelágicos.

O estudo de zooplâncton na Bacia do Espírito Santo (ES) e na porção norte da Bacia de Campos (RJ) foi realizado concomitantemente às amostragens de fitoplâncton (PETROBRAS, 2015). Considerando toda a área amostral, verificou-se que essa comunidade foi constituída principalmente por Copepoda, que representaram em média 83% do total de organismos presentes durante a campanha de verão e 76% na campanha de inverno. Foram registrados outros grupos tais como Bryozoa, Cnidaria, Thaliacea, Appendicularia e Chaetognatha.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Especificamente na região da foz do rio Doce, as maiores densidades do zooplâncton nesse levantamento foram obtidas no verão e nas estações mais próximas da costa. A diversidade atingiu o máximo de 2,1 bits.ind⁻¹, no inverno.



No período posterior à passagem da pluma, os dados do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente (FEST, 2019b) apontam que a estrutura da comunidade zooplanctônica também se mostrou alterada ao longo de todo o ano de monitoramento, apresentando baixa riqueza, baixa diversidade e aumento na abundância de algumas espécies.

No entanto, os dados não foram apresentados de forma especializada, o que dificulta a análise de causalidade. Tal como apresentado para o fitoplâncton, os resultados reportados pelo PMBA são tratados como uma possibilidade uma vez que carecem de mais dados de monitoramento para identificação ou não de causalidade.

As duas espécies com maior contribuição dentro da comunidade zooplanctônica, *Paracalanus cf parvus* e *Temora turbinata*, são conhecidas por serem indicadoras de condições estressantes e estiveram mais associadas aos momentos considerados como de maior distúrbio: *Paracalanus cf parvus* esteve mais associada aos momentos de maior aporte fluvial (campanhas 1 e 4) e *Temora turbinata* aos momentos de maior altura de ondas (campanhas 7 e 10).

A análise de correspondência canônica entre os indicadores da comunidade zooplanctônica e os parâmetros indicadores de qualidade de água mostrou uma relação inversa entre a espécie *Penilia avirostris* e a concentração de metais, nutrientes inorgânicos e sólidos em suspensão. Em contraste, a análise mostrou uma relação positiva entre as espécies *Paracalanus cf. parvus* e *Temora turbinata* e os mesmos indicadores de qualidade de água.

Cabe indicar que dentre estas, de acordo com Posta (2006), a sazonalidade e picos esporádicos na abundância de *P. avirostris* no plâncton são frequentemente relacionados à temperatura da água. Esse fator ambiental parece estar intimamente relacionado com as mudanças na estratégia reprodutiva da espécie,

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

a qual alterna ciclos de reprodução partenogenética com reprodução gametogenética.

Ictioplâncton



Grande parte dos peixes ósseos marinhos tem ovos e larvas que representam o grupo dos vertebrados no plâncton e, em conjunto, são denominados de ictioplâncton (Hempel, 1979; Ré, 1999; Bonecker *et al.*, 2009).

O estudo de ictioplâncton realizado no âmbito da bacia do Espírito Santo e na porção norte da bacia de Campos (PETROBRAS, 2015) ocorreu nos mesmos ambientes amostrados para fitoplâncton e zooplâncton. O material estudado foi proveniente de amostras coletadas em 2013 (inverno) e 2014 (verão).

A área estudada apresentou baixa densidade de ovos e larvas de peixes nos dois períodos de estudo revelando uma tendência de diferença horizontal da distribuição dos valores, com maior concentração de ictioplâncton sobre a plataforma continental. Foi encontrada uma diferença relevante entre as assembleias da plataforma, onde há um predomínio de larvas de Engraulidae no período de inverno e Clupeidae no verão, e o talude, onde dominam as larvas de Myctophidae em ambos os períodos.

No contexto do trabalho da CTA (2017), no período após o acidente, entre abril de 2016 e abril de 2017, o inventário de ictioplâncton registrou 51 táxons pertencentes a 34 famílias, valor que pode ser considerado elevado, considerando outros monitoramentos realizados na costa do Espírito Santo.

Para este trabalho, os pontos amostrais foram distribuídos por três zonas em um raio de até 20 km à foz do rio Doce. As zonas foram definidas com base nos resultados da disposição dos sólidos sedimentáveis proveniente da pluma de turbidez no fundo da região marinha próxima à foz do rio Doce, contidos no estudo realizado pela Golder (2016). Tem-se assim uma área costeira de deposição da camada espessa que está localizada a 5 km da foz e corresponde à camada maior que 5 mm de sólidos sedimentáveis; uma área costeira de deposição da camada

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

fina a 10 km da foz e corresponde à camada menor ou igual a 5 mm de sólidos sedimentáveis; e uma área costeira sem deposição a 20 km da foz.

Entretanto, conforme anteriormente reportado, é importante mencionar que estas áreas de deposição ainda não estão confirmadas, sendo objeto de estudo no âmbito da modelagem hidro-sedimentológica morfodinâmica (COPPETEC, 2020a).



A riqueza de táxons entre as amostras variou entre 6 e 20 táxons. Registrou-se diferença significativa na densidade dessa comunidade entre as campanhas e entre as áreas, sendo que a faixa sem deposição de rejeito teve as maiores densidades de ovos e a área de deposição da camada espessa teve a maior densidade de larvas. Segundo os autores, este é um padrão normal, uma vez que a desova ocorre próximo à costa, em águas mais rasas, e os ovos podem ser predados e levados por correntes e ventos para regiões mais profundas.

Este resultado é corroborado pela densidade média de larvas na área de deposição de camada espessa, localizada em água mais rasas, em frente à foz do rio Doce. Neste contexto, os resultados encontrados e padrões não indicam impacto dos rejeitos e diluição da pluma de turbidez sobre o icteoplâncton.

Em relação à riqueza, diversidade e equitabilidade também ocorreu variação significativa entre as campanhas, mas não entre as áreas. Em comparação com os dados secundários, os autores afirmam que esses resultados são compatíveis com os estudos anteriores e as variações encontradas entre as campanhas se devem, sobretudo, à sazonalidade.

O trabalho conclui que a presença de rejeitos no fundo marinho da região não está afetando o icteoplâncton em termos de densidade e diversidade de ovos e larvas.

Os resultados da FEST (2019b), no monitoramento PMBA, evidenciam baixa riqueza e baixa densidade do icteoplâncton em comparação com outros estudos realizados na região da foz do Rio Doce em 1999 e 2014. Foi observado o efeito negativo da concentração de metais na água no número médio de ovos, principalmente nas campanhas em que se registraram as maiores concentrações desses componentes. No entanto, o relatório da FEST não apresenta os valores de

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

riqueza, diversidade e equitabilidade para melhor avaliação da causalidade. Cabe ressaltar que, assim como os estudos para fitoplâncton e zooplâncton, no relatório em questão os resultados são tratados como uma possibilidade uma vez que carecem de mais dados de monitoramento para identificação ou não de causalidade.

Invertebrados bentônicos



Os invertebrados bentônicos são representados por um grupo de organismos aquáticos relacionados ao substrato, que é inconsolidado, no caso de fundos estuarinos e marinhos. Sob o aspecto ecológico, esses seres exercem papel preponderante na reciclagem de compostos orgânicos, participando da redistribuição do material de fundo e concorrendo para a decomposição de substâncias potencialmente poluentes.

Estes organismos são classificados de acordo com o tamanho, sendo que a macrofauna inclui os organismos retidos por peneira de malha de 500 µm e a meiofauna relacionada aos organismos bentônicos pertencentes a uma classe intermediária de tamanho, que ficam retidos em malhas de 62-38 µm (GIERE, 2009).

Uma vez que as comunidades presentes em sistemas marinhos costeiros e nas praias podem apresentar composição e estrutura muito diferenciadas e estão sujeitas a diferentes pressões ambientais, optou-se por apresentar os resultados dos estudos separados para cada tipo de ambiente.

- Sistema Marinho

O estudo da Petrobras (2015), em escala regional abrangendo a plataforma continental das bacias sedimentares de Campos e do Espírito Santo, aponta como grupos mais abundantes e frequentes de invertebrados bentônicos os poliquetas, seguidos dos crustáceos peracáridos, como anfípodes e tanaidáceos e moluscos bivalves.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexos Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



Os valores médios de densidade da macrofauna variaram entre $205 \pm 30 \text{ ind.0,04 m}^{-2}$ na isóbata de 25 m a cerca de $531 \pm 97 \text{ ind.0,04m}^{-2}$ na isóbata 150m. Na plataforma interna, mais rasa, registraram-se os menores valores de riqueza e de densidade, o que foi atribuído ao fato dessa região sofrer maior ação hidrodinâmica de ondas e correntes junto ao fundo, causando distúrbios frequentes e variando sazonalmente. Destaca-se que neste trabalho a região entre a cidade de Vitória e a foz do rio Doce foram registradas as menores densidades médias, menor número de famílias (riqueza) e diversidade taxonômica (MAHIQUES *et al.*, 1998 *apud* PETROBRAS, 2015).

No estudo da PETROBRAS (2015), especificamente na região mais próxima à foz do rio Doce, foram avaliadas 20 estações amostrais, dispostas em quatro transectos, em duas campanhas sazonais (dezembro/2010 e julho/2011). Os grupos Polychaeta e Crustacea apresentaram os maiores valores de densidade e frequência de ocorrência. A distribuição da comunidade bentônica reflete os padrões encontrados em margens continentais, com redução da densidade e da diversidade com o aumento da profundidade. Nas áreas mais próximas à costa e à desembocadura do rio Doce essa dinâmica foi atribuída à influência das variações sazonais acarretadas pelo aporte fluvial (PETROBRAS, 2015).

- Sistema Praial

No Parecer Técnico 766/2018 (APLYSIA, 2018b) os resultados de três campanhas desenvolvidas em novembro e dezembro de 2015 e janeiro de 2016 no sistema praial da REBIO Comboios (UGRH Litoral Centro-Norte) evidenciaram que a pluma de turbidez causou alteração sobre a comunidade bentônica. Detectou-se nas duas últimas campanhas redução na abundância e no número de espécies, possivelmente em resposta à presença física do material depositado no espaço intersticial do sedimento.

Em seu relatório anual reportando os resultados do monitoramento PMBA (Programam de Monitoramento da Biodiversidade Aquática), FEST (2019c) apresenta, para a comunidade bentônica, uma discussão setorizada em três tipos

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

de ambiente de praia: praias de terraços de abrasão no litoral de Aracruz, praias próximas à foz do rio Doce e praias no litoral norte da desembocadura do rio Doce.



Nos terraços de abrasão, os dados da fauna indicaram que todos os componentes bentônicos (macrofauna, meiofauna e nematofauna) foram típicos de praias de sedimentos bioclásticos. A macrofauna apresentou espécies típicas de praias dissipativas a intermediárias, com clara distinção na distribuição dos organismos entre as faixas de areia, tal como descrita na literatura citada pelos autores.

Os autores ressaltam que, apesar disso, os valores de riqueza da macrofauna se mantiveram abaixo do que apresenta a literatura. Ainda segundo os autores neste setor foram observadas altas concentrações de arsênio e vanádio no sedimento (os dados não foram apresentados), tendo ambos elementos apresentados relações negativas com os parâmetros da fauna bentônica.

A presença do arsênio esteve negativamente correlacionada à riqueza e diversidade da macrofauna e à riqueza da nematofauna, enquanto a presença do vanádio estava negativamente correlacionada à diversidade da macrofauna. Entretanto, no período seco, a riqueza da nematofauna se relacionou positivamente com a presença do arsênio e do manganês, indicando variações sazonais tanto nos resultados bióticos quanto abióticos. Faz-se notar aqui que correlações estatísticas, mesmo que significativas, não implicam em relação de causa-e-efeito.

No setor que compreende as praias próximas à foz do rio Doce, o ambiente foi caracterizado por praias compostas por areias siliciclásticas grossas, que confere alto gradiente do perfil praial.

Segundo a literatura citada pelos autores, neste tipo de ambiente é esperado encontrar menores densidades de organismos, porém de grande porte, ocorrendo uma redução na densidade de organismos da meiofauna e de Nematoda, estes últimos sendo substituídos por outros grupos, tais como Copepoda Harpacticoida, Tardigrada e Turbellaria. Entretanto, os dados obtidos (que não foram apresentados no relatório) indicaram que este setor apresentou os maiores valores

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

significativos de riqueza para a macrofauna, se comportando de maneira oposta à literatura.



Para a meiofauna, este ambiente apresentou os menores valores de densidade e os maiores de diversidade, enquanto a riqueza foi semelhante aos demais setores monitorados. Segundo os autores, tal resultado contradiz a literatura, já que o esperado era que fossem registrados os menores valores de diversidade e riqueza da meiofauna. No entanto, apenas a densidade da meiofauna foi menor.

Nas praias do litoral norte da desembocadura do rio Doce, compostas predominantemente por areias médias a finas, com características intermediárias a dissipativas, os parâmetros ecológicos da fauna bentônica apresentaram correlações significativas com os teores de metais, tais como cromo e ferro.

No período seco, houve uma redução significativa da diversidade da macrofauna com o aumento do teor de metais, nas praias, bem como uma redução da riqueza com o aumento do teor de cromo. O teor de alumínio apresentou relações significativas e positivas com as densidades de meiofauna e nematofauna. Quanto ao teor de ferro, este afetou negativamente a riqueza da macrofauna durante as duas amostragens realizadas no primeiro ano do monitoramento.

Na praia de Degredo (UGRH Doce), onde se encontra a Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), única para a qual há dados anteriores ao rompimento (TEIXEIRA, 2016 *apud* FEST, 2019c), foi possível verificar que, logo após a chegada da lama de rejeitos (chuvoso/2016), houve uma redução nos índices biológicos da macrofauna.

Com os dados obtidos no monitoramento PMBA em 2018, foi observado aumento na riqueza e diversidade da macrofauna tanto no período seco quanto chuvoso, embora a densidade de organismos se mantivesse reduzida em ambos os períodos sazonais. Para a meiofauna, também ocorreram modificações evidentes entre os períodos anteriores e posteriores ao rompimento da barragem, com acréscimo nos valores de riqueza, densidade e diversidade ao longo de 2018, cerca de três anos transcorrido o acidente. Apesar disso, os autores afirmam que houve drástica redução dos índices biológicos.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Há ressalvas que esses resultados estão apoiados em duas amostragens, sendo necessária a continuidade de monitoramento para se obter uma série de dados que permita confirmar algum padrão. Importante também considerar que muitos outros fatores podem estar atuando na determinação da diversidade, fenômeno multicausal.



Ainda tratando de organismos bentônicos, a discussão integrada entre dados bióticos e abióticos apresentada no trabalho da FEST (2019b), considerou como indicadores o número de vestígios de organismos e ocorrência de grupos tolerantes a impacto antrópico durante o ano de monitoramento do PMBA (nov/2018 a set/2019).

Em sua síntese dos resultados de trabalhos pós-rompimento, anteriormente realizados (nov/2015 e mar/2016), eles afirmam que comunidade bentônica apresentou alterações na composição da comunidade, sem, no entanto, apresentar os dados que confirmem tal comparação.

Segundo os autores, foi observada uma redução do registro de organismos do subfilo Crustacea, filo Bryozoa, tubos e organismos da classe Polychaeta, classes Bivalvia e Scaphopoda. Esse resultado apontou para uma redução ou desaparecimento na região, de organismos com partes moles no corpo (como dos filos Nematoda e Platyhelminthe), e a presença de conchas e valvas vazias e inteiras, indicando organismos recentemente mortos.

Os autores associam esses resultados à chegada dos rejeitos ao ambiente, sem, no entanto, comprovar a relação de causalidade. No monitoramento PMBA propriamente dito, os autores apontaram que os resultados (não apresentados no relatório) mostram que a comunidade bentônica permaneceu apresentando alterações na composição da comunidade, uma vez que um aumento do número de vestígios de organismos mortos recentemente e de espécies tolerantes a ambientes impactados continua a ser observado no setor foz do rio Doce, uma vez que este local apresentou as maiores frequências relativas de conchas vazias e os menores valores de diversidade e riqueza de conchas.

Ictiofauna

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Em função da forte influência da Corrente do Brasil, com águas relativamente quentes que predominam no litoral do Espírito Santo, embora com alguma influência de águas com temperaturas mais baixas, a ictiofauna marinha costeira nessa região é primordialmente tropical ou subtropical.



Assim como verificado para as demais comunidades aquáticas, observou-se um padrão horizontal da distribuição das espécies de peixes com a formação de duas assembleias, uma costeira (sobre a plataforma continental) e outra oceânica (sobre o talude). Em termos de riqueza, houve predomínio de Actinopterygii e Chondrichthyes, com táxons de ampla distribuição nos oceanos (PETROBRAS, 2015).

Realizou-se inventário de ictiofauna após o rompimento da barragem de Fundão (CTA, 2017) por meio de 13 campanhas entre abril de 2016 a abril de 2017, na região marinha adjacente à foz do rio Doce, em pontos definidos com base nos resultados da deposição dos sólidos sedimentáveis proveniente da pluma de turbidez contidos em estudo realizado pela Golder (2016).

Nesse período, foram registrados 120 táxons pertencentes a 53 famílias. A riqueza entre as amostras variou de 62 a 41 táxons. Foram constatadas quatro espécies que estão na Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção (Portaria MMA nº 445/2014), duas que se encontram ameaçadas por sobre-exploração pela atividade pesqueira (IN nº 05/2014) e mais quatro são consideradas ameaçadas pela IUCN.

Em relação à abundância, encontraram-se diferenças significativas entre as campanhas. Na comparação entre as áreas, os valores médios da faixa sem deposição de rejeitos foram maiores que os resultados obtidos nas demais áreas. Para a riqueza e diversidade foram obtidas diferenças significativas entre as campanhas, mas não entre as áreas. A equitabilidade não mostrou diferenças significativas entre as campanhas, mas entre as áreas de monitoramento, sendo o maior valor médio registrado na faixa de deposição da camada espessa.

As análises de ordenação não mostraram separação entre as áreas de monitoramento, indicando comunidades de peixes iguais em termos de

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

composição. A correlação entre a comunidade de peixes e a composição granulométrica não mostrou resposta ao gradiente granulométrico. Em comparação com estudos anteriores, a composição de espécies na região da foz do rio Doce permanece semelhante a outras regiões do estado do Espírito Santo.

Em síntese, os dados de monitoramento apontam para o reestabelecimento da abundância de peixes na região, mas um possível efeito da presença do rejeito sobre a riqueza de espécies, já que os valores, embora não significativos, foram relativamente maiores na área sem deposição de rejeitos (CTA, 2017).



Carcinofauna

O inventário da comunidade de carcinofauna conduzido pela CTA (2017), entre abril de 2016 a abril de 2017, registrou 32 táxons pertencentes a 18 famílias. A riqueza entre as amostras variou de 10 a 18 táxons, com maiores valores encontrados na área de deposição da camada fina, não ocorrendo variação significativa com o tempo. Em termos de composição da comunidade, não houve resposta em relação à granulometria dos sedimentos.

Os índices de diversidade e de equitabilidade não apresentaram diferenças entre as campanhas, mas tiveram valores significativamente maiores na área de deposição da camada espessa.

O trabalho conclui que a abundância da carcinofauna foi fortemente influenciada pela espécie *Xiphopenaeus kroyeri* (camarão-sete-barbas), sendo maior na área de deposição da camada fina, mas com distribuição em todas as tipologias de sedimento (com ou sem rejeito), indicando que essa espécie não foi afetada pela presença dos rejeitos.

Em 2018, os levantamentos efetuados por FEST (2019a) incluíram a fauna de decápodos e sua associação com os habitats de manguezais na região costeira adjacente ao rio Doce. Embora não ocorram manguezais nas imediações da foz do rio Doce (UGRH Doce), as características ambientais permitem o desenvolvimento de espécies associadas a esta formação vegetal ocorrências quais destaca-se o guaiamu (*Cardisoma guanhumi*), assinalado na lista de espécies ameaçadas

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



(criticamente em perigo), única espécie de caranguejo presente neste trecho antes do rompimento da barragem, de acordo com o estudo.

Entretanto, registrou-se recentemente, após o rompimento, a presença dos caranguejos aratu (*Goniopsis cruentata*) e de uçá (*Ucides cordatus*), sem que se tenha o registro de como chegaram à área, ou seja, espontaneamente ou por ação humana. Ressaltam os autores que a competição interespecífica tende a afetar o guaiamu, espécie criticamente ameaçada.

Ao sul (UGRH Litoral-Centro) expressivos manguezais estão presentes nos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, parcialmente sob proteção na forma de Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS Municipal Piraquê-Açú e Piraquê-Mirim) nos quais se observou baixa eficiência fotossintética relacionada às elevadas concentrações de ferro, manganês, zinco e cromo. Porém, não há clara evidência de correlação entre estas concentrações de metais e a pluma de rejeito, embora esta possa, de fato, ter contribuído com o aporte de metais a estes manguezais.

No setor ao norte da foz do rio Doce, a menor atividade fotossintética detectada na restinga de Cacimbas e da APA Conceição da Barra (UGRH Itaúnas) pode se dar pelo aporte de metais à praia e à restinga, assim como nos mangues, o que ocorre durante processos de ressuspensão de sedimentos. De fato, constataram-se alterações fisiológicas pela presença de ferro em plantas, especialmente na região de Pontal do Ipiranga e Cacimbas, porém, novamente, não está claro se, e em que medida, estes metais são oriundos da barragem de rejeitos, se tem outras origens ou até mesmo se estão relacionados à própria característica geológica da região.

Os manguezais apresentaram, neste setor, elevadas concentrações de ferro e de manganês, sendo que este último influenciou negativamente o processo de assimilação de carbono. Associado à alta salinidade ou estresse hídrico, pode estar agravando a incorporação de biomassa pelos manguezais. Os dados de contaminação dos sedimentos também indicaram uma maior concentração de chumbo nos manguezais do setor norte em relação aos demais.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



O estudo realizado pela FEST (2019a) cita ainda a presença de metais tóxicos no caranguejo uçá (*Ucides cordatus*) e guaiamu (*Cardisoma guanhumii*) com riscos de biomagnificação principalmente de ferro longo da cadeia alimentar, salientando que manguezais e a fauna de decápodes já estavam sob pressão antes do rompimento e que perdas de biodiversidade local não podem ser quantificadas por ausência de dados pretéritos. Ademais, observou-se que nas campanhas avaliadas foram identificadas concentrações de ferro (principal constituinte do rejeito) maiores em outros estuários do que no estuário do rio Doce, além de ser observadas concentrações iguais em campanhas distintas no estuário do rio São Mateus.

Também foram registradas, no setor sul, baixas densidades de caranguejos. Em relação a esta fauna, tipicamente de manguezal, a espécie *Ucides cordatus* apresentou as menores densidades e tamanhos populacionais entre as áreas de monitoramento, o mesmo ocorrendo para guaiamu (*Cardisoma guanhumi*), com diminuição do tamanho e densidade ainda mais acentuados na área da APA Costa das Algas (UGRH Litoral Centro-Norte). Cabe ressaltar que o estudo não permite inferir se variação populacional está associada ao rompimento da barragem, pela ausência de dados pretéritos que garantam robustez nas inferências, bem como por análises populações serem relacionadas a processos que precisam ser monitorados, tanto no espaço quanto no tempo.

Quelônios, Aves e Cetáceos

Quanto a quelônios, uma grande perda de ninhos de tartarugas ao longo de 2018-2019 (TAMAR/RENOVA, 2019 *apud* FEST, 2019c), se deu por ação de altos espriamentos (processos de inundação) e erosão costeira, evidenciados principalmente entre as praias de Comboios e Povoação, nas proximidades da foz do rio Doce.

De acordo com FEST (2019c), a deposição da lama na antepraia alterou a morfologia das praias deste trecho, e pode ter causado impacto no processo de desova das tartarugas. Foram observados problemas oftalmológicos e altos teores de ferro, cromo, chumbo, arsênio e mercúrio em tartarugas *Caretta caretta*, em



	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

comparação com dados observados no litoral da Bahia. Já, na região costeira entre a foz do rio Piraquê-Açú e a do rio Fundão, em Nova Almeida (UGRH Litoral Centro-Norte) caracterizada por ocupação intensiva de tartarugas marinhas e arraias. Neste setor, exemplares juvenis de tartarugas-verde (*Chelonia mydas*) apresentaram ectoparasitas, sinais de imunossupressão e anemia, entre outros indicadores de saúde. A tartarugas-verde é uma espécie altamente migratória, as fêmeas chegam a migrar cerca de 1500 km, ou seja, esses indicadores de saúde precisam ser analisados com cautela.

Conforme anteriormente citado, o espaço marinho neste setor é parcialmente protegido por duas UCs, quais sejam, Área de Proteção Ambiental (APA) Costa de Algas, de uso sustentável, e Refúgio de Vida Silvestre (REVIS) de Santa Cruz, de proteção integral. É irrefutável a importância biológica deste trecho da costa, de alta sensibilidade a impactos crônicos, devido à proximidade com áreas de acumulação de rejeitos, provenientes de diferentes fontes da bacia hidrográfica.

No que se refere a aves, o trinta-reis-de-cabeça-vermelha (*Sterna hirundinacea*), espécie vulnerável segundo na Portaria MMA 444/2014, utiliza as proximidades da foz do Rio Doce e as águas costeiras adjacentes como área para alimentação e reprodução, tendo-se observado falha reprodutiva durante a temporada de 2019. Porém, o estudo aponta que “não foi possível construir a fenologia reprodutiva de *S. hirundinacea* devido à dificuldade na coleta de dados e a pequena quantidade de ninhos ativos encontrados na colônia no Espírito Santo”, bem como “no entanto a carência de dados pretéritos fidedignos impossibilita o estabelecimento de relação causal direta entre a redução nas populações e o rompimento da barragem.”

Finalmente, os autores ressaltam que a área costeira entre 10 km ao sul da foz do rio Doce e o limite norte do estado do Espírito Santo, delimitada até a isobata de 10 m de profundidade, corresponde à região de maior uso por pequenos cetáceos. Fenômenos de ressuspensão de lama, que ocorrem eventualmente neste trecho, determinam aumento de turbidez, mais intensa no período após o rompimento. Este fenômeno impõe, de acordo com os autores, maiores custos energéticos para estes pequenos cetáceos. Porém, conforme apresentado pela COPPETEC (2020b),



	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

o período de persistência de SST relacionados a pluma de rejeitos, com diferentes concentrações, foi entre 20/11/2015 a 30/03/2016; além da região mais ao norte influenciada ser Degredo (no município de Linhares) no concentrações de 10 a 100 mg/L. O monitoramento deste grupo de vertebrados evidenciou baixo número de avistamentos de filhotes e juvenis de botos-cinza (*Sotalia guianensis*) no primeiro ano dos monitoramentos nas áreas próximas à foz do rio Doce. Filhotes foram avistados somente em quatro meses ao longo de 12 meses de monitoramento, embora fossem esperados avistamentos mais frequentes, por ser uma espécie que não apresenta sazonalidade reprodutiva (FEST, 2019c). Foi detectado também aumento de encalhe de cetáceos nas proximidades da foz do rio Doce e a norte, em Linhares e São Mateus (UGRHs Doce e São Mateus), observando-se um aumento de aproximadamente 10% no número de encalhes de toninhas (*Pontoporia blainvillei*) no período imediatamente posterior ao rompimento da barragem de Fundão. Este fenômeno permanece, com aumentos mais expressivos observados mais recentemente (2,5 vezes para toninhas; 1,9 e 1,5 vezes para botos-cinza). Além disso, botos-cinza apresentaram altas concentrações teciduais de metais (mercúrio, ferro e manganês). Não se explicita no estudo analisado, contudo, o esforço amostral nem dados pretéritos ou de outras regiões para comparação dos resultados, sendo também notada a falta de análises estatísticas para suportar os testes de hipótese sobre impactos.

5.2.1.2 *Síntese dos aspectos relacionados à Diversidade das Comunidades Aquáticas*

Conforme citado, a pluma de sedimentos ocasionada pela ruptura da barragem de Fundão se expandiu a partir da foz do rio Doce para a zona litorânea. Considera-se que o aumento de turbidez na água representa um efeito cumulativo e que pode interferir nos processos fotossintéticos e na produtividade do meio aquático, com reflexo aos elos superiores da cadeia alimentar.

A modelagem hidro-sedimentológica morfodinâmica (COPPETEC, 2020a) mostra que a região costeira não é favorável à deposição de sedimentos finos; esse processo ocorreu nas imediações da foz do rio Doce, sendo restrito ao norte a uma distância de 5 km. De acordo com o mapa de isolinhas de altura de deposição de

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

lama inconsolidada oriunda da carga de SST do rio Doce (10/11/2015 a 30/06/2019), verifica-se uma camada de aproximadamente 10 cm no entorno da foz do rio Doce, diminuindo gradativamente ao sul, no qual chega a cerca de 5 cm próximo ao rio Riacho e 1 cm na foz do rio Piraquê-Açú (COPPETEC, 2020a).



A deposição desses constituintes tende a alterar a composição granulométrica do sedimento. A deposição de uma camada de partículas finas sobre o substrato de fundo pode ter como consequência imediata o entupimento dos espaços intersticiais, onde se abrigam os organismos bentônicos, levando a uma menor dispersão do oxigênio dissolvido e impedindo a adequada troca gasosa entre o compartimento do sedimento e o compartimento da coluna d'água.

Além deste, a deposição de sedimento preponderantemente fino torna o substrato instável, mais homogêneo e pouco propício à manutenção de uma fauna diversificada, já que o tamanho das partículas é diretamente proporcional à força necessária das ondas, marés ou correntes para movê-las.

Contudo, não foi possível aferir se houve redução da diversidade dessa comunidade após o acidente para a região das Novas Áreas, embora o estudo da FEST (2019) apresente esta hipótese para a região da foz do rio Doce, mas o conjunto de dados consultados se mostrou limitado.

Uma das dificuldades para se avaliar a existência, temporalidade e magnitude dos impactos se dá pela ausência de pontos de referência (controle), nos vários programas executados. Essa é uma premissa básica de estudos de avaliação de impactos, principalmente quando não se tem uma série histórica bem estabelecida.

Os monitoramentos apontam para alterações em comunidades bióticas de quelônios, aves e cetáceos, tendo-se observado aumento de episódios atípicos em comunidades destes grupos, como perturbações nos processos reprodutivos e, no caso de botos, aumento de encalhes, porém não há séries de dados que confirmem os padrões observados. .

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Cabe frisar que algumas alterações foram apontadas em Unidades de Conservação que protegem ecossistemas do bioma costeiro e marinho, situadas a sul da foz do rio Doce, destacando-se a APA Costa das Algas, o RVS Santa Cruz e a REBIO Comboios, bem como a ARIE de Degredo, a norte da foz do rio Doce. Estas interferências são em decorrência da pluma de sedimentos finos que persistiu a sul da foz do rio Doce devido à correnteza e ao padrão predominante de ventos, de quadrante nordeste, bem como a norte, ainda que neste setor, com menor persistência. Note-se que, as interferências podem ter diferentes intensidades, a depender da espécie e, independentemente da escala temporal de persistência da pluma, podem se estender por um período desconhecido.



Apesar de apontamentos de alterações nos estudos analisados com relação as comunidades aquáticas, não foi possível estabelecer nexos causais com o rompimento da barragem. Recomenda-se, a partir das informações obtidas, uma reavaliação dos monitoramentos em curso nas Novas Áreas, com foco nos locais onde os programas em curso definirem a existência de depósitos de rejeitos, para avaliação da biota associada a sedimentos de fundos inconsolidados.

5.2.2. Bioacumulação em Cadeias Tróficas

5.2.2.1 Estudos Avaliados

O Relatório Técnico da Econservation (2016) aborda o monitoramento da bioacumulação de elementos traço, em peixes, camarões e ostras, presentes na região adjacente à foz do rio Doce.

A pesquisa compreendeu localidades das Novas Áreas potencialmente afetadas pela dispersão da pluma de rejeitos: Regência e Barra Seca, no município de Linhares (UGRH Doce), Barra Nova, no município de São Mateus (UGRH São Mateus), e Barra do Riacho e Santa Cruz, no município de Aracruz (UGRH Litoral Sul).

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Esse levantamento constituiu de coletas e análises semanais, durante um período de dois meses após a intrusão da pluma de rejeitos no mar, desde a segunda quinzena de dezembro de 2015 até a primeira semana de fevereiro de 2016. Nas águas costeiras (profundidade < 25m) foram realizadas as coletas de peixes e de camarões. As amostragens de ostras foram feitas manualmente, somente nos estuários dos rios Piraquê-Açú, em Santa Cruz-ES, e rio Mariricu, em Barra Seca-ES.



Em síntese, foram avaliadas semanalmente as concentrações de 15 elementos-traço - arsênio, ferro, alumínio, bário, cádmio, cromo, chumbo, cobre, cobalto, manganês, mercúrio, níquel, selênio, prata e zinco -, considerando os tecidos musculares de peixes de interesse comercial (total de 26 espécies de diferentes hábitos e níveis tróficos), de camarões-sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*) e de ostras-do-mangue (*Crassostrea rhizophorae*).

Os resultados foram comparados com os Limites Propostos na Legislação Brasileira – Decreto nº 55.871/1965 e Resolução RDC Nº 42/2013 (ANVISA), procurando-se identificar o risco ao consumo humano dos pescados.

Para o arsênio, se destacou a alta frequência de valores superiores a 1,0 mg/kg, limite máximo tolerável para consumo humano. Embora os três grupos tenham apresentado essa não-conformidade, os camarões tiveram valores superiores aos demais. É discutido o fato de que a fração inorgânica de arsênio é a única que apresenta toxicidade para o ser humano, embora esta fração não seja especificada na legislação brasileira.

Neste sentido, ressalta-se que foram avaliados os níveis de vários elementos em peixes e crustáceos disponíveis nos mercados do litoral brasileiro, (APLYSIA, 2018a), tendo-se verificado ampla ocorrência de elevados níveis de arsênio total. A análise de arsênio inorgânico, forma tóxica, contudo, resultou em concentrações muito baixas, em sua maioria inferior ao limite de detecção.

Os autores ressaltam que a fração inorgânica é a de menor participação na concentração total deste elemento, tendo-se constatado concentrações consideradas de risco baixo ou desprezível para a saúde humana (APLYSIA, 2018;

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

NEWFIELD, 2020). Além disso, conforme anteriormente abordado na qualidade dos sedimentos, a região apresenta níveis de arsênio naturalmente elevados na costa do estado do Espírito Santo.



No caso do selênio, cerca de 65% das amostras apresentaram concentrações mais elevadas do que o limite de concentração imposto pela legislação brasileira para os alimentos em geral, não existindo limite específico para o pescado. Entretanto, os valores obtidos são compatíveis aos níveis já registrados na literatura científica em pescados de regiões costeiras, e são inferiores aos limites recomendados por outras entidades, como pela Organização Mundial da Saúde - OMS, pelo Ministério do Meio Ambiente do Canadá e pela United States Environmental Protection Agency - USEPA. Este metal não teve ocorrências generalizadas em níveis acima dos limites legais na água e nos sedimentos, conforme dados apresentados do PMQQS, entre agosto de 2017 e março de 2020.

Em relação ao zinco, apenas as ostras apresentaram concentrações superior ao permitido pela legislação, embora sejam apresentados dados comparativos, provenientes de outros estudos na costa brasileira, que mostram que os valores obtidos são compatíveis, e até inferiores, aos já encontrados em ostras do litoral nordeste.

Para outros elementos, como cádmio, cromo, chumbo, cobre, mercúrio e níquel, as concentrações registradas estiveram em conformidade com o limite legal, embora pontualmente tenham sido encontradas algumas amostras com valores considerados "outliers", que superaram o previsto pela legislação, como no caso do cromo e mercúrio.

Em relação a vários elementos traço, como ferro, bário, cobalto, manganês e prata, ainda que não existam limites legais, os valores obtidos se mostraram compatíveis ao descrito em outros estudos realizados em diversas regiões do país e em periódicos científicos.

Em relação à análise espacial, o documento especifica que as ostras tiveram concentração de cobre e níquel significativamente maior em Barra Seca (UGRH Doce) e de alumínio em Santa Cruz (UGRH Litoral Centro-Norte) entretanto, não

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

foi possível estabelecer relações diretas de causa e efeito entre os resultados de bioacumulação e a presença da pluma de rejeitos no ambiente marinho, visto a ausência de dados pretéritos, e de incrementos ao longo do tempo para a maioria dos elementos monitorados. Para camarões, as concentrações de zinco, cádmio, chumbo, cobalto, manganês, mercúrio e níquel não apresentaram diferenças significativas entre os locais, mas todos os demais elementos foram menores em Santa Cruz do que nas outras áreas.



No caso dos peixes, as concentrações de mercúrio e arsênio foram iguais em Barra Nova e Barra Seca e maiores do que nas demais estações amostradas. A série de metais zinco, cobre, bário, ferro e níquel foram superiores em Regência e nas demais estações não foram diferentes. Outros elementos não mostraram diferenças significativas entre áreas.

Em termos temporais, não se evidenciou nenhuma tendência de bioacumulação ou aumento das concentrações teciduais ao longo das semanas, embora tenham surgidos alguns picos de concentração para alguns elementos monitorados, sendo estes considerados "outliers".

Como conclusão, o relatório da Econservation (2016) enfatiza a necessidade de maior atenção aos elementos arsênio e selênio, principalmente no caso dos camarões, devido às elevadas concentrações registradas. Especificamente para as ostras, é enfatizada a alta concentração de zinco, sendo recomendada a continuidade do monitoramento incluindo análise das frações orgânicas e inorgânicas dos elementos, uma vez que estas têm diferentes potenciais de toxicidade para organismos aquáticos e seres humanos.

O Parecer Técnico de Furley (APLYSIA, 2018b) sobre a qualidade da zona costeira adjacente – Bioacumulação e Ecotoxicologia reporta, entre outros estudos, os resultados acima descritos no trabalho da Econservation (2016).

Em síntese, o referido Parecer mostra que os resultados reportados pela FURG (2016d *apud* APLYSIA, 2018b), antes da chegada da pluma (out/nov/2015), indica que os valores das amostras de peixes no ambiente costeiro e marinho se encontravam em níveis relativamente baixos para a maioria dos parâmetros

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



analisados. Em janeiro de 2016, após o alcance de rejeitos na costa, a maioria dos resultados excederam os padrões de consumo humano para arsênio, cádmio e chumbo (FURG, 2016b *apud* APLYSIA, 2018b). Em abril de 2016, 99% das amostras estiveram em conformidade, evidenciando expressiva redução na concentração dos metais (FURG, 2016c *apud* APLYSIA, 2018b).

Na campanha de verão 2017-2018 (FURG, 2018 *apud* APLYSIA, 2018b), observou-se declínio nos valores de cádmio e cromo para patamares similares ou inferiores aos padrões de qualidade e manutenção dos demais elementos em conformidade com os padrões, e similaridade nos valores obtidos dentro e fora da área de proibição de pesca.

No sistema praial da REBIO Comboios (UGRH Litoral Centro-Norte), o monitoramento ambiental de três campanhas realizadas entre novembro de 2015 e janeiro de 2016 (APLYSIA, 2016 *apud* APLYSIA, 2018b) revelam ausência de ecotoxicidade aguda para anfípodos e de ecotoxicidade crônica para embriões de ouriço do mar, indicando que a água superficial, coletada próxima à praia, e o sedimento não apresentaram potencial de causar efeitos a estes organismos.

O referido Parecer de Furley (APLYSIA, 2018b) ressalta que os estudos realizados até aquele momento eram insuficientes para uma resposta segura sobre se o consumo próprio do pescado oferece risco à saúde humana e propõe a realização de uma avaliação de risco específica, empregando dados atuais e consistentes, para nortear a questão.

A FEST (2019a) realizou estudo no âmbito do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática – PMBA, incluindo a região marinha e costeira adjacente e Abrolhos. As amostragens caracterizam dois períodos hidrológicos, de seca (setembro e outubro de 2018) e chuvoso (janeiro e fevereiro de 2019). Em ambas as campanhas, foi observada bioacumulação no plâncton, em larvas de quironomídeos, nos camarões, nos peixes tanto do grupo I (maior tendência à onivoria/herbivoria) e do grupo II (maior tendência à carnivoria). Os valores de toxicidade nas amostras coletadas no rio Doce indicam condição mais desfavorável na região estuarina associada ao sedimento. Possivelmente esse resultado está

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

relacionado ao maior teor de matéria orgânica neste compartimento e, portanto, maior concentração de metais, que tem alta afinidade pelo carbono orgânico dissolvido e particulado.



Do ponto de vista temporal, as concentrações mais elevadas são detectadas no período chuvoso, possivelmente em função da maior disponibilidade de contaminantes no ambiente aquático.

Ainda segundo o estudo da FEST (2019a), ao atingir o ambiente marinho, a pluma de rejeitos desencadeou um quadro de contaminação ambiental e aumento significativo dos metais no sedimento. Contudo, as concentrações atuais de metais coletados ao longo das 25 estações marinhas monitoradas pelo PMBA estão dentro do critério de qualidade ambiental preconizado pelo CONAMA 454/2012.

Considerando que o estresse mais severo dentro do setor da foz ocorreu em camarões, reforça-se a ideia de que o sedimento é a fonte de estresse mais relevante nesta área. Ressalta-se que, mesmo considerando a gama de análises efetuadas nas matrizes água e sedimento de ambientes dulcícolas, estuarinos e costeiro no PMBA, os resultados apontam para a recuperação da bacia e da zona costeira, como demonstram também os pareceres técnicos de vários autores, corroborados pelos dados mais recentes disponibilizados pelo PMQQS (2018 a 2020).

Cabe ressaltar também que Cristiano (2020) aponta que o estudo da FEST (2019a) não justifica os pontos de monitoramento com a dispersão e deposição da pluma de rejeitos, e aborda que efeitos ecotóxicos podem ser relacionados à causalidade de dispersão da pluma, mas não certifica outras causas concorrentes na região, além dos dados pretéritos serem abordados de maneira tímida, o que impossibilita comparação.

Visando medir a recuperação pós-impacto do ecossistema marinho e costeiro após o rompimento da barragem de Fundão foram realizados por Hidrobiology (2020) estudos que analisaram, entre outros aspectos, a biomassa de peixes, DNA ambiental e a concentração de metais em tecidos de peixes e crustáceos as nas imediações da foz do rio Doce e do rio Jequitinhonha, sendo este último, tratado

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



como área referência. O rio Jequitinhonha foi escolhido como tal por ser um rio que nasce na Serra do Espinhaço em MG, percorre aproximadamente 1.082 km até a foz na cidade de Belmonte/BA, 94% da sua bacia está localizada em MG e o uso e ocupação do solo está ligado a atividades agropecuárias e mineração. Possuindo, portanto, similaridades com a bacia do rio Doce. As coletas foram realizadas em raios de 1 km, 5 km, 10 km e 20 km de distância dos estuários entre setembro e outubro de 2018.

Foram detectadas 145 espécies por meio da análise de DNA ambiental, sendo 39 na área do rio Doce e 45 no Jequitinhonha, sendo 61 comuns com pequeno *overlap* entre as assembleias. Nota-se que a riqueza aumenta com a distância da foz do rio Doce, observando-se o contrário no rio Jequitinhonha, sugerindo melhores condições ambientais no estuário deste último. Observou-se, contudo, maior biomassa na área de estudo do rio Doce, com diferença estatisticamente significativa entre as áreas e sem correlação com profundidade ou distância da foz.

Amostras de tecido de peixes e crustáceos foram testadas para identificação de concentração de 15 diferentes metais e metalóides, dos quais quatro têm limites estabelecidos pela ANVISA (2013): arsênio (As), cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb).

Os limites da ANVISA para concentrações de arsênio total (As) em peixes para consumo humano (1,0 mg/kg) foram superados em 230 amostras, ou 75% do total e foi onipresente em amostras em ambas as áreas do estudo. Ressalta-se, contudo, que grande parte do arsênio detectado provavelmente refere-se à forma orgânica não tóxica do metaloide.

Concentrações de chumbo foram registradas acima do limite de detecção (0,05 mg/kg) em 11% de todos os peixes amostrados (n = 33), porém, nenhuma amostra excedeu a concentração máxima permitida de chumbo para consumo humano (0,3 mg/kg). O maior valor registrado foi de 0,261mg/kg em uma única amostra de *Cathorops spixii* capturado no rio Jequitinhonha, área utilizada como controle, e 0,244 mg/kg em uma única amostra de *Stellifer brasiliensis* no rio Doce.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Para o cádmio, todas as amostras apresentaram concentrações inferiores ao limite de quantificação, de 0,05 mg/kg, portanto nenhuma amostra ultrapassou o limite estipulado pela ANVISA (2013).



Quanto a mercúrio, concentrações foram registradas em tecidos acima do limite de detecção (0,05 mg/kg) em 18% de todas as amostras de tecido (n = 57), porém, nenhuma amostra excedeu a concentração máxima de mercúrio permitida para consumo humano, de 0,5 mg/kg para espécies não predatórias ou 1 mg/kg para espécies predatórias. A maior concentração ocorreu em amostras de *Cathorops spixii* na área do rio Doce (0,234 mg/kg) e no do rio Jequitinhonha (0,209 mg/kg).

Verificou-se que a concentração de ferro em tecidos de peixes e crustáceos foi significativamente maior na área do rio Jequitinhonha para duas de três espécies analisadas. Já o manganês foi significativamente maior apenas em uma espécie na área de estudo de rio Doce. Para os demais metais testados, não houve indícios de concentrações elevadas nas amostras coletadas na área de estudo do rio Doce.

Conforme já explicitado, os resultados de níveis de bioacumulação de cádmio, chumbo, e arsênio em peixes e crustáceos disponíveis nos mercados do litoral realizados por Aplysia (2018a), mostraram ampla ocorrência de elevados níveis de arsênio total, porém com concentrações muito baixas de arsênio inorgânico, forma tóxica.

Foi detectado cádmio acima do limite estabelecido pela ANVISA apenas em Natal (RN) e chumbo em três localidades, uma das quais em Guarapari (ES).

Um parecer técnico sobre os possíveis riscos à saúde humana pela ingestão de pescado proveniente da zona costeira próxima ao rio Doce foi emitido pela Alloy LLC, através da Dra. Yvette Lowney (APLYSIA, 2018b). Este parecer embasou-se em um conjunto de 18 documentos fornecidos pela Aplysia, dos quais somente um (Econservation, 2016, comentado no início deste item) oferecia a adequada documentação que recomendasse a confiabilidade dos dados.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



Segundo a autora, o processo formal de avaliação de riscos exige uma avaliação detalhada da exposição ao contaminante pela população alvo (consumidora do pescado) combinada com a toxicidade dos possíveis contaminantes. As limitações impostas pelas informações disponibilizadas até então não permitiam uma avaliação de risco formal, embora as concentrações registradas no único trabalho considerado de alta confiabilidade não tenham excedido os níveis regulatórios da legislação brasileira, nem os níveis de classificação de risco (“risk-based screening levels” - RSL) da EPA norte-americana, a não ser para arsênio.

No entanto, como discutido anteriormente e também citado no documento em questão, estes níveis são baseados nas concentrações totais e não nas frações inorgânicas, que são as efetivamente tóxicas. Ressalte-se, conforme já discutido, que os níveis de arsênio inorgânico avaliado pela Aplysia (2018a) apontam níveis muito baixos, sendo a maior parte deles abaixo do nível de detecção.

O parecer, de 2018, conclui que, para se efetuar uma avaliação adequada do risco do consumo humano de pescado, são necessários dados adicionais, incluindo as espécies de peixes consumidas e seu tamanho, a caracterização das frações inorgânica e orgânica nos tecidos dos organismos e a caracterização de áreas de referência com as quais o pescado proveniente das áreas atingidas possa ser comparado.

Porém, mais recentemente, os riscos para a saúde humana da bioacumulação de metais em tecidos de peixes e crustáceos na faixa costeira capixaba foram também reavaliados por NewFields (2020), utilizando os mesmos critérios adotados pela ANVISA em estudo similar (NT ANVISA nº 8/2019). Os metais essenciais (cobre, cromo, ferro, manganês, níquel, zinco) não apresentaram comprometimento dos valores máximos para suplementação em nenhum dos cenários de consumo. Os riscos associados a metais não essenciais (alumínio, mercúrio, cádmio, arsênio e prata) foram caracterizados, de maneira geral, como desprezíveis ou muito baixos.

Especificamente em relação a ferro e manganês, metais essenciais com funções biológicas importantes, a RDC nº 269/2005, vigente à época, estabelecia em 30-34,7 mg/dia o Valor de Referência criança – adulto para Ingestão Diária

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



Recomendada (IDR) para ferro e de 1,5 a 2,3 mg/kg para manganês. Não há limites máximos estabelecidos pela ANVISA para estes metais. Em suma, de acordo como os resultados, há ocorrências de metais em tecidos de peixes e crustáceos em concentrações que determinam, de acordo como os estudos e até o momento, baixo risco.

Considerando a gama de metais detectados, deve-se levar em conta o histórico de contaminação da bacia do rio Doce que, pela sua configuração, permite o acúmulo de metais nos trechos próximos à foz, inclusive nas lagoas, incluindo outros componentes, tais como o ferro, que é um elemento característico da matriz geológica regional. Conforme anteriormente citado, o arsênio também é um componente que está presente nos sedimentos costeiros da região em concentrações elevadas, tendo sido inclusive detectado em pescados na série de oito anos de estudos entre 2007 e 2015 (APLYSIA, 2018a).



5.2.2.2 Síntese dos aspectos relacionados a Ecotoxicidade e à Bioacumulação na Cadeia Trófica

Para avaliar esses efeitos, vários pareceres técnicos consolidam uma série de resultados de análises relacionadas à bioacumulação e ecotoxicidade realizadas na bacia do rio Doce e nos ambientes costeiros adjacentes. Importante frisar que o grau de bioacumulação e toxicidade do ambiente deve ser confrontado com estudos anteriores, comparando-se locais de amostragem, metodologias adotadas e época de realização dos estudos. Considerando as informações presentes nos estudos com essa abordagem, as alterações verificadas ou foram consideradas como semelhantes as condições pretéritas e/ou as concentrações foram muito baixas, com risco baixo ou desprezível para a saúde humana.

Ressalta-se a ampla presença de arsênio total verificada no ambiente e em animais marinhos, comum em toda a costa brasileira, e as concentrações muito baixas de arsênio inorgânico. Única forma tóxica deste elemento, o arsênio inorgânico ocorreu em níveis de modo geral abaixo do limite de detecção, sem representar, de acordo com estudos realizados, riscos à saúde humana.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexó Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Assim, com base nos estudos avaliados não foi possível verificar alterações significativas nem nexó causal com o rompimento da barragem. Mas cabe ressaltar que disponibilização de componentes para a biota aquática pode levar à bioacumulação de metais e de outros compostos potencialmente tóxicos nesses organismos, o que já representa “per se” uma cumulatividade. Vários desses constituintes orgânicos e inorgânicos têm ainda a capacidade de sofrer o processo de biomagnificação ao longo da cadeia alimentar, tendendo a se concentrar nos elos tróficos superiores, como peixes, e até mesmo nas aves que se alimentam desses organismos.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

6. Síntese dos Impactos Socioambientais

O Quadro 9 apresenta uma consolidação dos impactos dos meios físico e biótico apontados nos estudos analisados, que possuem causalidade em relação ao rompimento da barragem de Fundão, na região de Novas Áreas. Cabe ressaltar que incertezas quanto a algumas alterações de aspectos ambientais apontados nos estudos e/ou ao nexo causal não foram inseridas no quadro abaixo, não sendo necessariamente evidências de ausência de impactos, mas incertezas quanto às informações analisadas.

Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

Quadro 9 - Quadro sinóptico dos impactos socioambientais apontados nos estudos analisados, com existência de causalidade, e suas principais características na região de Novas Áreas

Componente Valorizado		Impacto	Via	Características dos Impactos				Processos Cumulativos		Referências
Componente	Tipo	Descrição do impacto	Via de impacto ou processo afetado	Área afetada	Escala temporal	Indicador de magnitude do impacto	Nível de incerteza na determinação da magnitude	Existem efeitos persistentes de ações passadas ou presentes que afetam o componente valorizado?	Outras ações passadas ou presentes que afetam o componente valorizado	Referências Principais
Ecosistemas estuarinos e marinhos	Qualidade da água	Aumento do teor de Sólidos Suspensos Totais	Alcance e persistência da pluma de rejeitos	Degredo (município de Linhares) até Nova Almeida (município de Serra), incluindo as UCs desse trecho	Temporária	Persistência de SST advindos da barragem de Fundão entre 20/11/2015 a 31/03/2016 (concentração 10 a 100mg/L) acima de 1%	Baixo	Sim	Alta carga de sedimentos transportada pelo rio Doce. Cargas difusas nas demais bacias e intervenções em drenagens naturais.	COPETTEC (2020b), APLYSIA (2018b), PETROBRAS (2015), AGERH (2018), TETRATECH (2019)
Ecosistemas estuarinos e marinhos	Qualidade da água	Aumento do teor de Sólidos Suspensos Totais	Alcance e persistência da pluma de rejeitos	Degredo até Regência (município de Linhares)	Temporária	Persistência de SST advindos da barragem de Fundão entre 20/11/2015 a 31/03/2016 (concentração 100 a 500mg/L) acima de 1%	Baixo	Sim	Alta carga de sedimentos transportada pelo rio Doce. Cargas difusas nas demais bacias e intervenções em drenagens naturais.	COPETTEC (2020b), APLYSIA (2018b), PETROBRAS (2015), AGERH (2018), TETRATECH (2019)



Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

Componente Valorizado		Impacto	Via	Características dos Impactos				Processos Cumulativos		Referências
Componente	Tipo	Descrição do impacto	Via de impacto ou processo afetado	Área afetada	Escala temporal	Indicador de magnitude do impacto	Nível de incerteza na determinação da magnitude	Existem efeitos persistentes de ações passadas ou presentes que afetam o componente valorizado?	Outras ações passadas ou presentes que afetam o componente valorizado	Referências Principais
Ecosistemas estuarinos e marinhos	Qualidade da água	Aumento do teor de Sólidos Suspensos Totais	Alcance e persistência da pluma de rejeitos	Povoação e Regência (município de Linhares)	Temporária	Persistência de SST advindos da barragem de Fundão entre 20/11/2015 a 31/03/2016 (concentração 500 a 1000mg/L acima de 1%)	Baixo	Sim	Alta carga de sedimentos transportada pelo rio Doce. Cargas difusas nas demais bacias e intervenções em drenagens naturais.	COPEPTEC (2020b), APLYSLIA (2018b), PETROBRAS (2015), AGERH (2018), TETRATECH (2019)
Ecosistemas estuarinos e marinhos	Qualidade da água	Aumento de não conformidades - NCs - de padrões legais	Alcance da pluma de rejeitos	Povoação (município de Linhares) até Santa Cruz (município de Aracruz), incluindo APA Costa das Algas e Refúgio da Vida Silvestre de Santa Cruz	Temporária	Alumínio, ferro, manganês (além de turbidez e SST)	Baixo	Sim	Alta carga de sedimentos transportada pelo rio Doce. Mineração, cargas difusas nas demais bacias e intervenções em drenagens naturais.	GOLDER (2018), PMQSQS (2017-2020)

Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

Componente Valorizado		Impacto	Via	Características dos Impactos				Processos Cumulativos		Referências
Componente	Tipo	Descrição do impacto	Via de impacto ou processo afetado	Área afetada	Escala temporal	Indicador de magnitude do impacto	Nível de incerteza na determinação da magnitude	Existem efeitos persistentes de ações passadas ou presentes que afetam o componente valorizado?	Outras ações passadas ou presentes que afetam o componente valorizado	Referências Principais
Ecossistemas estuarinos e marinhos	Qualidade da água	Aumento da concentração de metais que podem causar toxicidade	Alcance e persistência da pluma de rejeitos	Povoação (município de Linhares) até Santa Cruz (município de Aracruz), incluindo APA Costa das Algas e Refúgio da Vida Silvestre de Santa Cruz	Temporária	Cádmio, chumbo e zinco totais, cobre dissolvido e arsênio	Médio	Sim	Insumos agropecuário, efluentes domésticos e industriais, drenagem de solos orgânicos.	GOLDER (2018), COPPETEC (2020a), PMQQS (2017-2020)
Ecossistemas estuarinos e marinhos	Depósito de sedimentos	Depósito da camada de sedimentos contendo rejeitos de minérios da barragem	Condições hidrodinâmicas favoráveis à sedimentação	Imediações da foz do rio Doce	Desconhecida	Espessura da camada de sedimentos a ser confirmada.	Baixo	Sim	Carga de sedimentos transportada pelo rio Doce.	GOLDER (2018), COPPETEC (2020a)

Fonte: Tetra Mais Consultoria (2020)

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

7. Conclusões



Com base em uma análise sistêmica e tendo como base a síntese dos estudos técnicos para identificar os impactos ambientais nas localidades identificadas como Novas Áreas, seguem abaixo as conclusões.

A introdução de poluentes pelos rios, tanto em áreas urbanizadas, quanto em regiões com atividades agrícola e pecuária, levam ao aumento da eutrofização dos estuários e das águas marítimas costeiras, com reflexos para as comunidades aquáticas. Adicionalmente, o desmatamento e as intervenções nas drenagens naturais, o uso da faixa litorânea como espaço urbano, de lazer e de recreação, as atividades de pesca e aquicultura, a extração de petróleo, constituem exemplos de intervenções antrópicas que alteram estes ecossistemas.

Com a chegada dos sedimentos advindos do rompimento da barragem de Fundão no ambiente marinho, observou-se, em um primeiro momento, a manifestação de uma pluma logo após a chegada do rejeito no mar, porém, devido às características hidrodinâmicas, o alcance das maiores concentrações de SST permaneceu no período de novembro de 2015 a março de 2016 nas imediações da foz do rio Doce.

Entre os impactos identificados como associados à pluma de rejeitos nos estudos analisados estão o aumento do teor de sólidos suspensos totais, o aumento de não conformidades de padrões legais, em especial relacionadas a ferro, alumínio e manganês, o aumento da concentração de metais potencialmente tóxicos, e o aumento do depósito da camada de sedimentos contendo rejeitos de minérios.

Com relação ao aumento do teor de sólidos em suspensão em distintas faixas de concentrações e persistência no período avaliado, destaca-se que a faixa de maior concentração (SST entre 500 e 1000 mg/L) permaneceu 1% do tempo da fase crítica (20/11/2015 a 30/03/2016) circunscrita à Regência nas imediações da foz do rio Doce, em Linhares. A faixa de concentração intermediária (SST entre 100 e 500 mg/L) se manteve no máximo a 9 km (Regência) e a 1km ao sul (Povoação), também somente na região de Linhares. A faixa de menor concentração (SST entre

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



10 a 100 mg/L) foi a que se estendeu por uma região mais ampla, entre Degredo (município de Linhares) e Nova Almeida (município de Serra), sendo que os maiores percentuais de permanência ocorreram em Povoação (85 e 90%), Regência e Vila do Riacho (75 e 85%).

Em linhas gerais, os resultados da modelagem hidrossedimentológica (COPPETEC, 2020b) indicam que não houve alcance da pluma nos municípios de São Mateus e Conceição da Barra, nas UGHRs São Mateus e Itaúnas. Neste sentido, não há nexso causal estabelecido para os estuários inseridos nessas unidades hidrográficas, sendo consideradas, assim, alterações na região entre Linhares e Aracruz

A partir de abril de 2016 a quantidade de rejeitos transportada pelo rio Doce se tornou irrelevante, com picos atribuídos às chuvas que ocorreram na bacia de drenagem. Trata-se, portanto, de um impacto de escala temporária, com baixo nível de incerteza de magnitude.

Com relação ao aumento de não conformidades de padrões legais, em especial relacionadas a ferro, alumínio e manganês, essas não conformidades foram registradas com maior intensidade nas imediações da foz do rio Doce (em Linhares), bem como ao sul conforme resultados obtidos na APA Costa das Algas (município de Aracruz). Trata-se de um impacto temporário, devido à dispersão dos componentes, segundo também detectado pelos resultados dos monitoramentos realizados, entre os quais do PMQQS, que demonstram que já houve o retorno às condições de qualidade da água prévias ao rompimento. Os dados disponíveis atestam que esse impacto representa um baixo nível de incerteza de magnitude.

Já com relação ao aumento da concentração de metais que podem causar toxicidade, a persistência de metais no ambiente, avaliado pelo indicador de contaminação por tóxicos – CT, é considerada pontual. Para os estuários do rio Doce e do rio Riacho, essa alteração apresenta um nível médio de incerteza de magnitude, baseando-se na modelagem da persistência das concentrações de SST do rejeito. E trata-se de um impacto temporário, , pois a evolução do indicador CT

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexos Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



prevalece com a classificação Muito Baixa para todos os componentes e ambientes avaliados, observado nos municípios de Linhares e Aracruz.

Ainda que estejam em andamento os estudos para determinar a exata localização e a altura da camada sedimentada, considera-se que houve deposição de sólidos suspensos associados aos rejeitos de minérios contendo metais transportados pelo rio Doce em função do rompimento da barragem de Fundão. A modelagem hidrodinâmica da COPPETEC (2020a) mostra que a região costeira não é favorável à deposição de sedimentos finos, sendo que esse processo ocorreu nas imediações da foz do rio Doce, sendo ao norte restrito a uma distância de 5 km (no município de Linhares). Apesar desse acúmulo, a concentração de alumínio, de ferro e de manganês se mantiveram em níveis de variação similares aos registrados antes do evento, de forma que os dados não permitem afirmar que houve deterioração da qualidade dos sedimentos em relação a esses metais.

Cabe ressaltar que não é possível relacionar nexos causal com os municípios de Fundão e Serra para os parâmetros de qualidade da água e sedimentos, sendo necessário analisar mais estudos associados ao período de persistência da pluma que contemplem essas localidades. De qualquer maneira, a região que engloba esses municípios é monitorada pelo PMQQS desde agosto de 2017, onde foram registradas somente alterações pontuais em 2017 e 2018, o que indica condições possivelmente não alteradas pela pluma.

Assim, os resultados de alteração de qualidade de água e sedimento de ambientes estuarinos e costeiro foram identificados nas regiões dos municípios de Linhares e Aracruz, e apontam para a recuperação da zona costeira, sendo que, conforme observado na literatura, não conformidades estão relacionadas principalmente com outros fatores que já ocorriam antes da passagem da pluma.

Com relação à biodiversidade nos ambientes estuarinos e marinhos relativos às Novas Áreas, apesar de apontamentos de alterações nos estudos analisados com relação às comunidades aquáticas, não foi possível estabelecer nexos causal com o rompimento da barragem. Com relação à ecotoxicidade e bioacumulação na cadeia trófica, considerando as informações presentes nos estudos analisados, as

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexó Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



alterações verificadas ou foram consideradas como semelhantes as condições pretéritas e/ou as concentrações foram muito baixas, com risco baixo ou desprezível para a saúde humana, não sendo possível verificar alterações significativas nem nexó causal com o rompimento da barragem.

No que se refere às comunidades bióticas marinhas, entretanto, é importante ressaltar que a percepção do ambiente e as interações com o meio diferem para cada espécie, de acordo com sua biologia e nicho ecológico. No entanto, qualquer conclusão, feita com base em poucos registros, é frágil.

Perturbações de pequena, ou até mesmo de média intensidade, desde que não persistentes, podem inclusive favorecer a riqueza específica de um determinado ecossistema, enquanto as de grande intensidade podem levar a dinâmicas regressivas, com severas perdas de biodiversidade. As perguntas que emergem, no que se refere aos impactos na biota, são, portanto: a pluma de rejeito que chegou até as Novas Áreas pode ser considerada uma perturbação de pequena, de média ou de grande e para quais comunidades bióticas?

É difícil reunir elementos suficientes para poder se alcançar o que seria o ideal de fundamentação para essa resposta. Mas os resultados do monitoramento das comunidades limnológicas indicam processo de recuperação e, de forma similar, os estudos da Hydrobiology (2020) não apontam dinâmicas regressivas para os grupos analisados. Isto não significa que não possam ter ocorrido perdas e alterações devido a degradação de habitats praias, aquáticos e bentônicos pela presença e, principalmente, deposição de sedimentos, especialmente nas proximidades da foz do rio Doce. Também não significa que para alguns grupos mais dependentes do ambiente, notadamente os sésseis (que não possuem capacitação de locomoção), a perturbação não tenha sido de grande intensidade.



Dessa forma, em uma visão generalizada, é possível afirmar, com base nos estudos analisados, que foram identificados impactos ambientais em função do rompimento da barragem de Fundão na área costeira dos municípios de Linhares e Aracruz, constituintes de Novas Áreas.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Importante ressaltar dentro desses monitoramentos e para uma nova etapa, a necessidade de revisão das premissas, metodologias e indicadores, visando ao melhor aproveitamento dos resultados já obtidos e obtenção de consistência e robustez aos dados já levantados. Ou seja, um aprimoramento dos estudos para resultados mais assertivos. Recomenda-se, a partir das informações obtidas, uma reavaliação dos monitoramentos em curso nas Novas Áreas, com foco nos locais onde os programas em curso definirem a existência de depósitos de rejeitos, para avaliação da biota relacionada.

Cumprir registrar, por fim, que a avaliação ideal de precisão quanto ao nexos causal é, naturalmente, dificultada pelas diferentes variáveis, metodologias, áreas amostrais e objetivos distintos, o que levam a variações na homogeneidade de análises e resultados. Ademais, conforme já mencionado, essa precisão de avaliação do nexos causal é ainda prejudicada pelos fatores externos independentes e/ou mesmo pretéritos que geraram e ainda geram impactos nesta região.

Cabe ressaltar que as considerações desse documento retratam uma parte da complexidade dos temas da região e tiveram por referência prioritária os estudos analisados.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

8. Referências Bibliográficas

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (AGERH). Diagnóstico e o Prognóstico das Condições de Uso da Água na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus. Relatório Técnico da Etapa A. 2018.



ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce Rompimento da Barragem em Mariana/MG. Conjuntura recursos hídricos no Brasil - Informe 2015. Brasília. 2016.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Decreto nº 55871, de 26 de março de 1965. Modifica o Decreto nº 50.040, de 24 de janeiro de 1961, referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos, alterado pelo Decreto nº 691, de 13 de março de 1962. Diário Oficial da União. 1965. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/DECRETO%2BN%25C2%25BA%2B55.871%252C%2BDE%2B26%2BDE%2BMAR%25C3%25870%2BDE%2B1965.pdf/59b8704c-52f4-481d-8baa-ac6edadf6490>, 1965.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/RDC_269_2005.pdf/2e95553c-a482-45c3-bdd1-f96162d607b3, 2005.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. Resolução RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013. Diário Oficial da União. 2013.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Dispõe sobre o controle das substâncias sujeitas a controle especial, bem como dos medicamentos que as contenham, em centros de equivalência farmacêutica e centros de biodisponibilidade/bioequivalência, e dá outras providências.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Resolução RDC nº 96, de 29 de julho de 2016. Diário Oficial da União. Edição 146. 2016.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução-RE Nº 989, de 15 de abril de 2016. Diário Oficial da União publicado em 18/04/2016, edição 73, seção 1, página 68. 2016.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. NOTA TÉCNICA Nº 8/2019/SEI/GEARE/GGALI/DIRE2/ANVISA. Avaliação de Risco: Consumo de pescado proveniente de regiões afetadas pelo rompimento da Barragem do Fundão/MG. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/2857848/5519746/SEI_ANVISA+-+0596655+-+Nota+T%C3%A9cnica+-+Pescado+Rio+Doce.pdf/86d2736c-cefc-40c3-9c70-4cb48fd7df9d, 2019.



APLYSIA - Soluções Ambientais. Avaliação da presença de contaminantes no pescado comercializado na costa brasileira. Relatório Técnico 747/2018 - Revisão 03, 2018a.

APLYSIA - Soluções Ambientais. Pareceres técnicos independentes sobre a qualidade do pescado no Rio Doce Zona Costeira Adjacente – Relatório Técnico 788/2018 - Revisão 00, 2018b.

ALBINO J., SUGUIO K. Sedimentation processes and beach morphodynamics active at the Doce River mouth, Espírito Santo State. Brazil An. Acad. Bras. Ciênc., 82(4), 1031-1044, 2010.

BARROSO G. F. Development of an evaluation framework for sustainable bivalve aquaculture: a strategic plan approach in Espírito Santo, Brazil. Tese (Doutorado em Geografia) – University of Victoria, Canadá, 2004.

BONECKER C.C., AOYAGUI A.S.M., SANTOS R.M. The impact of impoundment on the rotifer communities in two tropical floodplain environments: interannual pulse variations. Brazilian Journal of Biology. 2009.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

BRASIL. CONSTITUIÇÃO. Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988.

BRASIL. DECRETO S/N, de 17 de junho de 2010. Dispõe sobre a criação do Refúgio de Vida Silvestre de Santa Cruz, no Estado do Espírito Santo, e dá outras providências. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Dnn/Dnn12648.htm#:~:text=DECRETO%20DE%2017%20DE%20JUNHO,Santo%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs. 2010.

BRASIL. DECRETO Nº 90.222, de 25 de setembro de 1984. Cria, no Estado do Espírito Santo, a Reserva Biológica de Comboios, e dá outras providências.



Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-90222-25-setembro-1984-440496-publicacaooriginal-1-pe.html . 1984>

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE - MS. Portaria de Consolidação Nº 5 de 2017. Consolida as normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de qualidade da água. Brasília. 2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012: estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Brasília. 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Identificação da área atingida pela pluma de rejeitos da Samarco e das principais comunidades pesqueiras

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexos Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

existentes na mesma. Nota Técnica nº 3/2017. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Portaria nº 445 de 17 de dezembro de 2014: lista Nacional das Espécies de Invertebrados Aquáticos e Peixes Ameaçados da Fauna Brasileira Ameaçados de Extinção. Diário Oficial da União nº 245. 2014.

BRUNET C. LIZON F. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2003.

CAMPOS A. P. M. Análise da variabilidade espacial e temporal da pluma do Rio Doce (ES) através de sensoriamento remoto. Dissertação -Mestrado em Oceanografia Ambiental - Universidade Federal do Espírito Santo. 2011.



CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório da Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo – 2019. 2019.

CIF – Comitê Interfederativo. Deliberação nº 58 de 31 de março de 2017, elenca áreas estuarinas, costeira e marinha impactadas como área de abrangência socioeconômica, 2017.

CONAMA. Resolução CONAMA n. 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, 2005, p. 27. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. 2005.

CONAMA. Resolução CONAMA n. 454, de 1º de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materialserdragadoemaguasjurisdicionaisbrasileiras.pdf. 2012.

COPAM. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, 2008, p. 8. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>. 2008.

COPPETEC – Fundação Coppetec. Sobre sedimentos depositados na zona costeira adjacente à foz do rio Doce, após a ruptura da barragem da Samarco em 05/11/2015. P4 – Relatório de Processos Sedimentológicos Conexos Somente ao Rio Doce – Etapa 1, 2020a.



COPPETEC – Fundação Coppetec. Estudo sobre os sedimentos depositados na zona costeira adjacente à foz do rio doce, após a ruptura da barragem de fundão, em 05/11/2015. Programa de Manejo de Rejeitos - Parecer sobre o Rejeito na Área Marinha, 2020b.

COSTA E.S. Geoquímica deposicional de metais e hidrocarbonetos no estuário do canal da passagem (Vitória-es) e no sistema estuarino dos rios Piraquê-Açú e Piraquê-Mirim. 2014.

CRISTIANO, S. C. Análise de Estudos para a Identificação do Nexo Causal de Impactos do Rompimento da Barragem de Fundão – Municípios da Foz do Rio Doce e Litoral Adjacente. Projeto 570BRZ3006. Produto 3 – Aspectos Socioambientais das Novas Áreas/Nexo Causal/Parecer sobre a avaliação de impacto dos estudos. UNESCO, 2020.

CTA - Serviços em Meio Ambiente LTDA. Relatório Final do Monitoramento da Ictiofauna na região marinha adjacente à foz do rio Doce, Linhares/ES. C738-DT19, 2017.

DIAS, C. A.; DA COSTA, A. S. V.; GUEDES, G. R.; UMBELINO, G. J. M.; DE SOUSA, L. G.; ALVES, J. H.; SILVA, T. G. M. Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do rio Doce. Revista Espinhaço, v. 7, n. 1, p. 21-35, 2018.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

ECONSERVATION – Estudos e Projetos Ambientais. Monitoramento de Bioacumulação (Ictiofauna, Carcinofauna e Malacofauna) por Metais na Região Marinha Adjacente à Foz do Rio Doce e sob Possível Influência da Lama de Rejeitos Oriunda do Rompimento da Barragem de Fundão. Relatório Técnico - RT ECV 065/16 - Revisão 00, 2016.

ECONSERVATION – Estudos e Projetos Ambientais. Análise Integrada dos Contornos do Deslocamento das Plumhas de Turbidez no Meio Marinho. Auto de Intimação IEMA nº 12.371/2015. Relatório Técnico – RT ECV 233/16 – Revisão 03, 2017.



ESPÍRITO SANTO. Decreto Estadual nº 4.967-E/1991. Cria o Parque Estadual de Itaúnas e dá outras providências. Disponível em: https://iema.es.gov.br/unidades_conservacao/legislacao. 1991.

ESPÍRITO SANTO. Decreto Estadual nº 7.305-E/1998. Cria a APA de Conceição da Barra que foi instituída pelo decreto nº 1876-R, em 04 de julho de 2007. Disponível em: https://iema.es.gov.br/unidades_conservacao/legislacao. 1998.

FEST - Fundação Espírito-santense de Tecnologia. Anexo 1 - Monitoramento ecotoxicológico dos impactos causados pela lama oriunda do rompimento da barragem de Mariana (MG) em regiões dulcícolas, estuarinas e marinas. RT17 RRDM/NOV19, 2019a.

FEST - Fundação Espírito-santense de Tecnologia. Anexo 3 – Análise abiótica e biótica no Ambiente Marinho Discussão Integrada. Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente. RT-19K RRDM/NOV19, 2019b.

FEST - Fundação Espírito-santense de Tecnologia. Relatório Anual: Integração da Biodiversidade da Zona Costeira. Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente. RT-31 RRDM/NOV19, 2019c.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

FSANZ - FOOD STANDARDS AUSTRALIA NEW ZEALAND. Food Standards Code. Disponível em: <https://www.foodstandards.gov.au/code/Pages/default.aspx>. Acesso em 05 de junho de 2020.

GIERE, O. The Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments. Meibenthology: The Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments. 2009.

GOLDER - Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. Análise da ocorrência da deposição de rejeitos oriundos da barragem de Fundão no ambiente marinho adjacente ao rio Doce. Submetido a Samarco, 2016.

GOLDER - Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. Qualidade da Água e do Sedimento na Zona Costeira Próxima à Foz do Rio Doce e na APA Costa das Algas - Relatório de Janeiro/2018. Relatório Técnico - RT ECV 065/16, 2018.

HEMPEL, G. Early life history of marine fish. The egg stage. University of Washington Press, 1979.



HIDROBIOLOGY. BHP Marine & Coastal Survey at Rio Doce and Rio Jequitinhonha. BHP1804, 2020.

IEMA - INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Monitoramento aéreo da dispersão dos rejeitos de mineração na zona marinha do Espírito Santo, Sudoeste do Atlântico. Nota Técnica DT/Monitoramento Marinho nº 002/2017. 2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. Resumo Executivo Anual. 2019. Disponível em <
<http://200.198.57.118:8080/handle/123456789/3210>>. 2019.

KNOPPERS B., EKAU W., FIGUEIREDO A. G. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. Geo-Marine Letters, 1999

LAMAS, I.; CREPALDI, M.O.; MESQUITA, B. [org.]. Uma rede no corredor: memórias da Rede de Gestores das Unidades de Conservação do Corredor Central da Mata Atlântica /organizadores: Ivana Reis Lamas, Maria Otávia

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Crepaldi e Carlos Alberto Bernardo Mesquita. – Belo Horizonte: Conservação Internacional, 2015

LIBES S. M. Introduction to marine biogeochemistry. Edição 2. Conway, South Carolina. Academic Press. 2009.

LIMA. Manutenção do banco de plântulas em diferentes bosques de mangue na foz do Rio Itaúnas, Conceição da Barra. Dissertação – (Mestrado em Oceanografia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo. 2014.

MAHIQUES M.M., TESSLER M.G. & FURTADO V.V. Characterization of energy gradient in enclosed bays of Ubatuba region, south-eastern Brazil. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 1998.

MARTA-ALMEIDA, M.; MENDES, R.; AMORIN, F.N; CIRANO, M; DIAS, J.M. Fundão Dam collapse: Oceanic Dispersion of River Doce after the greatest Brazilian environmental accident. Marine Pollution Bulletin 112, Issues 1-2: 359-364, 2016.



MIRLEAN N., MEDEANIC S., GARCIA F.A., TRAVASSOS M.P., P. BAISCH P. Arsenic enrichment in shelf and coastal sediment of the Brazilian subtropics. Continental Shelf Research. 2012.

NEVES, S.B. Estrutura da fauna bentônica de rodolitos e sedimento depositados nos recifes lateríticos na Área de Proteção Ambiental Costa das Algas, Aracruz-ES. Dissertação (Mestrado, 2011) - São Mateus: Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

NEWFIELDS. Memorando Técnico. Atualização da avaliação de risco para consumo de pescado proveniente de regiões afetadas pelo rompimento da Barragem de Fundão/MG, 2020.

ODUM E. P. Ecologia. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1983.

PETROBRAS. Relatório final do projeto de caracterização ambiental regional da bacia do Espírito Santo e parte norte da Bacia de Campos (PCR-ES). 2015.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

RÉ P. Ictioplâncton estuarino da Península Ibérica: guia de identificação dos ovos e estados larvares planctônicos. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 1999.

RENOVA – Fundação Renova. Avaliação Técnica - Município de São Mateus, 2019.

RENOVA – Fundação Renova. Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo da Qualidade da Água e dos Sedimentos – PMQQS. Planilha de dados brutos de agosto de 2017 a março de 2020, 2020.

RHAMA - Consultoria Ambiental. Avaliação das Comunidades Afetadas pela Turbidez na Costa do Espírito Santo. Relatório Consolidado – Produto Final, 2019.



SÁNCHEZ, L.E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. 2º edição, Oficina de Textos – SP, 2013.

SÁNCHEZ, L.E.; ALONSO, L.; BARBOSA, F.A.R.; BRITO, M.C.W.; LAUREANO, F.V.; MAY, P.; KAKABADSE, Y. Uma estrutura de avaliação dos impactos ambientais e sociais de desastres. Garantindo a mitigação efetiva após o rompimento da Barragem de Fundão. Painel do Rio Doce Questões em Foco Nº 4. Gland, Suíça: UICN, 2019.

SILVA, E.D.O. Evolução Espaço-Temporal Do Manguezal Do Estuário Do Rio São Mateus Empregando Técnicas De Sensoriamento Remoto. Dissertação De Mestrado Em Geografia. Universidade Federal do Espírito Santo. 2010

SOUZA, I.C. Avaliação integrada da poluição em dois estuários do Espírito Santo, Brasil, por meio de biomarcadores e análises químicas no ambiente e em *Centropomus parallelus*, 1860. Dissertação (Mestrado, 2011) - São Carlos: UFSCAR, 2012.

TEIXEIRA, B.A.C. Estrutura da fauna bentônica de duas praias do norte do Espírito Santo. Dissertação (Mestrado, 2011) - São Mateus: Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



TETRA TECH. Estudo e investigação das alterações dos parâmetros de qualidade da água na região de Degredo, Linhares - ES. Relatório Técnico - O19043-MOG-00, 2019.

UFES - Universidade Federal do Espírito Santo. 2016. Processamento, Interpretação e Consolidação de Dados da área Estuarina e Marina na Foz do Rio Doce - ES. Terceiro Relatório Vitória. 2016.

UNESP, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Tipos de Revisão de Literatura. Biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Physical Status: the use and interpretation of anthropometry. (WHO Technical Report Series, n. 854). Geneva, Switzerland. 1995.

ZON, C. Influência de drenagem sobre solos orgânicos e parâmetros de qualidade de água. estudo de caso: "Vale do Suruaca" delta do rio Doce. Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental, UFES, 153 p, 2008.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

9. Anexos

9.1. Anexo 1 - Resumo dos Estudos Utilizados

Os anexos apresentam um resumo dos textos utilizados como referência para a avaliação dos impactos socioambientais. Estas referências foram estabelecidas e fornecidas pela Fundação Renova para a produção do presente estudo.

Quadro 10 - Informações apresentadas no Estudo da APLYSIA (2018)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	Costa brasileira, em oito locais de amostragem desde o RS até RN, sendo: Rio Grande (RS), Santos (SP), Niterói (RJ), Guarapari, Vitória, Jacaraípe (ES), Caravelas (BA), Natal (RN).	Foram analisados os peixes pescada e curvina, e os camarões sete-barbas e rosa, eventualmente substituídos pelas espécies mais consumidas na região, desde que predadoras.
OBJETIVO	Avaliar os níveis dos metais cádmio e chumbo e do semi metal arsênio bioacumulados em peixes e crustáceos disponíveis nos mercados ao longo da costa brasileira e amplamente consumidos pela população.	
PÚBLICO ALVO	Não se aplica	
PERÍODO	Coletas em agosto e setembro de 2018	
TEMAS	Concentrações de As, Cd e Pb em tecidos de peixes e crustáceos utilizado para o consumo humano	
METODOLOGIA	Foram utilizados 6 exemplares dos peixes pescada e curvina, e 2 kg de camarões sete-barbas e rosa, para compor 6 amostras. Estas espécies, disponíveis nos mercados do litoral foram eventualmente substituídas pelas mais consumidas na região, desde que predadoras. Foram medidos níveis de cádmio, chumbo, e arsênio bioacumulados.	

	INFORMAÇÃO	OBS
	Resultados foram comparados com padrões estabelecidos na Resolução ANVISA nº 42/2013, critérios internacionais conforme Codex Alimentarius (WHO, 1995) e Código de Padrões Alimentares (FSANZ).	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<p>As: Arsênio detectado em todas as amostras, em concentrações elevadas e acima dos limites nos tecidos de peixes (mais frequentemente em curvina) e de crustáceos Das 114 amostras, 50% estiveram em desacordo com padrões de qualidade para consumo humano (Res ANVISA nº 42/2013), com destaque para crustáceos, com 92% de desconformidades e violações em todas as amostras. Apenas em Caravelas não foram registradas desconformidades em peixes.</p> <p>Ressalta-se que altos valores de arsênio total não necessariamente representam risco à saúde humana, já que não se diferencia a fração orgânica da inorgânica, tóxica. Neste sentido a ANVISA recomendou (ANVISA. NT nº 96/2016) a avaliação do arsênio inorgânico quando detectado arsênio total acima do limite estabelecido. De acordo como o laudo apresentado no apêndice do estudo, os resultados dos estudos de especiação apontam concentrações da fração inorgânica em conformidade com Código de Padrões Alimentares (FASNZ), para todas as amostras, sendo a maior parte abaixo do nível de detecção (< 0,01 mg/kg PU).</p> <p>Cd: Cádmio detectado em amostra em Natal com valores acima do limite estabelecido pela ANVISA (0,05mg/kg PU), tendo-se detectado concentrações de 0,0555mg/kg PU.</p>	<p>Foram utilizados os padrões estabelecidos pela Resolução ANVISA nº 42/2013; <i>Codex Alimentarius</i> (WHO, 1995) e Código de Padrões Alimentares (FOOD STANDARDS AUSTRALIA NEW ZEALAND - FASNZ). Utilizou-se ainda para controle o Padrão de Referência Internacional NIST NRC DORM4 (National Institute of Standards and Technology).</p> <p>No que se refere a As inorgânico, 0,3µg de arsênio por quilo de peso corporal por dia (ou 0,003 mg/kg) é o limite referido pela ANVISA (NewField, 2020), valor muito abaixo do limite de detecção utilizado.</p>

Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas



	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>Pb: Chumbo em concentrações acima do limite foi encontrado em amostras de peixes em Rio Grande (RS), Niterói (RJ) e Guarapari (ES), sendo, respectivamente, 0,417 mg/kg PU; 0,971 e 0,719 mg/kg PU e 0,595 mg/kg PU. Limite estabelecido pela ANVISA é de 0,3 mg/kg PU</p>	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	Não há informações relacionadas ao pré evento	
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<p>Sob o aspecto regulatório não há diferença entre os níveis de metais nos peixes no ES em relação ao restante da costa brasileira.</p> <p>Arsênio está presente em concentrações elevadas em todos os locais de amostragem e mas a análise da fração inorgânica, tóxica, resultou dentro de padrões internacionais (FSANZ).</p> <p>Chumbo esteve desconforme em três localidades, sem relação direta com a zona de proibição de pesca</p>	<p>Jacaraípe e Guarapari são as localidades mais próximas da área de proibição de pesca, que não teve amostragem. Amostras de PB acima do limite foram detectadas em Guarapari.</p> <p>Análise de As inorgânico pouco clara, com limites de detecção que não atendem à referência da ANVISA.</p>

Quadro 11 - Informações apresentadas no Parecer de Lowney (Aplysia, 2018b)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	Rio Doce e áreas costeiras adjacentes	
OBJETIVO	<p>Avaliação da necessidade de proibição da pesca no rio Doce e na região costeira adjacente, com base em 15 estudos já consolidados e 3 complementares.</p> <p>Tem por objetivo avaliar se esses estudos fornecem subsídios suficientes para confirmar a necessidade de continuar a proibição da pesca em função do rompimento da barragem e do percurso da pluma ao longo do rio Doce.</p> <p>Em geral, os resultados são comparados aos níveis máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos estabelecidos no Decreto 55.871/1965 da Anvisa e em níveis de classificação de risco ("risk-based screening levels" - RSL) da EPA.</p>	
PÚBLICO ALVO	Pescadores e consumidores de pescado	
PERÍODO	Depende do estudo considerado. O mais antigo, com informações pré-rompimento, abrange o período entre 2011 e 2015 (Relatório.Aplysia.245.2017.rev00-1, 16/10/18). Os demais envolvem informações pós-rompimento, após dezembro de 2015 até 2017.	
TEMAS	Contaminação de pescados, riscos para consumo humano, proibição da pesca.	
METODOLOGIA	A manifestação técnica foi construída exclusivamente a partir de estudos existentes, disponibilizados pela Fundação Renova ou produzidos pela Aplysia.	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<p>Nas imediações da foz e na zona costeira a maior preocupação está relacionada ao risco de consumo de pescado para a saúde humana.</p> <p>O processo formal de avaliação de riscos envolve a realização de uma análise</p>	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>detalhada dos contaminantes e exposições para a população-alvo, bem como avaliação de risco combinando as informações de exposição com as informações de toxicidade para contaminantes considerados preocupantes.</p> <p>As informações nos estudos disponíveis são consideradas limitadas para a zona de proibição de pesca e não fornecem base suficiente para recomendações relativas à proibição da pesca nestas áreas. No entanto, algumas suposições podem ser feitas sobre os níveis prováveis de consumo de peixe.</p> <p>Os dados do relatório da Econservation (2016) foram comparados aos níveis de classificação de risco ("risk-based screening levels" - RSL) da EPA e aos critérios de tecido de peixe determinados pela Anvisa. Os resultados sugerem que as concentrações de metais nos peixes não excedem os riscos ou os níveis regulatórios de preocupação. Uma clara exceção refere-se à concentração relatada de arsênio em peixes e camarões.</p> <p>A maioria dos estudos que trata do arsênio no tecido de peixes no rio Doce e zona costeira adjacente apresenta concentrações inferiores aos limites legais. Em peixes e outros organismos marinhos, pode ser encontrado um nível significativo de arsênio, mas a maioria está na forma orgânica que é considerada atóxica. Dessa forma, é esperada que uma fração pequena do arsênio esteja presente nas formas inorgânicas, considerada preocupante, nos tecidos comestíveis de frutos do mar. Assim, é razoável supor que esse elemento presente em peixes e mariscos da área não excedam os limites que possam causar riscos à saúde.</p>	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	<p>Sim, principalmente o Relatório.Aplysia.245.2017.rev00-1, 16/10/18, anteriormente mencionado.</p>	

	INFORMAÇÃO	OBS
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<p>Em conjunto, a coleção de estudos disponíveis não fornece uma base suficiente para recomendar o banimento da pesca na foz do rio Doce e na zona costeira adjacente.</p> <p>Os trabalhos apresentados relatam resultados contraditórios e há limitações significativas.</p> <p>Em decorrência, não é possível fazer uma análise crítica do risco de saúde associado ao consumo de pescado.</p> <p>Nesse conjunto, embora com algumas limitações sobre locais de amostragens, destaca-se o trabalho da Econservation (2016), que fornece informações para estimar preliminarmente os riscos potenciais para a saúde. Neste, são apresentadas discussões que colocam os resultados observados no contexto da literatura disponível sobre metais em peixes e moluscos.</p> <p>No entanto, as conclusões desse estudo deveriam ser confirmadas para um período maior de tempo, focando especificamente na verificação da necessidade ou não do banimento da pesca visando proteger as pessoas da exposição resultante da ruptura da barragem de Fundão.</p>	

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				



Quadro 12 - Informações apresentadas no Parecer de Furley (Aplysia, 2018b)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	Abrange trabalhos realizados na zona costeira e marinha adjacente ao rio Doce, sendo que a extensão da área depende do estudo avaliado. Os dados de bioacumulação provenientes na bacia do rio Doce serviram como indicativos de origem de eventuais contaminantes.	
OBJETIVO	Visa obter as seguintes respostas referentes ao banimento da pesca (fevereiro/2016) entre Barra do Riacho (Aracruz/ES), até Degredo/Ipiranguinha (Linhares/ES): 1) Se há justificativa sob o ponto de vista ambiental e de risco a saúde humana para a manutenção da área de proibição da pesca. 2) Se o consumo próprio do pescado oferece risco à saúde humana. 3) Se os estudos disponíveis são suficientes para responder a estas questões.	
PÚBLICO ALVO	Genérico, inclui pescadores, que é classe de maior interesse.	
PERÍODO/TEMAS	<p>a) Bioacumulação</p> <p><u>Ambiente Marinho e Costeiro</u>: Universidade Federal do Rio Grande (FURG, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017, 2018) realizou 8 campanhas de monitoramento entre out/2015 e início/2018. Econservation (2016) conduziu 8 campanhas semanais após a chegada da pluma entre dez/2015 e fev/2016.</p> <p><u>Rio Doce</u>: estudo de acumulação de metais em peixes em períodos pré e pós passagem da pluma (BIOMA, 2016), sem reportar claramente os períodos de amostragem.</p> <p>APLYSIA realizou campanha em 8/11/2015 para avaliar bioacumulação de série de metais e As em bivalve de água doce (<i>Corbicula</i>) – permitiu comparação com a campanha de maio/2017, pós pluma.</p>	Em agosto de 2016, a Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri realizou avaliação da contaminação (As, Cd, Pb e Hg) em 14 peixes coletados na região do médio rio Doce (UFVJM, 2017), mas os dados não foram considerados pela limitação do método.

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>Entre out/2017 a abril/2018 a Fund. Renova consolidou a avaliação de metais e arsênio em peixes (268 indivíduos) coletados ao longo do rio Doce em 30 pontos de Barra Longa/MG a Linhares/ES.</p> <p>b) Testes Ecotoxicológicos</p> <p>Foram consolidados 3.607 mil testes entre nov/2015 a dez/2016 com amostras coletadas ao longo do rio Doce (Aplysia, 2017a).</p> <p>c) Comunidade Bentônica</p> <p>Realizou-se consolidação de laudos de laboratório entre nov/2015 a jan/2017 (Aplysia, 2017) – rio Doce.</p> <p>d) Estoque Pesqueiro</p> <p>Realizado estudo de acústica em 3 campanhas entre maio/2017 a março/2018 no rio Doce (Hydrobiology, 2018).</p> <p>e) Monitoramento da Ictiofauna</p> <p>Estudo na região marinha adjacente à foz do rio Doce, com 13 campanhas entre abril/2016 e abril/2017, com base nos resultados da deposição dos sólidos sedimentáveis provenientes da pluma de turbidez (CTA, 2017).</p> <p>f) Sistema Praial</p> <p>Realizadas três campanhas entre nov/2015 e jan/2016, com ensaios ecotoxicológicos e avaliação ecológica da macrofauna bentônica na região da Rebio Comboios (Aplysia, 2016).</p>	
TEMAS	Avaliação da qualidade do pescado. Bioacumulação e Ecotoxicidade	
METODOLOGIA	A manifestação técnica foi construída exclusivamente a partir de estudos existentes, disponibilizados pela Fundação Renova ou produzidos pela Aplysia. A análise abrangeu aspectos relativos ao consumo humano (ênfase nos ambientes estuarino e marinho) e aspectos ambientais.	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<p>a) Bioacumulação</p> <p><u>Ambiente costeiro e marinho:</u> antes da chegada da pluma (out/nov/2015), os valores das amostras de peixes encontravam-se em</p>	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>níveis relativamente baixos para a maioria dos parâmetros analisados.</p> <p>Em jan/2016, após a chegada da pluma na costa, a maioria dos resultados excederam os padrões de consumo humano para As, Cd e Pb (FURG, 2016b). Porém, levantamentos realizados para avaliação de As pela Aplysia na costa capixaba (2007/2015) já indicavam níveis superiores ao padrão de qualidade para consumo humano (18% das amostras em peixes e 65% em moluscos).</p> <p>Em abril/2016, 99% das amostras estiveram em conformidade, evidenciando expressiva redução na concentração dos metais ao longo de cinco meses (FURG, 2016c).</p> <p>Na campanha de verão 2017-2018 (FURG, 2018), observou-se declínio nos valores de Cd e Cr para patamares similares ou inferiores aos padrões de qualidade e manutenção dos demais elementos inorgânicos em conformidade com os padrões, e similaridade nos valores obtidos dentro e fora da área de proibição de pesca.</p> <p><u>Bacia do Rio Doce:</u></p> <p>Concentrações de Cr em molusco bivalve de água doce (<i>Corbicula</i>) em diferentes pontos do rio Doce estavam em desacordo com o padrão de qualidade tanto em momento anterior quanto posterior (maio/2017) à passagem da pluma (APLYSIA,2017d).</p> <p>b) Ictiofauna</p> <p>O monitoramento na região marinha adjacente à foz do rio Doce, entre abril/2016 e abril/2017, em pontos da deposição dos sólidos sedimentáveis proveniente da pluma de turbidez, apontou para o reestabelecimento da abundância de peixes na região.</p> <p>Porém, há possível efeito da presença do rejeito sobre a riqueza de espécies, já que os valores, embora não significativos, foram relativamente maiores na área sem deposição de rejeitos (CTA, 2017).</p> <p>c) Sistema Praial</p> <p>As três campanhas ocorridas entre nov/2015 e jan/2016 (REBIO Comboios), conforme Aplysia (2016), resultou na ausência de</p>	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>ecotoxicidade aguda para anfípodas e ausência de ecotoxicidade crônica para embriões de ouriço do mar, indicando que a água superficial, coletada próxima à praia e o sedimento não apresentaram potencial de causar efeitos a estes organismos.</p> <p>A permanência da pluma de turbidez causou alteração sobre a comunidade bentônica, com redução no número de espécies e indivíduos em dez/15 e jan/16, possivelmente em resposta à presença física do material depositado no espaço intersticial do sedimento (APLYSIA, 2016).</p>	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	Sim - tanto no ambiente marinho quanto na bacia do rio Doce.	
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<p>1. Quanto à manutenção da área de proibição de pesca, esta pode ser mais bem fundamentada com a realização de avaliação de risco à saúde humana, considerando análises químicas mais atuais e a delimitação de um cenário de exposição compatível com as características regionais (consumo de peixes da população local).</p> <p>Sob o aspecto ambiental, os estudos ecotoxicológicos indicaram ausência de efeitos agudos na água e baixa incidência de efeitos crônicos sobre as comunidades aquáticas decorrentes da passagem da pluma.</p> <p>Há potencial efeito físico em condições eventuais pelo incremento de sólidos na água (organismos filtradores) e/ou sua deposição na região estuarina (organismos bentônicos).</p> <p>Os resultados das comunidades bentônicas e ictiofauna no rio Doce, bem como da produtividade primária, apontam para um cenário favorável ao reestabelecimento das comunidades de peixes e demais pescados.</p> <p>2. Os estudos realizados até aquele momento eram insuficientes para uma resposta segura sobre se o consumo próprio do pescado oferece risco à saúde humana.</p> <p>3. Os estudos disponíveis são suficientes para responder estas questões? A autora propõe a realização de uma avaliação de risco específica, empregando dados atuais e consistentes, para nortear a questão.</p>	



	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

**Quadro 13 - Informações apresentadas no Estudo da COPPETEC
(2020a, b)**

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	Zona costeira adjacente à foz do rio Doce, englobando os municípios de Vitória, Linhares e São Mateus.	
OBJETIVO	Analisar quantitativamente a dispersão e a deposição de sedimentos finos na zona costeira adjacente à foz do rio Doce, através de modelagens computacionais hidrossedimentológicas.	
PÚBLICO ALVO	Fundação Renova, em conformidade com considerações do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo, IEMA-ES.	
PERÍODO	Entre 10/11/2015 e 30/06/2019, compreendendo 3 anos e 8 meses, aproximadamente.	
TEMAS	Análise da circulação hidrodinâmica; Análise dos processos sedimentológicos; Apresentação e aspectos técnicos do modelo utilizado (SisBaHiA- Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental); Apresentação dos cenários de modelagem e dos dados utilizados nas análises; Detalhamento metodológico da quantificação por amostragem (a ser realizada na Fase seguinte);	
METODOLOGIA	Utilizou-se o sistema computacional SisBahia para a realização das análises e quantificação dos processos sedimentológicos.	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	O estudo apresenta resultados da modelagem computacional da propagação dos sedimentos no oceano Atlântico, próximo à foz do rio Doce. Para a finalidade da modelagem, a carga de sedimentos trazidas pelos	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>demais rios e pelas correntes através das fronteiras marítimas é nula.</p> <p>Difícilmente há transporte de sedimentos da foz do Rio Doce para mais do que 100 km ao norte, já que os momentos de padrões de circulação dominante para o Norte são menos muito frequentes do que para Sul;</p> <p>Praticamente todos os depósitos de sedimentos (deposição de lama inconsolidada) com alturas acima de um milímetro ficam ao Sul da latitude de Linhares.</p> <p>Plumas de SST com concentrações baixas (de 10 a 100 mg/L) são as mais frequentes, ocorrendo em pouco menos de 40% do tempo;</p> <p>Plumas de SST com concentrações médias (de 100 a 500 mg/L) são menos frequentes, ocorrendo em 12% do tempo;</p> <p>Plumas de SST com concentrações altas (de 500 a 1.000 mg/L) são pouco frequentes, ocorrendo em menos 1% do tempo;</p> <p>A título de esclarecimento e entendimento da seleção de faixas considera-se que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Águas límpidas transparentes tem SST < 10 mg/L. • Águas típicas de estuários com amplas bacias hidrográficas tem SST < 100 mg/L em épocas de estiagem. • Águas típicas de estuários com amplas bacias hidrográficas tem SST entre 100 e 500 mg/L em épocas de chuvas, podendo apresentar SST > 1000 mg/L em picos de vazão de grandes enchentes. • Águas barrentas usuais tem SST entre 500 e 1000 mg/L. • Águas muito barrentas tem SST acima de 1.000 mg/L. Por exemplo, cita-se o rio Madeira na bacia Amazônica que, na época de cheia, pode ultrapassar 3.000 mg/L. O rio 	

	INFORMAÇÃO	OBS
	Amazonas, próximo a Macapá, chega a apresentar SST > 1.000 mg/L entre janeiro e abril.	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	Compara concentrações de SST médias de medições/dia e valores previstos pela curva chave do CPRM.	
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<ul style="list-style-type: none"> • Nos primeiros 90 dias (meados de nov/15 a meados de fev/16), há contribuição do material fino do rejeito devido à ruptura da barragem de Fundão. • Os resultados da simulação realizada indicam pouca sedimentação para além de 5 km do norte da foz. • Para mais de 70 km ao sul da foz, a camada sedimentada seria de poucos milímetros, o que praticamente inviabiliza qualquer medição confiável em ambiente marinho usualmente agitado. • Destaca-se que a modelagem realizada considera processos sedimentológicos completos, com eventos de ressuspensão. • Por conta disso, os sedimentos que vem sendo depositados desde novembro de 2015 têm sido remobilizados e espalhados, reduzindo ao longo do tempo a espessura mensurável. • Os autores recomendam dar continuidade ao estudo através da Fase 2, Quantificação por Amostragem, para a qual se apresenta um detalhamento metodológico completo. 	

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Quadro 14 - Informações apresentadas no Estudo de CRISTIANO (2020)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	Novas Áreas, inseridas nos municípios de Conceição da Barra, São Mateus, Linhares, Aracruz, Fundão e Serra (Deliberação CIF 58/17)	Embora descreva algumas situações relativas à bacia do rio Doce como um todo.
OBJETIVO	Relacionar as causas e efeitos entre o rompimento e as condições socioambientais das Novas Áreas e apresentar um parecer acerca da avaliação de impactos contida nos estudos analisados. Atualização das análises dos estudos, <i>ante et post</i> rompimento da barragem de Fundão, apresentando aspectos socioambientais das áreas estuarinas, costeiras e marinhas. Considera os impactos socioambientais e biofísicos e busca trazer a relação de nexos causal com o evento.	escopo inserido no projeto "Construção da paz e do diálogo para o desenvolvimento sustentável das regiões atingidas pela barragem de Fundão: fortalecendo a capacidade institucional e de implementação de ações da Fundação Renova".
PÚBLICO ALVO	Consolidação de informações para a Fundação Renova	Base para planejamento de ações de gestão
PERÍODO	Informações pré e pós evento, disponíveis na amostra de vários estudos analisados	
TEMAS	Avaliação do nexos causal dos impactos socioambientais e biofísicos gerados pelo rompimento da barragem de Fundão. Subsidiar a Gestão Socioambiental relacionada à situação com base na presente caracterização	
METODOLOGIA	Avaliação teórica-conceitual sobre impactos ambientais, nexos causal e outros conceitos associados. Estruturação do diagrama ou redes de interação apresentando as relações sequenciais e cíclicas de causas e efeitos (cadeias de impacto) a partir de uma ação impactante, no caso, a dispersão da pluma de rejeitos nas Novas Áreas.	

	INFORMAÇÃO	OBS
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<p>Discussão conceitual sobre sistemas e o paradigma da complexidade, causalidade e nexa causal, como conceitos abarcados no princípio da precaução.</p> <p>Diagramas de interação ou redes que permitem o entendimento das relações entre as ações e os impactos resultantes, sejam eles diretos ou indiretos, significativos ou de baixa significância.</p> <p>Resultados dos estudos analisados.</p> <p>Relação de nexa causal dos impactos socioambientais e biofísicos levantados.</p> <p>Subsídios para a Gestão Socioambiental.</p>	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	<p>Informações pré e pós evento, disponíveis na amostra de 36 estudos analisados.</p>	
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<p>Estudos anteriores a 2015 mostraram que as Novas áreas vem sofrendo com atividades antropogênicas desordenadas.</p> <p>As condições socioeconômicas anteriores ao rompimento da barragem apresentavam problemas devido à uma série de fatores, além disso, os municípios possuem diferentes características econômicas e sociais. Os impactos do rompimento da barragem de Fundão podem ter contribuído para alterações profundas nos ecossistemas costeiros, já fragilizados, e conseqüentemente na vida da comunidade local. Ou seja, a chegada da pluma de rejeitos somou-se às causas estruturais, históricas e ambientais preexistentes.</p> <p>Foram identificados impactos biofísicos (3) e sociais (2) mais diretamente relacionados ao rompimento da barragem, e impactos resultantes de processos de</p>	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>causalidade cumulativa, biofísicos (3) e sociais (6).</p> <p>Os estudos, em grande parte, são baseados em modelagens ou indicam provável ligação com os metais do rejeito, ou seja, expressam probabilidade.</p> <p>Dentre os impactos identificados (preliminarmente) como relacionados ao rompimento da barragem de Fundão nas Novas Áreas, o mais consolidado refere-se à percepção do risco de contaminação ambiental, impacto social ligado às relações com o ambiente biofísico e seus serviços ecossistêmicos.</p> <p>Sobretudo, a situação de contaminação ambiental e a existência ou não de riscos (Kairós, 2019), baseado em análises de risco à saúde humana e de bioacumulação.</p> <p>Base para os estágios subsequentes de um processo para um programa de Gestão Costeira Integrada para o desenvolvimento sustentável.</p>	

Quadro 15 - Informações apresentadas no Estudo da CTA (2017)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA ABRANGÊNCIA DE	A malha amostral abrangeu a região costeira e litorânea em um raio de até 20 km da foz do Rio Doce, município de Linhares, ES.	
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> • Monitorar as alterações na estrutura das comunidades de ictioplâncton, carcinofauna e ictiofauna; • Analisar alterações espaciais e temporais na estrutura das comunidades; • Identificar fatores ambientais determinantes na estruturação das comunidades; • Propor ações de mitigação de impacto. 	
PÚBLICO ALVO	IBAMA, atendimento à notificação Nº 678309-E.	
PERÍODO	De abril/2016 a abril/2017. Foram realizadas 13 campanhas mensais.	
TEMAS	Avaliação do impacto decorrente do rompimento da barragem de resíduos; conservação da biodiversidade marinha.	
METODOLOGIA	<p>Foi constituída uma malha amostral de 9 pontos de coleta, distribuídos em praia e zona costeira e em diferentes distâncias à foz do rio Doce.</p> <p>Foram utilizadas diferentes redes de arrasto para as coletas de diferentes grupos biológicos e tomadas amostras de água e sedimento para análises abióticas.</p> <p>Foram calculados parâmetros de comunidade como riqueza, densidade, equitabilidade, diversidade e similaridade. Os resultados foram comparados através de testes estatísticos e análises de ordenação multivariada.</p>	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<ul style="list-style-type: none"> • Inventário da ictiofauna (120 táxons de 53 Famílias), carcinofauna (32 táxons de 18 	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>famílias) e ictioplâncton (51 táxons de 34 famílias);</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quantificação dos táxons e análise da distribuição espacial e temporal dos parâmetros da comunidade; • Para os três grupos ocorreram variações significativas entre as campanhas e as áreas amostradas; • Segundo os autores, as comunidades de peixes e crustáceos estão recuperadas em termos de abundância e com elevada riqueza. 	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	Não.	São feitas comparações com estudos anteriores, mas não necessariamente nos mesmos pontos de coleta ou metodologia.
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<p>A riqueza de peixes e crustáceos foi considerada alta;</p> <p>A abundância de peixes e crustáceos foi considerada compatível com a de estudos anteriores;</p> <p>Reportaram-se evidências de que a presença de sedimentos provenientes do rompimento da barragem afeta a distribuição dos peixes que preferem as áreas com pouca ou nenhuma deposição;</p> <p>As variações temporais encontradas entre as campanhas foram atribuídas a causas naturais;</p> <p>Registrou-se a presença de espécies raras e ameaçadas;</p> <p>É recomendada a continuidade do monitoramento.</p>	

Quadro 16 - Informações apresentadas no Estudo da ECONSERVATION (2016)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA ABRANGÊNCIA DE	Zona costeira do Estado do Espírito Santo, nos municípios de São Mateus, Linhares e Aracruz. Especificamente, foram consideradas as regiões de Regência, Barra Seca, Barra Nova, Barra do Riacho e Santa Cruz.	
OBJETIVO	Avaliar a concentração de 15 elementos-traço nos tecidos musculares de espécies de peixes, camarões e ostras de consumo humano.	
PÚBLICO ALVO	Não especificado.	Aparentemente, o documento destina-se ao corpo técnico das entidades envolvidas com o processo de recuperação da bacia do Rio Doce e/ou órgãos ambientais oficiais.
PERÍODO	O estudo compreende 8 campanhas semanais, entre 14 de dezembro de 2015 e 05 de fevereiro de 2016.	
TEMAS	Acumulação de elementos traço em organismos aquáticos de consumo humano e seu potencial de toxicidade.	
METODOLOGIA	Foram analisadas 26 espécies de peixes, uma espécie de camarão e uma de ostra. Amostras de peixes e camarões foram coletadas com redes de espera e redes de arrasto, ostras foram coletadas manualmente. A preparação das amostras e a determinação analítica seguiram os procedimentos da USEPA (1994; 2000). Os dados foram tratados, temporal e espacialmente, através de testes estatísticos. Os resultados foram comparados com os limites da legislação brasileira para concentrações máximas permitidas para consumo de pescados (Decreto	

	INFORMAÇÃO	OBS
	nº 55.871/1965 e Resolução RDC Nº 42/2013-ANVISA).	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<ul style="list-style-type: none"> Ocorreu alta frequência de concentrações de Arsênio, Selênio e Zinco (o último, apenas em ostras) acima do limite tolerável para consumo humano. No entanto não é possível confirmar se estas seriam prejudiciais à saúde humana pois a legislação do país não especifica o limite de arsênio para frações orgânicas ou inorgânicas (mais tóxicas) e para o selênio não estabelece um limite específico para o pescado, apenas para os alimentos em geral; Para Ferro, Bário, Cobalto, Manganês e Prata não existem limites legais estabelecidos mas, em comparação com dados da literatura, os valores obtidos mostraram-se compatíveis com os descritos em outros estudos; Para o Cádmiio, Cromo, Chumbo, Cobre, Mercúrio e Níquel as concentrações registradas estiveram em conformidade com o limite legal; Em termos espaciais, vários elementos mostraram diferenças significativas entre as regiões. No caso das ostras: Al, Cu e Ni. Em camarões e peixes: sete dos 15 elementos analisados mostraram concentrações significativamente diferentes entre as regiões. 	Na análise espacial, não é discutido se os locais que apresentaram as maiores concentrações de metais-traço nos organismos coincidem com as regiões mais afetadas pela pluma de rejeitos.
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	Não	São feitas comparações com estudos anteriores, mas não necessariamente na mesma região.

	INFORMAÇÃO	OBS
<p>PRINCIPAIS CONCLUSÕES RECOMENDAÇÕES</p> <p style="text-align: center;">E</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Os elementos arsênio e selênio merecem atenção especial por terem sido encontrados em concentrações elevadas na maioria das amostras e, mais especialmente, em camarões; • Não foi verificada tendência de bioacumulação ao longo do tempo; • Em 25 amostras de ostras, os teores de zinco ultrapassaram o limite estabelecido na Legislação; • O estudo recomenda a continuidade do monitoramento, devido: i) ao curto período de tempo monitorado, ii) ao fim do monitoramento, a região do estuário do Rio Doce se mantinha afetada pela elevada turbidez em decorrência da pluma, iii) necessidade de estimar separadamente as frações orgânicas e inorgânicas dos elementos analisados, visto que estas têm toxicidades diferentes. 	



Quadro 17 - Informações apresentadas no Estudo da FEST (2019a)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	Porção capixaba do rio Doce, rio Guandu, lagoas costeiras, região marinha e costeira adjacente e Abrolhos.	
OBJETIVO	<p>Investigar os efeitos causados pela exposição aguda e crônica ao sedimento e à água de regiões dulcícolas, estuarinas e marinhas, através de ensaios de toxicidade.</p> <p>Determinar as concentrações de metais na água, no sedimento e em organismos dulcícolas, estuarinos e marinhos de diferentes níveis da cadeia trófica, incluindo avifauna.</p> <p>Analisar biomarcadores de exposição e efeito de metais em organismos dulcícolas, estuarinos e marinhos de diferentes níveis da cadeia trófica.</p> <p>Avaliar a composição da microbiota e detectar bioindicadores de impactos ambientais no sedimento e na água, incluindo Abrolhos.</p>	
PÚBLICO ALVO	Comunidade em geral	
PERÍODO	Foco nas campanhas realizadas em 2018 e 2019	
TEMAS	Qualidade da água de sedimentos, bioacumulação, ecotoxicidade, marcadores.	
METODOLOGIA	Coleta de amostras de água e sedimento, análise de parâmetros físico-químico da água, ensaios ecotoxicológicos com amostras de água e sedimentos, coleta de amostra de biota, análise das concentrações de metais nas amostras de água, sedimentos e biota, análise de biomarcadores em amostras de plâncton, invertebrados e peixes	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<p>Realizadas duas campanhas C1/seca (set/out/2018) e C2/chuva (jan/fev/2019) no âmbito do PMBA – Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, sendo 10 pontos em água doce, 25 amb. marinho, 10 em amb. praial, 8 regiões em manguezal, 3 regiões da costa para Aves – e corais em Abrolhos</p> <p>Em ambas as campanhas os resultados de metais na água de ambientes dulcícolas nos pontos monitorados estiveram, em geral, de acordo com os padrões da Resolução Conama 357/05 (classe 2). Apenas algumas amostras da lagoa do Areão</p>	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>e lagoa Monsarás apresentaram concentrações de Mn ou Cd acima do limite da legislação.</p> <p>Sedimentos na calha do rio Doce mantêm concentrações de Cr e Mn mais elevadas. Em geral, os maiores valores de concentração para a maioria dos metais nos sedimentos foram encontrados nos pontos rio Doce em Linhares e nas lagoas próximas à foz.</p> <p>Os teores de As, Cd, Cu, Fe e Mn no plâncton persistem mais elevados em relação ao momento anterior à chegada do rejeito, nos trechos inferiores do rio Doce e também nas lagoas. O mesmo ocorre com as concentrações de metais bioacumulados nas larvas de quironomídeos. Para camarões, os resultados de bioacumulação indicam maiores valores de As, Cd, Cr e Fe também nos pontos mais próximos à foz e lagoa do Areão.</p> <p>Pode-se destacar que os níveis de Fe em quironomídeos e camarões coletados no ponto rio Doce - Foz estão superiores aos valores máximos de Fe encontrados em camarões da mesma Família coletados em outros estudos desenvolvidos em ambientes impactados.</p> <p>A comunidade de peixes mostrou maiores níveis de As, Fe e Mn, para os organismos coletados na foz do rio Doce, tanto o grupo I (maior tendência à onivoria/herbivoria) e do grupo II (maior tendência à carnivoria).</p> <p>Os principais efeitos observados na biota aquática da porção capixaba da bacia foram evidenciados pelo aumento nos níveis de danos em macromoléculas, especialmente a lipoperoxidação (LPO) e danos em DNA, e pelo aumento no conteúdo de metalotioneínas (MT), também nos mesmos ambientes próximos à foz.</p> <p>O aumento na pluviosidade pode levar à remobilização de material sedimentado nas margens do rio Doce e maior transporte fluvial de material continental, incluindo contaminantes (Fabricius, 2005).</p> <p>A bioacumulação de metais em comunidades planctônicas que servem de alimento para larvas e juvenis de crustáceos e peixes representa um elo entre a contaminação da água e a contaminação em níveis tróficos superiores, como camarão sete barbas e o camarão rosa.</p>	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>O Fe, metal que se destaca no quadro de componentes associados ao rompimento da barragem, apresentou seus maiores níveis em camarões coletados na estação chuvosa com distribuição espacial fortemente associada à foz do rio Doce, mesmo comportamento observado para peixes.</p>	
<p>TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?</p>	<p>O IEMA realizou 2 campanhas (nov/15) de qualidade da água antes da chegada da pluma e uma para testes de metais em plâncton, todas em ambiente dulcícola. No ambiente marinho menciona-se Bianchini <i>et al.</i>, 2016; Bianchini, 2019.</p>	
<p>PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</p>	<p>Os metais nas águas e nos sedimentos em ambientes dulcícolas apresentaram-se em conformidade com a legislação, tendendo a ter maiores concentrações nos trechos de jusante do rio Doce e nas lagoas, que são ambientes mais estáveis, com menor profundidade e volume de água.</p> <p>Levando em consideração que essas lagoas estão conectadas à calha do rio Doce, e que ocorre aporte de água e sedimento em suspensão para dentro destes ambientes nos picos de chuva, somado ao baixo dinamismo que favorece a deposição de material particulado mais fino, é possível categorizar estes ambientes como locais críticos à contaminação ambiental e consequente bioacumulação na biota aquática.</p> <p>Os resultados de concentração de metais nos organismos dulcícolas de diferentes níveis tróficos indicam um aumento temporal na bioacumulação destes elementos quando comparado a dados pretéritos pré-rompimento, especialmente nesses ambientes.</p> <p>Os valores de toxicidade nas amostras coletadas no rio Doce indicam claramente condição mais desfavorável na região estuarina associada ao sedimento. Possivelmente o resultado está relacionado ao maior teor de matéria orgânica neste compartimento e, portanto, maior concentração de metais, que tem alta afinidade pelo carbono orgânico dissolvido e particulado.</p> <p>Do ponto de vista temporal, as concentrações são mais elevadas no período chuvoso possivelmente em função da maior disponibilidade de contaminantes no ambiente aquático.</p>	<p>O grau de bioacumulação e toxicidade do ambiente deve ser melhor confrontado com estudos anteriores, comparando-se locais de amostragem, metodologias adotadas e época de realização dos estudos. O próprio trabalho indica alguns problemas metodológicos.</p> <p>A constatação de que a água e sedimentos no ambiente marinho estão em níveis, em geral, adequados para metais pode ser indício de que esta acumulação na biota já tenha ocorrido no momento anterior pelo histórico de ocupação da bacia, e que possivelmente se acentuou com a</p>

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>Ao atingir o ambiente marinho, a pluma de rejeitos desencadeou um quadro de contaminação ambiental e aumento significativo dos metais no sedimento. Contudo, as concentrações atuais de metais no sedimento coletado ao longo das 25 estações marinhas monitoradas pelo PMBA estão dentro do critério de qualidade ambiental preconizado pelo CONAMA 454/2012.</p> <p>Considerando que o rio Doce foi o ponto de entrada dos rejeitos do rompimento no ambiente marinho, além de ser fonte de aporte crônico de material continental, espera-se que as estações mais próximas à foz apresentem maior concentração de metais associados à mineração.</p> <p>Os resultados obtidos evidenciam que a contaminação detectada em matrizes abióticas (água e sedimento) foi incorporada na teia trófica.</p> <p>O sedimento pode agir como um depósito de contaminantes pelo elevado teor de matéria orgânica, o que retrata seu maior potencial tóxico em comparação com a água. Considerando que o estresse mais severo dentro do setor da foz ocorreu em camarões, reforça-se a ideia de que o sedimento é a fonte de estresse mais relevante nesta área.</p>	entrada de rejeitos pelo acidente.

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Quadro 18 - Informações apresentadas no Estudo da FEST (2019b).

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	Zona costeira do Espírito Santo, na região adjacente à foz do rio Doce.	
OBJETIVO	Analisar espacial e temporalmente os impactos dos rejeitos de mineração sobre a qualidade de água e sedimento e sobre as comunidades de fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos.	
PÚBLICO ALVO	Não especificado.	
PERÍODO	Um ano de projeto, , executado entre novembro/2018 e setembro/20.	
TEMAS	Avaliação de impacto ambiental; Qualidade de água e sedimento; Conservação da biodiversidade marinha.	
METODOLOGIA	Não especificada.	O documento em questão é um anexo de um relatório maior, onde os protocolos de coleta e análise estão descritos.
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento nas concentrações de metais na água e sedimento; • Registro de deposição de rejeitos de mineração no sedimento de quase toda a área monitorada; • Forte influência de fatores hidrometeorológicos na ressuspensão dos sedimentos, o que mantém sua concentração alta nas águas; • Indícios de melhoria na qualidade de água e sedimento ao fim do monitoramento; • As comunidades biológicas ainda se apresentam degradadas em sua integridade ecológica, sendo constituídas principalmente por organismos tolerantes às alterações ambientais; 	

Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

	INFORMAÇÃO	OBS
	<ul style="list-style-type: none"> Foi registrada alguma evidência de recuperação para o fitoplâncton, ainda que fraca. 	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	Não	São feitas comparações com estudos anteriores, mas não necessariamente nas mesmas áreas ou usando a mesma metodologia.
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	O documento aponta que o ambiente aquático e suas comunidades ainda apresentam efeitos do impacto do aporte de rejeitos de mineração.	O documento não faz recomendações.

Quadro 19 - Informações apresentadas no Estudo da FEST (2019c).

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	Litoral do ES entre Aracruz, ao sul da foz do rio Doce o a porção norte	Área dividida em três setores: a) setor A - Terraços de Abrasão (litoral de Aracruz); b) setor B (praias próximas à foz do rio Doce); c) setor C (litoral norte da desembocadura do rio Doce)
OBJETIVO	Apresentar uma análise integrada dos dados bióticos gerados nos estudos realizados no primeiro ano de execução do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), realizado pela Rede Rio Doce Mar (RRDM), nos ecossistemas costeiros adjacentes à foz do Rio Doce (praia, restinga e manguezal).	
PÚBLICO ALVO	Não explicitado	
PERÍODO	Não explicitado.	
TEMAS	Sedimento, concentrações de metais no sedimento e no tecido vegetal, parâmetros fisiológicos, fauna e flora litorânea (restinga, praia, manguezal)	
METODOLOGIA	Análise de resultados de campanhas realizadas ao longo de um ano (2018). A área de estudo foi dividida em três setores: a) setor A - Terraços de Abrasão (litoral de Aracruz); b) setor B (praias próximas à foz do rio Doce); c) setor C (litoral norte da desembocadura do rio Doce).	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	Setor A – Riqueza de macrofauna menor que esperada (conforme literatura); variações de diversidade da macro e da meiofauna, que os autores associam a variações de concentrações de metais ¹ ; deficiência fotossintética em espécies de manguezais devido a elevadas concentrações de Fe, Mn, Zn, Cr ² ; menores densidades de caranguejos (sem explicitar em relação a que. A região costeira entre a foz do Rio Piraque-Acú e a	Setor A - ¹ Diversidade é multicausal. As alterações podem ser decorrentes inúmeros fatores, incluindo variações sazonais. ² Não está claro se foi evidenciada correlação entre as

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>foz do Rio Fundão (Nova Almeida) foi caracterizada como de ocupação intensiva de tartarugas marinhas³ e raias, bem como de alta sensibilidade a impactos crônicos, devido à proximidade com áreas de acumulação de rejeitos. Ressalta-se a coincidência com as áreas protegidas da APA Costa de Algas e do REVIS Santa Cruz⁴. Neste caso, os principais atingidos foram os juvenis da tartaruga verde.</p> <p>Setor B – presença da Rebio Comboios⁵. Proximidade da desembocadura fluvial resultam na alta mobilidade da praia e potencial exportação de metais. Praias são caracterizadas por apresentarem areias grossas e com maior porosidade, o que resultaria em menor retenção de metais, porém favorecendo ressuspensão de sedimentos periodicamente. A macrofauna correspondeu ao esperado e a meiofauna apresentou os menores valores de densidade e os maiores de diversidade enquanto a riqueza foi similar aos demais setores⁶. Não há ocorrência de manguezal neste setor.</p> <p>Alterações em comunidades de caranguejos, com registro recente de introdução do caranguejo aratu (<i>Goniopsis cruentata</i>) e, segundo reportado por técnicos do TAMAR em Regência, ocorrência de uça (<i>Ucides cordatus</i>) na região do Rio Doce desde 2018. Antes da chegada dos rejeitos apenas o guaiamu (<i>Cardisoma guanhumi</i>), ocorria espécie considerada ameaçada de extinção.</p> <p>Aves - <i>Sterna hirundinacea</i>, vulnerável segundo a Portaria MMA 444/2014, utiliza as proximidades da foz do Rio Doce e águas costeiras adjacentes como área para alimentação e reprodução, tendo-se observado falha reprodutiva durante a temporada de 2019. Além disso, sua alimentação é baseada em peixes pequenos, potencialmente contaminados.</p> <p>Quelônios - segundo dados do TAMAR/RENOVA (2019), a segunda maior proporção de perdas de ninhos ao longo de 2018-2019 se deu por ação de altos espriamentos (processos inundacionais)</p>	<p>concentrações de metais encontradas e a pluma de rejeito.</p> <p>³Aponta baixa diversidade haplotípica em quelônios, o que parece improvável, dado o tempo transcorrido.</p> <p>⁴Presença de áreas protegidas (REVIS Santa Cruz), imediatamente ao sul de Coqueiral e APA Costa das Algas entre Barra do Saí e ao sul de Nova Almeida reforça importância desta área do setor A e aumenta a criticidade de impactos este trecho.</p> <p>Setor B – ⁵Presença da REBIO Comboios a sul da foz do rio Doce, unidade de conservação (UC) de proteção integral, abarcando a faixa terrestre litorânea reforçando a importância deste trecho</p> <p>⁶ Diversidade tem relação com riqueza e densidade, portanto, a afirmação não procede.</p>

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>e erosão costeira. Cabe destacar que estes processos são evidenciados preferencialmente entre as praias de Comboios e Povoação. A deposição da lama na antepraia alterou a morfologia das praias do Setor B, podendo ter causado impacto no processo de desova das tartarugas, já que existe uma diminuição da porção seca da praia. Também bancos emergidos na antepraia criam e alongam os obstáculos para que as tartarugas alcancem o local de desova. Foram observados piores condições corporais, problemas oftalmológicos e altos teores de Fe, Cr, Pb, As e Hg nas tartarugas <i>Caretta caretta</i>, quando os dados obtidos no Setor B são comparados àqueles observados no litoral da Bahia.</p> <p>Cetáceos – detectado aumento de encalhe de cetáceos neste setor e no setor C (Linhares e São Mateus), no período imediatamente após o rompimento da barragem e nos anos posteriores.</p> <p>Setor C – Deposição de rejeitos neste setor,⁷ com progradação da linha de costa. Processos de ressuspensão podem aportar metais à praia e restinga, o que responderia pela menor atividade fotossintética⁸ na restinga de Cacimbas e da APA Conceição da Barra⁹. Constatam alterações fisiológicas pela presença de Fe em plantas foram detectadas e especialmente na região de Pontal do Ipiranga e Cacimbas.</p> <p>Redução de diversidade de macrofauna no período seco, quando houve aumento de metais. O teor de Fe afetou negativamente a riqueza da macrofauna durante ambas as amostragens realizadas no primeiro ano do monitoramento¹⁰.</p> <p>Índices biológicos da macrofauna na praia de Degredo, para a qual há dados pretéritos, apontam aumento de diversidade devido ao acréscimo de riqueza. Para meiofauna, houve acréscimo de riqueza e densidade também¹¹.</p> <p>Mangues: correlação positiva entre metais nos tecidos foliares e nos sedimentos; concentrações de Fe e Mn variam nos</p>	<p>Setor C - ⁷Afirma que é o setor onde ocorre maior deposição de lama oriunda do rejeito, o que não se confirma ao se confrontar outras fontes.</p> <p>⁸ cita presença de Mn, As, Cu e Cr foliares. Não cita Fe. Cita Fe em outras localidades.</p> <p>⁹ importante considerar presença de APA Conceição da Barra, com extensos manguezais do rio São Mateus e comunidades tradicionais como Barreiras e Meleiras. Notar que o rio São Mateus encontra-se a 120 km da foz do rio Doce.</p> <p>¹⁰ um ano de amostragem é insuficiente, sendo necessário dar continuidade ao monitoramento para obter uma série de dados.</p> <p>¹¹ Apesar disso, os autores afirmam que houve drástica redução dos índices biológicos, o que seria contradição.</p>

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>estuários e mangues; concentrações de metais induziram respostas fisiológicas, sendo mais suscetível <i>Rizophora mangle</i>, seguida de <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Avicennia schaueriana</i>; <i>Ucides cordatus</i> e <i>Cardisoma guanhumii</i> apresentaram metais; houve aumento de decápodes; risco de competição com <i>Cardisoma guanhumi</i>, espécie ameaçada; risco de biomagnificação destes elementos ao longo da cadeia alimentar; houve perda de biodiversidade local após o rompimento da barragem, não foi quantificada por ausência de dados pretéritos; mangues e fauna de decápodes já estavam sob pressão antes do rompimento.</p> <p>Aves: aves na área estuarina expostas mais recentemente ao Cr, Cu e Mn, especialmente no período seco. Dados obtidos nas penas sugerem que as aves dos manguezais e no estuário do Rio Doce podem estar sendo mais cronicamente expostas ao As e Fe do que aquelas do ambiente praial. As aves dos manguezais podem estar sendo mais expostas em longo prazo ao Mn, Hg e Zn. Níveis teciduais (sangue e penas) de Fe e Mn maiores em aves insetívoras, piscívoras e omnívoras.</p> <p>Cetáceos - foi observado um aumento de aproximadamente 10% no número de encalhes de toninhas no período imediatamente posterior ao rompimento da barragem de Fundão, sendo que os aumentos mais expressivos (2,5 vezes para toninhas; 1,9 e 1,5 vezes para botos-cinza) foram observados mais recentemente ao longo da continuidade do PMBA. Botos-cinza apresentaram altas concentrações teciduais de metais (Hg, Fe e Mn). A área costeira entre 10 km ao sul da foz do Rio Doce e o limite entre os estados do ES e BA (Itaúnas), delimitada até a isobata de 10 m de profundidade, foi a região de maior uso por pequenos cetáceos. As condições pós rompimento impõem maior custo energético para comunicação e forrageamento de pequenos cetáceos, quando ocorre alta</p>	

	INFORMAÇÃO	OBS
	turbidez da água devido à ressuspensão de lama.	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	Sem descritivos ou comparações pre evento, com exceção de dados pretéritos da fauna bentônica na praia de Degredo e para enalhes de cetáceos, sem citar, contudo a fonte de dados.	
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<p>A análise integrada dos dados abióticos, ecotoxicológicos e bióticos obtidos nos estudos realizados ao longo do primeiro ano do PMBA demonstra evidências claras de que existe um impacto significativo e negativo da chegada e/ou permanência dos rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Fundão na integridade biótica dos ecossistemas costeiros adjacentes à foz do Rio Doce (praia, restinga e manguezal): modificação do habitat, contaminação dos diferentes compartimentos ambientais, bioacumulação e transferência trófica de metais, alterações na condição de saúde dos indivíduos, mortalidade, modificações na ocupação e uso do habitat, bem como alterações na estrutura, composição e funcionamento das comunidades biológicas.</p> <p>O Setor B foi aquele que apresentou o maior grau de comprometimento</p>	<p>Ressalte-se que a relação destas contaminações não estão claramente estabelecidas, uma vez que para a maior parte dos grupos não há dados pretéritos para comparação.</p>

Quadro 20 - Informações apresentadas no Estudo da FUNDAÇÃO RENOVA (2019)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	Município de São Mateus	
OBJETIVO	Levantamento da situação ambiental da região e as consequências e impactos identificados após o rompimento da barragem de Fundão, em resposta ao documento SEQ 21256 /2019/GJU, referente à reunião ocorrida em 16/06/19.	
PÚBLICO ALVO	Comunidade de pescadores	
PERÍODO	<p>O estudo se baseia em vários trabalhos, entre os quais: Análise da pluma no mar: nov/15 a março/16 (Aplysia, 2018). Monitoramento PMQQS: ago/17 a julho/18. Biodiversidade (março a out/19).</p> <p>Foram feitas medições, <i>in situ</i>, em um dos braços do estuário do rio Mariricu, em São Mateus em visita técnica realizada em dia 30/04/2019. Esta coleta foi motivada por um evento de mortandade de peixes registrado por pescador local na semana anterior à visita.</p>	
TEMAS	Qualidade da água/Biodiversidade	
METODOLOGIA	Análise de estudos desenvolvidos antes e após 2015	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<ul style="list-style-type: none"> A bacia do rio S. Mateus não tem conexão com a bacia do rio Doce. Trata-se de um ambiente no qual o solo e a vegetação possuem uma dinâmica dependente da elevação do nível das águas. A região dessa bacia hidrográfica tem sofrido significativas alterações na dinâmica do ecossistema com a construção dos canais artificiais, construídos a partir de 1973, como parte do Programa Nacional de Aproveitamento de Várzeas (PROVARZEAS). 	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<ul style="list-style-type: none"> • Tais obras tiveram por objetivo promover a drenagem da área alagada e disponibilizar espaços para a produção agrícola. • Os estudos pretéritos existentes demonstram que a decoada já produzia impactos que levam e levavam a uma queda da qualidade ambiental. • A decoada é processo associado à dinâmica dos solos da região, que naturalmente são submetidos a alterações de nível da água com alagamentos periódicos. • Em decorrência da drenagem artificial dos solos, há a liberação de substâncias ricas em ácidos orgânicos que promovem a alteração dos parâmetros físicos e químicos de qualidade da água. • Em períodos de seca, a vegetação cresce na região que, ao ser alagada em períodos chuvosos, se decompõe gerando processos de eutrofização com redução de oxigênio, o que afeta a qualidade da água e a vida aquática, incluindo peixes. • Devido a esse fenômeno, há ocorrência de reações químicas que tornam as águas ácidas. • Outros fatores importantes destacados nos estudos avaliados tratam dos impactos decorrentes da erosão marinha e têm como principal causa a urbanização intensa da costa e, como consequência, o assoreamento das margens do rio São Mateus próximo à sua foz. • O município de São Mateus também possui baixo índice de cobertura de coleta e tratamento de esgotos. • Os parâmetros medidos in situ em 30/04/2019 mostram baixos valores de oxigênio dissolvido, porém, os fatores acima mencionados contribuem para a deterioração da qualidade da água. 	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<ul style="list-style-type: none"> No município de São Mateus/ES, o monitoramento da qualidade da água e dos sedimentos (PMQQS) nos pontos localizados na área marinha, entre 2017 e 2018, apresentaram valores acima da legislação para o mineral manganês, principalmente no período chuvoso. Estes episódios não possuem relação com o rompimento da barragem de Fundão. De acordo com estudos desenvolvidos por Rosman (2018), a modelagem de dispersão da pluma de turbidez indica, a partir de março/16, concentrações de sedimentos em suspensão por 40 km a partir de Linhares muito reduzidas, sendo irrelevante a menos de 20 km para norte da foz (< 2 mg/L). 	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	<p>Apenas menções sobre os estudos pretéritos existentes relacionados ao processo da decoada que já produzia impactos que levavam a uma queda na qualidade ambiental.</p> <p>Não há exposição de dados da situação pretérita (síntese extraído da análise de 06 estudos (dois de 2008; um de 2009; um de 2012; um de 2014 e um de 2018).</p> <p>Os dados apresentados são de medições de 2019, realizadas pela Renova, para mostrar que há fenômenos naturais já identificados antes de 2015 (como a decoada) que causariam a acidez das águas e a eutrofização, que prejudicam a ictiofauna.</p>	
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<p>As alterações na utilização do solo com implantação de canais de drenagens artificiais têm provocado alteração na dinâmica dos solos e águas causando a mortandade de peixes na região. Estes episódios não possuem relação com o rompimento da barragem de Fundão.</p> <p>Não há evidências que a área continental tenha sido impactada pela</p>	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>pluma. Não foi possível estabelecer conexão direta da biodiversidade de mangue, restinga, praia e mar com o rompimento da barragem.</p> <p>Mesmo que exista possibilidade de que o rejeito tenha chegado em porcentagem bem reduzida e abaixo dos padrões da Resolução CONAMA 357/05, não houve interrupção da atividade extrativista pesqueira no rio, no mangue e na área agrícola no município.</p> <p>O documento não apresenta dados sobre alterações do volume de pesca no município.</p> <p>Segundo o documento, as análises socioeconômicas serão finalizadas no primeiro trimestre de 2020 e, a partir dos seus resultados e de outros monitoramentos em curso, poderá haver mais assertividade quanto à "compreensão da forma, origem e causa de possível impacto, poderá propor e discutir soluções que atuem de forma assertiva, garantindo ações efetivas de reparação".</p>	

Quadro 21 - Informações apresentadas no Estudo da GOLDER (2018)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA ABRANGÊNCIA DE	Zona costeira do Estado do Espírito Santo, abrangendo as proximidades do município de Linhares e a Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas	
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar não conformidades de qualidade de água e sedimentos; • Analisar tendências espaciais e temporais; • Comparar resultados obtidos com os de outras referências; • Relacionar a granulometria com as concentrações de metais do sedimento; • Responder a quatro perguntas sobre: <ul style="list-style-type: none"> • i) intensidade do efeito do rompimento da barragem na qualidade da água e sedimento junto à foz do Rio Doce; • ii) qualidade da água na superfície e fundo da coluna d'água; • iii) concentrações de metais nos sedimentos junto à foz do Rio Doce; • iv) relação entre granulometria fina e concentração de metais no sedimento. • 	
PÚBLICO ALVO	Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo – IEMA (Atendimento ao Item 2 do Auto de Intimação GFI No 12.371/2015)	
PERÍODO	17/nov/2015 a 31/ago/2017 (21 meses aproximadamente)	
TEMAS	Qualidade de água e sedimentos, contaminação por elementos traço. Avaliação de intensidade de impacto e gradientes espaciais e temporais.	
METODOLOGIA	Foram avaliados 28 pontos de amostragem distribuídos ao redor da	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>foz do Rio Doce e na APA Costa das Algas, onde se analisaram 64 parâmetros de qualidade de água e 22 parâmetros de qualidade de sedimento. O tratamento de dados se baseou em análises descritivas, gráficos, testes estatísticos paramétricos e não-paramétricos e técnicas estatísticas como análise de regressão e análises multivariadas (PCA).</p> <p>Os resultados foram comparados com os limites da legislação brasileira para concentrações máximas permitidas em água e sedimento (CONAMA 357/2005 e 454/2012) e com dados pretéritos da literatura.</p>	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<ul style="list-style-type: none"> • Frequência de não conformidades para as águas superficiais, águas de fundo e para os sedimentos; • Diminuição da ocorrência de não conformidades na água com o tempo (a partir de fev/2016); • Gradiente espacial de diminuição da concentração de vários parâmetros (água e sedimento) com o aumento da distância à foz do Rio Doce; • Compatibilidade entre os resultados encontrados para o sedimento com dados da literatura pretérita ao evento de rompimento da barragem; • Forte correlação entre a concentração de metais e a fração granulométrica mais fina; 	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	Não.	São feitas comparações com estudos anteriores, mas não necessariamente nos mesmos pontos.
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	Qualidade de água: Grande número de parâmetros em não conformidade;	O documento não faz recomendações.

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>A pluma de rejeitos pode ter elevado as concentrações de 30 parâmetros na zona costeira;</p> <p>Para 20 destes parâmetros, o efeito foi de curto prazo; para os demais o efeito foi mais duradouro, embora se perceba a tendência à diminuição com o tempo;</p> <p>As águas de fundo apresentaram concentrações um pouco mais elevadas para alguns nutrientes, o que se atribui à ressuspensão pelo movimento da água;</p> <p>As últimas campanhas do monitoramento apontam para uma melhoria geral na qualidade da água.</p> <p>Qualidade de sedimento:</p> <p>Três metais (Al, Fe e Mn) mostraram alterações de maior magnitude e persistência;</p> <p>Para a grande maioria dos metais, a concentração permaneceu dentro da faixa de variação registrada anteriormente na literatura;</p> <p>Metais como Al, Ba, Cd, Fe, Mn e Zn mostraram tendência de diminuição em direção à foz;</p> <p>Metais como As e Cr mostraram tendência de aumento em direção à foz;</p> <p>Os demais metais não tiveram padrão de variação espacial perceptível;</p> <p>As maiores concentrações de metais estão correlacionadas aos sedimentos mais fino;</p>	

Quadro 22 - Informações apresentadas no Estudo da HYDROBIOLOGY (2020)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	Ambientes estuarinos e marinhos junto aos rios Doce e Jequitinhonha com coletas em raios de 1 km, 5 km, 10 km e 20 km	Área do rio Jequitinhonha fora do alcance da pluma de dispersão, tratada como área controle nos estudos.
OBJETIVO	Aplicar uma abordagem de múltiplas de linhas de evidências para medir a recuperação pós-impacto do ecossistema marinho e costeiro após o rompimento da Barragem de Fundão.	
PÚBLICO ALVO	Não explicitado	
PERÍODO	Coletas realizadas em setembro e outubro de 2018	Uma coleta em abril de 2018 foi realizada, mas os resultados não foram tratados neste estudo. Pesquisa realizada 3 anos após o rompimento da barragem
TEMAS	Biomassa de peixes, concentração de metais em tecidos de peixes e crustáceos, DNA ambiental (eDNA), sedimentos, água, fitoplâncton, bentos,	
METODOLOGIA	<p>Biomassa: coletas realizadas em setembro e outubro de 2018 e análise de biomassa de peixes, DNA ambiental e concentração de metais em tecidos de peixes e crustáceos as imediações da foz do rio Doce e do rio Jequitinhonha, este, tratado como áreas controle. As coletas foram realizadas em raios de 1 km, 5 km, 10 km e 20 km de distância dos estuários. Utilizou-se hidroacústica, método não destrutivo, para avaliação da distribuição da biomassa de peixes.</p> <p>Concentração de metais: Cinco amostras de tecido por espécie de peixes e crustáceos de importância comercial das Famílias Ariidae (bagre), Penaeidae (camarão), Polynemidae (barbudo) e Sciaenidae (betara, papa-terra) foram coletadas nas transecções estabelecidas</p>	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>nas áreas de estudo. Amostras de tecidos foram analisadas para 15 diferentes concentrações metálicas, incluindo arsênio, chumbo, cádmio e mercúrio por um laboratório aprovado (Mérie NutriuxSciences/Bioagri Ambiental Ltd).</p> <p>eDNA: Método de amostragem para detectar e identificar espécies a partir de vestígios de material genético deixados no ambiente, realizando-se amplificação de Reação em Cadeia de Polimerase (PCR) de genes-alvo (ou seja, material genético de peixes). Cinco amostras de água de réplica 1 L foram coletadas de aproximadamente 0,5 m abaixo da superfície em 11 locais para cada área de estudo. Amostrador de água Van Dorn foi usado para coletar as amostras, separadas e armazenadas no gelo para posterior filtragem individual em ambiente estéril, encaminhando-se as amostras ao laboratório eDNA Frontiers na Universidade de Curtin, em Perth, Austrália Ocidental, para análise.</p> <p>Inf fauna bentônica: Sedimentos foram coletados em 11 locais usando amostrador de captura de Van Veen, sendo 3 réplicas em cada local. Amostras foram peneiradas em tela de malha de 0,5 mm no campo, preservadas em álcool e identificadas até l família e quando possível gênero e espécie.</p> <p>Fitoplancton: Amostras de água superficial em 11 locais por área de estudo com rede de fitoplâncton malha de 30 µm e um recipiente de coleta destacável por 2 minutos a uma velocidade de 2 nós. Amostras armazenadas em gelo e encaminhadas para laboratório, à exceção de clorofila a, medida <i>in situ</i>.</p> <p>Qualidade da Água: Parâmetros padrão de qualidade da água foram obtidos utilizando-se XR Data Logger de grau oceanográfico (RBR XRX-620) em 11 locais de amostragem por área de estudo, testando-se diferenças entre áreas de estudo, distância das fozes e correlação com profundidade de água. Foram medidos turbidez, Radiação Fotossintética Ativa (PAR), temperatura, condutividade, pressão, salinidade, clorofila-</p>	

	INFORMAÇÃO	OBS
	fluorescência, oxigênio dissolvido e profundidade a 6 Hz. Sedimentos: Foram amostrados os mesmos locais de amostragem da qualidade da água, coletando-se amostras de sedimentos do topo 10 - 15 cm do sedimento utilizando um amostrador de captura van veen de aço inoxidável com 10 L de volume interno.	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<p>Biomassa: maior biomassa na área de estudo do rio Doce, com diferença entre as áreas estatisticamente significativa. Não há diferença significativa entre as amostras nos diferentes raios (1, 5, 10 e 20 km). Sem correlação com profundidade ou distância da foz.</p> <p>Concentração de metais: concentração de ferro significativamente maior na área de estudo do rio Jequitinhonha para duas de três espécies analisadas. O manganês foi significativamente maior apenas em uma espécie na área de estudo de Rio Doce. Também não houve indícios de concentrações elevadas de outros metais teciduais na área de estudo de Rio Doce.</p> <p>eDNA: 145 espécies detectadas, 39 exclusivamente na área do rio Doce e 45 no Jequitinhonha, sendo 61 comuns com pequeno <i>overlap</i> entre as assembleias. A riqueza aumenta com a distância da foz do rio Doce, observando-se o contrário no rio Jequitinhonha.</p> <p>Inf fauna bentônica: 106 espécies, 17 apenas na área do rio Doce e 42 na do Jequitinhonha, com 47 comuns. Testes estatísticos sem diferenças significativas entre as áreas de estudo. Também sem diferenças em relação à distância da foz, em ambas as áreas.</p> <p>Fitoplâncton: 76 espécies identificadas, sendo 15 nas águas próximas ao rio Doce e 18 no Jequitinhonha, além de 42 espécies comuns. Espécies marinhas aumentam com a distância da costa na área do rio Doce, o que não se observa na do Jequitinhonha. Há diferenças</p>	<p>A concentração de ferro na área da foz do rio Doce foi significativa, evidenciando um aporte importante de sedimentos nesta área.</p> <p>Os autores fazem ressalva em relação aos levantamentos por meio de eDNA, que apresenta limitações, sendo necessários mais estudos para avaliar a riqueza de espécies.</p> <p>Além disso, conforme os autores, monitorar efeitos pós-impacto do rompimento da barragem de Fundão em ambiente marinho dinâmico é uma tarefa complexa quando não se dispõe de linha de base pré-impacto.</p>

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>significativas em composição e abundância entre comunidades das duas áreas.</p> <p>Qualidade da Água: análise de turbidez (NTU), temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg/l), salinidade, clorofila superficial (µg/l), salinidade (ppt) e radiação ativa fotossintética média (PAR; µMol/m²/s), testando-se diferenças entre áreas de estudo, distância das fozes e correlação com profundidade de água. Resultados: sem diferença estatisticamente significativa para turbidez superficial, embora o Rio Jequitinhonha tenha uma relação positiva fraca com a profundidade da água e o rio Doce apresente muito forte turbidez perto da foz (>40 NTU). A temperatura da superfície do mar foi significativamente diferente, com área do Jequitinhonha 2,7 °C mais quente em média. Oxigênio dissolvido com relações positivas com a profundidade e menores concentrações na área do rio Doce, perto da foz. Medidas de clorofila superficial e radiação ativa fotossintética média (PAR) superficial homogêneas em ambas as áreas de estudo, sem diferenças significativa, embora mais elevadas na área do rio Doce, junto à foz. A salinidade variou entre as duas áreas de estudo, com maiores concentrações na área do Jequitinhonha, com os locais de amostragem de rio Doce apresentando forte relação positiva com a profundidade da água. Nenhum dos parâmetros testados mostrou diferenças significativas em relação à distância da foz.</p> <p>Sedimentos: maiores concentrações de arsênio, cromo e ferro, estatisticamente significativas, na área do rio Doce em comparação com a do rio Jequitinhonha. Valores de ferro variaram de 66,600 mg/kg, na área do rio Doce e 25,400 mg/kg na do Jequitinhonha. Menores concentrações em relação à distância da foz significativa apenas para ferro, na área do rio Doce. O arsênio, elemento detectado antes do rompimento relacionado à geologia regional, ocorreu em todos os locais de amostragem,</p>	



	INFORMAÇÃO	OBS
	excedendo o limite (19 mg/kg, CONAMA 454) em 12 locais de amostragem, sendo 9 no Rio Doce e 3 nas áreas de estudo do Rio Jequitinhonha. Carbono orgânico com menores concentrações no rio Doce embora sem diferenças estatisticamente significativas.	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	Sem descritivos ou comparações pré evento. Apenas citação de concentração de arsênio anterior ao rompimento no rio Doce.	
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<p>Conclui-se no estudo que as múltiplas linhas de abordagem de evidências do estudo não indicam nenhum impacto significativo para o ecossistema marinho e costeiro após o rompimento da Barragem de Fundão em novembro de 2015. Detecções significativas, como o arsênio elevado em sedimentos de Rio Doce já foram identificadas antes de 2015 e podem ser uma característica natural da geologia local.</p> <p>Considera-se importante a manutenção deste programa nas próximas estações e anos para fornecer um conjunto de dados mais robusto com o qual poderá ser possível medir e monitorar o status do ecossistema costeiro</p>	<p>Importante ressaltar que o estudo foi realizado em 2018. Mostra mais a possível recuperação da biota que a ausência do impacto, como consta na conclusão do estudo.</p>

Quadro 23 - Informações apresentadas no Estudo de MARTA-ALMEIDA et al. (2016)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	Zona costeira do Espírito Santo, abrangendo também a costa do estado do Rio de Janeiro e uma parte do sul da Bahia (Canavieiras), com extensão total de 1.200 km e uma faixa de largura de 30 km a partir da linha de costa em direção ao mar.	
OBJETIVO	Acompanhar a dispersão e o alcance da pluma de rejeitos transportada pelo rio Doce na zona costeira por um período de dois meses após sua chegada no oceano Atlântico.	
PÚBLICO ALVO	Geral, não especificado.	
PERÍODO	Período entre 22/11/2015 e 25/01/2016. A simulação abrange também a etapa prévia ao acidente (01/01 a 23/11/2015) para ajuste do sistema.	
TEMAS	Dispersão da pluma de rejeitos no oceano através de modelagem matemática.	
METODOLOGIA	Foi utilizado o modelo oceânico tridimensional ROMS (Region Ocean Modeling System), sistema hidrodinâmico que usa o método de Boussinesq e aproximações hidrostáticas (Haidvogel et al., 2008). A região de estudo é representada com a grade do modelo horizontal exibidas em intervalos de 10 células. O rio Doce é esquematizado desde a barragem em Mariana (RJ) até o litoral (ES), enquanto na costa são indicadas as principais cidades, rios, pontos de referência e áreas marinhas protegidas nessa região.	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<ul style="list-style-type: none"> O colapso liberou uma quantidade estimada de $60 \times 10^6 \text{ m}^3$ de rejeito relacionada à extração de minério de ferro em Mariana (MG) com enormes consequências ambientais. 	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<ul style="list-style-type: none"> Em termos de circulação oceânica, a região é caracterizada pela presença da corrente sul do Brasil (BC), que se origina da bifurcação da corrente equatorial entre 17°S em julho e 13°S em novembro e que se move ao longo da plataforma e se inclina através de um sistema de anticiclones com fluxo direcionado ao sul. Os ventos alísios controlam a circulação oceânica sobre a plataforma. Nesse período de 2 meses, a direção do vento foi principalmente em direção ao sul, com 2 episódios para o norte, entre 25 e 27/11/15 e entre 3 e 7/01/16. Embora os ventos para o norte possam cancelar o transporte de plumas para o sul, estes somente são capazes de reverter suavemente sua direção. O movimento da pluma no mar foi essencialmente para o sul de acordo com o regime do vento sazonal. Sistemas frontais episódicos e as características oceânicas contribuíram para a dispersão offshore da pluma. A região com contato mais frequente ocorreu na plataforma interna entre a foz do rio Doce e a cidade de Vitória, voltando-se para a quebra da plataforma externa em latitudes mais baixas. 	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	Não	
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<ul style="list-style-type: none"> O padrão de dispersão observado e modelado da pluma mostrou que a plataforma interna entre a foz do rio Doce e a cidade de Vitória foi a região que manteve maior frequência de contato com os rejeitos afluentes do rio Doce. Como resultado, o Parque Nacional Marinho de Abrolhos, importante área marinha protegida a aproximadamente 200 km ao norte do rio Doce não foi afetado pelo acidente. 	

	INFORMAÇÃO	OBS
	<ul style="list-style-type: none">• Em contraste, a foz dos rios na Reserva Biológica de Comboios, da APA Costa das Algas e Reserva da Vida Silvestre de Santa Cruz, que ocupam a plataforma ao sul, consistem no núcleo da região mais afetada.• Outras zonas protegidas ao sul não foram tocadas quando a pluma se deslocou para o litoral da cidade de Vitória.• O estudo conclui destacando a forte influência do vento na dispersão do rio Doce, afetando uma imensa região ao sul, incluindo áreas protegidas.• Os resultados do modelo, corroborados pelas imagens (MODIS) ilustram a dispersão espacial e temporal da água doce, indicando possíveis consequências a longo prazo em regiões que se estendem às adjacências do Rio de Janeiro.• A falta de observações após o acidente da barragem de Fundão restringe as metodologias numéricas adotadas e os possíveis alcances deste estudo e trabalhos científicos futuros.	

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Quadro 24 - Informações apresentadas no Estudo da NEWFIELDS (2020)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	Toda área afetada pelo rompimento da barragem de Fundão, considerando: trecho 1 até a UHE Risoleta Neves; trecho 2 deste ponto até a foz e trecho 3: costa capixaba entre Conceição da Barra e Guarapari, concentrado na faixa de proibição de pesca.	
OBJETIVO	Estimar o risco à saúde humana, decorrente da ingestão de metais, por meio do consumo de pescados oriundos de regiões afetadas pelo rompimento da Barragem de Fundão/MG.	
PÚBLICO ALVO	População consumidora de pescado proveniente da região	
PERÍODO	Coletas realizadas por outras instituições no período de 2017 e 2018	
TEMAS	Estimativa de risco associado aos elementos químicos: alumínio (Al), arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg), níquel (Ni), prata (Ag), e zinco (Zn), em amostras de pescados (86% são amostras de peixes, crustáceos compreendem 14% das amostras analisadas, distribuídas entre camarão (87,6%), lula (8,4%), ostra (1,9%), siri (1,9%) e lagosta (0,2%).)	
METODOLOGIA	Metais em tecidos de peixes e crustáceos na faixa costeira capixaba foram avaliados a partir de dados disponíveis, adotando-se método e critérios usados pela ANVISA em estudo similar (NT ANVISA nº 8/2019), porém com universo amostral menor. Foram avaliados metais essenciais (cobre, cromo, ferro, manganês, níquel, zinco) e metais não essenciais (alumínio, mercúrio, cádmio, arsênio e prata). Estudo dividido em duas fases: análises do conjunto de dados para toda a área e, uma vez detectado, estudo de detalhe por trechos: Domínio Montante de Candonga (UHE Risoleta neves),	

	INFORMAÇÃO	OBS
	Domínio jusante de Candonga; Domínio Costeiro.	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<p>O período amostral incorpora dados coletados de 2017 a 2019, com universo amostral de 3.840 amostras, 142 espécies de pescado e 51.905 resultados analíticos para metais. Amostras de peixes representaram 86% das amostras e grupo dos crustáceos compreendeu 14% das amostras analisadas, distribuídas entre camarão (87,6%), lula (8,4%), ostra (1,9%), siri (1,9%) e lagosta (0,2%).</p> <p>Considerando a RDC N° 42/2013, que dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos, os resultados de arsênio total excederam o limite máximo em 29,6% das amostras de pescado, resultado principalmente relacionado às espécies de água salgada, uma vez que peixes e crustáceos marinhos apresentaram, respectivamente, 50,4% e 84% de excedências. Tal excedência para arsênio total não é um indicativo de risco à saúde humana já que o As inorgânico (tóxico) corresponde normalmente a menos de 2%; Resultados para cádmio em amostras de peixes excederam o limite máximo em 7,5% das amostras de pescado em geral; resultados para mercúrio em amostras de peixes excederam o limite máximo em 4,0% das amostras de pescado em geral e 5,5% das amostras de peixes de água doce, predominantemente a montante da UHE Risoleta Neves.</p> <p>Caracterização de risco para metais essenciais: não houve comprometimento dos valores máximos para suplementação para os metais essenciais em nenhum dos cenários de consumo avaliados.</p> <p>Caracterização de risco para metais não essenciais: Al – resultados indicam que a ingestão máxima tolerável (PTWI) para o alumínio não foi ultrapassada; Hg - considerando o cenário de consumo 3</p>	<p>Foi utilizada a mesma metodologia para cálculo de riscos apresentada na Nota Técnica N° 8/2019/SEI/GEARE/GG ALI/DIRE2/ANVISA – “Avaliação de Risco: Consumo de pescado proveniente de regiões afetadas pelo rompimento da Barragem de Fundão/MG” (ANVISA, 2019). Foram considerados os mesmos cenários de consumo, cálculos de exposição, valores de referência e doses de segurança para ingestão por crianças e adultos utilizados no cálculo de risco da Anvisa.</p> <p>Número de amostras mais amplo que o utilizado na referida NT, cujos dados foram incluídos neste trabalho.</p>

	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>(309,1g/d alto consumidor), a porcentagem do PTWI na população > 10 anos para mercúrio total foi de 95% para pescados em geral, 114% para peixes de água doce, 76% para peixes de água salgada, e 22% para crustáceos. As excelências de mercúrio ocorreram no domínio de exposição a montante de Candonga (UHE Risoleta Neves) somente, não se verificando excedências a jusante deste ponto nem na área costeira; Cd; não houve excedências do PTMI para cádmio; Pb; em diferentes populações e cenários de consumo o risco foi desprezível ou risco muito baixo para chumbo associado ao efeito neurotóxico em crianças. Entretanto, em pescado em geral, o limite fica próximo de 1, abaixo do qual o risco deve ser considerado. Este resultado se deveu principalmente devido a peixes de água doce, considerando alto consumidor (Cenário 3 (309.1g); As: todas as populações e cenários de consumo avaliados apresentaram risco desprezível ou risco muito baixo para arsênio; Ag: não foi estabelecida dose de segurança para o elemento prata, que apresenta baixa toxicidade sobre o corpo humano.</p>	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	Não. Também não compara com os resultados da NT da ANVISA, de 2017.	
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<p>Os metais essenciais (cobre, cromo, ferro, manganês, níquel, zinco), não apresentaram comprometimento dos valores máximos para suplementação em nenhum dos cenários de consumo. O risco associado aos metais não essenciais (alumínio, mercúrio, cádmio, arsênio e prata) pode ser caracterizado de maneira geral como risco desprezível ou risco muito baixo.</p> <p>Os resultados relativos ao comprometimento da ingestão máxima tolerável semanal de mercúrio para cada domínio de exposição indicaram excedências apenas a montante de Candonga;</p>	<p>Seria importante também realizar/apontar análises de As inorgânico.</p>

Análises Ambientais e o Nexo Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas



	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>Todas as diferentes populações e cenários de consumo avaliados apresentaram risco desprezível ou risco muito baixo para chumbo.</p> <p>Conclui que nenhuma medida adicional de gerenciamento de risco seria necessária diante dos cenários de consumo avaliados na presente avaliação de risco para os trechos a jusante de Candonga e costeiro.</p>	

Quadro 25 - Informações apresentadas no Estudo da RHAMA (2019)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	O estudo inclui 16 comunidades de interesse dos municípios: São Mateus (Guriri, Ranchinho, Barra Nova); Linhares (Degredo, Barra Seca, Povoação, Regência); Aracruz (Vila do Riacho, Barra do Riacho, Barra do Sahy, Coqueiral); Serra (Nova Almeida); Conceição da Barra (Conceição da Barra, Itaúnas, Riacho Doce). Foram avaliados 33 mananciais em 14 localidades (exceto Povoação/captação no rio Doce), mesmo onde há captação de águas subterrâneas.	
OBJETIVO	Identificar mananciais das comunidades selecionadas pela Fundação Renova e avaliar a possibilidade destes mananciais terem contato com a água do mar na costa do Espírito Santo.	
PÚBLICO ALVO	Comunidades listadas	
PERÍODO	Não mencionado	Informa que as marés foram obtidas na série mais recente entre 2015 a 2019
TEMAS	Qualidade da água/impacto no turismo	
METODOLOGIA	Foram feitos levantamentos sobre os mananciais e prestadores de serviço de abastecimento; pesquisa "in loco" com entrevistas a moradores, buscando entender sua relação com os mananciais urbanos próximos e as alterações observadas após novembro de 2015; levantamentos de dados hidráulicos junto aos mananciais de cada localidade e níveis das marés no período recente (de 2015 a 2019).	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	O rompimento da barragem de Fundão permitiu o deslocamento dos rejeitos retidos na barragem para jusante, deslocando-se até o litoral do Espírito Santo. A granulometria dos sedimentos que chegaram ao oceano é de partículas finas de argila e silte, com aumento de	



	INFORMAÇÃO	OBS
	<p>turbidez e importante concentração de material sólido.</p> <p>A contaminação potencial nos mananciais superficiais pode ocorrer mediante 2 fatores concomitantes: escoamento da água do mar para o interior dos rios (sentido jusante-montante) e transporte de rejeitos pela água no mar neste momento.</p> <p>Informações obtidas na região apontaram que as principais reclamações (entrevistas) são referentes ao gosto e odor da água nos poços, a problemas na saponificação das águas dos rios e à baixa oferta de peixes em alguns locais após o rompimento.</p> <p>A pesquisa <i>in loco</i> realizada com os moradores das diversas comunidades identificou como principais queixas: Degredo (comunidade quilombola), foi relatado que a água dos poços, próximos ao rio Ipiranga, encontra-se com problemas para uso. Existem queixas de coceiras, dor no estômago e problemas renais. Comentaram que houve uma análise das águas da região e que todos os poços estão contaminados com ferro. A água, quando utilizada para irrigação, acaba prejudicando a vegetação.</p> <p>Vila Riacho, Regência e Povoação sofreram impactos diretos quanto à água de abastecimento por usarem água do rio Doce, alterando seu sistema para a utilização de caminhões pipa. As outras comunidades não comentaram sobre impactos na água usada no abastecimento.</p> <p>A população entrevistada, em parte, demonstrou preocupação pontual com a pesca e turismo, atividades que sofreram redução após novembro de 2015, não necessariamente devido ao referido impacto.</p>	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	O estudo é focado nas percepções da comunidade, procurando-se comparar a	

	INFORMAÇÃO	OBS
	situação pré-evento, bem como avaliações hidrodinâmicas pós-evento.	
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<p>Os resultados indicam que pode existir refluxo em alguns mananciais e não certifica que o material em suspensão (rejeitos) foi transportado pelo manancial e atingiu as localidades avaliadas, nem mesmo que existiam concentrações críticas no litoral para que isto ocorresse.</p> <p>Para as localidades atendidas por concessionárias de serviço de água, as respostas foram que os mananciais de abastecimento utilizados apresentaram pouca ou nenhuma alteração na qualidade da água após novembro de 2015.</p> <p>As localidades onde o abastecimento de água utilizava o rio Doce como manancial de captação tiveram sua captação deslocada para outros mananciais ou se tornaram dependentes de caminhões-pipa.</p> <p>A exceção foi Degredo, onde a população realiza captação por poços profundos e alega que a qualidade das águas dos poços se deteriorou após o rompimento. O estudo conclui que a probabilidade de que água subterrânea tenha sido contaminada pelos rejeitos do rompimento é muito pequena.</p>	

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

Quadro 26 - Informações apresentadas no Estudo da TETRA TECH (2019)

	INFORMAÇÃO	OBS
ÁREA DE ABRANGÊNCIA	Degredo (Linhares), delta do rio Doce.	
OBJETIVO	<p>Pesquisar causas das não-conformidades nas análises da qualidade de água dos poços artesanais existentes na região de Degredo.</p> <p>Caracterizar o fenômeno da "decoada"</p> <p>Identificar possíveis contribuições antrópicas e fontes de contaminação que estejam comprometendo a qualidade de água.</p>	
PÚBLICO ALVO	Região do delta da foz do rio Doce	
PERÍODO	A partir de 2018	
TEMAS	Qualidade da água e solo	
METODOLOGIA	Pesquisa bibliográfica e em laudos de qualidade da água dos poços da região de Degredo, além de inspeção visual em campo.	
PRINCIPAIS PONTOS LEVANTADOS	<p>Os canais de drenagem artificiais alteram a qualidade das águas superficiais pelo acúmulo de materiais orgânicos, o que reduz oxigênio dissolvido e o pH.</p> <p>As principais alterações nas águas dos poços foram em relação ao ferro (91%), coliformes fecais (81%), pH (59%), Alumínio (30%) e Arsênio (12%), Manganês (12%), Cobre (4%), Chumbo (0,7%).</p>	
TEM DESCRITIVO PRÉ EVENTO?	Não	
PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<p>Não há inferências ou citações no trabalho sobre o rompimento da barragem de Fundão.</p> <p>São sugeridos estudos complementares, pois não foi possível visitar o núcleo quilombola de Degredo. Também sugere melhor avaliação dos fatores que podem influenciar a qualidade da água dos poços, considerando a sazonalidade da área de estudo.</p>	

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

9.2. Anexo 2 – Apresentação da Equipe

MARIA CLAUDIA PALEY BRAGA



Especialista em planejamento e gestão socioambiental, com ênfase em avaliação de impactos e licenciamento ambiental de empreendimentos, em instrumentos de planejamento ambiental e em Avaliação Ambiental Estratégica. É sócia-diretora da Tetra Mais Consultoria. Atuou como diretora executiva, responsável técnica e coordenadora técnica de Estudos e Serviços relacionados à Gestão Socioambiental de Empreendimentos e Sustentabilidade Socioambiental de diversos empreendimentos ao longo de mais de 25 anos. Foi Líder Regional para a América Latina na proposição de valor para Serviços de Planejamento Ambiental da ARCADIS Global (*Regional Value Proposition Leader*).

ÉRICA CRISTINA PADOVANI HALLER

Bióloga sênior, mestre em Zoologia, com experiência em gerenciamento/coordenação de projetos ambientais, incluindo seus aspectos técnicos, financeiros e operacionais, principalmente na fase de implantação e operação de empreendimentos; interface direta com clientes, órgãos ambientais e demais stakeholders. Desenvolveu artigos publicados em revistas acadêmicas e apresentados em eventos nacionais e internacionais. Tem experiência em docência em curso de Ciências Biológicas, ministrando disciplinas relacionadas ao planejamento ambiental, avaliação de impactos ambientais, ecologia.

CECÍLIA ALARSA

Geógrafa, mestre em Serviços Ecosistêmicos, com experiência em licenciamento ambiental de gasodutos, parques eólicos e linhas de transmissão, e sustentabilidade (Princípios do Equador na Amazônia: UHE Santo Antônio e UHE Belo Monte) e gerência de sustentabilidade de Pequenas Centrais Hidrelétricas (RJ, MG e MT). Destacam-se licenciamentos para geração de energia (termelétricas / hidrelétricas / eólicas), infraestrutura (portos / estradas / saneamento / resíduos sólidos / ferrovias / dutovias), mineração (ouro / brita / areia), atividades

	Relatório Técnico			
	Contrato 4800025564	Nº PTCI 01/2020	REV.04	
Análises Ambientais e o Nexa Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas				

industriais e agrícolas diversas, unidades de conservação, incluindo experiência no Chile (porto / mineroduto), Moçambique (ferrovia / porto) e Inglaterra (usina termelétrica). Na área educacional ministra aulas, palestras e cursos para ensino médio e superior, empresas e instituições, agregando a experiência a diferentes públicos.

MARIA MADALENA LOS

Bióloga sênior, mestre em ecologia, com experiência na coordenação e elaboração de estudos ambientais, diagnósticos, identificação e avaliação de impactos e formulação de programas ambientais. Também possui experiência em planejamento territorial, avaliação ambiental estratégica, formulação de projetos de recuperação de áreas degradadas.

VILMA MARIA CAVINATTO RIVERO

Bióloga, pós-graduada em ecologia e docente do curso de engenharia sanitária, desenvolve atividades no ramo de consultoria ambiental com foco em licenciamento e monitoramento de empreendimentos diversificados. Coordenou inúmeros projetos voltados a recursos hídricos, qualidade da água e sedimentos e biota aquática (águas doces e costeiras), com consultoria à ONU/PNUD, e participação em projetos internacionais. É autora de livros paradidáticos sobre saneamento e meio ambiente voltados à educação ambiental.

Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

9.3. Anexo 3 – ART do Contrato

DocuSign Envelope ID: 9A7B809A-58E9-459A-AD48-73488193C23B

Resolução nº 1.025/2009 - Anexo I - Modelo A

Página 1/2



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São Paulo

CREA-SP

ART de Obra ou Serviço
28027230200313367

1. Responsável Técnico

MARIA CLAUDIA PALEY BRAGA

Título Profissional: Engenheira Civil

RNP: 2609911165

Registro: 5060481211-SP

Registro: 2077041-SP

Empresa Contratada: TETRA MAIS CONSULTORIA LTDA-EPP

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA**

CPF/CNPJ: 25.135.507/0001-83

Endereço: Avenida GETÚLIO VARGAS

N°: 671

Complemento: SALA 400

Bairro: SAVASSI

Cidade: Belo Horizonte

UF: MG

CEP: 30112-021

Contrato: 4800025564

Celestado em: 16/12/2019

Vinculado à Art nº:

Valor: R\$ 2.198.000,00

Tipo de Contratante: Pessoa Jurídica de Direito Privado

Ação Institucional:

3. Dados da Obra/Serviço

Endereço: Rua RUA JERÔNIMO DA VEIGA 164

N°: 184

Complemento: 18º ANDAR

Bairro: JARDIM EUROPA

Cidade: São Paulo

UF: SP

CEP: 04638-900

Data de Início: 16/12/2019

Previsão de Término: 01/01/2021

Coordenadas Geográficas:

Finalidade: Ambiental

Código:

Proprietário: Samarco Mineração S.A

CPF/CNPJ: 16.638.281/0001-41

4. Atividade Técnica

				Quantidade	Unidade
Consultoria 1	Avaliação	Plano	Recuperação de Áreas Degradadas	11500,00000	hora

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

Consultoria técnica em análise e elaboração de estudos a partir de dados secundários referentes aos impactos sociais, econômicos e ambientais tanto individuais quanto cumulativos para atendimento às demandas dos Programas Socioeconômicos e Socioambientais, do Plano de Restauração Socioambiental do Rio Doce, de acordo com as cláusulas do Termo de Ajuste de Conduta (TAC) firmado entre a Samarco e seus acionistas e o Governo Federal e estadual de Minas Gerais e Espírito Santo, e outras demandas de órgãos ambientais e fiscalizadores. Ocorrerá em qualquer localidade onde a Fundação Renova atua, abrangendo as cidades localizadas entre Mariana-MG e Ubatuba-ES, ao longo das rias Santarém, Guapeú de Norte, Carvão, Piranga, Paqueta e Doce, incluindo suas afluentes, lagoas, faz e zona costeira do Espírito Santo.

6. Declarações

Acessibilidade: Declaro atendimento às regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004.

Análises Ambientais e o Nexso Causal com o Rompimento da Barragem de Fundão nos Estudos Elaborados que Abrangem a Região de Novas Áreas

DocuSign Envelope ID: 9A7B809A-58E9-459A-AD48-73488193C23B

Resolução nº 1.025/2009 - Anexo I - Modelo A

Página 2/2

7. Entidade de Classe

SE - SEESP - SINDICATO DOS ENGENHEIROS NO ESTADO DE SÃO PAULO - SEESP

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Local _____ de _____ de _____



MARIA CLAUDIR PRADO BRAGA - CPF: 112.175.739-36



FUNDAÇÃO-RENOVA/CPPICNPJ: 26.136.607/0001-83

9. Informações

- A presente ART encontra-se devidamente quitada conforme dados constantes no rodapé-versão do sistema, certificada pelo Nosso Número.

- A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.creasp.org.br ou www.confex.org.br

- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

www.creasp.org.br
Tel: 0800 17 18 11
E-mail: acesar@nk-fake.com.br Conheça do site acima

Valor ART R\$: 226,60

Registrada em: 17/03/2020

Valor Pago R\$: 226,60

Nosso Número: 28027236200313387

Versão do sistema

Impressão em: 18/03/2020 09:01:57

