



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA  
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS-IBAMA

## **PARECER TÉCNICO SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS DAS COLETAS DE AMOSTRAS DE ÁGUA, NA REGIÃO DA FOZ DO RIO DOCE, NO PERÍODO DE 22/11/15 A 01/01/16.**

### **1.0 INTRODUÇÃO**

A CGEMA – Coordenação Geral de Emergências Ambientais em atendimento à demanda da SUPES/ES, no período de 08/01/16 a 14/01/16, designou servidores para compor Força Tarefa, com objetivo de emitir parecer sobre os relatórios de análises de amostras de água coletadas na região da foz do Rio Doce, e outros relatórios que estão sendo gerados em razão do acidente de Mariana/MG, a fim de subsidiar fundamentação técnica e avaliar se a retomada da pesca de camarão, a partir de 15/01/16, apresenta riscos ambientais maiores, decorrentes de efeitos do acidente de Mariana/MG.

A equipe signatária deste parecer foi composta por Analistas Ambientais, provenientes de vários estados. Registre-se que em 12/01/16, no auditório da SUPES/ES, resultante de articulação do superintendente, a equipe esteve reunida com servidores do MAPA/ES – Sr. Edson Lyra e ICMBio – senhores Nilamon de Oliveira Leite Júnior e Carlos Henrique Bernardes, objetivando ouvir desses representantes os relatos e as ações adotadas, para ao final ressaltar-se a importância das medidas interministeriais conjuntas, visando um só propósito.

### **1.1 DOCUMENTOS EXPEDIDOS PELA SUPES/ES**

Em 01/12/15, foram expedidas duas notificações, 678307/E e 678309/E, requisitando da empresa, respectivamente, **apresentar os resultados das coletas e análises da água do mar** realizadas em atendimento à Decisão Judicial referente ao Processo nº. 0132998-35.2015.4.02.5004 e apresentar **programa de monitoramento da ictiofauna do ambiente marinho** atingido pela pluma de rejeitos, estabelecido pela Decisão Judicial referente ao Processo nº. 0132998-35.2015.4.02.5004.

Em 02/12/15, expediu-se outra notificação, sob nº. 681471/E, com solicitação de elaborar proposta metodológica e implementar, após aprovação, **programa de avaliação de contaminação sobre organismos marinhos da área atingida**, inclusive estuário. O programa deveria contemplar, no mínimo, a avaliação da contaminação por metais em peixes, crustáceos e moluscos. Deveria também ser avaliado o risco à saúde do consumo desses organismos.

Por último, em 03/12/15, foi expedida a notificação nº. 678320/E, que solicitou a elaboração de proposta metodológica e implementação, após aprovação, de um

**programa de avaliação dos impactos e monitoramento da fauna marinha invertebrada** (bentos e plâncton), para a área atingida pela pluma de rejeitos.

Informe-se que das quatro notificações expedidas, a Força Tarefa foi designada para elaborar parecer referente apenas aos resultados das **coletas e análises da água do mar**, conforme especificação na notificação nº. 678307/E.

A notificada atendeu a notificação no prazo tempestivo, conforme Ofício nº. 02009.002346/2015 NQA/ES/IBAMA, disponibilizando os dados em meio físico e digital.

## **1.2 IMPORTÂNCIA DOS ESTUÁRIOS**

Estuários são locais onde os rios desembocam no mar, havendo encontro de água doce e água salgada. A partir disso, forma-se um tipo único de ecossistema, altamente sensível, e sujeito a flutuações de marés, salinidade, temperatura e diversos outros fatores. Muitas espécies necessitam dos ciclos que ocorrem nos estuários para sua sobrevivência. A elevada taxa de conversão de luz solar em biomassa, de cerca de vinte e cinco vezes a taxa observada em mar aberto, demonstra a importância deste ecossistema na manutenção da biodiversidade (Ridd e Stieglitz, 2002; USEPA, 2006)

A influência e significância dos processos biológicos e físico-químicos que acontecem em um estuário não se restringem ao local onde eles ocorrem. Estes ecossistemas de alta biodiversidade influenciam todos os outros ecossistemas do entorno, tantos os rios aos quais estão conectados, quanto os ecossistemas terrestres e costeiros, e as comunidades associada (Twilley *et al.*, 1998).

Os estuários atraem inúmeras pessoas devido a sua beleza paisagística e a presença de recursos naturais. Estes mesmos atrativos fazem com que os estuários estejam em constante risco. O aporte de efluentes industriais e domésticos podem acarretar eutrofização, assoreamento excessivo e poluição por resíduos sólidos (plásticos e outros). Estes ecossistemas estão ainda expostos a intenso tráfego de embarcações, exploração não sustentável de recursos pesqueiros e introdução de espécies exóticas (Mann, 2000).

## **1.3 FATORES PRINCIPAIS DE STRESS AMBIENTAL EM ÁREAS DE ESTUÁRIO**

Segundo a literatura pesquisada, organismos que habitam estuários estão sujeitos a condições extremas e um ambiente físico-químico variável (May *et al.*, 2003). O maior fator de estresse é a salinidade, no entanto outros fatores como hipóxia – baixa concentração de OD na água – aumentam as dificuldades de sobrevivência.

A turbidez elevada e níveis baixos de OD provocados por atividades antropogênicas impactam o ecossistema estuarino e costeiro de diversas formas. Dentre elas, destaca-se a eutrofização, considerada como um dos efeitos mais impactantes nos oceanos na atualidade (Gray, Wu e Or, 2002). Contaminantes de origem antropogênica incluem nutrientes que podem resultar em eutrofização, que por sua vez exacerbam a natureza heterotrófica de estuários (Wilson, 2009).

Pressões antropogênicas na forma de poluição, perda/modificação de habitat, introdução de espécies exóticas, e contribuições para a mudança climática aumentam as dificuldades. Não há somente uma transição química do rio para o mar, mas há também

uma imprevisibilidade dentro desta transição imposta pela variabilidade dos dois (Wilson, 2009).

#### 1.4 O CAMARÃO SETE-BARBAS E A PESCA NA REGIÃO DO ESTUÁRIO DO RIO DOCE

A pesca de camarão é uma das pescarias mais importantes do país do ponto de vista social, econômico e ambiental. Tal afirmação é corroborada em Dias-Neto e Dias (2015), que apresentam um quadro geral das informações disponíveis sobre a espécie e da pescaria no Brasil. Dentre as informações trazidas pelos autores, destacam-se os seguintes:

- A distribuição conhecida para a espécie é bastante ampla, envolvendo as costas americanas do pacífico e do atlântico. No Brasil há registros em todos os estados costeiros.
- A ocorrência da espécie pode se dar em profundidades de até mais de 100m, mas predominam nas faixas costeiras de até 30m;
- Possuem ciclo de vida curto (em torno de 24 meses), o que aponta para um crescimento rápido e mortalidade natural elevada;
- A abundância da espécie está indiretamente relacionada com as oscilações da temperatura e da salinidade;
- Há controvérsia quanto aos locais onde ocorre o ciclo reprodutivo, mas sabe-se que a espécie não realiza migrações de recrutamento, de forma que **a área de crescimento coincide com a de ocorrência do estoque adulto.**
- A pesca da espécie, que se distribui ao longo do litoral dos estados do Espírito Santo a Santa Catarina, é tradicionalmente realizada com o emprego de rede de arrasto de fundo;
- A frota permissionada para a pesca do camarão-sete-barbas foi limitada, ainda na década de 1990. Hoje, contabilizam-se 3141 barcos no Brasil, dos quais 324 são registrados para o ES, que variam de 4,8 a 12,25m comprimento. Destes, 83 estão registrados para municípios do norte do estado, para onde a mancha de lama decorrente do acidente estava subindo, sendo 6 no município de linhares, que abriga a foz do Rio Doce. Entretanto, o presidente da colonia Z-5, de Vitória, Álvaro Martins da Silva, afirmou em uma entrevista em março de 2015 que cerca de 700 barcos no estado realizam essa pescaria, dos quais apenas 150 sem registros.
- Segundo informações obtidas junto a pesquisadores do ICMBio e relatos informais, a frota pesqueira de todo o estado pesca na região da foz do Rio Doce, que é considerada o principal ponto de agregação de camarão sete-barbas na região. Há, inclusive, relatos de incursões de barcos de outros estados na área.
- A pescaria do camarão-sete-barbas é considerada importante para a segurança alimentar de um significativo contingente de famílias que habitam o litoral e usam a produção diretamente para alimento, bem como o excedente para a prática do escambo, de forma a adquirir outros gêneros alimentícios e de primeira necessidade;

Além disso, estudos genéticos do camarão sete-barbas, concluíram que há duas populações distintas da espécie entre os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito

Santo, sendo que os indivíduos de ocorrência nos dois últimos estados constituiriam uma população única e diversa da população paulista (Voloch e Solé-Cava, 2005).

## **2.0 METODOLOGIA UTILIZADA PARA DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS**

Os relatórios de análise de água elaborados pelos laboratórios contratados pela SAMARCO foram apresentados em “pdf”, e para facilitar a interpretação dos mesmos, a equipe decidiu por adotar a transferência dos dados para planilha uniformizada.

Considerando a quantidade significativa de dados de amostras de água apresentada pelo notificado e o curto espaço de tempo para avaliação dos mesmos, a equipe decidiu por compilar e analisar os dados referentes aos resultados das amostras nos pontos determinados de 3 transectos: um ao sul (1 a 4S), um ao norte (1 a 4N) e o último a leste (1 a 4E) da foz do rio, e os pontos das seções 1A, 1B, II, III, V, VI, VII e IX, dispostas na Foz do Rio Doce e imediações.

A fim de se obter melhor representatividade dos resultados obtidos das amostras de água, a equipe avaliou os dados alusivos aos dias 17, 27 e 28/11/15, bem assim os dados totais do mês de dezembro de 15.

Além disso, foram consultados outros relatórios disponibilizados pela Samarco em base de dados eletrônica (<ftp://ftp.samarco.com.br/evidenciasmeioambiente>), informações pretéritas sobre a região oriundas do relatório final do projeto de caracterização ambiental regional da Bacia do Espírito Santo (Petrobrás, 2015) e outras bibliografias sobre a pescaria de camarão que ocorre na região e outros tópicos importantes para o desenvolvimento dos trabalhos.

## **3.0 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Para direcionamento das análises realizadas, o foco foi dado nas seguintes perguntas de pesquisa:

- A retomada da pesca de camarão à partir do dia 15/01/16, quando finda o período de defeso legal do recurso, no contexto dos efeitos do acidente de Mariana oferece riscos ambientais adicionais à aqueles inerentes à atividade pesqueira?
- À partir das informações disponibilizadas, é possível avaliar se o camarão pescado na região é adequado para consumo humano?

### **3.1 - Análise da água**

A empresa Samarco Mineração S/A apresentou os resultados de análises de água coletadas na região da foz do Rio Doce referentes aos seguintes parâmetros:

- Alumínio (Al)
- Arsênio (As)
- Cádmio (Cd)
- Chumbo (Pb)
- Coliformes Termotolerantes (E. coli)
- Coliformes Termotolerantes (Fecais)
- Condutividade
- Cor Aparente

- DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
- Ferro (Fe) total
- Ferro (Fe) dissolvido
- Fósforo (P)
- Manganês (Mn)
- Mercúrio (Hg)
- Oxigênio Dissolvido
- pH
- Sólidos Dissolvidos Totais
- Sólidos Suspensos Totais
- Temperatura
- Turbidez
- Zinco (Zn)

Após a análise inicial de todos esses parâmetros, foi consensuado que a análise mais fina dos resultados se daria sobre o oxigênio dissolvido, sólidos em suspensão e turbidez da água, uma vez que estes parâmetros refletem diretamente dois dos padrões para os quais haviam mais resultados nas análises que apresentavam desconformidade com a Resolução CONAMA nº357/2005 (Brasil, 2005).

Essa Resolução estabelece em seu art. 18 que águas salinas de classe I (*consideradas adequadas para prática da pesca, entre outras destinações*) devem apresentar as seguintes condições e padrões:

- Materiais flutuantes virtualmente ausentes;...
- Substâncias que produzem odor e turbidez: virtualmente ausentes;...
- Resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes
- OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L

Pontualmente, também foram observadas algumas amostras com valores superiores aos estabelecidos pela Resolução CONAMA para pH, coliformes (*E. coli*), Ferro total, Ferro dissolvido, chumbo, zinco, fósforo e manganês. No entanto, a incidência dessas desconformidades foi, no contexto dos dados apresentados, pouco significativa, e de difícil associação com o acidente.

As análises de água apresentadas nos laudos disponibilizados e analisados não contemplam a determinação da concentração do cromo, o que é importante para rastrear a presença do material proveniente da barragem de Germano. Além da determinação de cromo no compartimento água, outros parâmetros importantes que são indicativos da qualidade ambiental não foram analisados, tais como: teor de cromo, estrôncio, níquel, vanádio, salinidade, teor de clorofila, teor de nitrogênio amoniacal total, teor de nitrato, teor de nitrito, teor de fosfato e fósforo total.

Exceto por alguns pontos, os resultados de concentração de metais na água reportados nos laudos, estão significativamente abaixo dos limites legais, conforme a Resolução CONAMA nº357/2005 (Brasil, 2005).

### **3.1.1 – Sobre o Oxigênio dissolvido:**

A média geral (entre as coletas realizadas em novembro e dezembro) de todas as análises realizadas nos pontos, na área da foz e nas seções e transectos foi de 5,2607 mg/L O<sub>2</sub> para a superfície e 5,2892 mg/L O<sub>2</sub> para o fundo. Comparativamente diferente dos

resultados das análises laboratoriais pretéritas realizadas pela Petrobras (2015) e apresentadas no Relatório Final do Projeto de Caracterização Ambiental Regional da Bacia do Espírito Santo (PCR-ES), que, no inverno de 2013 e no verão de 2014, identificou uma média de oxigênio dissolvido para a área da foz do Rio Doce foi de 6,4 e de 6,1, respectivamente. A figura 1 apresenta os resultados de OD nos pontos avaliados tabulados para visualização.

Analisando os Transectos “E”, “N” e “S”, onde as coletas ocorreram apenas em dezembro, verifica-se que, para todas as amostras o oxigênio dissolvido ficou abaixo do mínimo de 6 mg/L, estabelecido pela Resolução Conama nº357/2005. A única discrepância foi o ponto 2E, que apresentou média alta de oxigênio dissolvido para o fundo na primeira quinzena de dezembro, 12,0466 mg/L, valor discrepante dos outros números obtidos, passível de ser olhado com desconfiança.

Nos pontos ao redor da foz, a média de Oxigênio dissolvido nas análises das amostras coletadas em novembro foi acima do mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA nas Seções II, V, VI VII e IX, e no mês de dezembro apenas na seção II. As médias para todos os outros pontos em dezembro ficou abaixo de 6mg/L.

### **3.1.2 – Sobre Turbidez e Material Sólido em Suspensão:**

A Resolução CONAMA 357/2005, modificada pela Resolução 410/2009 e 430/2011 impõe limites de turbidez de 40 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) para águas doces, classe 1 e de 100 UNT para a classe 2. Para águas salgadas ou salobras de classe 1 e 2 as substâncias que produzem odor e turbidez dever estar virtualmente ausentes. (Brasil, 2005).

A turbidez da água representa o grau de atenuação da luz na passagem através da amostra. As partículas que provocam turbidez na água possuem comprimento de onda maior do que a luz branca provocando espalhamento e absorção e são compostas por sólidos em suspensão (Piveli e Kato, 2006). Os sólidos podem ter origem natural (partículas de rocha, argila, silte, algas e outros microorganismos) ou antropogênica (despejos domésticos, industriais, mineração, erosão e outros). Nos corpos de água naturais a atenuação da luz provocada pelos sólidos em suspensão prejudica os processos fotossintéticos, alterando o equilíbrio do ecossistema.

Os sólidos em suspensão, ou material em suspensão ou sólidos suspensos é a porção de sólidos que fica retida em um filtro de diâmetro igual ou maior que 0,45µm (Meybeck, Thomas e Chapman, 1996). O material particulado é um parâmetro chave em qualidade de água, regulando os processos de adsorção e desorção. Esses processos dependem da quantidade de MES em contato com um volume de água, do tipo e característica do MES (e.g. orgânico ou inorgânico) e do tempo de contato entre a água e as partícula (Meybeck, Thomas e Chapman, 1996). A variabilidade temporal do material particulado e dissolvido contidos nos corpos de água resulta principalmente das interações entre as alterações hidrodinâmicas, solubilidade de minerais, e característica, natureza e intensidade da atividade biológica (Meybeck, Thomas e Chapman, 1996).

Carvalho *et al.* (2004), concluiu que é possível obter bons resultados para a correlação, mas a presença de maior percentagem de areia na composição do material em suspensão prejudica a sensibilidade do turbidímetro. Medidas de turbidez podem ser imediatamente obtidas “in situ”, ao contrário das medidas diretas de material em suspensão (MES) realizadas por análise gravimétrica em laboratório. Muitos autores têm

utilizado medidas de turbidez aonde a amostragem é insuficiente, para definir um registro contínuo da quantidade de material em suspensão.

A média das amostras analisadas referentes aos meses de novembro e dezembro de 2015 foram de 135,22 e 671,20 mg/L, respectivamente, conforme os dados dos laudos recebidos. Nos dados apresentados no PCR-ES (Petrobrás, 2015) a média dos valores para sólidos dissolvidos em amostras coletadas no inverno do ano de 2013 foi de 2,42 e do verão de 2014 foi 2,57 mg/L, respectivamente, muito abaixo dos valores observados no pós acidente.

Não foram observadas diferenças significativas entre a quantidade de material sólido em suspensão no fundo ou na superfície, provavelmente devido a baixa vazão do rio, mas o aumento entre o mês de novembro e dezembro foi bem claro. A figura 2, à seguir, apresenta as médias para parte dos pontos avaliados.

A pluma chegou à foz do rio no dia 21/11/2015. Os números para turbidez indicam ou podem indicar que, com o passar dos dias, a partir de novembro, a medida que a pluma chegou a foz do rio e foi se deslocando em todas as direções, os números aumentaram correspondentemente.

Nos pontos 1E, 2E e 2N, 2S, 4N, 4S, Seção IA, Seção IX, VI os resultados para as amostras do fundo mostraram-se maiores que para a superfície, e nos outros ocorreu o inverso, ou os números ficaram muito parecidos, de modo a não se ter um padrão observável.

No transecto “S”, a coleta referente a novembro, no ponto 1S, que é o mais perto da foz, já apresentou o valor de 138,8 UNT, porém no 2S e 3S os valores de novembro foram maiores que os de dezembro.

No Transecto “E”, Não houve análises em novembro. Em dezembro os números não se mostraram muito expressivos. No ponto 1E, na coleta de dezembro houve leituras de 25,45 na superfície e 30,6 UNT no fundo, porém nos outros pontos os números ficaram em torno de 4, tanto na superfície como no fundo.

No transecto “N”, os números permitem observar um aumento da turbidez de novembro para dezembro tanto nas coletas realizadas na superfície quanto nas de fundo.

Na média de todos os pontos de coleta, observa-se que os números para novembro e dezembro, foram maiores na superfície (73,22 UNT contra 42,37 UNT para o fundo).

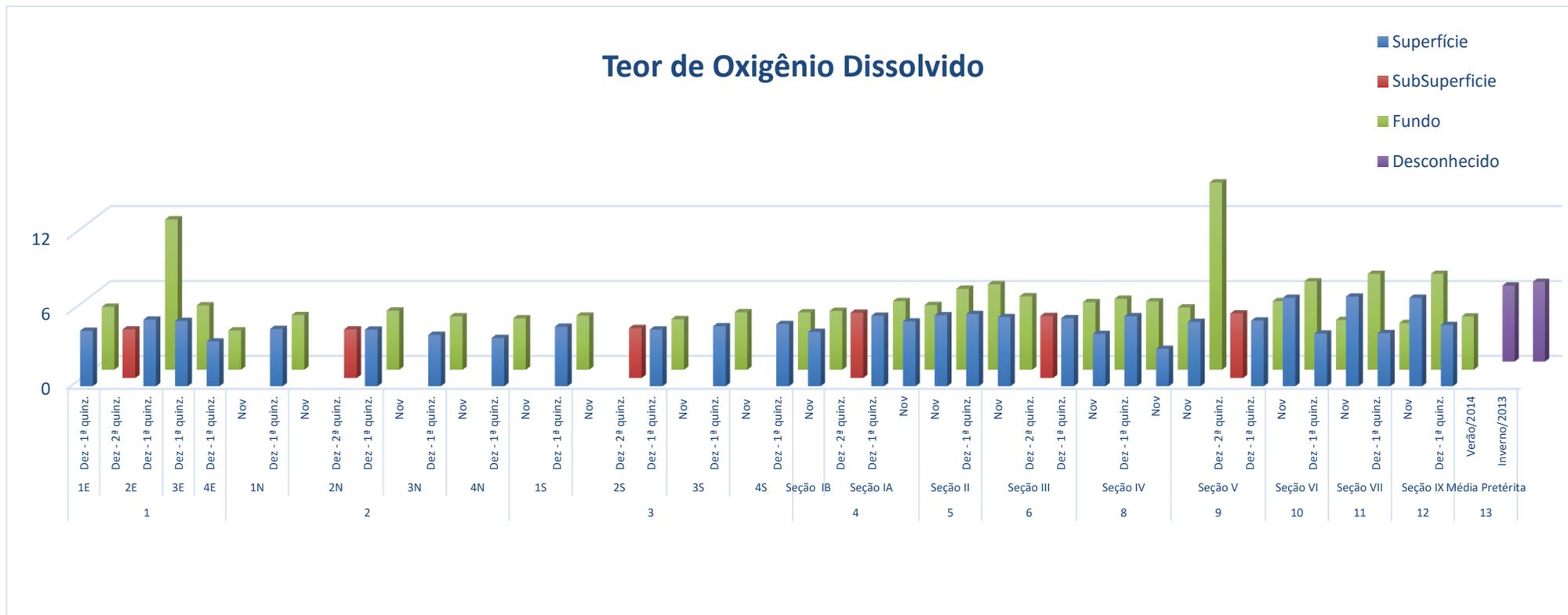


Figura 1: Concentração de oxigênio dissolvido observado nas amostras



Figura 2: Concentração de material sólido em suspensão observado nas amostras

### 3.2 – ANÁLISE DE SEDIMENTOS

Foram disponibilizados laudos de análise de 12 amostras de sedimento, coletadas nos dias 11, 17, 18 e 23 de novembro de 2015. As análises de sedimentos apresentadas nos laudos da Samarco, em sua maior parte, foram realizadas antes da chegada do rejeito da barragem no mar e contemplaram os seguintes metais: arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco, além de análise de compostos orgânicos aromáticos, granulometria, carbono orgânico total e nitrogênio.

As concentrações dos metais analisados no sedimento, se encontram abaixo dos valores relatados na literatura para a região (De Jesus, *et al.*, 2004; Petrobrás, 2015). A Figura 03 mostra a concentração medida dos parâmetros para cada estação de coleta.

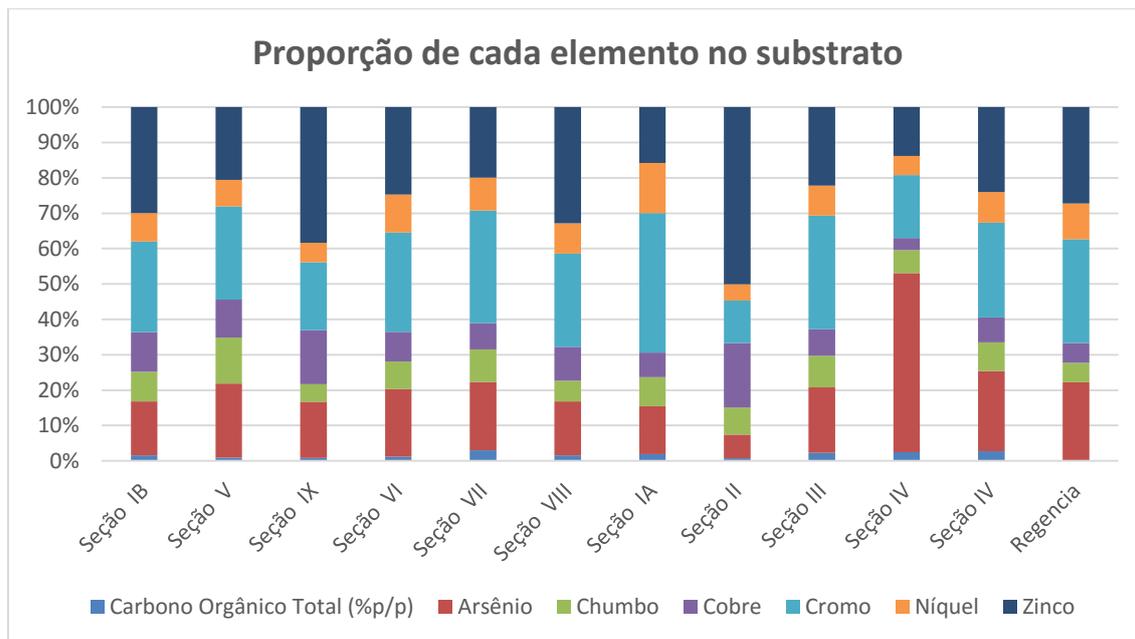


Figura 03. Proporção de metais em sedimentos por estação.

### 3.3 OBSERVAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS DAS COLETAS REALIZADAS PELA MARINHA DO BRASIL

Além das amostragens realizadas pela empresa Samarco, em atendimento as notificações expedidas pelo Ibama, foram analisados os resultados obtidos pela Marinha do Brasil, durante expedição oceanográfica realizada em área marinha impactada pelos rejeitos da mineração, e disponibilizados no documento “LH-035/15 – Levantamento Ambiental Expedido em Regência/ES”, elaborado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação, e no documento “Diagnóstico Preliminar das Condições Ambientais e Impactos Potenciais no Ambiente Marinho adjacente à foz do Rio Doce”, elaborado pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira.

A expedição foi realizada a bordo do NPqHo Vital de Oliveira no período de 26/11 a 05/12/15, e contou com a participação de pesquisadores e autoridades locais. A missão do navio foi efetuar um levantamento das condições hidrobiológicas na região litorânea adjacente à foz do Rio Doce, por meio de coleta diária de dados hidroceanográficos e geológicos em 22 estações de coleta, a fim de realizar a caracterização preliminar dos danos causados na área. Foram realizadas duas etapas de coleta de água e sedimento e medições *in situ* por meio de equipamentos de hidrografia e oceanografia.

A partir da análise de material particulado em suspensão, a Marinha do Brasil identificou três padrões e comportamentos distintos do material oriundo do rejeito da mineração quando chega ao mar: um sedimento denso floculado que se deposita junto a foz; uma pluma junto ao fundo; e outra pluma de sedimento fino e de longo alcance que flutua na superfície. Próximo ao fundo, a pluma tem dispersão mais restrita, virtualmente influenciada pelas correntes, pelas oscilações de maré e pela vazão do rio. As partículas que estão em suspensão na água são finas, entre 0,45 e 5 $\mu$ m (milésimos de milímetro).

Essa variabilidade acompanhou a tendência revelada nos estudos de turbidez, que destacaram maiores concentrações próximo à foz, junto ao fundo e na ampla pluma de superfície. De modo geral, os pontos amostrados, a partir da isóbata de 30 metros apresentaram características normais. Foi observada uma relação inversa entre o oxigênio dissolvido e a turbidez, além de uma relação direta entre fluorescência e turbidez.

Ambas as plumas de superfície e de fundo são dominadas por partículas sem clorofila e menores que 5 $\mu$ m. A análise biológica mostrou variações na distribuição do fitoplâncton e bentos, não sendo possível, entretanto atribuir o aporte do rejeitos no mar a tal variação.

A análise química da água mostrou presença de metais acima do valor máximo permitido para o padrão de água marinha definido pela Resolução Conama 357 para os elementos arsênio, manganês e selênio, em coletas próximas a foz do rio Doce.

Tais resultados da qualidade da água obtidos pelas coletas da Marinha estão compatíveis com os dados apresentados pela Samarco, incluindo a desconformidade para metais em amostras pontuais, e valores de oxigênio dissolvido e turbidez em desacordo com a Resolução Conama 357/2005 em grande parte das amostras.

Finalmente, também é importante apontar que as Análises da Marinha do Brasil na região afetada, próximo à foz, apontaram pelo aumento de microalgas e diminuição de zooplâncton.

### **3.3 OUTRAS OBSERVAÇÕES**

Também foram consideradas relevantes aos relatórios de mortalidade de ictiofauna no ambiente marinho e os ensaios ecotoxicológicos para o Rio Doce.

Nos relatórios de mortalidade, observa-se uma quantidade muito pequena de mortalidade para peixes marinhos, e nenhuma referência sobre mortalidade de camarões nesses ambientes.

Mas, os ensaios ecotoxicológicos da água do rio apontaram para existência de toxicidade crônica, através da constatação da capacidade reprodutiva de microcrustáceos da espécie *Ceriodaphnia dubia*. Entretanto, é uma informação que não pode ser extrapolada para afirmar efeitos similares em outros organismos, visto a diversidade ambiental e taxonômica entre eles.

### **4.0 DISCUSSÃO**

As análises de água apresentadas nos laudos disponibilizados e analisados não contemplam a determinação da concentração do cromo, o que é importante para rastrear a presença do material proveniente da barragem de Germano. Além da determinação de cromo no compartimento água, outros parâmetros importantes que são indicativos da qualidade ambiental não foram analisados, tais como: teor de cromo, estrôncio, níquel,

vanádio, selênio, salinidade, teor de clorofila, teor de nitrogênio amoniacal total, teor de nitrato, teor de nitrito, teor de fosfato e fósforo total.

Exceto por alguns pontos, os resultados de concentração de metais na água reportados nos laudos, estão significativamente abaixo dos limites legais, conforme a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).

Em estudo realizado por Pires *et al.* (2003), para determinar o potencial poluidor do resíduo sólido da barragem de Germano, no município de Mariana -MG, os testes mostraram a grande capacidade deste material na retenção de metais pesados principalmente o cromo. Desta forma é importante a análise deste metal e de outros na água, no material particulado em suspensão e também no sedimento em um número de amostras suficiente para que se possa fazer um estudo representativo da região. Isto é particularmente fundamental após o rompimento da barragem de rejeitos da Samarco.

Os métodos utilizados na determinação quantitativa de metais na água, com a utilização da técnica de ICP- AES (Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente, sigla em inglês), não são os mais indicados, o que pode ter causado a obtenção de grande quantidade de dados indeterminados (“< x”). Entretanto, para a utilização desta técnica em avaliação de metais traço em água do mar é recomendado que sejam utilizados procedimentos que aumentem a precisão de leitura e redução de potenciais interferências. Os métodos de análise mais adequados para análise de metais neste nível de concentração, são aqueles que utilizam a técnica de ICP-MS, que, entretanto, requer o uso de equipamentos de alto custo.

Quase todos os limites de quantificação reportados estão iguais aos valores dos limites da resolução CONAMA, não tendo sido apresentada a memória de cálculo dos mesmos. Entretanto, conforme o procedimento de cálculo do limite de quantificação (ISO, 2014), é pouco provável que todos sejam iguais matematicamente, nas ocasiões de realização dos ensaios. Desta forma, são necessárias revisões nestes limites apresentados.

Os metais de forma geral podem estar presentes em diferentes espécies químicas de um mesmo elemento químico, o que se denomina especiação. A disponibilidade e toxicidade dos metais para os organismos é principalmente dependente da especiação e reatividade química destes (Morse e Cornwell, 1987).

A química e o comportamento de metais traços na coluna d'água é determinada pelas interações e reações de complexação destes metais com outros elementos e substâncias presentes. O monitoramento de traços de metais na água do mar, é de grande importância, uma vez que estes interagem direta ou indiretamente com a maior parte da fauna marinha, particularmente em estuários.

Amostras de água do mar apresentam-se como objetos de estudo complexo em relação à influência de metais, uma vez que a concentração dos mesmos é usualmente muito baixa, havendo necessidade de etapas de pré-concentração ou utilização de técnicas mais sensíveis. Além disso, há interferência da matriz salina no resultado.

Os metais Vanádio, Manganês, Magnésio, Ferro, Alumínio, Bário e Estrôncio, não foram analisados no sedimento. Recomenda-se que estes metais, assim como o fósforo total, dosagem de enxofre e sulfetos e o potencial de oxi-redução sejam incluídos nas análises que estão sendo realizadas no âmbito do monitoramento do sedimento estuarino e marinho.

Embora não esteja previsto na resolução CONAMA nº357/2005 (Brasil, 2005), o potencial de oxi-redução, juntamente com os demais, também é um instrumento para a

avaliação da qualidade da água. Os processos redox afetam a qualidade química das águas naturais, podendo mobilizar ou imobilizar metais potencialmente tóxicos, contribuindo para a degradação ou a preservação de poluentes antropogênicos, e gerando subprodutos indesejáveis, tais como ferro dissolvido ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ).

Análises do teor de metais nos sedimentos, nos materiais particulados e na água são de fundamental importância, uma vez que a qualidade ambiental destes compartimentos reflete na manutenção da vida e no equilíbrio da cadeia trófica, influenciando diretamente os recursos pesqueiros e conseqüentemente na saúde humana.

Metais pesados (cromo, arsênio, alumínio, mercúrio, zinco, chumbo, cádmio, níquel e cobre, manganês), são reconhecidamente poluentes severos pois podem causar danos diversos aos organismos, desde interferências no metabolismo, doenças até efeitos mutagênicos e morte. Estes metais podem ficar disponíveis para serem assimilados pelos seres vivos através de processos químicos e biológicos, se associando a estruturas orgânicas complexas que podem ser metabolizadas e participar dos processos fisiológicos, gerando toxicidade para diferentes espécies. Os metais pesados estão presentes no sedimento, no material particulado em suspensão e na água. Materiais particulados em suspensão são importantes meios de transporte de metais pesados e substâncias orgânicas, que ficam a eles adsorvidos ou associados de alguma forma, participando assim da dinâmica de ecossistemas aquáticos (Förstner e Wittmann, 1983; Wasserman e Wasserman, 2008)

Os metais de forma geral podem estar presentes em diferentes espécies químicas de um mesmo elemento químico, o que se denomina especiação. A disponibilidade e toxicidade dos metais para os organismos é principalmente dependente da especiação e reatividade química destes (Morse e Cornwell, 1987).

Os estudos da mobilidade, biodisponibilidade e bioacumulação dos metais são importantes na caracterização dos riscos potenciais, em função da toxicidade destes elementos para o ecossistema, conforme tem sido demonstrado (Wasserman e Wasserman, 2008). A identificação das espécies químicas, sua mobilidade e quantificação da sua distribuição requerem técnicas analíticas específicas. Muitos estudos são realizados utilizando técnicas de extração sequencial de metais, como o método BCR. (Rauret *et al.*, 1999).

Em todos os pontos analisados, especificamente os relativos às datas iniciais e finais, foi observado que as medidas de turbidez e de oxigênio dissolvido estão fora do especificado no Artigo 18 da Resolução CONAMA nº357/2005 (Brasil, 2005). Ainda que os laboratórios executantes dos ensaios não estejam acreditados para as análises estes dois parâmetros, os resultados estão bastante afastados dos níveis desejados, o que reforça esta observação de desenquadramento com margem de segurança.

Além de não ter sido feita análise dos sedimentos em pontos suficientes, tanto estas análises quanto as análises de água carecem de parâmetros que não foram analisados para uma caracterização consistente da qualidade de água e sua influência na pesca.

Conforme exposto anteriormente a determinação da presença de metais pesados nos sedimentos não é suficiente para se fazer inferências sobre o risco de contaminação dos seres vivos presentes no ambiente em estudo. É necessária a investigação da mobilidade e disponibilidade dos metais presentes no sedimento e no material particulado em suspensão.

A confiabilidade técnica e metrológica de dados analíticos referentes ao meio ambiente é de extrema relevância, uma vez que os mesmos são utilizados como base na tomada de decisões através da comparação com valores legais. Dados analíticos laboratoriais frequentemente são utilizados como subsídios a ações de gestão ambiental, envolvendo muitas vezes altos investimentos e implicações socioeconômicas.

Desta forma, a escolha dos métodos a serem utilizados, bem como o gerenciamento da qualidade da execução dos procedimentos analíticos, são

fundamentais para que a confiabilidade adequada seja atendida. Desta forma, é essencial que durante o planejamento das condições de amostragem e análises laboratoriais sejam acordados com o laboratório executante os aspectos ligados as exigências da legislação e as necessidades de qualidade dos resultados, com objetivo de serem evitadas análises desnecessárias, bem como repetição de análises quando resultados não esperados ocorrem ou, ainda, a não obtenção de dados necessários à tomada de decisão, ocasionando custos adicionais e atrasos.

As boas práticas de laboratório, como necessidades técnicas, tais como o cálculo dos limites de quantificação e detecção, rastreabilidade de resultados e de amostras, uso de materiais de referência, mecanismos de controle de qualidade de resultados e de calibração de equipamentos e acreditação do laboratório junto ao INMETRO devem ser contempladas.

Os limites analíticos são valores relacionados à incerteza associada à medida obtida no procedimento de análise, e fornece a confiabilidade dos resultados fornecidos, sendo traduzido por um ponto onde a medida obtida é maior que a incerteza associada a ela (Silvério *et al.*, 2010). Os limites analíticos mais utilizados são o limite de quantificação e o limite de detecção.

O limite de detecção é a menor quantidade do analito que pode ser detectada na amostra, ainda que não possa ser quantificada com a metodologia empregada. O cálculo do limite de detecção depende do tipo de analito (matriz) e, no caso dos métodos em questão, é baseado na capacidade do detector dos equipamentos de distinguir entre o sinal e o ruído.

O limite de quantificação é a menor quantidade do analito em uma amostra que se pode quantificar com confiabilidade de precisão e exatidão adequadas, com a metodologia escolhida para os objetivos desejados. O cálculo do limite de quantificação envolve repetições de medidas e cálculos estatísticos de dispersão, eventualmente modificações nos procedimentos metodológicos até que o menor valor com a confiabilidade de resposta nas condições de operação seja atingida (Silva e Alves, 2006).

É importante ressaltar que os limites analíticos são diretamente ligados às condições operacionais do laboratório, incluindo a habilidade e capacitação dos operadores, sendo específico para cada elemento ou substância analisada e também para cada conjunto de análises. O limite de quantificação para estudos ambientais devem estar abaixo dos estabelecidos na legislação vigente.

O estudo dos nutrientes é de fundamental importância para o conhecimento dos processos biológicos e para detectar possíveis alterações da comunidade fitoplanctônica na foz do rio Doce, além de servirem de indicativos de poluição. Não foram realizadas análises de Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal total e fosfato nas amostras de água. A presença de material em suspensão na água prejudica a penetração da luz e diminui a fotossíntese, enquanto que as concentrações de compostos inorgânicos de fósforo e

nitrogênio podem desencadear uma proliferação algácea acarretando eutroficação do meio. A análise de clorofila corrobora as informações acima.

O aporte de nutrientes pode afetar a composição da comunidade fitoplanctônica, que resulta em alteração de interações tróficas (Levin *et al.*, 2009). Como resultado direto da eutrofização da água, observa-se um aumento na produtividade primária. Células grandes de fitoplâncton senescentes podem afundar numa velocidade de alguns metros por dia, e agregados de células e detrito numa velocidade de 10-100m/dia. Nessas taxas, o afundamento de fitoplâncton pode facilmente resultar em um significativo aporte de matéria orgânica para a camada sub-picnóclina que se torna hipóxica. Pelotas fecais do zooplâncton que afundam rapidamente também são uma adição significativa de matéria orgânica na camada sub-picnóclina (Joyce, 2000).

A fonte de carbono que mais frequentemente causa a redução de OD tem origem na produção de fitoplâncton, mas pode haver uma fonte natural terrestre (alóctone) ou lançamento industrial ou de esgotamento (Gray, Wu e Or, 2002).

A turbidez resultante de Material Particulado em Suspensão (MPS) provoca alterações químicas no ambiente. A concentração de MPS possui uma relação inversamente proporcional à concentração de Oxigênio Dissolvido (OD), conforme observado por Talke *et al.* (2009). A relação observada entre alto MPS e diminuição de OD indica que a matéria orgânica na lama liquefeita está controlando a depleção de oxigênio na coluna d'água. Observações históricas confirmam que a depleção de oxigênio se relaciona bem com MPS. Concentrações de OD estão fortemente relacionados à temperatura da água: água fria aumenta a solubilidade do oxigênio e a taxa de depleção em função de MPS é menor.

Hipóxia, ou anóxia (ausência de OD), se torna prejudicial a organismos aeróbicos e aquáticos quando respostas comportamentais e fisiológicas resultam em impactos negativos, como crescimento reduzido, perda de capacidade de reprodução, mortandade, redução de biodiversidade e perda de produção secundária. Não há uma concentração definida no qual águas marinhas, costeiras ou estuarinas se tornam hipóxicas aos organismos locais, nem há consistência no patamar de oxigênio usado para expressar hipóxia. Os ecossistemas em que a hipóxia ocorre abrangem desde estuários, regiões costeiras, até águas oceânicas, variando em profundidades de 1 a 2 m em estuários até 600-700 m no mar aberto (Levin *et al.*, 2009).

Baixa concentração de OD como consequência de atividades antropogênicas provoca efeitos negativos sobre a biota local de diversas formas. Dentre alguns efeitos negativos, podemos encontrar a perda de habitat por diversos peixes demersais e fauna bentônica, compressão de habitat de peixes pelágicos, mortandade, aumento de predação, diminuição de alimento, alteração da transferência de energia trófica, alteração de migração e anormalidades fisiológicas, de desenvolvimento, de crescimento, e reprodutivo (Rabalais *et al.*, 2010). Segundo Talke *et al.* (2009), o impacto de uma zona hipóxica é mensurado pela área de um corpo aquático que apresenta patamares biologicamente críticos de OD, como 5 mgO<sub>2</sub>/L ou 2 mgO<sub>2</sub>/L, que são os patamares em que a maioria dos organismos aquáticos sofrem estresse ou mortandade, respectivamente.

A duração e severidade de hipóxia ocasiona um efeito deletério sobre a biomassa macrobentônica (Levin *et al.*, 2009; Sturdivant, Brush e Diaz, 2013). Como resultado, a estrutura geral de uma comunidade bentônica na zona hipóxica se aproxima de uma fauna dominada por poliquetas, de indivíduos pequenos e de estoque reduzido. Ocorrências recorrentes de mortandade em massa da fauna bentônica reduzirão recursos

alimentares de grupos demersais, tais como os camarões do gênero *Penaeus* (Justin, Rabalais e Turner, 1996)

De forma geral, a exposição prolongada a 4 mgO<sub>2</sub>/L causa mortalidade aguda a muitos invertebrados e embriões, enquanto 3 mgO<sub>2</sub>/L causa mortalidade em diversos peixes (USEPA, 1986, 1989). Em crustáceos, o caranguejo *Callinectes sapidus*, a lagosta *Nephrops norvegicus* e os camarões *Penaeus setiferus*, *Palaemon adspersus* e *P. varians* apresentaram comportamentos alimentares afetados pela hipóxia entre 2 e 3 mgO<sub>2</sub>/L. A diminuição da taxa de crescimento em níveis de OD inferiores a 3.5 mgO<sub>2</sub>/L tem sido observado na amphípoda marinha *Melitta longidactyla*. Mortalidade ocorre a partir de 1 mgO<sub>2</sub>/L no isópodo *Saduria entomon*. Enquanto peixes e alguns crustáceos conseguem fugir de habitats afetados, a maioria dos organismos bentônicos sofrem mortalidade. Isso ocorre primeiro nos crustáceos e equinoides (Gray, Wu e Or, 2002).

| Tipo de organismo               | Efeito      | Conc. (mg L <sup>-1</sup> ) |
|---------------------------------|-------------|-----------------------------|
| Peixes nadadores ativos         | Crescimento | 6                           |
| Peixes nadadores ativos         | Metabolismo | 4.5                         |
| Peixes demersais                | Metabolismo | 4                           |
| Maioria dos peixes              | Mortalidade | 2                           |
| Caranguejos, camarões, lagostas | Crescimento | 2–3.5                       |
| Isópodos                        | Mortalidade | 1–1.6                       |
| Moluscos bivalve                | Crescimento | 1–1.5                       |
| Anelídeos                       | Crescimento | 1–2                         |
| <i>Mudskippers</i>              | Mortalidade | 1                           |

Tabela 1: Efeitos do OD sobre a biota aquática (Gray et al., 2002)

Estudos sobre o efeito da hipóxia na biota marinha no Golfo do México concluíram que o OD de fundo estava significativamente correlacionado com biomassa de peixe ( $r=0.56$ ,  $P < 0.001$ ) e o número de *Penaeus aztecus* e *P. setiferus* presentes ( $r = 0.56$ ,  $P < 0.002$ ). Camarões e peixes estavam ausentes de locais hipóxicos. A hipóxia pode ser uma causa de variação anual de captura de camarão (Renaud, 1983).

Prever o efeito da hipóxia no estoque pesqueiro e desembarque é desafiador. A sobrepesca e a abundância de nutrientes estão relacionados à densidade populacional, e esses fatores co-ocorrem. A literatura sugere quatro categorias em que a hipóxia causa ou contribui para o declínio de espécies ou biomassa total de peixes e macroinvertebrados móveis: a) impedimento de migração de espécies provocados pelo lançamento de esgotamento, principalmente em complexos estuarinos, b) hipóxia extensiva que afeta uma proporção significativa do leito marinho, c) combinações de hipóxia e outros fatores de estresse, d) eliminação de habitats específicos (Breitburg *et al.*, 2009).

A turbidez elevada, como consequência de atividades antropogênicas, afeta a biota local direta e indiretamente. Um dos impactos diretos é alteração na predação. Segundo De Robertis *et al.* (2003), com o incremento da turbidez, a deterioração da percepção de contraste reduz a visão de presas grandes a grandes distâncias mais que a redução de presas pequenas a curtas distâncias. Igualmente, a deterioração da percepção de contraste é provavelmente um fator mais importante em águas superficiais ao longo do dia, quando a intensidade da luz é relativamente alta e a visualização de presas se dá a longas distâncias.

Peixes são os principais predadores visuais em muitos ambientes aquáticos, e frequentemente são divididos em piscívoros ou planctívoros. A habilidade de detectar

visualmente as presas depende da intensidade luminosa, claridade da água, e características tais como tamanho, movimentação e pigmentação das presas. Peixes piscívoros ou planctívoros consomem presas de diferentes tamanhos, e mudanças na transparência da água os afetam de diferentes formas. Piscívoros consomem peixes grandes e evidentes, enquanto planctívoros consomem zooplânctons relativamente menos evidentes.

Em condições de luminosidade alta, piscívoros são capazes de detectar suas presas a maiores distâncias que planctívoros. Portanto, para um aumento de turbidez, a degradação de percepção de contraste deve desproporcionalmente afetar mais piscívoros que planctívoros. Águas moderadamente turvas podem ser habitats vantajosos para planctívoros, tendo em vista que suas taxas de encontro com predadores são reduzidas comparativamente com suas taxas de encontro com zooplâncton.

Alteração no comportamento de predação também foi observada por *Salonen et Engström-Öst* (2010), em que os predadores que utilizam estratégias de tocaia foram favorecidos em águas turvas em detrimento de peixes que utilizam estratégias de procura ativa. Portanto, uma fonte alóctone, ou não natural, de turbidez interrompe o equilíbrio de predação no local afetado causando alteração no ecossistema atingido.

A turbidez elevada por ações antropogênicas também altera o comportamento sexual das espécies. O acasalamento do *Pomatoschistus minutus* foi significativamente diferenciado em águas turvas, em comparação com águas claras. Em águas turvas, o sucesso de acasalamento foi distribuído mais equanimente entre machos e a diferença entre machos acasalados e não acasalados diminuiu.

A oportunidade de seleção sexual e a diferenciação de seleção sexual diminui em águas turvas. Consequentemente, traços que são mantidos por seleção sexual possuirão uma menor vantagem e pode eventualmente sumir por causa do menor rigor de seleção sexual, como tamanho corporal dos machos e coloração (Järvenpää e Lindström, 2004). Observou-se que o macho de *Gasterosteus aculeatus* em águas turvas precisa cortejar mais do que o macho em águas claras para receber a mesma atenção da fêmea. O incremento da turbidez na água reduziu a atratividade dos machos para as fêmeas. O cortejo em águas turvas resulta no aumento de tempo e energia gasta pelo macho para atrair a fêmea, e pode aumentar riscos de predação.

Conforme exposto acima, as alterações alóctones, ou não naturais, afetam o equilíbrio ecológico e certamente causam impacto. Esse provável impacto precisa ser monitorado por meio de análises específicas para realmente concluir a degradação ambiental decorrente do incidente em Mariana.

## **5.0 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Considerando os objetivos da força-tarefa e a análise apresentada dos dados disponíveis, o grupo consensuou em apresentar as seguintes conclusões e recomendações:

### **5.1 – Quanto aos riscos ambientais para a pesca:**

Considerando as características biológicas da espécie, como a população amplamente distribuída e a rapidez do ciclo reprodutivo, a ausência de indicativos de redução populacional por efeito do desastre e o aumento aparente da produtividade primária do ambiente, é pouco provável **que a pesca local possa causar IMPACTOS**

**AMBIENTAIS mais intensos ao ecossistema em razão do acidente. Os possíveis impactos da pesca tendem a ser aqueles mesmos que se esperaria na ausência dos rejeitos da SAMARCO.**

**Entretanto, existe um cuidado extra específico que deve ser avaliado em se tratando da pescaria do camarão, pois esta é realizada através de redes de arrasto.** Não há informações para avaliar se os elementos lançados na coluna d'água após o revolvimento do substrato, consequência natural da pesca de arrasto, poderiam gerar algum tipo de efeito negativo ao reagir com os elementos oriundos dos rejeitos da Samarco na pluma.

Independentemente de possíveis efeitos negativos, o revolvimento constante e massivo de substrato gerado pela pesca de arrasto tende a ressuspender o material já depositado e prejudicar resultados de análises do monitoramento em andamento, comprometendo a qualidade dos estudos ao misturar sedimentos antigos com os oriundos do acidente.

Dessa forma, é recomendável que a área de deposição de sedimentos do acidente e influência direta das plumas seja interdita à pesca por tempo indeterminado, para garantir a conclusão dos estudos necessários para a caracterização do impacto e demais procedimentos em andamento ou que venham a se mostrar necessários.

### **5.2 – Quanto à segurança do consumo alimentar de camarões e outros recursos pesqueiros capturados na área:**

Nenhum dado apresentado permite qualquer inferência sobre contaminação dos animais, bioacumulação de metais pesados, ou toxicidade para seres humanos. Além disso, trata-se de uma esfera de conhecimento fora do escopo de atribuições dos órgãos ambientais.

Considerando a falta de dados adequados e o conflito de competências técnicas e legais sobre o assunto, não é possível apresentar posicionamento quanto à segurança em se consumir camarões ou quaisquer outros pescados oriundos da área de influência da pluma.

Por essa razão, recomendamos que os órgãos competentes (MAPA, ANVISA e IDAF-ES) sejam mobilizados para realização de ações urgentes de coleta e análise de sanidade pesqueira nos produtos oriundos da área, em especial ao camarão e outras espécies detritívoras.

### **5.3 – Quanto aos ajustes necessários nas atividades de monitoramento:**

Em complemento às análises já realizadas no monitoramento, é necessário que sejam realizadas análises na água de teor de cromo, estrôncio, níquel, vanádio, selênio, salinidade, teor de clorofila, teor de nitrogênio amoniacal total, teor de nitrato, teor de nitrito, teor de fosfato e fósforo total.

Realizar análises de metais e outros parâmetros (analogamente ao realizado no sedimento) no material particulado suspenso, uma vez que grande quantidade de contaminantes tende a ficar neste compartimento.

Recomenda-se que sejam utilizados procedimentos que aumentem a precisão de leitura e redução de potenciais interferências nas análises de metais em água por ICP-EAS, ou utilizar a técnica de ICP-MS.

Revisar a determinação dos limites de quantificação e de detecção dos parâmetros analisados.

Aumentar o número de amostras analisadas de sedimento para que se possa fazer uma avaliação representativa e incluir no monitoramento a determinação dos metais Vanádio, Manganês, Magnésio, Ferro, Alumínio, Bário e Estrôncio e o potencial de oxidação-redução, bem como dosagem de enxofre, sulfeto e fósforo total.

Finalmente, recomenda-se que sejam realizados estudos relativos a biodisponibilidade, especiação de metais e mobilidade destes com extração sequencial.

## 6.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Resolução 357, de 17 de março de 2005** Resolução 357, de 17 de março de 2005. **Anais...**2005 Disponível em:  
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>

BREITBURG, D. L. *et al.* Hypoxia, nitrogen, and fisheries: integrating effects across local and global landscapes. **Annual review of marine science**, v. 1, p. 329–349, 2009.

CARVALHO, K. S.; PARANHOS, R. M.; PAIVA, J. B. . **Limitações ao uso da relação entre turbidez e concentração de sedimento em suspensão em duas pequenas bacias em Santa Maria - RS** CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE HIDRÁULICA, 21. **Anais...**São Pedro: International Association of Hydro-Environment Engineering and Research, 2004

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. Metal Pollution in the Aquatic Environment. **Folia Geobotanica et Phytotaxonomica**, v. 18, n. 2, p. 194, 1983.

GRAY, J. S.; WU, R. S.; OR, Y. Y. Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. **Marine Ecology Progress Series**, v. 238, p. 249–279, 2002.

ISO. **ISO/IEC 17025:2005**.

JÄRVENPÄÄ, M.; LINDSTRÖM, K. Water turbidity by algal blooms causes mating system breakdown in a shallow-water fish, the sand goby *Pomatoschistus minutus*. **Proceedings. Biological sciences / The Royal Society**, v. 271, n. 1555, p. 2361–2365, 2004.

JESUS, H. C. DE *et al.* Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da ilha de Vitória-es. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 378–386, 2004.

JOYCE, S. The dead zones: oxygen-starved coastal waters. **Environmental health perspectives**, v. 108, n. 3, p. A120–5, 2000.

JUSTIN, D.; RABALAIS, N. N.; TURNER, R. E. Effects of climate change on hypoxia in coastal waters: A doubled CO<sub>2</sub> scenario for the northern Gulf of Mexico. **Limnology and Oceanography**, v. 41, n. 5, p. 992–1003, 1996.

- LEVIN, L. A. *et al.* Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos. **Biogeosciences**, n. 6, p. 2063–2098, 2009.
- MANN, K. H. **Ecology of Coastal Waters: With Implications For Management**. 2nd. ed. [s.l.] WileyBlackwell, 2000.
- MAY, C. L. *et al.* Effects of spatial and temporal variability of turbidity on phytoplankton blooms. **Marine Ecology Progress Series**, v. 254, p. 111–128, 2003.
- MEYBECK, G. F.; THOMAS, R.; CHAPMAN, D. Water quality assessments- a guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring. *In: water quality assessment*. [s.l.: s.n.]. v. 5p. 79.
- MORSE, J. W.; CORNWELL, J. C. Analysis and distribution of iron sulfide minerals in recent anoxic marine sediments. **Marine Chemistry**, v. 22, n. 1, p. 55–69, 1987.
- NETO, J. D.; DIAS, J. DE F. O. **O uso da biodiversidade aquática no brasil: uma avaliação com foco na pesca**. 1. ed. Brasília: IBAMA, 2015.
- PETROBRÁS. **Relatório final do projeto de caracterização ambiental regional da Bacia do Espírito Santo - V1**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://seculodiario.com.br/21604/10/decisao-do-ibama-vai-acabar-com-o-camarao-no-espírito-santo-2>>.
- PIRES, J. M. M. *et al.* Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco Mineração: Estudo de caso da barragem de Germano. **Centro de Pesquisas Florestais/UFSM**, v. 27, n. 3, p. 393–397, 2003.
- PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos**. [s.l.] ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006.
- RAURET, G. *et al.* Improvement of the BCR three step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials. **Journal of environmental monitoring : JEM**, v. 1, n. 1, p. 57–61, 1999.
- RENAUD, M. L. Hypoxia in Louisiana Coastal Waters during 1983: Implications for Fisheries. **Fishery Bulletin**, v. 84, p. 19–26, 1983.
- RIDD, P. V.; STIEGLITZ, T. Dry Season Salinity Changes in Arid Estuaries Fringed by Mangroves and Saltflats. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 54, n. 6, p. 1039–1049, 2002.
- ROBERTIS, A. DE *et al.* Differential effects of turbidity on prey consumption of piscivorous and planktivorous fish. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 60, n. 12, p. 1517–1526, 2003.
- SALONEN, M.; ENGSTRÖM-ÖST, J. Prey capture of pike *Esox lucius* larvae in turbid water. **Journal of Fish Biology**, v. 76, n. 10, p. 2591–2596, 2010.

SILVA, A. DE P.; ALVES, M. C. C. **Como Iniciar a Validação de Métodos Analíticos** ENQUALAB-2006 - Congresso e Feira da Qualidade em Metrologia. **Anais...**São Paulo, Brasil: 2006

SILVÉRIO, P. F. *et al.* Critical applications of SW 846 US EPA methods to evaluation of marine samples quality. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. spe3, p. 49–56, jun. 2010.

STURDIVANT, S. K.; BRUSH, M. J.; DIAZ, R. J. Modeling the effect of hypoxia on macrobenthos production in the lower Rappahannock River, Chesapeake Bay, USA. **PloS one**, v. 8, n. 12, p. e84140, 2013.

TALKE, S. A.; SWART, H. E. DE; JONGE, V. N. DE. An idealized model and systematic process study of oxygen depletion in highly turbid estuaries. **Estuaries and Coasts**, v. 32, n. 4, p. 602–620, 2009.

TWILLEY, R. R. *et al.* Biodiversity and ecosystem processes in tropical estuaries: perspectives of mangrove ecosystems. *In: Functional Roles of Biodiversity: a Global Perspective*. Nova York: J Wiley & Sons Ltd., 1998. p. 327–370.

USEPA. **Quality criteria for water - EPA 440/5-86-001** Washington, D.C. USEPA, , 1986.

\_\_\_\_\_. **Ambient water quality criteria for ammonia (saltwater)** Washington, D.C. USEPA, , 1989.

\_\_\_\_\_. **National Recommended Water Quality Criteria** U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water, Office of Science and Technology., , 2006. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1003R9X.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006+Thru+2010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&>>

VOLOCH, C.; SOLÉ-CAVA, A. Genetic structure of the sea-bob shrimp (*Xiphopenaeus kroyeri* Heller, 1862; Decapoda, Penaeidae) along the Brazilian southeastern coast. **Genetics and Molecular Biology**, v. 28, n. 2, p. 254–257, 2005.

WASSERMAN, J. C.; WASSERMAN, M. A. Comportamento de metais em sedimentos. *In: NETO, J. A. B.; WALLNER-KERSANACH, M.; PATCHINEELAM, S. M. (Eds.). . Poluição no Ambiente Costeiro*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008. .

WILSON, J. G. Adaptations to life in estuaries. *In: SAFRANAYTEXASPH, P. (Ed.). . Fisheries and Aquaculture - Vol V*. Paris, France: Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), 2009. .

---

Cinthia Masumoto  
Analista Ambiental/SUPES/SP

---

Gildo Coelho Bastos  
Analista Ambiental/SUPES/BSB

---

Ana Paula Pinto Fernandes  
Analista Ambiental/SUPES/RJ

---

Maria Dulce Chicayban Monteiro de Castro  
Analista Ambiental/SUPES/RJ

---

Patrick Marques Trompowsky  
Analista Ambiental/SUPES/RJ

---

Henrique Anatole Cardoso Ramos  
Analista Ambiental/DBFLORA/BSB

---

Carlos Alberto Maia  
Analista Ambiental/SUPES/CE

---

José Joaquim Crachineski  
Analista Ambiental/SUPES/PR