

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região
Marinha e Costeira Adjacente**

A3MSS2 – Material Suplementar 2

Anexo 3 Marinho - Sedimentologia

RT-39 RRDM/FEV 22

RA2021 PMBA/Fest-RRDM

Vitória,

Fevereiro de 2022

SUMÁRIO

1. METODOLOGIA.....	3
1.1. AMOSTRAGEM.....	3
1.2. ANÁLISE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS).....	5
1.3. ANÁLISE DE SEDIMENTO SUPERFICIAL DE FUNDO	5
1.4. ANÁLISE DE DENSIDADE	5
1.5. ANÁLISE DE MOBILIDADE DO FUNDO.....	6
1.6. ANÁLISE MINERALÓGICA.....	6

1. METODOLOGIA

1.1. AMOSTRAGEM

Paras as análises realizadas por esse subprojeto, foram coletadas amostras de água, de sedimento superficial de fundo e de densidade do sedimento superficial. Amostras de sedimento total de fundo também foram coletadas e analisadas por esse subprojeto mas foram estudadas e discutidas apenas pelo subprojeto Bentos. Essas últimas amostras foram analisadas da mesma forma como descrito para as amostras de sedimento superficial.

As amostras de água foram coletadas em 3 profundidades da coluna d'água por meio de garrafas de Van Dorn anexadas em um rack. Amostras de superfície foram coletadas entre 15 a 30 cm de profundidade; amostras do meio da coluna d'água foram coletadas na profundidade média de cada estação; e amostras do fundo da coluna d'água foram coletadas a cerca de 1 m acima do sedimento. Foi coletado 1 L de água para cada profundidade mencionada. A água coletada foi armazenada em garrafas de plástico de 1 L, devidamente limpas e identificadas, e acondicionadas sob refrigeração ($\approx 4\text{ }^{\circ}\text{C}$) e ao abrigo da luz até análise do material particulado em suspensão no laboratório.

As coletas de sedimento superficial foram realizadas com um amostrador de fundo Van Veen. Quando as amostras coletadas se apresentavam lamosas, uma alíquota para a análise de densidade do sedimento superficial (primeiro centímetro do pacote) com um pote de 5 mL foi subamostrada. As amostras de sedimento e de densidade foram acondicionadas sob refrigeração ($\approx 4\text{ }^{\circ}\text{C}$) e ao abrigo da luz até análise em laboratório.

Os resultados dos indicadores (MPS, mobilidade do sedimento de fundo e sinal do rejeito – IMS), bem como aqueles utilizados para a determinação dos mesmos (teores de cascalho, areia e lama; densidade do sedimento, granulometria – D50 e D90), estão apresentados de forma setorizada, considerando as similaridades hidrodinâmicas e sedimentológicas entre as estações e do Setor de menor latitude (Abrolhos) para o de maior latitude (Sul). Os resultados que não apresentaram relevância para a discussão acerca do impacto do rompimento da barragem de Fundão na biodiversidade aquática (teor de matéria orgânica e teor de carbonato de cálcio do sedimento superficial) não estão aqui apresentados, mas foram entregues à Fundação Renova nas atualizações mensais de dados processados. As estações amostrais na foz do Rio Doce e na APA Costa das Algas foram ainda subdivididas para a apresentação dos dados, também baseadas na similaridade hidrodinâmica e sedimentar. Os setores com suas respectivas estações monitoradas, as respectivas frequências amostrais, os respectivos meses amostrados e as inserções e remoções de estações a partir do Ano 2 de monitoramento (Set/2019-Out/2020) estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Setores e respectivas estações e frequências amostrais para o Ano 2 de monitoramento. Estações escritas de forma tachada correspondem àquelas que foram removidas da malha amostral a partir do Ano 2. As estações que foram inseridas na malha amostral a partir do Ano 2 estão escritas sob o formato itálico.

Estação	Setor	Frequência amostral	Meses amostrados
CA 01	APA Costa das Algas Rasas	Trimestral	Nov/2018; Jan, Abr, Jul, Dez/2019; Jan/2020; Jan, Abr, Jul/2021
CA 02			
CA 05			
CA 08			
CA 09			
CA 10			
CA 13			
CA 03	APA Costa das Algas Profundas		
CA 04			
CA 06			
CA 07			
CA 11			
CA 12			
CA 14			
CA 15			
SDS 13	Foz Sul	Mensal	Out/2018 a Mar/2020; Dez/2020 a Fev/2021; Abr a Set/2021
SDS 19			
SDS 20			
SDS 30			
SDS 35			
SD 01	Foz Central		
SD 02			
SD 03			
SD 04			
SD 05			
SDN 12	Foz Norte		
SDN 13			
SDN 20			
SDN 29			
SDN 30			
DEG 01	Norte	Trimestral	Dez/2018; Jan, Abr, Jul, Dez/2019; Jan/2020; Jan, Abr, Jul/2021
DEG 02			
BS 01			
BS 02			
BN 01			
BN 02			
CB 01			
ITA 01			
ITA 02			
MUC 01	Abrolhos	Semestral	Dez/2018; Abr/2019; Jan/2020; Jan/2021; Jul/2021
MUC 02			
ABR 01			
ABR 02			
ABR 03			
ABR 04			
ABR 05			

1.2. ANÁLISE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)

O processo de filtração das amostras de água é realizado em filtros de fibra de vidro de 47 mm de diâmetro e 0,45µm de diâmetro, previamente secos em estufa à 40°C por 24h, para determinação de seu peso original. Após a filtração das amostras, os filtros são novamente levados à estufa à 40°C por 48h e pesados para a determinação do peso do MPS retido. A concentração do MPS é calculada através da diferença entre o peso do filtro antes e após a filtração, corrigido pelo volume filtrado de cada amostra (Mitchell et al., 2017). Após a determinação do MPS, os filtros seguem para queima da matéria orgânica por combustão em mufla à 450°C por 4h (Mook e Hoskin, 1982) para a determinação do teor de matéria orgânica (MO) do MPS.

1.3. ANÁLISE DE SEDIMENTO SUPERFICIAL DE FUNDO

Após coleta, as amostras foram lavadas até a completa remoção de sal e depois foram secas em estufa à 40°C para aquisição do peso seco. A separação das frações grossas e finas foi realizada através do método de separação via úmida pela lavagem do sedimento com água destilada em uma peneira de malha com abertura de 63 µm. O sedimento que passa pela peneira é a fração fina (ou lama) enquanto que o retido é a fração mais grossa (areia e cascalho) (Dias, 2004).

A determinação da granulometria das frações grossas (> 63 µm) foi realizada pelo método de peneiramento via seca com peneiras intercaladas por malhas com abertura de 0,5 em 0,5 phi. Para as frações finas (< 63 µm) a granulometria foi determinada por um analisador de partículas a laser (Malvern Mastersizer 2000), também de 0,5 em 0,5 phi, após queima da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio para evitar floculação e alteração da granulometria durante a análise. O parâmetro granulométrico utilizado foi o diâmetro médio do grão (D50) e foi calculado pelo software Gradistat 8.0 (Blott e Pye, 2001) versão para Excel 2007-2010.

O teor de matéria orgânica do sedimento foi determinado pelo método de combustão em mufla à 450°C por 4h (Mook e Hoskin, 1982). O teor de carbonato de cálcio (CaCO₃) foi determinado a partir da queima com ácido clorídrico (30%) (Dias, 2004; Komada et al., 2008; Quaresma et al, 2015) e a apresentação gráfica foi feita em % com o eixo Y padronizado ao limite de 100%. Para a descrição ao longo do texto foram utilizadas as médias com os respectivos desvios padrão para dados de teores de cascalho, área, lama, CaCO₃ e MO do sedimento superficial.

1.4. ANÁLISE DE DENSIDADE

A amostragem foi feita de forma a coletar apenas a camada superficial de lama do pacote sedimentar, já que esta metodologia é aplicada apenas para sedimento lamoso. Quando o sedimento coletado pelas dragas se apresenta arenoso, a amostragem para esta análise não é realizada. Após coleta, as amostras são acondicionadas em recipientes de 5mL, previamente pesado em balança de precisão (4

casas decimais), e mantidas resfriadas até chegada ao laboratório. Em laboratório os recipientes são pesados para obtenção do peso úmido e, então, levados à estufa à 40°C por 48h ou até a amostra estar completamente seca. Após, essa etapa os recipientes contendo as amostras, já secas, são novamente pesados. Para a determinação da densidade do sedimento superficial de fundo foi utilizado o método descrito por Amos e Sutherland, (1994; Soulsby, (1997), onde a densidade é igual a massa úmida pelo volume da mesma. Os dados foram apresentados sob a forma de densidade e em kg/m³. Para a apresentação gráfica, uma linha vermelha foi inserida onde delimita valores abaixo de 1200 kg/m³, os quais indicam a presença de lama fluida (McAnally et al., 2007; Winterwerp e Kersteren, 2004). Estações que não apresentaram dados foram decorrentes da ausência de lama no sedimento ou ausência de recuperação de sedimento durante a amostragem. Para a descrição ao longo do texto foram utilizadas as médias com os respectivos desvios padrão.

1.5. ANÁLISE DE MOBILIDADE DO FUNDO

A mobilidade do sedimento de fundo foi avaliada para os setores Norte, Foz Norte, Foz Central e Foz Sul. Eventos de mobilidade, para cada mês, foram contabilizados sempre que a tensão de cisalhamento de fundo foi maior que a tensão crítica de ressuspensão local. O cálculo do percentual de mobilidade seguiu a seguinte metodologia:

1) Primeiramente, a densidade do sedimento superficial foi avaliada a partir da evolução espaço-temporal da anomalia normalizada (anomalia dividido pelo desvio-padrão) da Tensão crítica de ressuspensão média mensal para cada setor, calculada a partir da equação de Mitchener e Torfs (1996); $0,015 \cdot (\text{densidade úmida} - 1000)^{0,73}$. Para o cálculo da anomalia normalizada foram considerados somente os dados de densidade coletados durante o PMBA.

2) Para cada medida horária de corrente próxima ao fundo, a tensão de cisalhamento de fundo foi calculada. O cálculo da tensão de cisalhamento de fundo foi feito através da equação de Reynolds ($\tau = -\rho \langle u' w' \rangle$), e utilizou os dados do ADCP 4 para o setor Norte e dados do ADCP 3 (ambos ADCPs vinculados ao Sub-Projeto Modelagem Numérica/Anexo 3 Marinho) para os setores Foz Norte, Foz Central e Foz Sul.

3) Para cada mês, a tensão de cisalhamento de fundo horária foi comparada à tensão crítica de ressuspensão mensal, e então foi calculada a porcentagem de tempo em que houve evento de mobilidade ao longo do mês. Na análise do indicador mobilidade do sedimento de fundo, o percentual de mobilidade foi avaliado em conjunto com a anomalia normalizada da tensão crítica de ressuspensão.

1.6. ANÁLISE MINERALÓGICA

As análises mineralógicas foram realizadas nas frações lamosas (tamanho do grão < 0,63 µm), após peneiramento via úmida dos sedimentos de fundo (metodologia de separação descrita no Item 1.3). O

limite de detecção é relacionado ao sinal/ruído das amostras quando lidas pelo difratômetro. Dessa forma, o limite de detecção de medidas mais simples é de 2.5% e nas mais apuradas é de 0.5%. No protocolo de análises laboratoriais estabelecido, após 2 horas no difratômetro, os resultados são comparados aos resultados obtidos nas análises de anos anteriores. Havendo discrepâncias, as amostras seguem para análise em fluorescência de raios-x para determinação química elementar e são novamente submetidas à difratometria por período de 14 horas. Uma vez confirmados os resultados, as amostras seguem para análise de susceptibilidade magnética.

O procedimento analítico interpretativo das fases minerais na difratometria de Raios-X, têm como fontes principalmente fichas e bases minerais existentes na literatura e WEB, onde são listados parâmetros relativos aos distanciamentos dentro dos retículos cristalinos, além das relações angulares e axiais em diferentes espécies minerais. Neste sentido, o volume relativo de fases minerais percentualmente pode ser verificado através das áreas dos picos de intensidade do sinal por comparação entre picos de espécies diferentes (refinamento Rietveld).

Seguindo a convenção usual para representação geoquímica elementar de rochas e sedimentos (Rollinson, 1993), os elementos nos resultados das análises de fluorescência de raios-X estão expressos em óxidos e recalculados para 100% em peso em base anidra. O ferro total está expresso em FeOtotal. São considerados minerais essenciais aqueles que são superiores a 10%. Os minerais são aqueles que possuem teores menores de 10% e maiores que 1%. Os minerais que apresentam teores < 1% são considerados traço.

O erro máximo encontrado até o momento através desta técnica é de $\pm 5\%$ em volume. A química por fluorescência de raios-X complementa as informações da difração, fornecendo os principais constituintes químicos presentes em porcentagem em peso e partes por milhão (ppm), além de parâmetros quantitativos ao longo do tempo. A montagem que realiza a medida da susceptibilidade magnética ac (χ_{ac}) foi totalmente construída na UFES, onde a precisão de configuração é de 1 ppm.

Os resultados foram ratificados pelas medições de susceptibilidade magnética nas fases minerais que contém ferro (principalmente óxidos e hidróxidos). Os dados adquiridos em amostras prévias ao rompimento da barragem (2012) foram utilizados como amostras controle para fins de comparação, nomeadas de valor de referência. Os mapas indicativos da distribuição espacial de fases minerais com ferro (FeOtotal) e susceptibilidade magnética, foram elaborados no software livre QGIS 2.18.

A verificação da presença do rejeito da Barragem de Fundão em sedimentos marinhos foi realizada através do reconhecimento do aumento relativo total de fases minerais como hematita, goethita, grenalita-T, maghemita e magnetita, as quais representam óxidos de ferro e silicatos contendo ferro das amostras analisadas (suíte de minerais com ferro), comparativamente aos dados de amostras anteriores ao rompimento da barragem. Da mesma forma, verificou-se aumentos nas susceptibilidades magnéticas totais e nas quantidades totais de ferro (FeOtotal). Para caracterização da química mineral

foram considerados como parâmetro o ferro total ($\text{FeO}_{\text{total}}$), a alumínio (Al_2O_3), a sílica (SiO_2) e o cálcio (CaO) por representarem os principais componentes presentes nas fases minerais encontradas nas amostras identificadas.