

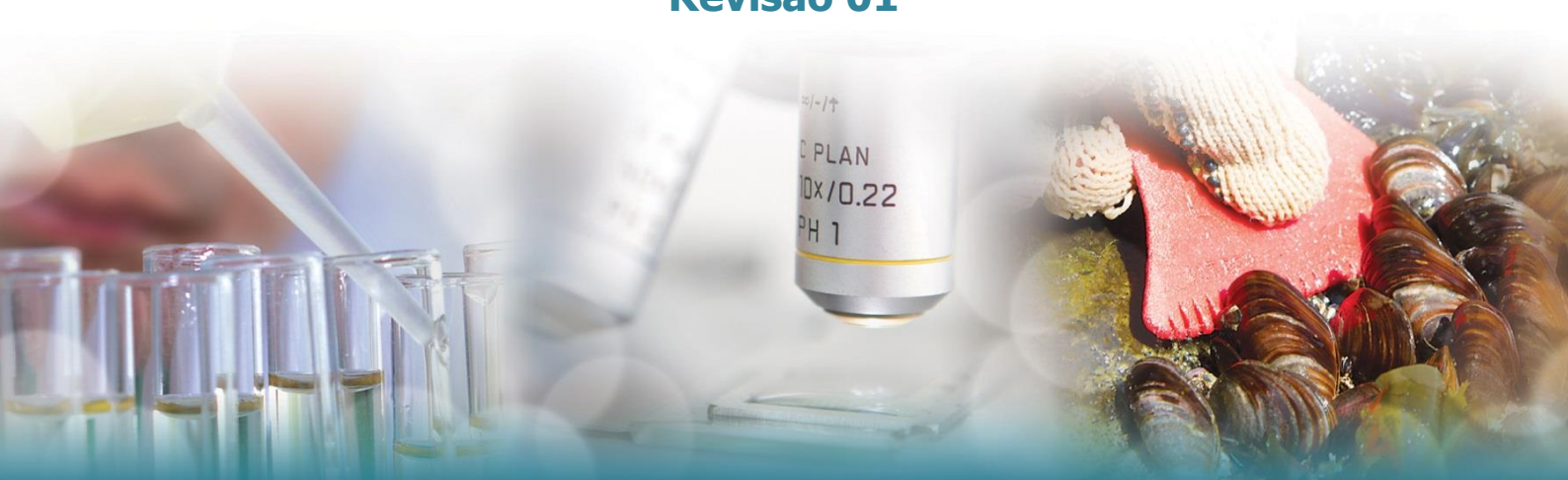


## **FUNDAÇÃO RENOVA**

### **PARECER TÉCNICO SOBRE A QUALIDADE DO PESCADO NO RIO DOCE E ZONA COSTEIRA ADJACENTE**

**Relatório Técnico nº867/2018**

**Revisão 01**



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	9
2. ASPECTOS FÍSICOS E QUÍMICOS RELATIVOS À EXTENSÃO GEOGRÁFICA DA PLUMA .....	10
2.1 ASPECTOS FÍSICOS RELACIONADOS A EXTENSÃO DA PLUMA .....	10
2.2 ASPECTOS QUÍMICOS RELACIONADOS A EXTENSÃO DA PLUMA..	77
3. ALTERAÇÕES QUÍMICAS RELACIONADAS À PASSAGEM DA PLUMA .....	84
4. ASPECTOS ECOTOXICOLÓGICOS E ECOLÓGICOS OBSERVADOS.....	109
4.1 ASPECTOS ECOTOXICOLÓGICOS .....	110
4.2 ASPECTOS ECOLÓGICOS .....	113
5. ASPECTOS RELATIVOS A BIOACUMULAÇÃO .....	123
5.1 AVALIAÇÃO CRÍTICA DOS MÉTODOS ANALÍTICOS .....	123
5.2 CENÁRIO DE BIOACUMULAÇÃO NO RIO DOCE .....	131
5.3 CENÁRIO DE BIOACUMULAÇÃO NA REGIÃO COSTEIRA.....	132
5.4 INDÍCIOS DE RELAÇÃO CAUSA – EFEITO.....	140
5.5 RISCO À SAUDE HUMANA .....	144
6. SINAIS DE RECUPERAÇÃO DO AMBIENTE .....	169
7. CONCLUSÕES .....	170
8. ORIENTAÇÕES TÉCNICAS PARA O PLANEJAMENTO AMOSTRAL .....	178
9. REFERÊNCIAS.....	180
10. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR E DA EMPRESA DE CONSULTORIA .	191

## APRESENTAÇÃO

Com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, Mariana/MG, no dia 05 de novembro de 2015, a pluma de turbidez alcançou o rio Doce e percorreu sua extensão até chegar ao mar em 21 de novembro de 2015. Decorrente do evento, foram estabelecidas duas zonas de proibição de pesca.

Em fevereiro de 2016 a Justiça Federal determinou, liminarmente, a proibição da pesca na área compreendida entre a região de Barra do Riacho, Aracruz/ES, até Degredo, em Linhares/ES, dentro dos 25 metros de profundidade. Em decisão, registra-se que a continuidade da atividade pesqueira nas áreas afetadas pelos rejeitos “... representam, ao menos em potência, risco grave de dano irreparável ou de difícil reparação ao meio ambiente e à saúde da coletividade...”, estabelecendo que tal decisão é passível de revisão quando dos resultados das análises técnicas oficiais (JUSTIÇA FEDERAL, 2016). Esta área foi redefinida para a isóbata de 20 metros de profundidade em maio do mesmo ano. Em sequência, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária proibiu o armazenamento, a distribuição e a comercialização de pescado oriundo da atividade pesqueira desenvolvida no mar na região supracitada por meio da Resolução 989/2016, considerando as informações contidas na Nota Técnica do ICMBIO nº006/2016, a qual indicou valores superiores aos padrões estabelecidos pela legislação para arsênio, cádmio e chumbo em amostras de músculo de pescado (peixe e camarão).

Já em novembro de 2016, o Instituto Estadual de Florestas estabeleceu por meio de Portaria a proibição da pesca profissional em toda a bacia hidrográfica do rio Doce, nos limites do estado de Minas Gerais. Em maio de 2017 a normativa é revista, sendo a proibição restrita a pesca de espécies autóctones (origem ou ocorrência natural na bacia), motivada pelos impactos ambientais sobre os recursos pesqueiros (IEF, 2016, 2017).

Estudos acerca da qualidade do pescado e da estrutura de comunidade ictiológica vem sendo conduzidos na bacia do rio Doce e na região costeira adjacente, desde o período do rompimento da barragem, a pedido da SAMARCO e posteriormente da Fundação

RENOVA, ou por iniciativa dos órgãos reguladores e universidades. Estes estudos, e outras dezenas deles (~56 no total, ANEXO I), referentes a qualidade ambiental do rio Doce, estuário e zona costeira adjacente, foram objeto de análise por um grupo de especialistas sêniores, que tiveram como objetivo fornecer subsídios técnicos para a avaliação da real necessidade da proibição da pesca. O painel de especialista foi formado por profissionais/pesquisadores de notório saber em suas respectivas áreas de atuação, abrangendo conhecimentos em oceanografia física, oceanografia química, toxicologia humana, ecotoxicologia e ecologia. O background resumido de cada integrante é apresentado a seguir:

### **Dr. José Galizia Tundisi**

Possui graduação em História Natural pela Universidade de São Paulo (1962), mestrado em Oceanografia na University Of Southampton (1966) e doutorado em Ciências Biológicas (Botânica) pela Universidade de São Paulo (1969). Atualmente é professor titular aposentado da Universidade de São Paulo e atua na pós-graduação da Universidade Federal de São Carlos orientando mestres e doutores. É presidente da Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental (IIEGA) e pesquisador do Instituto Internacional de Ecologia (IIE). É professor convidado do Instituto de Estudos Avançados da USP. É professor titular da Universidade Feevale (Novo Hamburgo RGS) atuando no curso de pós-graduação em Qualidade Ambiental. Orientação de mestres e doutores, ministrando as disciplinas de Ecologia Teórica e Monitoramento Ambiental. É membro titular da Academia Brasileira de Ciências e do Ecology Institute - Excellence in Ecology (Alemanha). É especialista em Ecologia, Limnologia com ênfase em Gerenciamento Recuperação de Ecossistemas Aquáticos. Atuou como consultor em 40 países nas áreas de limnologia, gerenciamento de recursos hídricos, recuperação de lagos e reservatórios e planejamento e otimização de usos múltiplos de represas. Atualmente dirige programa internacional mundial de formação de gestores de recursos hídricos para o IAP (InterAcademy Pannel - que representa 100 Academias de Ciências). É consultor de vários Projetos de Gestão de Recursos Hídricos a cargo do Instituto Internacional de Ecologia e de Gerenciamento Ambiental. Tem 30 livros publicados e 1 livro no prelo, 320 trabalhos científicos publicados e prêmios no Brasil no exterior. Orientou 41 mestres e 35 doutores nas áreas de Ecologia, Limnologia,

Oceanografia, Gestão de Recursos Hídricos e Gestão Ambiental. Foi presidente do CNPq de 1995 à 1999 e assessor do Ministro de Ciência e Tecnologia Ronaldo Sandenberg de 1999 à 2001. Foi presidente do Programa Institutos do Milênio do Ministério de Ciência e Tecnologia. Em 1999 fundou a Secretaria Municipal de Ciência e Tecnologia e Desenvolvimento Econômico em São Carlos. Desde 2001 é Presidente da Associação da Revista Brasileira de Biologia. Para currículo completo acessar: <http://lattes.cnpq.br/5730659239785432>.

### **Dr. Luis Felipe Hax Niencheski**

Possui graduação em Oceanologia Biológica e Geológica pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande (1977), mestrado em Oceanologie - Université Daix Marseille II - Station Marine D'Endoume (1980), Doctorat en Oceanologie pela Université D Aix Marseille II - Station Marine D'Endoume (1982) e Pós-Doc no Skidaway Institute of Oceanography, University System of Georgia, USA. Atualmente é Professor Titular da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Tem experiência de mais de 40 anos na área de Oceanografia, com ênfase em Oceanografia Química, atuando principalmente nos seguintes temas: Hidroquímica e qualidade de águas superficiais e subterrâneas; contaminação estuarina e marinha; bioacumulação de metais; especiação química de metais; transporte continente-oceano de elementos dissolvidos e particulados e Descarga de água subterrânea na América do Sul Atlântica; metais no sedimento; metais em acidentes de mineração. Professor convidado da Universitat Politècnica de Valencia e em 18 de setembro de 2012 foi aceito pelo Conselho do Skidaway Institute of Oceanography (SKIO) como Adjunct Faculty Member. Em 2018 foi aceito como Adjunct Faculty Member da University of Georgia (UGA) e em 2018 recebeu o título de Professor Emérito da FURG. Para currículo completo acessar: <http://lattes.cnpq.br/1075838747552442>.

### **Dr. Paulo Cesar Colonna Rosman**

Engenheiro Civil com ênfase em Obras Hidráulicas & Saneamento em 1977 pela Escola de Engenharia da UFRJ; MSc. em Engenharia Oceânica em 1979 na COPPE/UFRJ; e Ph.D. em Engenharia Costeira em 1987 pelo Department of Civil Engineering - Massachusetts Institute of Technology, USA. Foi Presidente da Superintendência

Estadual de Rios e Lagoas (SERLA) do Governo do Estado do Rio de Janeiro, e membro da CECA - Comissão Estadual de Controle Ambiental de 01/95 a 02/97. É Professor Titular do Departamento de Recursos Hídricos & Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ e da Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica do Programa de Engenharia Oceânica da COPPE/UFRJ, onde atua desde 1979. Na COPPE/UFRJ, já orientou mais de 100 teses sendo 26 de doutorado. Já coordenou mais de 100 projetos através da Fundação Coppetec. Para currículo completo acessar: <http://lattes.cnpq.br/6875102654106164>.

### **Dra. Tatiana Heid Furley**

Bióloga; Mestre em Oceanografia Biológica pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande (1993); Doutora em Oceanografia Biológica pela Universidade de São Paulo (2006). Possui 28 anos de experiência na elaboração de design e coordenação de estudos de monitoramento de efeitos ambientais em ecossistemas aquáticos; experiência internacional na atuação colaborativa tripartite (ciência, governo, indústria) para resolução dos problemas ambientais; 27 anos de experiência em bioacumulação de metais, organoclorados e hidrocarbonetos em organismos aquáticos expostos a efluentes domésticos e industriais dos setores de mineração, siderurgia, celulose e papel e petróleo; 17 anos de experiência em avaliação integrada da qualidade de sedimentos, em ecotoxicologia e investigação da causa da toxicidade; 15 anos de experiência com projetos de passivos ambientais de mineração relacionados a vazamentos antigos e recentes em solos e recursos hídricos. Já recebeu 15 prêmios pela qualidade e inovação em seus projetos ambientais. Há 18 anos participa de comitês científicos de conferências internacionais, coordena seminários e conferências sobre efeito de contaminantes na biota, moderando e apresentando projetos realizados juntamente com cientistas da academia, indústria e agências ambientais do Brasil, USA, Canadá, UK, Espanha, Itália, Austrália e Nova Zelândia. Há 3 anos coordenou e publicou o Guia de Monitoramento de Efeitos Ambientais, uma proposição de protocolo para o Brasil. Atualmente é Diretora Técnica e de Inovação da APLYSIA Soluções Ambientais, Presidente do Instituto Aplysia, Diretora da Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia, Presidente da SETAC LA - Sociedade Latino Americana de Toxicologia e Química Ambiental. Para currículo completo acessar: <http://lattes.cnpq.br/3363990674921534>.

## Dra. Yvette Wieder Lowney

Possui 30 anos de experiência profissional avaliando o potencial de efeito à saúde humana a partir da exposição à metais no meio ambiente, incluindo solo, ar, água, alimentos e produtos consumidos. Experiência em avaliação de risco a saúde humana em projetos de pesquisa, regulatórios e litígio; na coordenação de pesquisas na área de exposição de metais aos homens; e riscos de produtos químicos em meios ambientais, locais de trabalho e produtos de consumo. Passou as últimas duas décadas em consultoria, onde seus clientes incluíam indústria, agências e organizações não-governamentais. Em cada um desses contextos, um objetivo consistente foi identificar lacunas de dados estratégicos e, se necessário, realizar pesquisas para fornecer informações para uma avaliação mais realista de exposições e risco potencial. Experiência em avaliações de risco sob CERCLA, RCRA, FIFRA, FD e CA, CPSIA envolvendo produtos químicos e cenários de exposição. Experiência em avaliação da biodisponibilidade oral relativa e absorção percutânea e geração de modelos de extração de *bench-top* para estimar a biodisponibilidade relativa de produtos químicos do solo, para aplicação tanto na saúde humana quanto em avaliações de risco ecológico. Possui ainda experiência em discussões com o EPA sobre biodisponibilidade de metais e risco a saúde humana, provenientes de acidentes de mineração.

Ao final deste parecer técnico, o grupo de especialistas acima apresentado terá como objetivo responder aos seguintes questionamentos:

- (i) Se há justificativa sob o ponto de vista ambiental e de risco à saúde humana para a manutenção da área de proibição da pesca delimitada atualmente (área compreendida entre a região de Barra do Riacho (Aracruz/ES) até Degredo/Ipiranguinha (Linhares/ES);
- (ii) Se o consumo próprio do pescado oferece risco à saúde humana;
- (iii) Se os estudos disponíveis até o momento são suficientes para responder estas questões e, caso contrário, direcionamentos sobre quais estudos ainda precisam ser feitos para que estas questões sejam respondidas;

- 
- (iv) Se constatada a necessidade de manutenção da área de proibição de pesca delimitada atualmente, quais são as orientações técnicas que possibilitem seu melhor entendimento, mitigação e/ou extinção do problema em questão; e
  - (v) Sob quais critérios técnicos que devem fundamentar o limite geográfico desta área de proibição, a fim de distinguir claramente a área de proibição de pesca e a área que não deve ser considerada como imprópria para o pescadeiro.

## 1. INTRODUÇÃO

O presente parecer apresentará, a partir de estudos e dados secundários, elementos técnicos que possam embasar as avaliações sobre a qualidade do pescado na região delimitada como área de proibição da pesca e zona costeira adjacente.

Este documento foi estruturado em 8 capítulos, nos quais serão abordados os seguintes tópicos: aspectos relativos a extensão geográfica da pluma; alterações químicas relacionadas a passagem da pluma; aspectos ecotoxicológicos e ecológicos observados; aspectos relativos a bioacumulação, incluindo o risco humano; sinais de recuperação do ambiente; conclusões e orientações técnicas para o planejamento amostral.

## 2. ASPECTOS FÍSICOS E QUÍMICOS RELATIVOS À EXTENSÃO GEOGRÁFICA DA PLUMA

### 2.1 ASPECTOS FÍSICOS RELACIONADOS A EXTENSÃO DA PLUMA

O contexto deste capítulo<sup>1</sup> é fornecer subsídios para análises pertinentes à necessidade de manter ou cancelar o banimento de pesca na zona indicada no mapa da Figura 2, limitada pela linha vermelha na isóbata de 20m.

#### 2.1.1 Contextualização

Nas análises apresentadas neste subcapítulo, sempre que possível, isolam-se os efeitos físicos das cargas de sedimentos trazidas pelo rio Doce para a zona estuarina e costeira adjacente. Tal feito é possível apenas com modelagem computacional, pois ao se medir em campo ou fazer estimativas com base em imagens aéreas ou de satélite, especialmente na zona costeira, registram-se ou observam-se concentrações de sedimentos oriundos de todas as fontes possíveis ao longo do litoral. O objetivo de isolar as cargas vindas do rio Doce é avaliar o potencial impacto das cargas de sedimentos oriundas do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão na zona costeira.

Especificamente, neste subcapítulo foca-se nos seguintes objetivos:

1. Analisar, no período mais crítico, o impacto que o afluxo de sedimentos finos oriundos da ruptura da barragem de Fundão em Mariana causou nas concentrações de sedimentos finos em suspensão no baixo rio Doce, sua zona

<sup>1</sup> Neste capítulo utiliza-se partes do “Capítulo 4 – Avaliação da Zona Estuarina do Rio Doce e Zona Costeira Adjacente” do Relatório Final do Projeto COPPE-20275 intitulado “AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA RUPTURA DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO EM MARIANA NOVE MESES APÓS O DESASTRE”, contratado pela Vale S.A à Fundação Coppetec em 08/2016 e findo em 01/2017. Destaca-se que tal Relatório Final foi repassado à Fundação Renova pela Vale S.A., que o uso das informações nele contidas foi autorizado pela Vale S.A. no contexto deste trabalho, e que o responsável técnico pelo citado Capítulo 4 foi o Prof. Paulo Cesar Colonna Rosman, que também é o responsável técnico por este trabalho.

estuarina e a zona costeira adjacente à foz, bem como depósitos lamosos no fundo, com especial atenção à zona de banimento de pesca.

O período mais crítico considerado estende-se por quatro meses, indo da chegada da pluma de sedimentos na região estuarina, no dia 20/11/2015 até o dia 20/03/2016. Como ilustra a Figura 1, os dados mostraram que após este período, as concentrações de sedimentos em suspensão medidas em Linhares-ES, a ~40 km da foz, foram muito reduzidas.

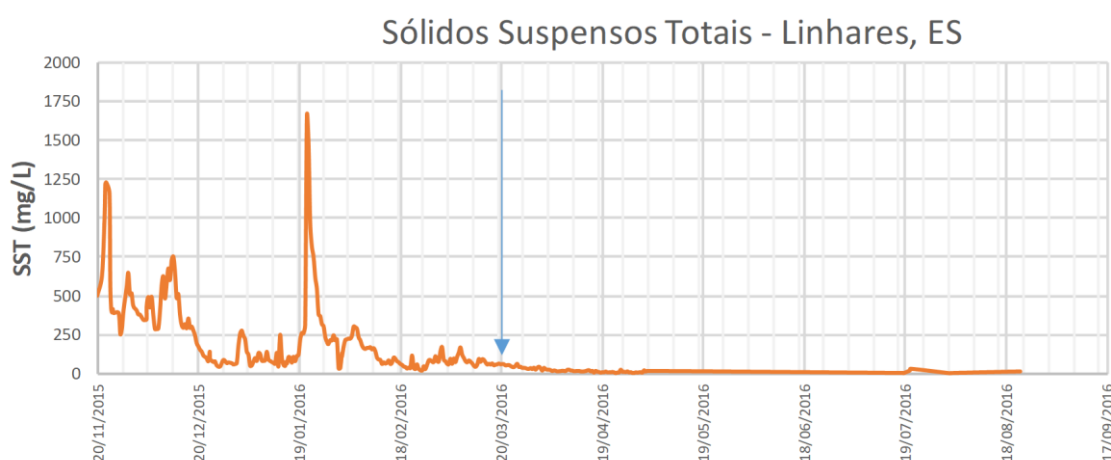


Figura 1 – Série temporal de sólidos suspensos totais em mg/L medidos na Estação Linhares – ES – Centro – Margem Direita, considerando o período desde a chegada da lama no estuário do rio Doce até o final do mês de agosto, nove meses após o acidente. Dados fornecidos pela Vale S.A.

As análises foram desenvolvidas com base em dados medidos e modelagem computacional de hidrodinâmica ambiental. A modelagem adotada nas análises incorpora a circulação hidrodinâmica e processos sedimentológicos, com efeitos de deposição, transporte e ressuspensão de sedimentos finos, além da atualização dinâmica da batimetria com as consequentes alterações morfológicas. Para isso utilizou-se modelagem hidro-sedimentológica morfodinâmica, que acopla modelos hidrodinâmico com modelos de transporte de sedimentos finos, ou coesivos, em suspensão.

2. Nos limites demarcados de banimento da pesca na zona estuarina do rio Doce e zona costeira adjacente à sua foz, cf. Figura 2, determinar valores de persistência de concentrações de sedimentos em suspensão, especificamente oriundos do rio

Doce, acima de 20, 50 e 100 mg/L, durante o período mais crítico, entre 20/11/2015 e 20/03/2016. O conhecimento da persistência de concentrações de sedimentos, permite análises sobre persistência de concentrações de elementos de risco, que possam estar associadas aos sedimentos oriundos da ruptura da barragem da Samarco.

3. Por período estendido até 31/08/2018, avaliar quantitativamente a que distância para o norte a pluma da foz do rio Doce pode ter sido transportada pelas correntes, e riscos de atingir áreas sensíveis como o arquipélago de Abrolhos, cotejando com a concentração de sedimentos em suspensão medidas no rio Doce, nos períodos em que houve transporte da pluma para o norte e para o sul da foz.



Figura 2 – Imagem mostrando linhas limítrofes da zona de banimento da pesca, que se estende até 45 km para o norte da foz do rio Doce e até 30 km para o sul da foz. A linha vermelha, interna corresponde à isóbata de 20 m, que limita a zona de banimento da pesca, e a externa amarela à isóbata de 40 m. Na imagem, aparece a cidade de Linhares, que dista cerca de 40 km da foz do rio Doce. Destaca-se o ponto de extração de dados de velocidades de correntes do HYCOM.

Para extensão do período de avaliação da deriva da pluma até o final de agosto de 2018, extraiu-se dados de velocidades de correntes no ponto indicado na Figura 2. Os dados de correntes médias diárias foram gerados por reanálise no Atlântico Sul através do HYCOM – *Hybrid Coordinate Ocean Model*, para o período de novembro de 2015 a agosto de 2018. O HYCOM representa um consórcio multi-institucional patrocinado pelo *National Ocean Partnership Program* (NOPP) como parte do U.S. GODAE – *Global Ocean Data Assimilation Experiment*, que trabalha para o desenvolvimento e avaliação do próprio modelo oceânico HYCOM e seu sistema de assimilação de dados denominado NCODA – *Navy Coupled Ocean Data Assimilation*.

Nas avaliações apresentadas, além de menções aos capítulos 4 e 8 do Relatório Final do Projeto COPPE-20275 intitulado “AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA RUPTURA DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO EM MARIANA NOVE MESES APÓS O DESASTRE”, contratado pela Vale S.A à Fundação Coppetec em 08/2016 e findo em 01/2017, inclui-se considerações sobre os seguintes relatórios, listados em data cronológica:

- RT ECV 073-16 - Lev\_Abrolhos a Vitoria (leve).pdf, abr/2016, da empresa Ecoconservation, sobre “Levantamento de dados de turbidez, fitoplâncton e qualidade de água entre abrolhos e Vitória”.
- RT AMB 075-16.pdf, abr/2016, da empresa Amblev, sobre “Monitoramento hidrográfico na plataforma adjacente à foz do rio Doce”.
- DCOM\_relatorio\_UERJ\_versao\_final.pdf, mai/2016, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, sobre “Estudo preliminar sobre a detecção da pluma de sedimentos do rio Doce sobre o Parque Nacional dos Abrolhos.”
- RT\_011-159-515-2282\_00-B.pdf, mai/2016, da empresa Golder Associates, sobre “Análise da ocorrência de deposição de rejeitos oriundos da barragem de fundão no ambiente marinho adjacente ao rio Doce”.
- RT ECV 138-17\_Analise\_Final\_REV00\_red.pdf, jun/2017, da empresa Econservation, sobre “Análise integrada dos contornos do deslocamento das plumas de turbidez no meio marinho”.
- 20171123 - Geoquímico Rev Final Desbloqueado.pdf, com planilhas Anexo E\_Editável.xlsx, Anexo H\_Editável.xlsx e Anexo R\_Editável.xlsx, out/2017, da empresa Golder Associates, sobre “Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos”.

## 2.1.2 Sobre a modelagem computacional

Os modelos utilizados no desenvolvimento do estudo da COPPE-20275 fazem parte do **SisBaHiA<sup>®</sup> - Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental**. O SisBaHiA<sup>®</sup> é um sistema profissional de modelos computacionais registrado pela Fundação Coppetec, órgão gestor de convênios e contratos de pesquisa da COPPE/UFRJ - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A Figura 3 mostra a tela de abertura do sistema, com o projeto analisado neste relatório ativado. A seguir descreve-se as principais características do sistema.



Figura 3 – Tela de abertura do sistema de modelos utilizado para suporte às análises do trabalho desenvolvido. Maiores informações em [www.sisbahia.coppe.ufrj.br](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br).

Novas versões do SisBaHiA<sup>®</sup> têm sido continuamente implementadas na COPPE/UFRJ desde 1987, com ampliações de escopo e aperfeiçoamentos feitos através de várias teses de mestrado e doutorado, além de projetos de pesquisa. O sistema tem sido adotado em dezenas de estudos e projetos contratados à Fundação Coppetec envolvendo modelagem de corpos de água naturais. Maiores detalhes técnicos sobre o SisBaHiA<sup>®</sup> podem ser obtidos em consulta à página [www.sisbahia.coppe.ufrj.br](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br). Em linhas gerais, na versão atual, o SisBaHiA<sup>®</sup> contém:

- i. **Modelagem Digital do Terreno:** no módulo Malhas e Domínios de Modelagem há muitas ferramentas para modelagem digital do terreno de interesse. Na tela “Visualiza” há ferramentas diversas para importar mapas e linhas de contorno de terra e de água de mapas, definir contornos de modelagem, gerar e editar malhas de elementos finitos triangulares e quadrangulares. O SisBaHiA<sup>®</sup> opera com coordenadas geográficas, longitudes e latitudes em graus decimais, ou métricas UTM, opera também com coordenadas métricas locais. Há várias ferramentas para interpolação de batimetria e dados de rugosidade equivalente do fundo, etc.
- ii. **Modelos Hidrodinâmicos:** são modelos de circulação hidrodinâmica 3D ou 2DH otimizados para corpos de água naturais. Resultados podem ser tanto 3D quanto 2DH, dependendo dos dados de entrada. Otimizado é usado no sentido de um modelo planejado para ótima representação de escoamentos em domínios naturais com geometria complexa. Processos de calibração são minimizados devido a fatores como: discretização espacial via elementos finitos quadráticos e transformação  $s$ , permitindo ótimo mapeamento de corpos de água com linhas de costa e batimetrias complexas, campos de vento e atrito do fundo podendo variar dinamicamente no tempo e no espaço, e modelagem de turbulência multi-escala baseada em Simulação de Grandes Vórtices (*ES*). Pode-se incluir efeitos de gradientes de densidade acoplado modelos de transporte de sal e calor dos Modelos de Qualidade de Água a modelos hidrodinâmicos. Pode-se também incluir evolução morfológica do fundo, com acoplamento de Modelos de Transporte de Sedimentos, de Geração e de Propagação de Ondas descritos abaixo. Permite análises determinísticas e estatísticas nos resultados obtidos.
- iii. **Modelos de Transporte de Sedimentos Coesivos e Não Coesivos e Evolução Morfológica do Fundo:** trata-se de modelos que computam transporte de sedimentos e taxas de erosão e sedimentação no fundo. O usuário pode prescrever curvas granulométricas e estoques de sedimentos erodíveis diferentes em qualquer ponto da região modelada. Pode funcionar dinamicamente acoplado a um modelo hidrodinâmico, permitindo assim realizar estudos de evolução morfológica de fundo. Para sedimentos não coesivos, o modelo permite múltiplas opções de formulações de transporte de arraste: Van Rijn (1984), Meyer-Peter Müller, Nielsen, Madsen, Yalin; bem como de transporte total (arraste e suspensão: Ackers & White, Engelund-Hansen e Van Rijn(2007)). Outras formulações podem ser incluídas. Pode funcionar também de modo desacoplado, apenas para estimação de vazões sólidas. Permite análises determinísticas e estatísticas nos resultados obtidos.

- iv. **Modelos de Qualidade de Água e Eutrofização:** trata-se de um conjunto de modelos de transporte Euleriano, para simulação acoplada de até 11 parâmetros de qualidade de água e indicadores de eutrofização: sal, temperatura, OD-DBO, nutrientes compostos de nitrogênio e de fósforo e biomassa. Tais modelos podem ser aplicados para escoamentos 2DH, ou em camadas selecionadas de escoamentos 3D. Permite análises determinísticas e estatísticas nos resultados obtidos.
- v. **Modelos de Transporte Euleriano:** são modelos de uso geral para simulação de transporte advectivo-difusivo com reações cinéticas de escalares dissolvidos ou partículas em suspensão na massa d'água. Os modelos podem ser aplicados a escoamentos 2DH, ou em camadas selecionadas de escoamentos 3D. Permitem a utilização de praticamente qualquer tipo de reação cinética de decaimento ou produção do contaminante sendo modelado, inclusive através de curvas de decaimento fornecidas através de tabelas e valores. Pode-se também simular processos de perda ou ganho de massa por sedimentação e erosão. Este modelo opera o transporte de sedimentos coesivos com evolução morfológica do fundo. Permite análises determinísticas e estatísticas nos resultados obtidos.
- vi. **Modelo de Transporte Lagrangeano - Determinístico:** é um modelo de uso geral para simulação de transporte advectivo-difusivo com reações cinéticas, para camadas selecionadas de escoamentos 3D ou 2DH. Este modelo é especialmente adequado para simulações de vários tipos de problemas, por exemplo:
- ☉ Plumas de emissários ou pontos de lançamento de efluentes ao longo da costa. Permite a simulação de plumas de esgoto com vazões variáveis e taxas de decaimento ( $T_{90}$ ) variáveis de acordo com época do ano, horas do dia, condições de cobertura de nuvens, etc.
  - ☉ Derrames de óleo, instantâneos ou por período definido. No caso o modelo pode seguir as mesmas curvas de balanço de massa do ADIOS<sub>2</sub>, e pode incluir efeitos da dinâmica de Fay na fase inicial do derrame. Pode incluir efeitos de barreiras fixas ou móveis e remoção de óleo por sugadores.
  - ☉ Mistura de massas de água, tempos de troca e renovação de massas de água entre diferentes setores de um corpo de água.
  - ☉ Transporte de detritos flutuantes, inclusive óleos e graxas.
  - ☉ Determinação de tempos de residência em corpos de água naturais, permitindo obter mapas de isolinhas de tempos de residência em diferentes setores de corpos de água com geometria complexa.
  - ☉ Determinação de tendências de deriva de sedimentos, substâncias dissolvidas ou particulados flutuantes.
  - ☉ Determinação de correntes residuais lagrangeanas.
  - ☉ Estudos de dragagens, com determinação de plumas no sítio de dragagem e em locais de bota fora.
  - ☉ Determinação de massa e altura de material sedimentado, por exemplo, em bota fora de dragagens.
  - ☉ O modelo permite optar por transporte livre ou condicionado. Modelagens com transporte condicionado são especialmente úteis em análises de processos sedimentológicos. O transporte pode ser condicionado por valores mínimos de velocidade, ou de tensão no fundo exercida só por correntes, ou de tensão no fundo exercida conjuntamente por ondas e correntes.

- ☉ O Modelo Lagrangeano permite a utilização de praticamente qualquer tipo de reação cinética de decaimento ou produção do contaminante sendo modelado, inclusive através de curvas de decaimento fornecidas através de tabelas e valores. Pode-se também simular processos de perda de massa por sedimentação.
- vii. **Modelo de Transporte Lagrangeano - Probabilístico:** acoplado ao modelo anterior, permite obtenção de resultados probabilísticos computados a partir de  $N$  eventos ou de resultados ao longo de um período de tempo  $T$ . Exemplos de resultados: probabilidade de toque no litoral, probabilidade de passagem (ou de visita) de manchas ou plumas contaminante, probabilidade de passagem de manchas ou plumas com concentração acima de um valor limite, probabilidade de passagem com tempo de vida inferior a um limite dado, etc.
- viii. **Modelo de Campo Próximo e Decaimento Bacteriano para Emissários e Fontes Pontuais:** este módulo está inserido no bloco de Modelo de Transporte Lagrangeano e funciona acoplado a um modelo hidrodinâmico. O modelo considera as características geométricas de linhas difusoras, perfis verticais variáveis de densidade no meio receptor, turbidez variável da água no cálculo da incidência de radiação solar. A radiação solar é computada em função da latitude e longitude da localidade, variando a partir da data e hora de início da simulação, com variação de cobertura de nuvem, etc. No caso de análises de balneabilidade, o modelo de decaimento bacteriano aceita diferentes tipos de bactéria, tais como coliformes termotolerantes, *escherichia coli* e *enterococcus*, além de curvas de decaimento prescritas pelo usuário.
- ix. **Modelo de Geração de Ondas:** é um modelo para geração de ondas por campos de vento permanentes ou variáveis. O modelo determina se a geração de ondas será limitada pela pista ou pela duração do vento. O modelo permite calcular, ao longo do tempo, a distribuição espacial no domínio de parâmetros do clima de ondas gerado tais como: alturas significativas e médias quadráticas, períodos de pico, velocidades orbitais e tensões oscilatórias no fundo devido a ondas, etc.
- x. **Modelo de Propagação de Ondas:** trata-se de um programa de propagação de ondas monocromáticas, ou espectros de ondas, com efeitos de refração, difração, dissipação e arrebentação. O programa implementado no SisBaHiA<sup>®</sup> é similar ao conhecido REFDF. Há amplas possibilidades de analisar resultados em forma de mapas e gráficos. Pode funcionar acoplado a modelos hidrodinâmico e de transporte de sedimentos.
- xi. **Módulo de Análise & Previsão de Marés:** através deste módulo pode-se realizar análises harmônicas de registros de níveis ou correntes para obtenção das constantes. Com o módulo de Previsão, fornecendo as constantes harmônicas de níveis ou de correntes, faz-se previsões de valores em séries temporais a intervalos definidos pelo usuário, bem como de séries de máximos e mínimos entre uma data inicial e uma final especificadas pelo usuário. Os algoritmos de Análise e Previsão adotados são os mesmos empregados pelo *The Global Sea Level Observing System (GLOSS)*, que é um projeto internacional patrocinado pela *Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology (JCOMM)*, *World Meteorological Organisation (WMO)* e pela *Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC)*.

xii. **Ferramentas diversas** - tais como:

- ☉ Gerente de Animações: produz animações mostrando os resultados em forma dinâmica de todos os modelos.
- ☉ Inquiridor de banco de dados: para buscar informações na base de dados dos modelos desenvolvidos através de ferramenta de consulta, integrada na interface, programável em SQL.
- ☉ Conversor de tempo entre dados: a partir de uma série temporal com dados em intervalos diversos, produz outra série com dados em intervalo T definido pelo usuário com variados métodos de interpolação.
- ☉ Várias ferramentas para tratamento de dados de vento.
- ☉ Várias ferramentas para tratamento de dados espaciais e temporais.
- ☉ Filtros para dados espaciais e temporais.
- ☉ Cópia de malhas e modelos, mudança de escala, etc.

xiii. **Interface de trabalho:** Todos os modelos são integrados em uma interface de trabalho amigável, com ajuda contextual em todos os campos. Inúmeros tipos de saídas gráficas, **inclusive animações**, podem ser geradas, mesmo com modelos ainda rodando. Várias ferramentas de geração e edição de malha são disponíveis na interface. A interface interage diretamente com os seguintes programas comerciais:

- a) **Grapher e Surfer:** programas usados pelo SisBaHiA<sup>®</sup> para apresentação de resultados em gráficos e mapas. O SisBaHiA<sup>®</sup> funciona melhor com as últimas versões do *Grapher* e do *Surfer*. As versões anteriores destes programas também funcionam, mas podem ocorrer imperfeições em alguns casos. Em [www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com) pode-se ter maiores detalhes sobre os programas, pode-se baixar versões demo que funcionam com limitações.
- b) **Geradores de malha:** embora o SisBaHiA<sup>®</sup> tenha seu próprio gerador e muitas ferramentas de edição de malha, programas como o *Argus One* para geração e edição de malhas de elementos finitos produzem arquivos que podem ser diretamente importáveis pelo SisBaHiA<sup>®</sup>. Para detalhes sobre o *Argus One* acesse [www.argusone.com](http://www.argusone.com). Este é um dos possíveis geradores de malhas que operam com o SisBaHiA<sup>®</sup>.

xiv. **Manual de uso:** O SisBaHiA<sup>®</sup> dispõe de um detalhado manual de uso, mostrando passo a passo como desenvolver malhas e modelos. O manual está continuamente sendo ampliado, e pode ser consultado diretamente pela Internet em [www.sisbahia.coppe.ufrj.br](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br), ou em [www.oceanica.ufrj.br/sisbahia/](http://www.oceanica.ufrj.br/sisbahia/)

Neste trabalho, foram utilizados os módulos i, ii, iii, ix, xi, xii e xiii.

### 2.1.2.1 **Formulação e confiabilidade dos modelos**

Amplios detalhes técnicos sobre o funcionamento do SisBaHiA<sup>®</sup> podem ser vistos através da Internet na página [www.sisbahia.coppe.ufrj.br](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br). Uma vez na página, no item “O que é?”, encontra-se uma descrição geral do sistema, que inclui o subtítulo “Atributos do SisBaHiA<sup>®</sup>”, onde se discute a confiabilidade geral dos modelos. No item “Referência

Técnica”, baixa-se a documentação técnica, com amplos detalhes da formulação matemática e numérica dos modelos do sistema.

A confiabilidade dos modelos também pode ser inferida pela ampla lista de projetos já executados com o sistema, veja o item “Aplicações-Projetos” em [www.sisbahia.coppe.ufrj.br](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br). Enfatiza-se as várias aplicações já feitas para a região da Baía de Vitória. Dentre os quais destacam-se aplicações dos modelos do SisBaHiA® no Projeto de Gerenciamento da Poluição Costeira e de Águas do Estado do Espírito Santo - Projeto Águas-Limpas (ref. Projeto BIRD 7248 – BR - SPD 002/2006). O SisBaHiA® foi implementado na CESAN e no sistema SEAMA/IEMA para atender às demandas de “MODELAGEM HIDRODINÂMICA AMBIENTAL DA BAÍA DE VITÓRIA, SISTEMA COSTEIRO E RIOS DA REGIÃO DE ABRANGÊNCIA DO PROJETO ÁGUAS LIMPAS DO GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO”. Ref. PENO-8929 Consórcio Coppetec-FEST, de 12/2006 a 06/2008.

Há também trabalhos desenvolvidos envolvendo o rio Doce, em parceria com pesquisadores da UFES, além do realizado em 2016 para a Vale S.A., conforme descrito no subcapítulo 2.1.1 deste relatório, e que é adaptado neste trabalho.

### ***Sobre desenvolvimento dos modelos***

A estratégia geral do SisBaHiA® é fundamentada em bases de dados, e objetiva dar confiabilidade e facilidade de manipulação de dados e resultados aos usuários. O SisBaHiA® adota um sistema de base de dados, no qual cadastros em níveis de maior número são vinculados aos de menor, conforme indica o quadro na Figura 4.

1. **Base de Dados Selecionada:** seleciona-se a Base de Dados pertinente ao caso de interesse através da interface do SisBaHiA® dentre as muitas que podem ter sido criadas. Novas bases podem ser facilmente criadas quando necessário pela interface do SisBaHiA®.
2. **Projeto de Modelagem Selecionado:** seleciona-se através da interface do SisBaHiA® o Projeto de Modelagem desejado dentre os muitos que podem ter sido criados na Base de Dados Selecionada. Novos Projetos de Modelagem podem ser facilmente criados e inseridos na Base de Dados Selecionada, através da interface do SisBaHiA®.
3. **Domínio & Malha Selecionado:** seleciona-se diretamente na interface do SisBaHiA® o domínio e respectiva malha de discretização desejados dentre os muitos que podem ter sido criados dentro do Projeto de Modelagem Selecionado. Novos Domínios & Malhas podem ser implementados quando necessário através da interface do SisBaHiA®, e ferramentas de discretização associadas.
4. **Modelo Hidrodinâmico e Modelo de Geração de Ondas Selecionado:** seleciona-se diretamente através da interface do SisBaHiA® o Modelo Hidrodinâmico ou o Modelo de Geração de Ondas representativo do cenário de interesse, dentre os muitos que podem ter sido montados e associados com o Domínio & Malha de interesse. Cada cenário de interesse com suas condições de contorno e forçantes próprios terá seu respectivo modelo hidrodinâmico e modelo de geração de ondas. A mesma malha de um domínio pode ser usada para tantos modelos hidrodinâmicos 2DH ou 3D, ou modelos de geração de ondas que se queira montar. Novos modelos hidrodinâmicos ou de geração de ondas associados a qualquer Domínio & Malha existentes podem ser facilmente criados e montados quando necessário através da interface do SisBaHiA®.
5. **Modelo de Transporte Selecionado:** selecionados dentre os muitos que podem ter sido montados e associados com um Modelo Hidrodinâmico Selecionado. Novos modelos de transporte podem ser facilmente criados e montados quando necessário, via interface do SisBaHiA®. O SisBaHiA® oferece os seguintes tipos de modelos de transporte:
  - i. Modelo de Transporte Euleriano para escalar genérico.
  - ii. Modelos de Qualidade de Água, i.e., modelos de transporte Euleriano interligados para escalares representando de parâmetros de qualidade de água com reações cinéticas com sinergia. No caso, os modelos de transporte de sal e calor podem funcionar acoplados a modelos hidrodinâmicos dependendo se gradientes baroclínicos são considerados.
  - iii. Modelos de Transporte Lagrangeano determinísticos e probabilísticos.
  - iv. Modelos de Transporte de Sedimentos que podem funcionar acoplados ou não a modelos hidrodinâmicos. Modelos acoplados permitem análises de evolução morfodinâmica de batimetria e margens. Curvas granulométricas podem ser dadas para diferentes locais.
- 3'. **Modelo de Propagação de Ondas:** seleciona-se diretamente na interface do SisBaHiA® o modelo de propagação de ondas desejado. Por usar discretização automática via grade de diferenças finitas, a partir do nível 2, tal modelo segue outra linha de hierarquia, por isso aparece como nível 3'. Novos Modelos de Propagação de Ondas podem ser implementados quando necessário através da interface do SisBaHiA®, e ferramentas de discretização associadas.

Figura 4 – Diagrama de vinculação hierárquica de base de dados, projetos e modelos no SisBaHiA®.

A estrutura de base de dados explicita a interdependência existente entre malhas e modelos associados. Fica claro assim porque a solicitação de simulação de um novo caso de transporte de um escalar, por vezes, pode requerer muito trabalho prévio, e.g., uma nova modelagem hidrodinâmica ou até o desenvolvimento de uma nova malha. Como se vê na estrutura descrita acima, os modelos de transporte estão no último nível na hierarquia de modelagem, e o volume de trabalho aumenta com a necessidade de incluir desenvolvimentos nos níveis anteriores.

## **Sobre calibração dos modelos**

A confirmação de que os modelos representam os fenômenos que ocorrem na natureza é obtida através de métodos de validação e calibração. Em tais métodos se compara, através de um processo iterativo seguido de ajustes, valores medidos e valores computados. A seção 9 “Sobre calibração e validação de modelos” da Referência Técnica do SisBaHiA<sup>®</sup> apresenta detalhes técnicos sobre procedimentos de calibração de modelos.

Destaca-se que, mesmo quando não se dispõe de dados medidos na forma ideal para permitir a realização de um procedimento abrangente de calibração, os modelos do SisBaHiA<sup>®</sup> tem mecanismos de auto calibração que permitem obtenção de resultados confiáveis. Porém, deve-se enfatizar que a confiabilidade depende fortemente da validade dos dados de entrada. Tipicamente na utilização do SisBaHiA<sup>®</sup> obtêm-se:

- Coerências entre valores de mapas e levantamentos de campo e valores representados nos modelos para geometria de linha de costa e batimetria dependem apenas no nível de detalhamento requerido, podendo passar de 95%.
- Coerências entre valores medidos e valores computados de níveis de água são em geral melhores que 90% mesmo sem calibração. Após calibração é usual que sejam superiores a 95%.
- Coerências entre valores medidos e valores computados de velocidade e direção de correntes são usualmente melhores que 70% mesmo sem calibração. Após calibração é comum se atingir coerências superiores a 90%.
- Coerências entre valores medidos e valores computados de concentração de contaminantes ou parâmetros de qualidade de água são semelhantes às verificadas para velocidade e direção de correntes. Como os modelos de transporte de contaminantes recebem como dados de entradas os resultados de níveis e correntes dos modelos hidrodinâmicos, a confiabilidade dos modelos de transporte é intrinsecamente função da qualidade dos resultados hidrodinâmicos.
- Coerências entre valores medidos e valores computados de processos sedimentológicos, i.e., taxas de erosão transporte e deposição, com evolução

morfodinâmica de batimetria, dependem do tipo de formulação de transporte de sedimentos adotada, e da correta informação sobre a distribuição granulométrica e de estoques erodíveis de sedimentos no corpo de água de interesse.

- Coerências entre valores medidos e valores computados de ondas propagadas do largo para regiões costeiras são iguais às obtidas por modelos similares. O algoritmo de modelagem de propagação de ondas no SisBaHiA<sup>®</sup> é o mesmo do amplamente utilizado modelo REFDIF. Veja por exemplo: *Coastal Engineering Manual, Part II - Chapter 3 – Estimation of Near Shore Waves*, seção II-3-5 *Advanced Propagation Methods*, que pode ser baixado de <http://chl.erdc.usace.army.mil/cem>.

Para atingir tais coerências é necessário atender aos seguintes requisitos:

- Garantir que a geometria do corpo de água implementada no sistema de modelos esteja correta e seja condizente com a existente na época de medição de níveis e correntes. Discrepâncias em dados de batimetria e contornos são frequentes causas de diferenças entre valores medidos e valores computados. Valores locais de correntes e ondas são muito influenciados pela batimetria.
- Garantir que os forçantes dos escoamentos, e.g. curvas de maré, ventos e vazões fluviais, estejam corretamente implementados no sistema de modelos, e sejam condizentes com os existentes na época de medição de níveis e correntes. Erros na especificação dos forçantes dos escoamentos são frequentes causas de diferenças entre valores medidos e valores computados.
- Garantir que as intensidades das fontes contaminantes e os parâmetros das reações cinéticas tenham sido corretamente fornecidos ao sistema de modelos, e sejam condizentes com os existentes na época de medição de concentrações. Erros na especificação de intensidades de fontes e parâmetros de reações cinéticas são frequentes causas de diferenças entre valores medidos e valores computados.
- No caso de modelos de processos sedimentológicos, garantir que a caracterização do fundo, com granulometria, massa específica e espessuras de erosão sejam realistas. Erros na especificação de variáveis sedimentológicas são frequentes causas de diferenças entre valores medidos e valores computados.

Em resumo, a calibração de modelos de hidrodinâmica ambiental é um processo que deve obedecer à seguinte ordem:

Nível 1. **Calibração geométrica:** aferir se a modelagem digital do terreno do domínio de modelagem, feita através da malha de discretização, representa adequadamente os contornos e a batimetria da região de interesse. Para isso, deve haver dados batimétricos e levantamentos topohidrográficos condizentes com as necessidades.

Nível 2. **Calibração hidrodinâmica e sedimentológica:** aferir se os modelos hidrodinâmicos representam adequadamente a variação de níveis de água e correntes na região de interesse, sob diferentes condições, e.g., marés de sizígia e de quadratura, ventos e vazões. Para isso é necessário que, além da boa modelagem digital do terreno, haja informações corretas sobre os forçantes da circulação hidrodinâmica, tais como ventos, marés e vazões afluentes. No caso de modelos com evolução morfodinâmica de batimetria, estende-se os requerimentos à correta caracterização dos sedimentos da área de estudos, bem como estoques erodíveis, e à criteriosa seleção de formulação de transporte de sedimentos a ser adotada.

Nível 3. **Calibração de qualidade de água:** aferir se os modelos de transporte de escalares, usando as correntes e níveis dos modelos hidrodinâmicos, são capazes de representar adequadamente as concentrações de parâmetros de qualidade de água ao longo do tempo. Para isso, é necessário que, além das correntes e níveis, haja informações corretas sobre fontes poluentes e sobre taxas de reação de parâmetros não conservativos, e.g. OD, DBO e coliformes termotolerantes.

Não é razoável querer obter uma boa calibração Nível 3 sem previamente obter uma boa calibração Nível 2, que por sua vez depende da calibração Nível 1.

### **2.1.2.2 Cenário e dados utilizados nas modelagens**

Para o estudo da COPPE-20275, foi simulada a passagem da onda de sedimentos em suspensão pelo estuário e zona costeira adjacente. O cenário de simulação compreende um período de quatro meses, a partir da chegada da lama, oriunda do rompimento, na zona estuarina, indo de 20/11/2015 até 20/03/2016. Para tanto, foram utilizados os modelos hidrodinâmico e de transporte de sedimentos coesivos.

Na simulação desenvolvida considerou-se exclusivamente a carga de sedimentos em suspensão provenientes do rio Doce, de modo a melhor destacar os efeitos do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. Assim, a condição inicial do modelo de sedimentos foi de concentrações em suspensão e estoque de sedimentos no fundo iguais a zero. Dessa forma é possível avaliar qual é o impacto adicional causado exclusivamente pelo rompimento, na qualidade da água no estuário do rio Doce e zona costeira adjacente.

Descreve-se a seguir os dados utilizados nas modelagens, incluindo domínio de modelagem, malha de discretização, batimetria, vazão fluvial, carga de sedimentos afluentes, caracterização física dos sedimentos afluentes, níveis de maré e ventos.

#### ***Domínios considerados com dados de batimetria e linha de orla***

Os contornos das margens do estuário do rio Doce, as linhas de orla e os bancos de sedimentos foram atualizados através de imagens georreferenciadas do Google Earth, por serem mais atuais que as disponíveis em cartas náuticas. Pela análise das imagens não foram identificadas vegetações representativas de manguezais.

As informações relativas à batimetria utilizada neste estudo foram obtidas de duas fontes. A primeira, referente a toda região do rio Doce dentro do domínio de modelagem, foi obtida de dados fornecidos pelo projeto Modelagem Computacional da Captação de Água e Descarte de Efluentes do Complexo Gás-Químico UFN-IV no rio Doce (ES), feito em parceria com a UFES – FEST, sob coordenação do Professor Daniel Rigo. Este Projeto será aqui designado como UFES-FEST-PENO-3570. Tais medições da cota do fundo do rio foram realizadas de 01/06/2011 a 10/06/2011 e apresentam um alto nível de detalhamento, possibilitando uma boa caracterização dos bancos existentes.

Comparações deste trecho do rio Doce com imagens mais atuais disponíveis no Google Earth mostram que a posição de bancos de sedimentos e ilhas não mudou de modo relevante de 2011 para 2015. Portanto, os dados de 2011 são adequados.

A segunda fonte, referente à região de mar aberto, foi obtida através das seguintes cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil – DHN:

- 1300 DA PONTA CUMURUXATIBA AO RIO DOCE;
- 1401 DO RIO DOCE AO CABO DE SÃO TOMÉ.

Todos os dados de batimetria foram referenciados à cota do IBGE (Datum Imbituba). A Figura 5 mostra o domínio de modelagem hidro-sedimentológica com mapa de isolinhas de batimetria e linhas de orla consideradas. Usa-se o negativo da cota para evidenciar as profundidades relativas ao Datum Imbituba. Pontos com batimetria negativa têm cota de fundo acima do Datum Imbituba.

O nível médio do mar (NMM) local está na cota  $-0,3$  m em relação ao Datum Imbituba. No mapa, buscou-se dar início à coloração azul na cota  $-0,3$  m, ou seja, na altura do nível médio do mar. É notável o elevado gradiente batimétrico no rio Doce. Conseqüentemente o rio sofre pouca influência da maré, limitando a região estuarina às proximidades da foz.

A Figura 6 apresenta em maiores detalhes a região fluvial e estuarina do rio Doce no instante inicial da simulação, quando estavam presentes duas barras na embocadura do estuário, que são consequência da forte estiagem pela qual o rio Doce se encontrava no período próximo ao acidente, e do transporte litorâneo da região. Destaca-se que durante o período de simulação, cerca de dois meses após o acidente, houve um significativo aumento das vazões no rio Doce, que provocaram a ruptura parcial da barra localizada mais ao sul da foz, modificando a embocadura do estuário. Esse fenômeno está representado no modelo. É também possível observar os bancos de sedimentos ao longo do percurso do rio. Os bancos representados em coloração mais escura são bancos de sedimentos que se encontram emersos em grande parte do tempo nas condições típicas de vazões do rio Doce, já os bancos representados em coloração esmaecida representam

bancos de sedimentos submersos, que somente se tornam emersos em situações de baixas vazões no rio Doce ou em situações de baixa-mares de sizígia mais intensas.

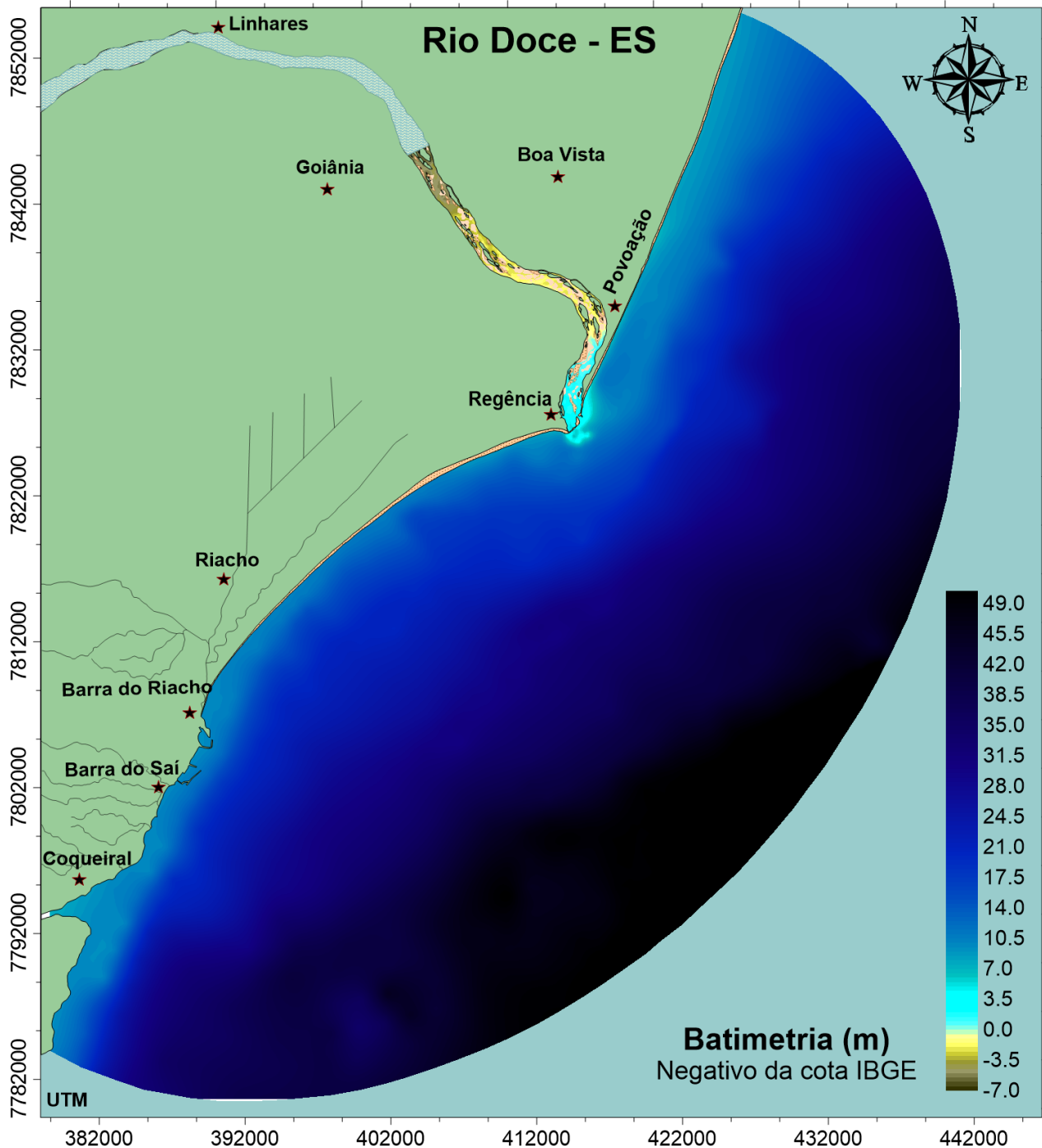


Figura 5 – Resultado da modelagem digital do terreno, mostrando linha de orla e isolinhas de batimetria como vista pelo modelo implementado, no instante inicial da simulação.

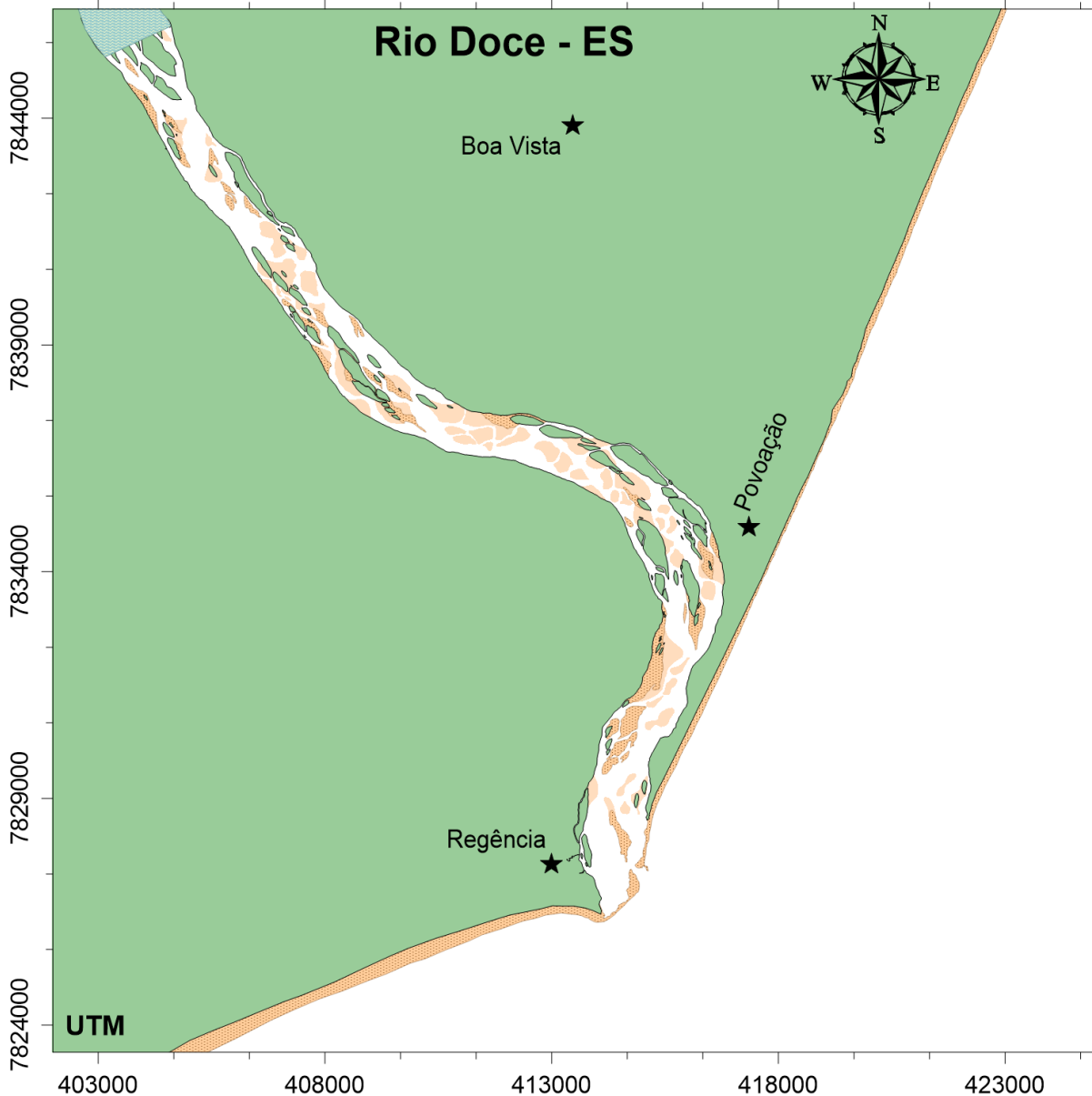


Figura 6 – Detalhamento da região fluvial e estuarina do rio Doce no momento inicial da simulação. É possível observar a formação de duas barras na embocadura do estuário, bem como o mapeamento dos bancos de sedimentos. Ambas informações foram extraídas de imagens georreferenciadas do Google Earth®.

### ***Modelagem Digital da Área de Interesse***

A malha adota elementos finitos subparamétricos biquadráticos, isto é, as variáveis nos elementos são representadas por polinômios biquadráticos, ao passo que a forma geométrica dos elementos é definida pelos vértices de quadriláteros com lados retilíneos. Este tipo de discretização tem acurácia mínima de 2ª ordem, podendo chegar a 4ª ordem nas zonas com elementos mais regulares. Em geral a ordem efetiva da aproximação

numérica fica entre 3ª e 4ª ordem de acurácia para malhas com elementos irregulares. Para detalhes sobre o assunto veja a seção “3.5. Formulação numérica do Modelo Hidrodinâmico” na Referência Técnica do SisBaHiA® em [www.sisbahia.coppe.ufrj.br](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br).

O domínio do modelo e sua discretização (espaçamento entre os nós de cálculo) foram definidos com o compromisso de maximizar a representação dos contornos das ilhas, bancos emersos e submersos, além de abranger uma considerável região na área costeira adjacente. A malha se estende 55 km para Sul e 30 km para Norte. A Figura 7 apresenta a malha de elementos finitos elaborada para o modelo.

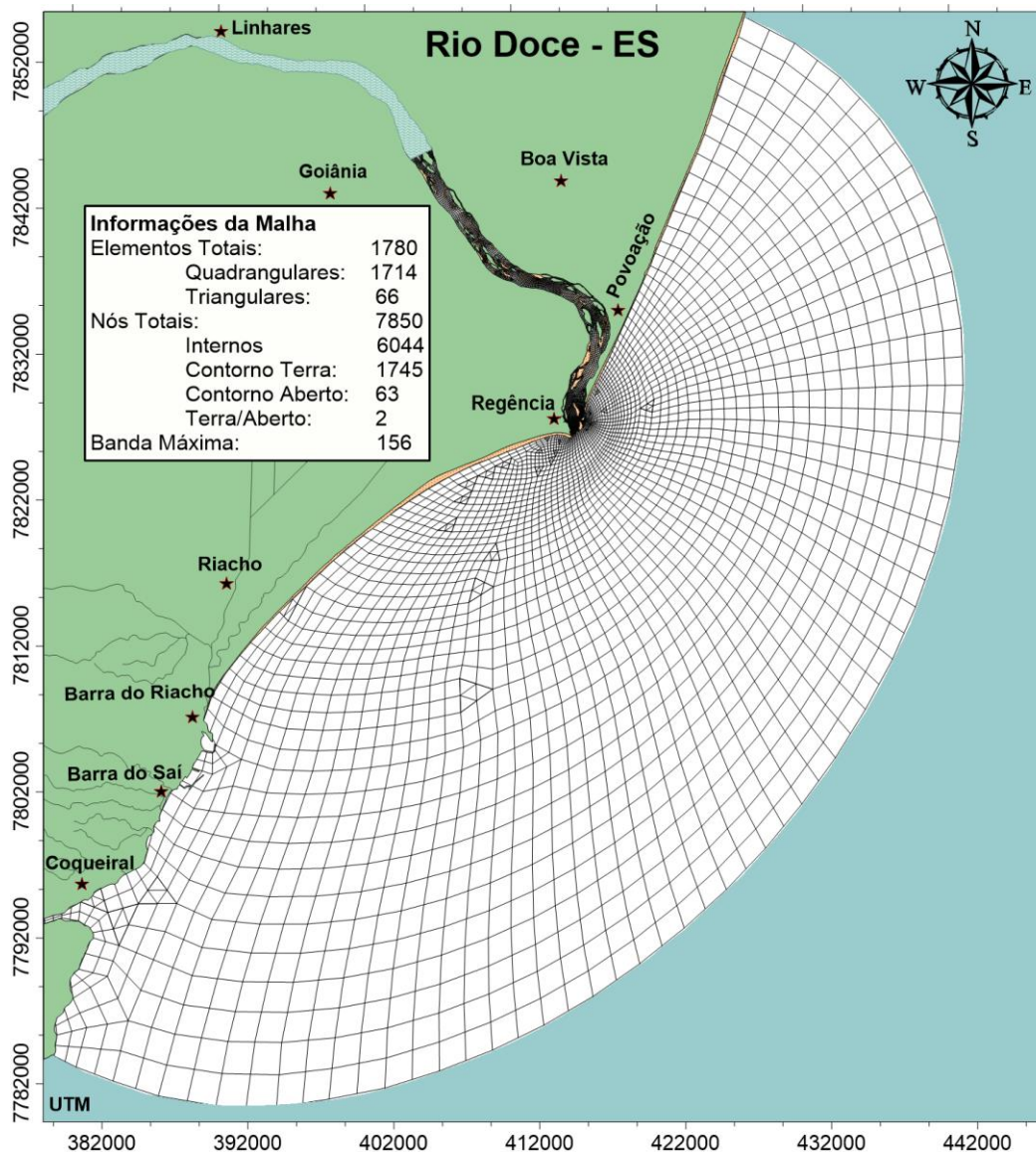


Figura 7 – Malha de discretização do rio Doce e região costeira adjacente em elementos finitos.

Convém ressaltar que o modelo hidrodinâmico do SisBaHiA<sup>®</sup> opera com mecanismos de alagamento e secamento em locais propensos, como os bancos de sedimentos submersos presentes na região. A Figura 8 mostra em maiores detalhes a malha de discretização na região fluvial e estuarina do rio Doce. Maiores detalhes sobre este procedimento podem ser encontrados na seção 3.12 na Referência Técnica do SisBaHiA<sup>®</sup>, [www.sisbahia.coppe.ufrj.br](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br).

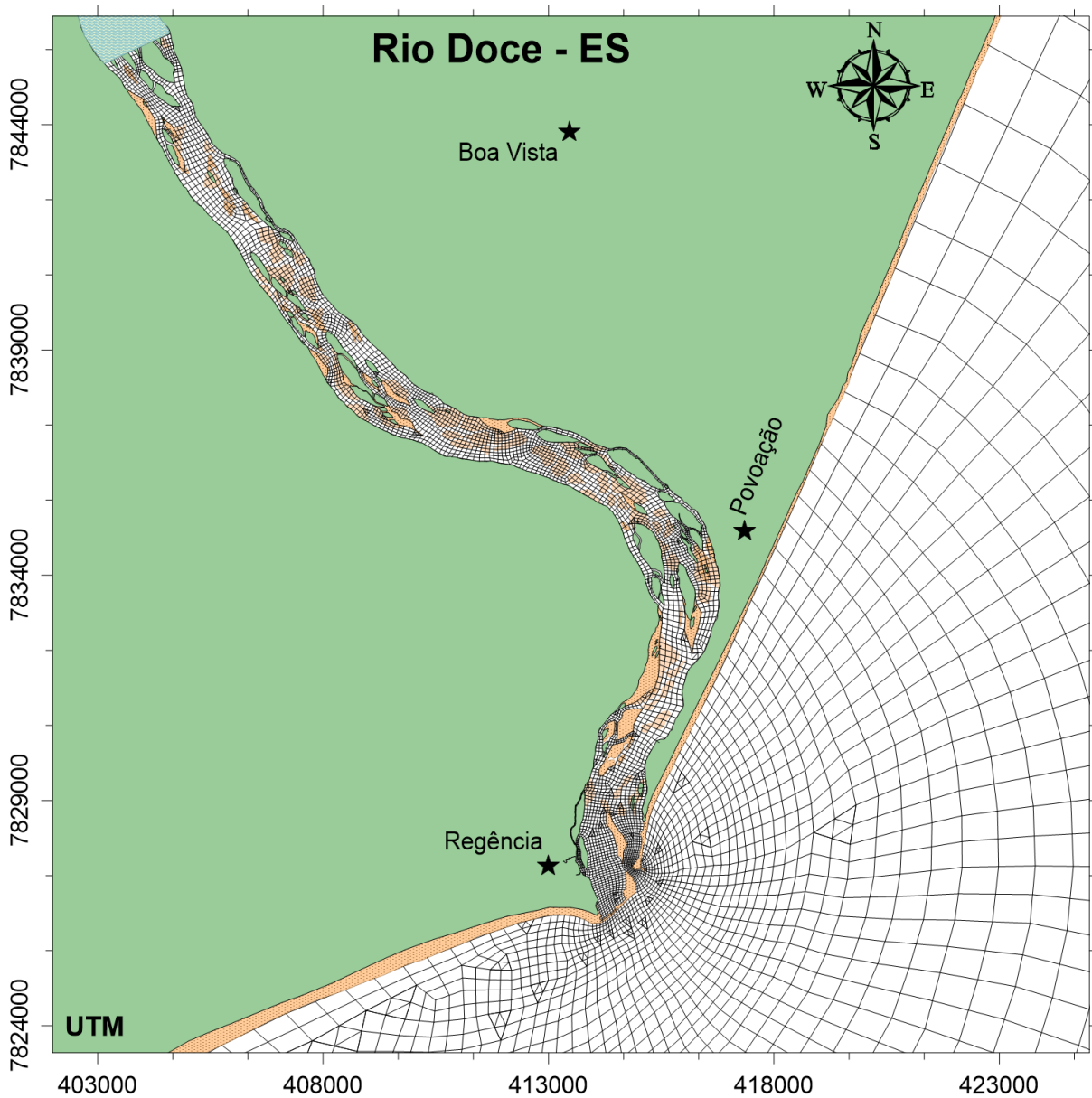


Figura 8 – Detalhe da malha de elementos finitos na região fluvial e estuarina do rio Doce.

## Vazão fluvial

A vazão no rio Doce foi estimada a partir dos dados de nível de água para a Estação Colatina – Corpo de Bombeiros, apresentados no **Boletim 15\_Volumes Escoados\_20160908** e a curva-chave para o ano de 2015, exibida no relatório **Produto 02\_R1\_Volumes Escoados Sazonais com Hidrograma – Rompimento Fundão**, ambos os documentos fornecidos pela Vale S.A. As informações hidrológicas utilizadas nestes documentos foram obtidas na estação de medição operada pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), disponibilizada pela ANA (Agência Nacional de Águas).

A Figura 9 mostra a série temporal de vazão no rio Doce fornecida pela Vale S.A., a qual foi considerada no modelo hidro-sedimentológico. Por falta de dados de vazão em estações mais à jusante, e considerando que não existe nenhum afluente ao rio Doce relevante, no trecho entre Colatina e a fronteira de montante do modelo, que é próxima de Linhares, adotou-se como condição de contorno do modelo a vazão de Colatina. Repare no pico de vazões registrado próximo ao dia 20/01/2016, que corresponde à cheia que ocasionou no rompimento parcial da barra sul da embocadura do rio Doce.



Figura 9 – Vazão no Rio Doce utilizada no modelo hidro-sedimentológico, gerada a partir dos dados de nível e curva-chave descritos.

## Carga de sedimentos afluentes

A variação de concentrações de sedimentos em suspensão, adotada como condição de contorno na fronteira de montante do domínio de modelagem, foi obtida a partir de dados medidos fornecidos pela Vale S.A. Foram utilizados os dados de sólidos suspensos totais (SST) medidos no ponto denominado **Linhares – ES – Centro – Margem Direita**, os quais encontram-se na planilha **3.3.1.1 20160906\_AGUA\_DOCE\_ES**. A Figura 10 apresenta a série temporal de SST para o período de simulação.

No gráfico, o primeiro pico de concentração representa a chegada da pluma de sedimentos provinda do acidente. Os picos de concentração subsequentes representam o residual da lama que eventualmente foi depositada nas margens do rio à montante, bem como nos reservatórios, e que, com as chuvas na bacia e o aumento da vazão no rio Doce, são ressuspensos e levados para jusante.

O maior pico de concentrações registrado na série é consequência do aumento da vazão no rio Doce, causado pela cheia. Importante ressaltar que em eventos como esse, grande parte da carga de sedimentos é oriunda do carreamento feito pelas chuvas na bacia hidrográfica, portanto é provável que uma parcela considerável da concentração medida nesse período não seja de sedimentos vindos do rompimento da barragem.

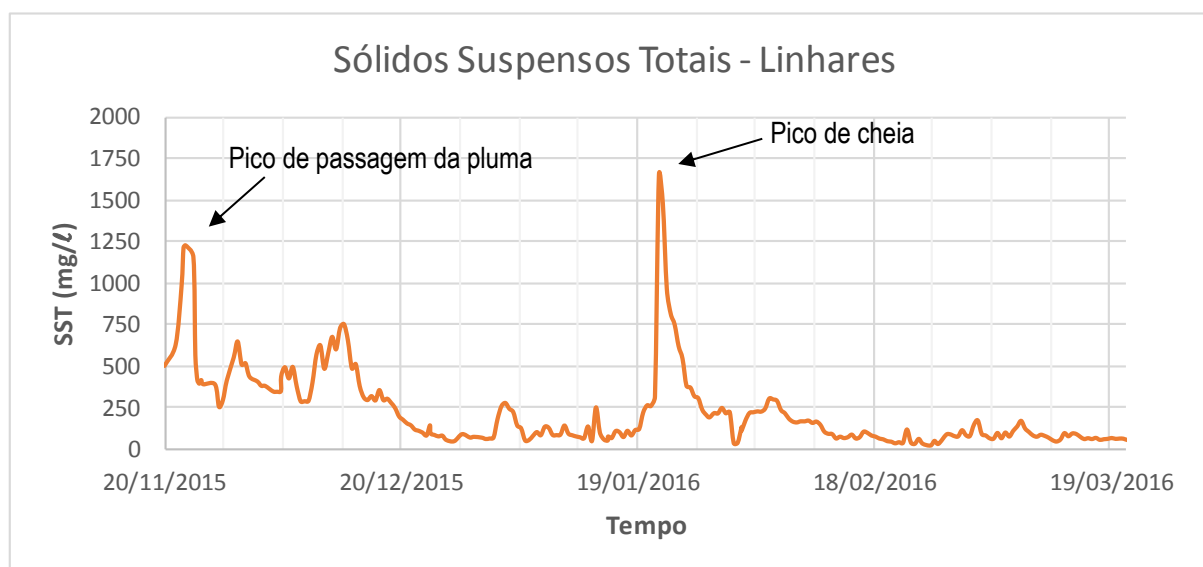


Figura 10 – Série temporal de sólidos suspensos totais medidos na Estação Linhares – ES – Centro – Margem Direita, fornecido pela Vale S.A.

## Caracterização física dos sedimentos afluentes

De modo a determinar os parâmetros a serem inseridos no modelo de sedimentos coesivos do SisBaHiA<sup>®</sup> é importante ter ideia da caracterização física do sedimento. No documento **DOC A1- FISPQ-LAMA\_SAMARCO-5 Final.pdf**, fornecido pela Vale S.A., são apresentados os resultados de ensaios realizados com amostras do rejeito de mineração, oriundo do processo de deslamagem e flotação, que era disposto na barragem. No documento **LINHARES.jpg**, também fornecido pela Vale S.A., são apresentados os resultados da análise granulométrica dos sedimentos em trânsito na coluna d'água, em Linhares - ES.

A Tabela 1 apresenta um quadro resumo com os parâmetros de caracterização, pertinentes à modelagem, dos sedimentos provenientes da barragem que rompeu. A granulometria considerada corresponde a do sedimento em Linhares.

Tabela 1 – Quadro resumo dos dados de caracterização física fornecidos pela Vale S.A.

Granulometria	
Frações passantes (%)	Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )
90	9.76
75	5.93
50	3.27
25	1.77
10	0.85
Massa específica do Grão ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	
2800 - 3400	

O sedimento proveniente da barragem possui características argilosas, com diâmetro mediano  $D_{50} = 3.27\mu\text{m}$ , o que indica que a parcela mais grossa do sedimento oriundo do rompimento da barragem ficou retida nas porções mais à montante da bacia. Para a massa específica adotou-se no modelo um valor médio entre a faixa de variação apresentada,  $\rho_s = 3100 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

## Dados de maré

Os níveis d'água foram calibrados e validados a partir de medições de campo fornecidas pelo projeto UFES-FEST-PENO-3570, o qual disponibilizou registro de maré medido por um marégrafo localizado nas coordenadas 413.362,61 e 7.827.614,67 (UTM - Datum WGS84), próximo à foz do rio Doce. Tais dados contemplam o período entre 27/05/2011 e 24/06/2011.

Com estas medições de campo foi feita uma análise harmônica, utilizando-se o SisBaHiA, com o intuito de gerar as constantes harmônicas para a região. Em seguida iniciou-se o processo de calibração, a fim de determinar as diferenças de fase e amplitude entre a maré na fronteira do domínio de modelagem e a maré no ponto de medição. Ao final desta etapa, o modelo foi validado, de modo que a variação de nível calculada pelo SisBaHiA coincidiu com a maré gerada com as constantes harmônicas para o ponto de medição.

A Figura 11 corresponde à variação do nível d'água que foi introduzida no modelo como forçante no contorno de mar (fronteira aberta). O nível médio em relação ao NR do modelo foi de - 0,3 m. Analisando o gráfico nota-se a sequência de marés de sizígia e quadratura intercaladas a cada 14,6 dias. Nas sizígias, as marés têm maiores amplitudes, com baixa-mares (BM) mais baixas e as preamares (PM) mais altas. Inversamente nas quadraturas as amplitudes são menores, com baixa-mares menos baixas e preamares menos altas.

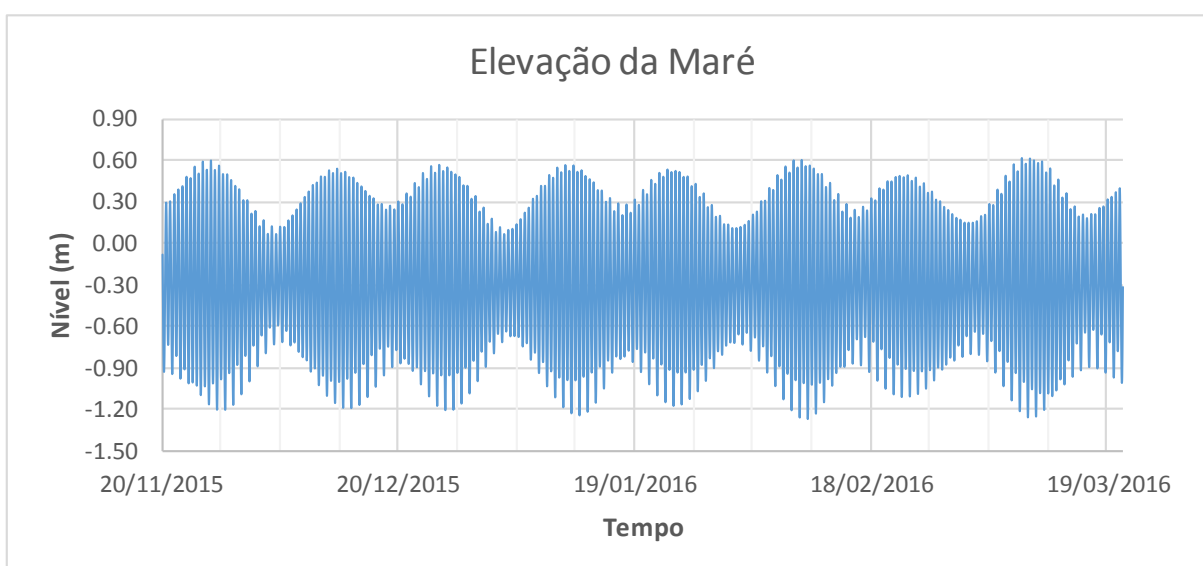


Figura 11 – Elevações de maré para o período de simulação, na fronteira aberta do modelo.

## **Dados de vento**

Os dados de vento utilizados na modelagem foram obtidos através do modelo de reanálise ERA-INTERIM, disponibilizado pelo European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF). As informações de direção e magnitude do vento foram adquiridas para 4 pontos cobrindo a área de estudo, conforme o mapa da Figura 12. As informações destas 4 estações foram interpoladas, gerando o campo de ventos para o domínio de modelagem.

A Figura 13 apresenta a rosa dos ventos para as 4 estações, considerando o período de 20/11/2015 a 20/03/2016. As 4 estações têm dados bastante similares de direção e velocidade dos ventos, com exceção da Estação 1, que se localiza em terra e possui valores mais baixos de velocidade. Para ilustrar, a Figura 14 mostra a variação temporal de velocidade e direção do vento para a Estação 3, considerando os dois primeiros meses de simulação.

De uma forma geral, as velocidades do vento no domínio de modelagem são caracterizadas por valores médios e máximos de 5 m/s e 11 m/s, respectivamente. A direção predominante do vento varia pouco no domínio de modelagem, ilustrada nas rosas de vento da Figura 13.

Os dados indicam ventos com direções mais frequentes de norte, norte-nordeste e nordeste. A velocidade máxima foi registrada na estação 2 e atingiu 11,18 m/s, proveniente de Norte. Ventos vindos de sul, sul-sudeste e sudeste também são observados, porém em menores frequências, dado que são fruto de eventos episódicos de passagem de frentes frias.

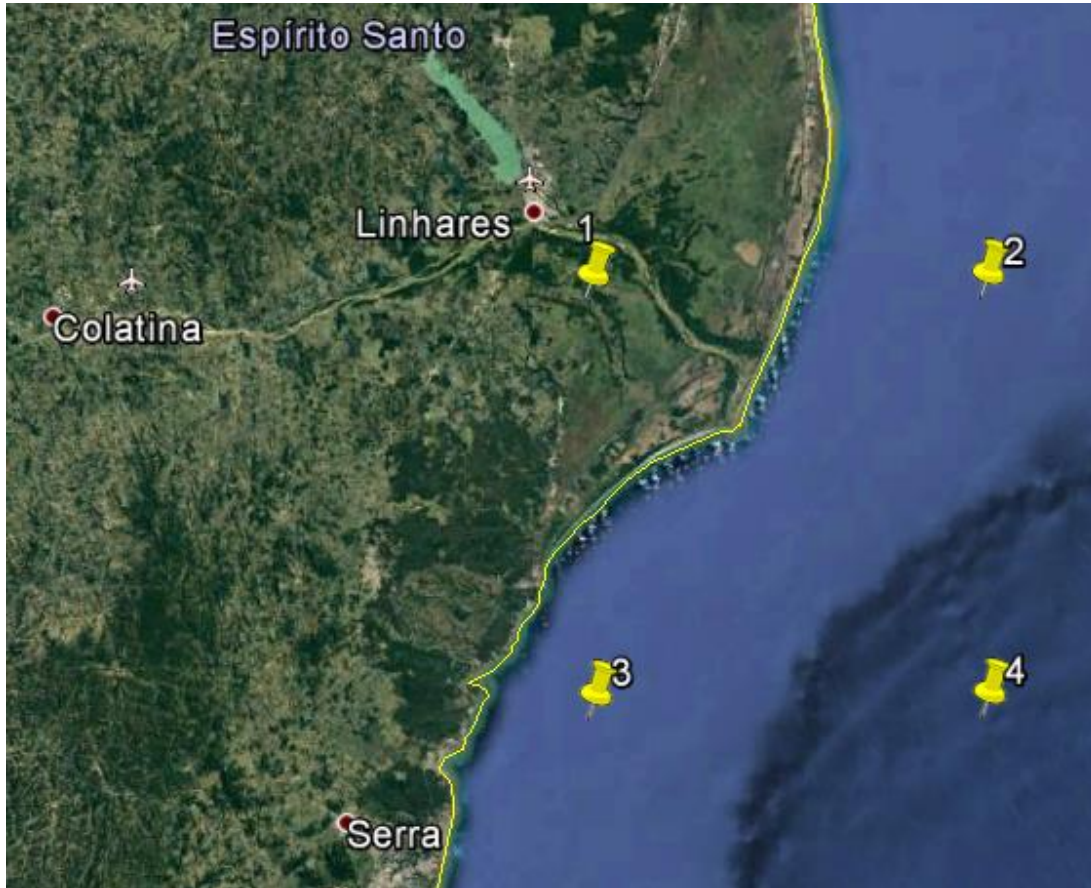


Figura 12 – Mapa mostrando os 4 pontos de obtenção de dados de vento.

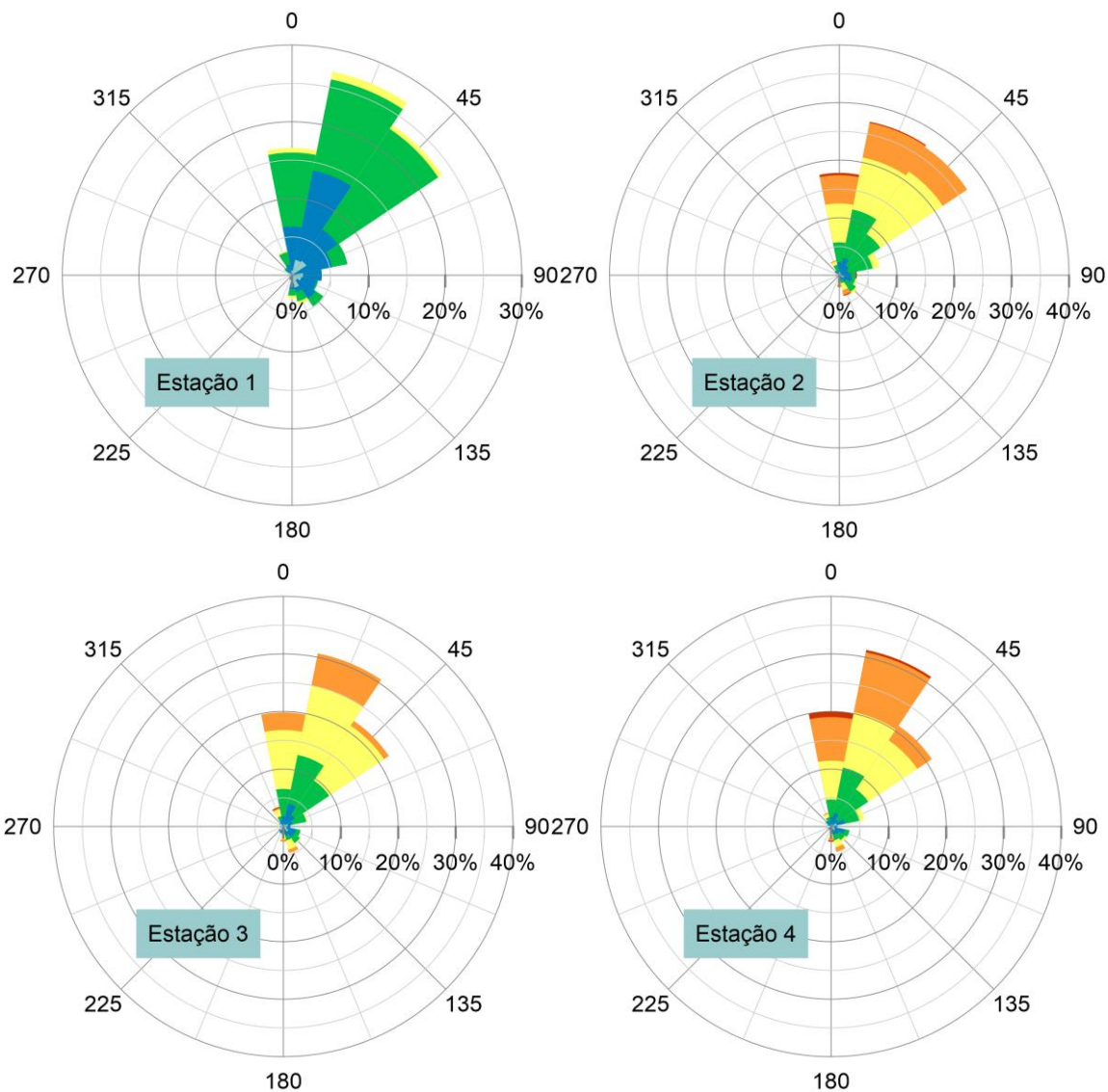


Figura 13 – Estatística dos ventos para as 4 estações utilizadas na modelagem. Dados obtidos a partir da reanálise do ERA-Interim para o período entre 20/11/2015 a 20/03/2016.

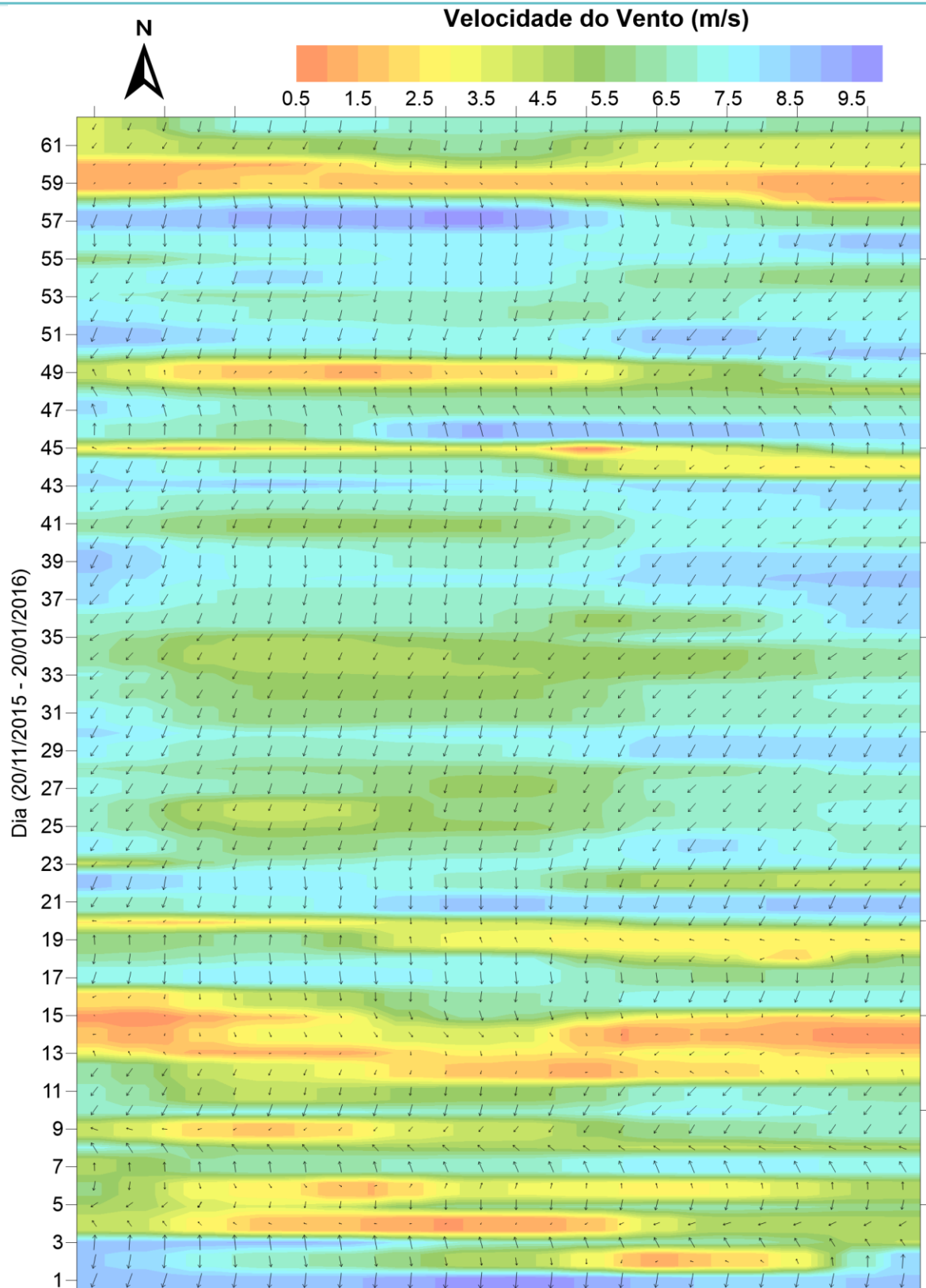


Figura 14 – Mapa com a série temporal de ventos da Estação 3. Dados obtidos a partir da reanálise do Era-Interim para o período entre 20/11/2015 a 20/01/2016.

### 2.1.2.3 **Modelo de Transporte de Sedimentos Coesivos**

O modelo de sedimentos coesivos do SisBaHiA<sup>®</sup> utiliza uma equação de transporte advectivo difusivo promediada na coluna de água, com mecanismos pertinentes aos processos sedimentológicos pertinentes a sedimentos finos em suspensão, e.g. sedimentos coesivos. Dessa forma, o modelo é capaz de representar o transporte em suspensão de sedimentos coesivos, bem como contabilizar as evoluções morfodinâmicas do fundo.

Maiores informações sobre as formulações utilizadas nesse modelo estão detalhadas na Referência Técnica do SisBaHiA<sup>®</sup>, que pode ser acessada na página [www.sisbahia.coppe.ufrj.br](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br).

#### **Condições iniciais e de contorno adotadas no modelo de sedimentos coesivos**

Como mencionado, o objetivo deste estudo é avaliar o impacto, causado pela pluma de sedimentos provenientes do acidente na barragem de rejeitos de Fundão, na zona estuarina do rio Doce e região costeira adjacente, especialmente na zona de banimento de pesca indicada na Figura 2. Sendo assim, considerou-se no modelo de sedimentos, exclusivamente os sedimentos oriundos do desastre.

Para construir tal cenário, considerou-se que no instante inicial da simulação não existia sedimento disponível ao longo do domínio de modelagem, o que significa dizer que as condições iniciais da simulação são de concentrações em suspensão e estoque de sedimentos no fundo iguais a zero.

Dessa forma é possível fazer avaliações de forma isolada para os sedimentos oriundos do desastre, sobre o comportamento e a extensão da pluma de sedimentos na zona costeira, bem como das regiões com potencial de deposição de sedimentos.

Como condições de contorno de sedimentos, adotou-se as concentrações em suspensão a partir do momento da chegada da pluma à seção de montante do modelo. Utilizou-se as séries temporais de SST que foram apresentadas na Figura 10, de forma a avaliar o

impacto geral da pluma de sedimentos, no que diz respeito às concentrações em suspensão e aos depósitos de sedimentos formados.

### **Velocidade de Sedimentação**

A taxa com que uma partícula sedimenta em um fluido em repouso depende de suas propriedades físicas, como forma geométrica e peso próprio, e das propriedades do fluido em que está inserida. Por outro lado, quando o fluido está em movimento, o transporte advectivo-difusivo também tem grande parcela de influência no processo de sedimentação.

Em se tratando de sedimentos coesivos, a taxa de sedimentação depende não somente das características físicas do grão e do grau de turbulência do escoamento, mas também sofre influência do processo de floculação. A floculação causa agregação dos grãos de sedimentos, formando flocos, que por terem maior massa, sedimentam mais rapidamente. O processo de floculação depende do grau de coesão do sedimento em questão. Quanto maior o grau de coesão, maior será a intensidade da floculação.

Adotando uma estratégia conservadora com relação ao impacto da extensão da pluma de sedimentos na costa, não se considerou o processo de floculação no cálculo da velocidade de sedimentação, dado que este processo aumentaria a taxa de sedimentação, fazendo com que houvesse maior deposição dos sedimentos da pluma em águas mais calmas, fora da zona de arrebenção no litoral. Com isso, podemos avaliar o potencial máximo de alcance da pluma na região costeira.

Sendo assim, a velocidade de sedimentação foi calculada pela fórmula de van Rijn (1989), apresentada abaixo, considerando que o diâmetro representativo dos sedimentos que vem da seção de montante do modelo corresponde ao  $D_{50} = 3.27 \mu\text{m}$ , como mostrado na Tabela 1. De modo conservador, adotou-se a massa específica do grão como  $\rho_s = 3100 \text{ kg/m}^3$ .

$$W_s = \frac{1}{18}(s-1)\frac{gd^2}{\nu} \quad , \text{ para } d < 0.1\text{mm}$$

$$W_s = 1.1\sqrt{[(s-1)gd]} \quad , \text{ para } d > 1\text{mm}$$

$$W_s = 10\frac{\nu}{d}\left[\sqrt{(1+0.01d^3)}\right] \quad , \text{ para } d = 1\text{mm}$$

Como resultado, adotou-se a velocidade de sedimentação de 0.01 mm/s.

#### 2.1.2.4 Resultados

Nesta seção apresenta-se os resultados da simulação dos cenários de modelagem no rio Doce e na região costeira adjacente, para o período de 20 de novembro de 2015 à 20 de março de 2016. As análises foram feitas separadamente, da seguinte maneira:

- **Análise da circulação hidrodinâmica:** pertinente aos resultados de correntes hidrodinâmicas obtidos para a região costeira e estuarina do rio Doce. O intuito é caracterizar o ambiente de estudo e dar suporte às análises sedimentológicas;
- **Aspectos sedimentológicos e morfodinâmicos:** pertinentes aos resultados de concentrações de sedimentos em suspensão e de evoluções batimétricas obtidos para a região costeira e estuarina do rio Doce. O enfoque é na avaliação do transporte da pluma de sedimentos oriundos do acidente, bem como na identificação de regiões propensas à formação de depósitos da lama.

#### **Análise da circulação hidrodinâmica**

A seguir discute-se os resultados hidrodinâmicos do cenário simulado, com vistas a trazer um melhor entendimento das características gerais do ambiente de estudo e subsidiar as análises sedimentológicas, visto que a hidrodinâmica é a principal força considerada para o transporte de sedimentos.

Apresenta-se mapas com padrões de correntes característicos em condições de ventos usuais, quando a pluma da foz é transportada para o sul, e em condições de frentes frias, quando ocorre transporte para o norte.

Cada figura é composta por mapa geral do domínio de modelagem com isolinhas de magnitude de correntes e vetores com tamanho proporcional à magnitude da corrente, indicando a direção da corrente. A cada mapa geral está associado um mapa de zoom detalhando o campo de correntes no estuário e foz do rio Doce. São quatro pares de figuras, conforme detalhado a seguir, retratando as principais fases de um ciclo de maré de sizígia para ventos usuais e de frentes-frias. As condições de maré e vento para os dias mostrados nos mapas podem ser vistas na Figura 11 e Figura 14, respectivamente.

- Meia maré enchente (MME) de sizígia do dia 10/01/2016, em condição de ventos usuais (Figuras 15 e 16),
- Meia maré vazante (MMV) de sizígia do dia 10/01/2016, em condição de ventos usuais (Figuras 17 e 18),
- Meia maré enchente (MME) de sizígia do dia 26/11/2015, em condição de ventos típicos de frentes frias (Figuras 19 e 20),
- Meia maré vazante (MMV) de sizígia do dia 26/11/2015, em condição de ventos típicos de frentes frias (Figuras 21 e 22).

Analisando os resultados descritos acima, verifica-se que:

1. De um modo geral, em condições de ventos usuais, a corrente se propaga para sul, mas existem diferenças na direção da corrente de acordo com a fase da maré. Na maré enchente a corrente avança em direção a costa e na maré vazante se afasta da costa. Há uma diminuição da velocidade da corrente na maré vazante, em relação a maré enchente, apenas na região ao norte da foz do rio Doce.
2. De um modo geral, em condições de ventos de frente fria, a corrente se propaga para norte, mas existem diferenças na direção da corrente de acordo com a fase da maré. Na maré enchente a corrente avança em direção a costa e na maré vazante se afasta da costa. Há um aumento na magnitude das correntes durante a maré vazante, em relação à maré enchente, apenas para a região ao norte da foz do rio Doce.

3. Dentro do estuário do rio Doce o campo de correntes sofre pouca influência dos ventos. E a inversão de correntes devido a maré se limita à região bem próxima à foz, pois a batimetria do rio Doce junto à costa é relativamente íngreme, acompanhando o terreno marginal, conforme pode ser visto no mapa da Figura 5. Sendo assim, verifica-se entrada de água com baixa velocidade no rio Doce, durante a maré enchente e saída de água com maior velocidade das correntes durante a maré vazante.

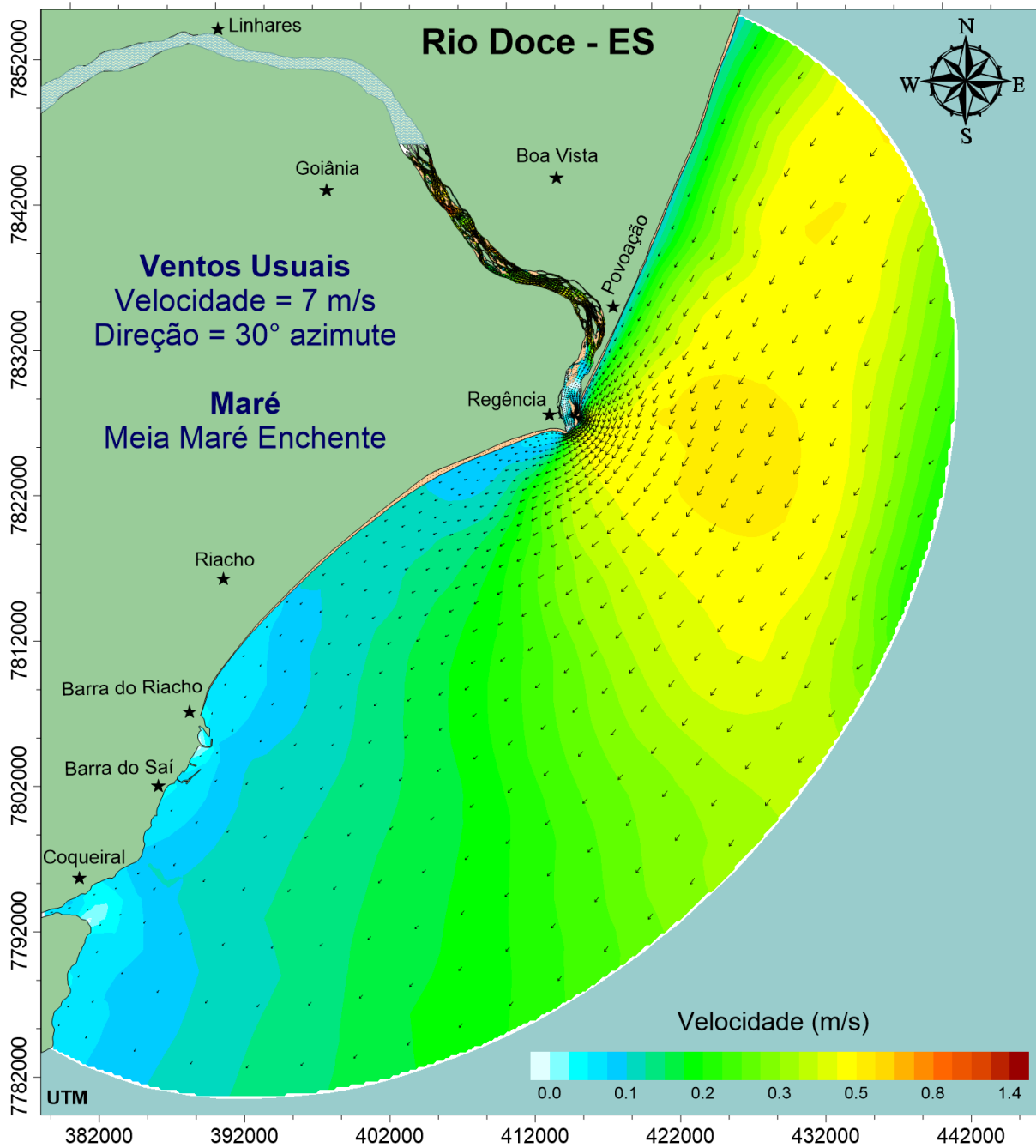


Figura 15 – Mapa de correntes retratando um instante de meia maré enchente para um dia de maré de sizígia e ventos usuais. Foi selecionado o dia 10/01/2016, com ventos provenientes da direção norte-nordeste e com velocidades em torno de 7 m/s.

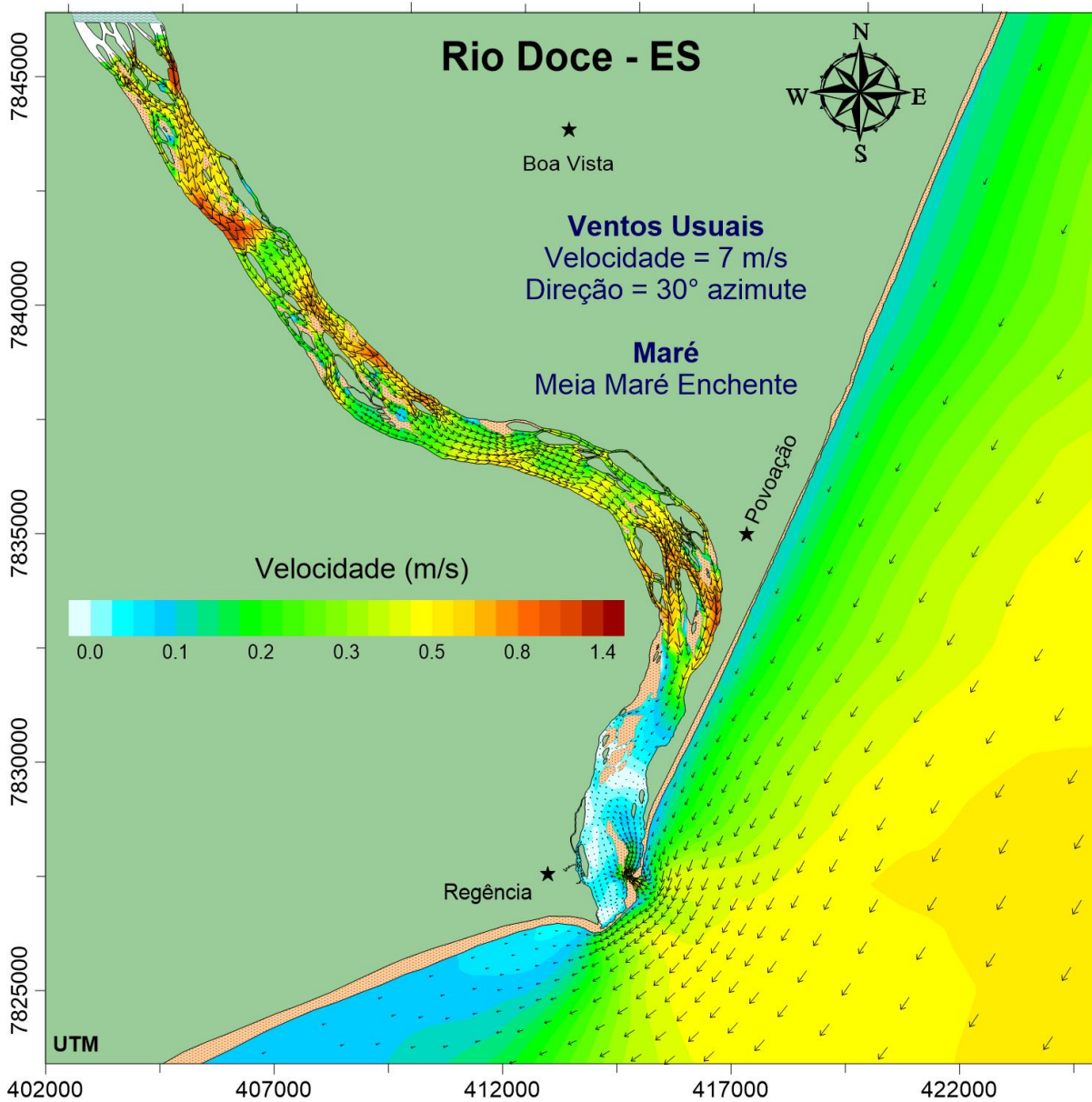


Figura 16 – Detalhe para as correntes observadas na região fluvial e estuarina do rio Doce em um instante de meia maré enchente para um dia de maré de sizígia e ventos usuais. Foi selecionado o dia 10/01/2016, com ventos provenientes da direção norte-nordeste e com velocidades em torno de 7 m/s.

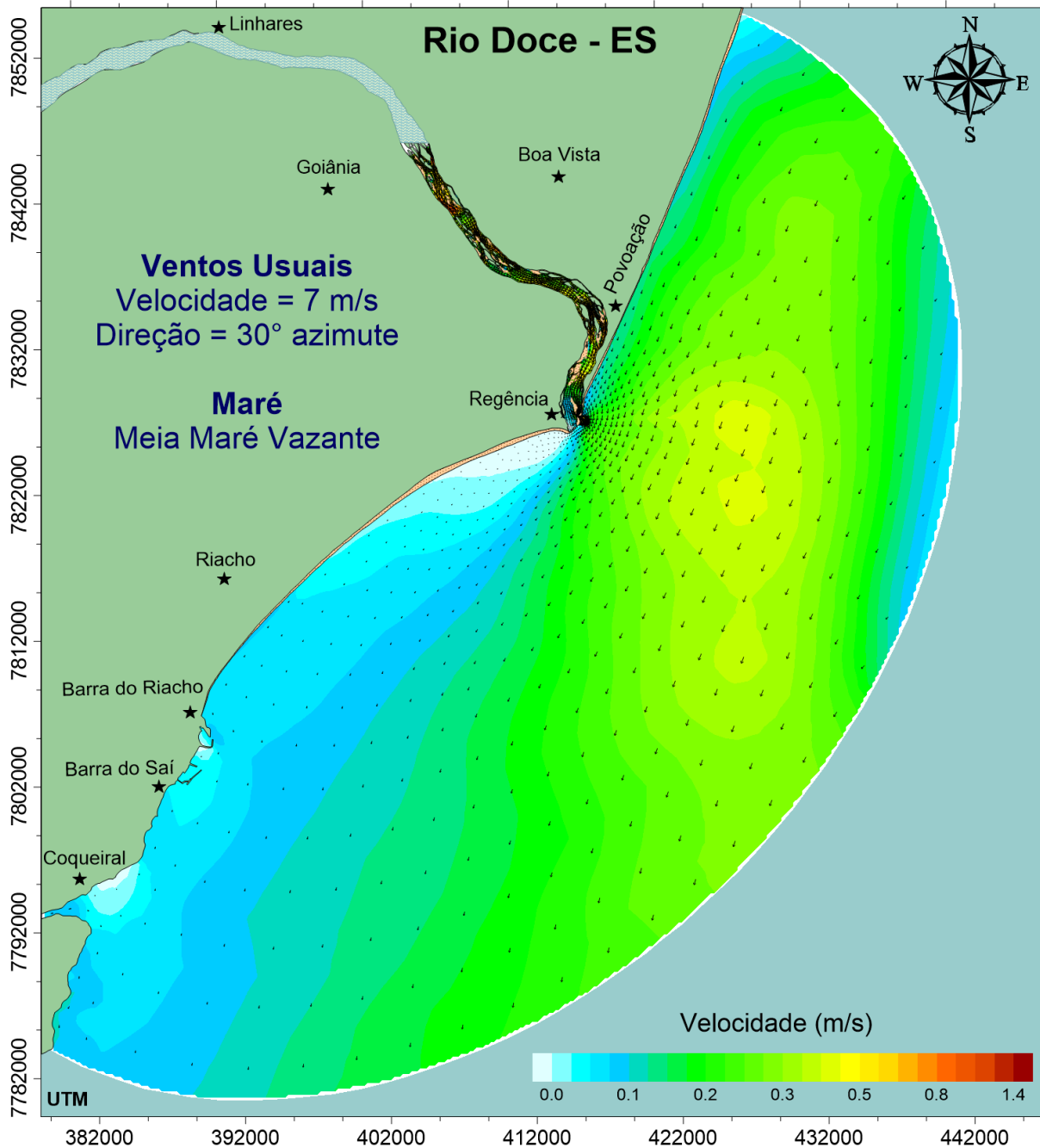


Figura 17 – Mapa de correntes retratando um instante de meia maré vazante para um dia de maré de sizígia e ventos usuais. Foi selecionado o dia 10/01/2016, com ventos provenientes da direção norte-nordeste e com velocidades em torno de 7 m/s.

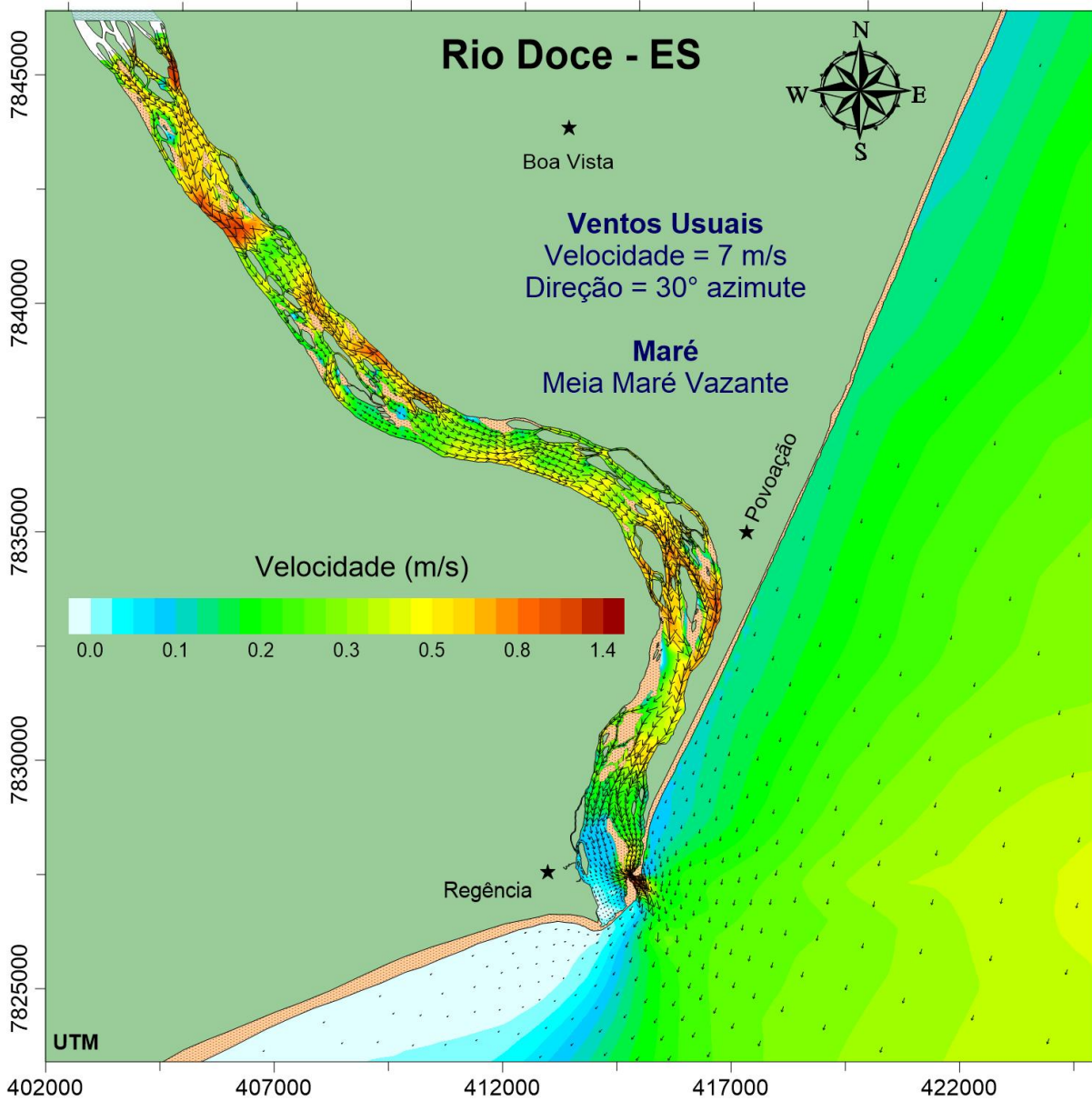


Figura 18 – Detalhe para as correntes observadas na região fluvial e estuarina do rio Doce em um instante de meia maré vazante para um dia de maré de sizígia e ventos usuais. Foi selecionado o dia 10/01/2016, com ventos provenientes da direção norte-nordeste e com velocidades em torno de 7 m/s.

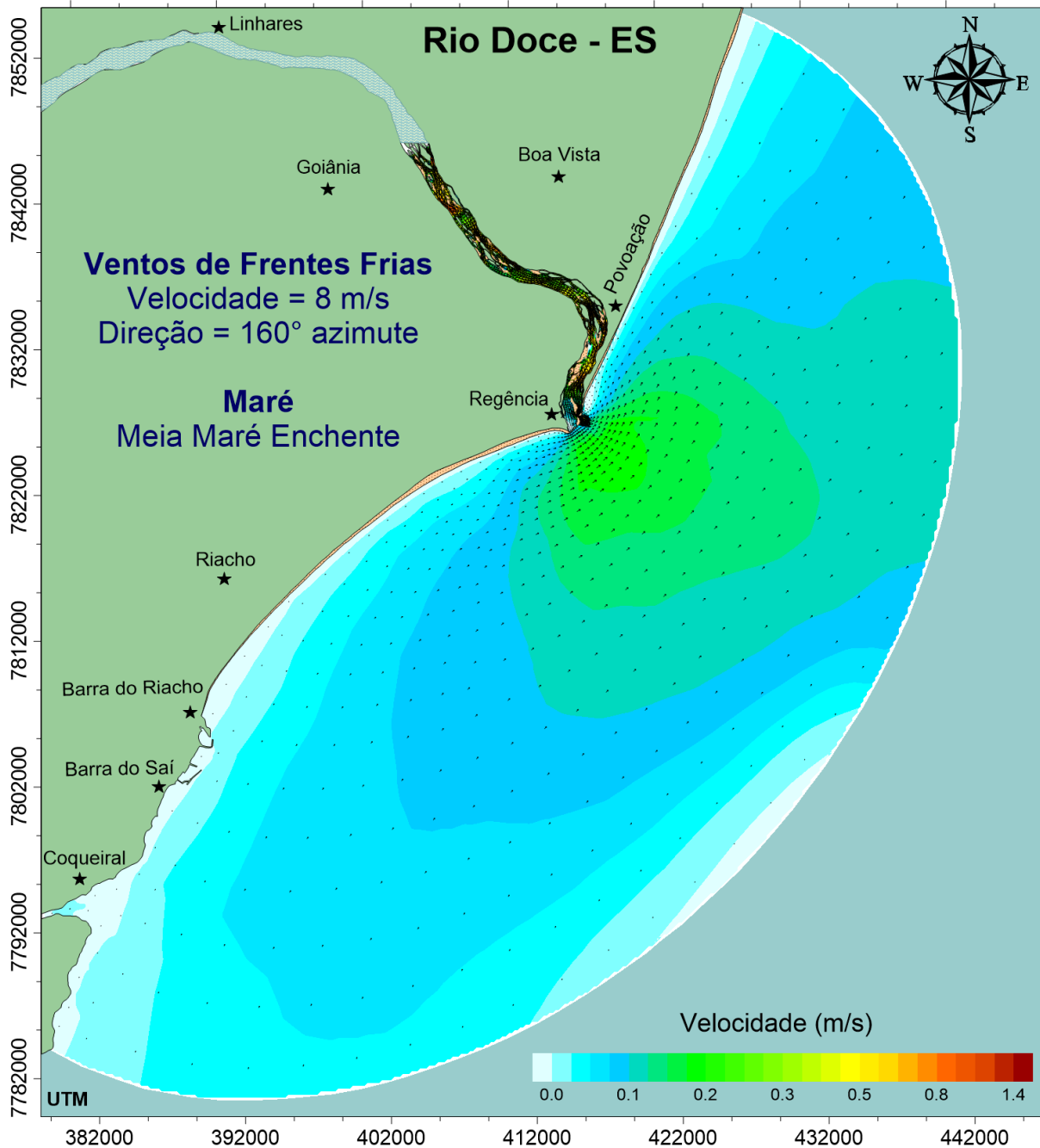


Figura 19 – Mapa de correntes retratando um instante de meia maré enchente para um dia de maré de sizígia e ventos típicos de frentes frias. Foi selecionado o dia 26/11/2016, com ventos provenientes da direção sul-sudeste e com velocidades em torno de 8 m/s.

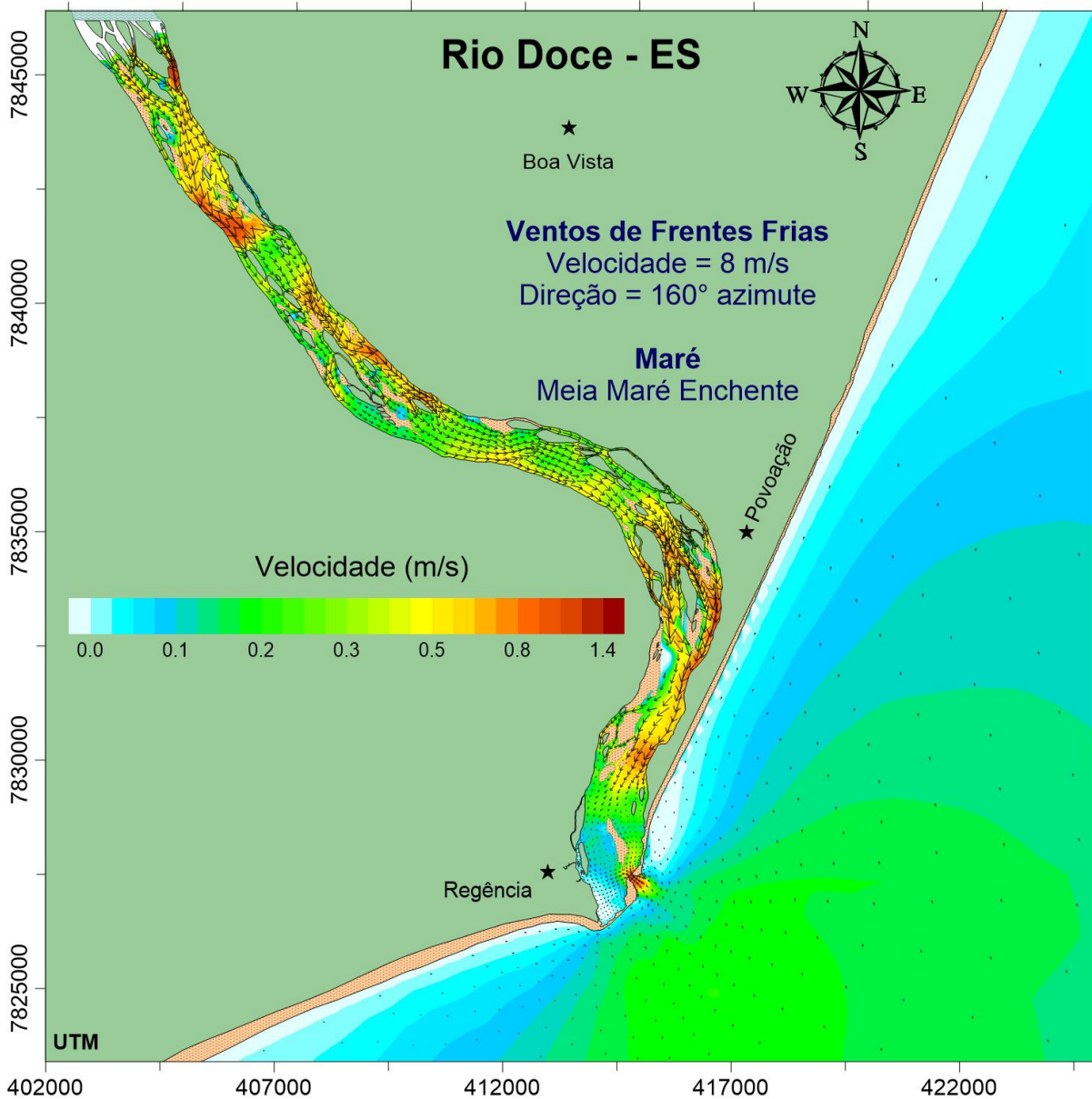


Figura 20 – Detalhe para as correntes observadas na região fluvial e estuarina do rio Doce em um instante de meia maré enchente para um dia de maré de sizígia e ventos típicos de frentes frias. Foi selecionado o dia 26/11/2016, com ventos provenientes da direção sul-sudeste e com velocidades em torno de 8 m/s.

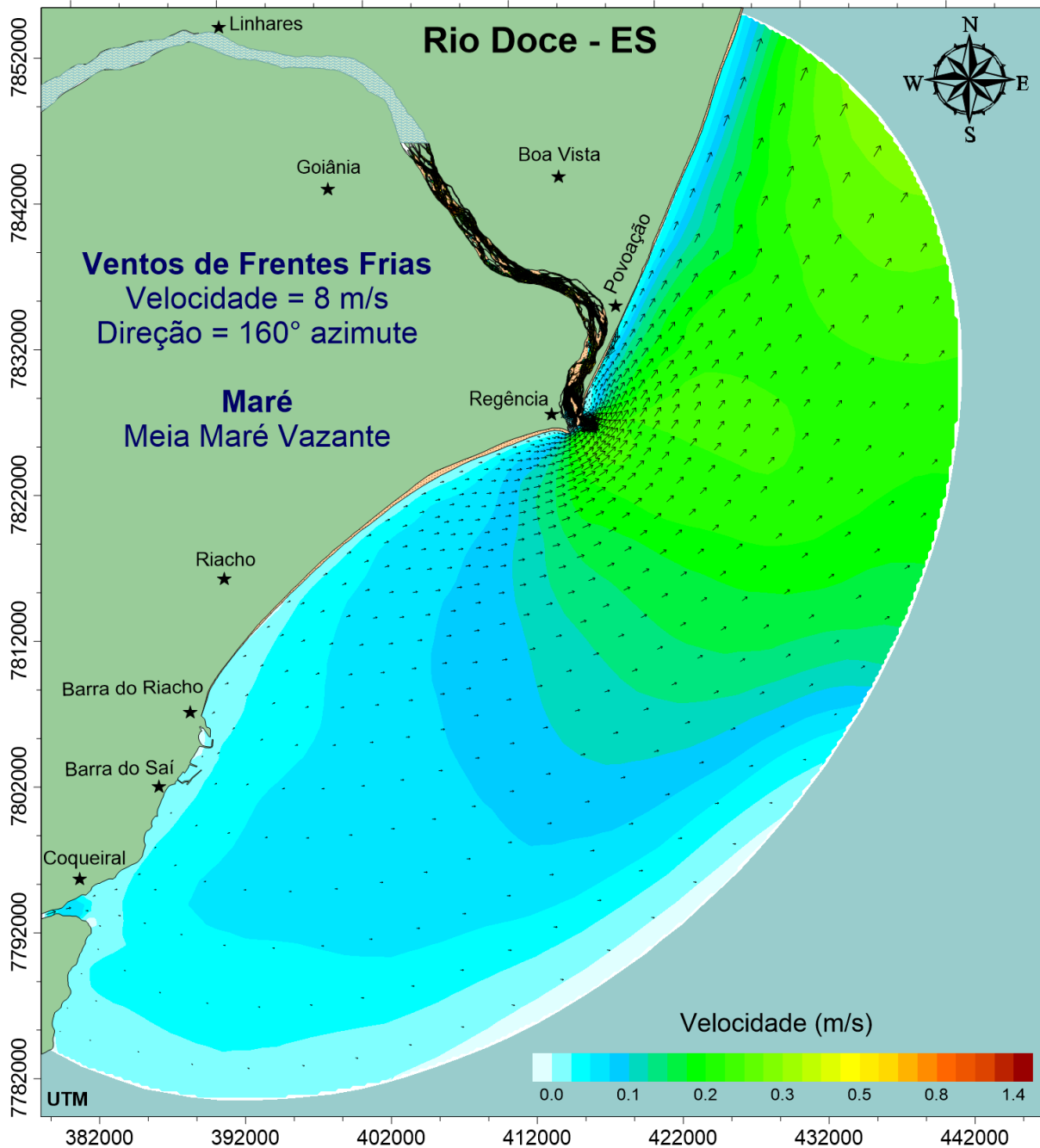


Figura 21 – Mapa de correntes retratando um instante de meia maré vazante para um dia de maré de sizígia e ventos típicos de frentes frias. Foi selecionado o dia 26/11/2016, com ventos provenientes da direção sudeste e com velocidades em torno de 8 m/s.

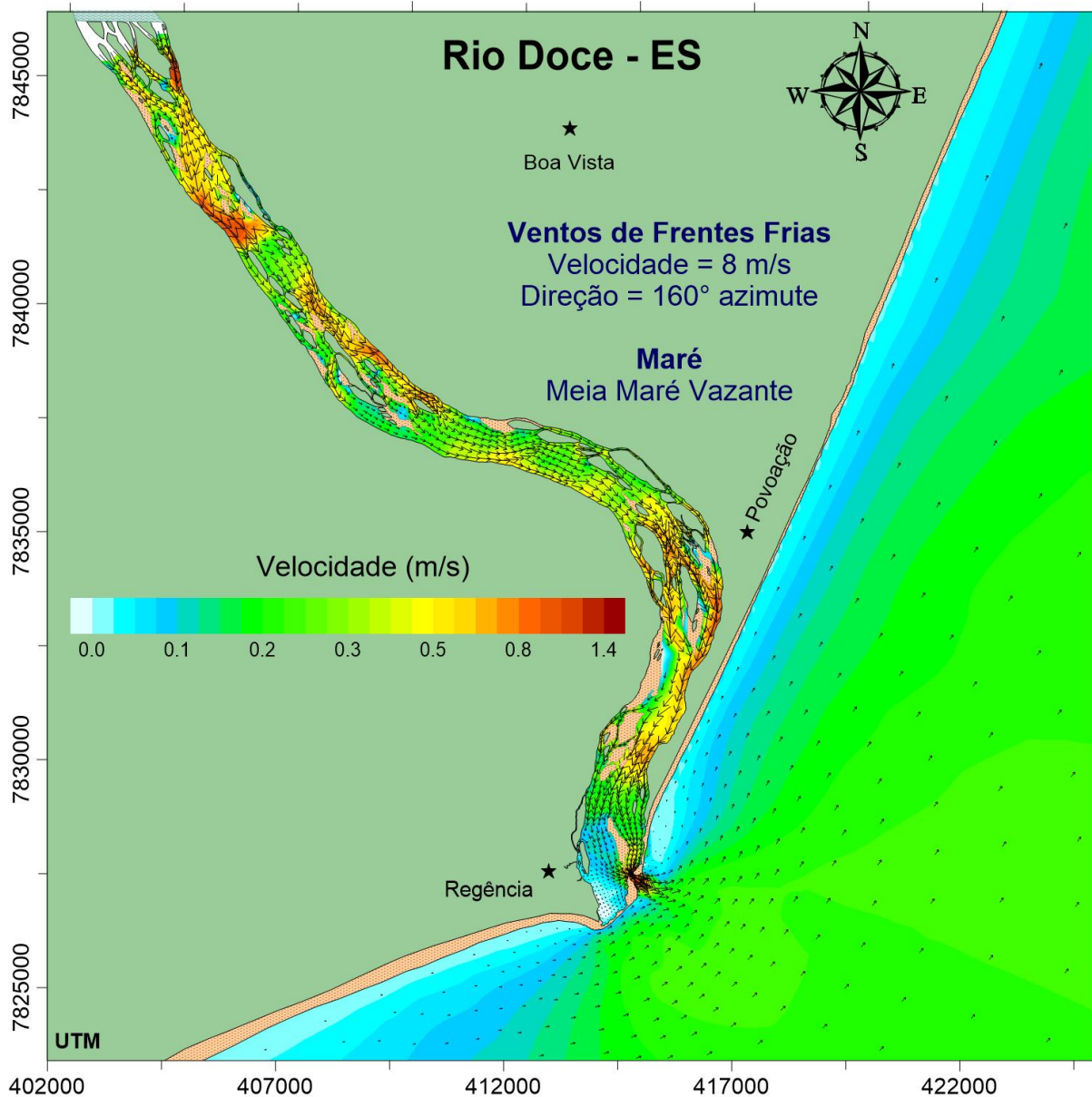


Figura 22 – Detalhe para as correntes observadas na região fluvial e estuarina do rio Doce em um instante de meia maré vazante para um dia de sizígia e ventos típicos de frentes frias. Foi selecionado o dia 26/11/2016, com ventos provenientes da direção sul-sudeste e com velocidades em torno de 8 m/s.

### ***Análise dos aspectos sedimentológicos e morfodinâmicos***

Nesta seção são apresentados os resultados do modelo de transporte de sedimentos coesivos. Estes serão apresentados em forma de mapas e gráficos de concentração de sedimentos em suspensão e de variações morfológicas, ao longo do período simulado.

As Figuras 23 e 24 apresentam, respectivamente, o mapa de isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão no instante da chegada na zona costeira da pluma que vem de montante (pico de passagem da pluma na Figura 10) e o momento da passagem da onda de cheia (pico de cheia na Figura 10). Percebe-se que esse momento não é o mais crítico no que diz respeito à extensão do alcance da pluma, entretanto, no que diz respeito aos valores de concentração de sedimentos em suspensão, estes são os momentos em que são registrados os maiores valores de SST (vide Figura 26) na região do entorno da embocadura do rio Doce, com concentrações da ordem de 1300mg/L, no instante da passagem do pico da pluma, e de 1600mg/L no momento da passagem da onda de cheia.

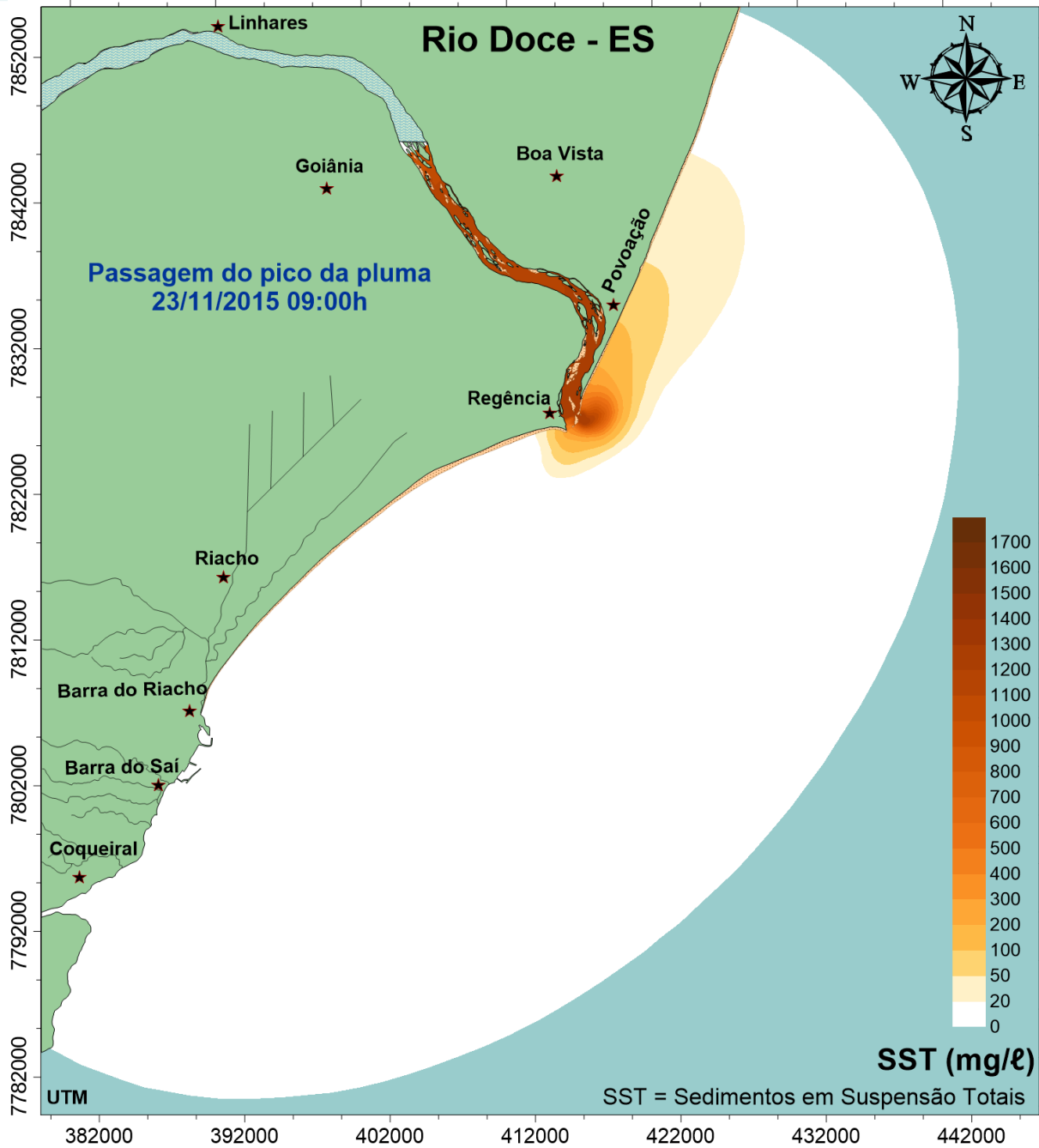


Figura 23 – Isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão no instante da chegada do pico de concentrações da pluma advinda do rompimento da barragem.

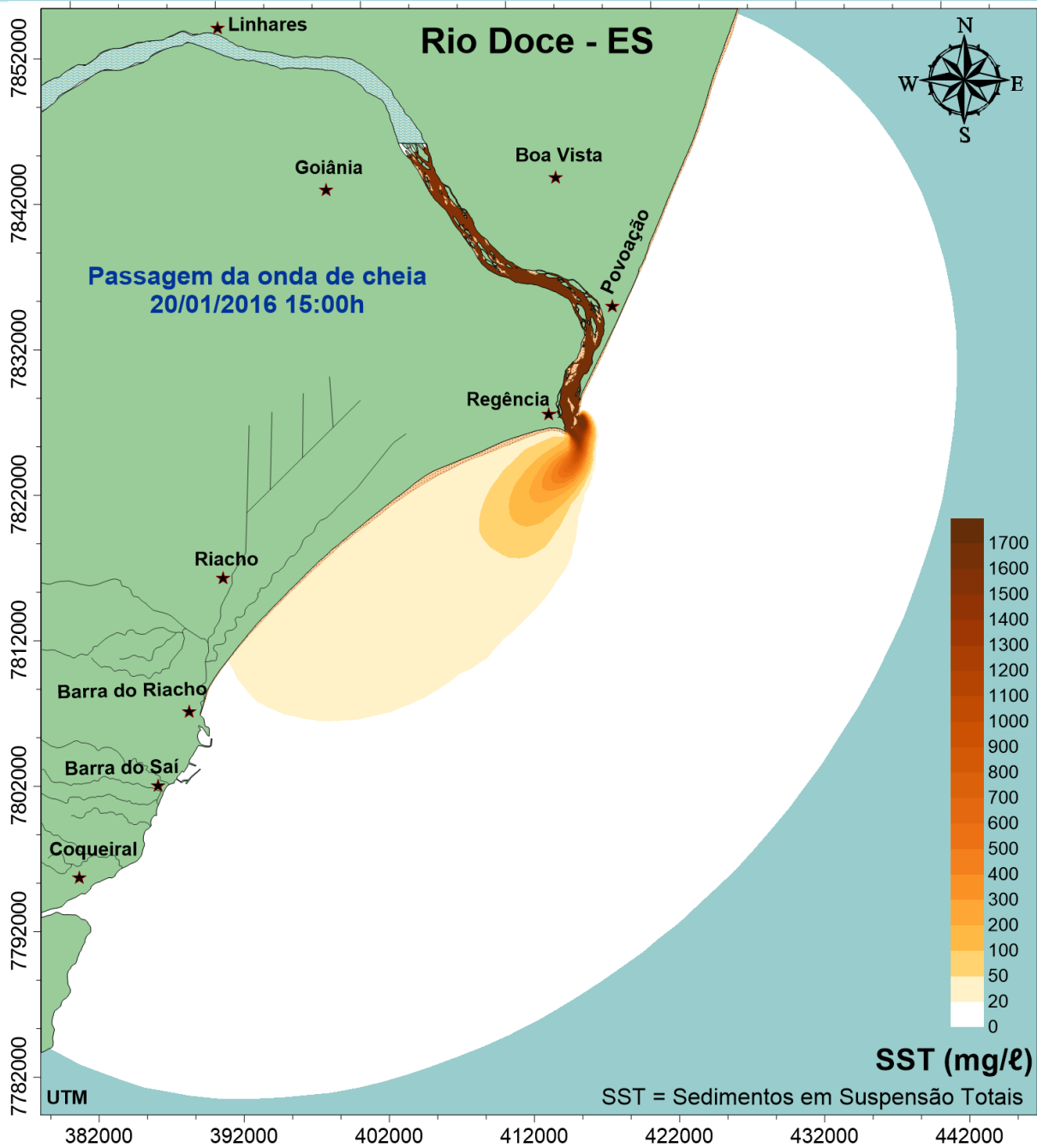


Figura 24 – Isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão no instante da chegada do pico de concentrações da pluma advinda da onda de cheia.

A seguir, a **Figura 26** e a **Figura 27** apresentam as séries temporais de SST calculadas pelo modelo nos pontos apresentados na **Figura 25**, quais sejam: Foz; Norte 1km; Norte 2km; Norte 5km; Norte 10km; Fronteira Norte; Sul 1km; Sul 2km; Sul 5km; Sul 10km; Fronteira Sul.



Figura 25 – Demarcação dos pontos de análise do modelo para os resultados de séries temporais: Foz; Norte 1km; Norte 2km; Norte 5km; Norte 10km; Fronteira Norte; Sul 1km; Sul 2km; Sul 5km; Sul 10km; Fronteira Sul.

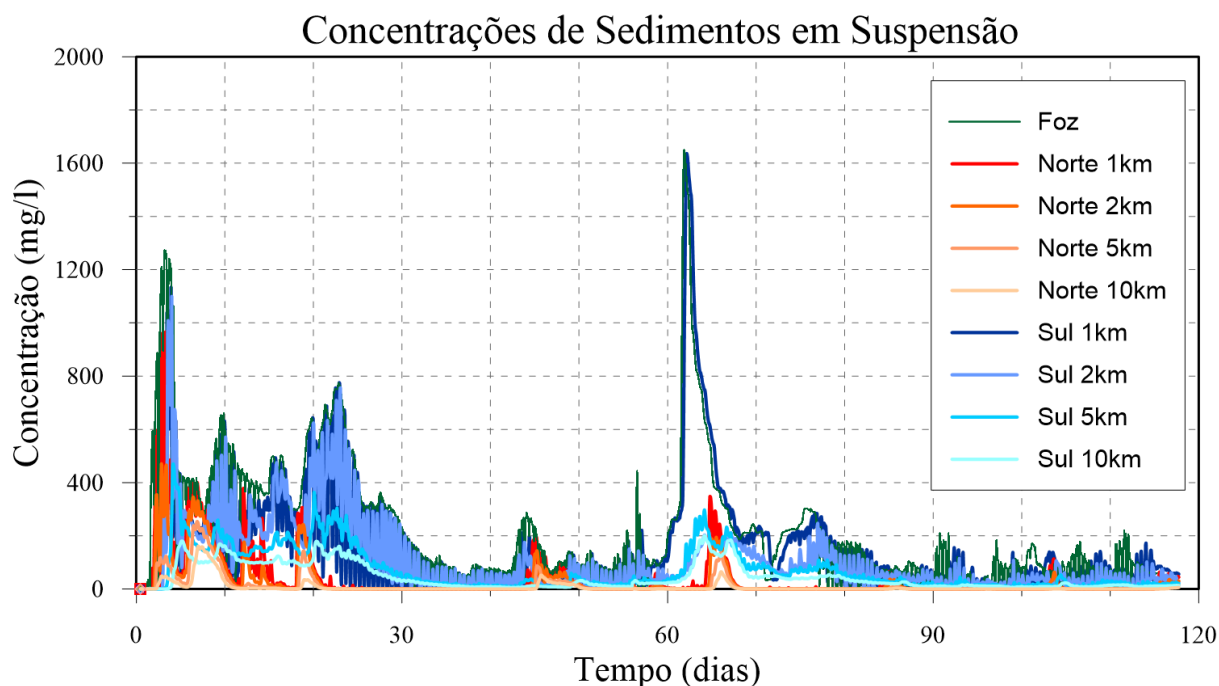


Figura 26 – Séries temporais de SST calculadas pelo modelo nos pontos apresentados na Figura 25. No gráfico, o tempo zero corresponde ao dia 20/11/2015. Note que as curvas em tom azul são para sul e em tom vermelho para norte. Destaca-se que os valores para sul são amplamente maiores que para norte.

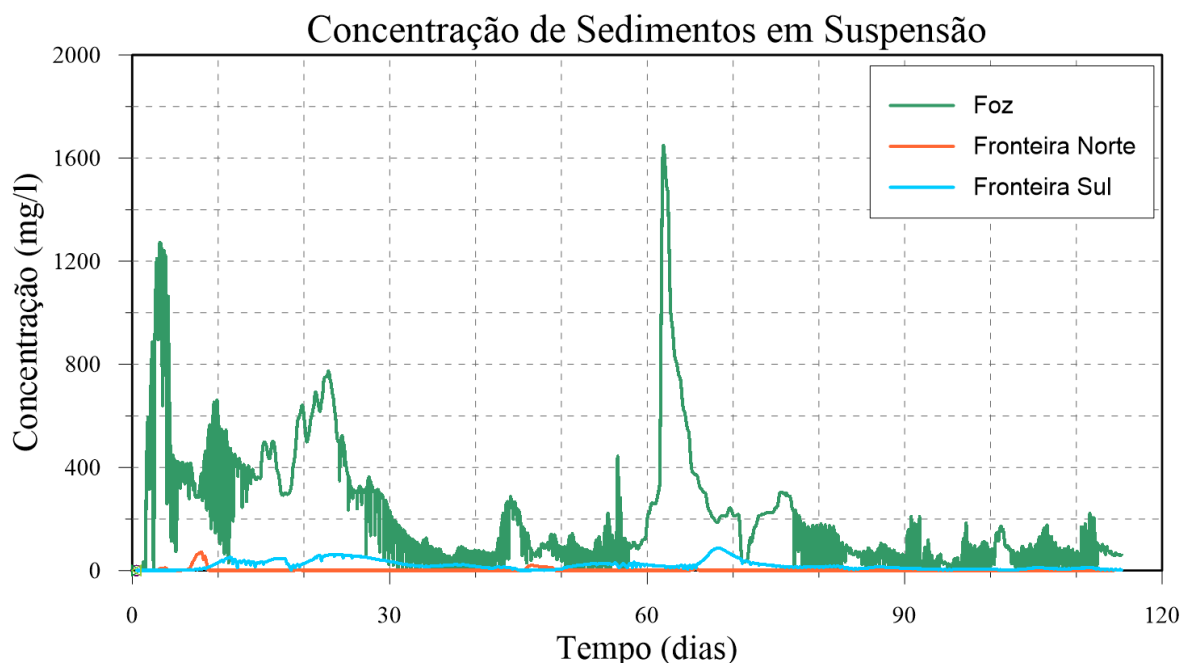


Figura 27 – Séries temporais de SST calculadas pelo modelo na foz do rio Doce e nas fronteiras Norte e Sul do modelo, apresentadas na Figura 25. No gráfico, o tempo zero corresponde ao dia 20/11/2015. Veja detalhes na Figura 33.

No período entre o dia 20 e 30 de Novembro e entre 20 e 30 de Janeiro ocorreram as maiores concentrações de sedimentos em suspensão durante todo o período de simulação, com valores ultrapassando os 1300mg/L no primeiro caso e 1600mg/L no segundo.

O primeiro pico representa a chegada da pluma de sedimentos oriunda do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. O segundo pico está associado a onda de cheia que passou pelo rio Doce a partir do dia 20 de Janeiro.

O aumento das concentrações de sedimentos causado pela cheia ocorre por duas razões principais: (i) o aumento das velocidades hidrodinâmicas e do nível d'água na porção fluvial do rio Doce, que ocasiona fenômenos de ressuspensão de sedimentos depositados na calha e nas áreas marginais do rio, bem como em seus afluentes e (ii) o carreamento de sedimentos da bacia hidrográfica promovido pela chuva.

As oscilações nos valores de SST observados nos diversos pontos de monitoramento são fruto da ação da maré e têm seu efeito mais evidenciado na região próxima à embocadura, por ser onde verificaram-se as maiores concentrações de sedimentos em suspensão.

Os resultados mostram que as concentrações de sedimentos em suspensão nos pontos ao Sul da foz do rio Doce permanecem maiores que nos pontos ao Norte. Tal resultado é esperado, uma vez que a pluma se movimenta acompanhando as correntes hidrodinâmicas da região costeira, que como foi apresentado no item acima (*Análise da circulação hidrodinâmica*), são fortemente influenciadas pelo padrão de ventos da região.

Repare que conforme se vai afastando da embocadura as concentrações de sedimentos tendem a diminuir, devido à diluição que a pluma sofre ao chegar à região marítima. Tal efeito é mais bem evidenciado na Figura 27, onde é possível observar os instantes em que a pluma atravessou as fronteiras do modelo. Na figura, note que as curvas em tom azul são para sul e em tom vermelho para norte. Destaca-se que os valores para sul são amplamente maiores que para norte.

É notável a maior tendência de derivação da pluma para o sul, como já havia sendo previsto ao longo deste estudo. A direção de propagação muda para o norte em episódios de passagens de frentes frias, quando as correntes mudam de direção devido à ação do vento.

É possível distinguir dois momentos em que a pluma atravessou a fronteira norte com concentrações detectáveis, o primeiro, próximo ao dia 28 de Novembro e o segundo, próximo ao dia 05 de Janeiro. Em ambos os casos as concentrações na fronteira são ordens de grandeza menores que as concentrações na embocadura do estuário. No primeiro caso, a concentração na foz foi de 1300 mg/L e na fronteira de 70 mg/L, já no segundo caso, a concentração na foz foi de 300 mg/L e na fronteira de 20 mg/L.

Ainda neste aspecto, a Figura 28 mostra mapas de isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão para os instantes em que foram observadas as maiores dispersões da pluma para o norte e para o sul.

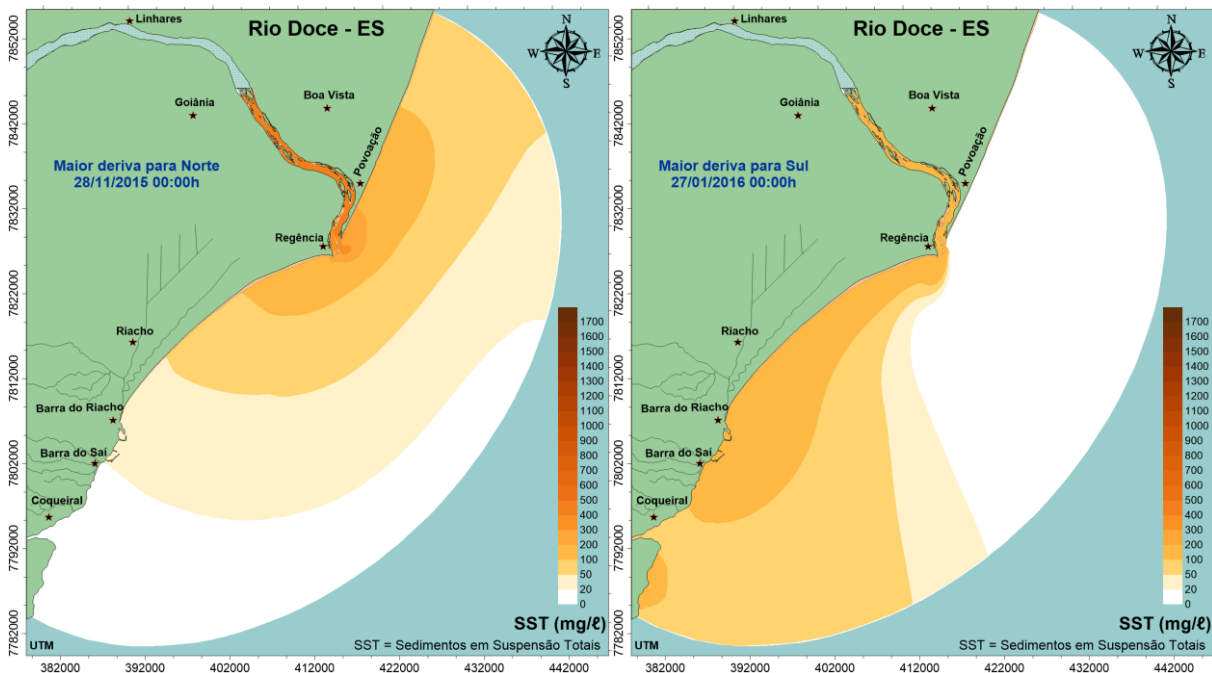


Figura 28 – Isolinhas de concentração de sedimentos em suspensão para os instantes em que foram observadas a maior dispersão da pluma para o norte (mapa da esquerda) e para o sul (mapa da direita).

Da Figura 29 a 31 **Figura 31** são apresentadas isolinhas de porcentagem de ocorrência de concentrações em suspensão maiores que 20mg/L, 50mg/L e 100mg/L, respectivamente.

Esse tipo de visualização de resultados permite que se tenha uma avaliação da persistência de valores de SST acima de determinado limite de concentração, bem como determinar a distância máxima alcançada por essa faixa de concentração. Pela análise das figuras é notável a tendência de deriva para sul da pluma de sedimentos, como já havia sido evidenciado pelos resultados anteriores.

Além disso, é possível observar que a ocorrência de concentrações de sedimentos em suspensão maiores que 100mg/L, com potencial de causar alterações significativas na qualidade da água, ficam restritas à região fluvial e estuarina do rio Doce e a região costeira próxima da embocadura, chegando até as cidades de Regência e Povoação, como se vê no mapa da Figura 30.

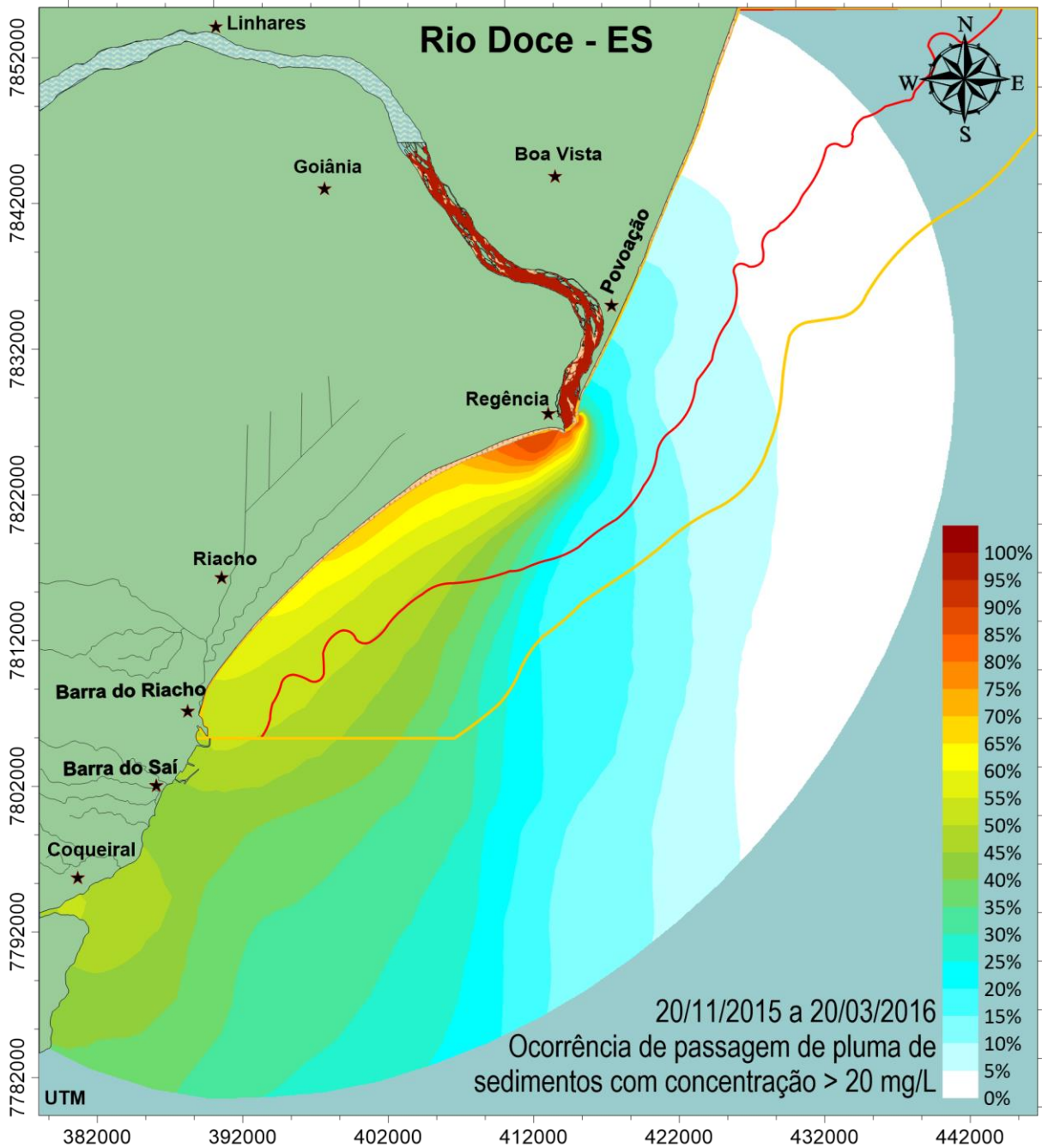


Figura 29 – Isolinhas de porcentagem de ocorrência de concentrações em suspensão maiores que 20mg/L entre 20/11/2015 e 20/03/2016. A linha vermelha, na isóbata de 20m demarca a zona de banimento da pesca, a linha amarela mostra a isóbata de 40m.

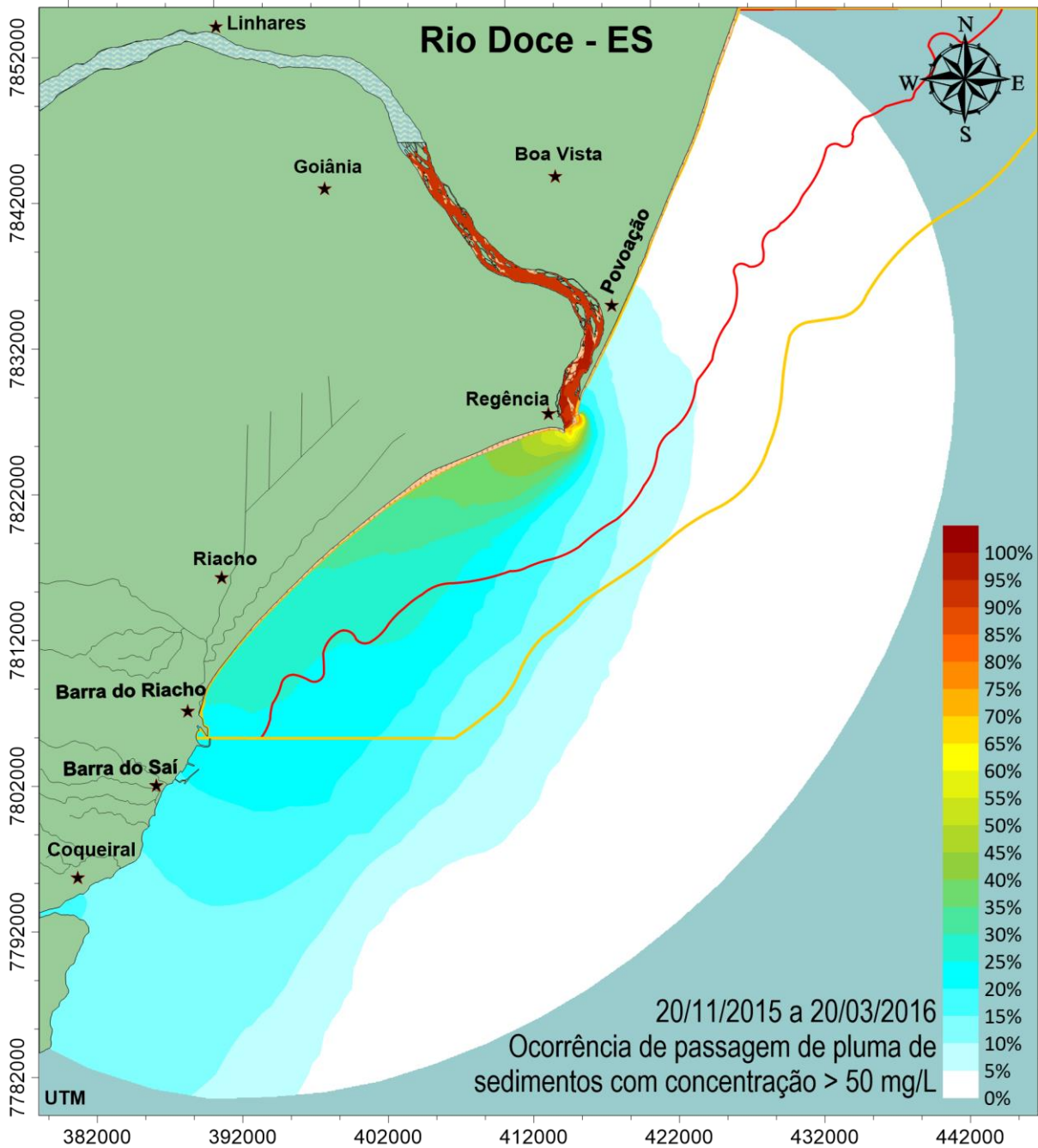


Figura 30 – Isolinhas de porcentagem de ocorrência de concentrações em suspensão maiores que 50mg/L entre 20/11/2015 e 20/03/2016. Destaca-se que a maior ocorrência se restringe às semanas seguintes às passagens dos picos de concentração em 20/11/2015 e 20/01/2016, cf. Figura 10. A linha vermelha, na isóbata de 20m demarca a zona de banimento da pesca, a linha amarela mostra a isóbata de 40m.

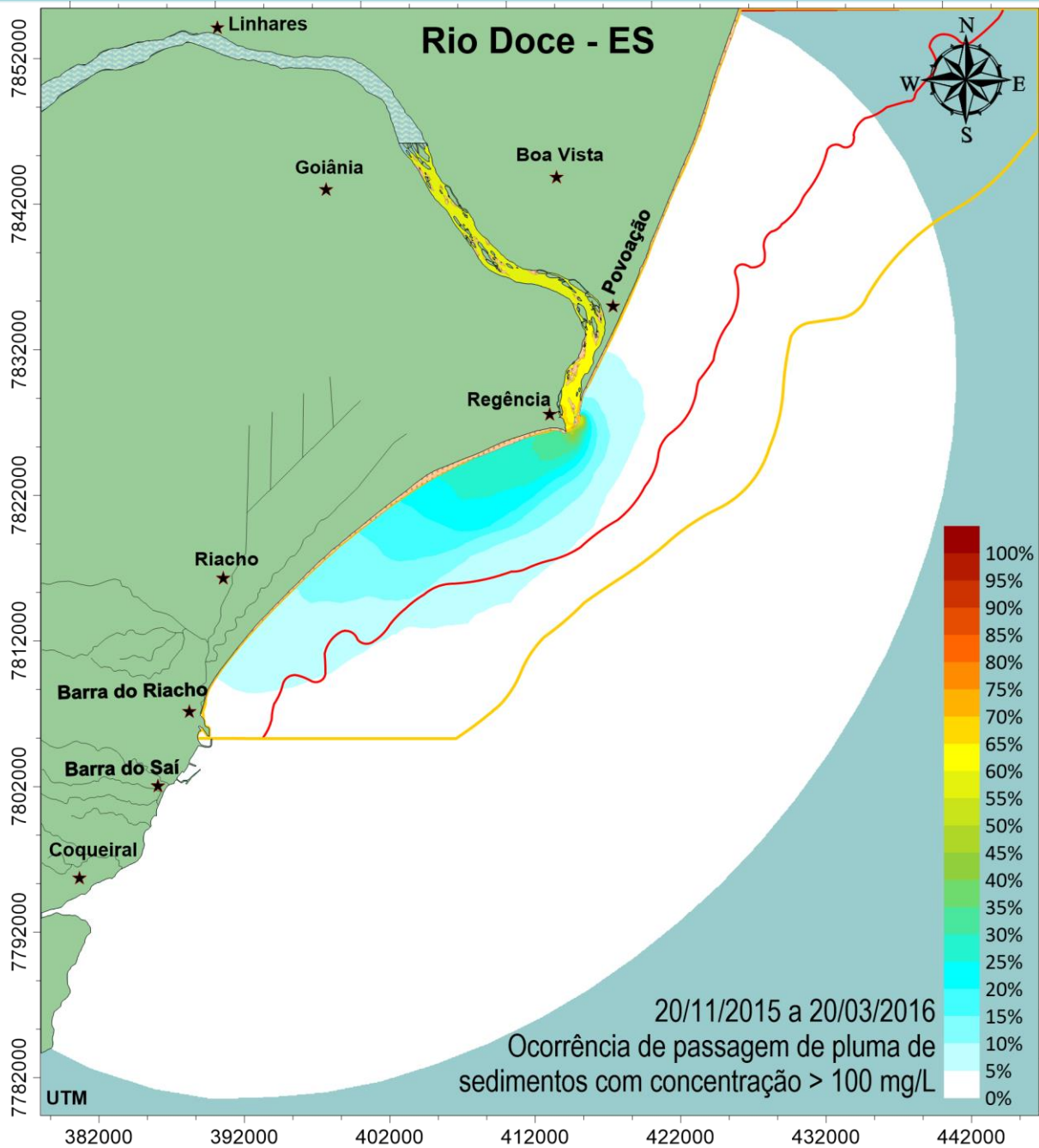


Figura 31 – Isolinhas de porcentagem de ocorrência de concentrações em suspensão maiores que 100mg/L. A linha vermelha, na isóbata de 20m demarca a zona de banimento da pesca, a linha amarela mostra a isóbata de 40m.

A Figura 32 mostra o mapa do resultado da evolução batimétrica obtida durante o período de simulação, que foi de 20/11/2015 até 20/03/2016. Como não houve a formação de depósitos com alturas de deposição significativas, mostra-se na figura a delimitação da área que apresentou o maior potencial de sedimentação.

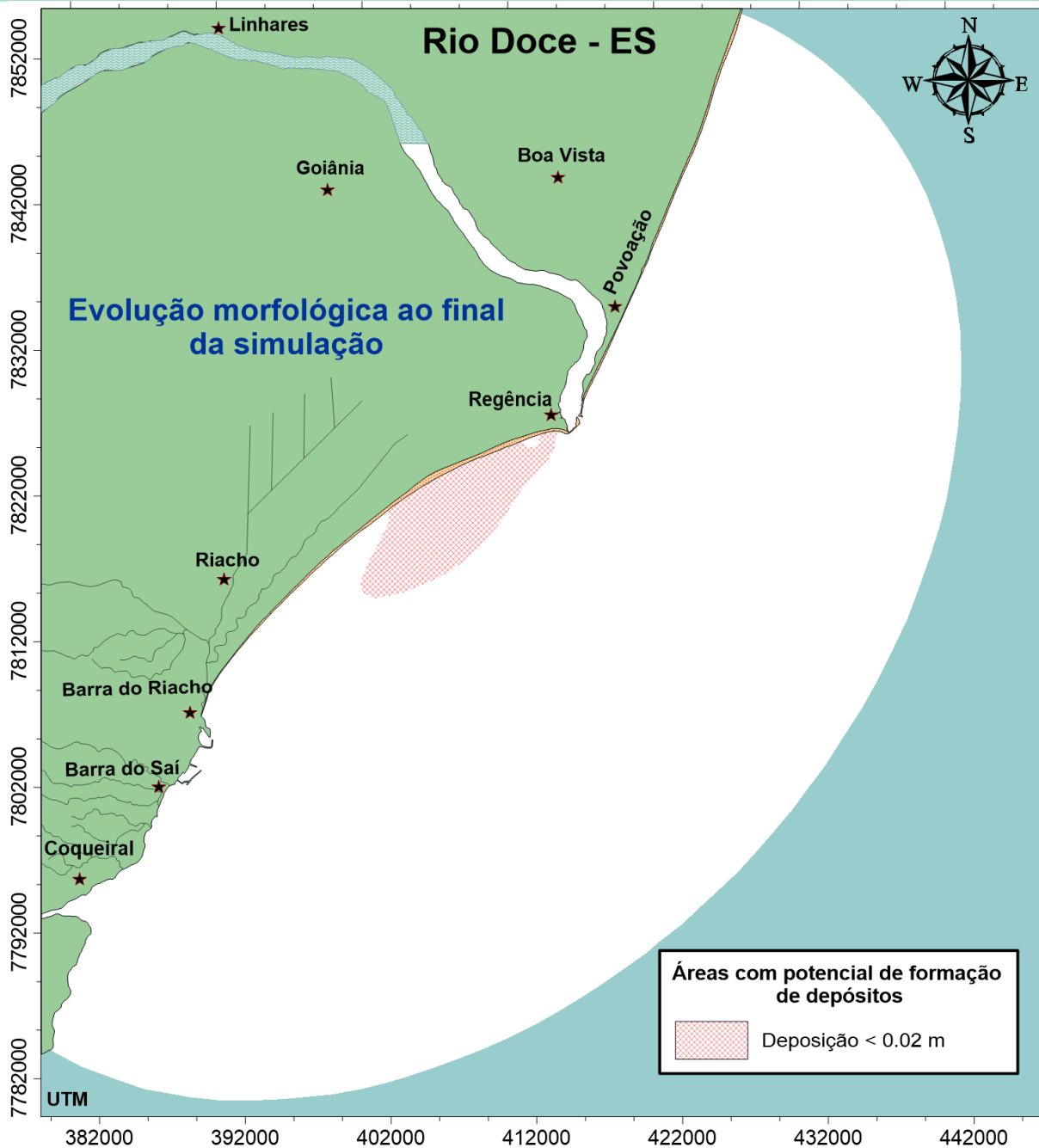


Figura 32 – Resultado da evolução morfológica ao final do período de simulação. Como não houve formação de depósitos significativos, apresenta-se demarcada a área identificada no modelo como de maior probabilidade de deposição.

Pela análise dos resultados percebe-se que de maneira geral, as regiões fluvial e estuarina do rio Doce bem como a zona costeira adjacente não apresentaram tendência de formação de depósitos significativos de sedimentos finos. Este comportamento é devido

principalmente a granulometria do sedimento, que por ser muito fino, apresenta velocidade de sedimentação muito baixa e, portanto, requer águas tranquilas para ocorrer deposição.

Apenas na região costeira próxima à embocadura, na margem direita, nos arredores da cidade de Regência, foi observada a formação de depósitos de sedimentos finos, porém com alturas de assoreamento irrisórias, da ordem 0.02m. Por esta razão, não foram observados na simulação, aumentos relevantes na concentração de sedimentos devido a efeitos de ressuspensão. Ao longo do tempo, tais depósitos tendem a se espalhar para regiões mais profundas, ao serem remobilizados por ondas de maior altura e período em épocas de ressacas excepcionais.

### **Valores de SST nos limites do domínio de modelagem**

De modo a quantificar os valores de SST nos limites do domínio de modelagem, a Figura 33 apresenta séries temporais de valores de concentração de sedimentos suspensos totais (SST) em pontos situados a 30 km para o Norte e a 55 km para o Sul da foz do rio Doce. Analisando os valores, fica evidente a grande persistência de transporte para o Sul, já que para o Norte na maior parte do tempo os valores são nulos, exceto em breves momentos de passagens de frentes frias, quando as correntes costeiras fluem para o norte. Na seção 2.1.2.6, discute-se em detalhes a persistência de correntes para o Sul e para o Norte na região costeira em frente à foz do rio Doce.

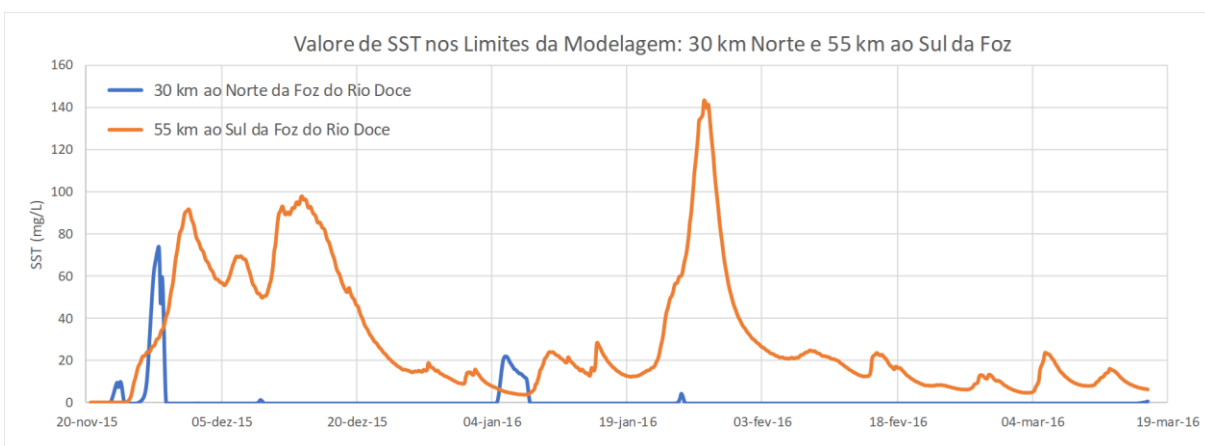


Figura 33. Valores de concentração de sedimentos suspensos totais (SST) 30 km ao Norte e 55 km ao Sul da foz do rio Doce, entre 20/11/2015 e 20/03/2016.

### **2.1.2.5 Sobre diluição da pluma do rio Doce**

Esta seção apresenta uma análise mais conservadora sobre taxas de diluição da pluma do rio Doce. Para tal realizou-se a modelagem de um traçador conservativo, i.e., sem perda de massa por qualquer tipo de efeito, como deposição no fundo.

A Figura 34 apresenta as isolinhas de ocorrência de diluição maior que 100 vezes em relação às do rio Doce, acima da zona estuarina. O mapa superior esquerdo entre 20/11/2015 e 15/01/2016, o superior direito entre 15/01/2016 e 20/03 de 2016 e o mapa inferior integra os dois.

Note que diluição  $> 100$  significa um valor baixo de 1%. Por exemplo, em um local que apresente ocorrência de 80% de diluição  $> 100$ , teria concentrações 80% do tempo inferiores a 1% dos valores do rio Doce.

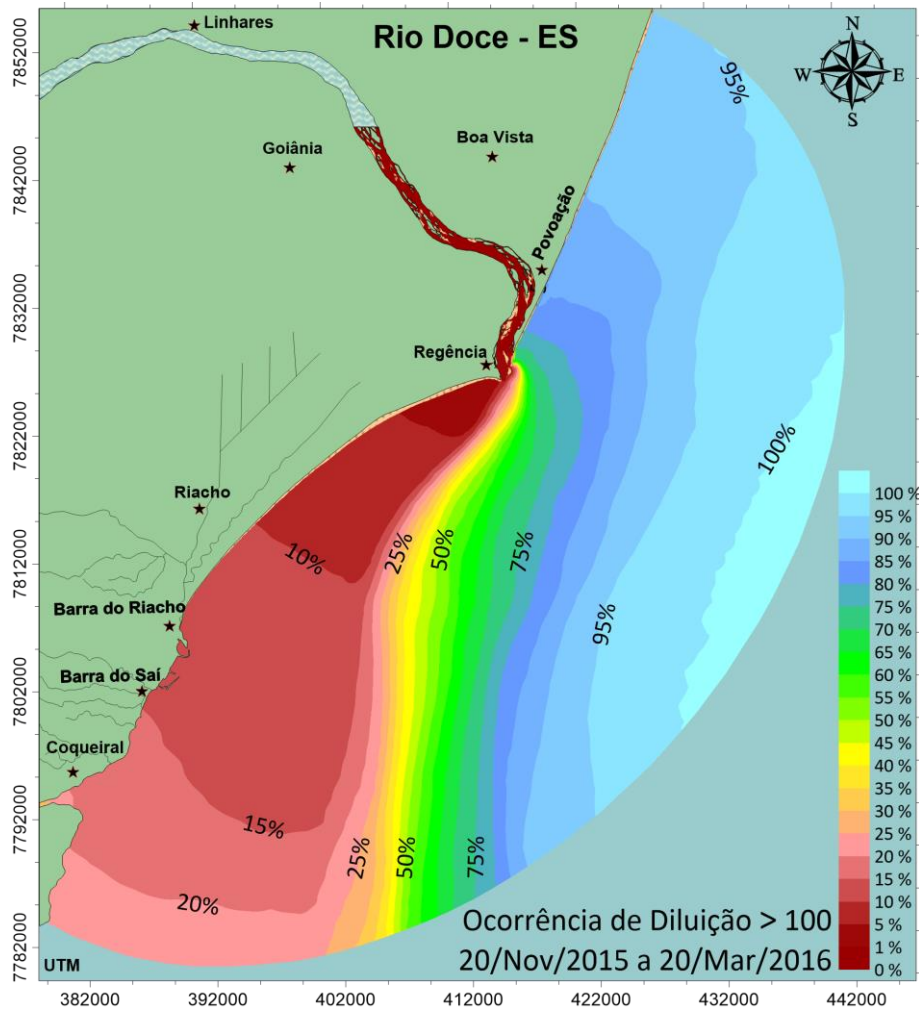
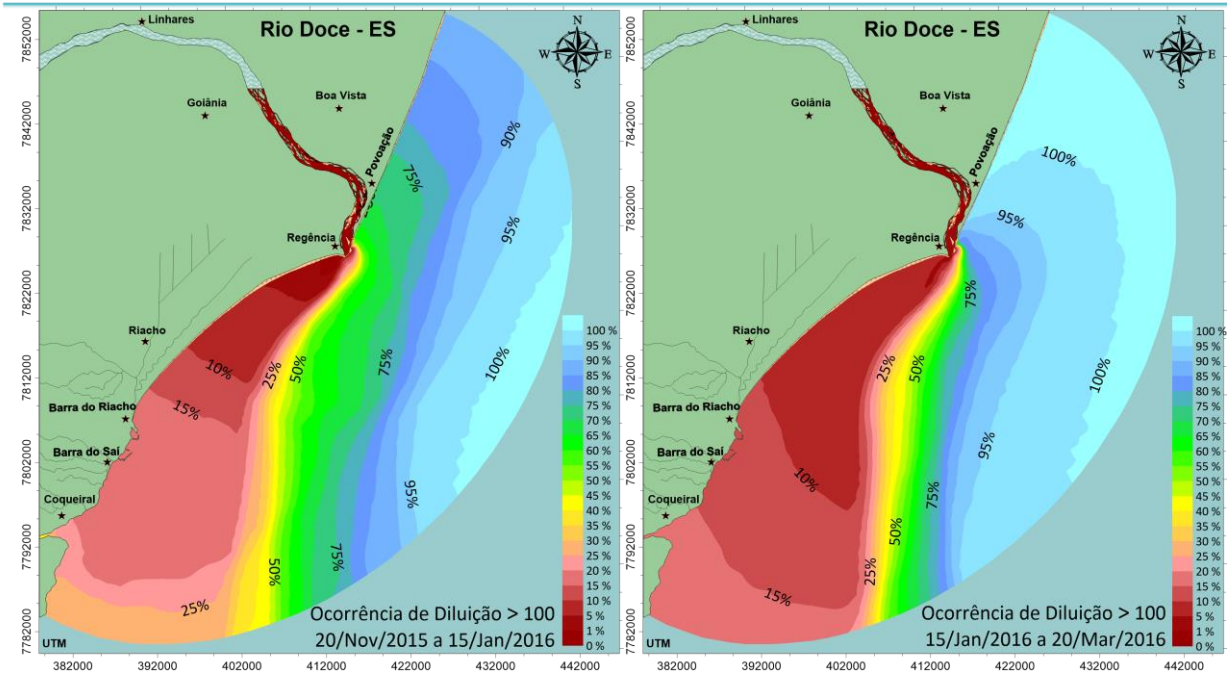


Figura 34. Isolinhas de ocorrência de diluição > 100 vezes entre 20/11/2015 e 20/03/2016.

---

### **2.1.2.6 Pluma de sedimentos na foz do rio Doce e possibilidade de atingir o Arquipélago de Abrolhos**

Para que a pluma de sedimentos oriunda do rio Doce possa migrar para norte e atingir áreas sensíveis como o arquipélago de Abrolhos é necessário haver correntes que a transportem para norte. Na região há três tipos de correntes:

1. Corrente oceânica: Corrente do Brasil, que se desloca sempre para sul e atua em águas mais profundas, passando ao largo da borda da plataforma continental;
2. Correntes de deriva geradas por ventos, que atuam na plataforma continental até a zona de arrebentação das ondas. *São estas, as correntes relevantes para transporte da pluma;*
3. Correntes litorâneas geradas por ondas na zona de arrebentação. Tais correntes atuam somente na zona de arrebentação das ondas, o que compreende uma faixa, em geral, com menos de 100 m junto à linha de costa. Corresponde à espessura da linha amarela que marca o litoral na Figura 35.

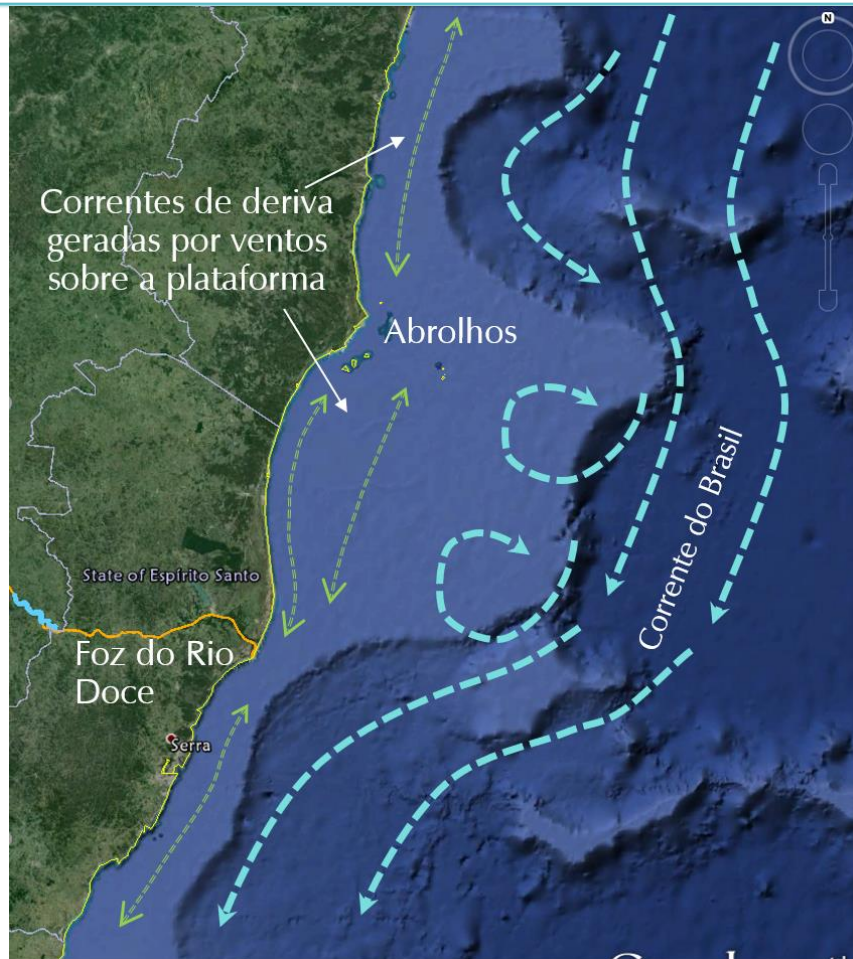


Figura 35 – Mapa mostrando a localização da foz do rio Doce e do arquipélago de Abrolhos, a cerca de 215 km para NNE. As setas verdes indicam as correntes geradas por ventos na plataforma continental, que podem ocorrer para norte ou para sul, dependendo da direção dos ventos, e as setas azuis mostram a Corrente do Brasil que sempre flui para sul, em águas mais profundas, fora da plataforma continental.

### ***Avaliação da deriva da pluma da foz por correntes geradas por ventos***

Para uma análise estendida até agosto de 2016 de possibilidade da pluma de sedimentos que sai da foz do rio Doce migrar para norte, fez-se uma avaliação por padrões de similaridade, considerando o histórico de ventos de novembro de 2015 a agosto de 2016 e, dados de correntes medidos por ADCP e fornecidos pela Vale S.A., os quais abrangem um período de 15 dias, entre 02 e 17 de junho de 2016, em ponto localizado na Figura 36.

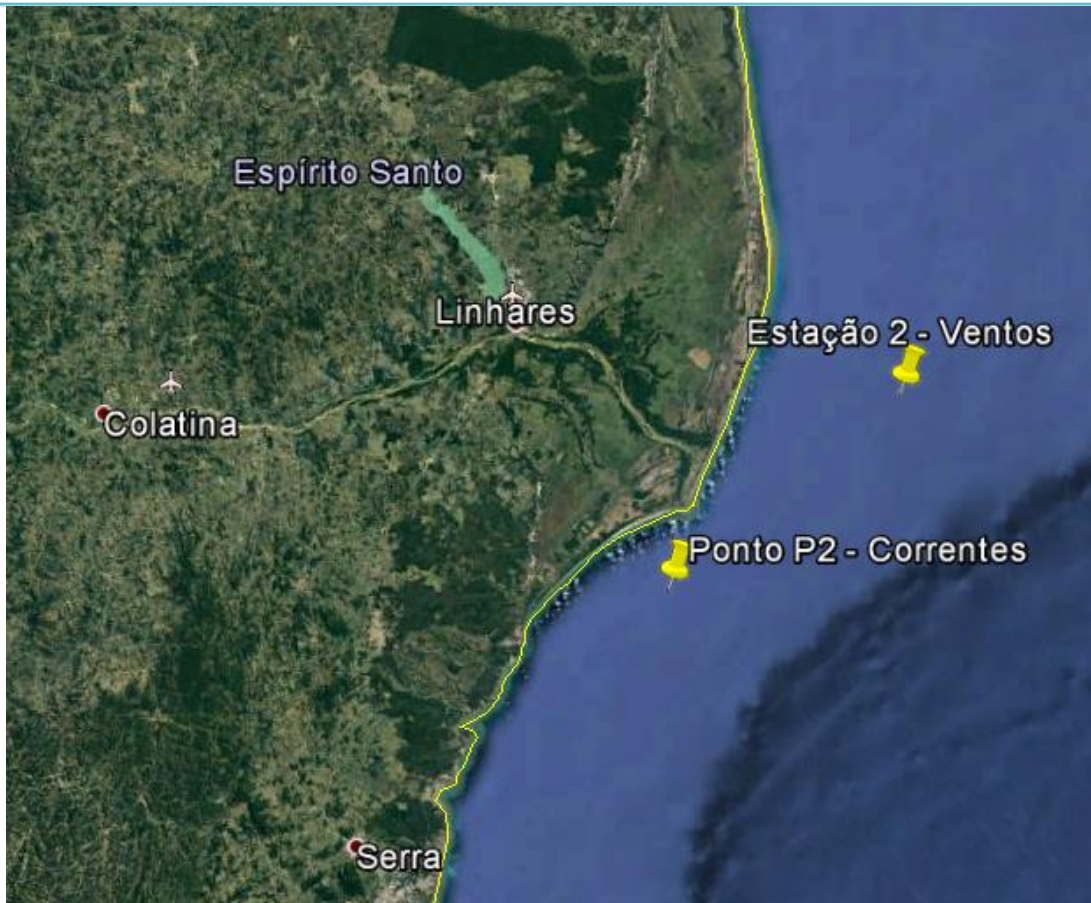


Figura 36 – Localização dos pontos de obtenção de dados de correntes e ventos utilizados nas análises. Os dados de correntes foram medidos por ADCP e fornecidos pela Vale S.A. Os dados de ventos foram obtidos do modelo de reanálise ERA-INTERIM.

A Figura 37 mostra uma análise comparativa entre as magnitudes da corrente e do vento. Os dados selecionados de correntes correspondem aos valores medidos pelo ADCP para a camada de 13 m de profundidade. A profundidade do local é 26 m. Optou-se por escolher a camada de 13 m, pois dentre os dados disponíveis, esta é a que melhor representa a corrente média na coluna d’água, a qual mostra o transporte efetivo dos sedimentos em suspensão. Observou-se uma modulação da corrente em relação ao vento, de forma que a magnitude da corrente média é cerca de 4% da magnitude do vento.

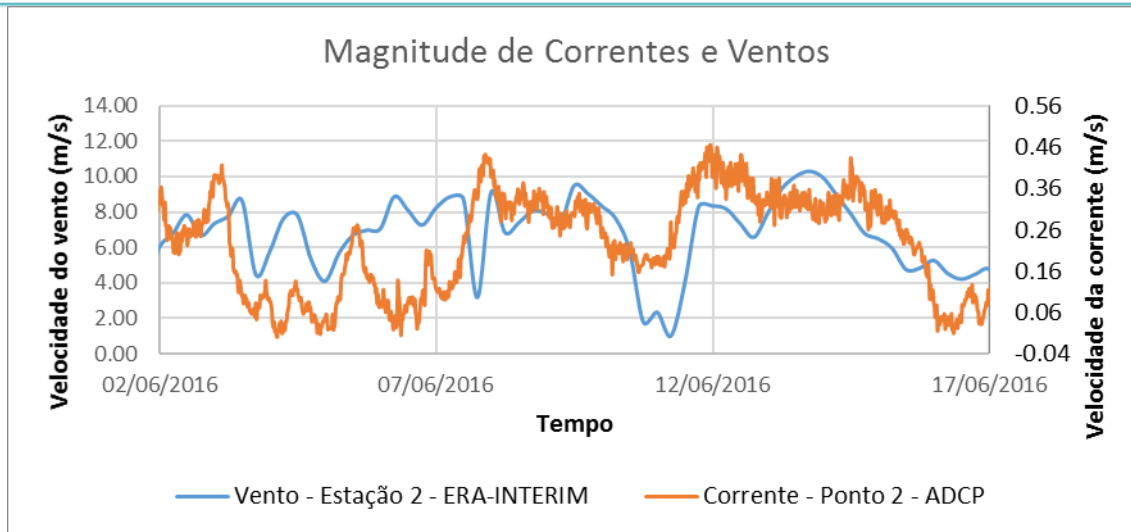


Figura 37 – Avaliação da magnitude da corrente medida por ADCP, considerando-se dados da camada à meia coluna d’água, em função da magnitude do vento obtido pelo modelo de reanálise ERA-INTERIM. Observou-se que a magnitude da corrente é cerca de 4% da magnitude do vento.

As Figuras 38 e 39 mostram, respectivamente, os valores de direção e velocidade dos ventos para a Estação 2 dos dados de ventos apresentados na seção 2.1.2.2. Tais dados compreendem o período entre 20/11/2015 a 31/08/2016 e foram obtidos através do modelo de reanálise ERA-Interim, disponibilizado pelo *European Centre for Medium-range Weather Forecasts* (ECMWF). Ventos provenientes de Azimutes entre 125° e 215°, faixa azul claro, são os que podem gerar correntes que transportariam a pluma da foz do rio Doce para o norte.

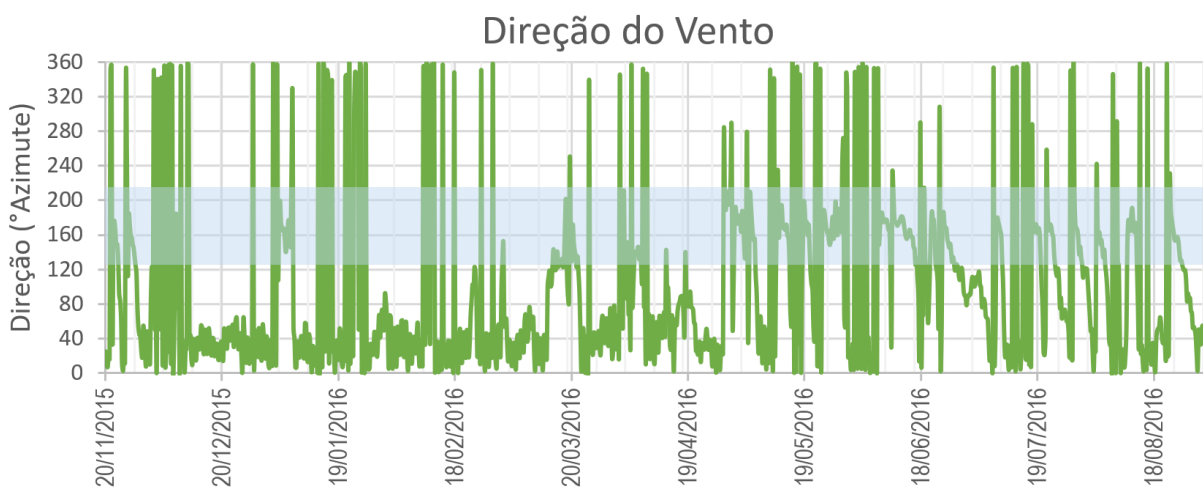


Figura 38 – Direção dos ventos para um ponto próximo à foz do rio Doce, conforme mostra a Figura 35, para o período entre 20/11/2015 a 31/08/2016. A faixa azul destaca direções capazes de gerar correntes para norte.

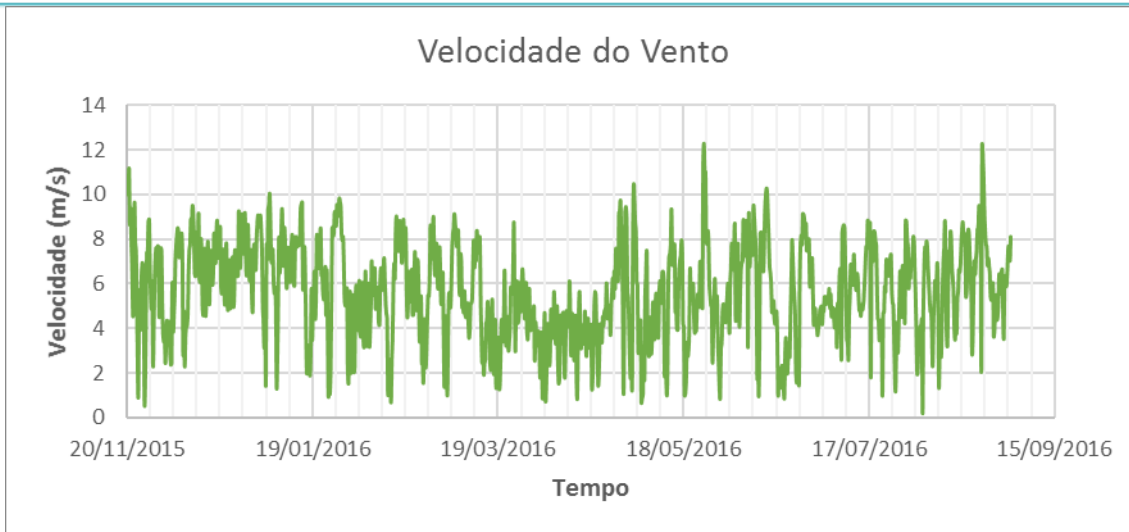


Figura 39 – Velocidade dos ventos para um ponto próximo à foz do rio Doce, conforme mostra a Figura 36, para o período entre 20/11/2015 a 31/08/2016.

Na região da foz do rio Doce a linha de costa tem uma inclinação de  $35^\circ$  azimute em relação ao norte verdadeiro. Isso quer dizer que ventos provenientes da direção  $215^\circ$  (sudoeste) são os que tem a maior capacidade de gerar correntes que vão para norte.

Assim, foi calculada a componente longitudinal do vento em relação à linha de costa, considerando esta inclinação de  $35^\circ$ , para toda a série de dados. Em seguida analisou-se os períodos de maior persistência de deriva para norte.

A Figura 40 mostra a série temporal da componente longitudinal da velocidade da corrente, a qual foi calculada como sendo 4% da velocidade do vento. Valores positivos indicam corrente para norte e valores negativos, correntes para sul. Destaca-se que este valor é a favor da segurança.

A partir disso, para correntes que vão para o norte, foi feita uma estimativa de qual a distância que uma partícula em suspensão percorreria, sendo transportada por esta corrente, durante este período. Tais estimativas estão indicadas pelos pontos verdes na Figura 41.

É importante ressaltar que a deriva estimada por esse método corresponde a uma **Deriva Potencial**, i.e., representa o máximo que uma partícula em suspensão poderia ser

transportada por uma determinada condição hidrodinâmica. Há que se considerar ainda dois fatores, que fazem com que o a **Deriva Efetiva** seja menor:

1. A diluição sofrida pela pluma de sedimentos ao chegar à zona costeira, vide Figura 27, que faz com que, quanto mais afastado da embocadura, menor seja a concentração de sedimentos em suspensão. Pela análise dos resultados na Figura 26, verifica-se uma diluição para norte de no mínimo 50% a cada 10km;
2. A concentração de sedimentos que se encontra na foz do rio Doce, no momento em que ocorre a inversão das correntes para norte. Se as concentrações estiverem baixas, haverá transportes, mas as concentrações serão irrelevantes.

A Figura 41 apresenta a série temporal de SST que chega na foz do rio Doce sobreposta aos valores calculados de deriva para norte. Os pontos são afastados no tempo, pois predominantemente ocorre deriva para o sul.

Considerando os 4 primeiros meses após a chegada da carga de SST no mar, entre 20/11/2015 e 20/03/2016, o período com maior persistência de ventos para norte ocorreu entre 03 e 07/01/2016. Foi neste período que ocorreram maiores concentrações para o norte, conforme se vê no gráfico da Figura 41, e em mapa da Figura 28.

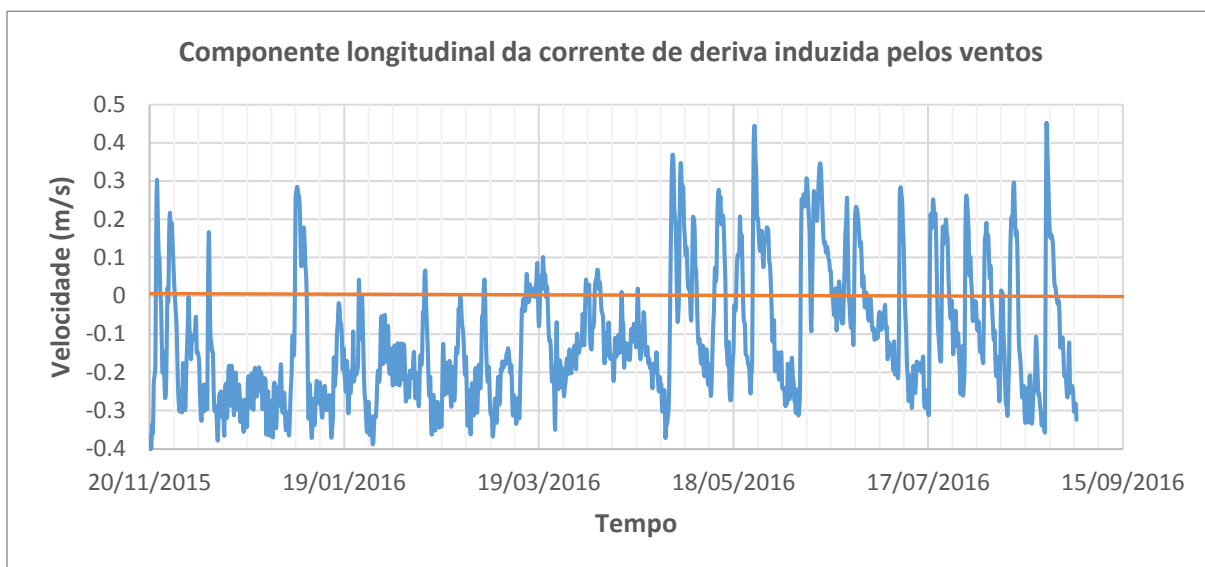


Figura 40 – Componente longitudinal da velocidade. Valores positivos indicar corrente para norte e valores negativos indicam correntes para sul.

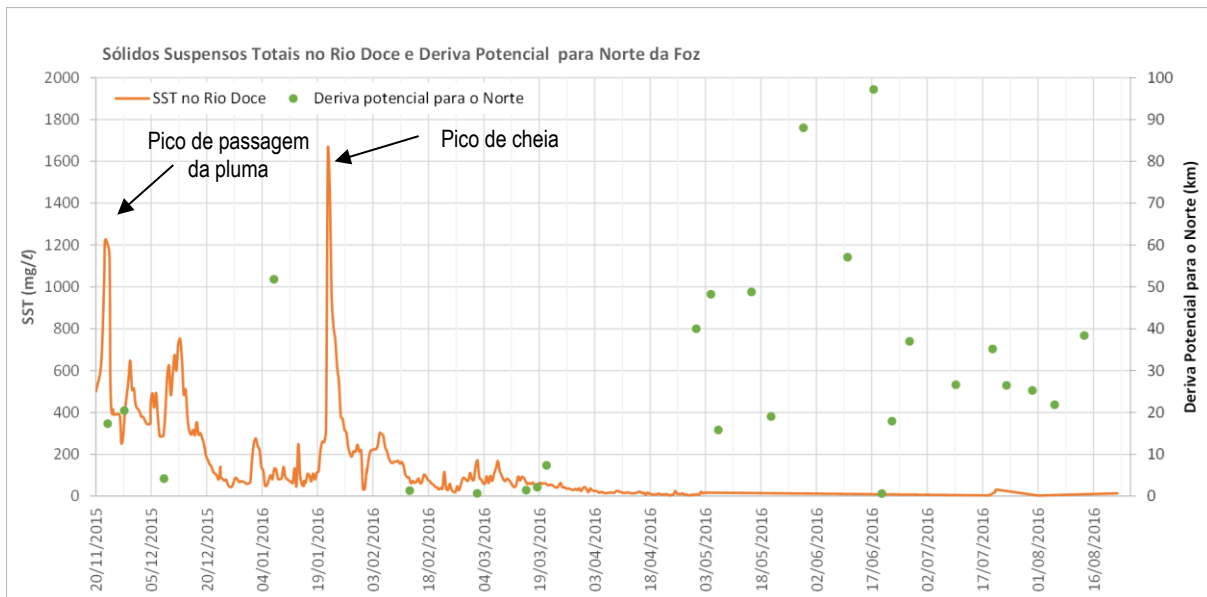


Figura 41 – Os círculos verdes indicam a deriva potencial para o norte por correntes geradas pelos ventos indicados na Figura 40. Os círculos são sobrepostos à série temporal de valores de SST que chegaram na foz no rio Doce. Fica evidente que nos eventos de máximas derivas para o norte as concentrações de SST eram muito baixas (< 20 mg/L).

Levando em consideração o período de 9 meses após o acidente, o maior tempo contínuo de ventos soprando para norte ocorreu entre os dias 08 e 17/06/2016. Nesse intervalo, as correntes resultam em uma Deriva Potencial da pluma da foz do rio Doce cerca de 97 km para norte. Entretanto, nesse período as concentrações de sedimentos em suspensão na foz estavam muito baixas, com valores < 15 mg/L. Portanto, neste período, os efeitos da pluma de sedimentos transportada para o norte foram irrelevantes, visto que a cerca de 20 km para norte as concentrações de SST diluídas já estariam abaixo de 5 mg/L.

De maneira geral, valores de Deriva Potencial mais significativos aconteceram a partir de maio de 2016, quando as concentrações de SST já estavam muito baixas. Como o arquipélago de Abrolhos encontra-se a uma distância de mais de 200 km para norte da foz do rio Doce, durante o período analisado, não houve deriva suficiente para a pluma alcançar o arquipélago. Distâncias de deriva da corrente para norte acima de 90 km só foram registradas quando as concentrações de SST na foz do rio Doce estavam abaixo de 15 mg/L.

## Avaliação da deriva da pluma da foz por correntes do HYCOM até 08/2018

Para extensão do período de avaliação da deriva da pluma até o final de agosto de 2018, extraiu-se dados de velocidades de correntes no ponto indicado no excerto da **Figura 2**, a seguir. Os dados de correntes diárias foram gerados por reanálise no Atlântico Sul através do HYCOM – *Hybrid Coordinate Ocean Model*, para o período de novembro de 2015 a agosto de 2018. O HYCOM representa um consórcio multi-institucional patrocinado pelo *National Ocean Partnership Program (NOPP)* como parte do *U.S. GODAE – Global Ocean Data Assimilation Experiment*, que trabalha para o desenvolvimento e avaliação do próprio modelo oceânico HYCOM e seu sistema de assimilação de dados denominado *NCODA – Navy Coupled Ocean Data Assimilation*.



A Figura 42 mostra a série temporal de correntes médias na coluna de água paralelas à linha de costa entre 01/11/2015 e 31/08/2018, no ponto indicado acima. As correntes médias na coluna de água são as correntes características para efetivo transporte da pluma de sedimentos finos em suspensão que sai da foz do rio Doce. A assertiva é comprovada pelo fato de perfis de velocidade ao longo da coluna de água não apresentarem velocidades reversas em diferentes camadas, como exemplificado na Figura 43.

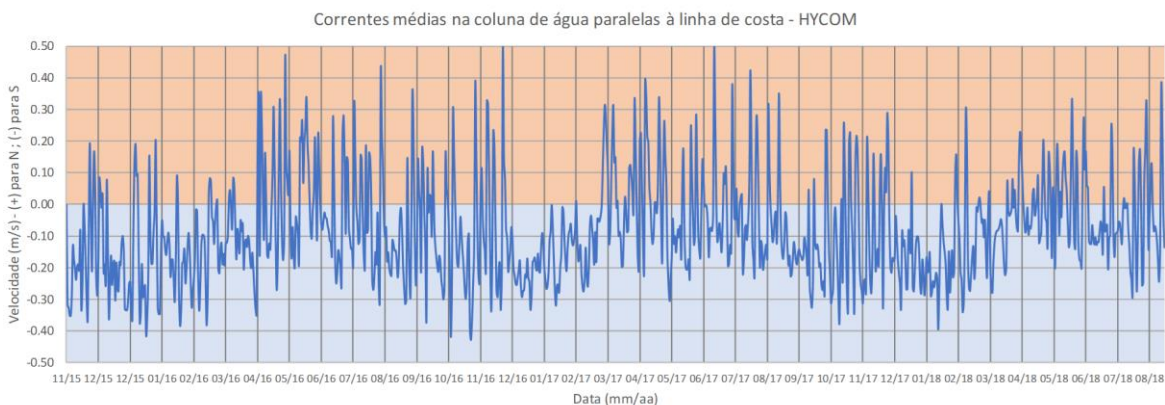


Figura 42. Correntes médias na coluna de água paralelas à linha de costa entre 01/11/2015 e 31/08/2018. As correntes médias são as mais representativas para transporte da pluma de sedimentos da foz do rio Doce, pois não há correntes reversas em diferentes camadas da coluna de água, v. Figura 43.

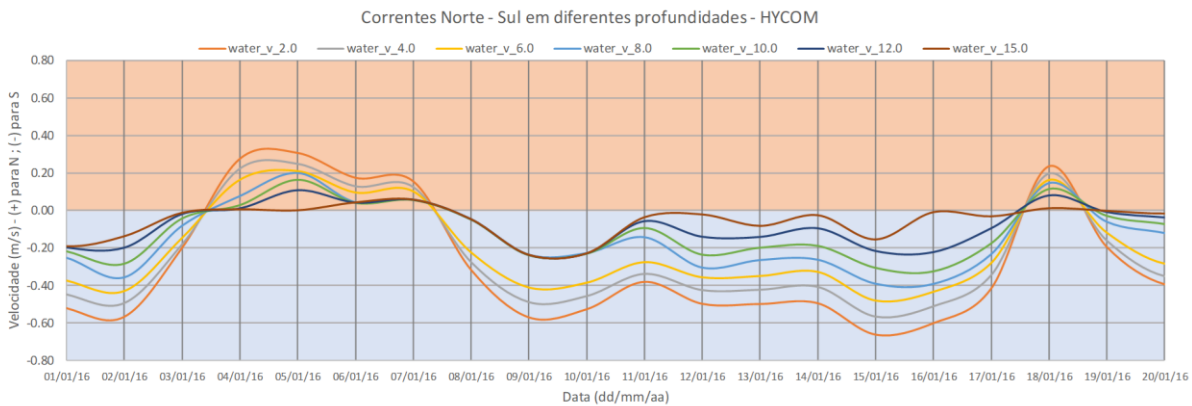


Figura 43. Exemplos de séries temporais de correntes entre 01/01/2016 e 20/01/2016 com valores nas profundidades de 2 a 15 m, extraídas de resultados de reanálise do HYCOM. Destaca-se que não ocorrem eventos com correntes reversas nas camadas superiores e inferiores, garantindo que a média na coluna de água efetivamente é a velocidade característica para transporte de sedimentos em suspensão.

Como já discutido, a persistência de correntes para Sul é vastamente maior do que para Norte. Como mostra a tabela ao lado, pelos dados do HYCOM, cerca de 74% do tempo as correntes são para Sul, e 26% para Norte. A dominância das correntes para Sul é visualmente evidente na série temporal da Figura 42.

Vel (m/s)	%Ocorrência	%Acumulado
-0.5	0.0%	0.0%
-0.4	0.3%	0.3%
-0.3	5.1%	5.4%
-0.2	18.6%	24.1%
-0.1	28.5%	52.6%
0	21.4%	74.0%
0.1	11.1%	85.1%
0.2	8.3%	93.4%
0.3	3.8%	97.2%
0.4	2.3%	99.5%
0.5	0.5%	100.0%

Estatísticas das correntes do HYCOM estampadas na série temporal da Figura 42.

Com base nas correntes médias na coluna de água, avaliou-se a distância de deriva da pluma da foz do rio Doce. O cálculo da deriva resulta da integração da velocidade no tempo, voltando sempre ao zero quando ocorre inversão no sentido das correntes. Portanto, quanto maior for a persistência das correntes em um dado sentido, maior será a deriva. O gráfico da Figura 44 apresenta os resultados obtidos, onde se destaca que os valores de deriva para Sul estão truncados, pois excedem os 200km. Para Norte, a máxima deriva foi de quase 150 km em 06/2016, entretanto nesta época as concentrações de sedimentos em suspensão no rio Doce eram muito baixas, como indicam os gráficos de SST na Figura 41 e de turbidez na Figura 45.

Cotejando os valores de deriva para o norte no gráfico acima, com os valores de sedimentos finos em suspensão na Figura 41 e de turbidez na Figura 45, constata-se que nos eventos de deriva para o norte a contribuição da pluma do rio Doce para a turbidez das águas litorâneas foi muito reduzida. Este fato é relevante para uma melhor interpretação de plumas de turbidez ao longo do litoral ao norte da foz do rio Doce, que foram analisadas no documento “Análise integrada dos contornos do deslocamento das plumas de turbidez no meio marinho” (ECONSERVATION, 2017c). Fica claro, que na maior parte, a turbidez obtida em imagens aéreas não é predominantemente devido à pluma do rio Doce, mas de origens diversas. Frisa-se que nos eventos de ressacas de SE, é notória a ocorrência de maior turbidez na faixa de arrebentação das ondas, fato este que não tem relação com a pluma de sedimentos finos da foz do rio Doce.

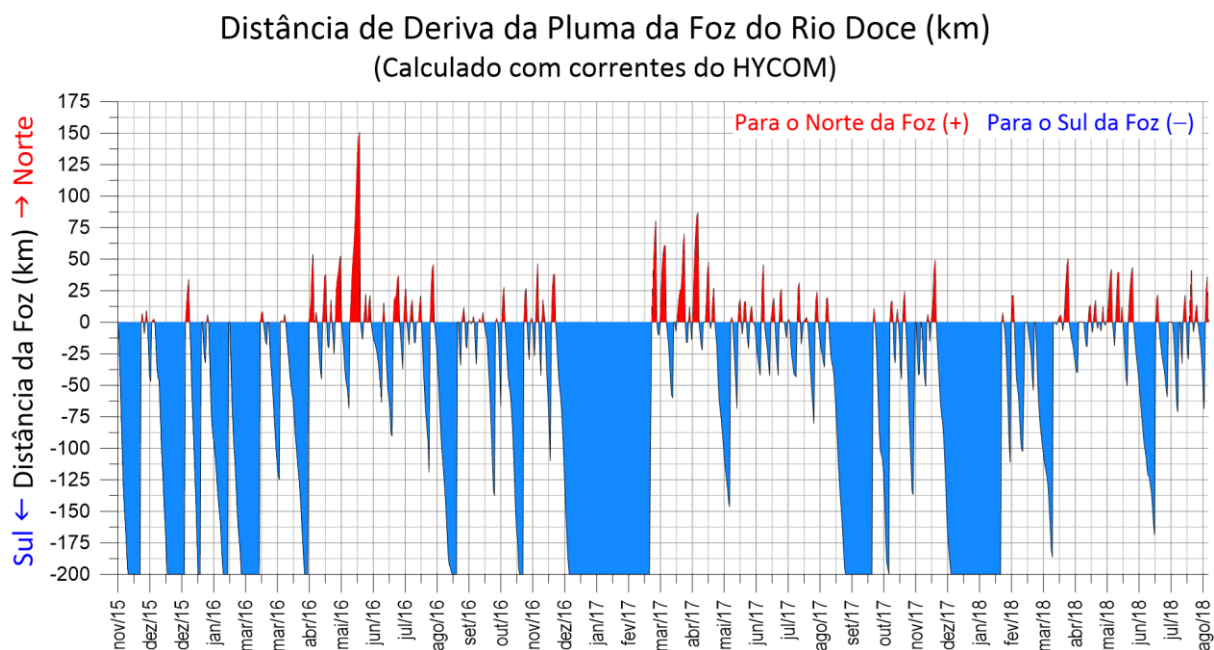


Figura 44. Distâncias de deriva da pluma de sedimentos finos da foz do rio Doce transportada por correntes de reanálise do HYCOM entre 01/11/2015 e 31/08/2018. Os valores para Sul estão truncados, pois em face da muito maior persistência ultrapassam os 200 km indicados. Para Norte, a máxima deriva foi de quase 150 km em 06/2016, entretanto nesta época as concentrações no rio Doce eram muito baixas, como indicam os gráficos de SST na Figura 41 e de NTU na Figura 45.

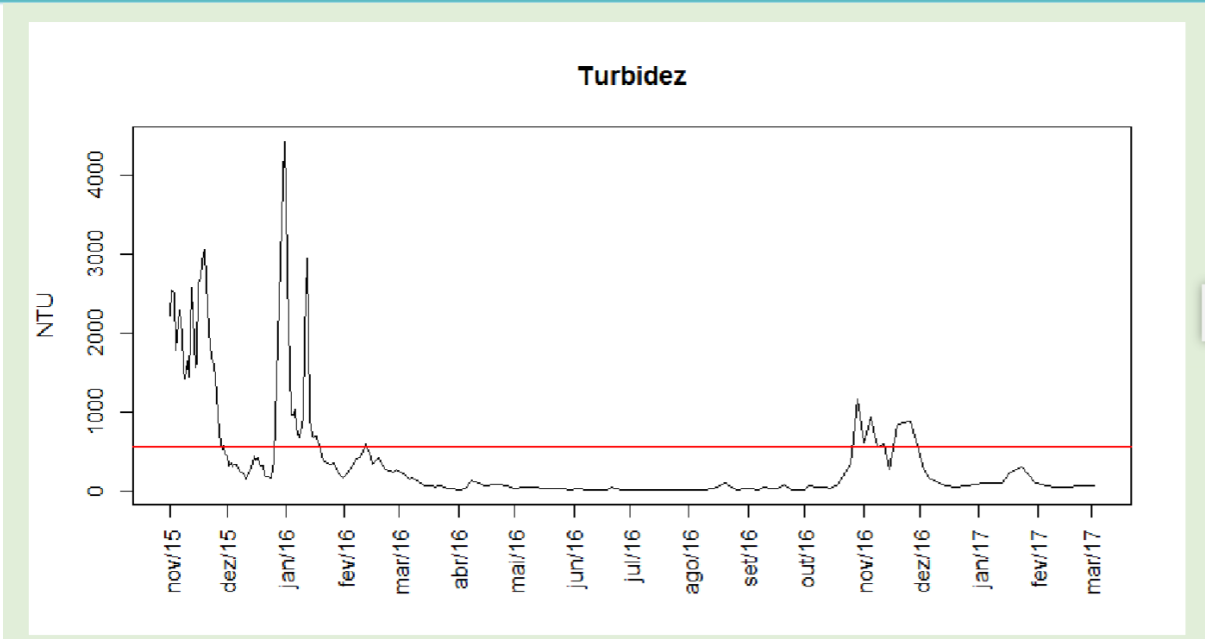


Figura 45. Gráfico de série temporal de turbidez no rio Doce, próximo à foz, sobre “Análise integrada dos contornos do deslocamento das plumas de turbidez no meio marinho”. A linha laranja indica a linha de corte de 100 NTU (equivalente ao limite da Resolução CONAMA 357/05 para Águas Doces Classe 2). Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2017c.

Cotejando os valores da Figura 45 acima, com mapas de isolinhas de ocorrências de taxas de diluição maiores que 100 na zona costeira, cf. Figura 34, fica claro que a 30 km para o norte da foz do rio Doce, não ocorreriam valores de turbidez fora dos padrões, por contribuição da pluma do rio Doce.

***Pelo exposto, fica evidente, que os mecanismos naturais de transporte da pluma da foz do rio Doce entre novembro de 2015 e agosto de 2018 não tiveram capacidade de transporta-la até Abrolhos.***

### 2.1.3 Considerações Finais

Em relação aos aspectos físicos relativos a extensão geográfica da pluma no mar, pode-se afirmar que:

- Alcançou aproximadamente 150 km ao norte, em um evento ocorrido no período de nov/15 a ago/18, e normalmente + de 200 km ao sul da foz do rio Doce;

- Nos poucos eventos em que a pluma foi para o norte, as concentrações de SST no medidas rio Doce próximo a foz estiveram abaixo de 50 mg/L; vale destacar que 30 km ao norte da foz a diluição tendeu a ser maior que 100x (50 mg/L → 0.5 mg/L);
- A pluma foi transportada predominantemente para o sul;

A partir de 20km da foz já ocorreu uma diluição de pelo menos 10 vezes;

Entre 15/jan e 20/03/2016, desconsiderando perda de massa por deposição, **100% do tempo a diluição foi de no mínimo 100 vezes, já a 17 km ao norte da foz;**

- Por exemplo, se a concentração era 1000 NTU e a pluma estivesse sendo transportada para o norte, há 17km já estaria abaixo de 10 NTU;
- Período relevante pela ocorrência de maior pico de concentração de SST na foz do rio Doce.

## 2.2 ASPECTOS QUÍMICOS RELACIONADOS A EXTENSÃO DA PLUMA

O demonstrativo apresentado no subcapítulo anterior corrobora pesquisas apresentadas no documento intitulado “Levantamento de dados de turbidez, fitoplâncton e qualidade de água entre Abrolhos e Vitória” (ECONSERVATION, 2016a), onde se conclui que:

*Apenas numa região muito limitada, dentro da zona de mistura entre a água do Rio Doce com a água do mar, cerca de 15 km de distância em relação à costa, é possível verificar-se uma influência dos rejeitos oriundos da empresa Samarco. Esta influência manifesta-se em termos de alumínio, ferro e manganês na fração total, enquanto em termos de fração dissolvida esta distância reduz-se para 1,5 km. Mesmo nesta região mais próxima à costa, não foi possível constatar a presença de metais pesados em concentração superior aos limites da resolução CONAMA no 357/2005 para águas salobras.*

*Não foi possível verificar-se uma influência da pluma originada à partir do Rio Doce na região do Arquipélago de Abrolhos. Apenas elementos, naturalmente, presentes na água do mar, como bário, apresentaram valores acima do limite de quantificação. É importante ressaltar as evidências de um aporte de água subterrânea nesta*

---

*região, cuja presença poderia ser investigada através de pesquisas para uma melhor compreensão da sua biogeoquímica local.*

O padrão verificado foi de grande homogeneidade de valores inferiores aos respectivos limites de quantificação ou próximos a estes (ECONSERVATION, 2016a). Imagens extraídas deste relatório ilustram a dispersão da pluma na foz do rio Doce e adjacências no dia 24/1/2016 (Figura 46). Na terceira imagem, onde se observa o avanço da pluma para o mar, pode ser vista a presença de um navio em deslocamento cortando a pluma e a esteira produzida por ele é de água com coloração absolutamente diferente da pluma de sedimentos, indicando que logo abaixo da interface ar-mar encontra-se água marinha transparente, provavelmente água da Corrente do Brasil.

Além disso, ressalta-se o relato de ocorrência de aporte de água subterrânea em Abrolhos (ECONSERVATION, 2016a). É sabido que a água subterrânea é muito rica em elementos traços e seus isótopos (TEI's), constituindo-se assim em uma fonte considerável desses elementos para o meio marinho (PAIVA & NIENCHESKI, 2018).



Figura 46. Imagens aéreas da dispersão da pluma na foz do rio Doce e adjacências no dia 24/01/16. Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016a.

Em estudo realizado pela UFES na foz do rio São Mateus/ES em abril de 2016, registrou-se que não há evidência clara que a ressuspensão observada na região seja diretamente produto do deslocamento em direção norte da pluma do rio Doce. Em imagem de satélite referente ao dia da coleta das amostras mais costeiras (06/04/16), observou-se claramente que a região de maior turbidez abrange a faixa de até 10 m de profundidade. Os valores de turbidez superiores a 10 FTU, observados nas coletas realizadas em áreas de menor profundidade (em torno de 8 m), podem refletir a atuação das ondas observadas na região. Já os altos valores de salinidade refletiram a baixa descarga continental. Esta maior turbidez pode ser o resultado de processos de ressuspensão de sedimento na área costeira ou de material de descarga do rio São Mateus. Complementarmente, é apresentado neste estudo que quando reunidos os resultados de granulometria total, superficial e de densidade, a teoria de que esta área de maior turbidez esteja ligada a processos de ressuspensão se torna mais plausível, uma vez que o domínio é basicamente arenoso, com apenas uma estação no domínio lamoso e uma segunda com maiores teores de lama. Esses maiores valores poderiam estar ligados diretamente ao

aporte do próprio rio São Mateus e não necessariamente ao aporte da lama de rejeito resultante do rompimento da barragem, do ponto de vista sedimentológico (UFES, 2016).

As concentrações de nitrogênio amoniacal mais elevadas encontradas na desembocadura do rio São Mateus indicam uma contribuição de nitrogênio destas fontes antrópicas, uma vez que a bacia hidrográfica desse rio já vem sofrendo com este tipo de atividade (REIS, 2014). Ressaltam que apenas o Se (Total) apresentou concentrações acima dos valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05. Com relação a concentrações de metais no MES, informam que concentrações mais elevadas próximas à foz do rio São Mateus indicam que materiais terrígenos de fontes naturais/antrópicas, provenientes da bacia hidrográfica deste corpo hídrico, são responsáveis pelos valores observados na região avaliada. Em relação aos níveis de metais nos sedimentos, as maiores concentrações estão presentes nas camadas superficiais próximos à desembocadura do rio São Mateus, indicando aporte terrígeno desta bacia. Poucos elementos (As e Se) ultrapassaram os valores orientadores, seja para água ou para sedimentos, estabelecidos pela legislação brasileira (UFES, 2016).

Os elementos analisados apresentaram maiores concentrações nas estações amostrais mais próximas a desembocadura do rio São Mateus em todas as matrizes analisadas, tanto na coluna d'água (dissolvido, total e MPS) quanto no sedimento superficial. Com relação a clorofila-a, esta mostrou valores muito variáveis e chegou a valores muito elevados em várias estações. A baixa quantidade de feopigmentos, bem como os percentuais quase sempre elevados de clorofila ativa, evidenciou um grau pequeno de senescência do fitoplâncton desta área (UFES, 2017).

Em relação ao fitoplâncton, foram reportadas por órgãos oficiais ocorrências de linhas isoladas próximas ao arquipélago dos Abrolhos (ICMBIO, 2017) (Figura 47), e atribuídas a influência da pluma de turbidez sobre a região. Formações similares caracterizadas como florações de cianobactérias do gênero *Trichodesmium* foram registradas por Proença (2009) na costa da Bahia mesmo antes ao rompimento.



Figura 47. Imagem de linhas isoladas próximas ao arquipélago de Abrolhos, em 05 de maio de 2017. Fonte: ICMBIO, 2017.

Em estudo conduzido pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, foi aplicado assinatura isotópica e química do material particulado na superfície do oceano, baseadas nas razões dos isótopos de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (estrôncio) e  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (Neodímio) e nas análises de micropartículas insolúveis para os elementos Si, Al, Fe, Ti, Ca, Cl, Zn, Cu, K, Mg e Na. Os dados apresentados sugeriram que o evento de 5-6 de janeiro de 2016 não teve impacto direto sobre o Parque Nacional de Abrolhos (UERJ, 2016). A continuidade deste estudo deu-se a partir do inverno de 2016 quando foram instaladas armadilhas de sedimentos no referido Parque. Na ocasião, além das análises dos materiais coletados pelas armadilhas, foram acrescentadas: (1) análises de sedimentos do estuário do rio Caravelas, que é o principal contribuinte de sedimentos no contexto regional de Abrolhos; (2) amostras de estratos sedimentares tomadas a partir de um testemunho holocênico (~ 2,5 m), coletado em Abrolhos em 2005.

Na apresentação dos resultados utilizada pelos autores (UERJ, 2017), pode-se verificar a separação clara entre os padrões Abrolhos e rio Doce. Os resultados formados pelo conjunto Caravelas, testemunho de Abrolhos e material particulado em suspensão em

Abrolhos evidenciaram um único grupo e regionalidade. Pode-se verificar que as amostras do material particulado nas águas de Abrolhos refletiram uma mistura do material do Recife e do aporte sedimentar que ocorreu no estuário de Caravelas, estando, portanto coerente com o que teoricamente deveria ser observado. Para os materiais armadilhados (referentes aos sítios Guarita, Sueste e Chapeirão do Pierre), foi verificada, segundo os autores, a existência clara de padrões de mistura entre os sedimentos de Abrolhos (baixos valores das razões  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ ) e rio Doce (elevados valores das razões  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ ). Baseado nesta afirmação apresenta-se as seguintes considerações: tendo em vista que o material particulado em suspensão de Abrolhos possui a mesma razão isotópica tanto antes como depois do rompimento, isto indica que a pluma não deve ter chegado a Abrolhos, pois caso tivesse lá chegado, teria havido variação da razão isotópica. Mas, os autores, mesmo baseado em apenas 3 amostras, afirmaram que houve mistura, o que poderia ser um indicador de que o material proveniente de Abrolhos tomou a direção sul.

Por fim, informaram que não é possível avaliar se este impacto tornou-se persistente ou eventual em função das condições meteorológicas existentes e, sugeriram aprofundar a resolução temporal e espacial das coletas no sentido de elucidar detalhes a respeito da chegada de material sedimentar exógeno na região de Abrolhos. Ou seja, concluíram pela necessidade de novos estudos e recomendaram que o mesmo seja implementado com análise de Terras Raras e outros isótopos, sem explicar qual seria a contribuição específica de cada um na elucidação da abrangência geográfica da pluma. Entretanto, baseado nas evidências apresentadas no subcapítulo anterior, em que as condições físicas do ambiente demonstraram que a pluma não atingiu Abrolhos, e visando responder as 5 questões que norteiam este parecer, não há justificativa para que esses estudos complementares sejam colocados em prática. Ademais, ressalta-se que os trabalhos da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ, 2016), *não consideram mecanismos de transporte*, o que o torna limitado.

### 2.2.1 Considerações Finais

Em relação aos aspectos químicos, relativos a extensão geográfica da pluma no mar:

- Não há evidências de que a pluma de turbidez chegou na região de Abrolhos;

- O aporte sedimentar que ocorre no estuário do rio Caravelas mistura-se com o material de Abrolhos;
- Manchas encontradas na região de Abrolhos não estão vinculadas ao rio Doce e sim trata-se de uma floração de cianobactérias e foram relatadas no litoral da Bahia desde 2009 e em outras regiões do Atlântico sudeste;
- O rio São Mateus contribuiu com as concentrações de sólidos suspensos totais encontrados na região costeira.

### 3. ALTERAÇÕES QUÍMICAS RELACIONADAS À PASSAGEM DA PLUMA

Esta avaliação foi conduzida com o objetivo exclusivo de contextualizar e dar suporte à análise de acumulação de metais na biota e portanto não contempla ou valida todos os estudos de qualidade de água e sedimento realizados no período na bacia do rio Doce e região costeira adjacente.

#### 3.1 QUALIDADE DA ÁGUA

##### 3.1.1 Bacia do rio Doce

O monitoramento de longo prazo, estabelecido para avaliar a conformidade dos parâmetros da qualidade de água pela Resolução CONAMA 357, e seguindo a Portaria 2914 - padrão de potabilidade, já vinha sendo efetuado antes do rompimento da barragem de Fundão, em novembro de 2015. Para análise dos períodos anteriores ao rompimento da barragem foram considerados os dados de monitoramento ordinário e programas regulares. Para os períodos subseqüentes referentes ao pós-rompimento, registraram-se dados coletados em campanhas especiais de monitoramento. Deve-se ainda enfatizar que o rio Doce está enquadrado na classe 2 podendo-se captar, tratar água para consumo humano, agricultura, pesca e recreação. A avaliação da qualidade de água foi realizada com a seguinte sequência de acordo com o relatório da COPPE (2017):

- a) Amostragens antes do acidente 2014-2015.
- b) Amostragens 2014-2015 período chuvoso.
- c) Amostragens 2014-2015 período seco.
- d) Amostragens após o rompimento da barragem entre novembro de 2015 – agosto de 2016.

As amostragens foram realizadas em atendimento a requerimentos específicos à ANA; IBAMA; IGAM-MG; IEMA-ES; FUNAI; MPMG; MPES. Considerando todas as campanhas

de monitoramento, a caracterização da qualidade da água do rio Doce, abarcou a análise de 87 diferentes parâmetros dos quais somente 39 encontram-se previstos na Resolução CONAMA 357. O universo de 42 parâmetros foi o utilizado para a análise de conformidade ambiental da qualidade das águas. O estudo COPPE (2017) baseou-se em 22 pontos de monitoramento como base espacial para coleta de amostras. Deve-se destacar que a organização espaço-temporal da amostragem para coleta da qualidade de água está adequada pois a rede foi otimizada em função da Base IGAM, Base SAMARCO, Base SAMARCO-IEMA (Figura 48). Estes pontos de coleta constituíram, portanto, uma ampla base para avaliação das conformidades.

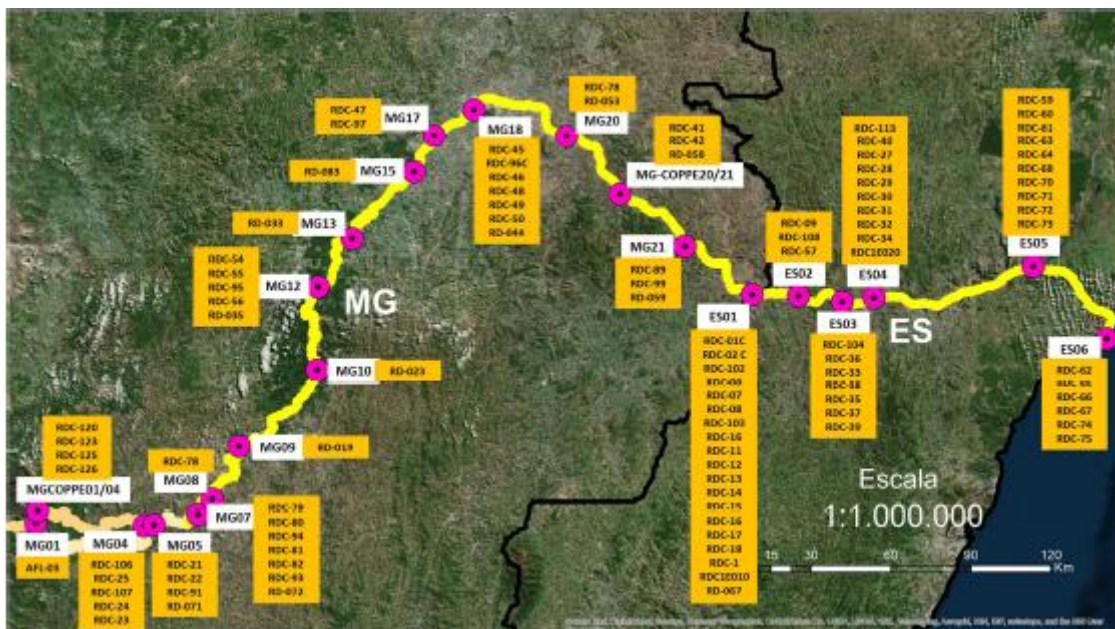


Figura 48. Localização geográfica dos pontos da nova base espacial e associação aos pontos de monitoramento das bases IGAM e SAMARCO. Fonte: COPPE, 2017.

Deve-se destacar deste estudo (COPPE, 2017) e das avaliações que:

- No período anterior ao rompimento, turbidez, fósforo, sólidos totais suspensos e coliformes termotolerantes, não atendiam integralmente nos 22 pontos de monitoramento, aos padrões de Resolução CONAMA 357. Ou seja, o rio Doce já continha contaminantes antes do impacto provocado pelo rompimento. Estes

impactos eram devidos, em parte, ao despejo de esgotos não tratados que contaminavam o curso hídrico;

- Antes do rompimento (2014/2015) e considerando os 42 parâmetros da qualidade de água, nenhum ponto de monitoramento satisfazia plenamente e integralmente os padrões previstos na Resolução CONAMA 357. Em 4 pontos de coleta ocorria 75% de conformidade dos parâmetros de qualidade de água analisados. Fosfato total, fosfato inorgânico, nitrato, nitrito resultantes da descarga de esgotos já ocorriam no rio Doce e tributários.
- Deve-se ainda considerar que a complexa província geológica e geomorfológica afeta a hidrogeoquímica regional, com maior enriquecimento de metais o que altera a qualidade da água. Para os metais, a maioria das amostras apresentou conformidade com a Resolução CONAMA 357 para classe 2 antes do rompimento. Todos os dados levantados antes do rompimento da barragem basearam-se nos registros de dados do IGAM, que correspondem ao programa ordinário e regular do monitoramento.
- Verificou-se também a ocorrência de desconformidades em relação a Resolução CONAMA 357 em locais específicos não ocorrendo uma contaminação geral nos tributários e rio Doce, o que pode evidenciar um processo de acúmulo de matéria orgânica dissolvida e em suspensão em regiões de menor circulação ou em áreas imediatamente a jusante de despejos de esgotos domésticos. Tais processos foram evidenciados com os parâmetros turbidez e nitrato. Em alguns pontos específicos foram relatadas não-conformidades referentes à ferro e alumínio dissolvidos, e manganês total.
- No período anterior ao rompimento da barragem observa-se também maior incidência de sulfetos. Dos 22 pontos de monitoramento, dentre 30 parâmetros de qualidade da água mensurados, somente em 17 destes pontos estavam em conformidade com os padrões da Resolução CONAMA 357;
- Resultados de toxicidade realizados com *Vibrio fischeri* apresentaram potencial de efeitos nos rios Carmo e Rio Doce. Esta toxicidade foi moderada segundo os resultados.

Após o rompimento da barragem, em Mariana, ocorreram as seguintes não-conformidades com os padrões de qualidade estabelecidos na Resolução CONAMA 357:

- Fósforo Total – manteve a desconformidade após o rompimento como ocorria antes do evento;
- Manganês – Alta desconformidade após o rompimento;
- Mercúrio – Alta desconformidade após o rompimento;
- Zinco – Pouca desconformidade após o rompimento;
- Ferro – Aumento e desconformidade com o CONAMA 357 após o rompimento;
- Coliformes termotolerantes – Alta desconformidade depois do rompimento;
- Alumínio – Alta desconformidade após o rompimento;
- Arsênio – Inexistente.
- Bário – Inexistente.
- Cádmio – Em conformidade com o CONAMA 357.
- Cobalto – Em conformidade com o CONAMA 357.
- Cianeto – Em conformidade com o CONAMA 357.
- Clorofila – Total conformidade com o CONAMA 357.

As Figuras 49, 50 e 51 mostram o padrão de conformidade ambiental referente aos períodos seco e chuvoso em valores absolutos em 2014 e 2015, antes do rompimento da barragem em Mariana. Já as Figuras 52 a 55 apresentam os dados referentes a conformidade ambiental em relação a Resolução CONAMA 357 pelo conjunto de parâmetros imediatamente após o rompimento.

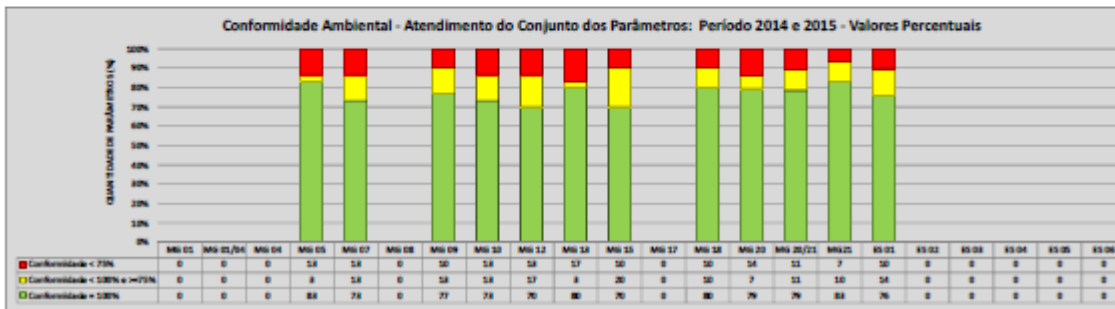
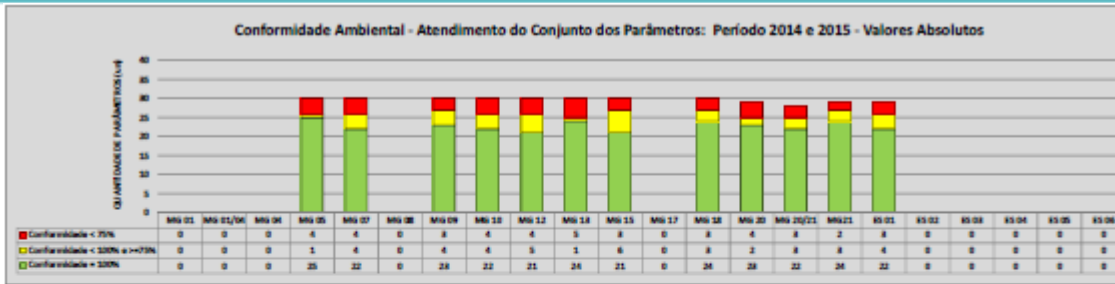


Figura 49. Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período 2014/2015 Total. Fonte: COPPE, 2017.

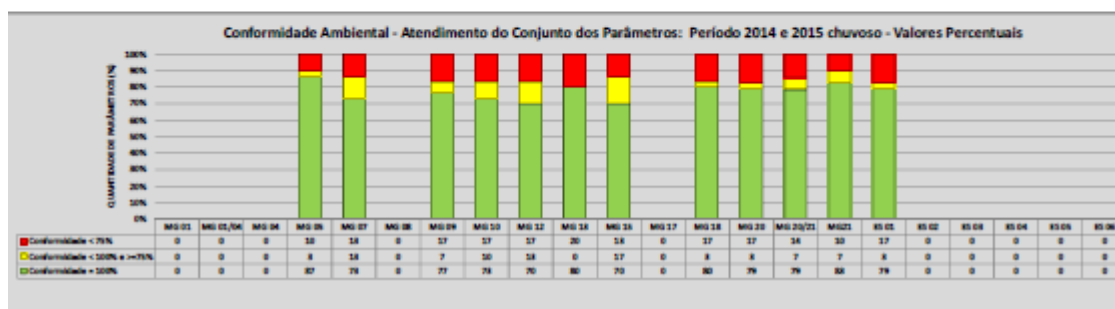
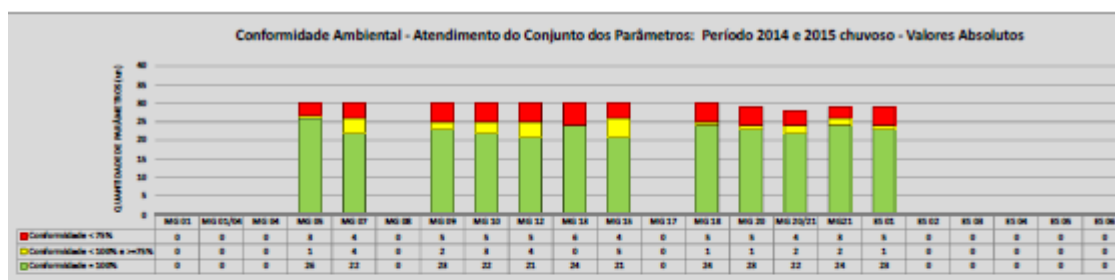


Figura 50. Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período 2014/2015 Chuvoso. Fonte: COPPE, 2017.

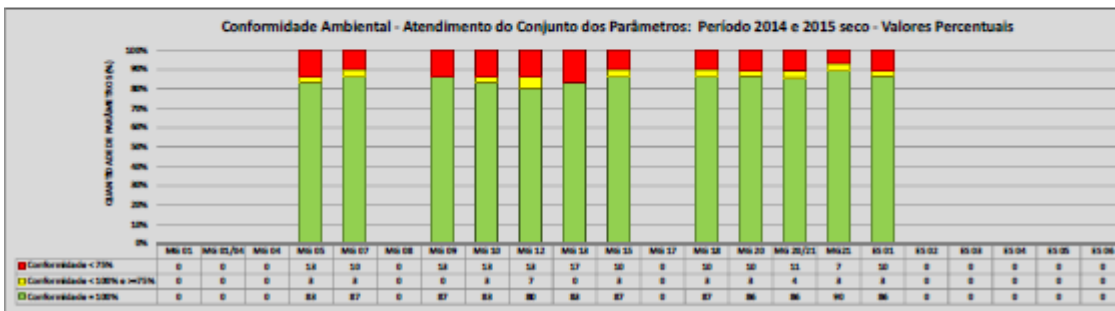
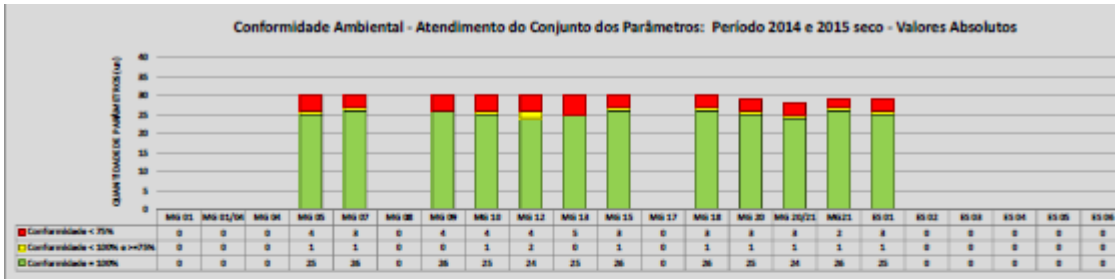


Figura 51. Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período 2014/2015 Seco. Fonte: COPPE, 2017.

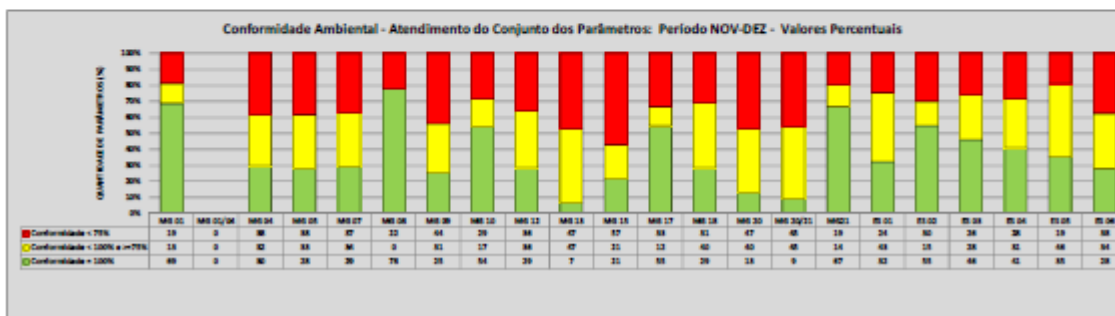
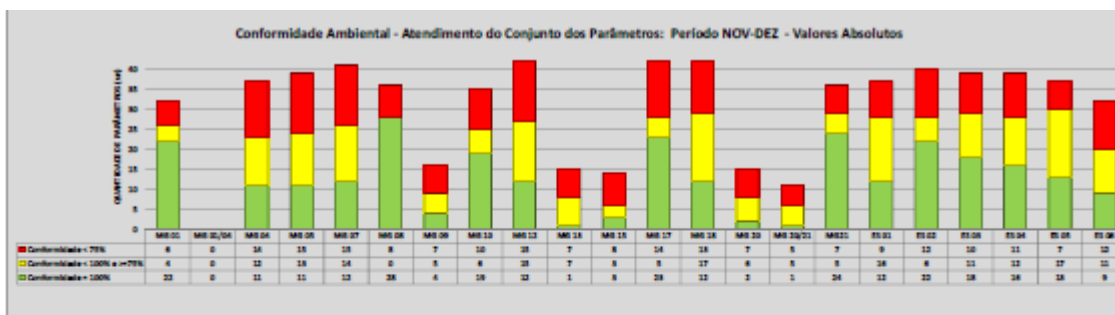


Figura 52. Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período Nov/Dez de 2015. Fonte: COPPE, 2017.

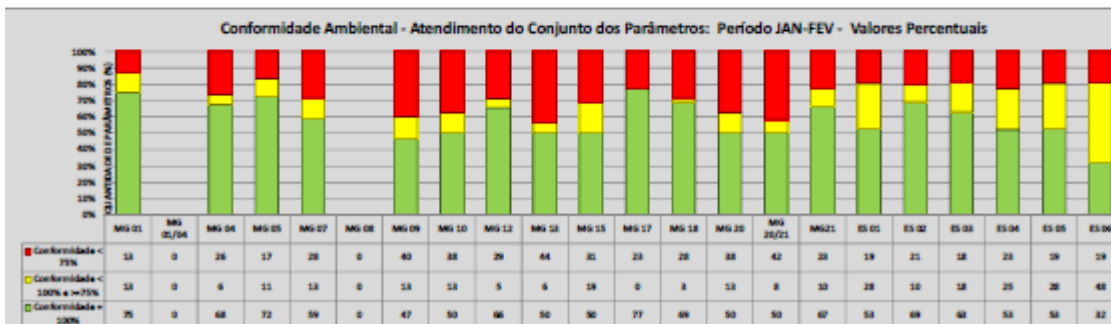
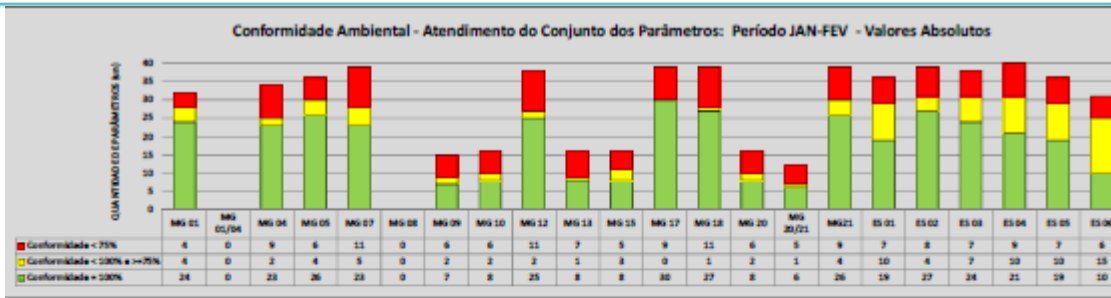


Figura 53. Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período Jan/Fev de 2016. Fonte: COPPE, 2017.

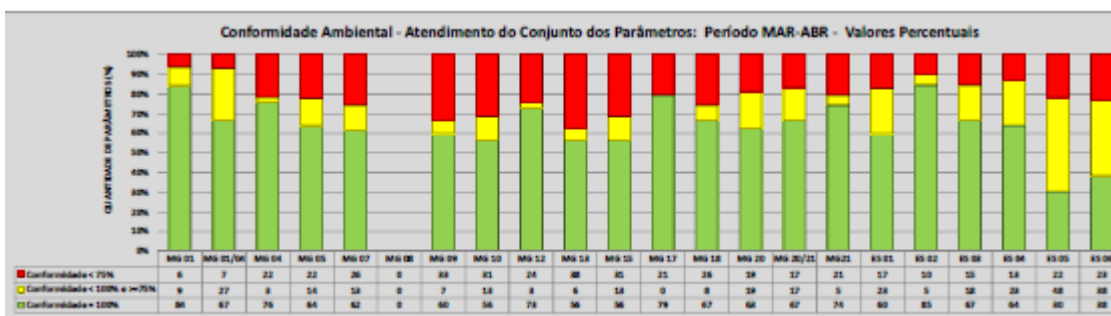
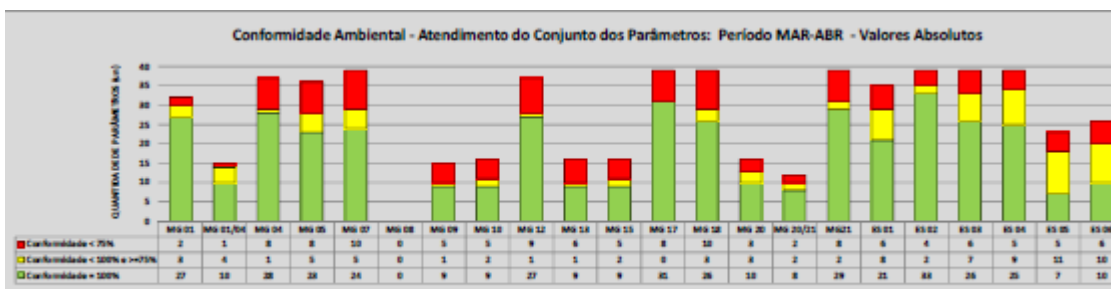


Figura 54. Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período Mar/Abr de 2016. Fonte: COPPE, 2017.

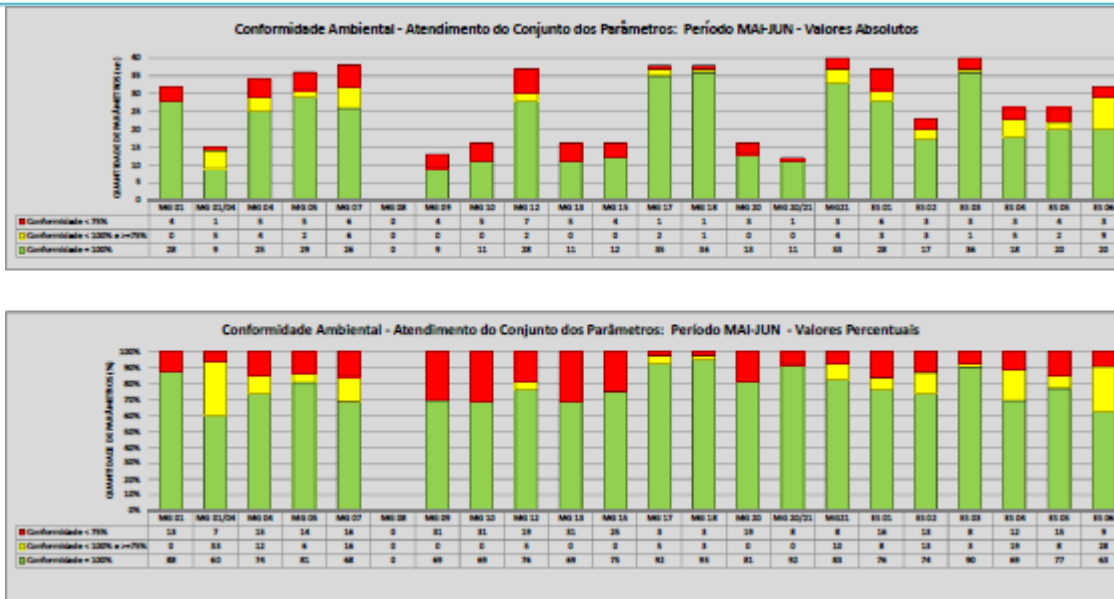


Figura 55. Atendimento do conjunto dos 42 parâmetros de qualidade de água aos padrões que estabelece a Resolução CONAMA nº 357 – Período Mai/Jun de 2016. Fonte: COPPE, 2017.

Verificou-se um amplo impacto no conjunto de 42 parâmetros correspondente ao rompimento da barragem. Especialmente a Figura 52, Novembro/Dezembro de 2015 é ilustrativa deste processo. Complementarmente, no estudo da Golder (2016a), que abrange dados do período de novembro de 2015 a janeiro de 2016, consta que a qualidade da água do rio Doce foi alterada principalmente no caso de parâmetros como turbidez, sólidos totais em suspensão, cor, fósforo total, alumínio dissolvido, ferro dissolvido e manganês total.

Transcorridos cerca de 6 meses do rompimento, observou-se com base nos resultados expressos na Figura 55 (COPPE, 2017), aumento no número de conformidades no conjunto de parâmetros (entre 75% e 100%), o que pode indicar o início da recuperação da do rio Doce e tributários. Em Golder (2017b), a avaliação de melhoria da qualidade da água se deu pela segmentação do tempo em períodos e dos parâmetros por grupos, visando identificar os pulsos de alteração na qualidade ao longo do tempo. A partir do período iniciado em 01 de abril de 2016, foi relatada redução de frequência de não conformidades para grande parte dos parâmetros durante o período seco. Com base neste estudo, um grupo de 29 parâmetros, incluindo alguns metais, nutrientes e parâmetros biológicos, não voltaram a apresentar pulso de elevação consistente, com

tendência de permanecer dentro da faixa de variação anterior ao rompimento após este período (abr/16).

Segundo o relatório da COPPE, destaca-se que nos períodos posteriores ao rompimento e considerando os 22 pontos de monitoramento, os seguintes parâmetros de qualidade da água atenderam integralmente ao padrão da Resolução CONAMA 357.

- a) Em Nov/Dez 2015 – Dureza (exceto ponto ES06), Lítio e Selênio.
- b) Em Jan/Fev 2016 – Sulfato, Bário, Boro, Berílio, Cobalto, Nitrogênio amoniacal (exceto ES06), Cloreto (exceto MG07), Níquel, Mercúrio e Sódio.
- c) Em Mai/Jun 2016 – STD (exceto MG05); Cádmio (exceto MG01/04), Chumbo (exceto MG09); Cianeto (ES06); Cloro residual; Cromo (exceto ES06); Fluoreto e Zinco (exceto ES04).
- d) Em Jul/Ago 2016 – DBO, OD, pH, (exceto ES06), Cor verdadeira, Sulfetos (ES05), Alumínio, Cobre, Ferro (exceto MG01/04) Chumbo e Fenóis.

Portanto, o período de nov/dez de 2015 foi crítico, com melhoria temporal no número de parâmetros em conformidade com os padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 357. Além disso, observou-se que no período Jul/Ago de 2016, 31 dos 42 parâmetros de qualidade da água alcançaram plena e integral conformidade em todos os pontos de monitoramento. As desconformidades após o rompimento da barragem ainda persistiram para turbidez, coliformes termotolerantes e fósforo, evidenciando a continuidade da contaminação orgânica.

No relatório da Golder (2017b), que contempla dados de qualidade de água do rio Doce para o período de 6 de novembro de 2015 a 31 de março de 2017, os resultados foram tratados sob abordagem sazonal e espacial, tendo sido apresentadas as seguintes conclusões:

- Foram identificadas tendências de elevação para diversos parâmetros de qualidade de água no período chuvoso (p.e. turbidez, SST, oxigênio dissolvido, ferro dissolvido e alumínio total) em comparação com o período seco.
- Em direção a foz foram observados parâmetros com tendência de elevação (cor, alumínio total e ferro dissolvido) e redução (p.e. arsênio total, manganês total e

magnésio total) de concentrações e frequências de não conformidade. Os parâmetros alumínio dissolvido, chumbo total, coliformes termotolerantes, cor, fósforo total, manganês total e turbidez apresentaram não conformidade em todos os pontos de monitoramento avaliados.

Por fim, sob o prisma das agências reguladoras, o órgão de gestão dos recursos hídricos do estado do Minas Gerais publicou um encarte cujo objetivo foi apresentar a evolução da qualidade das águas do rio Doce, decorridos dois anos de monitoramento, após o rompimento da barragem (IGAM, 2017). Foram escolhidos dois períodos de monitoramento: primeiro período – 05/11/2015 a 04/11/2016, e segundo período – 05/11/2016 a 10/08/2017; e selecionados 15 parâmetros para avaliações da qualidade de água: SST, turbidez, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, arsênio total e metais: alumínio dissolvido, ferro dissolvido, manganês total, cobre dissolvido, chumbo total, cromo total, cádmio total, níquel total, mercúrio total e zinco.

Após dois anos do rompimento, verificou-se que, em comparação ao primeiro período de coletas imediatamente após o evento, ocorreu uma redução das médias no segundo período para dez parâmetros. Entretanto, ocorreram médias ainda acima dos padrões de qualidade para turbidez, SST, ferro dissolvido, manganês total e alumínio dissolvido. Segundo o relatório do IGAM, pode ocorrer acúmulo de rejeito no sedimento do rio, e em bancos das margens, os quais sendo revolvidos natural ou artificialmente podem se deslocar do sedimento para a água.

O mesmo foi observado no estado do Espírito Santo, onde o órgão ambiental consolidou as análises de qualidade de água realizadas de novembro de 2015 a agosto de 2017, amostrados em 5 pontos de monitoramento. Foi apresentada a evolução do alumínio, ferro, manganês e turbidez ao longo do tempo, observando as particularidades dos períodos seco (abril a outubro) e chuvoso (novembro a março). De maneira geral, é sabido que com o período chuvoso os sedimentos depositados no fundo do rio são ressuspensos e novamente carregados, levando a alteração da condição de corpo hídrico, quando comparado com o período seco (IEMA, 2017). Devido a baixa declividade da bacia do rio Doce em seu trecho capixaba e ao alargamento da calha do rio, as frações

mais finas do sedimento encontram no ES condições para deposição no leito do rio e, com as chuvas, parte delas voltam a ficar em suspensão, alterando assim a qualidade da água.

O modelo conceitual apresentado na Figura 56 representa o comportamento temporal dos principais contaminantes medidos e citados nos relatórios consultados para este parecer, na água superficial do rio Doce.

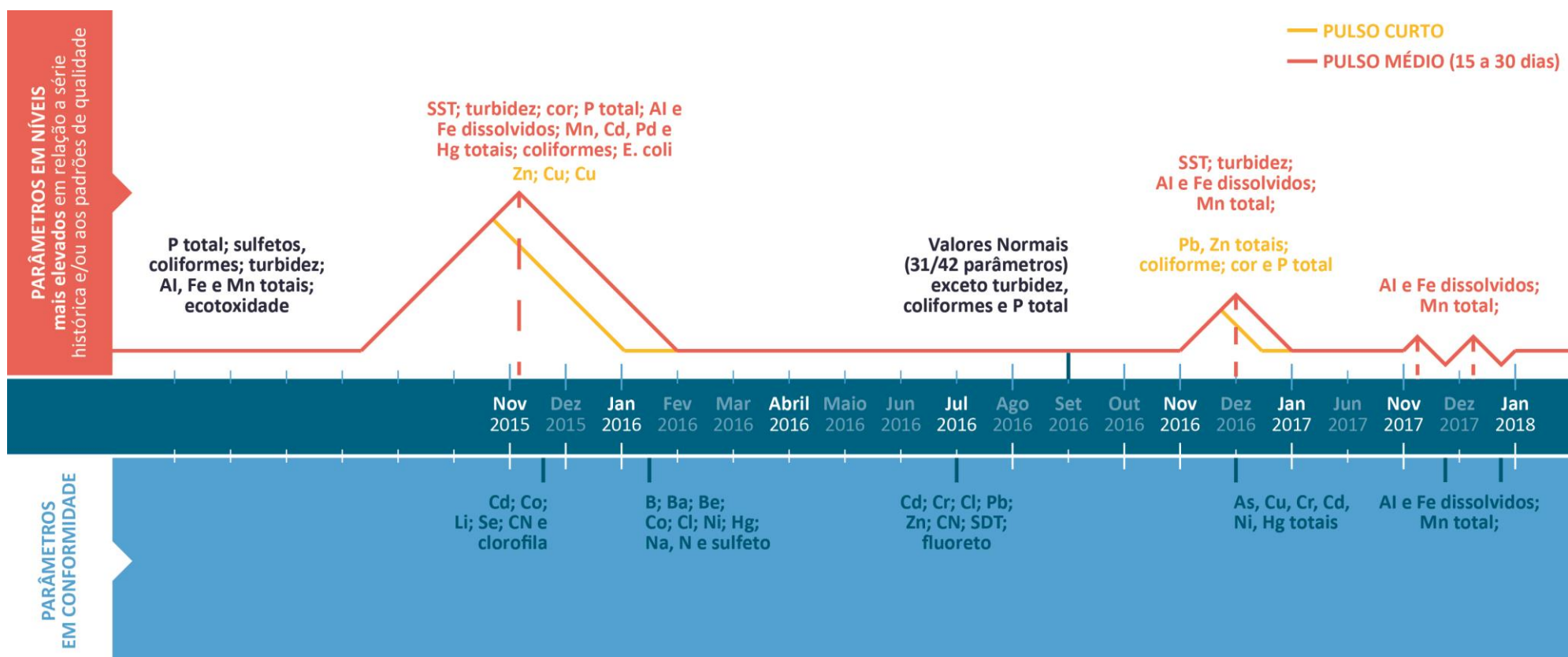


Figura 56. Infográfico representando modelo conceitual do comportamento temporal dos principais contaminantes na água superficial do rio Doce.

### 3.1.2 Região Costeira

Com base nos dados coletados entre novembro de 2015 e fevereiro de 2017, o rompimento pode ter afetado as concentrações de até 30 parâmetros na zona costeira (GOLDER, 2017a). Essa afirmação é baseada na elevação coincidente das concentrações com a chegada da onda de rejeitos. Segundo o estudo, para um grupo menor de parâmetros, os efeitos foram de prazo mais longo. Mas, para a maioria dos parâmetros, os efeitos foram de curto prazo, da ordem de poucas semanas a alguns meses.

O primeiro grupo de parâmetros, influenciados principalmente pelas chuvas e pela chegada da pluma de turbidez, é constituído por:

- alumínio total e dissolvido;
- ferro total e dissolvido;
- manganês total e dissolvido;
- cor;
- sólidos totais;
- turbidez.

Foram reportadas elevações nas concentrações dos parâmetros supramencionados pelo intervalo de 15 a 30 dias (caracterizados como pulsos de médio prazo), dentro dos períodos subdivididos no estudo: 1. novembro e dezembro de 2015, caracterizando a chegada da pluma no mar; 2. janeiro a fevereiro de 2016, caracterizando o período chuvoso e aumento da vazão do rio; 3. fevereiro a outubro de 2016, período seco no ano hidrológico; e 4. novembro de 2016 a fevereiro de 2017, abarcando o final do período seco e início do período chuvoso subsequente. Embora os pulsos continuaram a ser observados ao longo do tempo, as concentrações durante as ocorrências foram mais baixas do que as observadas imediatamente após a chegada da pluma. Esses parâmetros tiveram tendência a diminuir na região costeira com o aumento da distância da foz (GOLDER, 2017a). Dados da FURG reportaram que as concentrações de ferro aumentaram significativamente na 1ª. coleta (28/1/2016) e permaneceram elevadas também na 2ª. coleta (24/4/2016). Já as concentrações de manganês não se alteraram na 1ª. coleta mas aumentaram significativamente na 2ª. coleta após o evento (FURG, 2016d).

O segundo grupo de parâmetros, os que apresentaram alterações de concentração de curto prazo, inclui: arsênio total, bário total e dissolvido, cádmio total, chumbo total, cromo, cobre, magnésio, zinco e vanádio total, coliformes, condutividade elétrica, DBO, *Escherichia coli*, fósforo total, fosfato, pH, OD, sílica reativa e sólidos dissolvidos totais. As concentrações desses elementos retornaram em grande parte a condições pré-evento (GOLDER, 2017a). Os resultados referentes a cádmio, cromo, cobre e chumbo foram corroborados pelos estudos da FURG, onde se observou um aumento significativo nas suas concentrações na 1ª. coleta após o rompimento (28/1/2016), tendo na 2ª. coleta (24/4/2016) retornado a níveis semelhantes aqueles observados antes da ocorrência do evento (FURG, 2016d).

Assim como apresentado para o primeiro grupo, a maioria desses parâmetros tiveram a tendência de diminuir com o aumento da distância da foz. Além disso, notou-se um decréscimo nas concentrações do último período temporal de observação (chuvoso 2016-2017) em relação aos períodos anteriores. Essa diminuição ao longo do tempo foi observada tanto pela diminuição da intensidade dos pulsos de alteração do primeiro grupo de parâmetros, como pela ausência de novos pulsos dos parâmetros do segundo grupo. As intervenções de controle de rejeitos promovidas pela Fundação Renova e o fato do pulso de elevação da vazão do rio Doce no último período ter sido menor, foram os fatores que explicaram essas diferenças, segundo o relatório da GOLDER (2017a).

O modelo conceitual apresentado na Figura 57 representa o comportamento dos níveis de contaminantes na água ao longo do tempo na foz do rio Doce e região costeira adjacente.

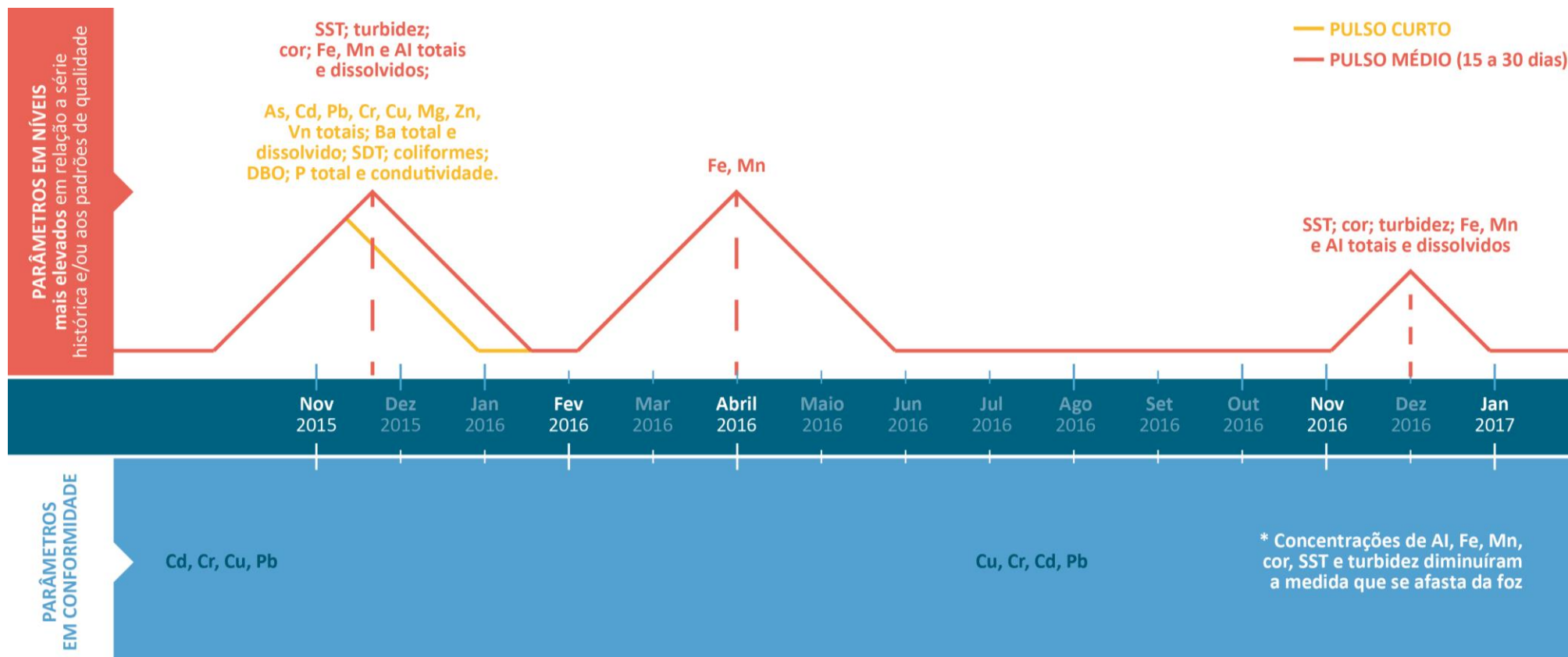


Figura 57. Infográfico representando modelo conceitual do comportamento temporal dos principais contaminantes na água superficial na foz do rio Doce e região costeira adjacente.

Por fim, outro estudo que contribuiu para a compreensão das alterações provocadas pela pluma de turbidez na região estuarina e costeira refere-se ao monitoramento ambiental dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema de praia (APLYSIA, 2016).

Neste relatório, foi aplicada metodologia capaz de explicar e demonstrar como o continente é fonte de materiais para a região costeira e, como esta absorve e reage com esse material lançado pelo(s) rio(s) seja na forma solúvel ou particulada. O estudo evolutivo das concentrações ao longo de um gradiente salino, tendo os seus *endmembers* bem definidos, é a única maneira de avaliar os processos biogeoquímicos (responsável pela adição ou retirada de elementos/compostos do meio) que ocorrem em uma zona de transição entre o ambiente continental doce e o marinho costeiro.

Foram realizadas 3 campanhas mensais entre novembro de 2015 e janeiro de 2016 que evidenciou a forte influência do rio Doce como fonte de elementos dissolvidos e particulados para o ambiente costeiro. O estudo apontou duas grandes diferenças que são apresentadas a seguir:

- Com relação à oscilação de valores e concentrações: para a maioria dos parâmetros, os valores e concentrações encontrados para a segunda campanha foram inferiores aos registrados para a primeira (Figura 58). Uma avaliação da intensidade de escala do eixo Y (concentração) revelou isso. Por exemplo, para ferro total, as concentrações atingiram 5 mg/L para a primeira campanha enquanto que para a segunda, as concentrações atingiram 2 mg/L. Outro parâmetro que bem revelou esta diminuição foi o material em suspensão, passando de 400 mg/L para 80 mg/L. Esta tendência nos levaria a concluir que o sistema iniciou o ciclo de recuperação, tendo sido colocado a autodepuração natural em marcha. Entretanto, uma forte condicionante meteorológica fez com que a descarga do rio Doce aumentasse sobremaneira e com intensidade tal, que provocasse a abertura da barra Sul do estuário do rio Doce. Essa forçante física provocou uma nova retomada nos valores e concentrações dos parâmetros analisados, levando-nos a crer, em janeiro de 2016, que o processo estaria ainda longe de atingir sua estabilidade e retornar as condições ambientais anteriores ao rompimento.

- Com relação aos processos biogeoquímicos: o observado para a 1<sup>a</sup>. campanha foi a predominância dos processos de adição/aporte/chegada, em função da contribuição abrupta de elementos dissolvidos e particulados trazidos pelo rio Doce à região estuarina e costeira adjacente. Enquanto que para a 2<sup>a</sup>. campanha, começaram a tomar importância os processos de remoção/retirada do material que foi aportado para a plataforma adjacente (Figura 58). Esse comportamento era esperado e desejado, indicando que o ambiente oceânico iniciou seu processo de auto-depuração. Na 3<sup>a</sup>. campanha, mesmo tendo ocorrido a mudança nas condições heterodinâmicas internas e externas ao estuário, como o já comentado fato de abertura da segunda barra, a barra Sul, foi observado que o processo de remoção do material aportado por processos biogeoquímicos naturais continuaram a ocorrer. Assim, parte desse material estava deixando a coluna d'água e estava se depositando na água intersticial, subterrânea ou na superfície da camada sedimentar (processo de floculação e outros processos agregados). Neste contexto, as evidências convergiram para o início de um processo de autodepuração do ambiente marinho costeiro a partir de dezembro de 2015, sendo que o material continental aportado estava sendo removido do meio, seja pela ação biológica (p.e. fitoplâncton) ou geoquímica, que provocou deposição no sedimento.

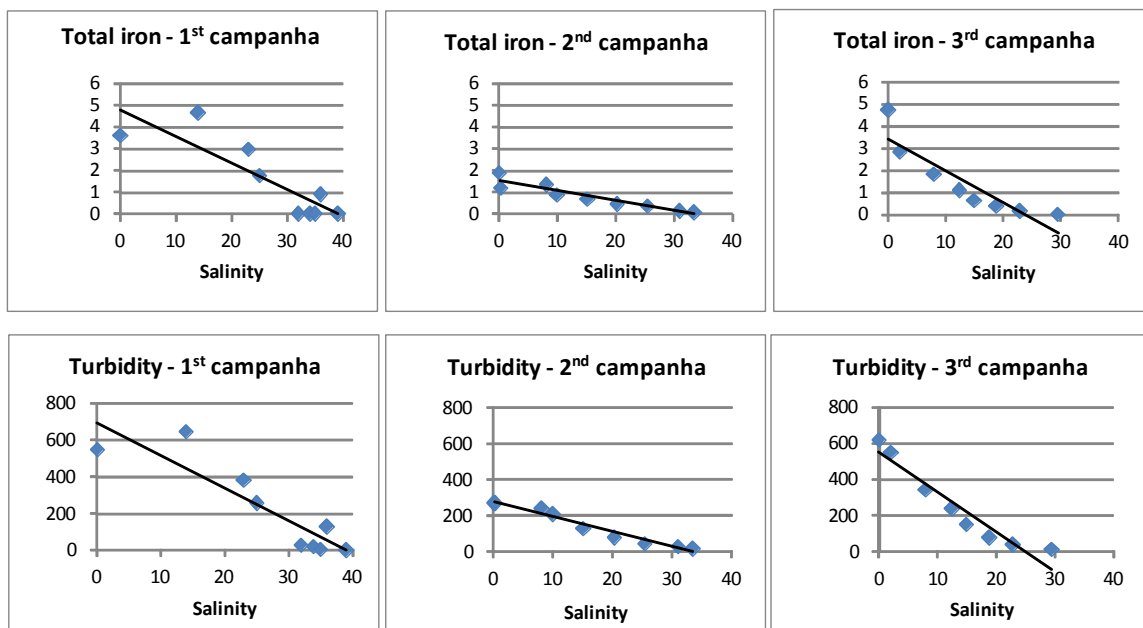


Figura 58. Distribuição de ferro total (mg/L) e turbidez (UNT) ao longo do gradiente de salinidade para as três campanhas realizadas no estudo conduzido por APLYSIA entre novembro de 2015 e janeiro de 2016. Fonte: APLYSIA, 2016.

Em definitivo, o estudo da distribuição das concentrações ao longo do gradiente de salinidade permitiu conhecer cientificamente o que ocorre em uma zona de transição complexa que é o ambiente estuarino, saindo das interpretações pontuais e descritivas, que apenas comentam o “sobe e desce” das concentrações, sem explicação plausível do por que elas ocorrem.

### 3.1.3 Considerações Finais

Os resultados comparados referentes aos períodos pré e pós rompimento da barragem de Fundão evidenciaram alto impacto na qualidade das águas imediatamente após o evento. Entretanto deve-se considerar como importante evidencia que o rio Doce e tributários já apresentavam antes do evento degradações decorrentes principalmente de contaminação orgânica, gerada por esgotos não tratados na maioria das cidades da bacia hidrográfica do Rio Doce. Já havia, portanto desconformidades frente aos padrões da Resolução CONAMA 357 anteriormente ao acidente. Deve-se ressaltar que estas desconformidades em relação aos parâmetros orgânicos continuaram após o rompimento evidenciando continua intrusão de matéria orgânica no sistema.

Nos períodos posteriores ao rompimento, verificou-se uma lenta e gradual recuperação da qualidade da água, mostradas pelas análises da COPPE e pelo IGAM. Persistem evidentemente algumas desconformidades descritas no relatório do IGAM (2017). Estas estão relacionadas a 5 parâmetros de qualidade da água, como turbidez, sólidos totais em suspensão, ferro dissolvido, manganês total e alumínio dissolvido. Os dados da COPPE indicaram ainda desconformidades de parâmetros como fósforo total e coliformes termotolerantes, sendo evidências de contaminação orgânica que persistem.

Outro dado importante dos trabalhos de monitoramento está relacionado com o caráter desigual das desconformidades em relação a Resolução CONAMA 357. Estas desconformidades não são contínuas. Estão localizadas em pontos específicos, e portanto limitam-se a algumas regiões, o que é outra conclusão dos resultados apresentados.

Deve-se concluir tanto pelo relatório apresentado pela COPPE, como pelos dados do órgãos reguladores, que o rio está se recuperando do impacto produzido pelo rompimento da barragem de Fundão e sua qualidade da água está em recuperação. Na região da foz

do rio Doce e região costeira adjacente foi observado o mesmo comportamento na qualidade da água.

Acúmulo de rejeito no fundo do rio que pode ser mobilizado por remoção hidráulica e mecânica podem produzir aumentos ocasionais dos parâmetros de qualidade da água e daí pode se explicar as desconformidades localizadas em relação a Resolução CONAMA 357, para os metais alumínio, ferro e manganês.

## 3.2 QUALIDADE DO SEDIMENTO

### 3.2.1 Bacia do rio Doce

De acordo com o relatório da COPPE, (2017), o rejeito original das barragens era formado por itabirito – minério de ferro, contendo hematita, magnetita, goethita, areia quartzo e silicatos. Golder (2017c) destacou como principais elementos detectados nas amostras de rejeito avaliadas a sílica e o óxido de ferro, indicando a existência de menores concentrações de metais traços na sua composição.

Com o rompimento da barragem de Fundão ocorreu arraste de solos, saibros e deposição seletiva de sedimentos. O transporte dos rejeitos pesados com minério de ferro envolveu além de vazão do rio, arraste mecânico de areia e silte. Com isso, a composição mineral principal dos sedimentos apresentou três componentes principais: minério de ferro, argila e silte em diferentes proporções, como por exemplo (COPPE, 2017):

Minério de Ferro – 20%		Minério de Ferro – 20%
Argila – 33%	ou	Argila – 34 %
Areia + Silte – 46%		Silte – 46%

A composição mineralógica dos sedimentos se deu em função do grau de mistura entre os rejeitos com os solos e/ou sedimentos (GOLDER, 2017b). Foi constatada por COPPE (2017) uma variação da composição dos sedimentos ao longo dos rios, incluindo a influência das cidades: por exemplo, concentrações de cálcio, potássio e sódio podem estar relacionadas ao despejo dos esgotos das cidades. Segundo Econservation (2016c), tanto os níveis de metais como a quantidade de lama no sedimento foram maiores nos locais mais próximos ao rompimento, formando um gradiente espacial em direção a foz. Da mesma maneira, reportou-se a formação de um gradiente temporal: os níveis de metais

diminuíram ao longo do tempo após o evento em todos os locais amostrados, da mesma forma que também foram menores nos locais mais afastados do rompimento, exceto para arsênio e cromo.

De acordo com a COPPE (2017), a deposição dos sedimentos contendo o material original da barragem foi maior no vale do rio Gualaxo do Norte, em curvas e remansos. Neste tributário, o sedimento na superfície apresentou 82% areia + silte e 18% de minério de ferro; já no fundo da amostra quantificou-se 74% de areia + silte – 74% e 23% de minério de ferro. Os dados apresentados por Golder (2017c) indicaram concentrações relativamente mais elevadas de arsênio e mercúrio nas porções a montante da bacia do rio Doce e valores mais altos de níquel, cobre, chumbo e cromo à jusante da bacia.

Foram destacadas ainda as evidências de retenção de contaminantes nos reservatórios das barragens hidrelétricas existentes na bacia. Segundo COPPE (2017), as concentrações de cádmio, cromo, níquel e zinco reduziram bastante à jusante da barragem de Risoleta Neves. Além disso, reporta-se que os rejeitos atingiram Ipatinga, Naque e a represa de Baguari e, no entanto, não estão presentes de forma expressiva no sedimento a jusante desta represa e Governador Valadares.

Por fim, foram registradas a ocorrência de *hotspots* de contaminantes na parte baixa da bacia decorrentes das suas características hidrogeomorfológicas. O processo de sedimentação e distribuição dos sedimentos depende do peso específico, distribuição granulométrica, velocidade da água, forma de calha dos rios, geografia dos locais como curva e obstáculos. Portanto, a deposição dos sedimentos não foi homogênea.

### 3.2.2 Região Costeira

De acordo com Golder (2017a), foram identificados dois padrões gerais de distribuição espacial dos metais na foz do rio Doce e região costeira adjacente:

- diminuição entre as estações localizadas no entorno da foz e a APA: grupo que fazem parte o alumínio, bário, cádmio, ferro, manganês e zinco e;
- aumento em direção a APA: o arsênio e cromo;
- os demais metais não apresentam padrão de variação espacial detectável.

Em estudo mais recente, realizado em abril de 2018, apontou-se que as faixas de concentração de ferro total na região costeira da foz do rio Doce foram superiores às encontradas na área controle, na foz rio Jequitinhonha (Figura 59), reforçando o padrão observado em Golder (2017a). Segundo este estudo, a distribuição deste metal, bem como do manganês, mostraram-se consistentes com um depósito originado pelo material proveniente da barragem de rejeitos (HYDROBIOLOGY, 2018a).

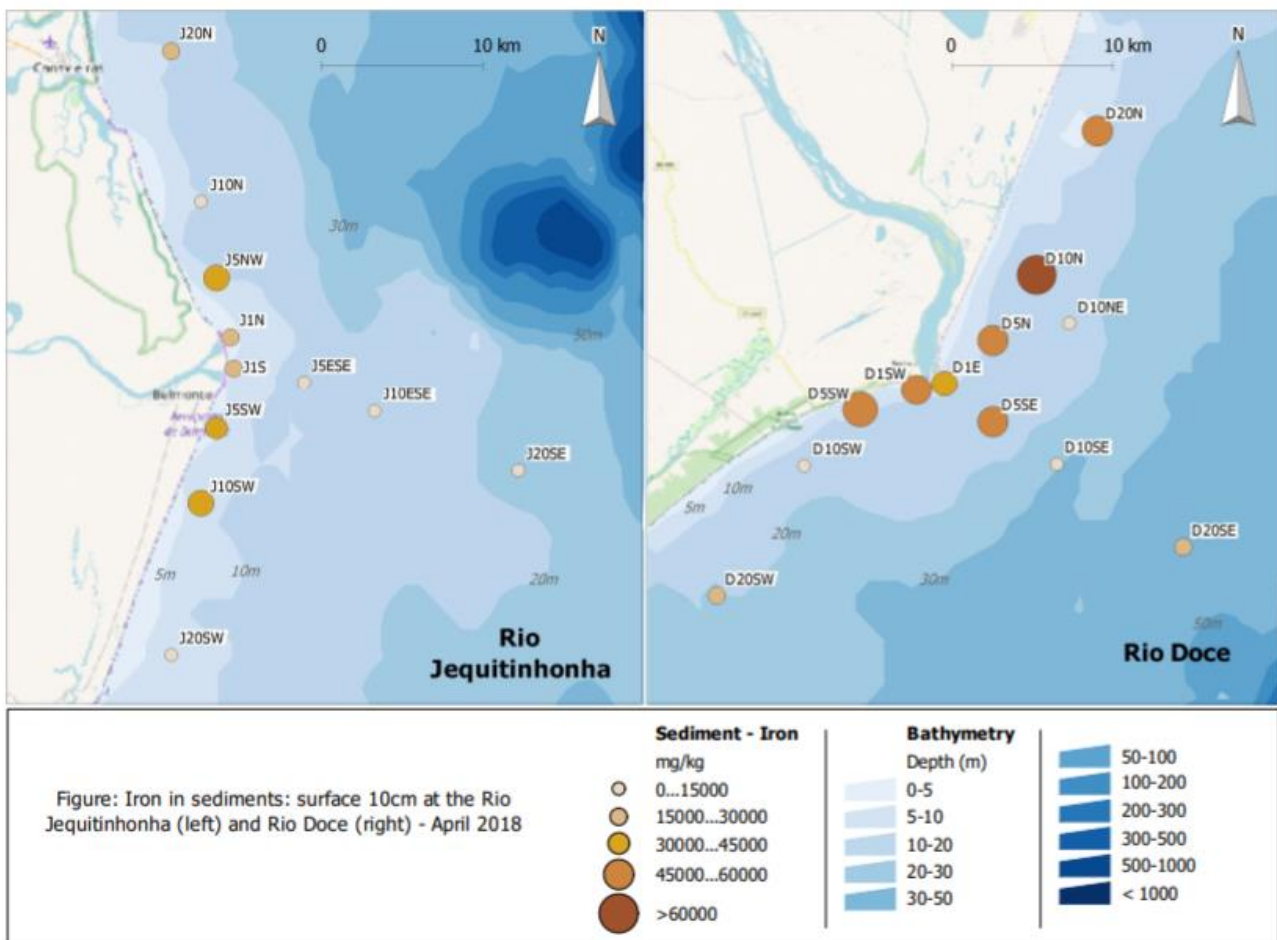


Figura 59 – Faixas de concentração de ferro total no sedimento na área de estudo do rio Doce. Fonte: HYDROBIOLOGY, 2018a.

Soma-se a este contexto o aporte de concentrações elevadas de arsênio e selênio provenientes da bacia hidrográfica do rio São Mateus (UFES, 2017), indicando a existência de outras fontes ativas de contaminantes que interferem na qualidade do sedimento presente na região costeira. Dados de arsênio total no sedimento marinho obtidos de Hydrobiology (2018a) reportaram concentrações mais elevadas deste elemento

mesmo antes do rompimento da barragem e corroboram o padrão identificado em Golder (2017) de aumento das concentrações em direção a APA Costa das Algas (Figura 60).

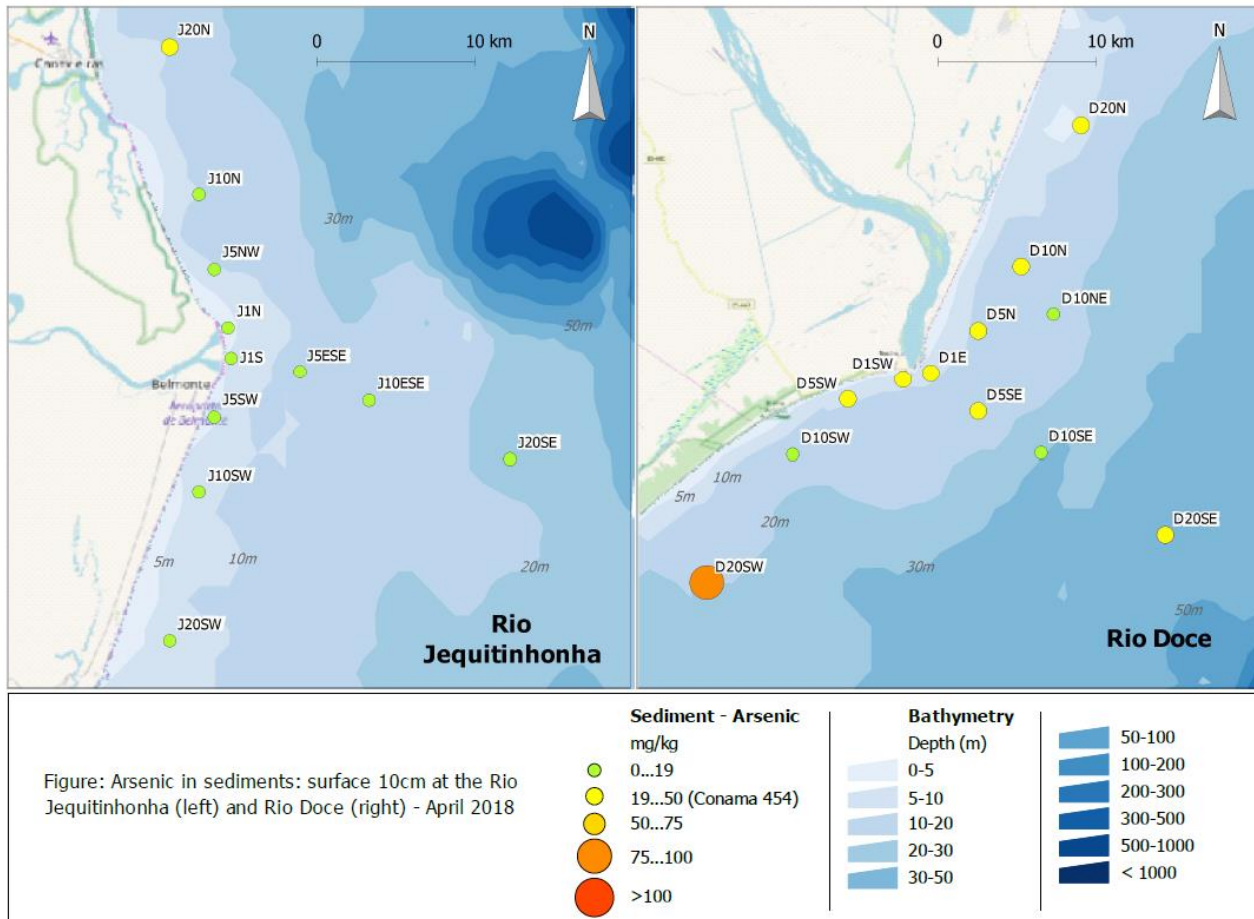


Figura 60. Faixas de concentração de arsênio total no sedimento na área de estudo do rio Doce. Fonte: HYDROBIOLOGY, 2018a.

Na mesma linha, elevadas concentrações de arsênio total no sedimento foram quantificadas em 8 campanhas realizadas entre maio de 2014 e dezembro de 2015, ao norte da APA Costa das Algas, durante o monitoramento da dragagem de um estaleiro em implantação na região. Os valores variavam de 26,80 a 92,54 mg/kg em locais não impactados pela atividade (pontos controle), indicando elevados níveis basais deste elemento na costa capixaba (MELLO, 2016).

Em relação às concentrações de cádmio encontradas em diversas matrizes, foi conduzido um estudo para identificar as fontes potenciais de emissão deste metal na bacia do rio Doce, bem como os níveis de background no sedimento, na água e na biota (ECONSERVATION, 2017a). Evidências indicaram a presença natural deste elemento no

material sedimentar da bacia hidrográfica, mas também, em menor parte, a ocorrência de fontes de enriquecimento antrópicas, sendo as principais relacionadas aos processos de urbanização, seguidas de atividades industriais e de mineração. Ao final, discute-se que aumento nas concentrações de cádmio, inclusive no mar, pode estar associado a passivos existentes nos solos que foram arrastados com a descida do rejeito ou posteriormente durante eventos hidrológicos mais intensos.

O modelo conceitual apresentado na Figura 61 representa a distribuição espacial dos metais no sedimento na bacia hidrográfica do rio Doce e região costeira adjacente.

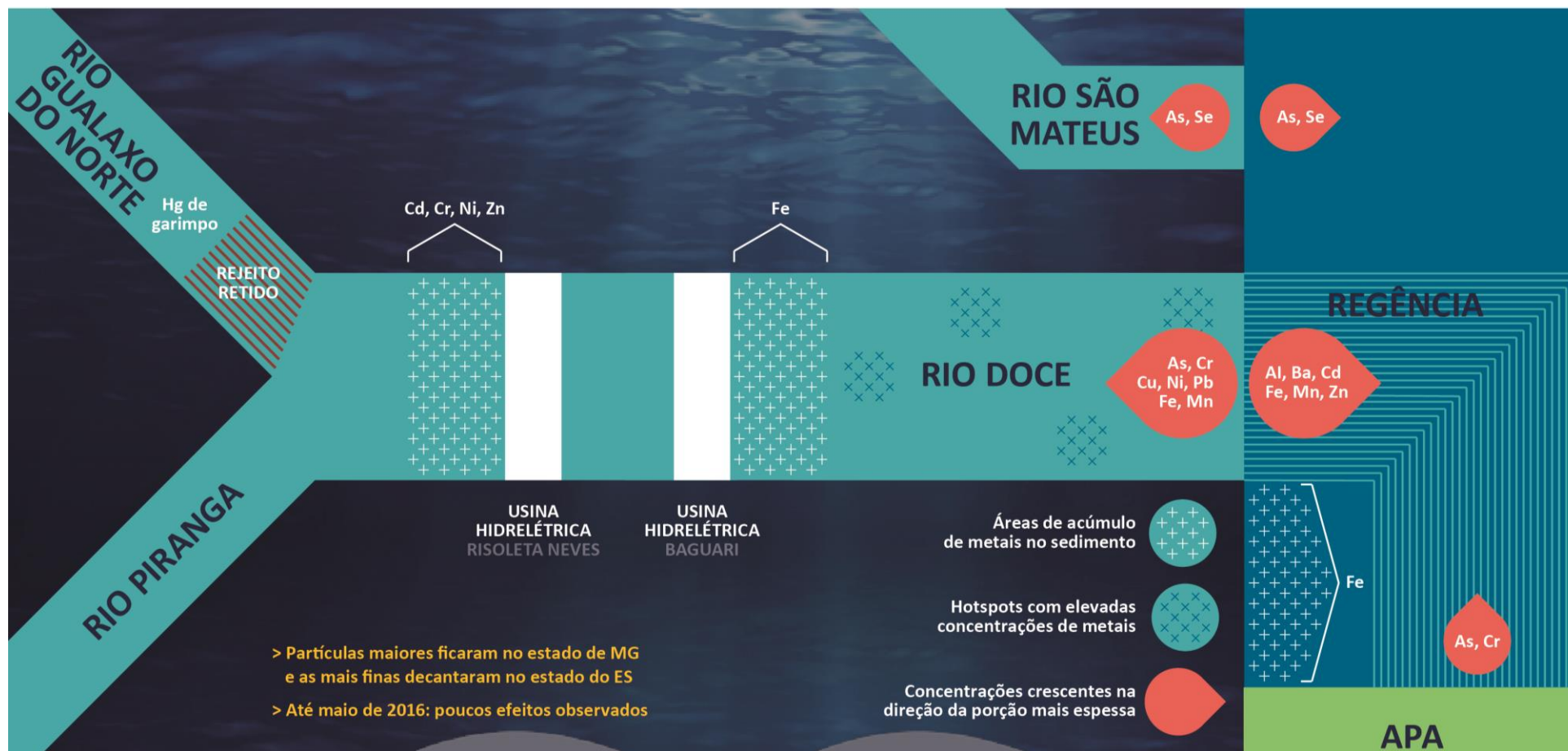


Figura 61. Infográfico representando modelo conceitual da distribuição espacial dos metais no sedimento na bacia hidrográfica do rio Doce e região costeira adjacente.

### 3.2.3 Considerações Finais

Em relação a qualidade do sedimento na bacia do rio Doce e região costeira adjacente, pode-se afirmar:

- O papel das barragens foi importante para a retenção do sedimento;
- Os sólidos em suspensão foram depositados de forma heterogênea ao longo do rio, criando áreas de concentração;
- Estudos comprovam que a presença de arsênio e selênio é característico da região e se estende além da bacia hidrográfica do rio Doce;
- Concentrações de alumínio, bário, cádmio, ferro, manganês e zinco no sedimento diminuem conforme se afastam da foz do rio Doce.

## 4. ASPECTOS ECOTOXICOLÓGICOS E ECOLÓGICOS OBSERVADOS

A recuperação da biodiversidade é um dos requisitos fundamentais no processo geral de recuperação do rio Doce e sua bacia hidrográfica. Esta recuperação implica, além do conjunto de toda a biodiversidade regional, na recuperação do estoque pesqueiro e na futura liberação da pesca para a exploração racional e comercial. Estes são os requisitos básicos para o pleno funcionamento do ecossistema em seus aspectos ecológicos, econômicos e sociais.

Deve-se, entretanto, atentar que o rio Doce antes do rompimento da barragem de Fundão, em novembro de 2015, já vinha sendo afetado por impactos decorrentes das várias atividades humanas desenvolvidas na bacia. Contaminação fecal, bactérias entéricas e cianobactérias foram detectadas em inúmeras análises e coletas de material ao longo de anos efetuadas por órgãos estaduais. Esta degradação foi gerada principalmente pela ausência de tratamento de esgotos de muitos municípios da bacia hidrográfica. Esgotos *in natura*, sem tratamento, despejados ao longo de anos, agravaram o quadro de degradação ambiental do rio, refletindo nas análises de qualidade da água. A presença de componentes biológicos como *Oligochaeta* e *Insecta* relacionada à carga orgânica do rio foi relatada constantemente demonstrando o estágio de acúmulo de matéria orgânica na água e sedimento. Presença de cianobactérias e análises metagenômicas, indicam contaminação fecal por efluentes de esgotos não tratados com grande disponibilidade de matéria orgânica particulada e dissolvidos (COPPE, 2017).

As análises realizadas pós rompimento foram amplas e bem distribuídas para avaliação dos efeitos da descarga dos rejeitos da barragem e abordam temas fundamentais, tais como: ecotoxicologia, plâncton, bentos, ictiofauna e quantificação dos danos à vegetação.

## 4.1 ASPECTOS ECOTOXICOLÓGICOS

### 4.1.1 Bacia do rio Doce

Em relação a biodisponibilidade de contaminantes e seu potencial efeito às comunidades aquáticas, foram sintetizados os resultados dos 3.607 mil ensaios ecotoxicológicos gerados no período de novembro de 2015 a dezembro de 2016 com amostras coletadas ao longo do rio Doce, quando foi reportada ausência de ecotoxicidade aguda em praticamente todas as amostras de água para o peixe *Danio rerio*, o microcrustáceo *Daphnia similis* e a bactéria *Vibrio fischeri* durante todo o período, e presença de ecotoxicidade crônica (46,41%) na água para *Ceriodaphnia dubia* e de ecotoxicidade aguda (30,26%) no sedimento do rio Doce para *Hyallela azteca* (Tabela 2).

Tabela 2 – Número de ensaios realizados e quantidade de ensaios tóxicos e não tóxicos por organismo para o ambiente de água doce, obtido em avaliação ecotoxicológica da água e sedimento do rio Doce após o rompimento da barragem. Fonte: APLYSIA, 2017a.

Organismo-teste	Matriz	Não tóxico	Tóxico	Total Geral	% de Tóxicos
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Água	314	272	586	46,41%
<i>Danio rerio</i>		761	12	773	1,55%
<i>Daphnia similis</i>		783	14	797	1,76%
<i>Vibrio fischeri</i>		789	11	800	1,38%
<i>Hyallela azteca</i>	Sedimento	454	197	651	30,26%
<b>Total</b>		<b>3101</b>	<b>506</b>	<b>3607</b>	<b>13,92%</b>

Os efeitos crônicos foram intensificados com a passagem da pluma, se estendendo por um período de 4 a 5 semanas (Figura 62) e depois novamente no período de chuva (jan/2016; 9<sup>a</sup>-12<sup>a</sup> semana); e estiveram associados a presença de sólidos em suspensão em 95% das amostras testadas, afetando fisicamente as espécies filtradoras, como o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia*. Para o organismo bentônico que vive no sedimento (*Hyallela azteca*), não foi estabelecido um padrão claro de resposta, apesar de terem sido registrados valores superiores de mortalidade no período inicial da série histórica. A magnitude dos efeitos, avaliado por meio dos resultados obtidos com *Ceriodaphnia dubia* no pior cenário (primeiro mês da passagem da pluma), foi maior para a região do alto rio Doce, decaindo gradativamente conforme a distância em relação ao local do rompimento, sendo significativa a magnitude dos efeitos observados em laboratório entre as amostras do alto e do baixo rio Doce (Figura 63) (APLYSIA, 2017a).

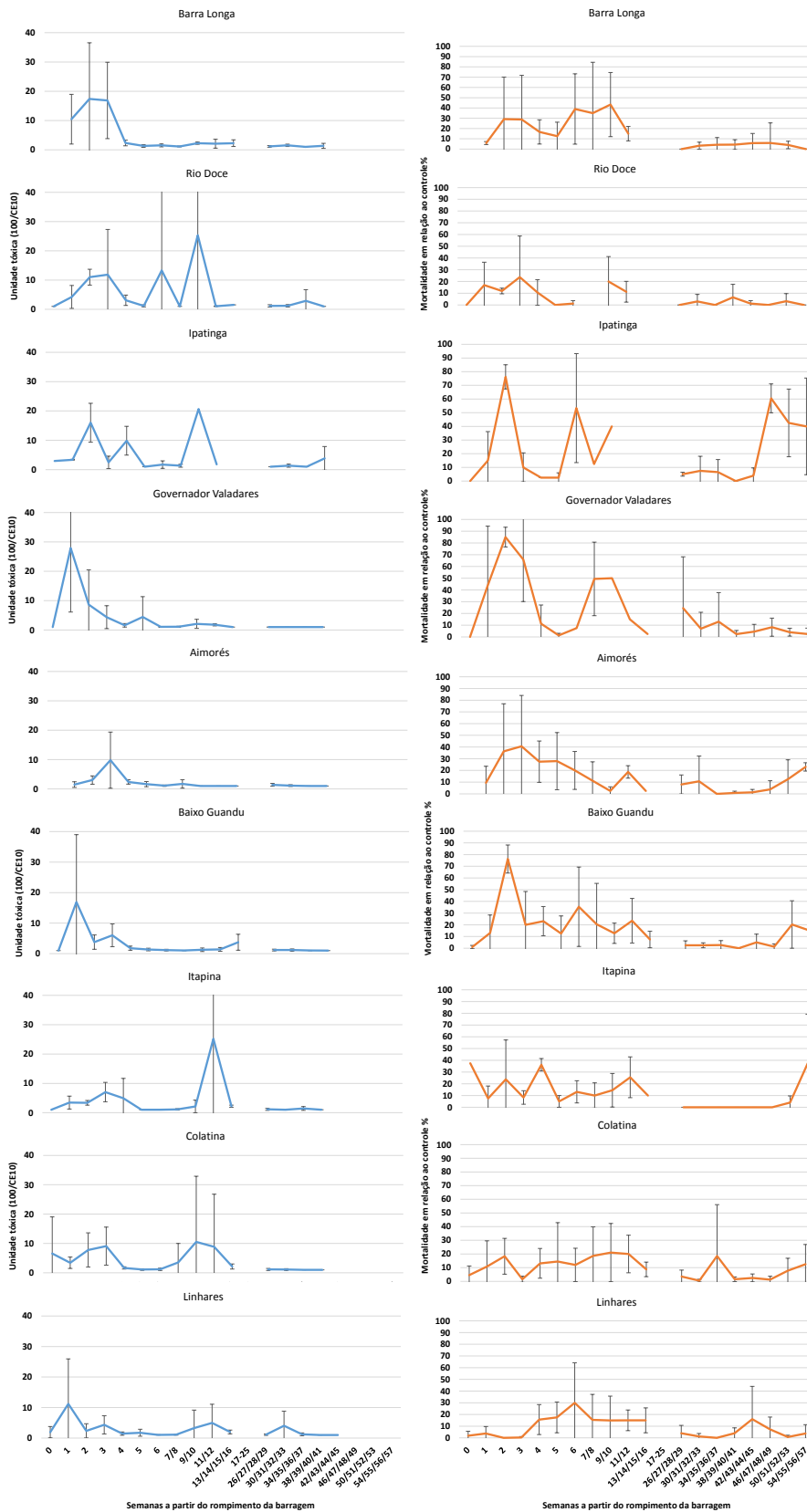


Figura 62. Resultados ecotoxicológicos em água superficial com *Ceriodaphnia dubia* (esquerda) e sedimento com *Hyallela azteca* (direita), tomando com escala temporal as semanas em relação ao rompimento da barragem de Fundão. Fonte: APLYSIA, 2017a.

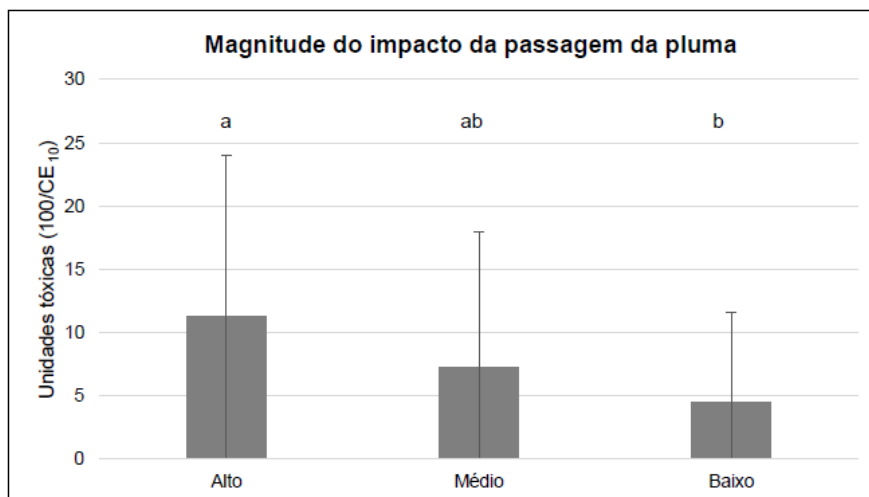
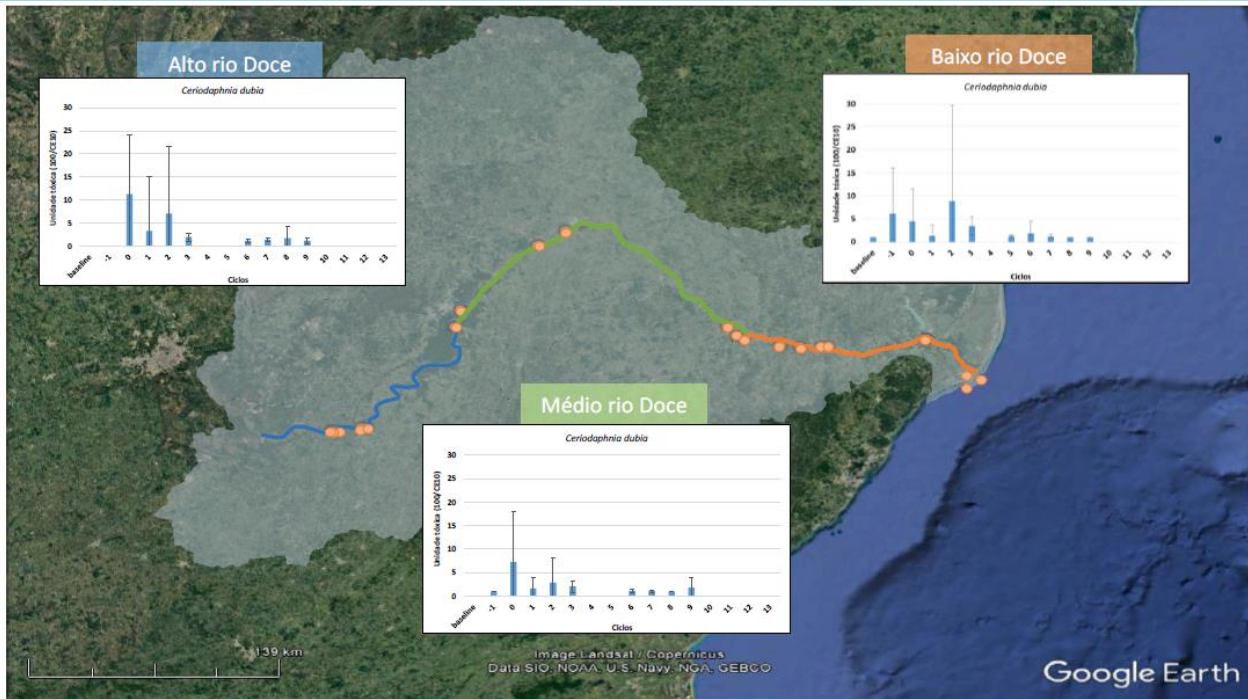


Figura 63. Resultados ecotoxicológicos com espécie de *Ceriodaphnia dubia* com base nas subdivisões do curso do rio Doce (alto, médio e baixo rio Doce). Fonte: APLYSIA, 2017a.

#### 4.1.2 Região Costeira

Em avaliação dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema praiar na região da foz do rio Doce, realizada em três campanhas entre novembro de 2015 e janeiro de 2016, foram conduzidos ensaios ecotoxicológicos em amostras de água superficial, água intersticial e sedimento (coletado em diferentes profundidades até 1m); bem como avaliações ecológicas da macrofauna bentônica. Ao final, observou-se ausência de ecotoxicidade aguda para anfípodos e ausência de ecotoxicidade crônica para embriões

de ouriço do mar, indicando que o sedimento e a água superficial, coletada próxima a praia, não apresentaram potencial de causar efeitos a estes organismos em laboratório (APLYSIA, 2016).

### **4.1.3 Considerações Finais**

Os estudos ecotoxicológicos, realizados em laboratório, indicaram a quase ausência de efeitos agudos na água e presença de efeitos crônicos sobre as comunidades aquáticas do rio decorrentes da passagem da pluma, e o potencial efeito físico em condições eventuais relacionadas ao incremento de sólidos na água (organismos filtradores) e/ou sua deposição na região estuarina (organismos bentônicos).

## **4.2 ASPECTOS ECOLÓGICOS**

A biodiversidade, além de ser um componente essencial do funcionamento dos ecossistemas, mantendo as suas principais características e sustentando a perpetuação do componente biológico, tem outro papel importante que é a interação com a economia local e regional e com a exploração racional dos recursos naturais (WILSON, 1988). Portanto, sustentabilidade, biodiversidade, economia e processos socioambientais, estão inter-relacionados de forma dinâmica, profunda e complexa (CARADONNA, 2014).

### **4.2.1 Bacia do Rio Doce**

#### **VEGETAÇÃO**

Componente essencial de paisagem terrestre e de vital importância para a dinâmica do rio Doce e seus tributários, a vegetação sofreu impactos significativos após o rompimento da barragem. A metodologia utilizada para a identificação da vegetação, foi realizada através de imagens de satélite com excelente resolução, que classificou a vegetação fotossinteticamente ativa (absorção no vermelho) (COPPE, 2017).

Os impactos sobre os remanescentes florestais foram estudados desde a área de rompimento da barragem até a barragem Risoleta Neves. Foram analisados: 125 km de cursos de água; 70 km no rio Gualaxo do Norte; 7 km rio Santarém; 30 km rio do Carmo; 18 km rio Doce. Foram analisadas áreas de vegetação florestal antes do rompimento da

barragem; áreas de vegetação florestal depois do rompimento da barragem; demais áreas afetadas pelo rompimento da barragem (Tabela 3).

Tabela 3 – Quadro-resumo da área de vegetação afetada pelo rompimento da barragem de Fundão.

Superfície	Época	Área Total (ha)	Área afetada (ha)	Variação
Áreas alagadas (Áreas do rio)	Antes do rompimento	662,9		
Vegetação florestal	Antes do rompimento	11.343,00		
Todas as áreas alagadas: área do rio, urbanas, vegetação florestal, agricultura, pastos, campos	Após o rompimento	1.839,50	1.176,10	+277,3
Apenas vegetação	Após o rompimento	10.785,45	457,6	-4,1

As florestas afetadas foram: as florestas ripárias, a floresta estacional semi-decidual nos estágios iniciais e médios de recuperação; as quais contêm 34 espécies nativas endêmicas de Mata Atlântica. Ocorreram impactos expressivos sobre os remanescentes vegetais, notadamente nas florestas ripárias até 74 km distantes do ponto de rompimento da barragem, a partir de onde constatou-se a diminuição de sua intensidade. A perda acumulada em hectares desta vegetação ripária foi de 457.60 hectares (COPPE, 2017).

A perda de vegetação florestal terrestre e da vegetação ripária (vegetação ciliar) resulta num efeito severo sobre a dinâmica ecológica do rio Doce e seus tributários. A vegetação ciliar protege a qualidade de água pela sua capacidade de reter nutrientes e material em suspensão. Além disto a vegetação ciliar fornece matéria orgânica, através de folhas e detritos vegetais que serão importantes no estabelecimento das cadeias alimentares dos rios e tributários. A diversidade da fauna bentônica e da ictiofauna fluvial dependem desta vegetação (TUNDISI & MATUMURA TUNDISI, 2013). O conjunto de impactos do rompimento da barragem sobre a vegetação impulsiona vários efeitos sinérgicos que afetam a qualidade das águas, a diversidade da fauna e o estoque da fauna bentônica e da fauna ictica fluvial.

## PLÂNCTON

Foi conduzido um estudo para avaliar os impactos potenciais da elevação dos níveis de turbidez na produtividade primária, fazendo uso dos dados de clorofila-a obtidos no âmbito dos programas de monitoramento no período de dezembro de 2014 a fevereiro de 2017. Tendo em vista que os resultados abaixo dos limites de quantificação (<0,1; <3; <6; <15; <37,5; <75 µg/L) representaram mais de 80% dos dados coletados, foram empregadas análises estatísticas que consideram dados censurados à esquerda. Ao final, não foram observadas diferenças significativas nos níveis de clorofila-a entre os períodos pré e pós passagem da pluma para as localidades onde existiam dados pretéritos consistentes: Ipatinga, Governador Valadares, Resplendor e Baixo Guandu (APLYSIA, 2017c). Ressalta-se que foram identificadas restrições relativas ao desenho amostral utilizado na geração dos dados e aos métodos analíticos empregados, questões que impuseram limitações na interpretação dos dados existentes.

## FAUNA BENTÔNICA

De acordo com estudos pretéritos, a abundância e diversidade do zoobentos foram pobres ao longo de todo o rio Doce e também em alguns dos seus tributários. Segundo os autores, a situação já era precária antes do rompimento da barragem, ocorrendo à substituição de espécies endêmicas por outras introduzidas (ECONSERVATION, 2016c). A presença de representantes da família *Naididae* (*Oligochaeta*) indica alta contaminação orgânica (COPPE, 2017), resultado do saneamento deficiente do rio Doce em função do despejo de esgotos.

Entretanto, os resultados obtidos após o rompimento da barragem de Fundão evidenciaram que o acúmulo de matéria orgânica e de material resultante do rompimento se distribuíram de forma diferenciada ao longo da bacia, o que foi verificado por meio das diferenças significativas de riqueza, diversidade e dominância de táxons entre as localidades amostradas (COPPE, 2017).

Nas estações mais próximas ao local do rompimento, em Minas Gerais, foi registrada uma menor diversidade (comparados aos locais controle/referência) e ausência de táxons que são sensíveis a uma turbidez mais elevada e que requerem um maior espaçamento

intersticial dos sedimentos (HYDROBIOLOGY, 2018b). Isto é, o rejeito acabou sufocando os ambientes rasos, preenchendo os espaços dos poros e, elevando a turbidez, afetou os organismos filtradores e os que possuem brânquias. No rio Gualaxo do Norte, um dos principais efeitos observados foi a homogeneização do habitat do leito fluvial, o que interferiu nas condições de abrigo, alimentação e locais de desova para a biota aquática (HYDROBIOLOGY, 2018b).

Por outro lado, em avaliação dos dados gerados no período de novembro de 2015 a janeiro de 2017, não foram identificados efeitos negativos sobre os zoobentos amostrados em Aimorés, Baixo Guandu, Colatina e Linhares decorrentes da passagem da pluma de turbidez (APLYSIA, 2017e). Em Regência, a salinidade e os processos de transporte e deposição de sedimentos provavelmente contribuíram para a redução da riqueza e diversidade nos meses subsequentes a chegada da pluma (Figura 64), como reportado na avaliação de efeitos sobre o ecossistema de praia (APLYSIA, 2016). Em geral, foi verificado aumento dos índices ecológicos no período de seca (APLYSIA, 2017e), o que também foi reportado por Econservation (2016c), quando reportou-se um aumento na abundância e diversidade do zoobentos a partir de maio de 2016, relacionado a sazonalidade.

De acordo com análise estatística dos dados do programa de monitoramento da comunidade de zoobentos do rio Doce realizada por Econservation (2016c), verificou-se que a variação na estrutura da fauna esteve mais relacionada com fatores estocásticos ou aleatórios do que propriamente com a composição do sedimento. Por fim, informaram que nenhuma relação foi estabelecida entre a fauna zoobentônica e os teores de metais no sedimento.

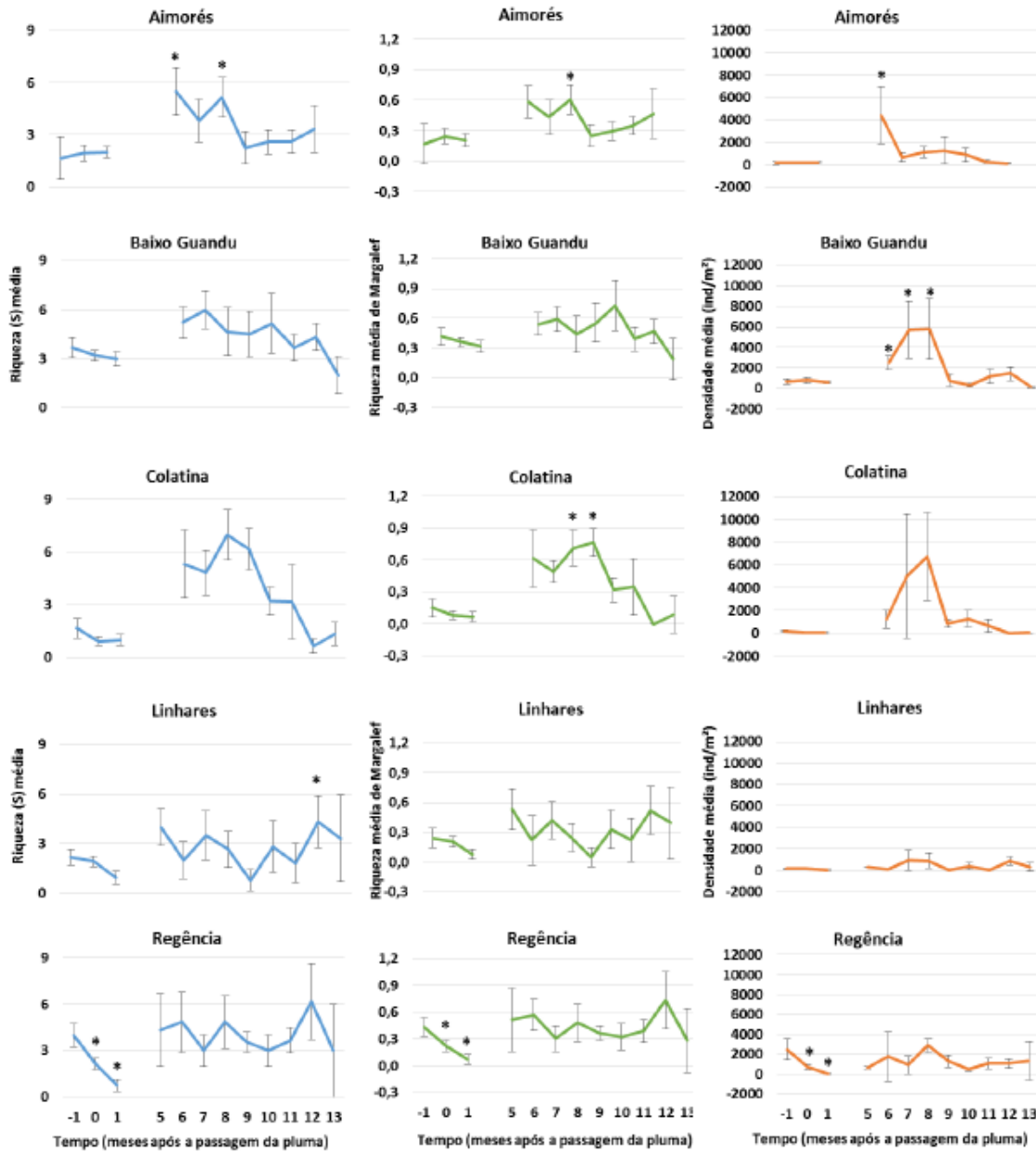


Figura 64. Resultados (médias e desvio padrão) de riqueza (azul), riqueza de Margalef (verde) e densidade (laranja) de macrofauna bentônica do rio Doce ao longo do tempo, sendo -1 valores de background, 0 a 13 os meses após a passagem da pluma de turbidez no respectivo ponto. Fonte: APLYSIA, 2017e.

## ICTIOFAUNA

O rio Doce apresentava, antes do rompimento da barragem, 71 espécies nativas de peixes, sendo 11 ameaçadas de extinção. Portanto, dezenas de espécies nativas faziam parte da ictiofauna fluvial do rio Doce e tributários antes do rompimento. As análises

realizadas após o evento detectaram 31 espécies de 22 gêneros e 18 famílias (COPPE, 2017). Parcela muito reduzida da fauna iictica é de espécies nativas. Duas espécies não nativas: *Oreochromis niloticus* e *Coptodon rendalli* contribuíram com 59% dos espécimens coletadas.

As espécies do gênero *Astyanax spp* são comuns em todos os rios naturais da região, tributários e rios principais. A ausência de *Astyanax spp* nas amostras coletadas é uma evidência da degradação da qualidade da água e perda da biodiversidade de ictiofauna local, dos quais sete espécies são nativas e quatro introduzidas. As listas de espécies, proporções relativas entre nativas e introduzidas, pontos de ocorrência, indicam que a ictiofauna atual do rio Doce, foi comprometida pelo rompimento. Espécies da família *Poeciliidae* (nativa) presentes são resistentes à poluição e áreas degradadas. *Oreochromis niloticus* (tilápia) é uma espécie que mantém robustez e resiliência em condições de contaminação e de crise, o que explica sua dominância após o rompimento da barragem em Mariana (COPPE, 2017).

A redução da biodiversidade de peixes e a alteração na estrutura e composição de espécies evidenciam os impactos produzidos na ictiofauna fluvial: baixa biodiversidade, baixo “standing stock” de ictiofauna. Ausência de espécies indicadores de rios da região neotropical como *Astyanax spp* indicam impactos. Deve-se ainda destacar: alterações das redes alimentares produzidas pelo impacto na fauna iictica, e mudanças no estoque, prejudicando as atividades comerciais de pesca, e alimentação da população regional (COPPE, 2017).

Entretanto, estudo mais recente de acústica realizado em três campanhas entre maio de 2017 e março de 2018, evidenciou sinais de recuperação do estoque pesqueiro em algumas áreas impactadas pela pluma de rejeitos por meio da densidade de biomassa em relação a áreas controle (HIDROBIOLOGY, 2018c).

## 4.2.2 Região Costeira

### MACROALGAS E MANGUEZAL

Não foi observada evidência visual de deposição de rejeitos sobre macroalgas e rodólitos na APA Costa das Algas e na RVS Santa Cruz (GOLDER, 2016x). Reporta-se como pouco provável que impactos letais ou subletais sobre a estrutura e funcionamento das comunidades de macroalgas da APA Costa das Algas e na RVS Santa Cruz tenham ocorrido ou venham a ocorrer, na medida em que, após o rompimento da barragem, não foram observadas mudanças nas concentrações de metais (impacto químico) na região, enquanto que o pulso de elevação de turbidez observado foi de curto prazo e atingiu níveis máximos, que não ultrapassaram a faixa de variação natural pré-evento.

### PLÂNCTON

Os resultados apresentados por Golder (2016d), em que se compara dados pós chegada da pluma à informações pretéritas e aos obtidos no Cruzeiro Oceanográfico do Vital de Oliveira, indicaram um aumento dos valores tanto de clorofila-a quanto feofitina, após a chegada da pluma. Com o evento ocorreu um crescimento fitoplanctônico (ETHICA, 2016) e um aumento da produção zooplanctônica. Neste relatório é dito que espera-se que os padrões observados nas comunidades planctônicas antes da chegada da pluma de turbidez sejam retomados em curto espaço de tempo, uma vez cessados os impactos, pois os estudos indicaram que os efeitos observados denotam um caráter temporário e reversível para estes potenciais efeitos.

### COMUNIDADE BENTÔNICA

Em avaliação dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema praiado, realizada em três campanhas entre novembro de 2015 e janeiro de 2016, além dos ensaios ecotoxicológicos apresentados no subcapítulo anterior, foram conduzidas avaliações ecológicas da macrofauna bentônica. Ao final, observou-se ausência de ecotoxicidade aguda e crônica na água e sedimento, mas por outro lado, a permanência da pluma de turbidez causou alteração sobre a comunidade bentônica (Figura 65), evidenciado por redução no número de espécies e indivíduos na segunda e terceira campanhas (dez/15 e

jan/16), possivelmente em resposta a presença física do material depositado no espaço intersticial do sedimento, já que o potencial químico tóxico não foi observado nos ensaios de laboratório (APLYSIA, 2016).

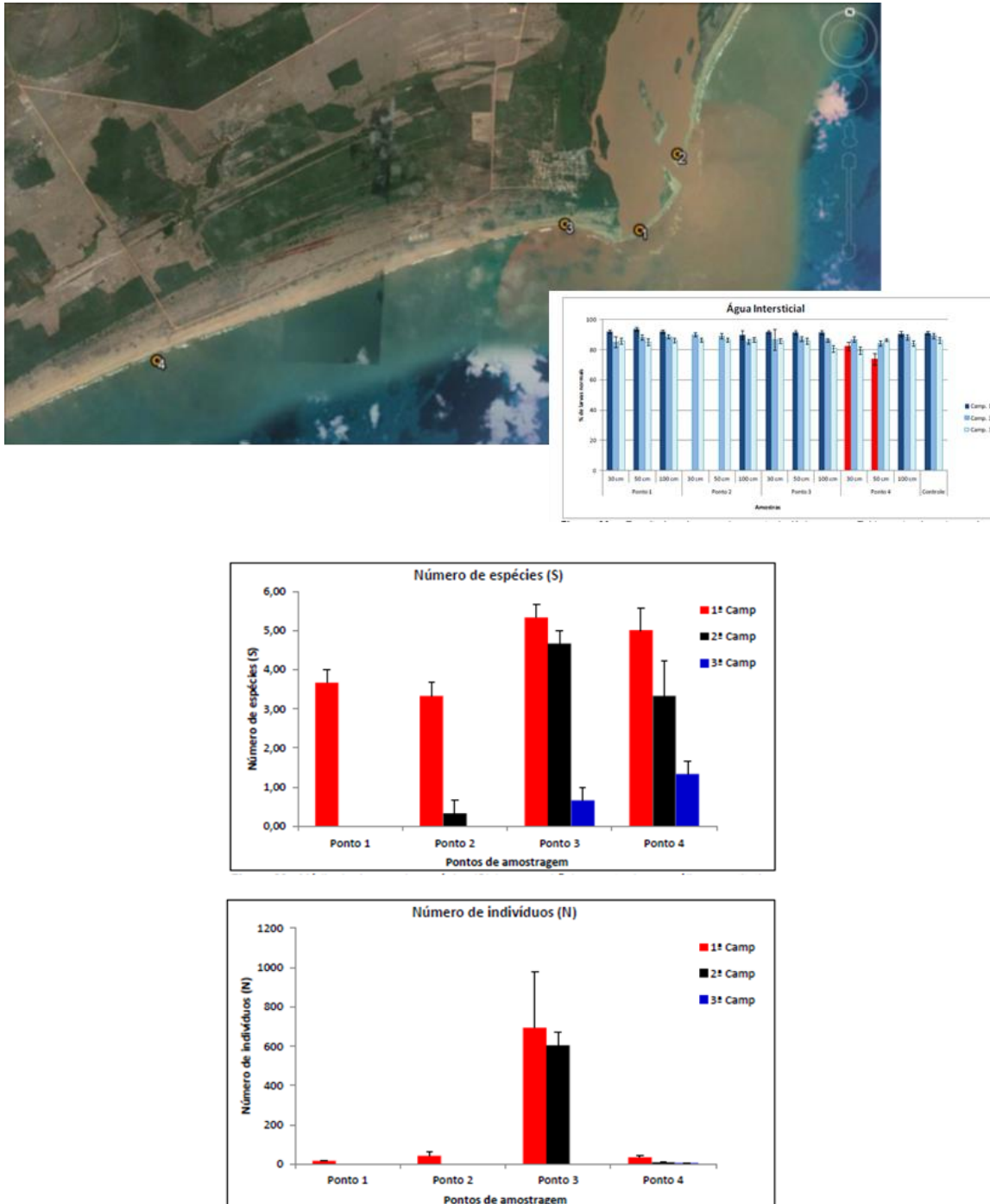


Figura 65. Malha amostral e resultados ecotoxicológicos e ecológicos (média e desvio padrão) obtidos durante monitoramento dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema praial (Rebio de Comboios). Os resultados ecotoxicológicos referem-se a ensaios crônicos com ouriço do mar em matriz de água intersticial coletada em três profundidades; e os resultados ecológicos referem-se ao número de espécies e indivíduos da fauna bentônica amostrados na areia da praia. Fonte: APLYSIA, 2016.

## ICTIOFAUNA MARINHA

Por fim, o monitoramento da ictiofauna na região marinha adjacente à foz do rio Doce, realizado em treze campanhas entre abril de 2016 e abril de 2017, em pontos definidos com base nos resultados da deposição dos sólidos sedimentáveis proveniente da pluma de turbidez, registrou 120 espécies de peixes e apontou 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).

A comunidade iictia dos recifes caracterizados na porção sul do banco de Abrolhos, nas imediações do município de Conceição da Barra/ES, também indicou tendência de redução no número de espécies. O número total de espécies variou de 73 para 35, sendo observada uma drástica redução de carnívoros (51%) e onívoros (71%) com a alteração das redes alimentares (COPPE, 2017). Ressalta-se que esta avaliação foi concebida pela comparação dos dados de apenas uma campanha pós – rompimento da barragem (setembro de 2016) com dados pré-existentes amostrados em 2 campanhas (novembro de 2013 e fevereiro de 2014).

### 4.2.3 Considerações Finais

Os efeitos físicos da água sobre a comunidade biológica, mais intensos logo após o rompimento, ocorreram predominantemente nas porções altas da bacia. Um dos principais impactos no rio Gualaxo do Norte foi à homogeneização do habitat do leito fluvial.

No rio Doce, a biodiversidade terrestre e aquática (plâncton, bentos e peixes) foi fortemente afetada pelo rompimento, no entanto, os resultados das comunidades bentônicas e ictiofauna no rio Doce, bem como da produtividade primária, apontam para um cenário favorável ao reestabelecimento.

No ambiente marinho, foi verificado crescimento do fitoplâncton e aumento da produção zooplanctônica. Foram observados efeitos físicos da pluma sobre a comunidade bentônica de praia nos dois primeiros meses após o rompimento, bem como possíveis alterações na comunidade de peixes marinhos, na região da foz do rio e nas imediações de Conceição



da Barra. Não foram identificados impactos sobre as macroalgas e rodólitos na APA Costa das Algas e na RVS Santa Cruz.

## 5. ASPECTOS RELATIVOS A BIOACUMULAÇÃO

Para esse assunto, uma maior atenção foi dada, e portanto o capítulo foi subdividido em 5 partes, sendo elas: avaliação crítica dos métodos analíticos, cenário de bioacumulação no rio Doce e em ambiente marinho, indícios de relação causa efeito dos valores encontrados com o rompimento da barragem de Fundão e risco humano.

### 5.1 AVALIAÇÃO CRÍTICA DOS MÉTODOS ANALÍTICOS

A avaliação crítica dos métodos de análise foi conduzida para determinar se os documentos constantes no escopo deste estudo forneciam informações confiáveis que pudessem ser usadas para determinar a necessidade de uma proibição continuada de pesca no rio Doce ou nas áreas costeiras vizinhas.

Com este objetivo foram contemplados para análise exclusivamente os documentos que apresentaram relação direta com a proibição da pesca e portanto esta avaliação foi voltada predominantemente às matrizes biológicas: peixes e mariscos. No entanto, alguns estudos conduzidos pela FURG, cujo escopo envolveram análises complementares em água, também foram brevemente considerados.

#### 5.1.1 Análise de Água

Foi constatada ausência de informações acerca da metodologia empregada para análise de água nos estudos conduzidos pela FURG, entre 2015 e 2017, a saber:

- Ausência de informação sobre a limpeza prévia do material para análise de traços e brancos;
- Falta de informação sobre guincho, cabo e garrafa de coleta. Não foi feita referência sobre o tipo de garrafa utilizada e qual o processo de abertura e transferência para frascos menores. Também não foi descrito o modo de estocagem e transporte aos laboratórios para análise;

- O volume coletado foi de 10 mL de água, o que é muito reduzido e pode levar facilmente a erros. Volumes maiores (500 mL), de acordo com o que consta em métodos padronizados pela oceanografia química e para análise de metais traços e seus isótopos em águas oceânicas (WINDOM et al, 2006), são recomendados;
- A manipulação a bordo deve ser feita em ambiente limpo, executado em capela portátil ou aparato similar, que garanta a ausência de contaminação pelo meio flutuante;
- Não há descrição sobre a execução da acidificação a bordo, que é uma etapa complicada e pode levar facilmente a contaminação;
- Resina Chelex 100<sup>R</sup> ou similar, como a Toyopearl<sup>R</sup>, é a mais indicada a ser usada;
- Filtração a bordo: para elementos traços dissolvidos na *água do mar* a metodologia preconiza filtro de 0,2 µm e não o de 0,45 µm. O método usado nestes relatórios como referência é o de Nadella et al. (2009). Este trabalho está publicado em *Comparative Biochemistry and Physiology*, jornal especializado em estudos de toxicidade de metais e afins. Não é um método indicado para análise de traços no ambiente marinho. Para tal, indicamos: 1. Windom et al., 2006. *Marine Chemistry*, Vol 102, p.252-266) ou 2. “Cook book” elaborado por Greg Cutter (ed) (2014) *Sampling and sample-handling protocols for GEOTRACES cruises* (In [www.geotraces.org](http://www.geotraces.org) e, ainda, 3. Várias referências extraídas do Livro Série 22 do Instituto do Milênio, Avaliação Ambiental de Estuários Brasileiros – Diretrizes Metodológicas;
- Ausência de apresentação de carta de controle de qualidade do laboratório analítico. Os Limites de Detecção e Quantificação dos métodos, bem como exatidão e precisão baseada no uso de material de referência certificado.

### 5.1.2 Análise de Material Biológico

Na Tabela 4 é apresentado um quadro resumo contemplando a análise de consistência metodológica dos principais estudos de bioacumulação na bacia do rio Doce e em ambiente costeiro e marinho, realizada a partir de critérios técnicos relevantes para avaliações desta natureza, tais como: preparo das amostras, existência de controles

analíticos, emprego de ensaios de recuperação por lote de análises, dentre outros. Foram aqui contemplados estudos com dados primários.

Dentre os documentos examinados, os estudos da APLYSIA (2017d), Econservation (2016b) e Hydrobiology (2016) atenderam aos critérios de avaliação metodológica. Por outro lado, BIOMA (2016) e UFVJM (2017) apresentaram omissões ou inconsistências metodológicas generalizadas que podem ter comprometido os resultados e por consequência prejudicado a comparação com os demais estudos. Por esta razão, a análise crítica da metodologia foi interrompida nesta etapa e informações metodológicas resumidas acerca destes estudos serão apresentadas para fim de contextualização na apresentação dos cenários de bioacumulação, nos subcapítulos subsequentes.

Tabela 4 - Quadro resumo com os principais critérios empregados na avaliação de consistência metodológica dos estudos analisados

Referência	Preparo das amostras	Controles analíticos	Conversão de unidade	Ensaio de recuperação por lote	Estatística	Dados brutos
APLYSIA, 2017d						
BIOMA, 2016						
ECONSERVATION, 2016b						
FURG, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017, 2018						
HIDROBIOLOGY, 2016					NA	
RENOVA, 2018					NA	
UFVJM, 2017						

Legenda: cor vermelha retrata a observação de inconsistência ou ausência de informação, cor amarela representa informação apresentada na forma de dados brutos (não estruturados), e a cor branca significa conformidade em relação ao critério específico. NA: não se aplica pela natureza do estudo.

O estudo de Econservation (2016b) atendeu aos critérios metodológicos analíticos, no entanto, em atividade de validação e organização dos dados brutos, fazendo uso de ferramenta de análise de dados, foram identificadas as seguintes inconsistências:

- incompatibilidade na descrição de determinados locais de amostragem com as respectivas coordenadas geográficas, o que acarretou no descarte de aproximadamente 5% dos dados (20/407) (Figura 66);

- divergência na identificação da espécie de ostra, ora reportada como *Crassostrea gigas*, ora como *Crassostrea rhizophorae*, o que gera incertezas no uso da informação;
- presença de possíveis *outliers* nas concentrações de metais em alguns indivíduos, o que pode dificultar a identificação de eventuais padrões na análise global dos dados de cada parâmetro (Tabela 5);
- existem muitos dados abaixo do Limite de Quantificação ou de Detecção do Método, entretanto estas informações deveriam estar presentes na mesma planilha dos dados brutos.

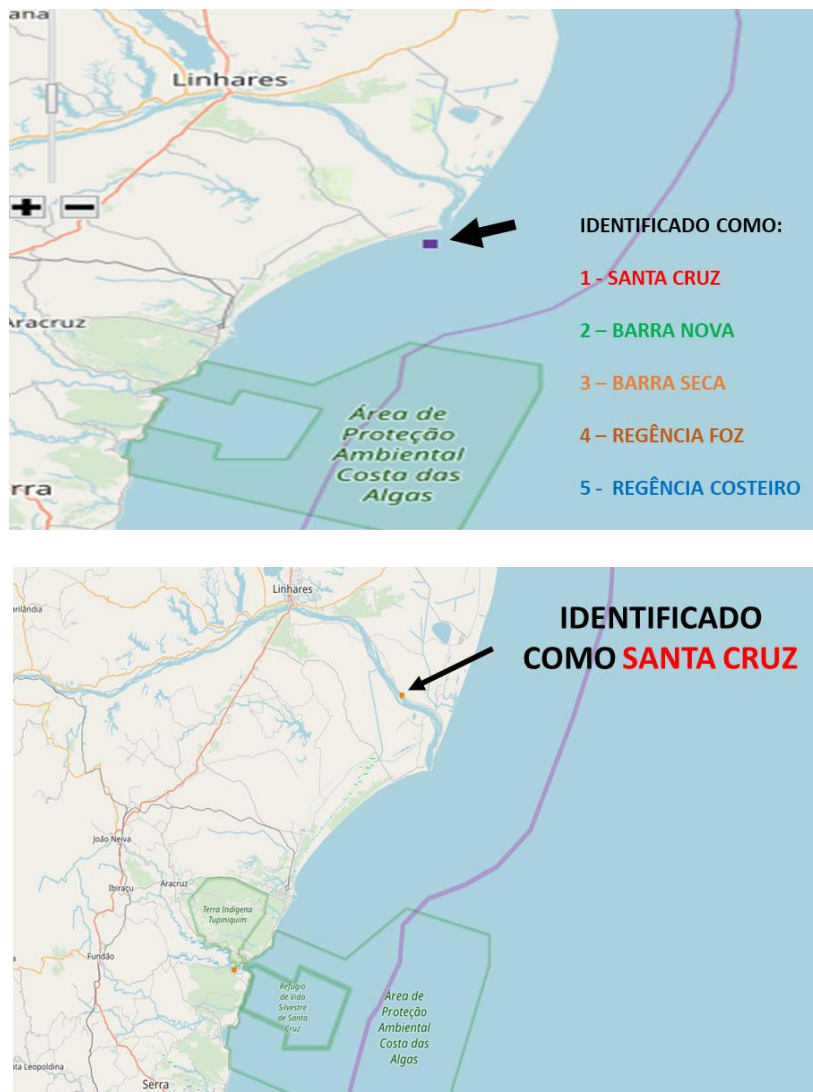


Figura 66. Imagens ilustrando a incompatibilidade entre as coordenadas geográficas e a denominação dada aos pontos de amostragem nas planilhas de dados brutos de Econservation. Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016b.

Tabela 5 - Presença de possíveis *outliers* nas concentrações de metais para algumas espécies de peixes amostrados em Econservation. Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016b.

Espécie	Local	Código	As mg/kg
<b>Genidens genidens</b>	Regência Interior	C162842	0,0
<b>Genidens genidens</b>	Regência Interior	C162843	0,4
<b>Genidens genidens</b>	Regência Interior	C162845	<b>17,5</b>
<b>Genidens genidens</b>	Regência Interior	C162846	0,1
<b>Genidens genidens</b>	Regência Interior	C162847	0,1

Embora tenham sido encontradas as inconsistências supracitadas, o estudo demonstrou efeitos que seriam esperados com base em uma ampla base de literatura publicada sobre as concentrações de metais em frutos do mar. Por exemplo, a observação de que a concentração média de arsênio no camarão é maior do que a concentração no tecido muscular do peixe é consistente com as observações esperadas (TAYLOR et al., 2016; YOST et al., 2004; SCHOOF et al., 1999; NEFF, 1997). De fato, as concentrações de arsênio relatadas por Econservation (2016b) não são inconsistentes com um resumo de arsênio em peixes, bivalves e crustáceos compilados para amostras coletadas em todo o mundo (NEFF, 1997). Esses tipos de descobertas “esperadas” conferem mais credibilidade ao estudo e aos resultados relatados.

Como em qualquer estudo, existem outras limitações associadas ao relatório da Econservation (2016b) que não foram resolvidas, sobre o curto período de tempo da coleta - se os resultados indicam apenas um breve “instantâneo” do período de 8 semanas do estudo ou se esses resultados indicam condições estáveis. A questão sobre as tendências contínuas das concentrações de metais em peixes e moluscos com o tempo só poderia ser respondida por um estudo adicional (os planos são sugeridos no relatório).

No caso dos documentos gerados pela FURG, foram apresentados os mesmos valores dos padrões NIST, até quando reportados resultados de campanhas distintas, sugerindo que este controle analítico pode não ter sido específico para cada rodada de ensaios realizados (Tabela 4). Diante deste cenário, destacam-se as seguintes observações sobre o preparo de amostra da FURG:

- a secagem foi realizada em estufa, que é composta de metal e muitas vezes possui oxidação interna, o que pode ser uma relevante fonte de contaminação das amostras. Por isso, a recomendação é usar o processo de liofilização;
- a metodologia de digestão deve ser aplicada de forma igual para as amostras, brancos, padrões e padrões certificados, sendo recomendado o uso de frascos de Teflon em equipamentos de microondas laboratorial. No relatório é apresentado que somente os materiais de referência foram digeridos em microondas.

Sobre a apresentação dos resultados da FURG e Econservation, com exceção da comunicação datada de junho de 2018 (FURG, 2018), observou-se o agrupamento das espécies. Tal decisão traz consequência negativa quanto ao tipo de informação que pode ser extraída para compreender o processo de bioacumulação, tais como:

- taxa de acumulação em relação ao tamanho/peso;
- sazonalidade das espécies;
- espécies de curto e longo prazo de vida;
- posição das espécies na cadeia trófica;
- hábitos alimentares;
- sexo e
- posição das espécies na coluna d'água.

Nos relatórios da FURG, observou-se ainda agrupamento dos pontos amostrais e não se considerou os padrões de qualidade para consumo definidos no Decreto 55.871/65. Além disso, as interpretações geradas pela equipe da FURG não pareceram ser suportadas por análises estatísticas, uma vez que não foi tratado do assunto na descrição metodológica. Ressalta-se que a indisponibilidade dos dados brutos dos estudos da FURG foi um dos principais limitantes para se responder as questões apresentadas inicialmente.

No estudo conduzido pela Fundação RENOVA, não ficou claro se o padrão NIST e os brancos foram rodados paralelamente a cada lote de ensaios analíticos. Os limites de quantificação adotados pelo laboratório para as análises de chumbo e cromo excederam os respectivos padrões estabelecidos no Decreto 55.871/65. Com isso, não foi possível concluir sobre o perigo a saúde relacionado a estes dois elementos e verificar, por

exemplo, se as concentrações mais elevadas de cromo, reportadas nos estudos supracitados (BIOMA: <0,2mg/kg a 0,927mg/kg; APLYSIA: 0,96mg/kg a 2,81mg/kg), estariam condizentes com o encontrado no período final de 2017- início de 2018. Também não foi considerado no *design amostral* a capacidade de deslocamento dos peixes na definição das áreas afetadas e não afetadas, bem como não se considerou o tamanho e peso dos indivíduos como critério de relevância visando a ingestão humana.

### 5.1.3 Considerações Finais

A avaliação da consistência metodológica dos estudos de bioacumulação revelou que a maioria deles contém limitações que impedem a sua utilização para determinar a qualidade do pescado ou a segurança da pesca. As principais limitações identificadas incluíram:

- **Garantia de Qualidade de Dados/Controle de Qualidade:** Todos os relatórios técnicos que transmitem dados analíticos devem incluir uma descrição dos componentes de GQ / CQ incluídos na avaliação das amostras. Isso deve incluir uma descrição de métodos de amostragem, analíticos e medidas de controle de qualidade, como brancos analíticos, picos, réplicas e materiais de referência padrão. Sem esses componentes de um pacote de dados, não é possível avaliar a precisão ou exatidão dos dados relatados. Quanto a análise de água marinha, verificou-se o emprego de técnica não padronizada, com digestão em estufa (em vez de uso de microondas) e alta diluição da amostra, o que eleva a probabilidade de qualquer contaminação;
- **Objetivos da Qualidade de Dados:** Todos os esforços de pesquisa devem especificar os objetivos dos esforços antes de iniciar a coleta de amostras. Isso evita problemas como gerar dados com um limite de detecção inadequado (por exemplo, incapacidade de detectar concentrações abaixo de um limite de interesse) e assegura que o desenho do estudo fornecerá dados para abordar a hipótese científica (por exemplo, comparações de antes e depois ou áreas contaminadas e não contaminadas). Os objetivos também podem ditar as análises estatísticas ou outras medidas usadas para interpretar os resultados e apoiar as conclusões;

- **Relatório de dados:** em alguns relatórios, apenas dados resumidos foram fornecidos e/ou apenas concentrações médias foram relatadas, sem intervalo indicado. Em alguns casos, estes incluíram dados médios nos tecidos nos locais de amostragem, tanto dentro como fora da pluma ou em área de proibição de pesca. E, para alguns relatórios, as concentrações de tecido de peixes foram relatadas apenas como a fração que excedeu os limites regulatórios (ANVISA), mas as concentrações reais não foram apresentadas. Alguns relatórios fornecem apenas dados em números;
- **Inconsistências dentro ou entre os estudos:** A falta de relatórios de dados completos em muitos estudos (como discutido nos itens acima) prejudicou a capacidade de combinar dados em estudos ou mesmo fornecer uma comparação robusta dos estudos. Inconsistências que surgiram entre os estudos, ou mesmo dentro de um determinado estudo, são impossíveis de resolver sem mais informações. Exemplos de inconsistências que emergem de uma ampla revisão de todos os estudos juntos incluem fatores como a descoberta de que as concentrações de metais antes da chegada da pluma eram maiores do que após a pluma. Por exemplo, o resumo de dados anteriores à ruptura da barragem (APLYSIA, 2016) indica concentrações de arsênio em peixes e mariscos que excedem os limites da ANVISA, mas alguns estudos realizados após a ruptura sugerem concentrações de arsênio consistentemente abaixo do limite da ANVISA. Mais especificamente, por exemplo, dados de pré-ruptura da APLYSIA (2016) indicam que 23% das amostras de tecido de peixes excederam o limite da ANVISA de 1 mg/kg, enquanto FURG (2016) relata que menos de 1% as amostras coletadas em abril de 2016 (3 de 316 amostras de peixes) superaram o critério da ANVISA. Não faz sentido que as concentrações após a ruptura sejam menores do que antes da ruptura. Algumas das diferenças entre os valores relatados em diferentes estudos podem estar relacionadas a diferenças nas espécies capturadas, uma questão que destaca ainda mais a necessidade de verificar quais espécies contribuem para as exposições humanas. Como os diferentes estudos relatam resultados inconsistentes, não é possível formar uma conclusão com base no peso das evidências de todos os estudos juntos.

Os critérios para avaliação de bons estudos não são métricas subjetivas que permitem selecionar ou descartar arbitrariamente determinados estudos. Em vez disso, esses critérios fornecem métricas significativas pelas quais a integridade científica pode ser avaliada por um revisor externo e fornecer transparência. Isso não quer dizer que se pode supor que os dados são ruins se um estudo não atender a esses critérios, apenas que não se pode confiar na conclusão de um estudo se esses critérios não forem cumpridos. Um exemplo de um “Plano de Projeto de Garantia de Qualidade” (PPGQ) muito detalhado para um evento de amostragem de peixes é anexado como ANEXO IV, para referência.

## 5.2 CENÁRIO DE BIOACUMULAÇÃO NO RIO DOCE

Em fevereiro de 2016 é apresentado o primeiro relatório referente a avaliação de acumulação de elementos químicos (alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel e zinco) em peixes, abrangendo como área de estudo o trecho do rio Doce nos limites do estado do Espírito Santo (BIOMA, 2016). No documento é informado que os exemplares foram obtidos em períodos pré e pós passagem da pluma, sem reportar claramente os períodos de amostragem. Os resultados apontam para concentrações de cromo em desacordo com o padrão de qualidade de pescado em todas as espécies, pontos e períodos (antes e após passagem da pluma). No entanto, tais dados serão considerados com ressalvas por não estarem disponíveis quaisquer informações relativas a metodologia analítica empregada e tão pouco apresentados os dados brutos, ou seja, não foram evidenciados os controles inerentes ao preparo das amostras, uso de branco, material de referência, taxas de recuperação, dentre outros. A ausência dos dados brutos também dificulta a análise de consistência dos resultados apresentados.

Por outro lado, dados apresentados em julho de 2017 pela APLYSIA, referente a análise de bioacumulação de metais e semi-metal (alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel e zinco) em bivalve de água doce do gênero *Corbicula*, coletados antes (8 de novembro de 2015) e após a passagem da pluma (24 a 26 de maio de 2017) em diferentes pontos do rio Doce no estado do Espírito Santo, se assemelham aos resultados obtidos para os peixes no estudo conduzido pela BIOMA (2016) por evidenciarem concentrações somente para o cromo em desacordo com o

padrão de qualidade tanto em momento anterior quanto posterior a passagem da pluma (APLYSIA, 2017d). Neste estudo foram descritos os procedimentos metodológicos, contemplando os controles de qualidade analíticos inerentes.

Em agosto de 2016, a Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri realizou avaliação da contaminação (arsênio, cádmio, chumbo e mercúrio) em 14 peixes coletados na região do médio rio Doce (UFVJM, 2017). Apesar de acusada contaminação por mercúrio, chumbo, cádmio e arsênio, os resultados serão tratados com ressalvas por não terem sido apresentados os controles de qualidade analíticos típicos de estudos desta natureza (descrição do método de digestão das amostras, uso de padrão de referência internacional, taxa de recuperação). Além disso, foram apresentados os dados brutos para cada exemplar, os quais foram analisados em duplicata (2 amostras retiradas de cada indivíduo). Os resultados das duplicatas se mostraram expressivamente discrepantes, variando por exemplo de 0,006 a 0,813 mg/kg de Cd num espécime de dourado, de 0,645 a 1,968 mg/kg de As num mandi, e de 0,105 a 0,513 mg/kg de Pb num mesmo exemplar de curvina.

Por fim, em agosto de 2018 foi consolidada pela Fundação RENOVA a avaliação de metais (alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel, prata e zinco) e arsênio em peixes (268 indivíduos) coletados ao longo do rio Doce em 30 pontos de Barra Longa/MG a Linhares/ES, contemplando amostragens no período de outubro de 2017 a abril de 2018. Neste estudo, não foram registradas desconformidades nas concentrações de metais e arsênio em nenhuma das amostras avaliadas em relação aos padrões de qualidade voltados ao consumo humano, em que pese a limitação imposta pelos limites de quantificação empregados para o chumbo e cromo. Na conclusão, remete-se a necessidade de continuidade dos estudos visando imprimir representatividade geográfica, atribuindo maior quantidade de indivíduos por espécie/estação; aspectos os quais concordamos e por essa razão (poucos indivíduos por espécie) não se avançou com a análise complementar fazendo uso dos dados brutos.

### **5.3 CENÁRIO DE BIOACUMULAÇÃO NA REGIÃO COSTEIRA**

Os estudos que suportam (espacial e/ou temporalmente) mais amplamente a análise do pescado para o ambiente costeiro e marinho foram conduzidos pela Universidade Federal

do Rio Grande (FURG, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2017, 2018), com a realização de 8 campanhas de monitoramento entre outubro de 2015 e início de 2018; e num período mais restrito e próximo a chegada da pluma, pela ECONSERVATION (2016b), com a realização de 8 campanhas semanais entre dezembro de 2015 e fevereiro de 2016.

A área de estudo abrangeu desde a foz do rio Doce até a região de Abrolhos/BA ao norte e Guararari/ES ao sul (FURG, 2016c). No caso da Econservation, a área restringiu-se de Barra Nova, São Mateus/ES, a Santa Cruz, Aracruz/ES. Foram analisados tecidos de moluscos, crustáceos e peixes de diferentes espécies.

Em que pese a existências de algumas lacunas de informação metodológica, assumiu-se como verdadeiros os dados gerados para prosseguimento da análise:

- FURG: Para as amostras coletadas antes da chegada da pluma de turbidez (out-nov/2015), os resultados não foram comparados com os padrões de qualidade para consumo humano (FURG, 2016d). No entanto, extrai-se dos gráficos apresentados que os valores encontravam-se em níveis relativamente baixos para a maioria dos parâmetros analisados. Em janeiro de 2016, após a chegada da pluma de turbidez na costa, a maioria dos resultados excederam os padrões para arsênio, cádmio e chumbo (FURG, 2016b); já em abril de 2016, 99% das amostras estiveram em conformidade, evidenciando expressiva redução na concentração dos metais ao longo de 3 meses (FURG, 2016c). Com as campanhas de dezembro de 2016 e setembro de 2017 foi consolidado aproximadamente 2 anos de monitoramento após a chegada da pluma, quando foram registradas na região da foz do rio Doce e adjacências concentrações mais baixas de arsênio e chumbo, entretanto, valores elevados de cádmio e cromo em setembro de 2017, o que foi relacionado à influência dos eventos meteorológicos no período de inverno (FURG, 2017). Níveis elevados de arsênio em peixes e moluscos, inclusive superiores ao padrão de qualidade para o consumo (18% das amostras de peixes e 65% de moluscos), foram registradas na costa capixaba mesmo antes do rompimento da barragem (APLYSIA, 2017b) e devem servir de balizamento frente aos resultados obtidos neste monitoramento. Ressalta-se que, de acordo com posição oficial da ANVISA (ANEXO II), o cromo apresenta limite máximo de tolerância estabelecido no

Decreto 55.871/65 (0,1 mg/kg), apesar de não estar sendo observado no relatório da FURG. Por fim, na campanha amostral realizada no período de verão 2017-2018 (FURG, 2018), foi observado declínio nos valores de cádmio e cromo para patamares similares ou inferiores aos padrões de qualidade e manutenção dos demais contaminantes inorgânicos em conformidade com os respectivos padrões, bem como similaridade nos valores obtidos dentro e fora da área de proibição de pesca. Com base nos últimos resultados, apresentados na 23ª Reunião Ordinária da CT-BIO/CIF em junho de 2018, o responsável pelos estudos apresenta a perspectiva de revisão da área de proibição da pesca na região costeira.

- **ECONSERVATION:** As oito campanhas semanais realizadas neste estudo estiveram restritas entre dezembro de 2015 e fevereiro de 2016. Os resultados indicaram concentrações elevadas de arsênio e selênio nos tecidos de peixes, crustáceos e moluscos, em desacordo com os padrões de qualidade de consumo para a maioria das amostras analisadas, tanto nos locais próximos quanto aos mais afastados da foz do rio Doce. Nas ostras não foi verificada variação espacial para estes dois parâmetros e para camarão, as concentrações de arsênio e selênio foram menores em Santa Cruz em relação aos demais pontos. Não foram verificadas variações temporais para o período. O cádmio e o chumbo, presentes em níveis elevados nas amostras de tecidos processados pela FURG no mesmo período, não acusaram como fontes de perigo no presente estudo. Ao final, foi ressaltada a importância de se realizar análises específicas de arsênio para segregar a fração orgânica da inorgânica, uma vez que as formas apresentam níveis de toxicidade bastante distintos (ECONSERVATION, 2016b).

### 5.3.1 Avaliações Complementares

Complementarmente às análises realizadas, os dados brutos do estudo da ECONSERVATION (2016b) foram reavaliados com objetivo de identificar algum padrão por espécie amostrada, enfatizando os principais parâmetros que estiveram em desacordo: arsênio e selênio.

De início, em atividade de validação e organização dos dados, foram descartados os dados considerados inconsistentes, conforme item 5.1.2. Posteriormente, foi avaliada a

representatividade espacial e temporal das espécies de peixes, ostra e camarão com vistas ao estabelecimento de indicadores. Foi contabilizada a frequência de ocorrência de cada espécie, representada pelo número de pontos amostrais (análise espacial) e semanas (análise temporal). As espécies de peixes *Eugenes brasilianus* (8 semanas), *Paralanchurus brasiliensis* (7 semanas), *Genidens genidens* (7 semanas) e *Bagre bagre* (6 semanas) apresentaram a maior representatividade temporal e portanto foram objeto de aprofundamento de análise.

Foi considerada a premissa de que a pluma de turbidez esteve presente em todos os pontos amostrais em parte ou em toda a série histórica, o que foi sugerido pela avaliação *in situ* realizada durante as amostragens do pescado. Dessa maneira, tendo em vista que todos os pontos amostrais estiveram em algum momento submetidos ao efeito da pluma de turbidez, esses foram agrupados em um único conjunto de dados. Em seguida, para cada espécie foi feito o cálculo da média e desvio padrão de arsênio e selênio em cada semana do monitoramento. Os resultados médios semanais não indicaram tendências de aumento ou redução das concentrações de arsênio e selênio ao longo das 8 semanas (Figura 67).

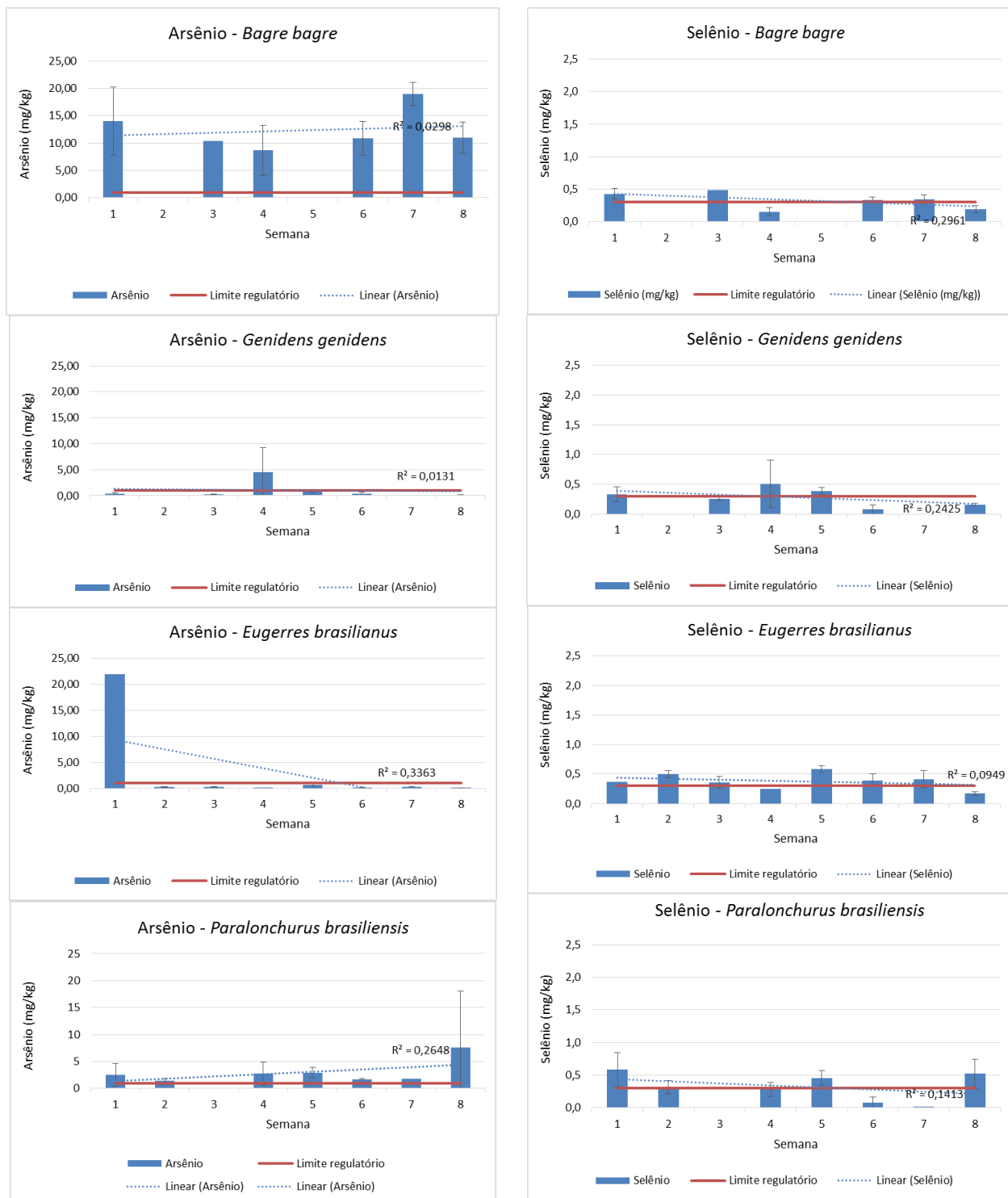


Figura 67. Ilustração das concentrações médias e desvio padrão de arsênio e selênio ao longo das 8 semanas, para *Bagre bagre*, *Genidens genidens*, *Eugerres brasilianus* e *Paralonchurus brasiliensis*, respectivamente. Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016b.

Em relação a análise espacial, são apresentados na Tabela 6 os locais onde cada espécie foi encontrada. O camarão *Xiphopenaeus kroyeri* foi o organismo com maior representatividade espacial e, somada a característica de locomoção restrita, foi o grupo escolhido para proceder esta avaliação. A região de Santa Cruz foi a única que apresentou concentrações significativamente menores de arsênio (Kruskal Wallis,  $p < 0,05$ ) (Figura 68), o que não se repetiu para o selênio.

Tabela 6 - Locais onde foram amostradas as 4 espécies de peixes selecionadas, as ostras e camarões. Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016b.

Espécies	Grupo biológico	Barra Nova	Barra Seca	Regência (Foz)	Regência (Costeiro)	Barra do Riacho	Santa Cruz
<i>Crassostrea sp</i>	O						
<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	C						
<i>Bagre bagre</i>	P						
<i>Paralonchurus brasiliensis</i>	P						
<i>Eugerres brasilianus</i>	P						
<i>Genidens genidens</i>	P						

Legenda: a cor cinza representa os locais onde a espécie foi amostrada. O = ostra, C = camarão, P = peixe.

Ao avaliar a bioacumulação de arsênio e selênio entre as espécies de peixes foram encontradas diferenças significativas entre elas para o arsênio (Figura 69). Foi identificado que *B. bagre* apresentou as maiores concentrações médias significativas de arsênio, seguido por *P. brasiliensis*. Os teores mais elevados de arsênio em *B. bagre* possivelmente estão relacionados ao hábito alimentar carnívoro, que concentra esse elemento via teia alimentar e ao hábito demersal, que configura afinidade com o sedimento.

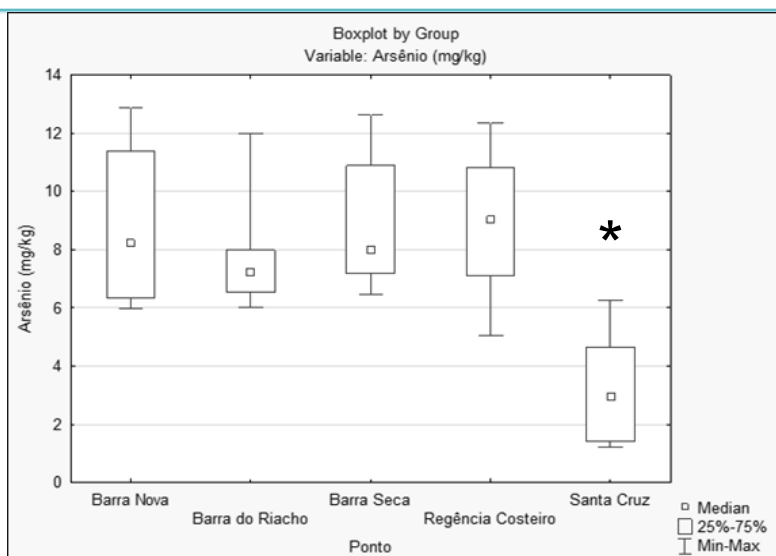


Figura 68. Variação da concentração de arsênio em camarão nos pontos amostrais durante a série histórica do monitoramento na região marinha adjacente à foz do rio Doce. \*Diferença estatisticamente significativa em relação aos demais pontos. Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016b.

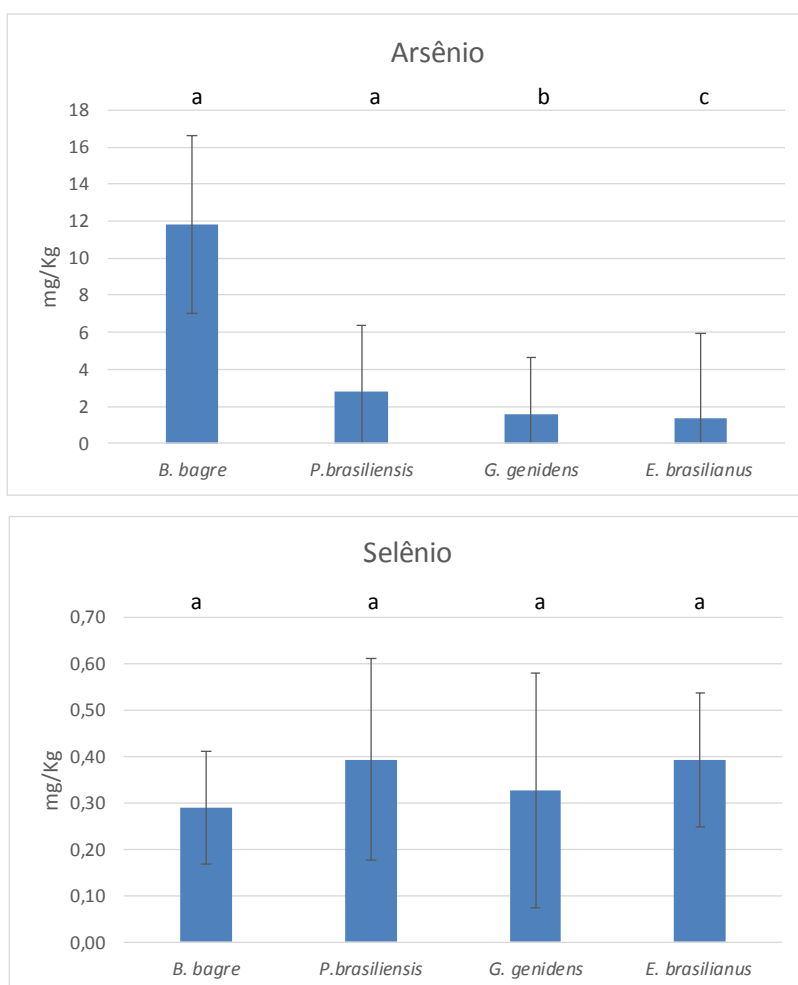


Figura 69. Concentrações médias e desvio padrão de arsênio e selênio por espécie de peixe amostradas entre dezembro de 2015 e fevereiro de 2016. Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016b.

### 5.3.2 Considerações Finais

A grande maioria dos estudos objeto desta avaliação foram realizados sob o conceito da comparação das concentrações de contaminantes com os padrões estabelecidos em normas brasileiras, a saber Resolução RDC ANVISA nº 42/2013 e Decreto 55871/1965. Assumindo como verdadeiros os últimos resultados referentes às concentrações de contaminantes em pescado, gerados na região da foz do rio Doce e zona costeira adjacente pela FURG (2018), enquanto os valores de arsênio e chumbo reduziram com o tempo, os níveis de cádmio e cromo aumentaram até a campanha de setembro de 2017 e decaíram, atingindo níveis similares ou inferiores aos padrões de qualidade para consumo humano no início de 2018.

A partir desta linha de evidência, é necessário destacar que as análises químicas representam a concentração total dos elementos nos tecidos biológicos, não diferenciando a fração orgânica da inorgânica. Tomando o arsênio como referência, a arsenobetaína é a forma orgânica mais abundante em peixes, caranguejos, lagostas e camarões; e representa a maior fração do arsênio total (EMBRAPA, 2016). Dados de especiação química gerados pela Hydrobiology (2016) em amostras de peixes, moluscos e peixes da região da foz do rio Doce corroboram tal afirmação ao evidenciarem redução a patamares inferiores aos padrões de qualidade quando medidos na sua fração inorgânica. Peshut et al. (2008) destacam a importância das análises de especiação de arsênio, visto que a toxicidade é variável dependendo da forma química presente no organismo. Conforme estudos sobre a toxicidade do arsênio, a forma orgânica é relativamente estável, não apresentando efeito tóxico aos seres humanos (ANVISA, 2016). Pelo exposto, a análise da forma total não é suficiente para inferir riscos à saúde humana.

Além disso, a abordagem comparativa empregada nos estudos configura avaliação de perigo, uma vez que são consideradas as características intrínsecas de cada contaminante, mas não engloba os diferentes níveis de exposição a que as pessoas estão submetidas. A análise de risco já considera os cenários de exposição e foi apresentada na Nota Técnica elaborada pela ANVISA em maio de 2016, a qual será objeto de avaliação no subcapítulo subsequente.

## 5.4 INDÍCIOS DE RELAÇÃO CAUSA – EFEITO

Com base nas análises de qualidade de água realizadas pelo órgão ambiental do estado do Espírito Santo (IEMA, 2017), as quais contemplaram dados de novembro de 2015 a agosto de 2017, amostrados em 5 pontos de coleta, observou-se que 4 parâmetros monitorados possuem relação direta com o rejeito:

- alumínio dissolvido,
- ferro dissolvido,
- manganês total e
- turbidez.

Elementos extraídos dos dados brutos de Econservation (2016b) contribuem para o estabelecimento da relação causa-efeito, usando como base as concentrações de metais no tecido animal. A espécie de bagre *Genidens genidens* foi capturada tanto na foz do rio Doce quanto na região costeira adjacente, formando um breve gradiente espacial na região estuarina. A análise dos resultados obtidos para esta espécie indicou que as concentrações de ferro (principal constituinte do rejeito) foram mais elevadas nos peixes amostrados na foz do rio em relação a região costeira (T-test,  $p=0,018$ ), enquanto o inverso ocorreu para as concentrações de arsênio e selênio (Mann-Whitney,  $p=0,008$  para ambos) (Figura 70). Estas diferenças podem representar origens distintas dos contaminantes.

Informações compiladas pela APLYSIA (2017b) evidenciam a ocorrência de níveis elevados de arsênio em peixes e moluscos na costa capixaba, inclusive superiores ao padrão de qualidade para o consumo (18% das amostras de peixes e 65% de moluscos), mesmo antes do rompimento da barragem (Figura 71).

O mesma ausência de relação causa-efeito evidenciada para o arsênio e selênio puderam ser verificadas para o cromo. Ainda que pontualmente, as maiores concentrações de cromo registradas no molusco de água doce do gênero *Corbicula* ocorreram no rio Doce, no ponto amostral próximo a Colatina, em momento anterior a passagem da pluma de turbidez (APLYSIA, 2017d) (Figura 72). Além disso, o trabalho de Furley (2016) evidenciou que os níveis deste metal em molusco *Perna perna*, bem como do arsênio, já excediam

aos padrões de qualidade para consumo na região de Setiba, Guarapari/ES, entre novembro de 2014 e agosto de 2015 (Figura 73).

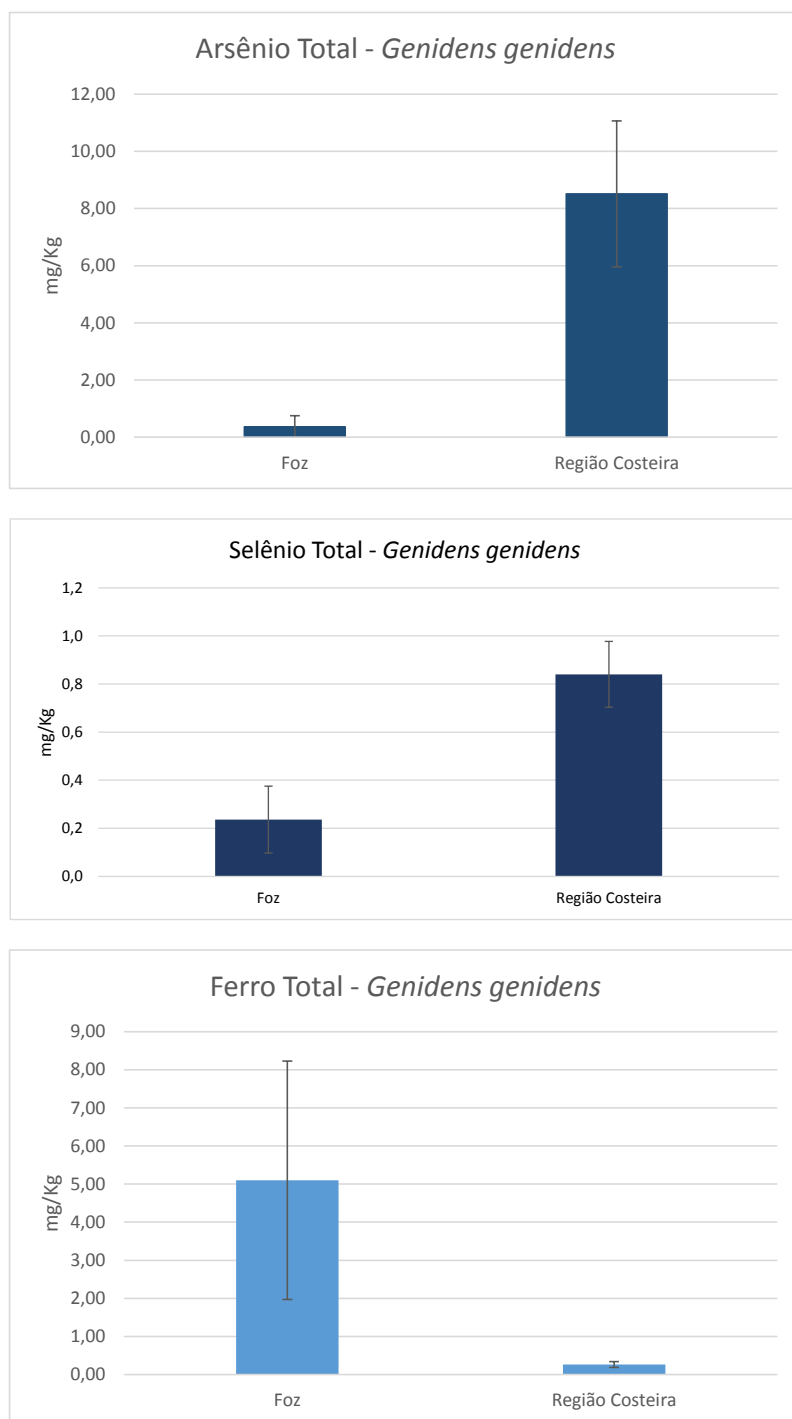


Figura 70. Concentrações médias e desvio padrão de arsênio, selênio e ferro totais no músculo dos espécimes de bagre *Genidens genidens* coletados na foz do rio Doce e na região costeira próxima, no período de dezembro/15 a fevereiro/16. Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016b.

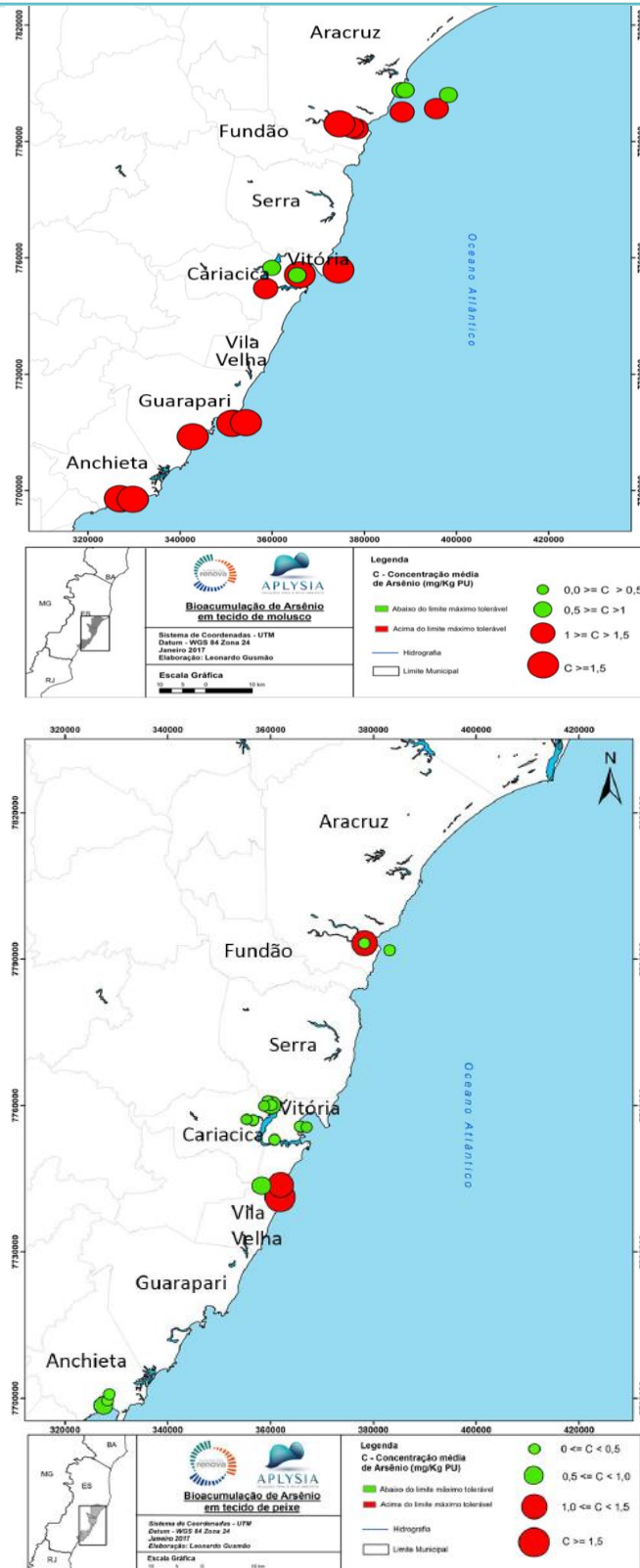


Figura 71. Mapas com os dados obtidos em levantamento bibliográfico sobre bioacumulação de arsênio em molusco (superior) e peixes (inferior), realizados em momento anterior ao rompimento da barragem de Fundão. Fonte: APLYSIA, 2017b.

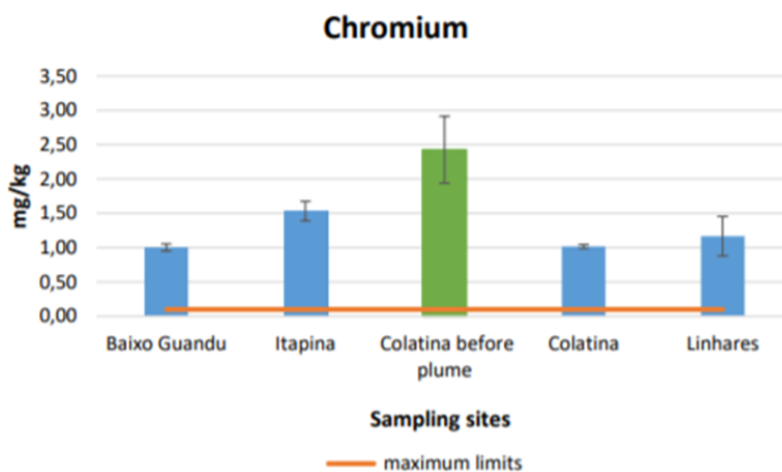


Figura 72. Concentração média e desvio padrão de cromo em molusco *do gênero Corbicula*, realizados em momento anterior a passagem da pluma de turbidez pelo município de Colatina (em verde). Fonte: APLYSIA, 2017d.

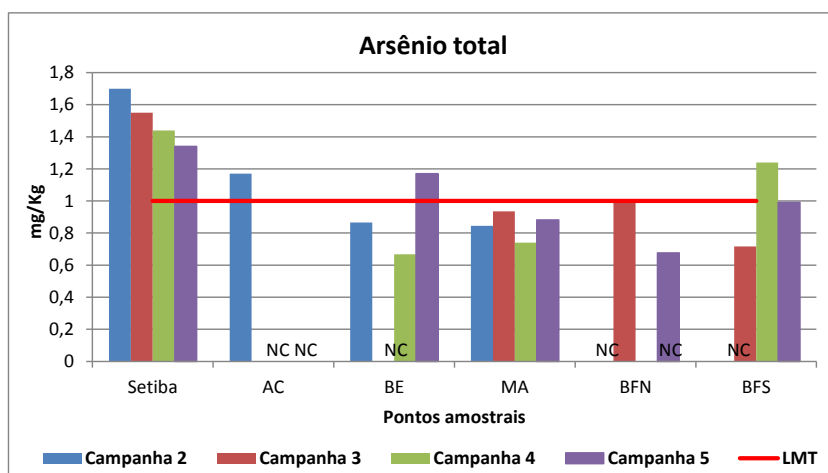
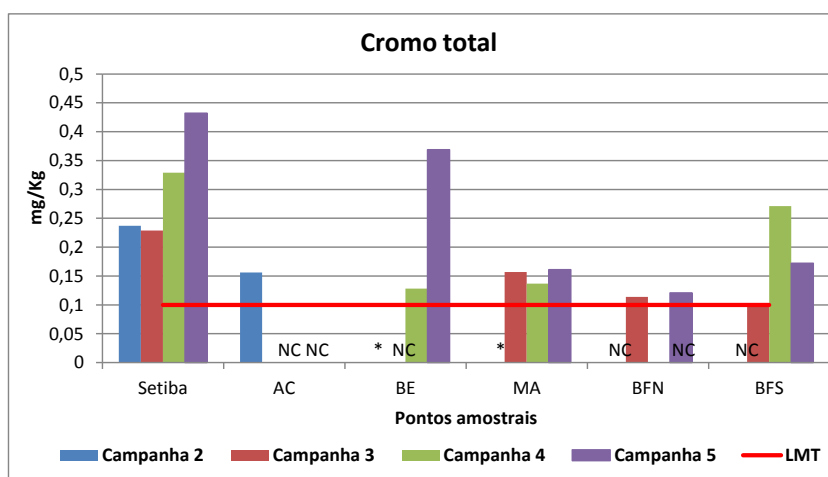


Figura 73. Concentração de arsênio e cromo em molusco *Perna perna* na área de descarte de material dragado do estaleiro Jurong Aracruz e Setiba, Guarapari/ES, realizados em momento anterior ao rompimento da barragem de Fundão. Fonte: FURLEY, 2016.

## 5.5 RISCO À SAÚDE HUMANA

Este subcapítulo aborda especificamente se os estudos disponíveis fornecem dados adequados para confirmar a necessidade continuada de uma proibição da pesca baseada na saúde humana, ou para demonstrar que a proibição da pesca não é necessária para proteger o público de exposições a metais que possam ter sido liberados durante o rompimento da barragem, ou durante o subsequente deslocamento dos materiais da barragem através do rio Doce.

No ANEXO III será fornecida uma tabela detalhada com a listagem dos estudos avaliados junto com um resumo de cada um deles. Também está incluída uma breve avaliação dos méritos de cada estudo, incluindo pontos importantes e seu valor para entender os riscos potenciais à saúde humana associados ao consumo de frutos do mar nas proximidades do rio Doce.

### 5.5.1 Consolidação sobre os estudos disponíveis

Conforme apresentado no item 5.1, a coleção disponível de estudos não forneceu uma base sólida para uma recomendação com relação à proibição de pesca na foz do rio Doce ou áreas costeiras vizinhas. Os resultados dos estudos são contraditórios e existem limitações metodológicas e/ou de forma de apresentação dos resultados significativas associadas à maioria dos estudos. Isso impede o uso deles para construir um amplo banco de dados que formaria uma análise crítica dos riscos potenciais à saúde associados ao consumo de peixes da área de proibição de pesca.

Embora não sem algumas limitações, o mais metodologicamente bem documentado dos estudos disponíveis é o realizado pela Econservation (2016b). Como discutido acima, ele contém os elementos críticos e fornece informações úteis para uma avaliação preliminar do risco potencial. Os resultados deste estudo devem ser confirmados no tempo, e com um estudo específico projetado para atender ao objetivo de abordar a necessidade de uma proibição de pesca para proteger de exposições que possam ter resultado da ruptura da barragem de Fundão.

Por fim, um dos documentos disponíveis foi a Nota Técnica emitida pela ANVISA (2016). Este documento não relatou dados originais, mas utilizou dados disponíveis para construir

uma avaliação do “pior caso” dos riscos potenciais associados ao consumo humano de peixes das áreas costeiras próximas ao Rio Doce. Em sua avaliação, a equipe da ANVISA calculou possíveis exposições a contaminantes em peixes coletados de áreas próximas à proibição de pesca e comparou essas exposições a “níveis de dose de referência (BMDLs)” do Comitê Conjunto de Especialistas da FAO/OMS sobre Aditivos Alimentares (JECFA) para avaliar se havia uma margem de segurança adequada entre as exposições antecipadas e os limiares de toxicidade. Esse paradigma para a avaliação de risco é sólido e é considerado um dos métodos convencionais para entender se os contaminantes presentes nos alimentos podem apresentar um risco após o consumo humano.

Infelizmente, a avaliação foi construída para caracterizar as condições do “pior caso”, selecionando altas concentrações de tecidos finais para uso na avaliação da exposição. Esses tipos de avaliações de “pior caso” são úteis somente se a avaliação não demonstrar risco. Se a avaliação identificar que os limites seguros de exposição foram excedidos, a única conclusão a ser obtida é que um estudo mais refinado é necessário - uma conclusão que não é inconsistente com as seções finais da avaliação da ANVISA. A ANVISA (2016) calculou margens de segurança muito baixas ou inexistentes (pontos 71 a 74 do documento). No entanto, conclui que “é improvável que na situação real os níveis de segurança sejam excedidos” - uma conclusão que não é consistente com a análise apresentada. Existem outros erros (por exemplo, na transcrição de valores de toxicidade, cálculos e relatórios) associados ao documento que tornam os resultados pouco confiáveis para uso na determinação da necessidade (ou suporte à remoção) da proibição da pesca.

### **5.5.2 Caminho a seguir na Avaliação de Riscos**

Conforme delineado pela ANVISA (2016) e outras orientações de várias agências regulatórias em todo o mundo, avaliar riscos potenciais à saúde humana pela exposição a produtos químicos no ambiente (incluindo peixes) requer informações sobre exposições potenciais aos produtos químicos e informações sobre a toxicidade dos produtos químicos de interesse. Essas duas informações são combinadas em uma caracterização do risco potencial (Figura 74).

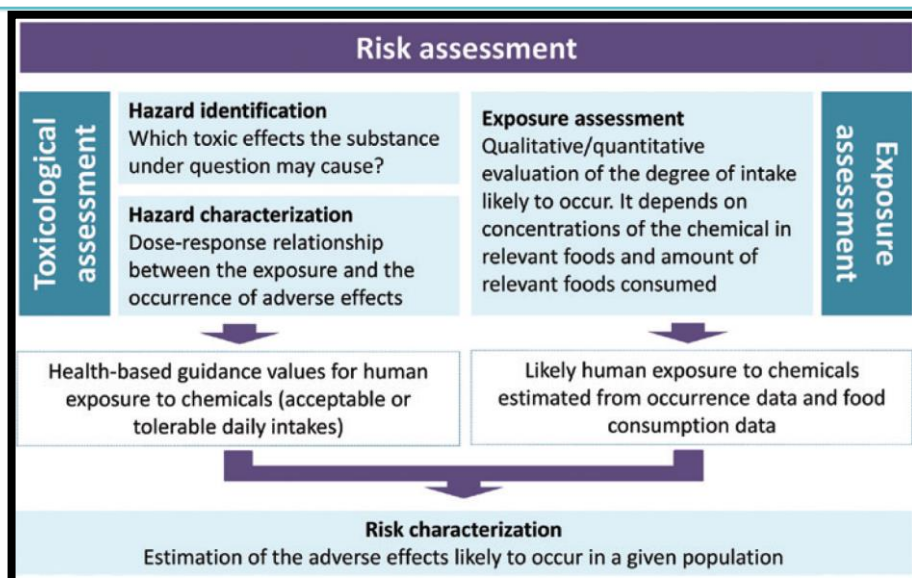


Figura 74. Ilustração do processo de Avaliação de Risco à Saúde Humana. Fonte: ARISSETO-BRAGOTTO et al, 2017.

Na ausência do conjunto completo de informações para realizar uma avaliação de risco, é possível fazer algumas suposições simplificadas sobre possíveis exposições humanas e usar essas informações para estimar concentrações seguras de substâncias químicas em peixes.

A Tabela 7 fornece um cálculo de “níveis de referência baseados no risco” (RSLs) para metais em peixes. Esses valores são baseados em informações de toxicidade fornecidas pelo Serviço Integrado de Informações sobre Riscos (IRIS) da US EPA. Outras fontes de informação sobre toxicidade estão disponíveis, mas as tabelas IRIS fornecem um compêndio de valores de toxicidade que foram submetidos a revisão técnica rigorosa e aceitos por uma grande agência reguladora. Além disso, os valores da US EPA IRIS incorporam fatores de incerteza para garantir que sejam protetores mesmo para populações sensíveis. A Tabela 8 resume as premissas de exposição incluídas nos cálculos.

Tabela 7 – Cálculo dos níveis de referência baseados em risco (RSLs) para peixes e frutos do mar, com base em critérios de toxicidade da US EPA.

Parâmetro Químico	Mutagênico?	Volátil ?	Ingestão CSF (mg/kg-dia) <sup>-1</sup>	CSF Ref	RfD (mg/kg-dia)	RfD Ref	Ingestão RSL Risco de Câncer (mg/kg)	Ingestão RSL Sem Risco de Câncer (mg/kg)	Nível Referência (mg/kg)
Alumínio	Não	Não	-		1,000	P	-	309	3.09E+02 nc
Antimônio (metálico)	Não	Não	-		0,000	I	-	0,12	1.24E-01 nc
Arsênio, inorgânico	Não	Não	2	I	0,000	I	0,03	0,09	2.77E-02 ca
Bário	Não	Não	-		0,200	I	-	62	6.18E+01 nc
Berílio e compostos	Não	Não	-		0,002	I	-	0,62	6.18E-01 nc
Cádmio (Dieta)	Não	Não	-		0,001	I	-	0,31	3.09E-01 nc
Crômio	Não	Não	1	C	1,500	I	-	463	3.97E+02 nc
Cobalto	Não	Não	-		0,000	P	-	0,09	9.27E-02 nc
Cobre	Não	Não	-		0,040	H	-	12,40	1.24E+01 nc
Ferro	Não	Não	-		0,700	P	-	216	2.16E+02 nc
Manganês (Dieta)	Não	Não	-		0,140	I	-	43	4.33E+01 nc
Mercurio (elementar)	Não	Sim	-		-	-	-	-	-
Molibdênio	Não	Não	-		0,005	I	-	1,54	1.54E+00 nc
Sais solúveis de níquel	Não	Não	-		0,020	I	-	6,18	6.18E+00 nc
Selênio	Não	Não	-		0,005	I	-	1,54	1.54E+00 nc
Prata	Não	Não	-		0,005	I	-	1,54	1.54E+00 nc
Lata	Não	Não	-		0,600	H	-	185	1.85E+02 nc
Vanádio e Compostos	Não	Não	-		0,005	S	-	1,56	1.56E+00 nc
Zinco e Compostos	Não	Não	-		0,300	I	-	93	9.27E+01 nc

Legenda: CSF - Carcinogenic Slope Factor; RfD - Reference Dose; ca – cancer; nc – noncancer; C – Cal EPA; H – HEAST; I – IRIS; X – APPENDIX PPRTV SCREEN; P – PPRTV.

Tabela 8 – Premissas de exposição e metas de toxicidade para o cálculo de RSLs.

Variáveis	Valor de entrada
AT (tempo médio)	365
BW <sub>res-a</sub> (peso corporal) kg	80
ED <sub>res</sub> (duração de exposição) anos	26
EF <sub>res-a</sub> (frequência de exposição) dias/anos	350
THQ (quociente de perigo alvo) sem unidade	0,2
IRFI <sub>res-a</sub> (taxa de consumo de peixe - adulto) g/dia	54
LT (tempo de vida) anos	70
TR (risco de câncer alvo) sem unidade	0,00001

Outras instituições, como a Organização Mundial de Saúde, também fornecem valores de referência de toxicidade, mas não incorporam fatores de incerteza para proteger as

populações sensíveis. Pelo contrário, os valores são definidos de forma a atribuir ao usuário a responsabilidade para que exista uma margem adequada entre a exposição de interesse (por exemplo, para o consumo de peixe) e a toxicidade de referência. Entretanto, os valores provenientes da US EPA são mais diretos em relação ao uso no cálculo de valores de referência.

Tanto os critérios regulatórios da ANVISA quanto os RSLs, calculados conforme descrito acima, estão resumidos na Tabela 9. Esses valores foram comparados às concentrações de metais em peixes e crustáceos conforme relatado por Econservation (2016). As Figuras 75 a 80 comparam as concentrações em ostras, camarões e peixes em diferentes locais de amostragem tanto para o RSL calculado para todos os metais individuais relatados quanto para o padrão regulador da ANVISA quando disponível (para arsênio, cádmio, chumbo e mercúrio). Observe que os dados de concentração de tecido nessas figuras foram retirados diretamente do relatório Econservation (2016b). O RSL calculado e o padrão ANVISA são representados nas figuras como barras azuis ou vermelhas, respectivamente. Esses números mostram, portanto, como as concentrações de tecido medidas de amostras coletadas logo após o rompimento da barragem (entre dezembro de 2015 e fevereiro de 2016) se comparam a esses critérios.

Tabela 9 – Resumo dos critérios regulatórios empregados para concentração de metais

Orientação para tecidos (mg/kg)							
Metal	VALORES REGULAMENTARES			NÍVEIS DE REFERÊNCIA BASEADOS EM RISCOS (RSLs)			
	ANVISA			Baseado na IRIS da EPA dos EUA	Baseado na EPA da Califórnia		Saúde Canada
	Peixe	Camarão	Bivalves	Valor	Base	MADL	LeadSpread
Alumínio				309	nc		
Antimônio				0,12	nc		
Arsênio	1	1	1	0,028	ca		
<b>Bário</b>				62	nc		
Berílio				0,62	nc		
Boro				62	nc		
Cádmio	0,05	0,5	2	0,31	nc		
Crômio				397	c e nc		
Cobalto				0,093	nc		
Cobre				12	nc		
Ferro				216	nc		
Chumbo*	0,3	0,5	1,5		nc	0,01	0,12
Manganês				43	nc		
Mercurio*	0,5	0,5	0,5		nc		0,2
Molibdênio				1,5	nc		
Níquel				6,2	nc		
Selênio				1,54	nc		
Prata				1,5	nc		
Lata				185	nc		
Urânio				0,93	nc		
Vanádio				1,6	nc		
Zinco				93	nc		

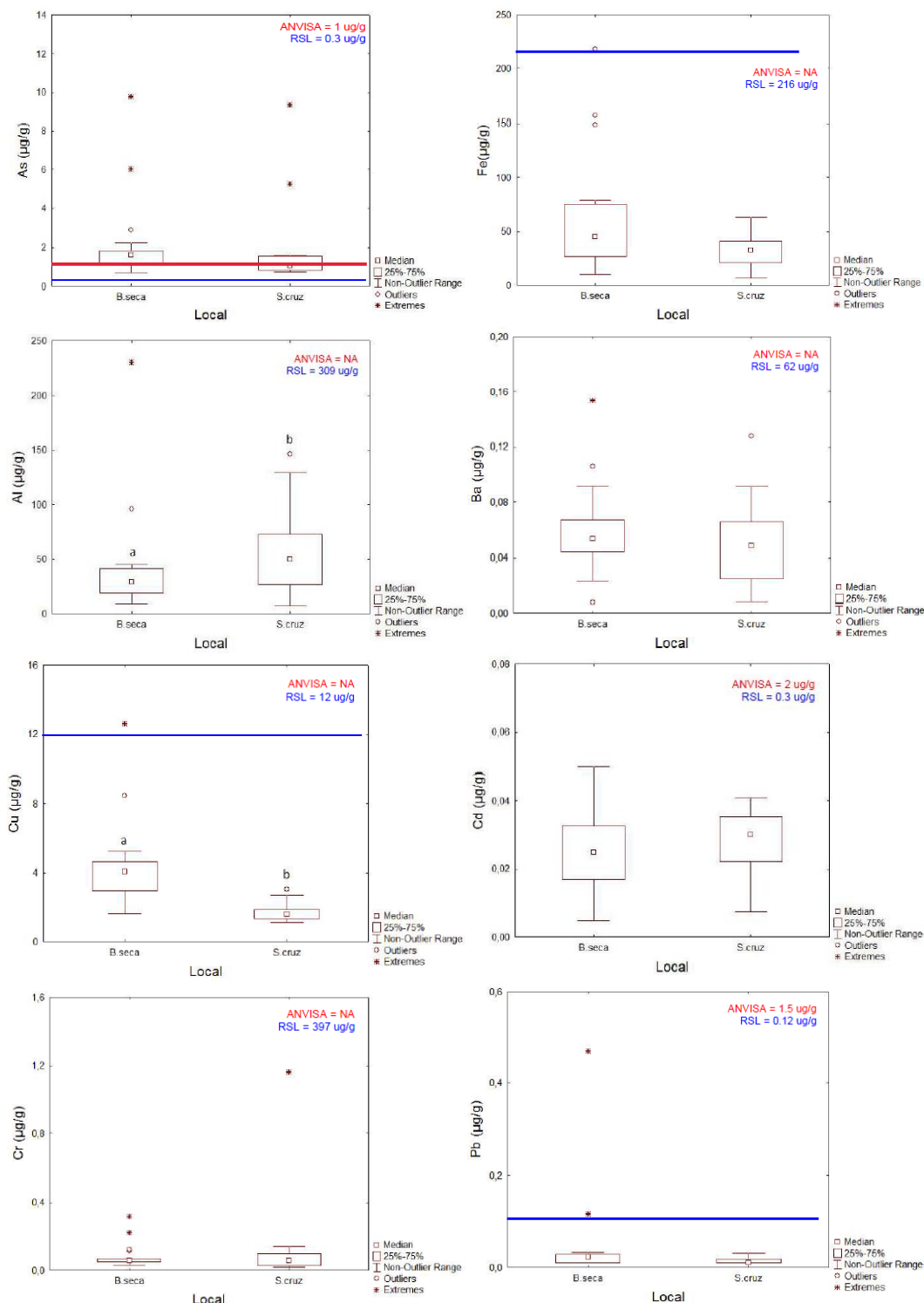


Figura 75. Concentrações (µg/g) de As, Fe, Al, Ba, Cu, Cd, Cr e Pb em tecidos de ostras da espécie *Cassostrea rhizophorae* com indicação dos níveis de RSL (linha azul) e limites da ANVISA (linha vermelha).  
 Fonte: adaptado de Econservation, 2016b.

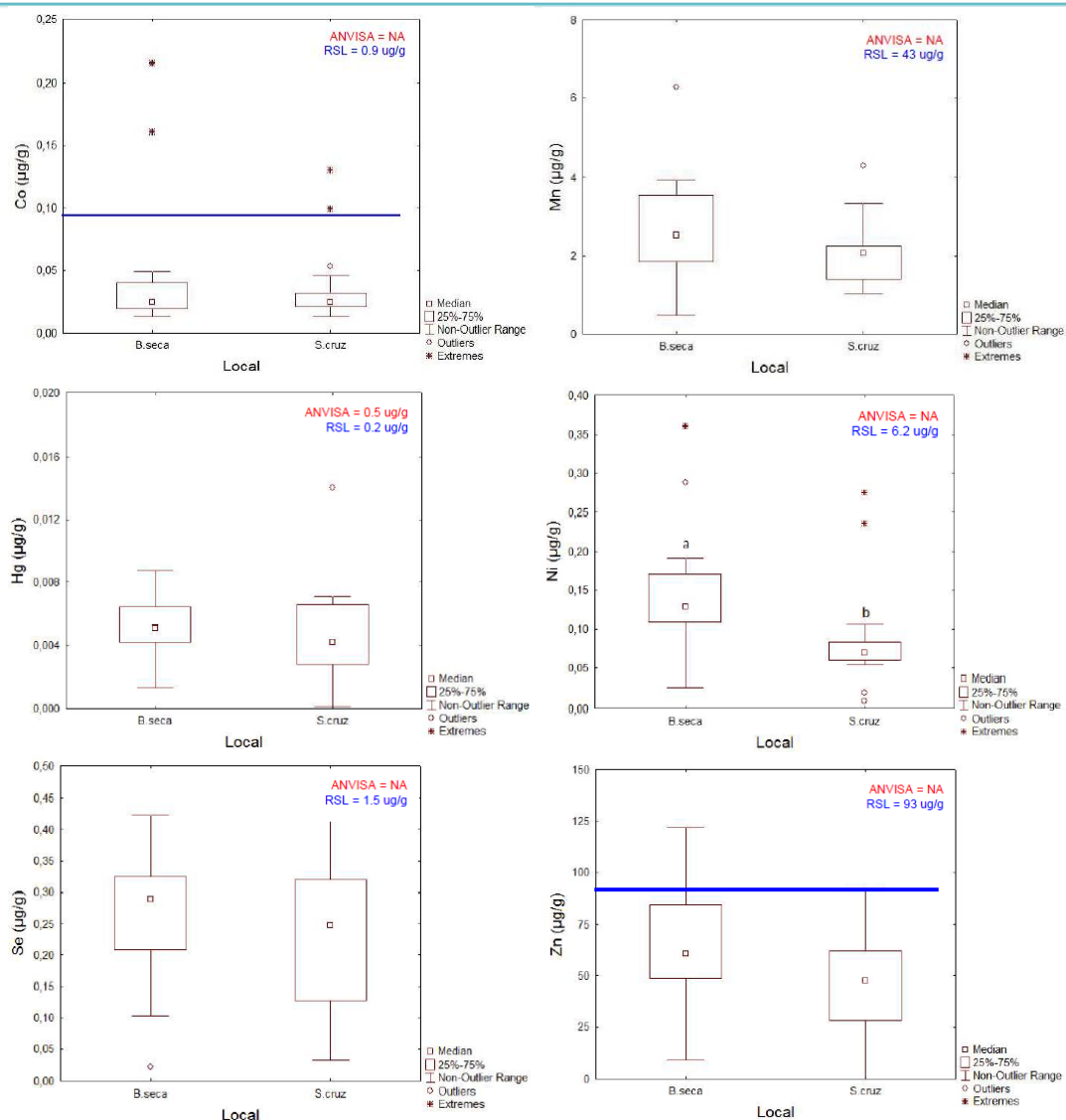


Figura 76. Concentrações (µg/g) de Co, Mn, Hg, Ni, Se e Zi em tecidos de ostras da espécie *Cassostrea rhizophorae* com indicação dos níveis de RSL (linha azul) e limites da ANVISA (linha vermelha). Fonte: adaptado de Econservation, 2016b.

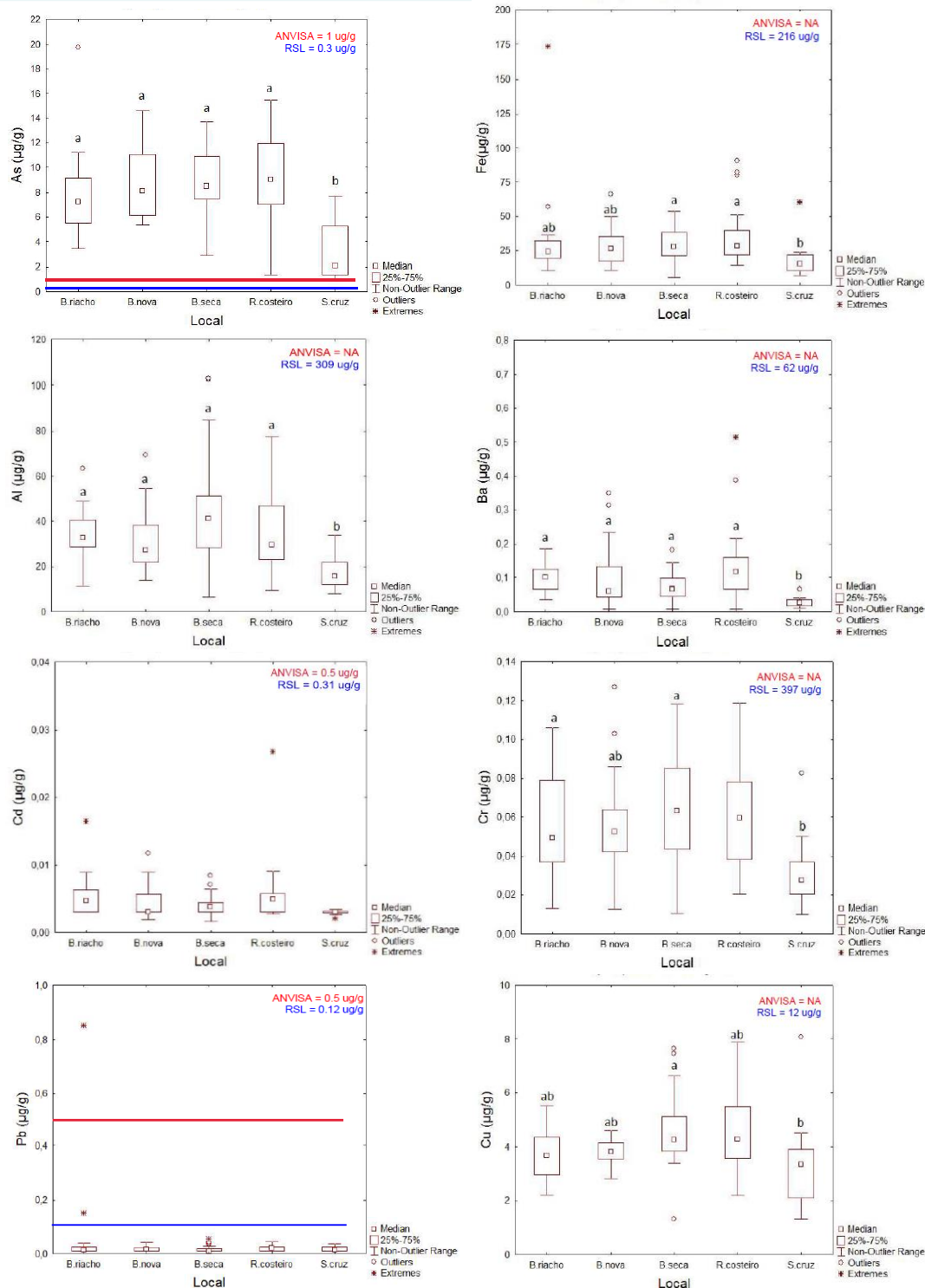


Figura 77. Concentrações (µg/g) de As, Fe, Al, Ba, Cd, Cr, Pb e Cu em tecidos de camarões da espécie *Xiphopenaeus kroyeri* com indicação dos níveis de RSL (linha azul) e limites da ANVISA (linha vermelha). Fonte: adaptado de Econservation, 2016b.

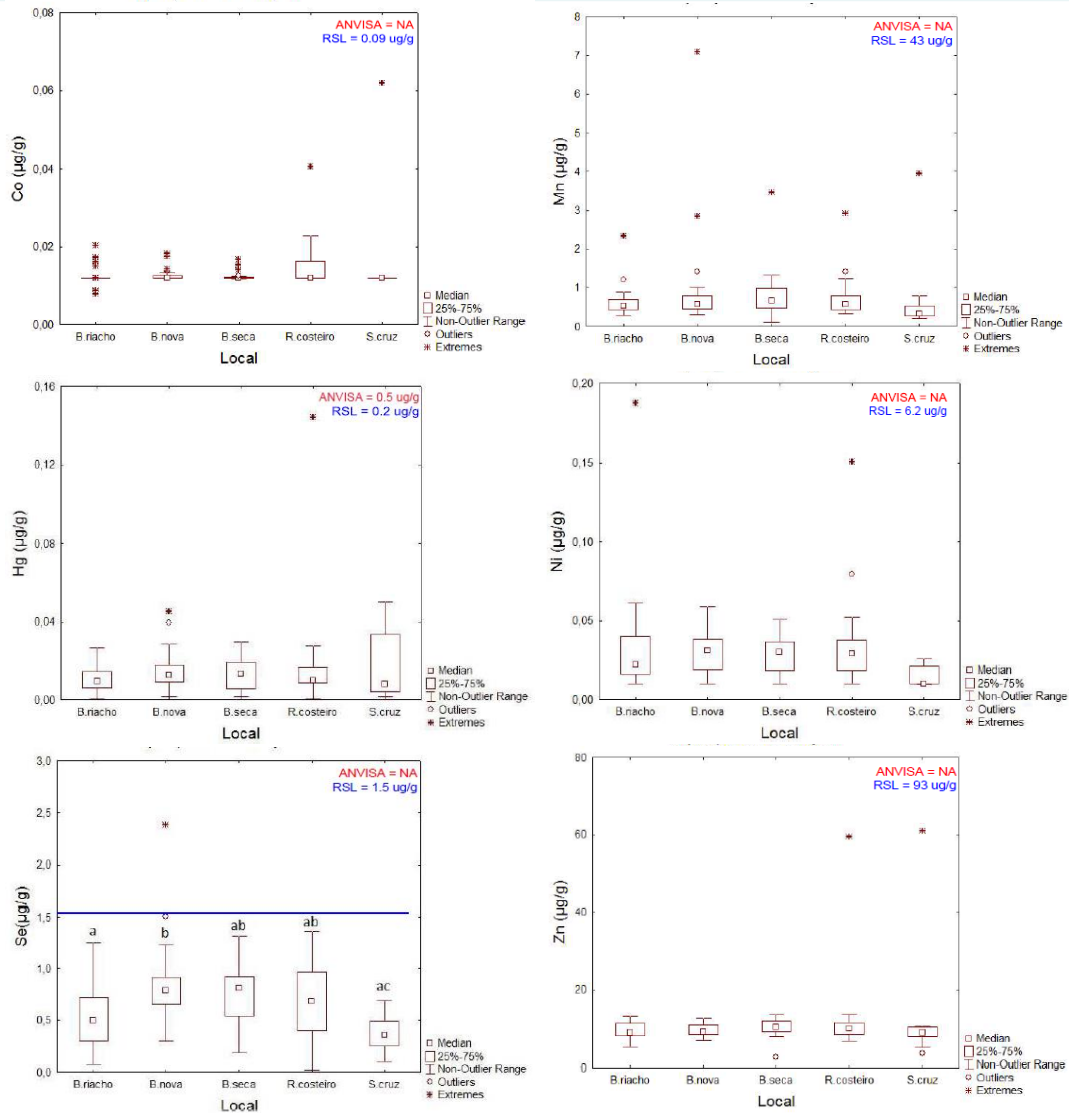


Figura 78. Concentrações (µg/g) de Co, Mn, Hg, Ni, Se e Zn em tecidos de camarões da espécie *Xiphopenaeus kroyeri* com indicação dos níveis de RSL (linha azul) e limites da ANVISA (linha vermelha).  
 Fonte: adaptado de Econservation, 2016b.

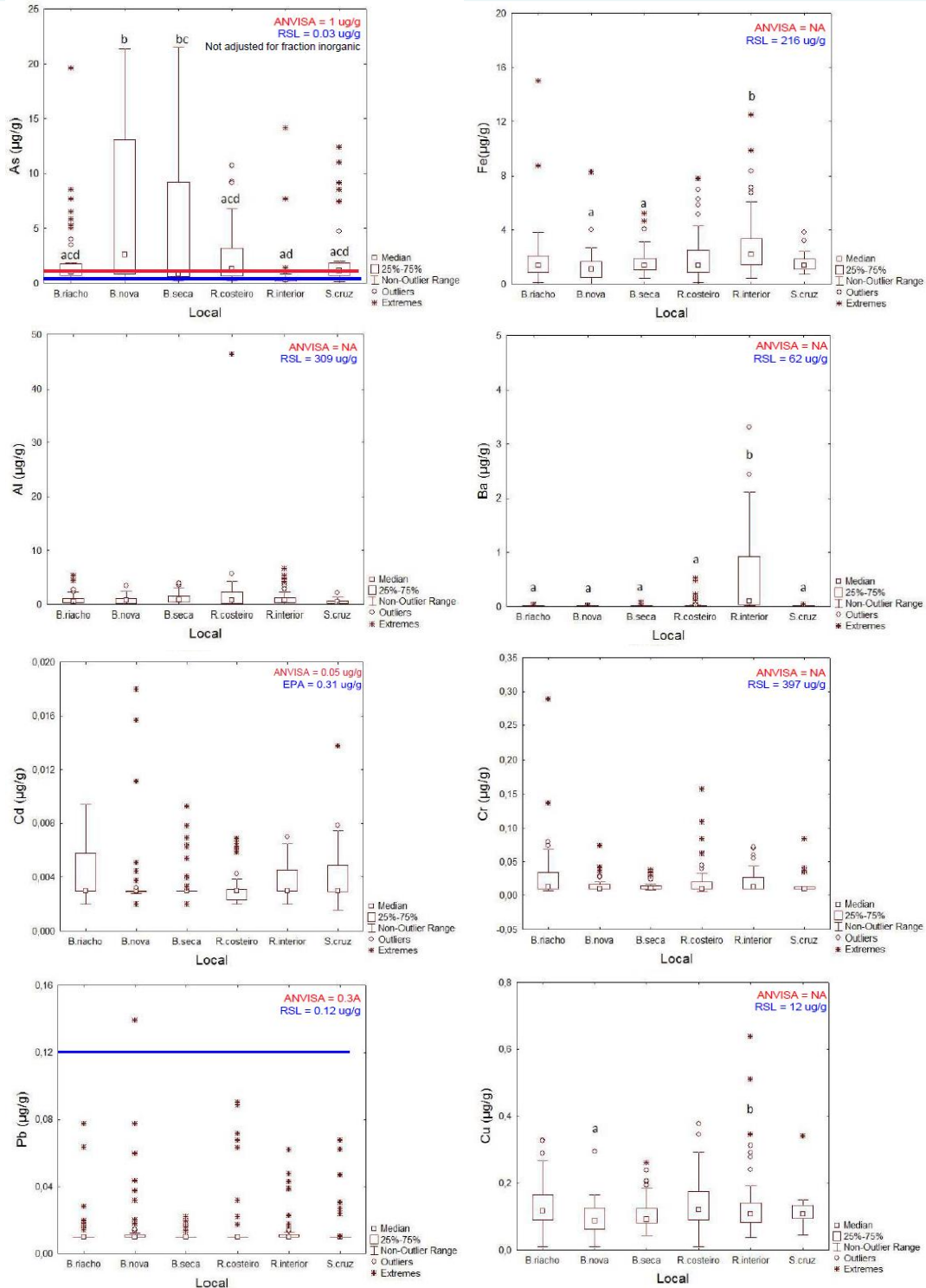


Figura 79. Concentrações (µg/g) de As, Fe, Al, Ba, Cd, Cr, Pb e Cu em tecidos de peixes com indicação dos níveis de RSL (linha azul) e limites da ANVISA (linha vermelha). Fonte: adaptado de Econservation, 2016b.

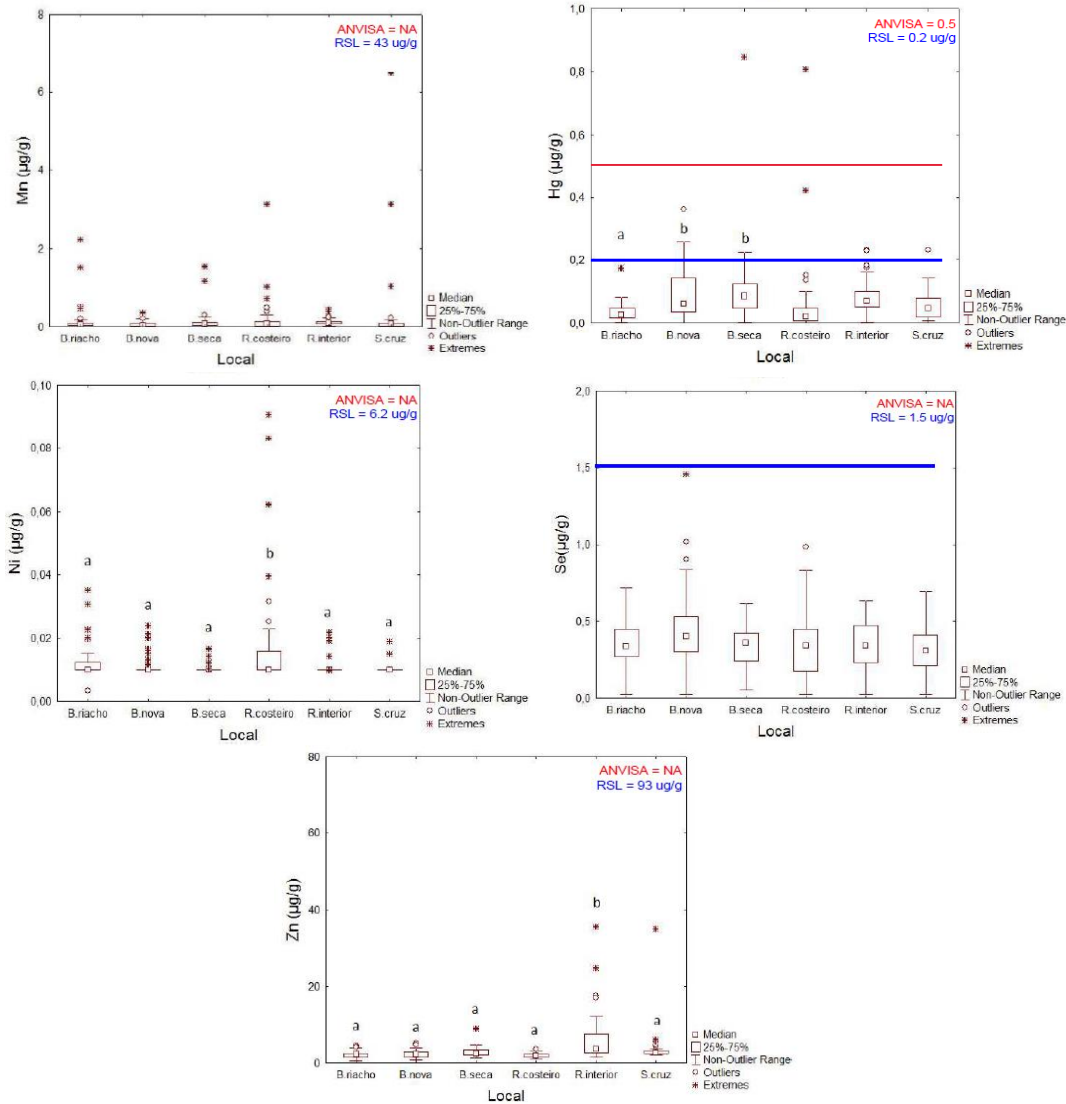


Figura 80. Concentrações (µg/g) de Mn, Hg, Ni, Se e Zn em tecidos de peixes com indicação dos níveis de RSL (linha azul) e limites da ANVISA (linha vermelha). Fonte: adaptado de Econservation, 2016b.

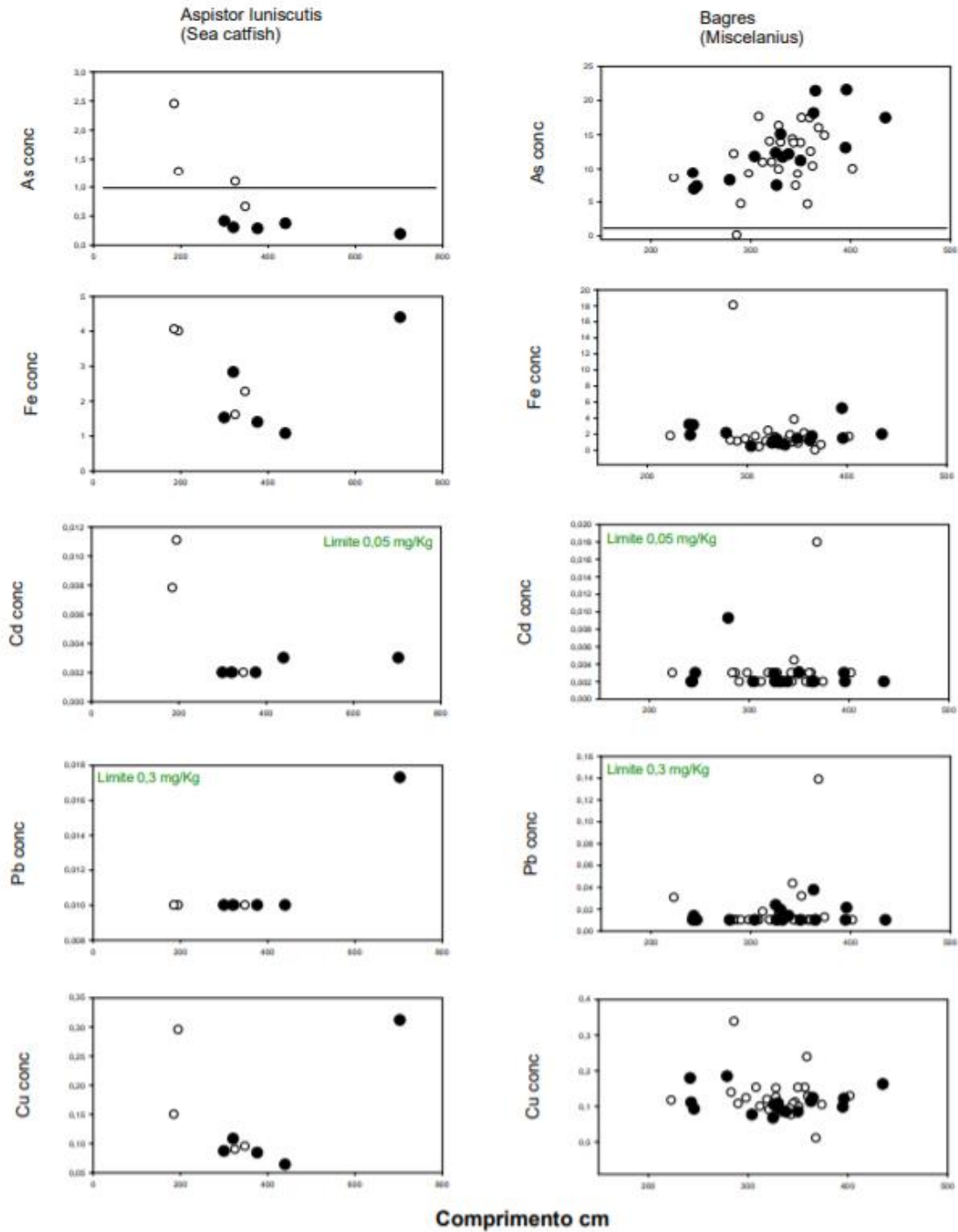
Para quase todos os metais, as concentrações em peixes, camarões e ostras permaneceram abaixo tanto dos níveis regulatórios da ANVISA quanto dos RSLs calculados para este projeto. Existem pontos de dados individuais que excedem os critérios, mas as concentrações de mediana e percentil 75 ficam abaixo dos critérios de referência. Para os critérios baseados em risco, esses valores são calculados para proteger as exposições de longo prazo. Portanto, a concentração média (frequentemente avaliada como uma estimativa do limite superior da média) é geralmente considerada a melhor representativa das prováveis concentrações no ponto de exposição de longo prazo. Essa caracterização inclui todos os dados conforme relatados pela Econservation (2016), sem refinamentos adicionais baseados em espécies de peixes, tamanho de peixes ou outras considerações que provavelmente afetam o que é realisticamente consumido pelos residentes locais ou o que é introduzido no mercado comercial.

Em todos os tipos de biota amostrados no esforço de Econservation (2016b) (ostras, camarões e peixes), as concentrações relatadas de arsênio excederam tanto o RSL de 0,28 ug/g e o critério ANVISA de 1,0 ug/g. Ao interpretar esses achados, é importante observar que as concentrações de arsênio relatadas representam arsênio total na amostra (AsT). Os critérios de referência da ANVISA e da RSL baseiam-se em estudos de toxicidade de exposição humana ao arsênio na água potável e, portanto, representam critérios aplicáveis ao arsênio inorgânico (Asi). Concentrações de Asi não foram fornecidas no banco de dados usado na comparação fornecida aqui. Portanto, a indicação de que as concentrações de AsT do estudo Econservation excedem os critérios não indica necessariamente que o consumo de peixes e moluscos possa apresentar riscos para a saúde. Sugere que a amostragem adicional e a caracterização analítica mais detalhada sejam garantidas. Isso é discutido mais a frente.

Os RSLs fornecem uma ferramenta útil para rastrear dados de concentração de peixes. Estas RSLs podem ser recalculadas para incorporar novas informações de exposição específicas do local (por exemplo, informações atualizadas sobre tipos e quantidades de peixe consumido). Eles também podem ser usados para rastrear quaisquer novos dados de concentração de tecido de peixe que possam se tornar disponíveis a partir de estudos em andamento ou futuros. Desde que as suposições de exposição sejam relevantes para

uma determinada população, as RSLs podem ser aplicadas a qualquer área, grande ou pequena, que sirva como fonte de alimento para uma população em particular. Desta forma, eles fornecem uma ferramenta flexível e útil para compreender os riscos potenciais para a saúde do consumo de peixes contaminados ou outros frutos do mar. É importante notar, no entanto, que uma avaliação de risco completa inclui considerações que não são abordadas pelos valores de referência, particularmente que os riscos são mais adequadamente avaliados para exposições médias de longo prazo. Assim, o uso das RSLs por amostragem resultará em um julgamento excessivamente conservador (isto é, protetor da saúde). Se as RSLs forem excedidas, isso não implica necessariamente que os riscos sejam apresentados, apenas que uma avaliação de risco adicional deve ser realizada. Por outro lado, no entanto, se as concentrações estiverem abaixo dos valores de referência, pode-se confiar que os riscos apresentados pelo consumo são baixos.

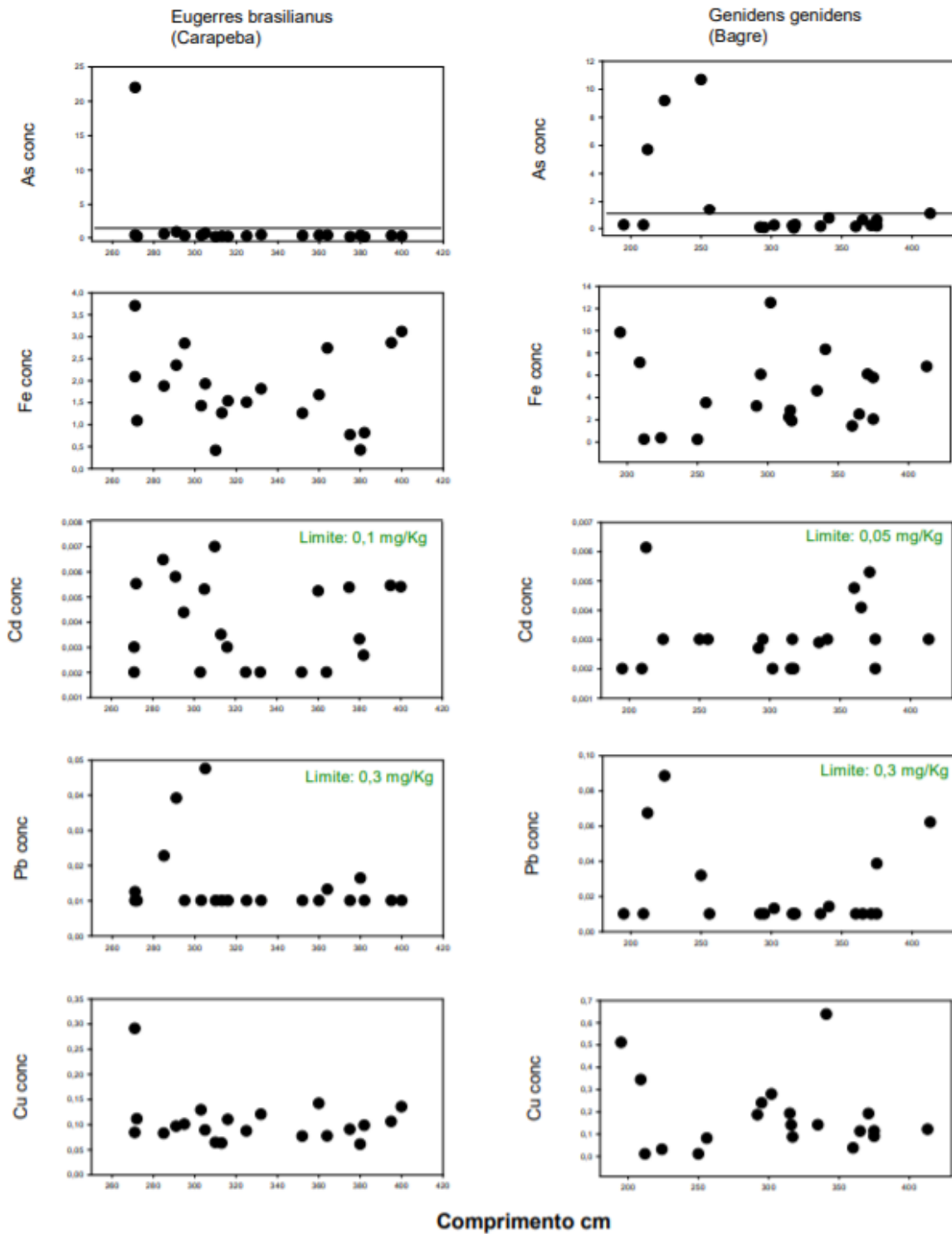
Uma análise ligeiramente diferente foi fornecida por Niencheski (Figuras 81 a 83). Ele usou os dados de Econservation (2016b) para comparar as concentrações de As, Fe, Cd, Pb e Cu em peixes em função do comprimento e das espécies de peixes. Essa análise também distingue entre peixes designados pela Econservation como coletados dentro ou fora da pluma.



Limites: Diário Oficial da União - Seção 1, No. 168, 30 de agosto de 2013.

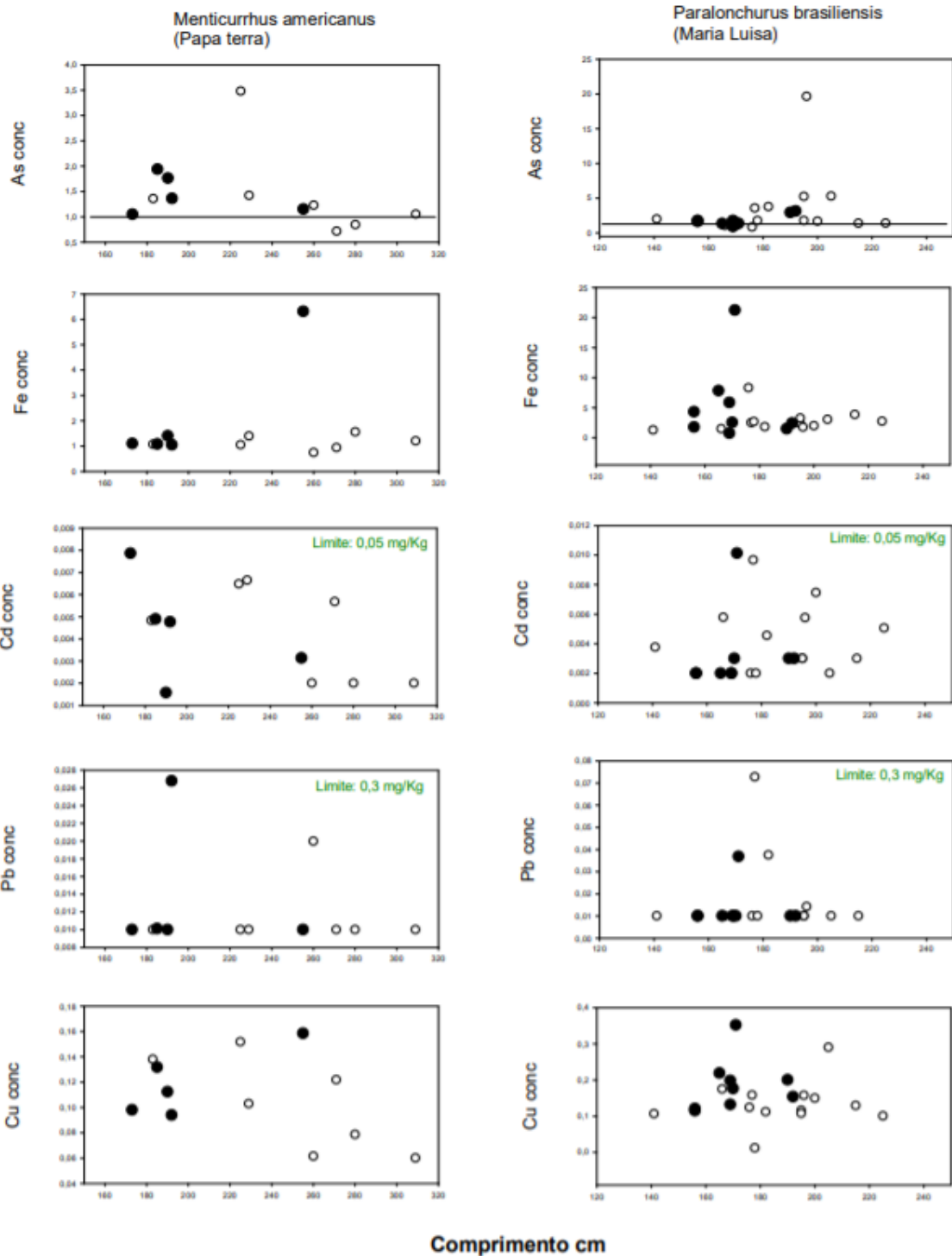
Open dot outside the plume  
Black dot inside the plume

Figura 81. Concentrações de 5 metais expressos em mg/Kg de (peso úmido) em exemplares das espécies *Aspistur luniscutis* (Sea catfish) e bagres (*reunião de espécies*) na foz do Rio Doce e região costeira adjacente em exemplares capturados em local com presença de pluma (círculos pretos) e em áreas sem presença de pluma (círculos vazios). Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016b.



Limites: Diário Oficial da União - Seção 1, No. 168, 30 de agosto de 2013.  
 Para carapeba, o limite é de 0,10 mg/Kg.

Figura 82. Concentrações de 5 metais expressos em mg/Kg de (peso úmido) em exemplares das espécies *Eugerres brasilianus* (Carapeba) e *Genidens genidens* na foz do Rio Doce e região costeira adjacente em exemplares capturados em local com presença de pluma (círculos pretos) e em áreas sem presença de pluma (círculos vazios). Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016b.



Limites: Diário Oficial da União - Seção 1, No. 168, 30 de agosto de 2013.

Figura 83. Concentrações de 5 metais expressos em mg/Kg de (peso úmido) em exemplares das espécies *Menticirrhus americanus* (Papa terra) e *Paralonchurus brasiliensis* (Maria Luisa) na foz do Rio Doce e região costeira adjacente em exemplares capturados em local com presença de pluma (círculos pretos) e em áreas sem presença de pluma (círculos vazios). Fonte: adaptado de ECONSERVATION, 2016b.

A análise sugere vários pontos relevantes para avaliar os riscos potenciais do consumo de peixes coletados na área. Primeiro, parece haver pouca relação entre a concentração de metal no tecido dos peixes e o comprimento dos peixes. Uma exceção é para os dados sobre arsênio em bagres (reunião de espécies). Também não parece haver uma distinção entre peixes coletados de “fora da pluma” ou “dentro da pluma”. Isso pode refletir o movimento de peixes em áreas amplas e a migração para dentro e para fora da área da pluma, ou pode refletir outros fatores que controlam a acumulação de metais no tecido dos peixes.

A observação de pouca relação entre tamanho e concentração de metal também é consistente com outros dados da literatura, onde é relatado que, exceto arsênio e mercúrio, os fatores de bioconcentração entre peixe e água ou sedimento indicam uma relação inversa (menor bioconcentração em locais com concentrações mais altas na água ou no sedimento), os tecidos dos peixes podem não ser muito afetados pela contaminação ambiental dos metais (McGEER, 2003; CARDELL; DeFOREST, 2007). É importante ressaltar que os altos fatores de bioacumulação são geralmente identificados para instâncias com concentrações muito baixas de metais na água (possivelmente refletindo a recuperação de deficiências nutricionais). Onde há alta contaminação ambiental, a ocorrência de altas concentrações acumuladas nos tecidos dos peixes é menor, possivelmente devido a mecanismos de absorção saturáveis ou outras considerações farmacodinâmicas (GLEC 2013). Isso tem sido relatado como particularmente verdadeiro para a absorção em porções comestíveis de peixes, já que a maioria dos metais não está concentrada nesses tecidos de peixes. A corroboração de pouca relação entre as concentrações ambientais e de tecidos de peixes dos metais nas áreas ao redor do rio Doce seria instrutiva na avaliação dos riscos potenciais da contaminação de peixes. Sugere-se investigar mais profundamente esse tema no caso da foz e região costeira do rio Doce.

### **5.5.3 Arsênio Total e Inorgânico em Peixes**

A maioria dos estudos realizados na região do rio Doce e áreas costeiras adjacentes reportaram concentrações das substâncias de interesse em tecidos de peixes abaixo dos limites regulatórios. Uma exceção é a concentração de arsênio em peixes, camarões e

bivalves, para os quais vários estudos relataram concentrações que excedem o limite. Tais resultados foram corroborados por estudo recente em que se avaliou a presença de arsênio total no pescado (peixes e camarões) comercializado em 8 diferentes locais da costa brasileira, abrangendo amostragens desde Natal/RN a Rio Grande/RS, e ao final foram verificados valores elevados, em desconformidade com o padrão brasileiro, em todas as regiões, não havendo diferença entre os níveis de arsênio no pescado consumido no Espírito Santo com os encontrados nas demais regiões analisadas da costa brasileira (APLYSIA, 2018). Esta observação não é inesperada porque os dados de concentração de tecido refletem o arsênio total presente nas amostras, mas os critérios referem-se apenas à forma inorgânica de arsênio presente nos peixes.

Em peixes e outros organismos marinhos pode ser encontrado um nível significativo de arsênio. A maioria do arsênio presente no peixe está na forma orgânica e têm sido reconhecido por ser não tóxico (EPA, 2000). Apenas uma pequena porção da concentração total de arsênio é composta de arsênio inorgânico, forma que pode ser preocupante (TAYLOR et al., 2016; WHO 2011, EPA 2000; SCHOOF et al., 1999).

Segundo Edmonds e Francesconi (1993), o nível de arsênio inorgânico em animais marinhos varia de 0 a 44% do arsênio total. Esses autores também relatam que o arsênio inorgânico em espécies de peixes comercialmente importantes, variam de apenas 0,5 a 1% do total de concentrações de arsênio, com porcentagens mais altas de inorgânicos em concentrações de arsênio totais mais baixas. Esses valores são consistentes com outras referências da literatura científica (por exemplo, NEFF, 1997; TAYLOR et al., 2017), embora a US EPA relate uma variação de <1-20% do arsênio total em frutos do mar sendo composto de arsênio inorgânico (US EPA, 2000).

A pedido da Comissão Européia, a Autoridade Européia para a Segurança dos Alimentos elaborou um “Parecer científico sobre o arsênio nos alimentos” (EFSA, 2009). Em sua análise das informações de disponibilidade, eles concluíram que a proporção de arsênio inorgânico em alimentos (exceto peixes e frutos do mar) variava de cerca de 50 a 100% do arsênio total presente, com uma média geral de 70% presente como arsênio inorgânico. Para peixes e frutos do mar, sua análise foi mais detalhada, afirmando:

*Em peixes e frutos do mar, a proporção relativa de arsênio inorgânico é pequena e tende a diminuir à medida que o teor total de arsênio aumenta, e a proporção pode variar dependendo do tipo de frutos do mar. Com base nos dados limitados sobre arsênio inorgânico no presente conjunto de dados e em dados publicados, valores fixos para arsênio inorgânico de 0,03 mg/kg em peixe e 0,1 mg/kg em frutos do mar foram considerados realistas para o cálculo da exposição alimentar humana (EFSA 2009).*

No entendimento de como interpretar padrões regulatórios para arsênio em frutos do mar ou outros produtos alimentícios, é importante entender que o critério de toxicidade sobre o qual os limites de concentração baseados em risco para o arsênio são estabelecidos, se aplica à caracterização do risco humano da exposição ao arsênio inorgânico. No documento citado pela EFSA (2009) a discussão é muito clara de que a consideração da toxicidade do arsênio é direcionada para o arsênio inorgânico, discutindo que eles recomendam a atualização dos níveis admissíveis de ingestão para “PTWI de 12 µg/kg” para arsênio inorgânico”. Similarmente, o critério de toxicidade para o arsênio da US EPA é baseado nas exposições humanas ao arsênio inorgânico na água potável (US EPA 2018). Além disso, a Comissão Alimentar da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura e a Organização Mundial de Saúde (FAO/OMS) criou um documento de posicionamento sobre o arsênio (CAC, 1999). Este documento aborda especificamente o arsênio em peixes, afirmando que, embora o alto nível de concentração de arsênio nos frutos do mar seja conhecido desde o início do século XX, estudos mais detalhados revelaram que o arsênio em peixes está predominantemente em formas orgânicas. Os limites de exposição especificados pela CAC (1998) indicam que os limites são baseados na ingestão de arsênio inorgânico em alimentos e água. Esses limites baseados no risco foram atualizados (JECFA, 2011) e novamente especificados que os riscos estão associados à exposição ao arsênio inorgânico.

Os limites de arsênio em peixes e frutos do mar que são listados pela ANVISA são derivados diretamente dos valores postados pelo MERCOSUL, que por sua vez se baseia em avaliações internacionais como CAC e JECFA, que se referem diretamente à avaliação do arsênio inorgânico.

A maioria dos estudos realizados no rio Doce e áreas costeiras adjacentes relatou concentrações totais de arsênio nos tecidos. Apenas o resumo de dados fornecido pela Hydrobiology (2016) reporta o arsênio total e inorgânico em peixes e moluscos coletados em nove locais próximos à foz do rio Doce. Embora haja um documento muito limitado associado a esses dados, eles fornecem informações específicas do local ou da região que parecem corroborar a expectativa de que apenas uma pequena fração do arsênio total nas amostras de frutos do mar dessa região esteja presente como arsênio inorgânico. Caso detalhes adicionais deste relatório estejam disponíveis, os resultados devem ser reavaliados para confirmar as descobertas relatadas.

Como se espera que uma fração tão pequena de arsênio esteja presente como formas inorgânicas nos tecidos comestíveis de frutos do mar, é razoável supor, para fins de triagem, que o arsênio inorgânico em peixes e moluscos da área não exceda os padrões regulatórios ou limites para a saúde. Amostras futuras na área devem confirmar isso usando métodos bem documentados para caracterizar arsênio total e inorgânico, como o método USEPA 1632A.

#### **5.5.4 Riscos para a Saúde Humana do Consumo de Cádmio em Peixes**

Alguns pesquisadores que investigam as concentrações de metais em peixes e frutos do mar nas áreas costeiras do rio Doce sugeriram que o cádmio poderia ser um foco particular para preocupações sobre os efeitos potenciais à saúde dos seres humanos que consomem esses organismos aquáticos. A revisão dos dados disponíveis da área sugere que as concentrações de cádmio não excedem os critérios regulatórios em peixes ou camarões: os dados do Econservation (2016b) indicam que as concentrações de cádmio em todos os organismos estão bem abaixo da regulação (ANVISA) e dos critérios baseados na saúde humana (RSLs), e dados da FURG (2018) sugerem que as concentrações de cádmio em peixes estiveram acima do critério regulatório logo após o rompimento da barragem, mas os dados mais recentes mostraram níveis mais baixos, embora as concentrações possam aproximar-se dos limites regulatórios.

A fim de entender melhor a discrepância nos resultados relatados de diferentes esforços de pesquisa nas áreas costeiras próximas ao rio Doce, foi realizada uma consulta da literatura disponível sobre cádmio em tecidos de peixes. Esta consulta indicou que há uma

extensa biblioteca de estudos sobre a disposição de cádmio em tecidos de peixes, e estabelece que o cádmio (Cd) não deve se acumular em grande parte nos tecidos consumíveis (filé) de peixes de água doce ou salgada quando expostos a concentrações não letais de Cd em água. Abaixo encontra-se um breve resumo das conclusões apoiadas pelos estudos existentes. Este resumo não é exaustivo: há muitos estudos sobre esse tópico.

Como seres humanos e outros animais, os peixes acumulam Cd do ambiente (os meios ambientais podem incluir água, dieta, ar, solos ou para os seres humanos, também o local de trabalho e o tabaco). No entanto, também como os seres humanos, o Cd que se acumula nos peixes concentra-se nos órgãos internos. Rim e fígado são os locais primários de armazenamento do Cd, seguido no caso do peixe, pelo acúmulo nas brânquias (HOLLIS et al., 2001; JAYAKUMAR e PAUL, 2006; MATSUO e VAL, 2007; ATSDR, 2010; KUMAR e SINGH, 2010; BOALT et al., 2012; GIACOMIN et al., 2018). Um exemplo resumindo esses dados de concentração relativa de tecido é apresentado na Figura 84.

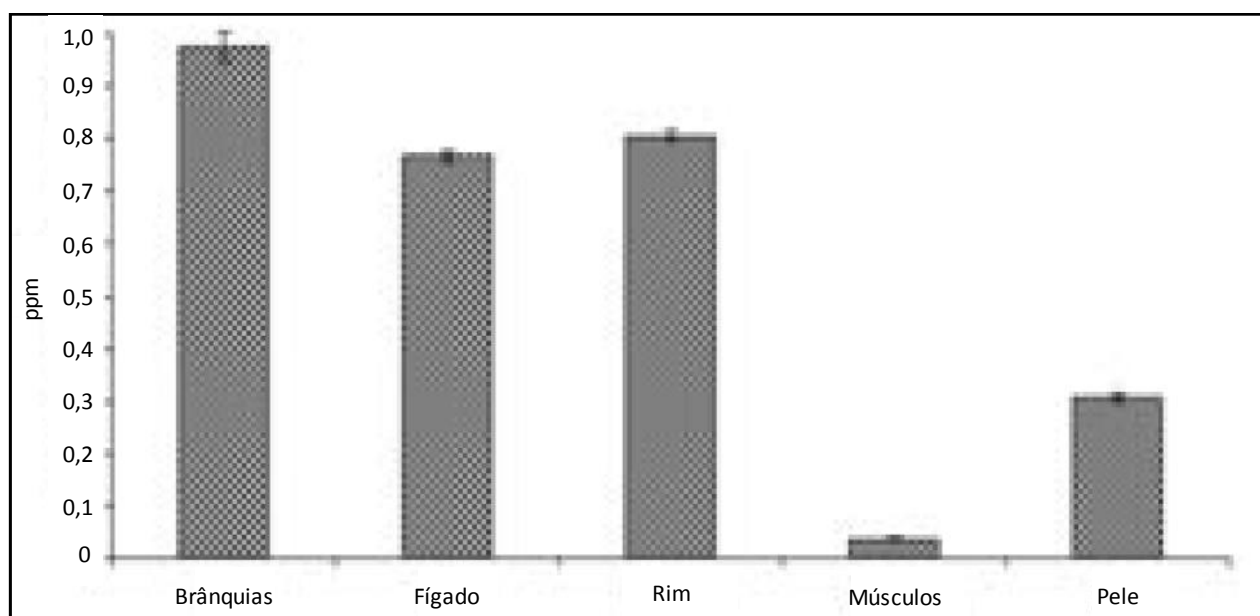


Figura 84. Concentrações média de cádmio em (da esquerda para a direita) brânquias, fígado, rim, músculos e pele de *Clarias batrachus* expostos a 7ppm de cloreto de cádmio. Fonte: adaptado de JAYAKUMAR e PAUL, 2006.

Pesquisas indicam que, especificamente para peixes, enquanto a bioacumulação pode ocorrer nos órgãos internos e nas brânquias, as concentrações no tecido muscular comestível permanecem baixas, ou mesmo não detectáveis. Isso é estabelecido tanto para peixes de água doce (McGEER et al., 2000; SZEBEDINSZKY et al., 2000; CHOWDHURY et al., 2004; JAYAKUMAR e PAUL, 2006; GIACOMIN et al., 2018) quanto para peixes marinhos (RIGET et al., 1997; BOALT et al., 2012; AGAH et al., 2009). Com base na revisão da literatura disponível, Levit (2010) concluiu que “músculos e o cérebro são tecidos protegidos, acumulando apenas níveis negligenciáveis de cádmio total, tanto da dieta como da exposição à água”.

Nos peixes, o Cd pode ser retirado da dieta (via trato gastrointestinal) e da respiração (via brânquias). É então transportado para o fígado e rim, onde é acumulado (KUMAR e SINGH, 2010; KUMAR et al., 2008; RIGET et al., 2007; LEVIT, 2010; CHOWDHURY et al., 2004; DALLINGER et al., 1996). Acredita-se que a absorção seja facilitada via canais de captação de cálcio, e o acúmulo nos órgãos é dependente da ligação da metalotioneína (DALLINGER et al., 1996; OLSSON, 1998; HOLLIS et al., 2001; CHOWDHURY et al., 2004; MATSUO e VAL, 2007). Embora o Cd tenha sido relatado como sendo detectado nos tecidos musculares dos peixes (filés), os níveis tendem a ser baixos (CHOWDHURY et al., 2004; SZEBEDINSZKY et al., 2001). Por exemplo, em um dos maiores estudos, Riget et al. (1997) incluíram 21 espécies de peixes de 10 locais na Groenlândia. Eles relatam que "no músculo as concentrações de cádmio para a maioria das espécies de peixes estão abaixo do limite de detecção (0,015 µg/g)" e que "níveis acima do limite de detecção no músculo de peixes... são considerados questionáveis". Estudo recente realizado em 8 pontos da costa brasileira, com 2 espécies de peixes de uso comercial por local e 1 espécie de camarão, evidenciou a não quantificação de Cd em ~98,6% das 144 amostras de músculo analisadas (APLYSIA, 2018). Especificamente, Riget et al. observaram que o Cd elevado no tecido muscular pode ser um artefato de contaminação de órgãos internos, onde as concentrações de cádmio são muito maiores, particularmente para peixes pequenos, onde é difícil isolar subamostras de músculos limpos.

O cádmio é tóxico para os seres humanos, particularmente quando doses contínuas ocorrem durante um longo período de exposição, com toxicidade resultante da acumulação nos tecidos renais e hepáticos humanos (ATSDR, 2002). Consequentemente,

O rastreio de exposições potenciais ao Cd pode ser importante para incluir na avaliação de potenciais riscos para a saúde humana. Um grande conjunto de informações sugere que efeitos adversos à saúde humana pela exposição ao Cd no tecido muscular dos peixes são improváveis. No entanto, diante da incerteza e das evidências supracitadas referentes aos níveis de cádmio em tecidos de peixes, estudos futuros de impactos em peixes do rio Doce e áreas costeiras adjacentes devem continuar a incluir uma caracterização de Cd em peixes, com especial atenção para garantir que as amostras de filé sejam coletadas de uma maneira que evite a possível contaminação de outros tecidos. Desta forma, os dados resultantes destes estudos serão mais úteis na avaliação e comunicação dos riscos potenciais do consumo de peixe e serão úteis para avaliar a necessidade de uma proibição continuada da pesca.

#### **5.5.5 Considerações Finais**

O processo formal de avaliação de riscos envolve a realização de uma avaliação detalhada das exposições a contaminantes para a população-alvo, combinando essas informações de exposição com informações de toxicidade para contaminantes preocupantes. As informações limitadas disponíveis para as condições na área de proibição de pesca não suportam uma avaliação de risco formal. No entanto, algumas suposições podem ser feitas sobre os níveis prováveis de consumo de peixe, que a informação foi usada aqui para calcular níveis de rastreio baseados no risco (RSLs) para metais em peixes. A fim de fornecer uma referência preliminar, os dados do relatório Econservation (2016b) foram comparados a ambos os RSLs e aos critérios de tecido de peixe da ANVISA.

Esta comparação preliminar de dados contra RSLs e critérios regulatórios sugere que as concentrações observadas de metais em peixes não excedem o risco ou os níveis regulatórios de preocupação. Uma clara exceção diz respeito à concentração de arsênio em peixes e camarões. No entanto, as concentrações de arsênio relatadas pertencem ao arsênio total, enquanto apenas as formas inorgânicas de arsênio no tecido de peixes são consideradas tóxicas, e a concentração de arsênio inorgânico é a métrica adequada para comparar com os critérios de referência. Dados da Hydrobiology (2016) indicam que os tecidos de peixes na área da proibição da pesca contêm concentrações de arsênio

inorgânico que estão muito abaixo da concentração de arsênio total nas mesmas amostras. Os detalhes para este estudo não estão disponíveis atualmente, mas os resultados são consistentes com a literatura mais ampla sobre as formas de arsênio presentes em peixes, especificamente que as concentrações de arsênio inorgânico são uma pequena fração do arsênio total presente nos tecidos do peixe.

Atualmente, não há um amplo conjunto de estudos confiáveis para basear uma avaliação da contaminação de peixes, ou sobre a qual avaliar a necessidade (ou falta dela) de uma proibição de pesca em resposta à contaminação que pode ter ocorrido após o rompimento da barragem de Fundão. A qualidade da maioria dos estudos disponíveis simplesmente impede seu uso neste tipo de avaliação. No entanto, um estudo da área (conforme relatado por Econservation, 2016b) fornece dados que podem ser usados para uma comparação preliminar baseada na saúde.

Uma avaliação mais detalhada do risco do consumo humano de peixe na área (e a necessidade associada de uma proibição de pesca) exigirá dados adicionais, incluindo informações sobre as espécies de peixe que são consumidas, a faixa de tamanho do peixe consumido pelas populações locais, e faixa de tamanho de peixe vendido aos mercados comerciais. É importante que estudos futuros para apoiar a tomada de decisão baseada em risco caracterizem arsênio total e arsênio inorgânico em tecidos de peixes e moluscos. O desenho do estudo também deve incluir a caracterização de uma “área de referência” para que as concentrações para a área de interesse possam ser comparadas às áreas não impactadas. Isso é importante porque os metais ocorrem naturalmente no meio ambiente e os tecidos da biota naturalmente contêm algum nível desses metais. Portanto, uma avaliação de risco significativa permitirá a triagem contra os níveis de base.

## 6. SINAIS DE RECUPERAÇÃO DO AMBIENTE

Durante a leitura dos documentos, pôde-se observar que diversos estudos já reportaram indícios de recuperação do ambiente ao longo do tempo. Apresenta-se na Tabela 10 um quadro-resumo com os principais documentos e resumo de evidências nesta direção.

Tabela 10: Quadro-resumo com os principais estudos que evidenciam que o ambiente encontra-se em fase de recuperação.

Autor	Identificação	Indicativo de recuperação
GOLDER	Relatório Monitoramento Rio Doce Dados Nov-15 a Mar-17	<b>Qualidade da água e do sedimento</b> apresentou melhora química e microbiológica; redução da dependência da qualidade da água com a vazão do rio Doce em época de chuva
GOLDER	Relatório Monitoramento Marinho Dados Nov-15 a Fev-17	<b>Qualidade da água</b> no período chuvoso de 16/17 apresentou diminuição dos contaminantes; vale lembrar que o pulso de vazão foi menor que o ano anterior.
IGAM e IEMA		Ambos citam melhoria da <b>qualidade da água</b> a partir de 2017
GOLDER	Avaliação do estado de conservação dos bancos de macroalgas e rodolitos adjacentes à foz do rio Doce	<b>Não observaram evidência visual de deposição de rejeitos</b> sobre macroalgas e rodolitos na APA Costa das Algas e RVS Santa Cruz
CTA	Monitoramento da ictiofauna na região marinha	<b>Ictiofauna marinha</b> se recuperou em abundância, riqueza melhorou, encontraram sp ameaçadas; camarão sete barbas foi encontrado tanto próximo quanto mais afastado da foz
HYDROBIOLOGY	Levantamento Ictiofauna do rio Doce	Sonar realizado em março de 2018 mostrou <b>aumento de biomassa de peixes</b> no rio Doce nos locais impactados pelo rejeito em comparação com sonar realizado em maio e outubro de 2017; coletas indicaram que reprodução de peixes está retornando;
FURG	<b>Bioacumulação peixes e camarões</b> na foz e costa	<b>Concentração de todos metais reduziu</b> , somente Cd ainda está próximo ao LMP, apesar de tb ter reduzido

## 7. CONCLUSÕES

As conclusões deste parecer técnico serão apresentadas por meio de respostas à perguntas que nortearam a realização deste estudo, conforme segue.

### 7.1 HÁ JUSTIFICATIVA SOB O PONTO DE VISTA AMBIENTAL PARA A MANUTENÇÃO DA ÁREA DE PROIBIÇÃO DA PESCA DELIMITADA ATUALMENTE?

- Sob o aspecto físico, pelas concentrações de sedimentos em suspensão na zona costeira oriundas do Rio Doce, conclui-se que a sustentação do banimento da pesca carece de fundamentos;
- Os estudos químicos da água e do sedimento têm mostrado que a qualidade do rio, da foz e região costeira tem melhorado, chegando próximo aos valores pré-rompimento;
- Existem ainda alguns poucos *hot-spots* de contaminação de sedimento no rio;
- Os estudos ecotoxicológicos com amostras do rio Doce, realizados em laboratório, indicaram ausência de efeitos agudos na água e média incidência de efeitos crônicos sobre as comunidades aquáticas, causados pelo efeito físico do incremento de sólidos na água (organismos filtradores) e/ou sua deposição na região estuarina (organismos bentônicos) durante a passagem da pluma e no período de chuvas em janeiro de 2016; retornando a às condições pré-rompimento após este período;
- Comunidades planctônicas, bentônicas e ictiofauna no rio Doce e do mar apontam para um cenário favorável ao reestabelecimento.

## FORAM IDENTIFICADOS VÁRIOS INDÍCIOS DE TENDÊNCIA DE RECUPERAÇÃO NA QUALIDADE DA ÁGUA, SEDIMENTO E BIOTA.

### 7.2 HÁ JUSTIFICATIVA SOB O PONTO DE VISTA DE RISCO A SAÚDE HUMANA PARA A MANUTENÇÃO DA ÁREA DE PROIBIÇÃO DA PESCA DELIMITADA ATUALMENTE NO MAR?

- A grande maioria dos estudos objeto desta avaliação foram realizados sob o conceito da comparação das concentrações de contaminantes com os padrões estabelecidos em normas brasileiras, a saber Resolução RDC ANVISA nº 42/2013 e Decreto 55871/1965;
- Diversas inconsistências metodológicas e de apresentação de resultados foram encontradas na maioria dos estudos;
- Assumindo como verdadeiros os resultados referentes às concentrações de contaminantes em pescado gerados na região da foz do rio Doce e zona costeira adjacente, arsênio, selênio, chumbo, cádmio e cromo totais apresentaram níveis superiores aos padrões de qualidade para consumo humano em algum momento, para alguma espécie, ao longo dos últimos 3 anos;
- Com base nos resultados produzidos pela FURG (2018), os valores dos metais e metalóides reduziram com o tempo. Em período recente, os dados da FURG indicaram que apenas o cádmio se encontra próximo ao limite máximo tolerável e os demais estão abaixo dos padrões. Por outro lado, Econservation (2016b) reporta valores baixos deste metal mesmo na época do rompimento da barragem (dez/15-jan/16);
- A abordagem comparativa empregada nos estudos da FURG e Econservation indica situação de “HAZARD”, e não engloba os diferentes níveis de exposição a que as pessoas estão submetidas;
- A análise de “RISK” considera os cenários de exposição e dessa forma foi apresentada na Nota Técnica elaborada pela ANVISA em maio de 2016, entretanto com ressalvas metodológicas:

- Foi considerado que os pescados e frutos do mar correspondem a 2% da dieta do brasileiro; peixes de água salgada representam até 47% do pescado consumido;
- Num cenário conservador, a ingestão máxima tolerável de cádmio e chumbo seria excedida para o grupo de crianças consideradas altas consumidoras;
- Ressalta-se que a avaliação foi realizada com dados coletados há aproximadamente 2 meses da chegada da pluma na região costeira, quando os níveis de todos os metais medidos (Cd, Pb, As, Hg, Cu, Cr, Fe, Mn) estavam mais elevados dos que os atuais de fev/18. Com base nos valores de referência da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2010), o valor de toxicidade de arsênio foi transcrito incorretamente, estando o cálculo subestimado;
- A definição quanto a manutenção da área de proibição de pesca será melhor fundamentada com a **REALIZAÇÃO DE AVALIAÇÃO DE RISCO ESPECÍFICA PARA O CASO**, considerando a existência de análises químicas mais atuais e complementares, bem como a delimitação de um cenário de exposição compatível com as características regionais (como por exemplo, o consumo de peixes pela população local);
- *Risk-based screening* com informações locais é uma ferramenta de screening que pode ser usada mais facilmente e se recomenda, pois requer menos análise de dados do que uma avaliação de risco completa.

### **7.3 HÁ JUSTIFICATIVA SOB O PONTO DE VISTA DE RISCO A SAÚDE HUMANA PARA A MANUTENÇÃO DA ÁREA DE PROIBIÇÃO DA PESCA DELIMITADA ATUALMENTE NO RIO DOCE?**

- O consumo do pescado, em tese (baseado nos estudos da Fundação RENOVA em 2018), não oferece perigo à saúde humana;
- Se faz necessária a ampliação e continuidade do estudo de forma a confirmar os dados iniciais, estabelecendo análises mais representativas em termos de abrangência

geográfica e estações do ano (principalmente período de seca e chuva), análise de maior número de indivíduos por espécie em cada estação de amostragem, análises de espécies comestíveis de vários hábitos alimentares e posição na coluna d'água e cadeia trófica, faixa de tamanho dos organismos consumidos, limites de detecção/quantificação adequados.

#### **7.4 O CONSUMO PRÓPRIO DO PESCADO OFERECE RISCO À SAÚDE HUMANA?**

- Os estudos realizados até o momento são insuficientes para que uma resposta segura seja dada;
- A realização de uma **AVALIAÇÃO DE RISCO ESPECÍFICA**, empregando novos dados exatos, precisos e consistentes, deverá nortear a questão.

#### **7.5 OS ESTUDOS DISPONÍVEIS SÃO SUFICIENTES PARA RESPONDER ESTAS QUESTÕES?**

- Os estudos realizados até o momento são insuficientes para respondê-las, mas foram úteis para indicar o caminho a ser seguido.

#### **7.6 SE CONSTATADA A NECESSIDADE DE MANUTENÇÃO DA ÁREA DE PROIBIÇÃO DE PESCA DELIMITADA ATUALMENTE, QUAIS SÃO AS ORIENTAÇÕES TÉCNICAS QUE POSSIBILITEM SEU MELHOR ENTENDIMENTO, MITIGAÇÃO E/OU EXTINÇÃO DO PROBLEMA EM QUESTÃO**

- A única justificativa para manter a proibição do pescado no rio e afluentes na região geográfica atualmente delimitada é a necessidade de proteger o estoque de peixes.

Para que essa proteção de estoque seja eficaz, a proibição deve continuar, principalmente, nos afluentes.

- Áreas de reprodução de espécies nos tributários podem servir como proteção e recuperação de espécies nativas que vão depois se deslocar ao longo de seu processo vital, para o rio principal. Desta forma esta recuperação pode ser mais rápida;
- Deve ser acompanhada por monitoramento permanente e ações intensivas de proteção e conservação;
- Recomposição maciça da vegetação terrestre, e especialmente da vegetação ciliar possibilitará uma recuperação mais rápida do rio e seus tributários;
- Áreas alagadas, como brejos, com vegetação fixa e flutuante de macrófitas aquáticas, que são áreas também reconhecidas como “*Nursery grounds*” (viveiros de reprodução de peixes) e sua preservação pode auxiliar muito na recuperação dos tributários e do rio principal quanto à fauna iictica;
- A preservação de mosaicos de vegetação ainda existentes, e de áreas alagadas remanescentes pode ser utilizada com sucesso para recuperar a biodiversidade da região;
- Uma vez demonstrado que não há risco de contaminação do peixe e nenhum risco para a saúde humana, recomenda-se que a proibição de peixe seja suspensa **no rio** principal e mantida nos afluentes como uma justificativa técnica e científica para proteger os estoques pesqueiros;

**No mar**, a partir dos estudos avaliados apresentam-se as seguintes orientações:

- a) Buscar os dados brutos/laudos analíticos dos estudos realizados, a descrição dos procedimentos metodológicos e os controles de qualidade analíticos visando confirmar consistência/exatidão dos dados disponíveis;
- b) Elaborar *design* e executar um estudo complementar voltado a responder especificamente à contaminação do pescado e o risco a saúde humana. Este estudo deverá ser completo, totalmente focado para responder as questões básicas do *fish ban*, mas ao mesmo tempo detalhado para suprir um banco de dados que

seja de uso comum a várias áreas da ciência envolvidas nos estudos de recuperação do rio Doce;

- c) Atentar para todos os instrumentos normativos brasileiros em que se encontram vigentes padrões de qualidade voltados ao consumo de pescado, como o Decreto 55.871/1965;
- d) Considerando a diferença de bioacumulação de metais entre as espécies de pescado, tamanho, sexo, cadeia trófica, proceder as análises subsequentes de perigo e risco a saúde humana por espécie de pescado, atentando para o tamanho dos peixes que são consumidos;
- e) É de extrema necessidade constituir um banco de dados com todas as variáveis abióticas e bióticas para melhorar as ferramentas de interpretação.

***7.7 SOB QUAIS CRITÉRIOS TÉCNICOS QUE DEVEM FUNDAMENTAR O LIMITE GEOGRÁFICO DESTA ÁREA DE PROIBIÇÃO, A FIM DE DISTINGUIR CLARAMENTE A ÁREA DE PROIBIÇÃO DE PESCA E A ÁREA QUE NÃO DEVE SER CONSIDERADA COMO IMPRÓPRIA PARA O PESCADO.***

- **No rio**, os critérios técnicos para manter a proibição de pesca na área geográfica dos afluentes são: a proteção das unidades populacionais de peixes e recuperação de estoques;
  - O rio principal deve, portanto, estar livre da proibição da pesca de peixe, desde que as condições de ausência de contaminação do pescado sejam cumpridas. Para tanto, os métodos analíticos devem ser adequados para caracterizar as concentrações de tecido de peixe na faixa de relevância para a saúde humana;
- Proibição nas **áreas costeiras** do Espírito Santo ao redor da foz do rio Doce deve ser determinada com base em um dos dois conjuntos de **critérios**:

- Baseados em saúde humana definidos como limites de concentração estabelecidos para garantir baixa probabilidade de efeitos adversos à saúde por parte das populações que consomem peixe, ou
  - Baseados em concentrações de baseline (background), caso os peixes dentro da área de proibição demonstrem conter concentrações de contaminantes em seus tecidos ainda preocupantes, em comparação com peixes da mesma espécie das áreas marinhas circundantes;
- Os critérios baseados em saúde humana devem:
    - Usar dados específicos do local, com relação à quantidade de peixe consumido (incluindo por exemplo, o peso do peixe por refeição e frequência de consumo);
    - Considerar se os peixes são consumidos localmente ou introduzidos no mercado comercial mais amplo, e em qual faixa de tamanho;
    - Considerar se o contaminante é conhecido por concentrar-se em tecidos comestíveis de peixe (por exemplo, mercúrio) e detalhes de formas específicas do contaminante (por exemplo, arsênico orgânico vs. inorgânico) que são importantes para entender a toxicidade potencial;
    - Os métodos analíticos devem ser adequados para medir as concentrações de metais em tecido de peixe na faixa de relevância para a saúde humana;
    - Avaliar as concentrações de tecido nas porções comestíveis de peixes de áreas potencialmente impactadas e comparadas com concentrações teciduais em “amostras casadas”, ou seja, os mesmos tecidos, as mesmas espécies, com o mesmo tamanho, originários de áreas fora do impacto do rio Doce.
  - Caso as concentrações de contaminantes preocupantes em peixes na vizinhança da foz do rio Doce (por exemplo, na área de proibição existente) não forem elevadas acima do baseline, então não há base útil para impor uma proibição. É relevante levar em consideração que as substâncias químicas podem não se acumular nos tecidos comestíveis dos peixes devido principalmente:
    - a mecanismos homeostáticos que os protegem;

- concentrações podem estar acima dos padrões normais, pelas características naturais da região, como por exemplo, níveis naturais de baseline (background) elevados em função da matriz geológica regional;
- a faixa normal de migração dos peixes pode ser extensa e o tempo de permanência na área de banimento da pesca pode ser reduzido, de modo que a influência do rio Doce sobre as concentrações de metais nos tecidos seja limitada.

## 8. ORIENTAÇÕES TÉCNICAS PARA O PLANEJAMENTO AMOSTRAL

A Tabela 11 fornece um resumo de algumas considerações importantes que devem ser seguidas para quaisquer futuros esforços de coleta de peixes conduzidos para apoiar a avaliação da proibição da pesca. Somente um estudo que inclua essas considerações poderia fornecer informações adequadas para apoiar uma decisão cientificamente justificada no que diz respeito à suspensão da proibição da pesca.

Tabela 11 - Considerações sobre o design do estudo para futuros esforços relativos a proibição da pesca.

Atributos	Fundamentação
<b>Aspectos analíticos</b>	
AQ/CQ Analíticos	Permite a avaliação da precisão e exatidão dos dados resultantes
Branco	Estabelece contaminação laboratorial
Réplicas	Estabelece a reprodutibilidade / variabilidade
Spikes	Estabelece precisão de resultados analíticos ou potencial para problemas de recuperação
Materiais de Referência Padrão	Estabelece a qualidade - indica possíveis vieses analíticos.
Limites de Detecção	Precisa ser estabelecido de forma consistente com os objetivos de qualidade de dados. Por exemplo, ser definido abaixo dos valores referenciais de risco
Cartas de controle de qualidade	No laboratório de análise quantitativa para medir os atributos e desempenho de um processo analítico
<b>Design do Estudo</b>	
Objetivos do Projeto	Garante a qualidade de dados frente aos objetivos
Tamanho do peixe	Reflete tamanhos relevantes para o consumo humano
Espécies de peixe	Reflete espécies relevantes para o consumo humano
Locais de referência (por exemplo, a montante, fluxos de referência, áreas de controle, área de proibição interna / externa)	Incluído para demonstrar se as concentrações são elevadas na área de estudo em comparação com a região geográfica geral
Locais de amostragem ao longo do comprimento do rio e áreas costeiras	Os locais não precisam ser numerosos, mas precisam capturar metas de design.
Limites de detecção	Ver acima
Métodos analíticos específicos	Informará o desenho do estudo e o número da amostra
Grupos de peixes com diferentes características ecológicas	Fornecer informações para avaliar se a proibição deve ser aplicada de maneira diferente a diferentes espécies.

## 9. REFERÊNCIAS

AGAH, H.; LEERMAKERS, M.; ELSKENS M.; FATEMI, S.M.R.; BAEYENS, W. Accumulation of trace metals in the muscles and liver tissues of five fish species from the Persian Gulf. *Environ. Monit. Assess.* 2009;157:499–514.

AMBILEV. Monitoramento hidrográfico na plataforma adjacente à foz do rio Doce. Relatório Técnico AMB 075-16. abr de 2016.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução - RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013. Brasil, 2013.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Avaliação de Risco do consumo de pescados da região afetada pelo acidente da Barragem do Fundão – Samarco. Nota Técnica nº 96/2016 – GGALI/DIARE/ANVISA. Brasília, 2016.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução-RE Nº 989, de 15 de abril de 2016.

ATSDR: U.S. Centers for Disease Control, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2002). Toxicological Profile for Cadmium <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf>

APLYSIA. Monitoramento ambiental dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema de praia (Rebio Comboios). Relatório Técnico nº 1763/2016. 2016.

APLYSIA. Avaliação ecotoxicológica da água e sedimento do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão. Relatório Técnico nº 897/2017. 2017a.

APLYSIA. Levantamento de dados de arsênio em tecidos de peixes e moluscos. Relatório Técnico nº 245/2017. 2017b.

APLYSIA. Avaliação dos dados de clorofila-a provenientes do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão. Relatório Técnico nº 1127/2017. 2017c.

APLYSIA. Avaliação da concentração de metais em tecido de moluscos coletados no rio Doce antes e depois da passagem da pluma de turbidez. Relatório Técnico nº 1174/2017. 2017d.

APLYSIA. Avaliação dos dados da comunidade bentônica do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão. Relatório Técnico nº 1514/2017. 2017e.

APLYSIA. Avaliação da presença de contaminantes no pescado comercializado na costa brasileira. Relatório Técnico nº 747/2018. 2018.

ARISSETO-BRAGOTTO, A.P.; FELTES, M.M.C.; BLOCK, J.M. Food quality and safety progress in the Brazilian food and beverage industry: chemical hazards. *Food Quality and Safety*, 2017, 1(2), 117–129.

BIOMA. Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, Mariana, MG. 2016.

BOALT, E.; DAHLGREN, H.; MILLER, A. Cadmium, lead, and mercury concentrations in whole fish, liver, and muscle of herring and perch. Swedish Museum of Natural History Department of Contaminant Research. Relatório nº 6:2012. Stockholm, Sweden. 2012. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:717090/FULLTEXT01.pdf>.

BRASIL. Decreto nº 55871, de 26 de março de 1965. Presidência da República. Brasília, 1965.

CHAPMAN, D. (Editor). *Water quality assessments*. UNEP; WHO; UNESCO. 585 pp. 1992.

COASTAL ENGINEERING MANUAL. U.S. Army Corps of Engineers. 2002.

Codex Alimentarius Commission (CAC). Joint FAO/WHO Food Standards Programme. Food and Agriculture Organization of the United Nations, and World Health Organization.

Codex Committee on Food Additives and Contaminants; Position Paper on Arsenic. CX/FAC 99/22.1999.

CHOWDHURY, M.J.; McDONALD, D.G., WOOD, C.M. Gastrointestinal uptake and fate of cadmium in rainbow trout acclimated to sublethal dietary cadmium. *Aquatic Toxicology* 69,149–163. 2004. Disponível em: <https://www.zoology.ubc.ca/~woodcm/Woodblog/wpcontent/uploads/2016/07/Chowdhury-et-al-2004-Aq.-Tox.pdf>.

COPPE/UFRJ. Avaliação dos impactos da ruptura da barragem de rejeitos de Fundão em Mariana nove meses após o desastre. Relatório Final. Rio de Janeiro, 2017.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Monitoramento especial da bacia do rio Doce. Relatório II. Belo Horizonte, 2015.

CTA. Monitoramento da ictiofauna na região marinha. Relatório Técnico. 2017.

CUTTER, G. (ed). *Sampling and sample-handling protocols for GEOTRACES cruises*. Cook book. 2014. Disponível em: [www.geotraces.org](http://www.geotraces.org).

DALLINGER, R.; EGG, M.; GIINTHER, K.; HOFER, R. The role of metallothionein in cadmium accumulation of Arctic char (*Salvelinus alpinus*) from high alpine lakes. *Aquatic Toxicology*, 1997. 38, 47-66.

DeFOREST, K.D.; BRIS, K.V.; ADAMS, W.J. Assessing metal bioaccumulation in aquatic environments: the inverse relationship between bioaccumulation factors, trophic transfer factors and exposure concentration. *Aquatic Toxicology*, 2007. Vol 84:236-246.

ECONSERVATION. Levantamento de dados de turbidez, fitoplâncton e qualidade de água entre Abrolhos e Vitória. Relatório Técnico - RT ECV 073/16. 2016a.

ECONSERVATION. 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. 2016b.

ECONSERVATION. Análise Estatística dos Dados do Programa de monitoramento da comunidade do zoobentos do rio Doce. Relatório Técnico – RT ECV 188/16. 2016c.

ECONSERVATION. Conhecimento do comportamento do cádmio na bacia do rio Doce. Relatório Técnico – RT ECV 033-17. 2017a.

ECONSERVATION. Remoção, identificação, contabilidade e destinação de peixes do rio Doce – Relatório Final. Relatório Técnico – RT ECV 060-17. 2017b.

ECONSERVATION. Análise integrada dos contornos do deslocamento das plumas de turbidez no meio marinho. Relatório Técnico - RT ECV 138/17. 2017c.

EDMONDS, J. S.; FRANCESCONI, K. A. Arsenic in seafoods: Human health aspects and regulations. Marine Pollution Bulletin. Vol. 26 No. 12 665-674. 1993.

EMBRAPA. Teores de arsênio, cádmio e chumbo em peixes marinhos comercializados em Maceió/AL, Aracaju/SE e Salvador/BA. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Brasil. 2016.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories. Vol. 1: Fish Sampling and Analysis, Third Edition. November, 2000.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *National Center for Environmental Assessment*. [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance\\_nmbr=278#tab-2](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=278#tab-2). Downloaded October, 2018.

FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Evaluations of JECFA: Arsenic. 2011. Disponível em: <<http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfadatabase/chemical.aspx?chemID=1863>>.

FURG – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE. Resumo das análises realizadas – Expedição Soloncy Moura. 2016a

FURG – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE. Avaliação de impacto da lama/pluma da Samarco sobre os ambientes costeiros e marinhos com ênfase nas Unidades de Conservação - 1ª expedição do navio Soloncy Moura. 2016b

FURG – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE. Análise de contaminantes (metais). 2016c

FURG – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE. Análise comparativa sobre os resultados entre as expedições Soloncy Moura I e II e as amostras coletadas antes do evento. 2016d

FURG – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE. Monitoramento dos efeitos ecotoxicológicos da pluma de sedimentos oriunda da foz do rio Doce sobre o ambiente marinho – Contaminação do pescado. 2017.

FURG – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE. Ecotoxicologia – contaminação do pescado. Apresentação em slides. 2017.

FURLEY, T.H.; TARDIN, L.C.; VALENTIM, C.H.D.; PANDOLFO, P.S.V.; MELLO, F.A.; GUIMARÃES, D.T.; SIQUEIRA, J.L. Avaliação da bioacumulação de metais em estações localizadas em área de dragagem e descarte do estaleiro Jurong Aracruz. XIV Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia; 10 de setembro de 2016. Curitiba, 2016.

GIACOMIN, M.; VILARINHO, G.C.; CASTRO, K.F.; FERREIRA, M.; DUARTE, R.M.; WOOD, C.M.; VAL, A.L. Physiological impacts and bioaccumulation of dietary Cu and Cd in a model teleost: The Amazonian tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Aquat Toxicol.* 2018. 199:30-45.

GLEC - GREAT LAKES ENVIRONMENTAL CENTER Development of bioaccumulation factors (BAFs) for use in human health ambient water quality criteria development. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Office of Science and Technology, Health and Ecological Criteria Division. EPA Contract No. EP-C-09-001. 2013.

GREENBERG, G.I.; LUNCH, H.N.; LEWIS, A.S. A Literature Review of Inorganic Arsenic in Seafood and Its Implication in Dietary Intake Analyses. Gradient. November, 2014.

GOLDER ASSOCIATES. Qualidade de água, qualidade do sedimento e resultados dos testes de ecotoxicologia no rio Doce, referente aos dados reportados até 18 de janeiro de 2016. Memorando Técnico nº 017. 2 de março de 2016. 2016a.

GOLDER ASSOCIATES. Concentração de arsênio, zinco e selênio na zona costeira próxima à foz do rio Doce. Memorando Técnico nº 30. 2 de maio de 2016. 2016b.

GOLDER ASSOCIATES. Atualização da qualidade da água e sedimento na zona costeira após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. Memorando Técnico nº 32. maio de 2016. 2016c.

GOLDER ASSOCIATES. Documento intitulado Infração nº 016543-A. Memorando Técnico nº 45. 04 de julho de 2016. 2016d.

GOLDER ASSOCIATES. Resumo sobre qualidade da água e sedimentos relativos aos limites das resoluções CONAMA na zona costeira após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. Memorando Técnico nº 050. 01 de julho de 2016. 2016e.

GOLDER ASSOCIATES. Qualidade da água e do sedimento na zona costeira próxima a foz do rio Doce e na APA Costa das Algas – Atualização de maio de 2017. Relatório Técnico nº 048. maio de 2017. 2017a.

GOLDER ASSOCIATES. Avaliação dos resultados de qualidade de água e sedimento do rio Doce – Atualização de julho de 2017. Relatório Técnico nº 046. julho de 2017. 2017b.

GOLDER ASSOCIATES. Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos. Relatório Técnico nº 015/2017. Outubro de 2017. 2017c.

HIDROBIOLOGY. Arsênio total e inorgânico. Nota Técnica. 2016.

HIDROBIOLOGY. Fish biomass distribution at the mouth of the rio Doce (Acoustic Survey) Relatório Técnico. Abril de 2018. 2018a

HIDROBIOLOGY. Upper catchment supplementary ecological indicators. Fundao Dam Failure. Relatório Técnico. Agosto de 2018. 2018b

HIDROBIOLOGY. Fish distribution and aquatic habitats of the rio doce and tributaries (Acoustic Survey). Relatório Técnico. Março de 2018. 2018c

HOLLIS, K.; HOGSTRAND, C.; WOOD, C.M. Tissue specific cadmium accumulation, metallothionein induction, and tissue zinc, and copper levels during sublethal cadmium exposure in juvenile rainbow trout. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 41:468-474. 2001. Disponível em: <https://www.zoology.ubc.ca/~woodcm/Woodblog/wpcontent/uploads/2016/07/Hollis-et-al-2001-AECT.pdf>.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Laudo Técnico Preliminar. Brasília, 2015.

ICMBIO – INSTITUTO CHICO MENDES. Monitoramento da pluma de sedimentos proveniente da barragem de Fundão. Nota Técnica nº23/2017/TAMAR- Vitória-ES/DIBIO/ICMBio. 25 de setembro de 2017.

IEF – INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. Portaria IEF nº146, de 31 de outubro de 2016.

HEMA – INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Encarte Técnico – 2 anos de monitoramento da qualidade da água bruta do rio Doce. 2017.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Encarte especial sobre a qualidade das águas do rio Doce após 2 anos do rompimento da barragem de Fundão – 2015/2017. outubro de 2017. 2017.

INSTITUTO DO MILÊNIO. Avaliação ambiental de estuários brasileiros – Diretrizes metodológicas. Livro série 22.

JAYAKUMAR, P.; PAUL, V. I. Patterns of cadmium accumulation in selected tissues of the catfish *Clarias batrachus* (Linn.) exposed to sublethal concentration of cadmium

chloride Veterinarski Arhiv 76 (2), 167-177. 2006. Disponível em: <<https://hrcak.srce.hr/5077>>.

JORGENSEN, S.E.; TUNDISI, J.G.; MATSUMURA TUNDISI, T. Handbook of inland waters ecosystem management. Taylor & Francis, London, 432 pp. 2013.

JUSTIÇA FEDERAL. Decisão Judicial. 2016

LEVIT, S. M. A literature review of effects of cadmium on fish. Center for Science in Public Participation. Bozeman, MT. 2010. Disponível em: <<https://www.conservationgateway.org/ConservationByGeography/NorthAmerica/UnitedStates/alaska/sw/cpa/Documents/L2010CadmiumLR122010.pdf>>.

MATSUO, AYO; VAL, A. L. Dietary tissue cadmium accumulation in an amazonian teleost (Tambaqui, *Colossoma macropomum*) [Acúmulo dietário de cádmio em tecidos de um teleósteo Amazônico (Tambaqui, *Colossoma macropomum*)] Braz. J. Biol. 67(4): 657-661. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?scriptsci\\_arttext&pid=S1519-69842007000400010&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?scriptsci_arttext&pid=S1519-69842007000400010&lng=en&nrm=iso&tlng=en)>.

MCGEER, J. C.; BRIX, K. V.; SKEAFF, J. M.; DEFOREST, D. K.; BRIGHAM, S. I.; ADAMS, W. J.; GREEN, A. Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentrations for metals: implications for hazard assessment of metals in the aquatic environment. Environ. Toxicology and Chemistry. 2003. Vol 22, No 5: 1017-1037.

MCGEER, J.C.; SZELEDINSKY, C.; MCDONALD, D.; WOOD, C. M. Effects of chronic sublethal exposures to waterborne Cu, Cd, or Zn in rainbow trout 2: tissue specific metal accumulation. Aquat Toxicol. 2000. 50(3): 245-256. Disponível em: <[https://pdfs.semanticscholar.org/cbb2/55f6be174929680343653327960763348f71.pdf?\\_ga=2.225019034.1847184314.1539644424-1415680190.1539644424](https://pdfs.semanticscholar.org/cbb2/55f6be174929680343653327960763348f71.pdf?_ga=2.225019034.1847184314.1539644424-1415680190.1539644424)>.

MELLO, F.A; TARDIN, L.C.; NETO, P.W.; GUIMARÃES, D.T.; PANDOLFO, P.S.V.; FURLEY, T.H. Avaliação química da qualidade do sedimento em uma área sobre influência da disposição do material dragado para implantação do Estaleiro Jurong Aracruz. In: XIV Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia. Curitiba, 2016.

NEFF, J.M. Ecotoxicology of arsenic in the marine environment. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1997. Vol. 16, No. 5, 917-927.

OLSSON, P.E; KLING, P., HOGSTRAND, C. Mechanisms of heavy metal accumulation and toxicity in fish. In: Langston, Bebianne, eds. *Metal Metabolism in Aquatic Environments* London: Chapman & Hall Ltd. 1998. pp. 321–350. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4757-2761-6\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4757-2761-6_10).

PESHUT, P. J.; MORRISON, R. J.; BROOKS, B. A. Arsenic speciation in marine fish and shellfish from American Samoa. *Chemosphere*, Amsterdam, n. 71, p. 484-492, 2008.

PETS, G. E. & AMOROS, C. *Fluvial hydrosystems*. Chapman & Hall, 322 pp. 1996.

PROENÇA, L.A.O.; TAMANAHA, M.S.; FONSECA, R.S. Screening Toxicity and toxin content of blooms of the cyanobacterium *Trichodesmium erythraeum* (EHRENBERG) in northeast Brazil. *J Venom Anim Toxins Incl Trop*. 2009. 15 (2): 204-215.

RENOVA (Fundação). *Quantificacao de metais e arsênio nos organismos coletados durante o progama de monitoramento da ictiofauna do rio Doce no estados de Minas Gerais e Espírito Santo – Relatório 2, 2018*.

RIGET, F.; DIETZ, R.; JOHANSEN, P. Zinc, cadmium, mercury and selenium in Greenland fish. *Meddelelser om Gronland (Geoscience, Man & Society)*, Bioscience, 1997. 48: 5-33. English translation found at: [https://books.google.com/books?id=33IFwHN9uEMC&pg=PA19&lpg=PA19&dq=zinc,+cadmium,+mercury,+and+selenium+in+greenland+fish&source=bl&ots=9YhEaaiEI9&sig=OkS63Nt2ugnOoJ\\_BhAXT14OFBbc&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwj8kffcZvfdAhVjMHwKHZbHB0AQ6AEwBXoECAMQAQ#v=onepage&q=zinc%2C%20cadmium%2C%20mercury%2C%20and%20selenium%20in%20greenland%20fish&f=false](https://books.google.com/books?id=33IFwHN9uEMC&pg=PA19&lpg=PA19&dq=zinc,+cadmium,+mercury,+and+selenium+in+greenland+fish&source=bl&ots=9YhEaaiEI9&sig=OkS63Nt2ugnOoJ_BhAXT14OFBbc&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwj8kffcZvfdAhVjMHwKHZbHB0AQ6AEwBXoECAMQAQ#v=onepage&q=zinc%2C%20cadmium%2C%20mercury%2C%20and%20selenium%20in%20greenland%20fish&f=false).

ROSMAN, P. C. C., et al.. *Referência Técnica do SisBaHiA®*, Fundação COPPETEC – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. 2016.

SCHOOF, R. A.; YOST, L. J.; EICKHOFF, J. A market basket survey of inorganic arsenic in food. *Food Chem. Toxicol.* 1999. 37(8):839-846.

SZEBEDINSZKY, C.; McDONALD, D. G.; WOOD, C. M. Effects of chronic Cd exposure via the diet or water on internal organ-specific distribution and subsequent gill Cd uptake kinetics in juvenile rainbow trout. *Environ. Toxicol. and Chem.* 2001, 20(3):597-607. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.842.6504&rep=rep1&type=pdf>.

TUNDISI, J.G. & MATSUMURA TUNDISI, T. *Limnologia. Oficina de Textos*, 632 pp. 2013.

UERJ – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO DE JANEIRO. Estudo preliminar sobre a detecção da pluma de sedimentos do rio Doce sobre o Parque Nacional dos Abrolhos. Relatório Técnico. maio de 2016.

UERJ – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO DE JANEIRO. Sumário das análises de isótopos radiogênicos de Sr e Nd em sedimentos da foz do rio Doce/ES e do Parque Nacional dos Abrolhos/BA (antes e depois do rompimento da barragem de rejeitos da Samarco em Mariana/MG). Relatório Técnico. 21 de setembro de 2017.

UFES – UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Processamento, interpretação e consolidação de dados da área marinha adjacente a foz do rio São Mateus/ES. Relatório Técnico. 2017.

UFVJM – UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI. Relatório da contaminação dos peixes capturados na região do médio rio doce na microrregião de Governador Valadares, MG. Relatório Técnico. Teófilo Otoni, 2017.

VAN RIJN, L. C. *Sediment transport by currents and waves*. Delft Hydraulics, Netherlands. Handbook, 1989.

WINDOM, H.L.; MOORE, W.; NIENCHESKI, L.F. e JANKE, R. Submarine Groundwater Discharge: a Large, Previously Unrecognized Source of Dissolved Iron to the South Atlantic Ocean. *Marine Chemistry*. 2006. Vol 102, Issues 3-4, p. 252-266.



---

WHO - World Health Organization. *Safety evaluation of certain contaminants in food: Arsenic. Prepared by the 72nd meeting of the joint FAO/WHO Expert Committee o Food Additives (JECFA)> WHO Food Additives Series 63. FAO JECFA Monographs 8. 2011.*

YOST, L. J.; TAO, S. H.; EGAN, S. K.; BARRAJ, L. M.; SMITH, K. M.; TSUJI, J. S.; LOWNEY, Y. W.; SCHOOF, R. A.; RACHMAN, N. J. Estimation of dietary intake of inorganic arsenic in U.S. Children. *Human and Ecological Risk Assessment*. 2004. 10:473-489.

## 10. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR E DA EMPRESA DE CONSULTORIA

### ***IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR***

**Razão Social:** Fundação RENOVA

**Número do CNPJ:** 25.135.507/0001-83

**Endereço:**

**Telefone e fax:** : (31)

**Representante Legal:** Rodolfo Campelo

**E-mail:** rodolfo.campelol@fundacaorenova.org

### ***IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA CONSULTORA***

**Nome:** APLYSIA ASSESSORIA E CONSULTORIA LTDA.

**Número do CNPJ:** 02.290.210/0001-97

**Endereço:** Rua Júlia Lacourt Penna, 335, Jd. Camburi, Vitória/ES, CEP 29090-210

**Telefone e fax:** (27) 3337-4877



## 11. ANEXO



## LISTA DE DOCUMENTOS ANALISADOS

Item	Instituição	Título	Data	Especialista				
				Ta	Y	F	Tu	R
<b>Físico-Químico: Água e Sedimentos</b>								
1	GOLDER	Memorando Técnico: Qualidade de água, sedimentos e resultados de testes ecotoxicológicos (dados até 18/jan/2016)	mar/16			x	x	
2	GOLDER	Memorando Técnico: concentração de arsênio, zinco e selênio na zona costeira	mai/16			x		
3	GOLDER	Memorando Técnico: Atualização da qualidade da água e sedimento na zona costeira	mai/16			x		
4	GOLDER	Memorando Técnico: Referente ao Auto de Infração nº 016543-A	jul/16			x	x	
5	GOLDER	Memorando Técnico: Resumo da Qualidade de água e sedimento relativo aos limites da resolução conama 357/2005	jul/16			x	x	
6	AMBILEV	Monitoramento Marinho ADP - Pacote 4	abr/16			x		
7	ECONSERVATION	Relatório Técnico Conhecimento do Comportamento do Cádmio na Bacia do Rio Doce	fev/17			x	x	
8	GOLDER	Qualidade da água e do Sedimento na Zona Costeira Próxima à Foz do Rio Doce e na APA Costa das Algas - Atualização de Julho 2016	jul/16			x	x	
9	GOLDER	Relatório Monitoramento Marinho Dados Nov-15 a Fev-17 (período emergencial)	mai/17			x		
10	GOLDER	Relatório Monitoramento Rio Doce Nov-15 a Mar-17 (período emergencial)	jul/17			x	x	
11	IGAM	Encarte especial sobre a qualidade das águas do Rio Doce após 2 anos do rompimento da barragem de Fundão -2015/2017	out/17			x	x	
13	IEMA	Análise dos dados de monitoramento do Auto de Intimação Nº 12345/2015 da Samarco	NI			x	x	
14	FUNDAÇÃO RENOVA	Anexo: Análise dos dados de monitoramento do Auto de Intimação Nº 12345/2015 da Samarco	NI			x	x	
<b>Bioacumulação</b>								
15	ECONSERVATION	Análise Estatística dos Dados do Programa de monitoramento da comunidade do zoobentos do rio Doce	mai/16				x	
16	GOLDER	Auto de Infração nº 019973	jul/16			x		
17	FURG	Relatório Técnico científico - contrato 105/2016 - Etapa 1	abr/16	x	x	x		
18	FURG	Relatório Técnico científico - contrato 105/2016 - Etapa 5	nov/2015 até abr/2016	x	x	x		
19	FURG	Avaliação de impacto da lama da Samarco sobre os ambientes costeiros - 1ª expedição	jan/16	x	x	x		

Legenda: Ta: Tatiana, Y: Yvette, F: Felipe, Tu: Tundisi e R: Rosman.

Item	Instituição	Título	Data	Especialista				
				T a	Y	F	T u	R
<b>Bioacumulação</b>								
20	FURG	Resumo das análises realizadas - expedição Soloncy Moura	mar/16	x	x	x		
21	FURG	Relatório_de_Atividades_FURG_27_10_2017	jan/2017 e set/2017	x	x	x		
22	UFVJM	Relatório da contaminação dos peixes capturados na região do médio rio doce	mai/17	x	x	x		
23	ECONSERVATION	Monitoramento de bioacumulação por metais, na região marinha adjacente à foz do rio Doce e sob possível influencia da lama de rejeitos oriunda do rompimento	abr/16	x	x	x		
24	GOLDER	Concentração de metais em água, sedimentos, tecido de peixe e organismos aquáticos coletados na região marinha e estuarina do rio Doce	mar/16	x	x	x		
25	APLYSIA	Análise de concentração de metais em tecido de moluscos	abr/17	x	x	x		
26	APLYSIA	Levantamento de dados de arsênio em tecido de peixes e moluscos	out/16	x	x	x		
27	APLYSIA	Anexo - RT Análise de concentração de metais em tecido de moluscos	abr/17	x	x	x		
28	ANVISA	Assunto: Pescados da região afetada pelo acidente	jun/16	x	x	x		
29	ECONSERVATION	Remoção, identificação, contabilidade e destinação de peixes do rio Doce	abr/17	x	x	x		
30	BIOMA	Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de fundão	fev/16	x	x	x		
31	HIDROBIOLOGY	As total and inorganic	dez/2015 a fev/2016	x	x	x		
<b>Deposição de Rejeitos</b>								
33	ECONSERVATION	Análise integrada dos contronos do deslocamento das plumas de turbidez no meio marinho	jun/17					x
34	APLYSIA	Monitoramento ambiental dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema de praia (REBIO COMBOIOS)	NI	x		x		x
35	ECONSERVATION	Levantamento de dados de turbidez, fitoplâncton e qualidade de água entre abrolhos e Vitória	abr/16					x
36	GOLDER	Análise da ocorrência de deposição de rejeitos oriundos da barragem de fundão no ambiente marinho adjacente ao Rio Doce	mai/16					x
37	UERJ	Estudo preliminar sobre a detecção da pluma de sedimentos do rio Doce sobre o Parque Nacional dos Abrolhos	mai/16					x

Legenda: Ta: Tatiana, Y: Yvette, F: Felipe, Tu: Tundisi e R: Rosman.

Item	Instituição	Título	Data	Especialista				
				Ta	Y	F	Tu	R
Deposição de Rejeitos								
38	GOLDER	Caracterização Geoquímica de rejeitos	out/17			x	x	x
Hidrografia								
39	AMBLEV	Monitoramento hidrográfico na plataforma adjacente à foz do rio Doce	abr/16					x
Ictiofauna								
40	CTA	Monitoramento da ictiofauna na região marinha	dez/17	x				
Macroalga e Manguezal								
42	GOLDER ASSOCIATES	Avaliação do estado de conservação dos bancos de macroalgas e rodólitos adjacentes à foz do rio Doce	out/16			x		
43	GOLDER ASSOCIATES	Definição de níveis de referência e avaliação de potenciais impactos sobre os manguezais	out/16	x		x		
Relatório COPPE								
44	UFRJ/ COPPE	Relatório 20275_Vale	jan/17			x	x	x
2ª Remessa de Documentos								
1	RENOVA	Quantificação de metais e arsênio nos organismos coletados durante o programa de monitoramento da ictiofauna do rio Doce nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo	ago/18	x	x	x		
2	HYDROBIOLOGY	Marine risk preliminary	jul/17	x			x	
3	HYDROBIOLOGY	Acoustic fish and aquatic habitat survey of the rio Doce and tributaries	mai/17				x	
4	HYDROBIOLOGY	Fish distribution and aquatic habitats of the rio Doce and tributaries	mar/18				x	
5	HYDROBIOLOGY	Priority projects status memorandum	set/17	x			x	
6	HYDROBIOLOGY	Upper catchment supplementary ecological indicators	ago/18	x	x	x	x	x
7	HYDROBIOLOGY	Fish biomass distribution at the mouth of the rio Doce	abr/18				x	
8	GOLDER	Programa de caracterização geoquímica de rejeitos, solos e sedimentos	out/17			x	x	

Legenda: Ta: Tatiana, Y: Yvette, F: Felipe, Tu: Tundisi e R: Rosman.

Item	Instituição	Título	Data	Especialista				
				Ta	Y	F	Tu	R
2ª Remessa de Documentos								
9	SOSMA	Observando os rios 2017	nov/17				x	
10	ICMBIO	Termos de referência do programa de monitoramento da biodiversidade aquática		x	x	x	x	x
11	FIBRIA	Monitoramento da qualidade do efluente da FIBRIA Celulose SA através do uso de mexilhões	dez/10 - ago/15	x				
12	FIBRIA	Monitoramento hídrico e biológico	abr/10 - mai/16				x	
13	FIBRIA	Monitoramento do efluente líquido industrial da FIBRIA Celulose SA	set/05 - nov/15	x				
14	ALIANÇA	Monitoramento limnológico da Usina Aimorés	jan/18				x	
15	CTA	Monitoramento da ictiofauna na região marinha adjacente à foz do rio Doce, Linhares/ES	jan/18				x	

Legenda: Ta: Tatiana, Y: Yvette, F: Felipe, Tu: Tundisi e R: Rosman.



## POSIÇÃO OFICIAL DA ANVISA



16/08/2018

Anvisa - Resposta ao Protocolo 2018218869 - Fernando Aquinoga Mello

## Anvisa - Resposta ao Protocolo 2018218869

Central de Atendimento ao Público - Anvisa <atendimento.central@anvisa.gov.br>

sex 22/06/2018 12:39

Para:Fernando Aquinoga Mello <fernando@aplysia.com.br>;

Prezado (a) Senhor (a),

Em atenção a sua solicitação, informamos que o Decreto nº 55.871 / 1965 continua vigente para os temas não contemplados na Resolução RDC nº 42/2013 e na Portaria nº 685/1998.

A Portaria nº 685 / 1998 dispõe sobre os princípios gerais para o estabelecimento de níveis máximos de contaminantes químicos em alimentos. Em seu anexo, a Portaria nº 685 / 1998 dispõe sobre os limites máximos de cobre em diversas categorias de alimentos. Os limites máximos de tolerância para arsênio, cádmio, estanho, mercúrio e chumbo foram revogados pela Resolução RDC nº 42 / 2013.

Por favor, avalie a resposta recebida acessando o link: <https://pesquisa.anvisa.gov.br/index.php/241521?lang=pt-BR&encode=>

Atenciosamente,

Anvisa Atende

Central de Atendimento

Agência Nacional de Vigilância Sanitária

0800 642 9782

[www.anvisa.gov.br](http://www.anvisa.gov.br)

Siga a Anvisa: [www.twitter.com/anvisa\\_oficial](https://www.twitter.com/anvisa_oficial)

Este endereço eletrônico está habilitado apenas para enviar e-mails. Caso deseje entrar em contato com a central, favor ligar no 0800 642 9782 ou acessar o "Fale Conosco", disponível no portal da ANVISA (link: <http://portal.anvisa.gov.br/fale-conosco>). As ligações podem ser feitas de segunda a sexta - feira, das 7h30 às 19h30, exceto feriados.



## RESUMO DOS ESTUDOS DE BIOACUMULAÇÃO

Nº do documento	Autor	Título	Data do Documento	Antes da Ruptura	Depois da Ruptura	Dados para o rio	Dados para a costa	Resumo	Pontos principais	Maiores limitações	Utilidade para avaliar a proibição
17	FURG	dcom_relatorio_contrato_105_2016	16/04/2018		19/04/2016		X	Metais totais: As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb em água, peixe, camarão e zooplâncton. Muitos locais, incluindo o extremo norte e sul	Muitos locais de amostragem distribuídos ao longo das áreas costeiras. Parece incluir os locais de fundo norte e sul. Conclui que, para os peixes, 99% das amostras estavam de acordo com a legislação	Relatório de dados: dados não reportados por localização. Apenas valores médios relatados. Médias de áreas impactadas com áreas não impactadas. Arsênico total <1 em todas as espécies (parece baixo). Relatórios para água e zooplâncton são muito mais detalhados do que para peixes	Limitado. Dados apresentados apenas em resumos.
18	FURG	relatorio_contrato_105_2016_ETAPA_5	nov/2015 até abr/2016	20/nov	Jan 2016 e abril 2016		X	O objetivo é comparar os resultados antes e depois da ruptura da barragem. Muitas amostras de água e peixe (5 espécies, 113 amostras).	Objetivo de comparar os dados antes e depois da ruptura da barragem. Água e peixe. Para peixes, os resultados indicam "aumento significativo de metais em peixes após o evento, exceto Cr no músculo e Pb no fígado.	As unidades de relatório (µg / kg) não parecem corretas, mas o leitor não pode confirmar. Nenhum dado de arsênio. Concentrações relatadas em diferentes figuras não batem. Resultados não foram comparados com padrões de qualidade	Não confiável devido a aparentes erros de relatório, resultados apenas em números e discrepância entre resultados em diferentes figuras
19	FURG	DCOM_relatorio_revisado_atualizado_29_04_2016_AB	16/01/2018		19/04/2016		X	Metais totais: As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb em água, peixe, camarão e zooplâncton. Muitos locais, incluindo o extremo norte e sul	Muitos locais de amostragem distribuídos ao longo das áreas costeiras. Parece incluir os locais de fundo norte e sul. Conclui que, para os peixes, 99% das amostras estavam de acordo com a legislação	Relatório de dados: dados não reportados por localização. Apenas valores médios relatados. Áreas impactadas com áreas não impactadas. Arsênio total <1 em todas as espécies (parece baixo). Relatórios para água e zooplâncton são muito mais detalhados do que para peixes	Limitado. Dados apresentados apenas em resumos.

Nº do documento	Autor	Título	Data do Documento	Antes da Ruptura	Depois da Ruptura	Dados para o rio	Dados para a costa	Resumo	Pontos principais	Maiores limitações	Utilidade para avaliar a proibição
20	FURG /ICM Bio	Resumo das análises realizadas - expedição Soloncy Moura	16/03/2018		X		X	As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb em água, zooplâncton, peixe e camarão. Comparados dados de tecidos de peixes com limites da ANVISA	Informa porcentagem das amostras acima do limite da ANVISA. Altas porcentagens de peixes excedem os limites da ANVISA: como (85-90%), Cd (50-100%) e Pb (25-100%).	Valores medidos não relatados. Datas de amostra não relatadas. Métodos analíticos não relatados. Resultados de tecido de peixe relatados apenas como fração superior aos limites da ANVISA	Limitado: concentrações medidas não relatadas e métodos analíticos não relatados.
21	FURG	Relatório_de_Atividades_FURG_27_10_2017	jan/2017 e set/2017		Jan 2016 e set 2017		X	Quarto cruzeiro de pesquisa para coleta de amostras abióticas e biológicas no ambiente marinho norte e sul do Rio Doce.	22 locais de amostra de 8 estações. (mesmos locais que o trabalho anterior). Fornece dados de concentração ao longo do tempo. Relata concentrações abaixo dos limites da ANVISA para As, Pb e Cd. Sugerem riscos baixos do consumo de peixe, mas as inconsistências dos dados resultam em pouca confiança.	Dados apresentados apenas em números. Parecem inconsistências entre os números. "sugere" baixo risco de consumo de peixe. Diminuição notável em como em peixes (de 50/90 mg / kg em camarão / peixe em janeiro de 2016 para todos os peixes ND e camarão <5 mg / kg. Ausência de dados brutos, análises estatísticas, agrupamento de resultados de diferentes espécies, limite de cromo não considerado no estudo.	Não confiável por causa da apresentação limitada de dados e aparentes discrepâncias entre os mesmos dados em diferentes números.
22	UFVJM	relatorio peixes rio doce_UFVJM	17/05/2018		X	X		Fornecer dados sobre as concentrações de metais em peixes do rio Doce e lago e afluentes perto de Governador Valadares. Apresenta tabela de dados e comparação com os padrões ANVISA para As, Cd, Hg, Pb.	Inclui localidades dentro do Rio Doce e no Rio Corrente, a montante do rio Doce, e do Lago. Sugere poucos excedentes dos critérios da ANVISA. A concentração média em cada localização é < critério. No entanto, os autores concluem "alto grau de contaminação" e "grande risco para os pescadores".	As conclusões não parecem consistentes com os resultados relatados: existem algumas exceções de critérios em todos os locais. Não é possível avaliar a qualidade dos dados. Hg e como apenas metais que parecem mais altos no Rio Doce. As conclusões não parecem corresponder aos dados apresentados. Foram avaliados apenas 14 indivíduos e o resultados das duplicatas foram bastante discrepantes.	Limitado: falta de informação de qualidade de dados e dissociação entre os resultados relatados e as conclusões tiradas pelos autores do estudo.

Nº do documento	Autor	Título	Data do Documento	Antes da Ruptura	Depois da Ruptura	Dados para o rio	Dados para a costa	Resumo	Pontos principais	Maiores limitações	Utilidade para avaliar a proibição
23	ECONSERVATION	ECV RT 065-16 - RT Bioacumulação Final	16/04/2018		X		X	Monitoramento de metais em peixes, camarões e ostras após a ruptura da barragem. 6 localidades em águas costeiras e foz do rio Doce. Fornece comparação com os limites e tendências temporais da ANVISA.	Tendências temporais, compara os locais de norte a sul. CQ, contexto dos achados e sugestões para acompanhamento. Banco de dados fornecido. Sugere poucos excedentes dos critérios da ANVISA.	As limitações incluem curto período de tempo de avaliação e falta de dados sobre o arsênico inorgânico. Deve considerar adicionar seção com comparação aos dados pré-pluma da Renova / Aplysia. Os resultados de diferentes espécies foram agrupados, limitando a interpretação. Em relação aos dados brutos, foi identificada uma espécie de forma equivocada e foi necessário descartar 5% das amostras por incompatibilidade de informações.	Melhor disponível para dados após a ruptura da barragem. Fornece banco de dados forte de curto período de amostragem. Falta de arsênio inorgânico
24	GOLDER ASSOCIATES	MT-081_159-515-2282_00-B	16/03/2018		X	X	X	Memorando técnico resumindo dados coletados sobre peixes, água e sedimentos. Inclui discussão sobre amostragem no rio Doce e 20 localidades costeiras	Objetivo é demonstrar que a ruptura da barragem não resultou em aumento da concentração de água. Relevância não está clara. Conclui que o peixe no rio Doce < limites a partir de dezembro. Nas áreas costeiras, As, Se e Zn excedem os limites, mas os autores concluem que "a ruptura da barragem não afetou as concentrações de arsênio na água"	Muitos não detectam em faixa de concentração igual ou acima do limite regulamentar. Interpretação sumária do relatório maior. Compara a concentração de sedimentos com os limites do CONAMA para o descarte de material dragado. Conclusões não comprovadas.	Não confiável
25	APLYSIA	Relatório Técnico.274.2017.rev00	17/04/2018	08/nov		X		Fornece uma avaliação das concentrações de metais em moluscos do rio Doce antes da chegada da pluma	Meta é fornecer linha de base em moluscos. Fornece composto de 100 amostras. Métodos analíticos confirmados contra o NIST SRM.	Bons dados de antes da pluma. Não replica, mas as garantias de qualidade de dados estão presentes.	Sim. Para condições de baseline

Nº do documento	Autor	Título	Data do Documento	Antes da Ruptura	Depois da Ruptura	Dados para o rio	Dados para a costa	Resumo	Pontos principais	Maiores limitações	Utilidade para avaliar a proibição
26	APLYSIA	Relatório.Aplysia.245.2017.rev00-1	16/10/2018	2011-2015			X	Fornecer um resumo dos estudos sobre a concentração de arsênio em peixes e moluscos antes da ruptura. As em crustáceos 0,66-2,6 mg/kg. As em peixes <0,1 - 9,8 mg/kg.	Fornecer mapa de arsênio em peixes oceânicos e mariscos de antes da pluma. Mostra que o arsênio em peixes e moluscos frequentemente excedia o limite da ANVISA antes da pluma.	Baseado em vários estudos de outros pesquisadores. Qualidade total de cada estudo difícil de avaliar, mas os relatórios estão em geral de acordo. Apenas arsênio.	Sim. Muito útil para caracterizar condições de baseline. Este estudo poderia ser usado para avaliar o "background" para uso na avaliação de risco
27	APLYSIA	Anexo Dados brutos Aplysia 245	17/04/2018	2011-2015	APRESENTA OS DADOS BRUTOS RESUMIDOS NO DOCUMENTO 26 (ACIMA)						
28	ANVISA	ANVISA_protocolo 009123-2016	16/06/2018		X		X	Fornecer avaliação do risco à saúde humana para peixes oceânicos coletados após a ruptura da barragem. Depende de dados do ICMBio (média do pior caso) e da Samarco (média e máx). Baseado na ingestão de peixe para a população brasileira.	Reconhece as "condições de pior caso" de avaliação. Descreve o cenário de consumo de peixe: útil para contexto e discussão. Menções precisam de dados sobre arsênio inorgânico. Descobriu-se que o consumo de arsênio e chumbo era maior que o limiar de toxicidade e que a ingestão de cádmio estava próxima do limiar.	Pior cenário não é útil. Resumos de dados do ICMBio e Samarco. Problemas com transcrição, cálculos, relatórios. Conclusões não são consistentes com cálculos.	Estabelece um paradigma de avaliação de risco aceitável, mas as condições de pior caso avaliadas não fornecem informações úteis. Muitos erros para ter confiança na análise.
29	ECONSERVATION	RT ECV 060-17 (Plano de Resgate e Soltu) Rev 01	17/04/2018	Fornecer informações sobre amostragem e identificação de peixes para outros esforços do Econservation.							

Nº do doc.	Autor	Título	Data do Documento	Antes da Ruptura	Depois da Ruptura	Dados para o rio	Dados para a costa	Resumo	Pontos principais	Maiores limitações	Utilidade para avaliar a proibição
30	BIOMA	Anexo 5 - bioacumulacao rio doce	16/02/2018	X	X	X		Fornecer dados sobre metais em peixes de 5 locais costeiros, incluindo dois locais antes da ruptura da barragem. Relata dados de músculos, brânquias e tecidos do fígado e fornece comparação com os limites da ANVISA.	Parece fornecer dados sobre as concentrações de metais antes e depois da chegada da pluma. Dados sugerem aumento nos tecidos de peixes após a ruptura da barragem para As, Pb, Cu, Cr, Al, Fe, Mn. As, Cr > limites. Cd e Cr elevados antes e após o lançamento.	Número de amostras com metais indetectáveis em tecidos de peixe é desconcertante. Limites altos de detecção torna os resultados limitados ao uso. Tabelas não relatam unidades, dificultando a interpretação. Não são apresentadas metodologias analíticas e os dados brutos, o que impediu a avaliação de consistência dos resultados reportados.	Limitado devido ao alto número de concentrações indetectáveis / limites de detecção inadequados
31	HIDROBIOLOGY	As total and inorganic graphs by species--	dez/2015 a fev/2016		Dez 2015 - Fev 2016		X	Fornecer dados sobre o arsênio em peixes de 9 locais após a ruptura da barragem. Inclui arsênio total e inorgânico para peixes, moluscos e camarões.	Demonstra relação entre arsênio total e arsênio inorgânico. As médias totais de arsênio variam de 10 a 60 mg/kg. Arsênio inorgânico quase todos <0,2 mg/kg.	Informações limitadas sobre métodos, nenhum relatório formal, apenas tabelas. As concentrações totais de arsênio variam de 20 mg/kg a > 100 mg/kg.	Sim. Útil para demonstrar a diferença entre arsênio total e inorgânico. Embora a aplicação seja limitada por causa da falta de notificação formal
NA	Fundacao Renova	Quantification of metals and arsenic in organisms collected during the program of monitoring of ichthofauna of Rio Doce in the states of Minas Gerais and Espirito Santo - Report 2	01/08/2018		X	X		Fornecer dados sobre metais em peixes para 268 amostras de peixes coletadas de 17 locais ao longo do rio Doce e 13 locais em locais de referência a montante ou afluentes do rio Doce.	Inclui locais de amostragem a montante ou afluentes para referência. Os dados indicam que todas as concentrações relatadas de metais em filés de peixes estão abaixo dos limites da ANVISA. Nenhuma tendência clara de concentrações mais altas no rio Doce vs. locais de referência, mas alguns metais mostram alguns valores relatados mais altos no rio Doce (por exemplo, Al, Mn, Fe). Apenas 4 detectam o arsênio. Concentrações de todos os metais < limites.	O estudo pode não ter sido especificamente projetado para fornecer dados para avaliar exposições humanas ou riscos humanos em potencial. Os limites de detecção podem não ser baixos o suficiente para a caracterização do risco (por exemplo, o limite de detecção de chumbo é de 0,5 mg / kg). Não há dados de tamanho ou peso relatados para permitir a caracterização de peixes de tamanho comestível. Os limites de quantificação para chumbo e cromo foram mais elevados que os padrões de consumo, impedindo a avaliação de conformidade.	Limitado por causa dos intervalos de dados em tamanho e limites de detecção. Muito útil para fornecer comparação de dados do rio Doce versus áreas que não foram afetadas pela ruptura da barragem.

Nº do doc.	Autor	Título	Data do Doc.	Antes da Ruptura	Depois da Ruptura	Dados para o rio	Dados para a costa	Resumo	Pontos principais	Maiores limitações	Utilidade para avaliar a proibição
NA	Adalto Bianchini	23 Reuniao Ordinaria da CT-BIO/CIF: Ecotoxicologia -- contaminacao do pescado.	07/06/2018		X		X	Apresentação de slides de dados de concentrações de metais em peixes e camarões para locais de amostras costeiras da foz do rio Doce, dentro ou fora da área de proibição de pesca. Dados apresentados para demonstrar a variabilidade temporal e espacial.	Os estados que níveis de tecido nos peixes foram altos logo após a ruptura da barragem, mas em geral diminuiram ao longo do tempo, e todos estão agora dentro dos limites da ANVISA. Conclui-se que os camarões na área proibida têm concentrações de metais similares ou inferiores aos do camarão fora da área de proibição, e para peixes, concentrações semelhantes ou superiores (Pb, Hg, Mn) na área de proibição de pesca.	Fornecido apenas como slides de apresentação. Nenhuma informação sobre o desenho do estudo, métodos analíticos, QA / QC, número de amostras coletadas e relatadas para cada ponto de dados. Nenhum dado bruto apresentado em tabelas ou banco de dados. Os dados sobre o arsênio não são consistentes com os antecedentes relatados pela Aplysia (Aplysia reporta 39% dos peixes com concentrações de arsênio > 0,5. Isto não mostra elevações após o aumento inicial após a ruptura, e agora valores <0,01. Seria útil saber se tamanho de peixes foi registrado. Finalmente, parece haver anomalias de dados nas figuras - os dados "totais" são uma média de dados de <20 e > 20m, mas para 13 de 16 gráficos, o valor "total" está fora do intervalo .	Conclusões quanto à variabilidade temporal e espacial das concentrações de metais em peixes e camarões são interessantes. Especialmente a observação de concentrações crescentes de chumbo e cádmio ao longo do tempo. Mas nenhuma informação é fornecida para metodologias usadas. Juntamente com possíveis anomalias de relatórios, isso limita a utilidade para a avaliação de risco.
NA	Hydrobiology	Upper Catchment Supplementary Ecological Indicators	01/08/2018		X		X	Resultados da amostragem de biota e sedimentos nos trechos superiores do rio Doce, locais de controle (montante) e locais de referência (diferentes tipos de enraizamento), realizados em outubro de 2017 e abril de 2018. A meta do projeto foi preencher lacunas de dados e fornecer dados para avaliar os impactos para o rio Doce. Entre os objetivos está avaliar contaminantes em peixes para entender possíveis riscos para a saúde humana.	As principais conclusões são que o efeito de erosão da ruptura da barragem interrompeu o habitat do riacho, particularmente nas regiões mais altas onde havia maior velocidade, que as diatomáceas são um indicador útil para alguns impactos, mas não sedimentação causada pela ruptura da barragem, que a diversidade de macroinvertebrados diminuiu falta de habitats para peixes, avaliação de novas tecnologias (eDNA e imagens de satélite) para avaliar comunidades de peixes e recuperação, e concentrações de metais no peixe estão abaixo dos valores de referência e, quando elevados (zinco), não são diferentes rio Doce em comparação com os locais de controle e referência.	Os dados para todas as três áreas de amostragem (rio Doce, referência e controle) estão disponíveis apenas para três espécies de peixes, portanto, comparações específicas de espécies são difíceis. Os peixes são geralmente muito pequenos (quase todos têm menos de 20cm, e é improvável que reflitam o tipo de peixe consumido (esta limitação pode não ser resolvida até que o tempo adequado tenha passado para permitir que as populações de peixes se recuperem). Embora as conclusões sejam, relatadas em relação as concentrações de metais em peixes (por exemplo, que os metais do tecido <valores de referência, elevações presentes nos locais de referência e de controle), os dados do tecido do peixe não são apresentados, eles também podem refletir amostras de corpo inteiro.	Limitado mas interessante. O desenho do estudo permite a comparação de dados do rio Doce com os locais de referência e controle. As conclusões de que as concentrações de tecido de peixe são semelhantes em todos esses tipos de locais são importantes para entender os impactos potenciais da ruptura da barragem. Seria útil ver esses dados, avaliar por tamanho ou espécie e entender a base para as conclusões.



## PLANO DE PROJETO DE GARANTIA DE QUALIDADE

# **Final Quality Assurance Project Plan**

---

Coeur d'Alene Basin Fish Tissue Sampling



**State of Idaho  
Department of Environmental Quality  
State Office/Waste Management and Remediation Division  
Version 1  
May 10, 2016**



# 1 Title and Approval Page

## Quality Assurance Project Plan

**Title:** Coeur d'Alene Basin Fish Tissue Sampling

**Region/Division:** State Office/Waste Management and Remediation Division

**Version Number:** 1

**Date:** May 10, 2016

### Approval Signatures

Note: This QAPP becomes effective on the date of the last approval signature.

#### DEQ Program/Regional Manager

Signature:  5/11/16  
 Name: Rob Hanson, Mine Waste Program Manager, State Office/Mine Waste Date

#### DEQ Project Quality Assurance Officer

Signature:  5-10-16  
 Name: Hawk Stone, Surface Water Specialist, State Office/Technical Services Date

\*Note: At the time of QAPP signature, the project QAO is required to update the DEQ QAO project document tracker, found at TRIM Record #2012AEB8.

#### DEQ Project Manager

Signature:  5/10/2016  
 Name: Dana Swift, Mine Waste Project Coordinator, State Office/Mine Waste Date

#### EPA Region 10 Remedial Project Manager

Signature:  5/16/16  
 Name: Bill Adams Date

#### EPA Region 10 Quality Assurance Manager

Signature:  5/11/2016  
 Name: Donald M. Brown Date

DEQ Field Project Manager

Signature: Kajsa Van de Riet  
Name: Kajsa Van de Riet, Water Quality Analyst

5/12/16  
Date

Idaho Department of Fish and Game

Signature: Andy Dux  
Name: Andy Dux, Coordinator

5/12/16  
Date

Idaho Department of Fish and Game

Signature: Carson Watkins  
Name: Carson Watkins, Field Project Manager

5/12/2016  
Date

Coeur d'Alene Tribe

Signature: Rebecca Stevens  
Name: Rebecca Stevens, Restoration Coordinator

5-12-16  
Date

Coeur d'Alene Tribe

Signature: Jon Firehammer  
Name: Jon Firehammer, Field Project Manager

5-12-16  
Date

Idaho Fish Consumption Advisory Project

Signature: Jim Varney  
Name: Jim Varney, Chairperson of IFCAP

5/11/16  
Date

## 2 Table of Contents

1 Title and Approval Page .....	3
Quality Assurance Project Plan.....	3
Approval Signatures .....	3
2 Table of Contents.....	5
3 Distribution List.....	8
4 Project/Task Organization .....	9
5 Problem Definition/Background.....	12
5.1 Problem Statement .....	12
5.2 Intended Usage of Data.....	13
6 Project/Task Description.....	13
6.1 General Overview of Project.....	13
6.2 Project Timetable .....	13
7 Quality Objectives and Criteria .....	14
7.1 Data Accuracy, Precision, and Measurement Sensitivity .....	20
7.2 Data Representativeness.....	21
7.3 Data Comparability .....	21
7.4 Data Completeness.....	22
8 Special Training/Certification.....	22
9 Documentation and Records .....	23
10 Sampling Process Design.....	23
10.1 Rationale for Selection of Sampling Stations .....	23
10.2 Sample Design Logistics.....	24
11 Sampling Methods .....	24
11.1 Large water electrofishing.....	24
11.2 Stream electrofishing.....	24
11.3 Large water gill netting .....	27
11.4 Midwater trawl netting .....	27
11.5 All Methods.....	27
12 Sample Handling and Custody.....	29
12.1 Project Sample ID .....	29
12.2 Sample Handling .....	31
12.3 Scribe Data Entry .....	32
12.4 Sample Transport .....	33
13 Analytical Methods.....	34
14 Quality Control .....	36

14.1 Field QC Checks .....	36
14.2 Laboratory Quality Control Checks .....	36
14.2.1 Laboratory Quality Control .....	36
14.3 Data Analysis Quality Control Checks .....	37
15 Instrument/Equipment Testing, Inspection, and Maintenance .....	37
16 Instrument/Equipment Calibration and Frequency .....	37
17 Inspection/Acceptance of Supplies and Consumables.....	38
18 Nondirect Measurements and Data Acquisition .....	38
19 Data Management .....	38
20 Assessment and Response Actions .....	38
21 Reports to Management .....	39
22 Data Review, Verification, and Validation.....	39
23 Review, Verification, and Validation Methods .....	40
24 Reconciliation with User Requirements .....	40
25 References.....	42

## List of Tables

Table 1. Project QAPP and analytical data reports distribution list. ....	8
Table 2. Key project personnel and associated responsibilities.....	10
Table 3. Project tasks with roles and responsibilities of participating entities. ....	12
Table 4. Sampling timeframes.....	14
Table 5. Quality Assurance Steps .....	15
Table 6. Summary of CDA basin fish sampling design logistics. ....	25
Table 7. Analytes and laboratories.....	29
Table 8. Analytical method, container types, preservation method, and sampling holding times. ....	35

## List of Figures

Figure 1. Project organizational chart.....	9
Figure 2. Map of sampling areas.....	26
Figure 3. Diagram of gill net methodology. ....	27

## List of Equations

Equation 1. Relative percent difference (RPD). ....	20
Equation 2. Relative standard deviation (RSD).....	21
Equation 3. Conversion from wet weight to dry weight.....	34
Equation 4. Conversion from wet weight to dry weight.....	34

## **Appendices**

Appendix A. Project Checklists

Appendix B. Fish Tissue Sampling Field Form and Cooler Contents Form

Appendix C. Laboratory Sample Preparation and Processing Procedures

### 3 Distribution List

At a minimum, the following personnel and analytical laboratory contacts will receive either an electronic or hard copy of the final signed quality assurance project plan (QAPP) (Table 1).

**Table 1. Project QAPP and analytical data reports distribution list.**

Name	Project Affiliation	Organization and Address/Location	Contact Number	Receives Analytical Data Reports?
Don Zaroban	DEQ Quality Manager	DEQ—Director's Office	(208) 373-0405	No
Rob Hanson	Program/Regional Manager	DEQ—State Office/Mine Waste	(208) 373-0290	No
Hawk Stone	Project Quality Assurance Officer	DEQ— State Office/Technical Services	(208) 373-0588	Yes
Dana Swift	Project Manager	DEQ—State Office/Mine Waste	(208) 373-0296	Yes
Bill Adams	Remedial Project Manager	EPA Region 10	(206) 553-2806	Yes
Jennifer Crawford	Regional Sample Control Coordinator	EPA Region 10 to Manchester Environmental Laboratory	(206) 553-6261	Yes
Kajsa Van de Riet	DEQ Field Project Manager	DEQ—CDA Regional Office Water Quality	(208) 769-1422	No
Andy Dux	IDFG Coordinator	Idaho Department of Fish and Game	(208) 769-1414	No
Carson Watkins	IDFG Field Project Manager	Idaho Department of Fish and Game	(208) 769-1414	No
Rebecca Stevens	CDA Tribe Coordinator	Coeur d'Alene Tribe	(208) 667-5772	Yes
Jon Firehammer	CDA Tribe Field Project Manager	Coeur d'Alene Tribe	(208) 686-7037	No
Jim Vannoy	Idaho Fish Consumption Advisory Project (IFCAP)	Idaho Department of Health and Welfare	(208) 334-4964	Yes
Andy Helkey	Institutional Controls Manager	Panhandle Health Department	(208) 783-0707	No

Note: Everyone on this list will receive an electronic copy of the final QAPP. As identified in the last column, select project personnel will receive electronic copies of the final data and reports from the EPA Region 10 Laboratory (Manchester Environmental Laboratory [MEL]) for further distribution amongst the project personnel as needed.

## 4 Project/Task Organization

This QAPP is a collaborative effort amongst multiple organizations with the goal of providing the Idaho Fish Consumption Advisory Project (IFCAP) and the Coeur d'Alene (CDA) Tribe with sufficient and quality data to follow the Fish Advisory Considerations Flow-Chart and Risk Assessment Procedure as presented within the IFCAP Protocol (IDHW 2013). Key project personnel and their responsibilities are defined in Table 2. An organizational chart is provided in Figure 1 and project tasks and responsibilities are provided in Table 3.

The details included within this QAPP were developed through communication and planning amongst the participating organizations. CDA Tribe, IDFG, and DEQ will be performing sample collection under this QAPP and laboratory analysis will be performed at the EPA Region 10 (R10) Laboratory (Manchester Environmental Laboratory [MEL]). DEQ is serving the role of organizing communication and compilation of information amongst all organizations to prepare and develop this QAPP; therefore, creation of this QAPP is being conducted under the DEQ *Quality Management Plan (QMP)* (DEQ 2012a) using DEQ's standard project QAPP template.

The overall goal of this QAPP is to develop common protocols for all field crews to follow. Budgets and schedules for this project are based on coordinating sample collection with other currently planned and ongoing projects in order to streamline sampling efforts.

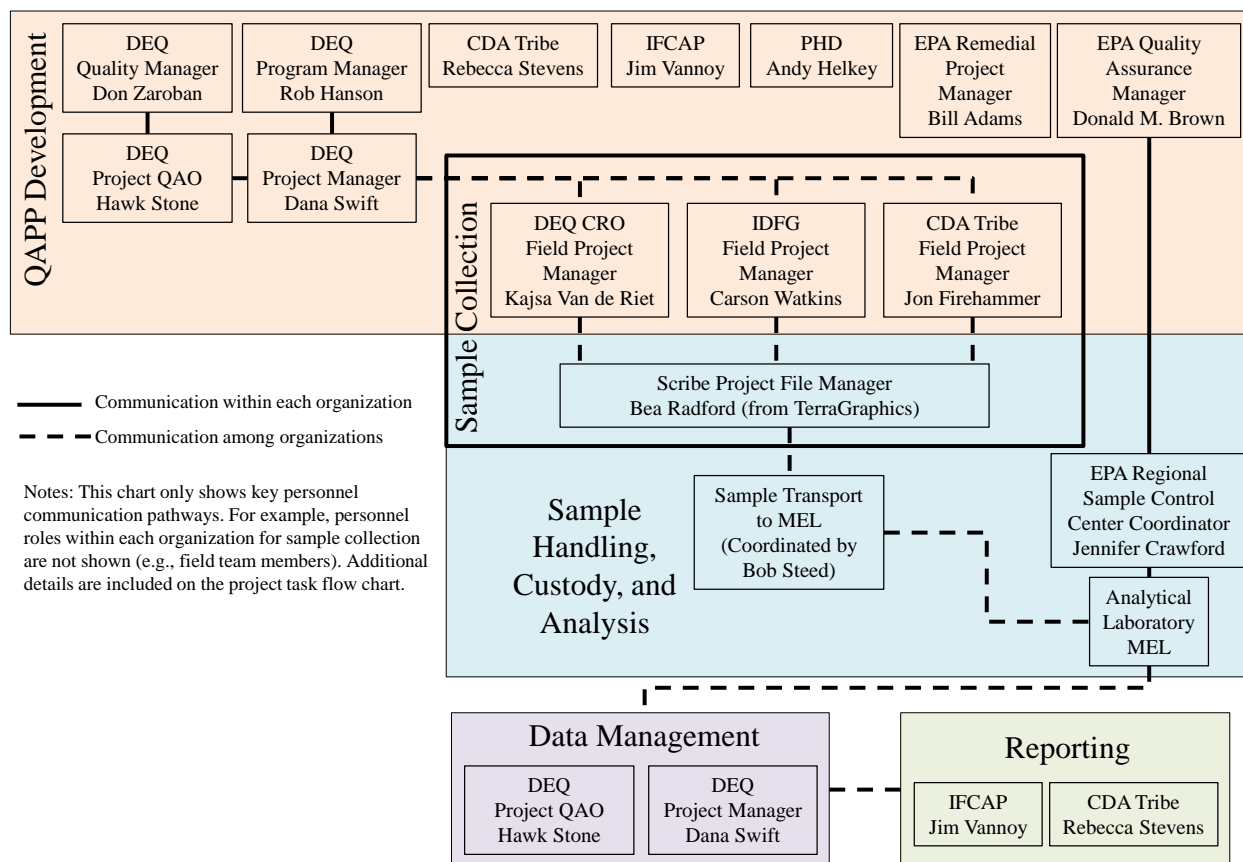


Figure 1. Project organizational chart.

**Table 2. Key project personnel and associated responsibilities.**

Name	Project Title/Responsibility
Rob Hanson	<p><b>DEQ Program/Regional Manager:</b> Note: The following description is <i>not all inclusive</i>; see section 1.2.7 of the DEQ QMP for a more detailed description. This person is the regional manager or State Office program manager for the project. Duties and responsibilities include:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Assists in the review of the QAPP and signs the final QAPP as an approver.</li> <li>• Confirms the project QAPP meets the needs of the program/region.</li> <li>• Ensures the QAPP is approved prior to the start of project work.</li> <li>• Ensures the program/regional procedures and policies referenced in the QAPP are current and approved for use.</li> <li>• Performs all duties and responsibilities as assigned in the project QAPP.</li> <li>• Selects and assigns a project quality assurance officer (QAO), who meets the criteria for independence defined in the DEQ QMP (see QAO duties below), and obtains approval for this selection from the DEQ quality manager.</li> </ul>
Hawk Stone	<p><b>Project Quality Assurance Officer:</b> Note: The following description is <i>not all inclusive</i>; see section 1.2.5 of the DEQ QMP and the project QAPP for a more detailed description. Each project has an assigned QAO, whose duties and responsibilities include:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Assists in the review of the QAPP, verifies the QAPP meets the requirements of the DEQ QMP, and signs the QAPP as an approver.</li> <li>• <i>All assigned QAOs are required to contact the DEQ quality manager to discuss the project prior to signing any project QAPP for approval. When the project QAO signs the QAPP for approval, the QAO is required to update the DEQ QAO project document tracker found at TRIM record #2012AEB8.</i></li> <li>• Documents all audit and data validation activities in the DEQ TRIM system, per the DEQ QMP and the approved QAPP.</li> <li>• In matters of project quality, this individual has a direct line of communication to the DEQ quality manager.</li> <li>• Must meet the following independence criteria: The QAO shall not be the project manager, program manager, or be otherwise assigned to the project data generation efforts. Neither the project manager nor the QAO may directly report to the other within the DEQ organizational structure, and both of these individuals may not be directly supervised by the same person.</li> <li>• Performs all other duties and responsibilities as assigned in the project QAPP. The duties and responsibilities of the project QAO also apply to any field sampling plan (FSP) generated under the project QAPP, unless an FSP-specific QAO is assigned and approved.</li> </ul>
Dana Swift	<p><b>Project Manager:</b> Note: The following description is not all inclusive; see section 1.2.6 of the DEQ QMP and the project QAPP for a more detailed description. Each project has an assigned project manager, whose duties and responsibilities include:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Serves as the primary author of the project QAPP, and signs the final QAPP as an approver.</li> <li>• Coordinates with partner entities for preparation of the project QAPP.</li> <li>• Performs overall project planning, coordinating reporting functions and project report/summary development, and project file maintenance in TRIM.</li> <li>• Enters the approved and current project QAPP in the TRIM system, including a copy of the signed approval page.</li> <li>• Documents all audit and data review/verification activities in the DEQ TRIM system, per the DEQ QMP and approved QAPP.</li> <li>• Performs all other duties and responsibilities as assigned in the project QAPP.</li> </ul>

<p>Kajsa Van de Riet, DEQ Carson Watkins, IDFG Jon Firehammer, CDA Tribe</p> <p>Backup and Coordinators: Bob Steed, DEQ Backup Andy Dux, IDFG Coordinator Rebecca Stevens, CDA Tribe Coordinator</p>	<p><b>Field Project Managers:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsible for all aspects of field work for the areas assigned to them: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ DEQ: South Fork Coeur d'Alene River (Upper Basin)</li> <li>○ IDFG: Coeur d'Alene River and Chain Lakes (Lower Basin)</li> <li>○ IDFG: Coeur d'Alene Lake (non-Tribal Waters)</li> <li>○ CDA Tribe: Coeur d'Alene Lake (Tribal Waters)</li> <li>○ IDFG: Spokane River</li> </ul> </li> <li>• Performs field planning, sample planning and coordination, and laboratory coordination through the DEQ Project Manager and the Scribe Project File Manager.</li> <li>• Ensures all project work is conducted in accordance with the approved QAPP.</li> <li>• Ensures that personnel assigned to this project are appropriately trained and qualified.</li> <li>• Pack and transport samples from the field sites to the walk-in freezer(s) for temporary frozen storage. Following completion of all sampling, all fish samples will be transported to MEL by Bob Steed (DEQ) in a state-owned vehicle.</li> </ul>
<p>Jennifer Crawford</p>	<p><b>USEPA Regional Sample Control Coordinator:</b> The USEPA Regional Sample Control Coordinator (RSCC) has responsibility for coordination with the DEQ Project Manager, Scribe Project File Manager, and the Region 10 (R10) USEPA Manchester laboratory (MEL) and QA review, including the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Review the QAPP for EPA Regional Quality Assurance Manager (RQAM) and associated revisions as necessary.</li> <li>• Work with the Field Project Manager and the Scribe Project File Manager on analytical laboratory requests, scheduling, and tracking and shipment of samples for EPA laboratory analysis.</li> <li>• Provides the R10 sample tracking numbers that are unique to the project and a unique R10 project code.</li> <li>• Schedule MEL and CLP analysis requests.</li> <li>• Work with the Project Managers and the laboratories to resolve issues related to sample analysis and laboratory data reporting.</li> <li>• Verifies Scribe deliverables are in compliance with the R10 Data Management Plan (DMP), Project Specific DMP (as applicable), and MEL requirements.</li> </ul>
<p>Bea Radford, TerraGraphics</p>	<p><b>Scribe Project File Manager:</b> The Scribe Project File Manager has responsibility for entering station, sample information, and field data into USEPA's Scribe software in accordance with the R10 DMP, project specific DMP, and QAPP requirements. Responsibilities include the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prepare sample labels and chain-of-custody (COC) from data entered into Scribe.</li> <li>• Coordinate Scribe logistics with USEPA R10 RSCC Coordinator.</li> <li>• Confirm the delivery of samples.</li> <li>• Custodian of official Scribe Project File.</li> <li>• Import final MEL data back into Scribe</li> </ul>
<p>Gerald Dodo, EPA R10 Laboratory</p>	<p>Serves as the main contact between the laboratory and project personnel. Coordinates with lab team leaders on sample analysis, data review and reporting, Oversees laboratory responsibility to conduct analyses in accordance with their QA Manual, the NELAC Institute (TNI) Accreditation Requirements, and the criteria in this QAPP. Authorizes acceptance of samples into MEL and the release of final reviewed data.</p>

**Table 3. Project tasks with roles and responsibilities of participating entities.**

<b>Project Tasks</b>	<b>Responsible Party</b>
QAPP Development	<i>Lead:</i> DEQ (Dana Swift) <i>Signatories:</i> CDA Tribe, EPA, IDFG, DEQ, IFCAP <i>Support:</i> PHD
Field Work Kickoff Meeting/Conference Call(s)	<i>Leads:</i> DEQ (Dana Swift) and Field Project Managers <i>Participants will include members of the field crews.</i>
Sample Collection: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sample collection</li> <li>• Sample transport to storage freezer</li> <li>• Field data recording and review</li> <li>• Submit copies of field data to Dana Swift</li> </ul>	Area responsibilities defined in Tables 4 and 6. <i>Lead:</i> IDFG (Carson Watkins) <i>Lead:</i> CDA Tribe (Jon Firehammer) <i>Lead:</i> DEQ (Kajsa Van de Riet)
Scribe/EPA R10 Lab (MEL) coordination through EPA RSCC	<i>Lead:</i> Terra Graphics (Bea Radford)
Sample Transport to EPA R10	<i>Lead:</i> DEQ (Bob Steed)
Sample Analysis at EPA R10 Laboratory QA/QC (Equiv. to Stage 4 data validation- S4VM, EPA 2009)	<i>Lead:</i> EPA (Gerald Dodo)
Review of total arsenic analytical data to determine need for inorganic arsenic analysis	<i>Leads:</i> EPA (Jennifer Crawford), DEQ (Dana Swift), and IFCAP (Jim Vannoy) in coordination with CDA Tribe (Rebecca Stevens)
Data Management <ul style="list-style-type: none"> <li>• Receive field data</li> <li>• Receive validated analytical data packages from EPA/MEL</li> <li>• Data verification and validation (use forms in Appendix A)</li> <li>• Submit data to IFCAP and CDA Tribe (with copies to EPA, IDFG, PHD)</li> </ul>	<i>Lead:</i> DEQ (Dana Swift) <i>Support:</i> DEQ (Hawk Stone)
Final Report <ul style="list-style-type: none"> <li>• Data analysis and decision-making following the Fish Advisory Considerations Flow-Chart and Risk Assessment Procedure presented within the IFCAP Protocol (IDHW 2013)</li> </ul>	<i>Lead:</i> IFCAP (Jim Vannoy) in coordination with CDA Tribe (Rebecca Stevens) <i>Support:</i> IFCAP participants

## 5 Problem Definition/Background

This section describes what will be accomplished and why the project will be done, through discussion of the specific problem to be solved, project background, decisions to be made, and the outcomes to be achieved.

### 5.1 Problem Statement

The selected remedy identified in the Bunker Hill Mining and Metallurgical Superfund Site, Operable Unit 3 (OU3) Record of Decision (EPA 2002a) includes educational resources and health advisories to manage the potential for metals exposure through consumption of fish. The selected indicator metals for fish consumption are cadmium, lead, mercury. Although not identified in the OU3 ROD as an indicator metal, arsenic will also be analyzed for the fish consumption evaluation in two steps: 1) analysis of all samples for total arsenic and 2) analysis of select samples for inorganic arsenic. The decision process to select samples to be analyzed for inorganic arsenic is described in Table 5. While not the focus of this QAPP, zinc will also be analyzed to establish the fish body burden. Zinc will not be included as part of the human health

fish consumption evaluation, rather zinc data may be used to support long-term monitoring objectives for ecosystem functionality.

Past investigations in the mid-1990s led Idaho Department of Health and Welfare (IDHW) and the Coeur d'Alene Tribe to issue a health advisory (EPA 2002b, EPA 2003, ATSDR 2003) and recommend fish consumption guidelines for Coeur d'Alene Lake, most recently published in the Idaho Fish Consumption Guide (IDHW 2008). There is also a statewide advisory for bass consumption based on mercury concentrations (IDHW 2008). There are no specific fish consumption advisories for the Coeur d'Alene River, chain lakes, South Fork Coeur d'Alene River, or Spokane River (within Idaho) and fish tissues in these areas have not been fully sampled and evaluated. Because fish tissue metals concentration data for Coeur d'Alene Lake are more than 13-years old and because species like northern pike are not included in the Coeur d'Alene Lake advisory, there is a need to collect more comprehensive and current data in the Coeur d'Alene River, chain lakes, South Fork Coeur d'Alene River, and Spokane River.

## 5.2 Intended Usage of Data

Health advisories for fish consumption in Idaho are issued by the IDHW through the IFCAP (IDHW 2013). Since this basin is under shared management and ownership of the water and the fish that live in the water, the Coeur d'Alene Tribe will coordinate with IFCAP to develop advisories if needed. The goal of the IFCAP and Tribe is to protect the public from adverse health risks associated with consuming contaminated fish from Idaho and Tribal waters.

For the Bunker Hill Superfund Site, the intended usage of the cadmium, lead, mercury, and arsenic data is to fulfill the OU3 ROD requirements stated in Section 5.1 of this QAPP; whereas, the intended usage of the zinc data is to provide a one-time, baseline data set that can be used to support long-term monitoring objectives for ecosystem functionality.

## 6 Project/Task Description

This section describes (in general terms) how, when, and where the project will be implemented through a summary of how the work will be performed, what data are to be obtained, where the data gathering activities will occur, and the related projected schedule.

### 6.1 General Overview of Project

This project follows the fish advisory guidelines from the USEPA (EPA 2000a) with additional decision-making rules to maximize the limited resources of Idaho's health and environmental agencies. The IFCAP Protocol describes how the project is implemented including selection of stations, species, and sampling techniques (IDHW 2013).

### 6.2 Project Timetable

This section describes the projected schedule for the major project activities, such as field sampling, data review, and report generation. The following is a list of project tasks with estimated completion dates:

- **Sample collection** will occur between April and August 2016 with approximate timeframes for each area listed in the Table 4. Cost savings measures were used to coordinate collection of samples under this QAPP during planned field activities (for other programs) to be conducted by the participating field staff. Idaho Department of Fish and Game (IDFG) had an opportunity to begin collection of samples during the QAPP review process and prior to signature of this QAPP. Communication between DEQ and EPA identified that sample collection could begin; therefore, samples collected prior to QAPP signature will be included as part of the data set generated under this QAPP.
- **Sample delivery** of the collected fish from frozen field storage to EPA R10 MEL will take place in mid-June and mid-August to allow adequate time for processing and analysis within technical holding times. The R10 lab requests that all samples arrive within 2 months of collection. The mid-August delivery is projected for the week of August 15-19.
- **Sample analysis** will occur following receipt of samples at MEL and is estimated to be completed by January 2017.
- **Data management** including Scribe.net will occur following receipt of field data and analytical data packages and is estimated to be completed by February 2017.
- **Final reporting** will be performed by IFCAP in coordination with CDA Tribe and is estimated to occur from February 2017 to February 2018.

**Table 4. Sampling timeframes.**

Area	Sampling Agency	Approximate Sampling Timeframe
South Fork Coeur d'Alene River (Upper Basin)	DEQ (CDA Regional Office)	June-Aug 2016
Coeur d'Alene River and Chain Lakes (Lower Basin)	IDFG	April, May or June 2016
Coeur d'Alene Lake (Northern and Central Lake)	IDFG	Late May or June 2016 (all except Kokanee) August 2016 (Kokanee)
Coeur d'Alene Lake (Southern Lake)	CDA Tribe	June 2016
Spokane River	IDFG	June or early July 2016

## 7 Quality Objectives and Criteria

This section of the project QAPP defines the project data quality objectives (DQOs) to support the qualitative or quantitative design of the data collection effort. The DQOs listed in Table 5 follow the DQO process stated in USEPA QA/G-4 (EPA 2000b, EPA 2006c).

**Table 5. Quality Assurance Steps**

<p><b>Step 1:</b> State the Problem</p>	<p><b>Background and Problem Statement</b> (see Section 5 of the QAPP for additional details and references)</p> <p>The selected remedy identified in the Bunker Hill Superfund Site OU3 ROD includes educational resources and health advisories to manage the potential for metals exposure through consumption of fish. In the past, a health advisory was completed for Coeur d'Alene Lake and fish consumption guidelines are published in the Idaho Fish Consumption Guide. However, there are no specific fish consumption advisories for the Coeur d'Alene River, chain lakes, South Fork Coeur d'Alene River, or Spokane River and fish tissues in these areas have not been fully sampled and evaluated. Also, there is a need to collect more comprehensive and current data for Coeur d'Alene Lake because fish tissue metals concentration data are more than 13-years old and species like northern pike are not addressed by the existing advisory.</p> <p>Health advisories for fish consumption in Idaho are issued by the IDHW through the IFCAP. Since the CDA Basin has a shared management and ownership of the water and the fish that live in the water, the Tribe will coordinate with IFCAP to develop advisories if needed. The goal of IFCAP and the Tribe is to protect the public from adverse health risks associated with consuming contaminated fish from Idaho and Tribal waters.</p> <p><b>Planning Team Members</b></p> <p>Members of the planning team are shown in Figure 1 of the QAPP.</p> <p><b>Resources and Relevant Deadlines</b></p> <p>Sampling will be performed by the field crews identified in Figure 1 of the QAPP. Sampling is planned for the timeframes shown in Table 4 of the QAPP.</p>
<p><b>Step 2:</b> Identify the Decision</p>	<p><b>Study Question:</b> Determine the need for fish consumption health advisories for the Coeur d'Alene Basin areas and target species/groups presented in Table 6 of the QAPP.</p>
<p><b>Step 3:</b> Identify Inputs to the Decision</p>	<p><b>Required Information</b> (determined using the IFCAP protocol [IDHW 2013])</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fish species selection- Target species/groups are identified in Table 6 of the QAPP.</li> <li>• Fish size requirement- Eligible fish must be of legal harvest size limits (as outlined by IDFG regulations for specific species).</li> <li>• Sampling timeframe- For metals analysis in fish tissue, sample collection can be performed at any time of year (not limited to when lipids are highest).</li> <li>• Sample locations- Representative locations are identified in Table 6 of the QAPP.</li> <li>• Sample number requirement- IFCAP determined that 10 fish per target species, per sampling location, is needed to reach approximately 90% confidence that an advisory will be correctly issued based upon the mean tissue analyte results. If 10 fish within the legal size limits cannot be harvested for a species, IFCAP will perform their calculations using the number of fish harvested and note the number is less than 10 in the report.</li> <li>• Fish sampling techniques and field protocols- As stated in Section 11 of the QAPP.</li> <li>• Tissue preparation- Singular fish will be analyzed; no compositing will be performed. Fish fillets (no skin, no belly flap) will be analyzed for all species except kokanee. Kokanee are known to be canned and eaten whole; therefore, they will be gutted, de-headed, de-tailed (also removing fins), and the remaining body carcasses analyzed. Specific details and procedures for lab sample preparation and processing are included in Appendix C.</li> <li>• Target analytes and laboratory requirements- As identified in the OU3 ROD, analytes will include cadmium, lead, and mercury. Although not identified in the OU3 ROD as an indicator metal, arsenic will be analyzed in two steps: 1) analysis of all samples for total arsenic and 2) analysis of a subset of 30 samples for inorganic arsenic. Selection of 30 samples for inorganic arsenic will include any samples with total arsenic detected above a screening value of 0.26 ppm. If less than 30 samples exceed the screening</li> </ul>

	<p>value, then the 30 samples with the highest total arsenic concentrations will be analyzed for inorganic arsenic to provide a dataset to support the health protective nature of this screening method. If more than 30 samples exceed the screening value, IDHW recommends that, when possible, all individual samples that exceed the screening value of 0.26 ppm total arsenic be analyzed for inorganic arsenic. Further, IDHW recommends that if the mean total arsenic level for a study group (e.g., Brook trout sampled from the South Fork Coeur d'Alene River) exceeds the screening value of 0.26 ppm, then all samples in that group must be analyzed for inorganic arsenic content to ensure that any consumption advisories based upon that data are adequately informed and defensible. Based on the projected laboratory capacity at MEL, the lab has requested a maximum of 30 samples be analyzed for inorganic arsenic. If there is a need to exceed this lab capacity, then IFCAP, the CDA Tribe, DEQ, and EPA will meet to determine a path forward. Analysis of zinc will be performed to support long-term monitoring objectives for ecosystem functionality and will not be used as part of the human health fish consumption evaluation. Analytical methods and requirements are shown in Table 8 of the QAPP.</p>
<p><b>Step 4</b>  Define the Boundaries of the Study</p>	<p><b>Population of Interest:</b> Target species/groups of fish identified in Table 6 of this QAPP.  <b>Spatial Boundaries:</b> Areas within the Coeur d'Alene Basin/Bunker Hill Superfund Site that are presented in Table 6 of this QAPP.  <b>Temporal Boundaries:</b> Sampling timeframes identified in Table 4 of the QAPP.  <b>Potential Practical Constraints that may Interfere with Study</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lack of fish of the target species and legal harvest size</li> <li>• Scheduling and logistics</li> <li>• Equipment malfunction or loss</li> <li>• Adverse weather</li> <li>• Difficult physical access</li> </ul>
<p><b>Step 5</b>  Develop a Decision Rule</p>	<p><b>Decision Statement:</b>  IFCAP would consider issuing an advisory based on the geometric mean fish tissue concentration for the following metals concentrations in fish tissue:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cadmium<sup>1</sup> – 4.0 ppm</li> <li>• Mercury<sup>1</sup> – 0.4 ppm</li> <li>• Lead – if lead is detected above the method reporting limit (MRL) of 0.063 ppm, then the data will be evaluated using the Integrated Exposure Uptake Biokinetic [IEUBK] model</li> <li>• Inorganic Arsenic<sup>1</sup> – 1.2 ppm (for chronic exposure) and 0.026 ppm (for cancer screening)</li> </ul> <p>1: Based upon EPA recommended screening values for target analytes-recreational fishers (EPA 2000a).  Zinc data will not be included as part of the human health fish consumption evaluation. No decision rule has been developed for zinc.</p>
<p><b>Step 6</b>  Specify Tolerable Limits on Decision Error</p>	<p>Sources of error in the data set could result from:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Natural variability associated with each fish species, including but not limited to, size, age, habitat, feeding locations, etc...; however, the sampling number requirement defined in the IFCAP protocol is designed to consider this variability.</li> <li>• Variability in laboratory sample preparation and measurement error, which will be assessed using laboratory QA methods.</li> <li>• Sample representativeness limitations due to small analytical/digestion mass (0.2-0.25 g dry weight) subsampled from the processed sample, which will be assessed using laboratory and matrix spike duplicates.</li> </ul> <p>During data management, interpretation, and reporting, any data identified as an outlier will be evaluated for possible sources of error prior to use.</p>

<b>Step 7</b>  Optimize the Design for Obtaining Data	<ul style="list-style-type: none"><li>• When possible, sampling has been planned concurrent with other fish sampling (outside of the Bunker Hill program) to maximize efficient use of cross-organization resources and budgets.</li><li>• Data collection under this QAPP is a one-time event for identified areas and species.</li><li>• Sampling areas (identified in Table 6 of the QAPP) are selected to be geographically representative of large water bodies, similar to locations sampled for the past CDA Lake health advisory, and include high use fishery areas with species that are exposed to contaminants.</li><li>• Target fish species or species groups (identified in Table 6 of the QAPP) were selected to represent fish species present in each water body, fish harvested for consumption, fish life histories, and known data gaps. Fish species of similar life history were grouped together. Target species are abundant enough to provide a fishery and provide adequate samples for chemical analysis. These species are consumed in the area by recreational or subsistence anglers. Species selected are those exposed to contaminants and likely to pose health risks for human consumers.</li><li>• Since analysis of inorganic arsenic is labor intensive and expensive, a two-step process has been identified (see Step 3).</li></ul>
---	---

DQOs are also used to assess the adequacy of the data (new or existing/secondary) in relation to their intended use. Data quality indicators (DQIs) are used to describe, in part, the specific measurement elements to be used when evaluating data in support of the project DQOs. Project staff can find additional information and guidance concerning the DQO process and DQI selection and definition in the following reference materials:

- EPA *Guidance on Systematic Planning Using the Data Quality Objectives Process* (EPA 2006c)
- EPA *Guidance for Quality Assurance Project Plans* (EPA 2002c)
- EPA *Requirements for Quality Assurance Project Plans* (EPA 2001).
- EPA *Guidance on Environmental Data Verification and Data Validation* (EPA 2002d)

The objective of quality assurance and quality control (QA/QC) is to ensure that the sample results are representative of the target population. Field QA/QC will consist of all organizations following standard protocols for sample preparation as presented in this QAPP and developed in accordance with the IFCAP protocol. IFCAP determined that 10 fish per target species, per sampling location is needed to reach approximately 90% confidence that an advisory will be correctly issued (IDHW 2013). Collection of fish to represent field duplicates will not be conducted. Upon collection, the fish samples will be wrapped separately in foil and frozen for shipping to the laboratory. The laboratory will prepare and analyze the fish samples. Duplicate samples will be analyzed in the laboratory to determine laboratory precision.

The concept of *analytical data support* is generally described as having five levels, where Level I is considered minimal QA/QC control/documentation, and Level V is considered the highest available QA/QC control/documentation (see the DEQ QMP 2012a for more details and descriptions for Levels I to V).

The five levels of analytical support (Levels I and II, field analytical methods, and Levels III through V, laboratory analytical methods) are described below in general terms.

**Level I:** This refers to field screening or analyses using portable instruments, and results are commonly not compound-specific or quantitative. Generally, Level I data are related to activities such as locating sample collection points for laboratory analysis and are associated with instruments such as photoionization detectors (PIDs).

- **Generally associated verification/validation stage:** Level I may be associated, depending on data user requirements, with “Stage 1” verification and validation checks as described in Appendix A, Section 1.1, of EPA’s *Guidance for Labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (EPA 2009).

**Level II:** This refers to field analyses using more sophisticated portable analytical instruments or mobile laboratories onsite. Data generated can range from qualitative to quantitative (e.g., actual contaminant identification is made, but concentrations may or may not be quantified to a high degree of accuracy). Note that this data may or may not be acceptable for compliance purposes. Restrictions or limitations on the use of such data, if applicable, are stated below. Many types of field equipment—such as a mercury vapor analyzers and/or an X-ray fluorescence (XRF) units—generate data that may (or may not) qualify as Level II data.

- **Generally associated verification/validation stage:** Level II may be associated, depending on data user requirements, with “Stage 1” or “Stage 2A” verification and validation checks as described in Appendix A, Sections 1.1 and 1.2, respectively, of EPA’s *Guidance for Labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (EPA 2009).

**Level III:** This level refers to standard EPA-approved methods that may be equivalent to Level IV methods (see below), with the exception that the level of documentation supplied with analytical results is frequently less robust.

- **Generally associated verification/validation stage:** Level III may be associated, depending on data user requirements, with “Stage 2A” or “Stage 2B” verification and validation checks as described in Appendix A, Sections 1.2 and 1.3, respectively, of EPA’s *Guidance for Labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (EPA 2009).

**Level IV:** This refers to EPA Contract Lab Program (CLP) Routine Analytical Services (RAS) analyses, or EPA approved methods (Level III), with the exception that additional rigorous QA/QC protocols are employed and full documentation is provided by the laboratory to the project. For this project, the full data project is not provided by MEL; however, the package is stored at MEL and can be accessed through the Federal Records Center in accordance with laboratory standard operating procedures (SOPs). Documentation allows validation of results against specific contractual requirements and allows for detailed data use, restriction, and/or limitations to be identified prior to use of data. Requirements or limitations for a Level IV analysis and full validation of the analytical data, if necessary, are specified below. EPA R10 lab data packages are considered to be equivalent to a Level IV.

- **Generally associated verification/validation stage:** Level IV may be associated, depending on data user requirements, with “Stage 4” verification and validation checks as described in Appendix A, Section 1.5, of EPA’s *Guidance for Labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (EPA 2009). The EPA R10 lab data review and internal verification/validation is considered to be equivalent to a Stage 4 (S4VM) and is indicated as such in the final electronic data deliverable (EDD).

**Level V:** This refers to nonstandard methods that are considered to be more rigorous than Level IV methods. This analytical data level is very seldom used and must be accompanied by significant evidence substantiating the validity of the nonstandard methods employed. Level V is generally used when extremely accurate/precise measurements and quality documentation, far beyond standard EPA methods, are deemed necessary for site-specific contaminant identifications and quantitation.

- **Generally associated verification/validation stage:** Level V may be associated, at a minimum, with the “Stage 4” verification and validation checks as described in Appendix A, Section 1.5, of EPA’s *Guidance for Labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (EPA 2009).

Field screening data, which will include location, date, time, and measuring the length of sampled fish, are at data quality Level I (field parameter/screening level data). These data will be recorded by each organization on the field form provided in Appendix B.

Laboratory analytical data (i.e., data from samples submitted to a laboratory for analysis) are at data quality Level IV with samples analyzed at MEL. Data verification and validation of the analytical results will also be conducted by EPA and will be included in the transmitted analytical data package.

## 7.1 Data Accuracy, Precision, and Measurement Sensitivity

**Accuracy** is a measure of the agreement between a “true” or reference value and the associated measured value. For matrices other than water, accuracy is usually determined from the analysis of a standard or certified reference materials (SRM or CRM), as digestion of the sample matrix is often a critical step in overall analyte recovery. These reference materials are samples of a matrix (e.g., tissue) similar to that being analyzed and of a known or, through round-robin analysis, an agreed upon true concentration. Information and details supporting the spike recovery accuracy of the SRM will be provided by EPA and MEL. The SRM acceptance criteria for total metals and arsenic speciation is  $\pm 30\%$  and for mercury is  $\pm 25\%$ .

While a SRM provides a check on loss of analyte through laboratory sample preparation, it cannot measure loss or gain in analyte that may occur elsewhere in the sample handling chain. For this reason, overall method accuracy cannot be measured in this study. The laboratory will employ SRM digests to assess recovery of analytes in the laboratory. Equipment rinsate blanks will be used by the laboratory to check on the possible contamination of samples (analyte gain) during processing, freeze drying, and homogenization.

**Precision** is a measure of agreement between two or more measurements of the same property under prescribed conditions. Sampling campaigns may include duplicate samples (lab duplicates, or matrix spike duplicates—see Section 14) or may rely on LCS duplicate sample results. The relative percent difference (RPD) of duplicate samples will be used to assess laboratory data precision. For laboratory duplicates, LCS Duplicates, and matrix spike duplicates, Equation 1 will be used to calculate RPD:

$$RPD = \frac{(C_1 - C_2)}{(C_1 + C_2)/2} \times 100\%$$

**Equation 1. Relative percent difference (RPD).**

Where:  $C_1$  = concentration in first sample  
 $C_2$  = concentration in the second/duplicate sample  
 Where both  $C_1$  and  $C_2$  > 5 times the laboratory method detection limit (MDL)  
 Where one or both  $C_1$  and  $C_2$  are < 5 times the MDL, the results will be considered within control limits where  $C_1$  and  $C_2$  are  $\pm$  MDL.

The relative standard deviation (RSD) of multiple samples will be used to assess field data precision. For field duplicates, Equation 2 will be used to calculate RSD:

$$RSD = \frac{\sigma}{|\mu|} \times 100\%$$

**Equation 2. Relative standard deviation (RSD).**

Where:  $\sigma$  = standard deviation of a frequency distribution of fish species from a sampling location.  
 $\mu$  = mean value of the same frequency distribution of fish species from the same sampling location  
 Where both  $\sigma$  and  $\mu > 5$  times the laboratory method detection limit (MDL)  
 Where one or both  $\sigma$  and  $\mu$  are  $< 5$  times the MDL, the results will be considered within control limits where  $\sigma$  and  $\mu$  are  $\pm$  MDL.

Laboratory precision will be based on LCS, with an RPD goal of  $\pm 25\%$  (J flag).

Field precision will be based on the frequency distribution for each fish species/group from each specific sampling location, with an initial RSD goal of 35%. Field RSD greater than 35% will be brought to the attention the project manager and the QAO shall immediately report such findings to the appropriate program manager to determine and document the necessary corrective actions.

Appropriate **measurement sensitivity** is determined by considering results for making decisions that are equal to or exceed the minimum laboratory reporting levels (Method Reporting Limits [MRLs]) found in Table 8. There is no upper limit for the measurement range.

## 7.2 Data Representativeness

Representativeness is the degree to which the fish tissue sample data accurately and precisely represent water body conditions. The representativeness criterion is best satisfied by confirming that sampling locations are geographically representative, sample collection procedures are appropriate and consistently followed, a sufficient number of samples are collected, and analytical results meet data quality objectives. In addition, the potential limitations associated with sample representativeness due to small digestion mass (0.2-0.25g) should be taken into consideration. Also, the potential for more variability in whole body available mass for Kokanee should be evaluated with more frequent lab duplicates from the processed material (i.e., 2 duplicate per analytical batch [10%], rather than 1 duplicate [5%]). All sampling procedures will follow the standard fish collection procedures. Representativeness is evaluated during data review, verification, validation, and reconciliation efforts by comparing the combination of data accuracy, precision, measurement range, and methods and assessing other potential sources of bias, including sample holding times, reported results of blank samples, and laboratory QA review.

## 7.3 Data Comparability

Comparability is the confidence with which one data set can be compared to another data set. Using standard sampling and analytical procedures will maximize comparability. To ensure data comparability, sample collection procedures will be consistently followed (e.g., following one of the sample collection procedures identified in this QAPP), the same analytical procedures will be

used, all fish will be processed with the procedures outlined in this QAPP or appendices, and the same laboratory will be used to analyze the samples throughout each project.

## 7.4 Data Completeness

Completeness is the percentage of valid data relative to the total possible data points. For data to be considered valid, it must meet all of the acceptance criteria, including accuracy and precision, and any other criteria specified by the analytical method used. The overall data quality objective for completeness for the sampling events conducted under this QAPP is 80%. If the sampling event does not meet the quality assurance goal of 80%, the data will be discussed with the program manager and a course of action agreed upon. Any required departure from this goal will be justified and explained in the project records in accordance with the QMP.

Since laboratory analysis requires only a fraction of the tissue collected, the remaining freeze dried tissue will be archived for a maximum of 6 months or until approval for disposal is approved by the EPA RPM in the event repeat analysis is needed. With this safeguard, we expect to get analytical results for all samples collected. Due to the large number of samples and space required to store the whole fish, if necessary the lab may dispose of the remaining carcass after filleting as long as the freeze dried aliquot is sufficient to reanalyze a sample if needed.

## 8 Special Training/Certification

All specialized or nonroutine training, qualifications, or certifications necessary for project and/or laboratory staff is listed below.

Electrofishing training.

Boat operation and safety training.

Possession of IDFG/NOAA scientific collection permit.

The field project managers are responsible for ensuring that all personnel within their organization assigned to this project are appropriately trained and qualified.

Because this project includes multiple organizations performing field work, several field crews will be employed. To maintain consistency among the crews, the field project managers are responsible to ensure all project work is conducted in accordance with standard fish collection procedures.

All work performed by DEQ personnel will be conducted in accordance with the *Idaho General Safety and Health Standards* (Division of Building Safety 2006). In addition to this safety standard, field participants shall be familiar with boating safety, and ideally will have attended training seminars and field exercises. Electro-fishing is a hazardous activity, and all participants shall be fully briefed on proper procedure. It is recommended that all organizations performing field work under this QAPP follow similar safety standards and develop their own health and safety plan.

## 9 Documentation and Records

Responsibilities for collection and transmittal of documents and records for each organization are stated in the project tasks table (Table 3). To ensure IFCAP receives all information necessary for preparation of the final report, each organization is asked to submit documentation and records to DEQ for data management.

DEQ project documents will be filed electronically in TRIM in accordance with applicable program filing procedures. The project manager is responsible for ensuring that a copy of the current approved (and signed) project QAPP is available in the DEQ TRIM electronic records management system. A copy of the signed signature page for the project QAPP and FSP (if used) is to be filed in the TRIM system by the project manager. Preferably, the approved document, including the signed signature page, is attached to the TRIM record in PDF format.

Field personnel will document each day's activities. Information should be recorded as follows:

- Project data should be recorded directly, promptly, and legibly.
- Field logbook or field sheet entries should be legible and signed/initialed and dated by the person making the entry.
- Changes or corrections to field logbook notes and/or data should be indicated with a single line through the original entry. Changes should be initialed, dated, and explained.

All documentation necessary to support the objectives of the project and the validity of project data—chain-of-custody forms, laboratory reports, field notes, field logbooks, etc.—shall be supplied to the DEQ project manager and be entered into the project TRIM system files. All DEQ project documentation and records shall be retained in the TRIM system in accordance with the current approved DEQ records retention schedule (TRIM record #2010AIC3).

## 10 Sampling Process Design

This section describes the project data collection activities, assumptions, sampling station selection, general descriptions of the number of samples to be taken, the number of sampling locations, and any other relevant project-specific information.

### 10.1 Rationale for Selection of Sampling Stations

Sampling will follow the IFCAP Protocol (IDHW 2013). Fish sampling will be conducted throughout the Bunker Hill Site based on the presence of contaminants in the water bodies, frequency of fishing activities, amount of fish for consumption, public interest, and the needs of the Selected Remedy. The geographic area defined for this QAPP is easily divided into four areas: 1) South Fork Coeur d'Alene River (Upper Basin), 2) Coeur d'Alene River and Chain Lakes (Lower Basin), 3) Coeur d'Alene Lake, and 4) Spokane River (see Section 10.2 for sampling location details). All of these areas have known contaminants present and have fisheries needing investigation for protection of human health.

## 10.2 Sample Design Logistics

Fish sampling will rely on multiple locations that geographically represent large water bodies, similar to locations sampled for the past CDA Lake health advisory (EPA 2002b, EPA 2003, ATSDR 2003), and include high use fishery areas with species that are exposed to contaminants (Table 6). The areas identified in Table 6 are shown in Figure 2.

Target fish species or species groups have been selected based on fish species present in each water body, fish harvested for consumption, fish life histories, and known data gaps. Fish species of similar life history were grouped together. Target species are abundant enough to provide a fishery and provide adequate samples for chemical analysis. These species are consumed in the area by recreational or subsistence anglers. Species selected are those exposed to contaminants and likely to pose health risks for human consumers. Samples will be adult fish representative of those likely to be harvested for consumption. The IFCAP protocol recommends 10 fish per target species or group to reach an approximately 90% confidence that an advisory will be correctly issued. Therefore, 10 fish per target species or group will be collected.

Sampled fish will be identified, measured, and labeled and will be handled as detailed in Section 11. The EPA R10 laboratory will prepare, process, and analyze the fish samples.

## 11 Sampling Methods

This section describes the procedures used to obtain project samples, lists the equipment necessary to perform the sampling activities, and describes the actions to be taken if problems arise in the field. The field project manager will select sampling methods appropriate for waters being sampled.

### 11.1 Large water electrofishing

A boat-mounted electrofisher will be used to collect fish near the shoreline. This is the preferred method of capture, as it involves minimal handling of fish. It is not effective in deep water, or for larger fish. Fish will be kept in a live well until they can be killed and then wrapped in foil (dull side towards fish) and frozen. Fish will be killed using percussion over the head. All sample containers will be protected in an ice chest that will be kept closed. In the event these methods do not provide the desired quantities or species or are impractical, hook and line fishing may be used.

### 11.2 Stream electrofishing

A backpack electrofisher will be used to collect fish in wadeable streams. This is the preferred method for fish collection from wadeable streams in the upper basin. Standard backpack electrofishing techniques shall be employed, without block nets. Fish will be kept alive in a bucket(s) until they can be killed, then wrapped in foil (dull side towards fish) and frozen. Fish will be killed using percussion over the head. All sampling equipment will be cleaned prior to collection. In the event these methods do not provide the desired quantities or species or are impractical, hook and line fishing may be used.

**Table 6. Summary of CDA basin fish sampling design logistics.**

Area	Sampling Locations <sup>1</sup>	Target Species/Groups	Estimated Range of Fish Size (mm / inches)	Number of Samples	Sampling Agency
South Fork Coeur d’Alene River (Upper Basin)	South Fork Coeur d’Alene River (2 zones) <sup>2</sup>	Brook trout	150-300 / 5.9-11.8	2 species x 10 samples x 2 zones = 40	DEQ (CDA Regional Office)
		Mountain whitefish	150-350 / 5.9-13.8		
Coeur d’Alene River and Chain Lakes (Lower Basin)	Coeur d’Alene River and several lakes (3 zones) <sup>3</sup>	Panfish <sup>5</sup>	150-250 / 5.9-9.8	4 species x 10 samples x 3 zones = 120	IDFG
		Northern pike	400-1000 / 15.7-39.4		
		Bass (LMB/SMB)	250-500 / 9.8-19.7		
		Bullhead	100-200 / 3.9-7.9		
Coeur d’Alene Lake	Northern lake Central lake (2 zones) <sup>4</sup>	Kokanee	200-300 / 7.9-11.8	4 species x 10 samples x 2 zones = 80	IDFG
		Panfish Northern pike Bass (LMB/SMB)	See above		
Coeur d’Alene Lake	Southern lake (1 zone) <sup>4</sup>	Kokanee Panfish Northern pike Bass (LMB/SMB)	See above	4 species x 10 samples x 1 zone = 40	CDA Tribe
Spokane River	Spokane River below Post Falls (1 zone)	Bass (LMB/SMB)	See above	2 species x 10 samples x 1 zone = 20	IDFG
		Rainbow trout	250-500 / 9.8-19.7		

Notes:

- 1: Sampling location zone descriptions allow field crews the flexibility to collect samples where fish are found during the timeframe of field work. Specific details for actual sampled zones will be recorded on the field forms (Appendix B). A separate field form will be prepared for each separate site within each zone.
- 2: If a sufficient number of samples cannot be harvested from two zones with the Upper Basin (upper and lower South Fork of the CDA River), then samples may be combined to represent only one zone. Opportunistic sampling may include collection of rainbow trout.
- 3: For sampling the Lower Basin, the following priority will be used to select the 3 zones: 1) Sample one zone along the CDA River near Killarney Lake. If enough species cannot be collected from the river, then the remaining number of samples will be collected from Killarney Lake. 2) For the other two zones, collect samples from the following Chain Lakes: Swan Lake, Thompson Lake, or Killarney Lake. However, if the majority of samples for #1 are collected from Killarney Lake, sampling will not be repeated for #2 at Killarney Lake.
- 4: Sampling zones in CDA Lake will be similar to locations sampled for the past CDA Lake health advisory (EPA 2002b, EPA 2003, ATSDR 2003). IDFG and the Tribe will coordinate locations within the central and southern areas to avoid sampling the same areas.
- 5: Panfish is any small, freshwater nongame food fish, as a perch or sunfish, usually eaten pan-fried. For this study we mean black crappie, perch, and bluegill.

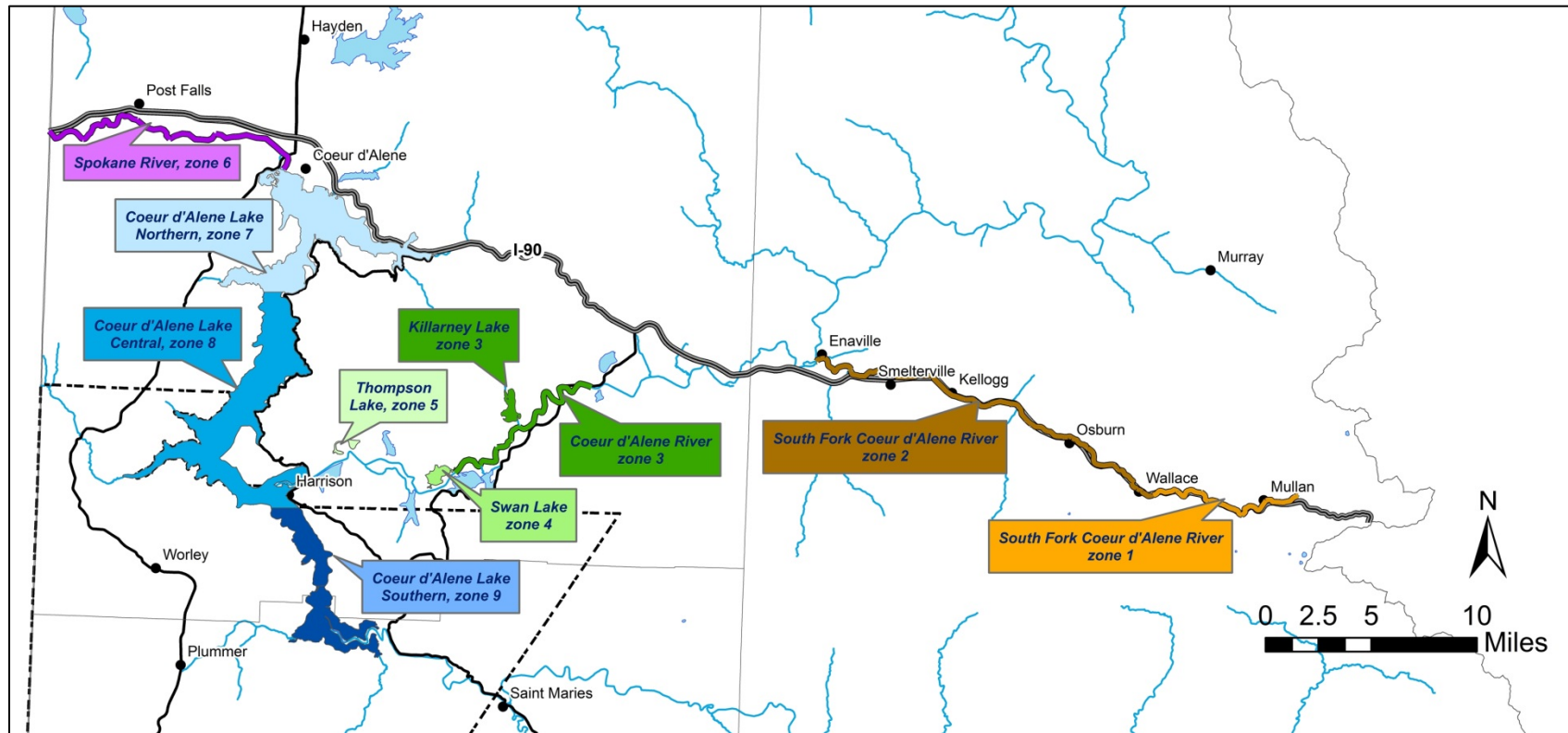


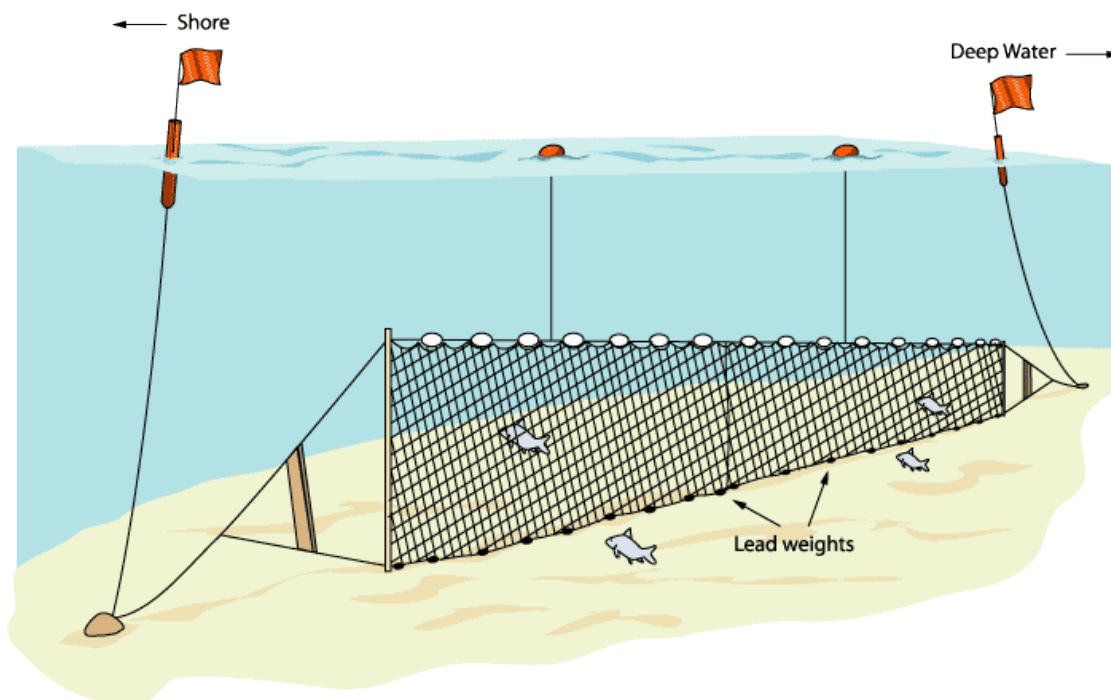
Figure 2. Map of sampling areas.

### 11.3 Large water gill netting

Gill nets are generally used in deeper waters (Figure 3). Gill nets are set on the bottom or suspended at a known depth. Fish too large to swim through the mesh get caught by the gills when they try to back out. The nets are set and checked periodically throughout the day or set overnight and checked the next morning. In the event these methods do not provide the desired quantities or species or are impractical, hook and line fishing may be used.

### 11.4 Midwater trawl netting

Kokanee will be sampled with a fixed-frame midwater trawl net. Net dimensions are 2.2 m wide by 3.0 m tall by 10.5 m long. The net will be towed behind a 8.8 m long boat and deployed using hydraulic winches. The net will be towed at depths ranging from 10-40 m in pelagic habitats and at a speed of 1.55 m/s. Upon retrieval, fish will be emptied from the cod end of the net and processed according to protocols. Sampling will be conducted at night during the dark phase of the moon in July or August.



**Figure 3. Diagram of gill net methodology.**

(From <http://www.miseagrant.umich.edu/nets/images/gillnetlg.gif>)

### 11.5 All Methods

Upon collection using any method, eligible fish that are still alive will be killed using percussion over the head and will be identified to species. For this study, 'eligible' means fish of target species and of legal harvest size (as outlined by IDFG regulations for specific species; expected

estimated fish size ranges within the legal harvest size are listed in Table 6). The total body length is defined as the length from the anterior-most part of the fish to the tip of the longest caudal fin ray. If fish are abundant, any fish that accidentally touch the deck of a boat or on bank will be discarded. However, if fish are scarce, such fish will be rinsed in ambient water and kept, and a note will be made of the incident. Fish may be temporarily kept in an aluminum live well while on a boat.

Additional eligibility guidelines:

- Dead specimens other than those killed in the process of collection will be discarded.
- Specimens with lacerations other than those received in the process of collection will be discarded.
- Specimens with sores or lesions other than those received in the process of collection will be discarded.
- Specimens with electrofishing induced trauma remain eligible.

It is desirable to know the approximate depth of the water from which the fish are collected, an estimate of the depth of the water where the fish were collected, not of the lake in general. A reading at the beginning and end of an electrofishing run, or similarly, at both ends of a gill net set, must be taken and the average of the depths reported in the field notes.

Sample labels should be prepared ahead of time to the extent possible. Meters, probes, cameras, rangefinders, and other sensitive gear should be packed to avoid shock, exposure, and other damage. Crews should be especially mindful to prevent contamination of containers, packaging, and sampling equipment used for trace metals work.

Further field precautions:

- Fish will be kept away from metal surfaces and motor exhaust fumes
- Clean coolers will be used (wiped or rinsed with bleach solution, then three rinses with tap water).
- “Wet” ice will be used in preference to “blue” ice. Loose, wet ice will be contained (bagged) such that meltwater cannot escape and contact the sample containers.
- Sampling equipment obviously contaminated by oil or gasoline will not be used.
- Measuring devices will be cleaned before each sampling day, and rinsed with ambient water between each species/sampling event.

Field materials will include:

Electro-fishing boat/Backpack Electrofisher	Digital camera
Gill and/or trap nets	Cases for equipment
Cell or Satellite telephone	Safety equipment- Nitrile Gloves
GPS receiver	Field books
Bucket or container for rinse water (non-metallic)	Field forms (on waterproof paper)
Bleach (dilute 1:10 for rinsing)	Ice chest labels (on waterproof paper)
Disposable towels	Ice chests
Nitrile gloves	Butcher paper
Scrub brush (plastic)	Packing tape
Plastic bags	Blue ice packets
Pencils	Permanent markers

Personal protective equipment (PPE) necessary to perform the field work for this project shall be consistent with the requirements of the *Idaho General Safety and Health Standards* (Division of Building Safety 2006) and all project-specific health and safety plans associated with the project.

In addition to these PPE requirements, the following specific PPE is required for field work associated with this project:

- Nitrile gloves when measuring and preparing fish samples

QA/QC procedures as specified for sample collection will be followed by sampling personnel. The QA/QC procedures will be fulfilled by adhering to all requirements detailed in this QAPP. Such adherence will be demonstrated through appropriate documentation of sampling procedures within the field logbook or field sheets as described herein.

Fieldwork quality will be controlled by following the above sampling methods during each sampling event. Detailed field notes will be taken for QC and proper sample identification.

Analytes, laboratories, and shipping addresses are included in Table 7. Analytical methods, sample containers, preservation methods, and holding times are identified in Section 13 and Table 8.

**Table 7. Analytes and laboratories.**

Analytes	Analyzing Laboratory	Shipping/Hand Delivery Address
Cadmium, Lead, Mercury, Total Arsenic, Inorganic Arsenic (based on detections of total arsenic), and Zinc	EPA R10 Laboratory (MEL)	EPA Region 10 Laboratory Attn: Sample Receiving 7411 Beach Drive East Port Orchard, WA 98366 (360) 871-8760 – Karen Norton

## 12 Sample Handling and Custody

### 12.1 Project Sample ID

The field project sample ID will consist of an **Organization + Site Number Code + Taxon Code + Specimen Number**. All sample IDs must be unique and consistent through the project.

For this project, the following **Organization** codes will be used:

IDFG = Idaho Department of Fish and Game	CDA = Coeur d'Alene Tribe
DEQ = Department of Environmental Quality	

For this project, the following **Site Number Codes** (as shown in the last column) will be used:

Area	Zone	Zone #	Sampling Org.	Site Number Codes
South Fork Coeur d'Alene (Upper Basin)	South Fork Coeur d'Alene River, upper	1	DEQ	<b>100s</b>
	South Fork Coeur d'Alene River, lower	2	DEQ	<b>200s</b>
Coeur d'Alene River and Chain Lakes (Lower Basin)	Coeur d'Alene River	3	IDFG	<b>300s</b>
	Chain Lake 1	4	IDFG	<b>400s</b>
	Chain Lake 2	5	IDFG	<b>500s</b>
Spokane River	Spokane River	6	IDFG	<b>600s</b>
Coeur d'Alene Lake	Northern Lake	7	IDFG	<b>700s</b>
	Central Lake	8	IDFG	<b>800s</b>
	Southern Lake	9	CDA (Tribe)	<b>900s</b>

For the field collection and laboratory analysis portions of this project, the following **Taxa Codes** will be used:

Taxon Code	Species Code
PAN = panfish	BCR = black crappie
	BLU = bluegill
	YEP = yellow perch
BAS = bass	LMB = largemouth bass
	SMB = smallmouth bass
BBL = brown bullhead	BBL = brown bullhead
NOP = northern pike	NOP = northern pike
KOK = kokanee	KOK = kokanee
RBT = rainbow trout*	RBT = rainbow trout*
EBT = eastern brook trout*	EBT = eastern brook trout*
MWF = mountain whitefish*	MWF = mountain whitefish*

\*RBT, EBT, and MWF taxa may be merged in the Upper Basin area if insufficient EBT and MWF cannot be collected.

Note: Only the taxa codes are used in the Sample IDs. The species codes are only recorded on the field forms (Appendix B).

The taxa codes are used in the project sample IDs; however, the species codes are only recorded on the field forms because for the IFCAP use of the data, largemouth bass (LMB) and smallmouth bass (SMB) will be treated as a single group called bass (BAS). Similarly, the following species will be combined into a single group called panfish (PAN): black crappie (BCR), bluegill (BLU), and yellow perch (YEP). At each station, 10 individuals are needed from the groups: bass or panfish; it is not necessary to collect 10 individuals of each component species.

Specimen numbers take the form of a two digit sequential number (01, 02, 03 etc.) for each fish of one species from a zone.

Example sample ID: DEQ-201-BAS-08, where:

- Organization: DEQ
- Site #: 201 (represents one site located within Zone 2; field notes document the location along the lower South Fork Coeur d'Alene River associated with this site number code)
- Taxon: BAS = bass (the field form will indicate if this specimen number is a largemouth or smallmouth bass)
- Specimen #: 08 (Specimen number eight out of 10 collected from this location)

## 12.2 Sample Handling

Sampled fish will be identified, measured, and labeled and will be wrapped separately in foil (dull side towards fish) and frozen for shipping to the laboratory. The laboratory will prepare and analyze the fish samples. Coolers large enough to contain the expected sizes of fish will be used for transport. Fish that are too large for the available coolers will be discarded, or stored in another appropriate vessel. Fish shall not be truncated in any way during sample collection.

Each foil-wrapped fish will be placed in a waterproof plastic bag with a waterproof label (to be created by each field team) containing the following information:

- Project Sample ID
- Date of collection
- Time of collection

All fish will be packaged inside coolers according to the instructions below. To keep samples organized by sample locations, separate coolers will be used for each zone (see Cooler Contents Form, Appendix B). The number of coolers required for each zone will be different depending on the number of species, size of fish, etc.

The fish will be temporarily stored in walk-in freezer(s) until all sampling is complete. DEQ, IDFG, and the Tribe will coordinate transportation of fish from the field sites to the walk-in freezer(s). Walk-in freezer space and access will be provided by the Tribe and IDFG. Following completion of all sampling, all fish samples will be transported to MEL by TerraGraphics in mid-June and by Bob Steed (DEQ) in mid-August.

Instructions for cooler storage inside a walk-in freezer prior to pick up and transport to MEL:

1. The coolers should have their drain plugs sealed shut and should have two layers of plastic garbage bags as liners.
2. Pack as much ice (a mix of block and cube ice is best). All ice should be placed into the two plastic garbage bags also.
3. Establish a unique cooler ID for each cooler (i.e. DEQ-1, IDFG-5, CDA-3).
4. Fill out "Cooler Contents Form" (see Appendix B) and make two copies.
5. Place one copy of the "Cooler Contents Form" into a gallon sized zip lock type bag and set inside cooler, under lid, and outside two layers of plastic garbage bags.
6. Tape second copy to cooler lid with clear packing tape.
7. Scan third "Cooler Contents Form" and email to [dana.swift@deq.idaho.gov](mailto:dana.swift@deq.idaho.gov) along with a copy of all field forms.

8. Keep third “Cooler Contents Form” for your records.
9. Keep cooler lid propped open until contents are frozen solid.

## 12.3 Scribe Data Entry

TerraGraphics will enter information into Scribe in order to assign each sample a R10 sample ID number which will be the primary Scribe sample number. The project sample ID (as identified in Section 12.1 of this QAPP) will be recorded in the Scribe remarks category.

Terra Graphics will also provide the chain-of-custody forms corresponding with the contents of each cooler. The field forms will contain information to generate the sample IDs for each sample. Any generic information from this QAPP entered into Scribe prior to sample collection will be updated with specific information listed on the field forms (for example, Chain Lake 1 will be updated to the lake listed on the field form [e.g., Swan Lake]).

Entering information into Scribe requires a Location and Sub Location field for each sample:

- Location: This field will correspond with the area (see Section 12.1) and include the area and zone description and the Site # Code.
- Sub Location: This field will be left blank.
- Lat/Long Location: Scribe only includes an option to enter one set of lat/long coordinates per sample. Since the field forms will have a start point and end point, the start point will be entered in the lat/long location and the end point will be added to the remarks (or a similar field).

Additional Scribe information that will be consistent for all samples, but will not be recorded on each field form includes:

- Analysis: Total Metals: As, Cd, Pb, Zn, Hg (Arsenic speciation analysis to be assigned later based on total Arsenic results).
- Analysis abbreviation: Metals AsCdPbZnHg
- Preservation: None
- Sample Type: Field Sample
- Container: Foil and Bag
- Storage: Frozen
- Project Code: SFP-103A

After TerraGraphics completes entry of the field form information into Scribe, they will provide the field crews with sample labels (in duplicate) to be matched with each packaged fish. The fish will already be labelled with the Project Sample ID (as identified in Section 12.1 of this QAPP) immediately after collection; however, prior to transport to MEL, a label will be added to identify the R10 Sample ID number. These labels will include the following information:

- Project Sample ID
- R10 Sample ID number
- Date of collection
- Time of collection

- Scribe matrix (fish components to be analyzed; i.e., fillet or whole body)

Prior to sample transport, the Scribe sample labels (in duplicate for each fish) will be matched with each packaged fish as follows:

- Each fish will already be packaged as identified in Section 12.2 (foil-wrapped and in a waterproof plastic bag with a waterproof label).
- TerraGraphics will provide duplicate Scribe sample labels for each fish.
- One of the Scribe sample labels will be placed on the outside of a new 2<sup>nd</sup> waterproof bag.
- The packaged fish and the duplicate Scribe sample label will be placed into this 2<sup>nd</sup> waterproof bag. The sample label can remain loose inside the 2<sup>nd</sup> bag.

## 12.4 Sample Transport

Upon completion of Scribe data entry, the Scribe chain-of-custody pdf will be provided to the field crews so that they can match them to the corresponding cooler and check for accuracy against the contents of the cooler. Chain-of-custody forms will be used to document sample custody and transfer and will accompany the samples throughout the transport process.

Instructions for cooler pick up and transport to MEL:

1. Sign-off relinquishment of custody (and if hand delivered have delivery person sign-on receipt of custody) on the Scribe COC form.
2. Make 2 copies of signed COC form.
3. Add one copy of COC form to gallon sized zip lock type bag and tape to inside cooler, under lid with clear packing tape.
4. Scan second copy of COC form and email to [dana.swift@deq.idaho.gov](mailto:dana.swift@deq.idaho.gov).
5. Keep second copy of COC form for you records.
6. See Section 12.2 for cooler packing instructions regarding use of garbage bags as liners and packing of ice.
7. The lid must be fastened down with clear packing tape around the cooler completely and should be sealed around the lid gap to eliminate water/odor leakage.
8. Add two signed and dated custody seals (to be provided by EPA) to each cooler, one on a side (R or L) and one on the front or back. Custody seals are adhered perpendicular to the seam. A clear piece of tape may be used parallel to the cooler seam in order to prevent inadvertent breaking of the custody seal but still allow for evidence of tampering during shipment as intended.

## 13 Analytical Methods

Table 8 lists the parameters, analytical methods identified by MEL, criteria identified by IFCAP, handling requirements, and holding times applicable to all samples obtained under this project. Samples must be analyzed within the holding times.

DEQ will coordinate with EPA RSCC and MEL to arrange a sample drop off dates and times. It is requested by the R10 lab that all samples arrive within 2 months of collection in order to ensure that processing and analysis are completed within analytical holding times. In addition, the TerraGraphic's Scribe Project File Manager will notify EPA RSCC and MEL of sample transport by publishing to Scribe.net and by emailing the required files for each shipment (including the COC XML and XLS export and the .bac) to the RSCC on the day of delivery or earlier. Notification to the laboratory will ensure the holding time is not exceeded.

The laboratory will prepare and analyze the fish samples. Laboratory sample preparation and processing procedures to be followed by MEL are included as Appendix C to this QAPP. Appendix C will be included in draft form for signature of this QAPP and the procedures will be finalized during processing of the fish.

In addition, the percent moisture content of each composite fish tissue sample will be determined by the laboratory so that any reported wet weight mercury concentrations may be converted to a dry weight basis by the project (see equations below). All other metals concentrations, and potentially including mercury, will be reported as dry weight since they will be analyzed from freeze dried material. The percent moisture will be provided in the laboratory electronic data deliverable (EDD) to correct to wet weight as necessary by the project.

If the lab reports in % solids, the equation to convert lab results to wet weight concentrations is as follows:

$$Tissue_{wet\ conc.} = Tissue_{dry\ conc.} \times \frac{\% Solids}{100} \quad \text{Equation 3. Conversion from wet weight to dry weight.}$$

Where:  $Tissue_{wet\ conc.}$  = wet weight concentration (mg/kg) of fish (Desired Results)  
 $Tissue_{dry\ conc.}$  = dry weight concentration (mg/kg) of fish (Laboratory Results)  
 $\%Solids$  = percent solids (Laboratory Results, for example 20%)

If the lab reports in % moisture, the equation to convert lab results to wet weight concentrations is as follows:

$$Tissue_{wet\ conc.} = Tissue_{dry\ conc.} \times \frac{(100 - \% Moisture)}{100} \quad \text{Equation 4. Conversion from wet weight to dry weight.}$$

Where:  $Tissue_{wet\ conc.}$  = wet weight concentration (mg/kg) of fish (Desired Results)  
 $Tissue_{dry\ conc.}$  = dry weight concentration (mg/kg) of fish (Laboratory Results)  
 $\%Moisture$  = percent moisture (Laboratory Results, for example 80%)

**Table 8. Analytical method, container types, preservation method, and sampling holding times.**

Parameter	IFCAP Criteria (mg/kg; wet weight)	Analytical Method for MEL <sup>g</sup>	MRLs (mg/kg)	Project Precision Criteria	Project Accuracy Criteria	Holding Time	Handling Requirements
Cadmium	4.0 <sup>a</sup>	EPA 3052 microwave digestion + EPA 6010B or 6020A (ICPMS)	0.13 dry weight	±25%	70-130%	Two years (frozen/ freeze dried)	Fish will be wrapped separately in foil and frozen prior to shipment. Laboratory will prepare the fish samples per procedures identified in Appendix C. All samples will be prepared as fillet (no skin, no belly flap) except kokanee. Kokanee will be whole fish (gutted, tail, fins, and head removed).
Lead	0.063 <sup>b</sup>		0.063 dry weight	±25%	70-130%	Two years (frozen/ freeze dried)	
Mercury	0.4 <sup>a</sup>	Wet weight via EPA 245.6 <u>OR</u> 2 ng = ~0.04 mg/kg (varies depending on mass used) via EPA 7473	0.01 wet weight <u>OR</u> approx. 0.05 dry weight	±25%	75-125%	6 months (frozen)	
Total Arsenic	0.26 <sup>c</sup>	EPA 3052 microwave digestion + EPA 6010B (ICP-AES) <u>OR</u> 6020A (ICP/MS)	0.25 dry weight	±25%	70-130%	Two years (frozen/ freeze dried)	
Inorganic Arsenic (arsenic speciation)	0.026 <sup>a,c,d</sup> 1.2 <sup>a,c,d</sup>	Anionic Species <sup>f</sup> (tissue) Method - EPA 3110 (draft) & 6870 (draft) Total As <13 mg/kg (dry weight)	70 ng/g dry weight (maximum MRL)	±25%	70-130%	One year (frozen/ freeze dried)	
		Anionic Species <sup>f</sup> (tissue) Method - EPA 3110 (draft) & 6870 (draft) Total As >13 mg/kg (dry weight)	140 ng/g dry weight (maximum MRL)	±25%	70-130%		
Zinc	Not Applicable <sup>e</sup>	EPA 3052 microwave digestion + EPA 6010B (ICP-AES) <u>OR</u> 6020A (ICP/MS)	3.8 dry weight	±25%	70-130%	Two years (frozen/ freeze dried)	

IFCAP = Idaho Fish Consumption Advisory Project; MEL = Manchester Environmental Laboratory; MRL = method reporting limit; ICPMS = inductively coupled plasma mass spectrometry; 1 mg/kg = 1 ppm

Notes:

a = Based upon EPA recommended screening values for target analytes-recreational fishers (EPA 2000a).

b = Criteria used by IFCAP to determine the need to evaluate the data using the Integrated Exposure Uptake Biokinetic (IEUBK) model).

c = Arsenic will be analyzed in two steps: 1) analysis of all samples for total arsenic and 2) analysis of a subset of 30 samples for inorganic arsenic. Selection of 30 samples for inorganic arsenic will include any samples with total arsenic detected above a screening value of 0.26 ppm. If less than 30 samples exceed the screening value, then the 30 samples with the highest total arsenic concentrations will be analyzed for inorganic arsenic to provide a dataset to support the health protective nature of this screening method. If more than 30 samples exceed the screening value, IDHW recommends that, when possible, all individual samples that exceed the screening value of 0.26 ppm total arsenic be analyzed for inorganic arsenic. Further, IDHW recommends that if the mean total arsenic level for a study group (e.g., Brook trout sampled from the South Fork Coeur d'Alene River) exceeds the screening value of 0.26 ppm, then all samples in that group must be analyzed for inorganic arsenic content to ensure that any consumption advisories based upon that data are adequately informed and defensible. Based on the projected laboratory capacity at MEL, the lab has requested a maximum of 30 samples be analyzed for inorganic arsenic. If there is a need to exceed this lab capacity, then IFCAP, the CDA Tribe, DEQ, and EPA will meet to determine a path forward.

d = For inorganic arsenic, 1.2 ppm for chronic exposure. For cancer screening of inorganic arsenic, 0.026 ppm.

e = Zinc will not be included as part of the human health fish consumption evaluation, rather zinc will be analyzed to establish the fish body burden and the zinc data may be used to support long-term monitoring objectives for ecosystem functionality.

f = The anion species are as follows: Dimethylarsinic acid (DMA), Monomethylarsonic acid (MMA), Inorganic Arsenic, "Arsenobetaine (AsB) + Cations", and Unknown Arsenic Species.

g = Samples will be analyzed by ICP-MS unless the levels detected are in range for ICP-AES analysis (above the MRL).

## 14 Quality Control

Quality control is a means of measuring or estimating the potential variability involved with sample collection, analysis, or measurement activities in the field and in the laboratory. This section will discuss the various QC activities associated with this project.

### 14.1 Field QC Checks

Field QA/QC will consist of all organizations following standard protocols for sample collection as presented in this QAPP and developed in accordance with the IFCAP protocol. IFCAP determined that 10 fish per target species, per sampling location is needed to reach 90% confidence that an advisory will be correctly issued (IDHW 2013).

Typically, field QC samples include duplicates and blanks. However, for the purposes of this QAPP that follows the IFCAP protocol and includes performing all sample preparation and processing procedures at the analytical laboratory, collection of fish to represent field duplicates will not be conducted. In addition, neither field blanks nor equipment blanks will be necessary.

### 14.2 Laboratory Quality Control Checks

Laboratory QC checks are routinely performed as part of the analysis process. The frequency and type of QC samples are often analysis method-dependent and include reagent blanks, matrix spikes, laboratory duplicates, and laboratory control standards. Analyzing laboratories will report any variance from QC limits impacting the quality of sample results and may report details of internal laboratory QC if requested. Laboratory QA/QC and data reports will be filed in TRIM following applicable filing protocols.

Laboratory QC checks include internal checks for sample analysis activities, duplicate samples, and blanks. The following paragraphs describe common components of laboratory QA/QC programs.

#### 14.2.1 Laboratory Quality Control

A **laboratory method blank** is a sample of known matrix where the specific constituents requested for analysis are known to be absent or are present at concentrations less than the laboratory minimum limit of detection. The laboratory blank is analyzed to evaluate the accuracy of the analysis.

**Laboratory control samples** (LCSs) are samples that contain a known concentration of analytes and are analyzed to assess the overall method performance. They undergo the same preparatory and determinative procedures as the project samples and are the primary indicator of laboratory performance. LCS recoveries are used to measure accuracy. The RPD for duplicate LCS recoveries is used to measure precision.

A **laboratory duplicate sample** is a sample that is subsampled twice by the laboratory after tissue processing into two separate aliquots for digestion. The two digestates are analyzed and a comparison of the results (RPD) is used to assess laboratory precision.

A **matrix spike** (MS) sample has a known amount of the target analyte added to project matrix before analysis to assess possible matrix interferences on the analysis. Percent recoveries on MS samples should be compared to percent recoveries of LCS samples for assessment of accuracy and potential bias. An MS/**matrix spike duplicate** (MSD) pair can be used to assess accuracy, bias, and precision.

The laboratory will present DEQ with a complete QA report covering the period of analysis.

### **14.3 Data Analysis Quality Control Checks**

The QC check data may be checked/reviewed for quality at any time during the project and must be checked after all of the data are collected. Corrective actions, as needed, will be documented in the event that control limits are exceeded. Data qualifiers will be assigned following appropriate data verification/validation procedures. Any qualifiers added will be defined in the project summary/technical report and will be consistent with EPA QA/G-8 (EPA 2002d).

QC checks for field data will be performed by the Field Project Manager and the DEQ QAO. QC checks for the analytical data will be performed by EPA and MEL.

## **15 Instrument/Equipment Testing, Inspection, and Maintenance**

Laboratory instrument/equipment testing, inspection, and maintenance are performed and documented by the laboratory if/as required by the MEL QA Manual and standard operating procedures. Procedures and schedules for preventive maintenance of sampling equipment are the responsibility of the laboratory. Each instrument or item of laboratory equipment will be maintained periodically to ensure accuracy. These procedures and frequency of performance are designated in the individual instrument manuals.

Project field instrument/equipment testing, inspection, and maintenance will be performed in accordance with the individual instrument/equipment manual.

## **16 Instrument/Equipment Calibration and Frequency**

Laboratory instrument calibration is conducted and documented by the laboratories if/as required by the MEL QA Manual and standard operating procedures.

All field monitoring equipment for the measurement of field parameters will be calibrated and maintained as recommended by the manufacturer, or as found in individual instrument/equipment manuals, to ensure accuracy within specified limits. Calibration details will be recorded in the field logbook or field sheet. Field equipment used to collect samples will be initialized according to manufacturers' procedures or internal guidelines at the start of each

field day (at a minimum) and/or at intervals recommended by the manufacturer or found in individual instrument/equipment manuals. Each instrument or item will be visually inspected by field sampling personnel for damage and operability prior to each sampling event.

## 17 Inspection/Acceptance of Supplies and Consumables

The supplies and consumable items required for monitoring projects will be consistent with the list identified in Section 11 of this QAPP. All sampling supplies and consumable items will be inspected for acceptance by the field project manager or field crew leader prior to use.

## 18 Nondirect Measurements and Data Acquisition

Nondirect measurements and data acquisition refer to data obtained *for use by the project* from existing data sources, not directly measured or generated in the scope of this project. This type of data is often referred to as “existing data or secondary data.” Examples of this type of data include data obtained from existing sources or databases (either from within or from outside DEQ) and data obtained by others and offered or presented to DEQ for use.

Past investigations are referenced in the Problem Statement (Section 5.1). Existing data or other nondirect data will only be used if approved for use by IFCAP.

## 19 Data Management

As stated in Section 9 and Table 3, each organization is responsible for collection and transmittal of documents and records to DEQ for management.

Electronic copies of all field notes and laboratory reports will be provided to the DEQ project manager and kept in TRIM. Hard copies of field notes and laboratory data reports will be kept at least until data review and reporting is complete. It is the responsibility of the project manager to ensure all document retention requirements are met.

The *Region 10 Data Management Plan (DMP) for Environmental Monitoring and Associated Geospatial Data* (EPA 2014) will be followed by TerraGraphics for requirements related to Scribe (e.g., management, release of final files, import of analytical lab data, submission of final scribe files with imported data to EPA, etc.) and R10 sample documentation.

## 20 Assessment and Response Actions

Assessment of the project QAPP will be performed by reviewing field notes and laboratory reports and by conducting laboratory audits where possible and resources allow. This assessment will be completed or directed by the QAO. Any errors or inconsistencies identified in the field notes will be investigated and corrected to ensure the integrity of the data and conformance to the QAPP. Results of internal laboratory QA review, surveillances, or other types of laboratory assessments will also be taken into account. If unexpected analytical results are reported for any

reason, the project manager will contact the laboratory to perform an additional quality review of the data in question. The QAO will perform assessment of the project independently of the project manager.

A note to the file will be included with the field notes and laboratory reports if any follow-up QA activities regarding field notes or laboratory reports are required and conducted.

## 21 Reports to Management

Project reporting will be completed by IFCAP in coordination with CDA Tribe.

## 22 Data Review, Verification, and Validation

Data review, verification, and validation responsibilities and methods identified in Sections 22 and 23 are applicable to only field screening data. The EPA R10 laboratory (MEL) Supervisory Chemist will be responsible for coordinating data review, verification, and validation of all laboratory analytical data. Following receipt of all field and analytical data by DEQ, the DEQ QAO and project manager will conduct an overall data assessment (Section 24) to verify compliance with the QAPP.

**Data review** is conducted (ideally by the Field Project Manager or field crew) to ensure that project data have been recorded correctly. Field forms will be double checked and “signed-off” by an individual other than the recorder prior to departing from the collection station. Transmittal will be tracked through shipping receipts which will be submitted to project manager. There is no processing of the data by field crew.

**Data verification** is generally conducted (ideally by the DEQ Project Manager) following data review and is performed to evaluate the completeness, correctness, conformance, and compliance of the data against the QAPP-specified method, procedural, or contractual requirements. The purpose of data verification is to evaluate the extent to which the sample collection requirements, analytical processes prescribed in the QAPP, and specified project procedures were followed. Data verification essentially evaluates the actual project performance against the requirements established in the QAPP. The output from this process is considered and evaluated during the reconciliation with user requirements (assessment) phase. A Data Verification checklist is provided in Appendix A.

**Data validation** shall be conducted by the DEQ project QAO. This process shall follow data review and verification and is an analyte- and sample-specific process that extends the data evaluation beyond method, procedure, or contractual compliance to determine the quality of a specific data set relative to the end use. This effort should focus on the project-specific data needs and note any potentially unacceptable departures from the QAPP. The output from this process is considered and evaluated during the reconciliation with user requirements (assessment) phase. Data validation is generally performed by an independent entity not closely associated with the unit generating the data. A Data Validation checklist is provided in Appendix A. Laboratory data from MEL will undergo a thorough independent review and verification prior to release. This level of review is equivalent to a full Stage 4 validation of CLP data, and is

typically considered final with the exception of further qualification required during project level data assessment.

The level of documentation required for a specific project data review, verification, validation, and reconciliation effort is specified below. This level of documentation is determined by the project manager, in consultation with the program manager, consistent with the “graded approach” used by DEQ in implementing the quality management system (QMS).

Those assigned to perform project data review, verification, and validation *shall use the associated checklist provided in the appendices to perform and document* the effort in the associated project TRIM file system.

## 23 Review, Verification, and Validation Methods

Data review, verification, and validation efforts are based on the analytical support determined to be necessary in the planning stages of the project. DEQ personnel performing data verification and validation are encouraged to review the following guidance documents:

- EPA QA/G-8 (EPA 2002d) for guidance on methods for this task.
- Appendix A of EPA’s *Guidance for Labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (EPA 2009)
- *USEPA Contract Laboratory Program National Functional Guidelines for Inorganic Data Review* (EPA 2004).
- *USEPA Contract Laboratory Program National Functional Guidelines for Superfund Organic Methods Data Review* (EPA 2008).

Any potentially unacceptable departures from the requirements of the project QAPP will be noted during the data review, verification, and validation process. If the project manager or the project QAO determines the data do not meet the needs of the project or the DQOs of the QAPP and/or if the conclusions drawn from the data do not appear to be reasonable, the project manager and the QAO shall immediately report such findings to the appropriate State Office program manager to determine the necessary corrective actions. Documentation of such findings and activities shall be maintained in accordance with the DEQ QMP.

## 24 Reconciliation with User Requirements

Data quality assessment (DQA) will be performed in accordance with this QAPP and the DEQ QMP (DEQ 2012a). Additional guidance for conducting data assessment can be found in EPA QA/G-9R or EPA QA/G-9S (EPA 2006a, b).

The DQA will be performed (at a minimum) by the DEQ Project Manager and the project QAO to determine if the project data set is of the right type, quality, and quantity to achieve the objectives of the project and can confidently be used to make an informed decision.

Information and findings associated with the project data review, verification, and validation efforts shall be considered during the data assessment process.

When DQOs are not met, the project manager will discuss appropriate corrective actions with project staff, project management, and with the analytical laboratory. Corrective actions may be initiated to suggest improvements to data collection activities, data and sample handling techniques, internal laboratory quality procedures, etc., to solve quality issues.

If the project manager or the QAO decide the project data do not meet the project needs or the QAPP quality objectives and/or if the conclusions drawn from the data do not appear to be reasonable, the project manager and the QAO shall immediately report such findings to the appropriate program manager to determine and document the necessary corrective actions.

If sampling activities require revision, the project QAPP will be revised as necessary. Following revision, and prior to implementation, the revised project QAPP must be re-approved in accordance with the DEQ QMP (DEQ 2012a).

## 25 References

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2003. *Health Consultation, Evaluation of Metals in Bullhead, Bass, and Kokanee from Coeur d'Alene Lake*. Prepared by Idaho Division of Health. September 19, 2003. Available at <http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/pha/PHA.asp?docid=1045&pg=0>
- DEQ (Idaho Department of Environmental Quality). 2012a. *Quality Management Plan*. Boise, ID: DEQ. TRIM record number 2012AEC1. Available at <http://insidedeq.deq.intra/director/documents/quality-mgmt-plan-rev-3-2012.pdf>.
- DEQ. No date (current version). "Retention Schedule." Boise, ID: DEQ. TRIM record number 2010AIC3.
- Division of Building Safety. 2006. *Idaho General Safety and Health Standards*, revision 3. Meridian, ID: Division of Building Safety in cooperation with the Idaho Industrial Commission. Available at [http://dbs.idaho.gov/safety\\_code/index.html](http://dbs.idaho.gov/safety_code/index.html).
- EPA. 2000a. (U.S. Environmental Protection Agency). *Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories Volumes 1, 2, & 3 Fish Sampling and Analysis* Third Edition. Available at <https://www.epa.gov/fish-tech/guidance-assessing-chemical-contaminant-data-use-fish-advisories>.
- EPA. 2000b. *Guidance for the Data Quality Objectives Process* (EPA QA/G-4). 600-R-96-055. August, 2000.
- EPA. 2001. *EPA Requirements for Quality Assurance Project Plans* (EPA QA/R-5). Washington DC: EPA, Office of Environmental Information. EPA/240/B-01/003. Available at <http://www.epa.gov/quality/qs-docs/r5-final.pdf>.
- EPA 2002a. EPA Superfund Record of Decision: Bunker Hill Mining & Metallurgical Complex, EPA ID: IDD048340921, OU3, Smelterville, Idaho. EPA/ROD/R10-02/032/2002. September 12, 2002. Available at <http://www.epa.gov/superfund/sites/rods/fulltext/r1002032.pdf>
- EPA 2002b. *Coeur d'Alene Lake Fish Investigation Plan, Coeur d'Alene, Idaho*. Prepared for EPA Region 10. Prepared by URS Greiner, Inc. April 2002.
- EPA. 2002c. *Guidance for Quality Assurance Project Plans* (EPA QA/G-5). Washington DC: EPA, Office of Environmental Information. EPA/240/R-02/009. Available at <http://www.epa.gov/quality/qs-docs/g5-final.pdf>.
- EPA. 2002d. *Guidance on Environmental Data Verification and Data Validation* (EPA QA/G-8). Washington DC: EPA, Office of Environmental Information. EPA/240/R-02/004. Available at <http://www.epa.gov/quality/qs-docs/g8-final.pdf>.
- EPA. 2003. *Coeur d'Alene Lake Fish Investigation Data Report, Coeur d'Alene, Idaho*. Prepared for EPA Region 10. Prepared by URS Greiner, Inc. May 2003.

- EPA. 2004. *USEPA Contract Laboratory Program National Functional Guidelines for Inorganic Data Review* (OSWER 9240.1-45). Washington DC: EPA, Office of Superfund Remediation and Technology Innovation. EPA 540-R-04-004. Available at <http://www.epa.gov/superfund/programs/clp/download/inorgfg10-08-04.pdf>.
- EPA. 2006a. *Data Quality Assessment: A Reviewer's Guide* (EPA QA/G-9R). Washington DC: EPA, Office of Environmental Information. EPA/240/B-06/002. Available at [www.epa.gov/quality/qs-docs/g9r-final.pdf](http://www.epa.gov/quality/qs-docs/g9r-final.pdf).
- EPA. 2006b. *Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners* (QA/G-9S). Washington, DC: EPA, Office of Environmental Information. EPA/240/B-06/003. Available at <http://www.epa.gov/quality/qs-docs/g9s-final.pdf>.
- EPA. 2006c. *Guidance on Systematic Planning Using the Data Quality Objectives Process* (EPA QA/G-4). Washington, DC: EPA, Office of Environmental Information. EPA/240/B-06/001. Available at <http://www.epa.gov/quality/qs-docs/g4-final.pdf>.
- EPA. 2008. *USEPA Contract Laboratory Program National Functional Guidelines for Superfund Organic Methods Data Review* (OSWER 9240.1-48). Washington DC: EPA, Office of Superfund Remediation and Technology Innovation. EPA 540-R-08-01. Available at <http://www.epa.gov/superfund/programs/clp/download/somnfg.pdf>.
- EPA. 2009. *Guidance for Labeling Externally Validated Laboratory Analytical Data for Superfund Use* (OSWER No. 9200.1-85). Washington, DC: EPA, Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA 540-R-08-005. Available at <http://www.epa.gov/superfund/policy/pdfs/EPA-540-R-08-005.pdf>.
- EPA. 2014. *Region 10 Data Management Plan (DMP) for Environmental Monitoring and Associated Geospatial Data*. June.
- IDHW. (Idaho Department of Health and Welfare). 2008. "A Guide to Safe Fish Consumption for Fish Caught in Idaho Waters." Bureau of Community and Environmental Health. Idaho Division of Public Health, 14 Aug. 2008. Available at <http://healthandwelfare.idaho.gov/Portals/0/Health/EnvironmentalHealth/FishGuide.pdf>
- IDHW. 2013. Idaho Fish Consumption Advisory Project Protocol. Bureau of Community and Environmental Health. Idaho Division of Public Health, 2013. Available at <http://www.healthandwelfare.idaho.gov/Portals/0/Health/EnvironmentalHealth/IFCAP%20PROTOCOL%202016.pdf>.

*This page intentionally left blank for correct double-sided printing.*

## Appendix A. Project Checklists

The following checklists are included in this appendix:

- Data Verification—TRIM record #2012AEB3 (to be completed by DEQ Project Manager)
- Data Validation—TRIM record #2012AEB4 (to be completed by DEQ Project QAO)

*This page intentionally left blank for correct double-sided printing.*

## **DEQ QAPP/FSP Checklist—Data Review**

This will be accomplished by using the signed field sheets. This is an interagency project and the field sheets are designed to make the data review process effective and easy for the various field crews.

## DEQ QAPP/FSP Checklist—Data Verification

The individual assigned in the project QAPP/FSP to perform project **data verification** shall complete and file this checklist in the appropriate project TRIM system files. Project personnel are encouraged to expand this standard list, as project conditions warrant.

\_\_\_\_\_  
Printed Name of Staff Performing Data Verification

\_\_\_\_\_  
Date Completed

\_\_\_\_\_  
Project QAPP/FSP Title

\_\_\_\_\_  
QAPP/FSP TRIM Record #

**Check the following review boxes following completion of each listed task.**

**Check *yes* if the task was completed without any noted discrepancies. Otherwise, check *no* and include a description of the discrepancy in the space provided. Use additional sheets as necessary.**

Yes No

- Examine and review the project QAPP (and FSP, if used) to determine if additional project specific data *verification* requirements apply. Update this checklist to include all such items.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- Verify that all data completeness criteria, as stated in the project QAPP (and FSP, if used), have been satisfied. This shall include items such as the number of samples, number of QC samples such as spikes and duplicates, and chain-of-custody record continuity.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- Verify that the values of individual data points, and/or comparison calculations such as RPD, meet the criteria specified in the QAPP (and FSP, if used).

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- Verify that the required analytical methods, as listed in the project QAPP (and FSP, if used) correspond to the analytical methods employed by the laboratory, as recorded in laboratory reports.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- Verify that QAPP (and FSP, if used) requirements relative to laboratory analytical support documentation have been satisfied by the reporting laboratory, including the correct application of data qualifiers.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Yes No

- Verify that all supporting information and documentation for nondirect measurement data (existing data) meet the requirements of the QAPP (and FSP, if used). If not, identify any limitations or restriction on the use of such data.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_
- Verify that data and sample collection practices adhered to procedural requirements, to include a review of project logs and field notes, as applicable.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_
- Verify that sample handling activities conform to QAPP (and FSP, if used) requirements. Examples include sample shipment timelines, sample holding times, preservatives, number of samples obtained, duplicate or split sample frequency, and chain-of-custody documentation.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_
- Verify that data calculation and handling activities conform to QAPP (and FSP, if used) requirements. Examples include correct use of mathematical formulas and numerical methods, correct use of programs and programing, and correct application of database information transfers.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_
- Verify that any remaining or unique project QAPP (and FSP, if used) or procedural requirements have been met, and if not, determine the extent to which these requirements failed to be achieved.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_
- Determine and document any limitations on the use of the project data.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_
- Ensure that all deficiencies and/or conditions adverse to quality determined during the project data *verification* process have been communicated to project management and are listed on this checklist or attached for inclusion in the TRIM record system.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_
- Verify that a copy of this data verification checklist has been provided to the project manager for deficiency resolution and placed in the project TRIM file system. Note that additional data verification actions may be required based on the checklist findings, such as a corrective action plan/reports, etc. The project QAO shall consult the DEQ QMP and proceed accordingly.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Please list any additional comments below. Attach additional sheets as necessary.

---

---

---

---

---

## DEQ QAPP/FSP Checklist—Data Validation

The individual assigned in the project QAPP/FSP to perform project **data validation** shall complete and file this checklist in the appropriate project TRIM system files. Project personnel are encouraged to expand this standard list as project conditions warrant.

\_\_\_\_\_  
Printed Name of Staff Performing Data Validation

\_\_\_\_\_  
Date Completed

\_\_\_\_\_  
Project QAPP/FSP Title

\_\_\_\_\_  
QAPP/FSP TRIM Record #

**Check the following review boxes following completion of each listed task.**

**Check *yes* if the task was completed without any noted discrepancies. Otherwise, check *no* and include a description of the discrepancy in the space provided. Use additional sheets as necessary.**

Yes No

- Verify that the approved current project QAPP, including a copy of the signed approval signature page, is currently filed in the TRIM system. Also, verify the project information has been entered into the QAO project tracker found at TRIM record #2012AEB8. If the QAPP is not filed in TRIM, or the QAO tracker is not current, immediately inform the DEQ QA manager.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- If the project utilizes a FSP, verify that the approved project FSP, including a copy of the signed approval signature page, is currently filed in the TRIM system. Also, verify the project information has been entered into the QAO project tracker found at TRIM record #2012AEB8. If the FSP is not filed in TRIM, or the QAO tracker is not current, immediately inform the DEQ QA manager.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- Examine and review the project QAPP (and FSP, if used) to determine if additional project-specific data *validation* requirements apply. Update this checklist to include all such items.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- Evaluate and examine all (100%) of obtained field QC sample results, such as duplicates and trip blanks, etc., followed by assignment (if necessary) of appropriate data qualifiers to these data based on project criteria.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- Review project analytical laboratory reports and data, including the assigned data qualifiers, to evaluate the data quality with respect to the project DQOs. Assign data qualifiers to individual data values as necessary and appropriate.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Yes No

- Review the outcome of the data verification effort to evaluate the impact on data quality with respect to the DQOs.

---



---

- Determine, when necessary and where possible, the reasons for any failure to meet methodological, procedural, or contractual requirements and evaluate the impact of such failure on the overall data.

---



---

- Compare the project DQOs, as defined in the project QAPP (and FSP, if used), to the data obtained by the project to assess the adequacy of the data (new or existing) in relation to their intended use.

---



---

- Determine the extent to which any nondirect measurement data (existing data), and the accompanying supporting information and documentation, meet the requirements of the data user. Specifically, does the quality of the existing data adequately support the needs of the project and support the intended use of the data for the project?

---



---

- Determine and document any limitations on the use of the project data.

---



---

- Determine the adequacy of the data to proceed on to the data assessment and reconciliation with user requirements phase.

---



---

- Ensure that all deficiencies and/or conditions adverse to quality determined during the project data *validation* process have been communicated to project management and are listed on this checklist or attached for inclusion in the TRIM record system.

---



---

- Verify that a copy of this data validation checklist has been provided to the project manager for deficiency resolution and placed in the project TRIM file system. Note that additional data validation actions may be required based on the checklist findings, such as a corrective action plan/reports, etc. The project QAO shall consult the DEQ QMP and proceed accordingly.

---



---

Please list any additional comments below. Attach additional sheets as necessary.

---

## **Appendix B. Fish Tissue Sampling Field Form and Cooler Contents Form**

*This page intentionally left blank for correct double-sided printing.*

# CDA Basin Fish Tissue Sampling Field Form

# 2016

area:  SFCDA River  CDA River and Chain Lakes  CDA Lake  Spokane River

TRIM\*: \_\_\_\_\_

organization code:  IDFG  DEQ  CDA (Tribe)

site code: \_\_\_\_\_

crew members: \_\_\_\_\_

collection date: \_\_\_\_\_

collection method:  boat e-fish  backpack e-fish  gill net  hook and line

collection time: \_\_\_\_\_

optional measures: water temperature: \_\_\_\_\_ conductivity: \_\_\_\_\_

station water depth: \_\_\_\_\_

## Location Information

zone: \_\_\_\_\_

## Start and End Coordinates (WGS 83)

waterbody name: \_\_\_\_\_

latitude

longitude

nearest landmark: \_\_\_\_\_

start point

--	--

observations: \_\_\_\_\_

end point

--	--

## Fish Information

taxa 1: \_\_\_\_\_

taxa 2: \_\_\_\_\_

taxa 3: \_\_\_\_\_

taxa 4: \_\_\_\_\_

#	species	TL** (mm)	flag	species	TL** (mm)	flag	species	TL** (mm)	flag	species	TL** (mm)	flag
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

## Sample ID Guide

example sample ID: **DEQ-201-BAS-08** (Organization – Site # - Taxa - Specimen #) For codes, see next page.

## Flags and Footnotes

F1	F2
F3	F4
F5	F6

footnotes: \*TRIM No. to be filled out by project manager, \*\*Total length (TL) to nearest 10 mm

recorder: \_\_\_\_\_

form completeness reviewer: recorder: \_\_\_\_\_

# CDA Basin Fish Tissue Sampling Field Form

# 2016

## Sample ID Numbers

Organization - Site # - Taxa - Specimen #      **example sample ID: DEQ-201-BAS-08** (see Section 12 of QAPP)

## Site Codes and Location Information

Area	Zone	Zone #	Sampling Org.	Site # Codes
South Fork Coeur d'Alene (Upper Basin)	South Fork CdA R., upper	1	DEQ	<b>100s</b>
	South Fork CdA R., lower	2	DEQ	<b>200s</b>
Coeur d'Alene River and Chain Lakes (Lower Basin)	CdA River	3	IDFG	<b>300s</b>
	Chain Lake 1	4	IDFG	<b>400s</b>
	Chain Lake 2	5	IDFG	<b>500s</b>
Spokane River	Spokane River	6	IDFG	<b>600s</b>
Coeur d'Alene Lake	Northern Lake	7	IDFG	<b>700s</b>
	Central Lake	8	IDFG	<b>800s</b>
	Southern Lake	9	CDA (Tribe)	<b>900s</b>

## Fish Taxa and Species Codes

Taxa Code	Species Code
PAN = panfish	<b>BCR = black crappie</b>
	<b>BLU = bluegill</b>
	<b>YEP = yellow perch</b>
BAS = bass	<b>LMB = largemouth bass</b>
	<b>SMB = smallmouth bass</b>
BBL = brown bullhead	<b>BBL = brown bullhead</b>
NOP = northern pike	<b>NOP = northern pike</b>
KOK = kokanee	<b>KOK = kokanee</b>
RBT = rainbow trout	<b>RBT = rainbow trout</b>
EBT = eastern brook trout	<b>EBT = eastern brook trout</b>
MWF = mountain whitefish	<b>MWF = mountain whitefish</b>

\*RBT, EBT, and MWF taxa may be merged in the Upper Basin area if insufficient EBT and MWF cannot be collected.

Note: Only the taxa codes are used in Sample IDs. The species codes are only recorded in the table on page 1 of this field form.

## Specimen Number

1-10, as assigned in the table on page 1 of this field form.

## Additional Notes

<b>Coeur d'Alene Basin Fish Tissue Sampling Cooler Contents Form</b>		Cooler ID
1	Organization	
2	Site # code(s)	
3	Zone # and name	
4	Date collected	
6	Sample IDs	
		7

EXAMPLE

Coeur d'Alene Basin Fish Tissue Sampling Cooler Contents Form		Cooler ID
1	Organization	DEQ
2	Site # code(s)	101, 102
3	Zone # and name	#1 SOUTH FORK CDA R.
4	Date collected	6-26-16, 6-27-16
6	Sample IDs	DEQ-101-RBT08
		DEQ-101-RBT09
		"
		"
		"
7	COC	✓

## **Appendix C. Laboratory Sample Preparation and Processing Procedures**

*This page intentionally left blank for correct double-sided printing.*

## CDA Basin 2016 Fish Filleting/Homogenization Procedure

### EPA Region 10 Laboratory

#### May 2016 Draft – to be Finalized after Processing is Complete

##### Introduction

This procedure was developed in support of the Coeur D'Alene (CDA) Basin Fish Tissue Sampling Project and was written to meet the species specific processing requirements of this study. The target species of the study consist of a variety of fin fish that are routinely harvested in the Basin for human consumption. Variations in tissue processing requirements specifically address the differences through which Kokanee are prepared for consumption versus all other fish. The instructions for tissue resection and processing are based on the information from the National Rivers and Streams Assessment Study (USEPA, 2008) and the Idaho Fish Consumption Advisory Project (IDHW, 2013) Protocol.

##### 1.0 Project Processing Summary

The target species for this study were selected based on their representativeness, abundance, exposure to contaminants and consumption by humans. For the purpose of this fish tissue procedure the target species are placed into two groups: Kokanee which are canned with skin, flesh and bones and all other species which are filleted. All fish are to be processed individually. There is no compositing of different fish samples. The general processing steps for these fish types are as follows:

- Kokanee<sup>1</sup>: the scales, all entrails (including the kidney), head, tail, and all fins are removed and the remaining fish homogenized.
- All other fish: the processing is to retain for each fish a fillet without the skin or belly flap included, and any bones imbedded in the fillet are also removed.

All fish, either fillet or whole body as identified above, will be “wet” homogenized, freeze dried, and “dry” homogenized prior to subsampling for analysis.

##### 2.0 Fish Handling – Pre Processing of all fish

Put on powder-free nitrile gloves before unpacking individual fish specimens for filleting and tissue homogenization. As samples are unpacked and unwrapped, inspect each fish carefully to verify that it has not been damaged during collection or shipment. If damage (e.g., tearing of the skin or puncturing of the gut) is observed, document it in the laboratory logsheet and notify the IDEQ project manager.

1 – email communication from the Coeur d'Alene Tribe, Lake Management Department to the Idaho Department of Environmental Quality (4/27/206)

Weigh each fish to the nearest gram prior to any sample processing. Enter weight information for each individual fish into a laboratory logsheet.

Rinse each fish with deionized or reverse osmosis (reagent) water as a precautionary measure to reduce possible contamination from sample handling in the field. Use either HPDE wash bottles or a water system at an appropriate sink for rinsing fish and for cleaning homogenization equipment and utensils.

Fish with scales must be scaled (and any adhering slime removed) prior to filleting. Wearing powder-free nitrile gloves, scale each fish by laying it flat (on a clean glass cutting board) and scraping from the tail to the head using the blade edge of a clean stainless steel or titanium knife. Control cross-contamination by rinsing the cutting board and knife with deionized water between fish. Filleting can proceed after all the scales have been removed from the skin and a separate, clean cutting board and fillet knife are prepared or available.

### 3.0 Kokanee Fish Processing

Prepare each individual Kokanee by first removing all the scales (see section 2.0), then remove all entrails including the kidney along the backbone. Rinse the body cavity with deionized lab reagent water to clean away any remaining entrails (particularly kidney tissue). Next remove the head, tail, and all fins. While removing the head make certain to cut behind and remove the entire gill cover. Kokanee fins should be cut away very close to the fish skeletal/muscle tissue as to remove all the fin rays. The fish body is now ready for homogenization.

### 4.0 Fillet Fish Processing (all fish except Kokanee)

All fillet samples must be prepared using this procedure.

To control contamination, separate sets of utensils and cutting boards should be used for scaling fish and for filleting fish. Prior to preparing each composite sample, thoroughly clean utensils and cutting boards using the following series of procedures:

1. Wash with a lab soap solution (phosphate- and scent-free) and warm tap water, scrubbing off any remaining fish material as necessary
2. Rinse with warm tap water
3. Rinse three times with reagent water
4. For non-metal materials, follow with a nitric acid rinse and additional reagent water.

Place each fish on a glass cutting board in preparation for the filleting process. Note that filleting should be conducted under the supervision of an experienced fisheries biologist, if possible. Fish should be thawed only to the point where it becomes possible to make an incision into the flesh. Remove both fillets (lateral muscle with skin attached) from each fish

specimen using clean, high-quality stainless steel or titanium knives. Do not include the belly flap (ventral muscle and skin) or skin with each fillet. The belly flap and skin should be trimmed away from the fillet with a knife.

Avoid contaminating fillet tissues with material released from inadvertent puncture of internal organs. In the event that an internal organ is punctured, rinse the fillet with DI or reagent water immediately after filleting. Note that the puncture occurred on the lab logsheet. Bones still present in the tissue after filleting should be carefully removed. These will be removed using hemostats or tweezers.

### 5.0 Wet Homogenization

Fish fillets should be ground and homogenized using an automatic grinder or high-speed blender or homogenizer. Large fillets may be cut into 2.5-cm cubes with high-quality stainless steel or titanium knives prior to homogenization. The entire filleted or whole body (Kokanee) tissue should be ground until it is homogeneous in appearance. For large fish that exceed the mass limitations of the freeze drying unit, the maximum amount of allowable wet homogenate should be sub-sampled for freeze drying and the remaining tissue stored frozen in a labelled, certified clean glass sample container.

Homogenization Note: grinding and homogenization of tissue is easier when it is partially frozen. Chilling the blender briefly with a few chips of dry ice will also help keep the tissue from sticking to it.

Between fish samples, automatic grinder or high-speed blender or homogenizer parts which will come in contact with the samples are washed with warm soapy water (using phosphate- and scent-free soap) and triple-rinsed with DI or reagent water. Alternatively, the mini food processors for the metals section may be washed in the dishwasher in room 101.

For each day on which samples are homogenized (wet), prepare an equipment blank consisting of reagent water processed in the same manner as the samples. Place the equipment blank in a labelled, certified clean glass sample container and store at or below room temperature. Do not freeze equipment blanks.

### 6.0 Freeze Drying

Freeze drying will be conducted in accordance with the applicable section of the EPA Region 10 Lab Inorganics Draft SOP (In\_P3052A). The tissue mass is recorded before and after freeze drying for the purpose of determining the percent moisture tissue content.

If the sample is too large to freeze dry in its entirety, a portion on the homogenized sample may be placed in a beaker using a clean spatula. A sufficient quantity of sample should be transferred that it is likely to be representative of the whole (typically at least 20 g).

Spatulas are cleaned between samples by rinsing with DI or reagent water and wiping with a dust-free wipe.

#### 7.0 Dry Homogenization

Dry homogenization will be conducted in accordance with the applicable section (11.2.3 Particle Size Reduction) of the EPA Region 10 Lab Inorganics Draft SOP (In\_P3052A). The freeze dried tissue will be stored in a labelled, certified clean glass or plastic sample container and stored at room temperature until sub-sampling for analysis.

#### 8.0 Subsampling for Analytical Mass

Once the sample has undergone both wet and dry homogenization, it should be a relatively homogeneous powder. Using a clean spatula, stir, scoop and accurately weigh out 0.25 g of the powdered tissue, then transfer to a digestion vessel.

Spatulas are cleaned between samples by rinsing with DI or reagent water and wiping with a dust-free wipe.

#### 9.0 Safety

This procedure requires the use of sharp implements and dry ice. Safety precautions will follow the EPA Region 10 Lab Work Control Plan on the use of sharp tools in tissue preparation along with all applicable in-house operating procedures.

#### 10.0 References

USEPA. 2008. National Rivers and Streams Assessment: Laboratory Methods Manual. EPA-841-B-07-010. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Office of Research and Development, Washington, DC.

IDHW (Idaho Department of Health and Welfare). 2013. Idaho Fish Consumption Advisory Project (IFCAP) Protocol. Bureau of Community and Environmental Health. Idaho Division of Public Health, 2013.

SOP In\_P3052A, Draft Standard Operating Procedure for Freeze Drying and Microwaving, US EPA Region 10 Laboratory.