

## ESTUDO E MONITORAMENTO AMBIENTAL DAS ÁREAS DULCÍCOLA-ES, ESTUARINA E MARINHA (ANEXO 3 - MARINHO)

### 1. EQUIPE TÉCNICA – COORDENADORES DOS SUB-PROJETOS

| Nome                            | Função                     | Instituição |
|---------------------------------|----------------------------|-------------|
| Gilberto Barroso                | Coordenação Geral Anexo    | UFES        |
| Alessandra Delazari Barroso     | Coordenador de Sub-Projeto | FAESA       |
| Anderson Geyson Alves de Araújo | Coordenador de Sub-Projeto | UFES        |
| Björn Gücker                    | Coordenador de Sub-Projeto | UFSJ        |
| Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna | Coordenador de Sub-Projeto | UFOP        |
| Iola Gonçalves Boechat          | Coordenador de Sub-Projeto | UFSJ        |
| Valéria de Oliveira Fernandes   | Coordenador de Sub-Projeto | UFES        |
| Marco Aurélio Caiado            | Coordenador de Sub-Projeto | IFES        |
| Edmilson Costa Teixeira         | Coordenador de Sub-Projeto | UFES        |
| Daniel Rigo                     | Coordenador de Sub-Projeto | UFES        |

### 2. ESCOPO

Avaliação e Monitoramento biológico e da qualidade de água e sedimentos da área dulcícola referente ao Estado do Espírito Santo definida nos Anexos 2 e 3 do TR 4. O estudo de avaliação envolve a análise de integração da bacia hidrográfica com a região costeira e marinha englobando a análise de fluxos, bem como estudos hidrobiológicos (macrófitas aquáticas, fitoplâncton, zooplâncton e perifiton), hidroquímicos (material particulado em suspensão, nutrientes, metais, etc) e qualidade do sedimento.

Em função da sobreposição destes temas nos Anexos 2 e 3, foi enviado um documento à CTBio solicitando uma adequação da metodologia de coleta, frequência amostras e reposicionamento e otimização de estações ao longo do rio e lagos. Em reunião realizada em 18 de julho de 2018, a CTBio aprovou as seguintes modificações:

1. Nova estação amostral na calha do Rio Doce à jusante da UHE de Mascarenhas;
2. Reposicionamento das estações amostrais nos lagos Limão, Nova e Juparanã;
3. Inclusão de mais uma estação amostral na lagoa Monsarás (lagoa da planície costeira com influência marinha);
4. Amostragem hidroquímica em rios nas profundidades de subsuperfície e fundo em vez de subsuperfície, meio e fundo;
5. Amostragem hidroquímica e plâncton em meia profundidade nas lagos com menos de 3,0 m de profundidade;
6. Inclusão de uma amostragem anual de testemunho de sedimento em cada lago para análise de granulometria, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, fósforo, elementos traço e marcadores moleculares para determinação da origem da matéria orgânica e, possivelmente, datação com isótopo;
7. Frequência amostral do fitoplâncton, zooplâncton, perifiton e macrófitas aquáticas mensal em vez de quinzenal;
8. Articulação com empresa de consultoria para amostragem de zoobentos, ictioplâncton e nécton que irá desenvolver o Anexo 2.

Desta maneira, as amostragens ao longo do rio e nos lagos totalizam 12 estações. As metas e descrição metodológica dos estudos a serem realizados seguem este documento, porém o número de estações a serem monitoradas e a frequência serão ainda adequadas seguindo o documento aprovado pela CTBio. Ao final deste Apêndice, está incluído o documento apresentado à CTBio.

**ESTUDO E MONITORAMENTO AMBIENTAL DAS ÁREAS DULCÍCOLA-ES,  
ESTUARINA E MARINHA (ANEXO 3 - DULCÍCOLA)**

**PROJETO: COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA  
DULCÍCOLA**

**1. EQUIPE TÉCNICA**

| Nome                                       | Função   | Instituição |
|--|--|-------------|
| Alessandra Delazari Barroso<br>(Doutor II) | Coordenador do projeto   | FAESA       |
| Mestre I                                   | Auxílio nas análises qualitativas e quantitativas do fitoplâncton                | UFES        |
| Profissional júnior                        | Auxílio no processamento das análises qualitativa e quantitativa do fitoplâncton | UFES        |
| Bolsista de IC                             | Auxílio nas análises das amostras e demais atividades no laboratório             | FAESA       |
| Bolsista de IC                             | Auxílio nas análises das amostras e demais atividades no laboratório             | FAESA       |
| Bolsista de IC                             | Auxílio nas análises das amostras e demais atividades no laboratório             | FAESA       |

**2. ESCOPO**

O monitoramento da qualidade da água do rio Doce e ambientes lacustres adjacentes, com base na ecofisiologia do fitoplâncton lacustre em 10 estações amostrais do Anexo 3 'Estudo e monitoramento ambiental no Rio Doce, área estuarina e marinha (Área Ambiental 1)' nos ecossistemas aquáticos continentais do Baixo Rio Doce, constante no Termo de Referência 4 - Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, em um período de 12 meses. Os dados brutos e produtos esperados contemplam o inventário de espécies e sua variação espaço-temporal, bem como a avaliação da relação da qualidade da água com a saúde pública, relacionada à ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas, como descritos nos itens a seguir.

**3. OBJETIVO**

Caracterizar a composição específica e a estrutura da comunidade fitoplanctônica através dos parâmetros riqueza, diversidade, equitabilidade, dominância, biomassa e ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas.

**4. METAS E JUSTIFICATIVAS**

**Meta 4:** Monitoramento ambiental da área dulcícola em 10 estações ao longo da bacia do Rio Doce: Fitoplâncton dulcícola

As microalgas são consideradas excelentes bioindicadores da qualidade da água e seu estado trófico, pelo fato de serem espécies de ampla distribuição, por respondem de forma rápida às variações ambientais (Casé *et. al.*, 2008), além de poder acumular inseticidas, herbicidas e metais pesados (Anagnostidis & Economou-Amilli, 1980). Assim, espécies fitoplanctônicas podem indicar o grau de poluição de determinado ecossistema, pois algumas espécies com tolerância se adaptam ou são beneficiadas pela poluição e outras são sensíveis às mudanças na qualidade das águas e podem ser eliminadas, causando mudanças na diversidade de espécies. Esse parâmetro pode indicar o grau de estresse a que um ambiente é submetido, principalmente por ações antrópicas.

O plâncton fotossintetizante, principalmente cianobactérias, é positivamente influenciado pela disponibilidade de ferro no ambiente. A baixa disponibilidade de ferro tem sido reportada como um fator limitante para as cianobactérias (Hyenstrand *et al.*, 2000), e possivelmente para outras espécies do fitoplâncton. Logo, o aumento na disponibilidade de ferro, decorrente de atividades antrópicas como a mineração, pode influenciar positivamente o crescimento das espécies, resultando em florações. Porém, nutrientes necessários em concentrações traço, como o ferro, quando em grandes concentrações, pode provocar efeitos tóxicos ao longo da cadeia trófica, diminuindo a diversidade e abundância de espécies fitoplanctônicas, pequenos invertebrados e peixes (Vuori, 1995).

Logo, estudos que visem caracterizar a comunidade fitoplanctônica qualitativa e quantitativamente são necessários em diagnósticos ambientais ou monitoramentos para subsidiar a tomada de decisões acerca do manejo e recuperação da qualidade ambiental dos ecossistemas aquáticos e suas bacias hidrográficas.

## 5. PRODUTOS

| <b>5.1. DADOS BRUTOS</b><br><i>(Listar os dados que serão entregues como produto, segundo o TR4, tanto os coletados in situ como os processados no laboratório)</i>   | <b>RESPONSÁVEL</b><br><i>(Pessoal Vinculado)</i> |
|---|--|
| Densidade e biomassa do fitoplâncton dulcícola<br>Riqueza de espécies<br>Diversidade de Shanon & Wiener,<br>Equitabilidade de Pielou<br>Dominância de Simpson<br>Cianobactérias potencialmente tóxicas  | Prof. Dr. Alessandra Delazari-Barroso            |
| <b>5.2. ANÁLISE DE DADOS</b><br><i>(Relacionar as análises que serão feitas e entregues até o 15º mês de vigência do Projeto)</i>   | <b>RESPONSÁVEL</b><br><i>(Pessoal Vinculado)</i> |
| Análise espaço-temporal da variação da comunidade fitoplanctônica e sua relação com as variáveis físico-químicas da água, principalmente temperatura, pH, condutividade elétrica, luminosidade, concentrações de nitrogênio, fósforo, ferro e clorofila <i>a</i> .<br>Análise do potencial de produção de toxinas por cianobactérias e relação com a saúde pública. | Prof. Dr. Alessandra Delazari-Barroso            |

## 6. METODOLOGIA

As amostras da comunidade fitoplanctônica serão coletadas mensalmente, em um período de 12 meses, em 10 estações de amostragem ao longo do Rio Doce (região do estado do Espírito Santo).

Para análise qualitativa do fitoplâncton na calha do rio e nos ambientes lacustres, será utilizado o método do arrasto superficial com rede de plâncton de abertura de malha de 20 µm, na subsuperfície (aproximadamente 30 cm de profundidade), sendo uma amostra por ponto amostral. A amostra coletada em cada ponto será dividida em duas partes, acondicionadas em frascos de polietileno (100 ml): uma será fixada com formol 4% - adicionar 10 mL; o outro frasco deverá ser mantido sem preservante, em caixa térmica com gelo permanente, para análise do material vivo em laboratório (não congelar). As espécies serão analisadas em microscópio óptico Olympus CX41, equipado com ocular micrometrada e câmara clara. A identificação será realizada ao menor nível taxonômico possível usando bibliografias específicas.

Densidade, biomassa e diversidade do fitoplâncton

Para o estudo quantitativo do fitoplâncton na calha do rio Doce, deverá ser coletada uma amostra de 100 mL de água em cada ponto amostral, submergindo o frasco a 30 cm de profundidade. Nos ambientes lacustres, amostras de 100 ml de água deverão ser coletadas na subsuperfície e na profundidade de 1% da radiação solar incidente na superfície, com garrafa de Van Dorn. Assim, pode-se obter a variação vertical do fitoplâncton nos ambientes lênticos, que, aliada aos dados de perfilagem físicos, químicos e físico-químicos, determinados no subprojeto da Meta 1 dessa proposta, podem definir o padrão de funcionamento lacustre e fornecer respostas acerca da produtividade e sucessão de espécies relacionadas às mudanças ambientais espaço-temporais no sistema lacustre do Baixo Rio Doce.

Todas as amostras quantitativas (calha do rio e ambientes lacustres) deverão ser acondicionadas em frascos de vidro âmbar (100 ml) e fixadas com solução de lugol acético. A densidade do fitoplâncton deverá ser estimada pelo método de Utermohl, em microscópio invertido Nikon Ts-100F em aumento de 400x, usando-se tempo de sedimentação de, pelo menos, 3 horas para cada centímetro de altura da câmara (MARGALEF, 1983). O volume sedimentado por amostra será de 10 ml.

A densidade fitoplanctônica (ind.ml<sup>-1</sup>) será calculada através da seguinte fórmula, descrita por LUND *et. al.* (1958):

$$(\text{ind.ml}^{-1}) = n \{ 1 / [ (sch) / 1000 \times 100000 ] \}$$

Onde:

n = número de indivíduos contados

s = área do campo de contagem ( $\mu\text{m}^2$ )

c = número campos contados

h = altura da câmara (mm)

A diversidade da comunidade fitoplanctônica será determinada através do índice de diversidade de Shannon e Weaver (1949). A equitabilidade será estimada segundo PIELOU (1975) e a dominância será estimada através do índice de SIMPSON (1949). A biomassa do fitoplâncton será estimada através das concentrações de clorofila *a*, determinadas no subprojeto da Meta 1 dessa proposta. A ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas será analisada segundo a lista de espécies tóxicas com ocorrência no Brasil, publicada por SANT'ANNA *et al.* (2008).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anagnostidis, K. & Economou-Amilli, A. Limnological Studies on Lake Pamvotis (Ioannina), Greece, I. Hydroclimatology, Phytoplankton-Periphyton with special reference to the Valency of some microorganisms from sulphureta as bioindicators. *Archiv fur Hydrobiologie* 89 (3): 313-342. 1980.
- Casé, M. *et al.* Plankton community as an indicator of water quality in tropical shrimp culture ponds. *Marine Pollution Bulletin*, v.56, p. 1343-1352, 2008.
- HYENSTRAND, P.; RYDIN, E. & GUNNERHED, M. Response of pelagic cyanobacteria to iron additions - enclosure experiments from Lake Erken. *Journal of Plankton Research* 22 (6): 1113-1126. 2000.
- Lund, J.W.G.; Kipling, C.; Le Cren, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiology*, v.11, p.143-170.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnologia*. Barcelona: Omega.
- Pielou, E. C. *Ecological diversity*. New York: Wiley, 1975.
- Sant'anna C.L.; Werner, T.P.; Dogo, V.R.; Rios, C.R. and Carvalho, F.R. de 2008. Review of toxic species of Cyanobacteria in Brazil. *Algological Studies*, 126:251-265,.
- Shannon, C. E. & Weaver, W. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois, Urbana, Illinois.
- Simpson, E. H. 1949. *Measurement of diversity*. Nature 163: 688.
- Vuori, K.-M. Direct and indirect effects of iron on river ecosystems. *Annales Zoologici Fennici* 32: 317-329. 1995.

**ESTUDO E MONITORAMENTO AMBIENTAL DAS ÁREAS DULCÍCOLA-ES,  
ESTUARINA E MARINHA (ANEXO 3 - DULCÍCOLA)**

**PROJETO: COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DA COMUNIDADE ZOOPLANCTÔNICA  
DULCÍCOLA**

**1. EQUIPE TÉCNICA**

| Nome                            | Função                    | Instituição |
|---------------------------------|---------------------------|-------------|
| Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna | Coordenadora              | UFOP        |
| Davi Silva                      | Apoio técnico - Doutorado | UFOP        |
| Edissa Silva                    | Apoio técnico – Médio     | UFOP        |
| Pós- Doutor                     | Análise de Dados          | UFOP        |
| Bolsista IC (3)                 | Análise de Amostras       | UFOP        |

**2. ESCOPO**

Em novembro de 2015 o rompimento da barragem de Fundão despejou na bacia do Rio Doce aproximadamente 32 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito de mineração de ferro. A lama de rejeitos percorreu cerca de 680 km ao longo dos rios Gualaxo, Carmo e Doce, até desaguar no Oceano Atlântico na porção do Estado do Espírito Santo (ES) (MMA & ICMBIO, 2017). As águas dos rios, dos seus afluentes e das lagoas adjacentes - bem como a área marítima atingida - tiveram a qualidade afetada, resultante da entrada do rejeito na matriz aquática (Lopes, 2016).

A comunidade zooplânctônica é utilizada como bioindicadora de impactos na matriz aquática (Amsinck Et Al., 2007; Jeppesen Et Al., 2011; Sodr e et al., 2015). Nos ecossistemas aquáticos, as alterações na composição das espécies de organismos de reprodução rápida como os organismos zooplânctônicos é a reação mais sensível às drásticas alterações da matriz aquática (Schindler, 1987). Isso ocorre porque o zooplâncton, além de possuir um tamanho corporal pequeno (dimensão linear máxima inferior a 1 mm), apresenta ciclo de vida curto, respondendo de maneira rápida às ações antrópicas, incluindo alterações na estrutura da população e da comunidade (Attayde & Bozelli, 2011).

Alguns aspectos universais das comunidades aquáticas têm sido considerados como preditores de impactos ambientais: composição, distribuição quantitativa das espécies, diversidade, tamanho e biomassa. Mais recentemente, a incorporação da análise funcional tem sido considerada uma ferramenta preditiva robusta para a avaliação de impactos ambientais. Dentre os vários componentes da diversidade biológica, a diversidade funcional pode ser considerada como uma abordagem que transcende os conceitos tradicionais associados às comunidades, pois congrega de forma clara os vários modos como os organismos respondem à variabilidade ambiental (Gerisch et al., 2012).

**3. OBJETIVO**

O presente projeto tem como principal objetivo verificar a composição de espécies, riqueza, diversidade e biomassa da comunidade zooplânctônica em 10 estações amostrais do Anexo 3 'Estudo e monitoramento ambiental no Rio Doce, área estuarina e marinha (Área Ambiental 1)' nos ecossistemas aquáticos continentais do Baixo Rio Doce, constante no Termo de Referência 4 - Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática. Para avaliar se a comunidade zooplânctônica mantém ativo seu padrão de recrutamento (ingresso de novos indivíduos), o número de fêmeas ovadas e de embriões também serão mensurados como um indicativo do *fitness* populacional.

**4. METAS E JUSTIFICATIVAS**

**Meta 1 - Monitoramento da Comunidade Zooplânctônica nos ecossistemas aquáticos do Baixo Rio Doce (ES)**

Coleta de amostras da comunidade zooplânctônica das lagoas dulcícolas do Baixo do Rio Doce, em pontos amostrais representativos da área afetada dos ecossistemas fluvial, lacustres e estuarino.

**Meta 2 - Avaliação da estrutura da comunidade zooplânctônica nos ecossistemas aquáticos do Baixo Rio Doce**

A partir das análises das amostras serão relacionadas as espécies zooplânctônicas, o aspecto quantitativo da comunidade (abundância relativa e densidade de organismos) e a diversidade de espécies da comunidade.

### Meta 3 - Biomassa da comunidade zooplancônica nos ecossistemas aquáticos do Baixo Rio Doce

Determinação da biomassa (ug.peso seco. m<sup>-3</sup>) das principais espécies zooplancônicas como elemento de análise da contribuição da comunidade para o fluxo de energia e categorização das categorias de tamanho do zooplâncton.

### Meta 4 - Avaliação do *fitness* da comunidade zooplancônica nos ecossistemas aquáticos do Baixo Rio Doce

Avaliação da presença de fêmeas ovadas, larvas e formas imaturas como descritores do ingresso de novos indivíduos para a comunidade zooplancônica.

## 5. PRODUTOS

| <b>5.1. DADOS BRUTOS</b><br><i>(Listar os dados que serão entregues como produto, segundo o TR4, tanto os coletados in situ como os processados no laboratório)</i>  | <b>RESPONSÁVEL</b><br><i>(Pessoal Vinculado)</i>  |
|--|---|
| Comunidade zooplancônica dulcícola <ul style="list-style-type: none"> <li>- Composição de espécies</li> <li>- Densidade (organismos/m<sup>3</sup>) e Abundância relativa das espécies (%)</li> <li>- Riqueza, Uniformidade e Diversidade de espécies com o uso de Índice de Shannon</li> <li>- Biomassa (ug.Peso Seco.m<sup>3</sup>) e categorias de tamanho do zooplâncton</li> <li>- Indicadores do ingresso de novos indivíduos para a comunidade zooplancônica (<i>fitness</i>)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Profa. Dra. Eneida M. Eskinazi Sant'Anna</li> <li>- Bolsista Pós-Doutorado</li> <li>- Bolsista Apoio Técnico</li> <li>- Bolsista IC</li> </ul> |

| <b>5.2. ANÁLISE DE DADOS</b><br><i>(Relacionar as análises que serão feitas e entregues até o 15º mês de vigência do Projeto)</i>  | <b>RESPONSÁVEL</b><br><i>(Pessoal Vinculado)</i>  |
|--|---|
| <p>Análise espaço-temporal da composição de espécies zooplancônicas e da distribuição quantitativa das comunidades (espécies dominantes, espécies raras, categorias funcionais dominantes - micro, meso ou macrozooplâncton);</p> <p>Avaliação da diversidade de espécies considerando o grau de uniformidade da comunidade, riqueza e diversidade de espécies através de índices quantitativos</p> <p>Análise da biomassa zooplancônica em função das espécies dominantes e categorias de tamanho predominantes, considerando a integração de dados com outros ecossistemas aquáticos continentais similares</p> <p>Investigação dos indicadores que sugerem o recrutamento de indivíduos na comunidade zooplancônica através da presença de fêmeas ovadas e formas jovens, como parâmetro indicador da qualidade do habitat dulcícola.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Profa. Dra. Eneida M. Eskinazi Sant'Anna</li> <li>- Bolsista Pós-Doutorado</li> <li>- Bolsista Apoio Técnico com Doutorado e Médio</li> <li>- Bolsista IC</li> </ul> |

## 6. METODOLOGIA

Amostras de zooplâncton serão coletadas em 10 estações amostrais nos ecossistemas aquáticos do Baixo Rio Doce. Para obtenção das amostras será inicialmente determinada a profundidade máxima local e a extensão da zona fótica. As amostras verticais serão coletadas em profundidades distintas desde o

epilimnio até o hipolimnio, com garrafa tipo Van Dorn. Para cada amostra serão obtidos 100 litros de água, posteriormente filtradas em rede de plâncton de 45 µm de abertura de malha. Antes da fixação com formol açucarado e neutralizado na concentração de 4%, os organismos serão anestesiados com adição de água tônica nas amostras (5ml), para evitar a contração de espécimes. (Bicudo & Bicudo, 2007).

Para a análise quantitativa do zooplâncton, toda a amostra será examinada. Para o microzooplâncton (rotíferos), subamostras de 1ml serão analisadas em câmara de Sedgwick-Rafter em microscópio óptico equipado com ocular milimetrada. Para análise do mesozooplâncton (copépodos e cladóceros) toda a amostra será examinada em estereomicroscópio, com subamostras de 5ml tomadas da amostra total. Serão obtidas imagens dos espécimes para a tomada de medidas morfométricas posteriores e análise taxonômica. Os espécimes triados serão catalogados e mantidos na coleção do Laboratório de Ecologia Aquática da Universidade Federal de Ouro Preto.

As espécies zooplanctônicas serão reunidas em categorias de constância de ocorrência, onde a espécie constante será aquela que possuir evidência em mais de 50% das amostras; a espécie acessória será a que estará presente em 25 a 50% das amostras; e a espécie acidental, em menos de 25% das amostras (MALABARBA et al., 2004). Serão obtidos dados da densidade (org/m<sup>3</sup>), riqueza e diversidade (H'), o tamanho corporal, bem como a proporção de fêmeas ovadas e número de embriões presentes na amostra para a estimativa de recrutamento.

A equitabilidade será expressa pelo *Índice de Pielou*:

$$J' = [H'(\text{observado}) / H'\text{máximo}]$$

Em que "H'máximo" representa a diversidade máxima possível que pode ser observada se todas as espécies apresentarem igual abundância :: H' máximo = log S (número total de espécies). A diversidade será expressa através da função entre o número de espécies e a equitabilidade dos valores de importância da mesma. Para tanto, será utilizado o índice de Shannon – Wiener (1949).

$$H' = - \sum p_i (\log p_i)$$

A biomassa zooplanctônica será obtida com base no método alométrico, que consiste no uso de equações exponenciais, as quais relacionam dimensões lineares dos organismos e seu peso seco, por meio de regressões entre o comprimento do animal (µm) vs. o seu peso individual. As fórmulas a serem utilizadas são:

$$B = a.L^b$$
$$\ln B = c + b.\ln L$$

Onde c = ln a e "a" e "b" são coeficientes específicos para cada espécie zooplanctônica (Bicudo & Bicudo, 2007).

Modelos de variância (ANOVA, MANOVA) serão utilizados de acordo com o teste de normalidade dos dados. Modelos gerais lineares (GLM ou GLLM) e de mínimos quadrados serão utilizados para avaliar a relação da característica limnológica dos sistemas estudados (parâmetros limnológicos obtidos no sub-Projeto de caracterização limnológica dos ecossistemas aquático do Baixo Rio Doce) e indicadores contínuos e categóricos da comunidade zooplanctônica. A análise Canônica é uma técnica multivariada usualmente utilizada para constatar a associação entre o conjunto de variáveis (concentração de partículas orgânicas e inorgânicas) com outras variáveis (diversidade, abundância, riqueza e biomassa dos organismos zooplanctônicos

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amsinck, S. L.; Jeppesen, E. & Verschuren, D. (2007). Use of Cladoceran Resting Eggs to Trace Climate-driven and Anthropogenic Changes in Aquatic Ecosystems. *Diapause in Aquatic Invertebrates*. p.135-157.
- Attayde, J. L. & Bozelli, R. L. (2011). Assessing the indicator properties of zooplankton assemblages to disturbance gradients by canonical correspondence analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 55(8):1789-1797.
- Bicudo, C. E M. & Bicudo, D. C. (2007). *Amostragem em Limnologia*. Cap 9: Métodos de coleta, preservação, contagem e determinação de biomassa em zooplâncton de águas epicontinentais. 2ª ed. São Carlos, SP.

Jeppesen, E.; Nøges, P.; Davidson, T. A.; Haberman, J.; Nøges, T.; Blank, K.; Lauridsen, T. L.; Søndergaard, M.; Sayer, C.; Laugaste, R.; Johansson, L. S.; Bjerring, R. & Amsinck, S. L. (2011).- Zooplankton as indicators in lakes - a plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia*, 676:270-297.

Lopes, L. M. N. (2016). The rupture of the Mariana dam and its social-environmental impacts. Pontífica Universidade Católica de Minas Gerais, *Revista Sinapse Múltipla*, 5(1):1-14.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE & (ICMBIO) Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (2017). Termo De Referência 4. *Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática*.

Schindler, D.W. (1987). Detecting ecosystem responses to anthropogenic stress. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* V. 44.

Sodré E.O., Lopes, P.M. Figueiredo-Barros, MP., Roland, F., Esteves, FA., Bozelli, R. 2015. The effects of mining tailings and flood pulse on zooplankton in an Amazonian floodplain environment (Batata Lake, Pará, Brazil). *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi. Cienc. Nat.*, 20: 247-259.



## ESTUDO E MONITORAMENTO AMBIENTAL DAS ÁREAS DULCÍCOLA-ES, ESTUARINA E MARINHA (ANEXO 3 - DULCÍCOLA)

### PROJETO: COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DA COMUNIDADE DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

#### 1. EQUIPE TÉCNICA

| Nome                     | Função                  | Instituição |
|--------------------------|-------------------------|-------------|
| Anderson Alves Araújo    | Coordenador             | UFES/CEUNES |
| Tainã de Souza           | Pesquisador (Mestre II) | UFES/CEUNES |
| Renara Nichio Amaral     | Técnico Nível Superior  | UFES/CEUNES |
| Victor Miranda Santos    | Técnico Nível Médio     | UFES/CEUNES |
| Fabrcia Souza dos Santos | Técnico Nível Médio     | UFES/CEUNES |

#### 2. ESCOPO

Macrófitas aquáticas são organismos visíveis a olho nu e que apresentam partes fotossinteticamente ativas, permanente a temporariamente submersas ou flutuantes (Cook *et al.* 1974). Elas apresentam uma ampla diversidade de características, tais quais ciclo de vida relativamente curto e estruturas anatômicas constituídas basicamente, por aerênquima bem desenvolvido (Junior 2003). E, segundo Irgang *et al.* (1984), as formas biológicas são classificadas de acordo com a distribuição no corpo d'água como submersas (fixas ou livres), flutuantes (fixas ou livres), emergentes, anfíbias ou epífitas.

Devido às suas adaptações, as macrófitas são consideradas excelentes bioindicadores da qualidade de água e em conjunto com estudos florístico-taxonômicos, atuam como elementos importante para caracterização dos sistemas aquáticos continentais (Junior 2003; Lima *et al.* 2013). Independentemente da diversidade filogenética e taxonômica, as macrófitas apresentam classificação ecológica ou forma biológica que refletem sua adaptação ao meio aquático (Alves *et al.* 2011) e são, em sua grande maioria, angiospermas, porém outros grupos de organismos podem ser enquadrados como macrófitas, dentre eles: macroalgas, plantas avasculares e vasculares sem sementes (Junior 2003).

Dentro de um ecossistema aquático natural e equilibrado, as macrófitas e outras plantas aquáticas oferecem um importante habitat para diversos tipos de animais, dentre eles: aves aquáticas, invertebrados e peixes. Essa vegetação apresenta formas submersas, emergentes ou flutuantes e é encontrada nas margens de lagos e em toda zona eufótica (Muhammetog̃lu & Soyupak 2000). Além disso, elas desempenham um importante papel na dinâmica dos ecossistemas aquáticos, especialmente na indicação da vulnerabilidade ambiental tendo em vista que essas plantas respondem, positiva- ou negativamente, a diferentes gradientes ambientais (Esteves, 1998)

Atuantes como bioindicadores, a variação da composição das assembleias de macrófitas aquáticas pode determinar, por sua vez, os padrões de diversidade de outras assembleias biológicas. A presença, quantidade e distribuição de determinadas espécies podem indicar a magnitude de alguns impactos ambientais em um ecossistema aquático (Kovács 1992; Callisto & Gonçalves 2002; Callisto *et al.* 2005). Para tanto, dentre os principais métodos utilizados para verificação do efeito bioindicador estão o levantamento de espécies, a avaliação das modificações na riqueza e os índices de diversidade; abundância de organismos resistentes; perda de espécies sensíveis; medidas de produtividade primária e secundária; sensibilidade a concentrações de substâncias tóxicas (ensaios ecotoxicológicos) (Barbour *et al.* 1999).

Dada a relevância ecológica e fisionômica, e em decorrência do rompimento da barragem de Fundão, pertencente à Samarco, localizada no complexo minerário de Germano, em Mariana-MG (ocorrido em 05/11/2015, conforme item I da Cláusula 01), a presente proposta tem por objetivo determinar e monitorar a biodiversidade de macrófitas aquáticas da região da Bacia do Rio Doce que foi diretamente afetada.

#### 3. OBJETIVO

1. Identificar taxonomicamente a riqueza e composição das espécies de macrófitas aquáticas (Plantas Vasculares sem Sementes e Angiospermas);
2. Identificar a distribuição geográfica e elaborar mapas georreferenciados das espécies ocorrentes na Bacia do Rio Doce;

3. Elaborar guia(s) fotográfico(s) para identificação das espécies em seu hábitat.

#### 4. METAS E JUSTIFICATIVAS

**Meta 4: Monitoramento ambiental da área dulcícola em 10 estações ao longo da bacia do Rio Doce:**  
Caracterização de da comunidade de macrófitas aquáticas

##### Submeta 1 - Coleta de Dados

Realizar expedições de coleta mensais por um período de doze meses, a partir do início da execução da proposta, nas áreas pré-estabelecidas ao longo do curso do Rio Doce no estado do Espírito Santo.

**Justificativa** - Coleta de material botânico para elaboração de uma lista de espécies, a partir da determinação da riqueza e composição estimadas das espécies nas áreas amostradas.

##### Submeta 2 - Análise de Dados

Comparar os componentes da diversidade (riqueza, abundância e composição), entre as áreas afetadas e não afetadas e ao longo do tempo de recuperação.

**Justificativa** - Monitoramento das mudanças das comunidades em resposta às possíveis modificações abióticas decorrentes da recuperação das características originais do rio.

##### Submeta 3 - Distribuição espacial

Diagnosticar habitats preferenciais das espécies e indicar possíveis endemismos até o final do projeto.

**Justificativa** - Análises dessa natureza são utilizadas para determinação de possíveis áreas de proteção baseadas nas informações de distribuição geográfica ou especificidade ambiental.

##### Submeta 4 - Guias Fotográficos

Montar um banco de imagens das espécies em seu ambiente natural.

**Justificativa** - Imagens das características diagnósticas que melhor se apliquem à identificação específica são de extrema relevância para elaboração de diagnósticos ambientais rápidos.

#### 5. PRODUTOS

| 5.1. DADOS BRUTOS  | RESPONSÁVEL           |
|--|-----------------------|
| Riqueza e composição de espécies de macrófitas<br>Similaridade florística<br>Espécies indicadoras (Exóticas/Endêmicas/Ameaçadas) | Anderson Alves Araújo |

| 5.2. ANÁLISE DE DADOS   | RESPONSÁVEL           |
|---|-----------------------|
| Identificação dos grupos de plantas macrófitas vasculares sem sementes e angiospermas coletados na foz do Rio Doce e regiões adjacentes (mensal).<br><br>Comparação da composição florística com outras áreas de semelhantes condições abióticas para verificação da similaridade entre áreas.<br><br>Discussão sobre espécies indicadoras e qualidade de ambiente. | Anderson Alves Araújo |

#### 6. METODOLOGIA

##### Coleta de material botânico - Riqueza, Composição, Distribuição

As expedições de coleta para macrófitas aquáticas (Plantas Vasculares sem sementes e Angiospermas) serão feitas mensalmente (ao longo de 12 meses). Para amostragem, as plantas deverão ser coletadas conforme estabelecido no Anexo 3, utilizando um quadrado de 0,5 m<sup>2</sup> que deverão ser lançados três vezes aleatoriamente em cada um dos pontos dentro da malha amostral. Para cada ponto

amostral serão medidas a distância das margens, a transparência e a profundidade da água com fita métrica, disco de Secchi e corda graduada, respectivamente.

Os espécimes férteis (frondes para plantas vasculares sem sementes, flores e/ou frutos para as Angiospermas) devem ser coletados com no mínimo de três amostras e serem processados de acordo com os métodos usuais em taxonomia vegetal (Bridson & Forman 1998). As amostras deverão ser encaminhadas para o Laboratório de Sistemática e Genética Vegetal/PPGBT/CEUNES/UFES para posterior envio para a coleção biológica que as receberá - Herbário VIES (Universidade Federal do Espírito Santo). Sempre que possível, amostras adicionais deverão ser coletadas (flores e frutos) e acondicionadas em recipientes adequados e preservadas em álcool etílico 70%, para estudos morfológicos e identificação. Para as plantas vasculares sem sementes, uma amostra deve necessariamente ser coletada em álcool 70% (além das três amostras para exsiccatas).

Os representantes da flora serão acompanhados de seus respectivos registros fotográficos e os dados referentes às coordenadas geográficas serão obtidos por meio do aparelho de GPS (Global Positioning System).

As espécies serão identificadas por meio do método comparativo de vouchers e tipos nomenclaturais, depositados nos principais herbários estaduais (BHCB, CVRD, MBML, VIC, VIES), nacionais (RB, SPF) e internacionais (K, MO, NY), acrônimos de acordo com Thiers (2016), além da utilização das bibliografias específicas.

Para a classificação das formas biológicas das macrófitas aquáticas será seguido o proposto por Irgang et al. (1984), sendo as espécies categorizadas como: Submersa fixa - enraizadas e crescem totalmente submersas na água; Submersa livre - permanecem flutuando submersas na água; Flutuante fixa - são enraizadas e com folhas flutuando na superfície da água; Flutuante livre - permanecem flutuando com as raízes abaixo da superfície da água; e Anfíbia - plantas geralmente de margens; emergentes - enraizadas com folhas emergindo parcialmente.

## 7. REFERÊNCIAS

- Alves, J.A.A.; Tavares, A.S.; Trevisan, R. 2011. Composição e distribuição de macrófitas aquáticas na lagoa da Restinga do Massiambu, Área de Proteção Ambiental Entorno Costeiro, SC. *Rodriguésia* Vol. 62. 4: 785-801.
- Barbour, M.T.; Gerritsen, J.; Snyder, B.D.; ST RIBLING, J.B. 1999. *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish*. 2. ed. Washington, D.C.: Environmental Protection Agency; Office of Water. (EPA 841-B-99-002).
- Bridson, D. & Forman, L.1998. *The Herbarium Handbook*. Richmond: Royal Botanical Garden, Lubrecht & Cramer Ltd. 348p.
- Callisto, M. & Gonçalves, J.F.Jr. 2002. A vida nas águas das montanhas. *Ciência Hoje*, Vol. 31. 182: 68-71.
- Callisto, M., Gonçalves Jr., J.F.; Moreno, P. 2005. Invertebrados aquáticos como bioindicadores. In: Goulart, E.M.A. (Org.) *Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais: Proj. Manuelzão*. Belo Horizonte: Coopmed. Pp. 555-567.
- Cook, C.D.K.; Gut, B.J.; Rix, E.M.; Scheneller, J.; Seitz, M. 1974. *Water plants of the world*. The Hague: Junk Publishers. 568p.
- Esteves, F.A. 1998. *Fundamentos de Limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro-RJ: Ed. Interciência, 602p.
- Irgang, B.E.; Pedralli, G.; Waechter, J.I. 1984. Macrófitas aquáticas da Estação Ecológica do Taim, Rio Grande do Sul, Brasil. *Roessleria, Porto Alegre* Vol. 6: 395-404.
- Junior, I.B. 2003. Modelos de crescimento e decomposição de macrófitas aquáticas. In: Thomaz, S.M. & Bini, L.M. *Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas*. Editora da Universidade Estadual de Maringá. 341 p.
- Kovács, M. (Ed.). 1992. *Biological Indicators in Environmental Protection*. Tradução de Á. Máthé, Z. Tuba, J. L. Meenks, Zs. Csintalan. Chichester: Ellis Horwood. 125p.

- Lima, E.A.; Machado-Filho, H.O.; Melo, J.I.M. 2013. Angiospermas aquáticas da Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri, Paraíba, Brasil. *Rodriguésia* Vol. 64. 4: 667-683.
- Muhammetog̃lu, A. & Soyupak, S. 2000. A three-dimensional water quality-macrophyte interaction model for shallow lakes. *Ecological Modelling* Vol. 133: 161-180.
- Sneath, P.H.A. & Sokal, R.R. 1973. Numerical taxonomy. W. H. Freeman and Company, San Francisco. 549p.
- Thiers, B. 2016 [continuously updated]. *In*: Index Herbariorum: A global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. Disponível em <<http://sweetgum.nybg.org/ih/>>. Acesso em 22 novembro 2016.
- Westlake, D.F. 1975. Macrophytes. *In*: Whitton, B.A. (ed.). *River ecology*. University of California Press, Berkeley. Pp. 106-128.

## ESTUDO E MONITORAMENTO AMBIENTAL DAS ÁREAS DULCÍCOLA-ES, ESTUARINA E MARINHA (ANEXO 3 - DULCÍCOLA)

### PROJETO: CARACTERIZAÇÃO DA COMUNIDADE PERIFÍTICA FLUVIAL E LACUSTRE DO BAIXO RIO DOCE, ESPÍRITO SANTO

#### 1. EQUIPE TÉCNICA

| Nome                          | Função                                       | Instituição |
|-------------------------------|--|-------------|
| Valéria de Oliveira Fernandes | Coordenadora de sub-projeto                  | UFES        |
| Stéfano Zorzal de Almeida     | Pós-doutorando/co-coordenador de sub-projeto | UFES        |
| Mestre II/Profissional Pleno  | Membro de Equipe                             | UFES        |
| Técnico Nível Médio           | Membro de Equipe                             | UFES        |

#### 2. ESCOPO

O presente projeto propõe a análise de material perifítico em termos de composição, estrutura e biomassa da comunidade algal, visando à avaliação de sua variação espaço temporal nas 10 estações amostrais do Anexo 3 'Estudo e monitoramento ambiental no Rio Doce, área estuarina e marinha (Área Ambiental 1)' nos ecossistemas aquáticos continentais do Baixo Rio Doce, constante no Termo de Referência 4 - Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática. Espera-se, assim, descrever um ciclo sazonal anual da variação da comunidade como base para a aplicação de métodos interdisciplinares de avaliação da qualidade ecológica, sendo complementar a outras áreas do conhecimento.

#### 3. OBJETIVO

O presente projeto tem como objetivo geral descrever e monitorar a comunidade de algas perifíticas do Baixo Rio Doce, na região do Espírito Santo, após o rompimento da barragem de minério de Mariana. Para tal, os objetivos específicos são: i) descrever a flora de algas perifíticas; ii) avaliar a variação espacial e temporal da abundância das espécies e da biomassa perifítica; iii) avaliar a qualidade ecológica do Baixo Rio Doce e de lagoas adjacentes a partir de espécies indicadoras da comunidade perifítica.

#### 4. METAS E JUSTIFICATIVAS

##### Meta 1 - Avaliação da qualidade ecológica do Baixo Rio Doce utilizando a comunidade perifítica

O perifíton é definido como uma complexa comunidade de microrganismos (algas, bactérias, fungos, protozoários, microcrustáceos), detritos orgânicos e inorgânicos aderidos ou associados a substratos naturais ou artificiais, vivos ou mortos (Wetzel, 1983). Uma vez que as comunidades perifíticas são compostas principalmente por algas (95 a 99% desta comunidade - Wetzel, 1990; Fernandes, 1997), elas podem ser importantes produtores primários em diversos ecossistemas aquáticos (representando até 85% da produção primária total), possuindo um reconhecido papel nos ciclos energéticos e de nutrientes, além de servirem de habitat e refúgio contra predadores para diversos organismos (Stevenson, 1996; Biggs & Kilroy, 2000).

A importância do perifíton vai além do funcionamento dos ecossistemas aquáticos, podendo ser utilizado como uma importante ferramenta de monitoramento da qualidade das águas. Dentre as características que fazem com que a comunidade seja boa bioindicadora de qualidade destacam-se (i) a capacidade de converter muitos compostos inorgânicos em orgânicos; (ii) o modo de vida sésil, juntamente com o curto ciclo de vida, que fazem com que o perifíton responda rapidamente às alterações ocorridas na água; (iii) a riqueza de espécies, se comparado às outras comunidades aquáticas, constituindo um rico sistema de informações para o monitoramento ambiental; (iv) a capacidade de acumular grandes quantidades de nutrientes e substâncias poluentes dissolvidos, integrando a qualidade da coluna d'água, e (v) por ser considerado um "ecossistema modelo", já que é adequado para avaliar colonização, sucessão, diversidade e estabilidade de comunidades (Lowe & Pan, 1996). Um dos principais usos dentro do biomonitoramento é a avaliação do estado trófico dos corpos d'água (Almeida & Fernandes 2012, 2013). Contudo, o perifíton vem sendo utilizado com sucesso para a avaliação e monitoramento de alterações antrópicas causadas por mineração, desde alterações de pH, até a presença de metais, como o cádmio, chumbo, zinco e ferro (Hill et al., 2000; Besser et al., 2007; DeNicola & Lellock, 2015; McCauley & Bouldin, 2016). Com base no exposto, a comunidade perifítica é então uma importante ferramenta que deve ser

incluída na avaliação dos impactos dos rejeitos de minério de ferro, decorrentes do colapso da barragem de rejeitos de Fundão (Mariana, MG), no sistema lacustre e fluvial do baixo Rio Doce.

## 5. PRODUTOS

| <b>5.1. DADOS BRUTOS</b><br><i>(Listar os dados que serão entregues como produto, segundo o TR4, tanto os coletados in situ como os processados no laboratório)</i>     | <b>RESPONSÁVEL</b><br><i>(Pessoal Vinculado)</i>              |
|---|---|
| Lista de táxons de algas perifíticas; Abundância de espécies perifíticas; Concentração de clorofila-a do perifíton; Peso seco e peso seco livres de cinzas do perifíton | Valéria de Oliveira<br>Fernandes<br>Stéfano Zorzal de Almeida |

| <b>5.2. ANÁLISE DE DADOS</b><br><i>(Relacionar as análises que serão feitas e entregues até o 15º mês de vigência do Projeto)</i>  | <b>RESPONSÁVEL</b><br><i>(Pessoal Vinculado)</i>              |
|--|---|
| Análise da variação espacial e temporal da estrutura, composição e biomassa da comunidade perifítica ao longo do trecho capixaba do Baixo Rio Doce e de lagoas adjacentes; Análise das possíveis espécies indicadoras de degradação ambiental. | Valéria de Oliveira<br>Fernandes<br>Stéfano Zorzal de Almeida |

## 6. METODOLOGIA

### *Desenho amostral*

As amostras da comunidade perifítica serão coletadas mensalmente, durante 12 meses, em 10 estações de amostragem ao longo do Baixo Rio Doce, na região do estado do Espírito Santo. Em cada uma das estações amostrais localizadas em ambientes lóticos, serão coletadas três regiões, sendo uma em cada margem e outra na região da calha do rio. A comunidade perifítica somente será coletada na região da calha do rio se nela houver substrato consolidado (i.e., seixos ou macrófitas). Nas estações amostrais de ambientes lênticos, a comunidade perifítica será coletada na margem mais próxima à estação amostral, uma vez que esta comunidade não se desenvolve na região pelágica de ambientes mais profundos (onde foram estabelecidas as estações amostrais do presente estudo).

### *Coleta e análise (estrutura e biomassa) da comunidade perifítica*

Em cada uma das estações amostrais (e regiões das estações, no caso dos rios) serão coletadas, no mínimo, três unidades de um tipo substrato (a quantidade de substratos coletados deverá conter uma quantidade de material suficiente para os procedimentos analíticos). O tipo de substrato escolhido deverá ser comum às estações amostrais. Contudo, existe uma grande heterogeneidade espacial na Bacia do Rio Doce, e os substratos podem não estar presentes em todas as estações amostrais. De modo a manter o mesmo substrato sempre que possível, a escolha do substrato deverá seguir esta ordem: seixos (ou rochas), macrófitas fixas (enraizados), e macrófitas flutuantes. No caso do uso de macrófitas, deverão ser selecionadas aquelas mais abundantes ao longo das estações amostrais. Os substratos deverão ser coletados de forma que a área colonizada pelo perifíton possa ser determinada após a remoção do mesmo. No caso de substratos vivos (e.g., macrófitas), deverá ser observada a idade do substrato, sendo que estes devem ter aproximadamente a mesma idade (para evitar efeitos da sucessão nas análises) e não estarem em senescência (que também pode influenciar na estrutura da comunidade). Os substratos coletados deverão ser armazenados em frascos com pequena quantidade de água destilada (formando uma câmara

úmida), em baixa temperatura, até serem levados ao laboratório, onde serão raspados com escova de cerda macia e jatos de água destilada. Em cada estação amostral (ou região da estação amostral), deverá ser coletada uma quantidade de material perifítico suficiente para a análise qualitativa, quantitativa, de peso seco, e biomassa fotossintetizante.

Após a raspagem, as amostras para a análise qualitativa da comunidade serão fixadas com solução formalina a aproximadamente 4% (4 ml de solução formalina para cada 100 ml de amostra). A análise taxonômica será realizada em microscópio óptico equipado com câmera fotográfica e câmara clara. Para a análise taxonômica das diatomáceas, parte do material perifítico será oxidado, segundo Battarbee *et al.* (2001), utilizando peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 35%) e ácido clorídrico (HCl 10%). As lâminas permanentes serão montadas utilizando Naphrax® (*IR* = 1,73) como meio de inclusão. Para a análise quantitativa, as amostras serão fixadas com solução de lugol acético 1%. A análise da densidade perifítica será realizada em microscópio invertido (segundo Utermöhl 1958), com tempo de sedimentação segundo Lund *et al.* (1958). Esta contagem será realizada em campos aleatórios (Uelinger 1964), e o limite de contagem será determinado pela curva de rarefação de espécies (quando nenhuma espécie nova for observada em pelo menos sete campos analisados) e pelo menos 400 indivíduos devem ser contados por amostras (Ferragut *et al.* 2013).

O peso seco e o peso seco livre de cinzas da comunidade perifítica serão determinados pelo método de pesagem e seguirão os procedimentos descritos em APHA (2005). A biomassa algal (representado pela clorofila-a, corrigida da feofitina) será determinada pelo método de extração em etanol 90% aquecido, sem maceração (Sartory & Grobelaar 1984) e os cálculos baseados em Golterman *et al.* (1978).

#### Justificativa de Alteração dos itens do TR

*Substratos*: devido à distribuição espacial dos substratos ao longo das estações amostrais não serem constantes ao longo de um rio (Vannote *et al.*, 1980), foi sugerido uma ordem de escolha de substrato de acordo com a presença deles. Dessa forma, sempre que possível será coletado seixos (rochas) que serão o substrato padrão. Mas na ausência destes, serão coletados outros substratos de acordo com a ordem apresentada.

*Fixação das amostras*: a fixação das amostras com a solução de Transeau não tem sido a mais utilizada nos estudos da comunidade perifítica, e, portanto, foi sugerida a alteração para a solução formalina 4% (Bicudo & Menezes, 2005; Almeida & Fernandes, 2012; 2013).

*Extração da clorofila-a*: a alteração do método de extração da clorofila-a utilizando acetona para o método do etanol a quente é justificada pela toxicidade da acetona. Durante o processo, há a necessidade de maceração do material biológico com a acetona, aumentando o risco de contaminação. O método de extração por etanol, por outro lado, além de não ser tóxico (por inalação), não há tanta manipulação do material, diminuindo os riscos. Este método de extração vem sendo utilizado com sucesso em diversos trabalhos sobre a comunidade algal, inclusive com a comunidade perifítica (Santos *et al.*, 2013; Casartelli & Ferragut, 2015).

*Peso seco e peso seco livre de cinzas*: quanto à inclusão da análise do peso seco e do peso seco livre de cinzas se justifica pela análise da representatividade de material orgânico (proveniente no perifiton principalmente de algas) e do material inorgânico, que pode ter proveniência do rejeito da barragem.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Algarte, V.M., Dunck, B., Leandrini, J.A. & Rodrigues, L. 2016. Periphytic diatom ecological guilds in floodplain: Ten years after dam. *Ecological Indicators*, 69: 407-414.

Almeida, S.Z. & Fernandes, V.O. 2013. Effects of intensive fish-farming and domestic wastewater on the periphytic algal community in a tropical coastal lagoon (Juara, Brazil). *Acta Scientiarum, Biological Sciences*, 35: 335-342.

- Almeida, S.Z. & Fernandes, V.O. 2012. Periphytic algal biomass in two distinct regions of a tropical coastal lake. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24: 244-254.

- APHA - American Public Health Association. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st edition. APHA, Washington, DC.

- Battarbee, R. W.; Jones, V.; Flower, R. J.; Cameron, N.; Bennion, H.; Carvalho, L. & Juggins, S. 2001. Diatoms. In: Smol, J. P.; Birks, H. J. B.; Last, W. M. (ed.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. London: Kluwer Academic Publishers.v.3. p. 155-203.
- Besser, J.M., Brumbaugh, W.G., May, T.W. et al. 2007. Biomonitoring of Lead, Zinc, and Cadmium in Streams Draining Lead-Mining and Non-Mining Areas, Southeast Missouri, USA. *Environmental Monitoring and Assessment* 129: 227.
- Bicudo, C.E.M.; Menezes, M. 2005. Gêneros de Algas continentais do Brasil (Chave para identificação e descrições). São Carlos, Ed. Rima.
- Biggs, B.J.F. & Kilroy, C. 2000. *Stream periphyton monitoring manual*. New Zeland, Niwa.
- Camargo, V.M. & Ferragut, C. 2014. Estrutura da comunidade de algas perifíticas em *Eleocharis acutangula* (Roxb.) Schult (Cyperaceae) em reservatório tropical raso, São Paulo, SP, Brasil. *Hoehnea*, 41: Casartelli, M.R. & Ferragut, C. 2015. Influence of seasonality and rooted aquatic macrophytes periphytic algal community on artificial substratum in a shallow tropical reservoir. *International Review of Hydrobiology*, 100: 1-11.
- Carapunarla, L., Baumgartner, D. & Rodrigues, L. 2014. Community structure of periphytic algae in a floodplain lake: a long term study. *Acta Scientiarum: Biological Science*, 36: 147-154.
- DeNicola, D.M. & Lellock, A.J. 2015. Nutrient limitation of algal periphyton in streams along an acid mine drainage gradient. *Journal of Phycology*, 51: 739–749.
- Dunk, B., Scheneck, F. & Rodrigues, L. 2015. Patterns in species and functional dissimilarity: insights from periphytic algae in subtropical floodplain lakes. *Hydrobiologia*. DOI 10.1007/s10750-015-2379-x.
- Fernandes, V.O. Variação temporal da estrutura e dinâmica da comunidade perifítica em dois tipos de substrato na Lagoa Imboassica, Macaé (RJ). 1997. 198 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1997.
- Ferragut, C., Bicudo, D.C. & Vercellino, I.S. 2013. Amostragem e medidas de estrutura da comunidade perifítica. In: A. Schwarzbold, A. Burliga & L.C. Torgan (eds.). *Ecologia do perifíton*. Rima, São Carlos, 157-177 pp.
- Gaiser, E.E., Childers, D.L., Jones, R.D., Richards, J.H., Scinto, L.J. & Trexler, J.C. Periphyton responses to eutrophication in the Florida Everglades: Cross-system patterns of structural and compositional change. *Limnology and Oceanography*, 51: 617-630.
- Golterman, H. L.; Clymo, R. S. & Ohnstad, M. A. M. 1978. *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. 2a ed. Oxford, Blackwell Scientific Publications. International Biological Program.
- Hill, B.H., Willingham, W.T., Parrish, L.P. et al. 2000. Periphyton community responses to elevated metal concentrations in a Rocky Mountain stream. *Hydrobiologia* 428: 161.
- Lund, J.W.G., Kipling, C. & Le-Cren, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting. *Hydrobiologia* 11: 143-170.
- McCauley, J.R. & Bouldin, J.L. 2016. Cadmium Accumulation in Periphyton from an Abandoned Mining District in the Buffalo National River, Arkansas. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 96: 757.
- Murakami, E.A., Bicudo, D.C. & Rodrigues, L. 2009. Periphytic algae of the Garças Lake, Upper Paraná River floodplain: comparing the years 1994 and 2004. *Brazilian Journal of Biology*, 69: 459-468.
- Santos, T.R., Ferragut, C. & Bicudo, C.E.M. 2013. Does macrophyte architecture influence periphyton? Relationships among *Utricularia foliosa*, periphyton assemblage structure and its nutrient (C, N, P) status. *Hydrobiologia*, 714: 71-83.



- Sartory, D.P. & Grobbelaar, J.E. 1984. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia*, 114:177-187.
- Stevenson, J.R. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. In: Stevenson, J. R.; Bothwell, M. L. & Lowe, R. L. (Eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. New York, Academic Press. 1996. p. 3-30.
- Uehlinger, V. 1964. Étude statistique des méthodes de dénombrement planctonique. *Archives des Sciences* 17: 121-123.
- Utermohl, H. 1958. Zur Vervollkomnung der quantitative phytoplankton: metodik. Internationale Vereinigung *Theoretische und Angewandte Limnologie* 9: 1-38.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 27: 130-137.
- Wetzel, R.G. 1990. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24:6-24.
- Wetzel, R.G. 1983. Opening remarks. In: Wetzel, R.G. (Ed.). *Periphyton of freshwater ecosystems*. The Hague, Dr. W. Junk Publishers, p. 339-346.

## ESTUDO E MONITORAMENTO AMBIENTAL DAS ÁREAS DULCÍCOLA-ES, ESTUARINA E MARINHA (ANEXO 3 - DULCÍCOLA)

### PROJETO: CARACTERIZAÇÃO LIMNOLÓGICA DE LIPÍDEOS TOTAIS, ÁCIDOS GRAXOS E DAS CONCENTRAÇÕES TOTAIS DE C, N E SUAS RAZÕES ISOTÓPICAS NO SESTON E SEDIMENTOS

#### 1. EQUIPE TÉCNICA

| Nome                              | Função                      | Instituição |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------|
| Profa. Iola Gonçalves Boëchat     | Coordenador de subprojeto   | UFSJ        |
| Prof. Björn Gücker                | Coordenador de subprojeto   | UFSJ        |
| Dr. Ricky Cássio dos Santos Silva | Pesquisador nível doutorado | UFSJ        |
| Elisa Mercês Soares               | Pesquisadora nível mestrado | UFSJ        |
| Técnico a definir                 | Técnico nível médio         | UFSJ        |

#### 2. ESCOPO

A caracterização limnológica dos ecossistemas fluvial, lacustres e estuarino do Baixo Rio Doce visa descrever as condições físicas, hidroquímicas e hidrobiológicas nas 10 estações amostrais do Anexo 3 'Estudo e monitoramento ambiental no Rio Doce, área estuarina e marinha (Área Ambiental 1)'. O monitoramento será realizado através de amostragens mensais em 10 estações durante um período de 12 meses para o monitoramento de lipídeos totais, ácidos graxos e das concentrações totais de C, N e suas razões isotópicas no seston e sedimentos. Os dados brutos e produtos esperados contemplam a variação espaço-temporal, bem como a avaliação da relação da qualidade da água, como descritos nos itens a seguir.

#### 3. OBJETIVO

Avaliação e monitoramento biológico e da qualidade de água e sedimentos da área dulcícola/estuarina definida no Anexo 3 do TR 4. O estudo de avaliação envolve a análise dos ecossistemas aquáticos dulcícolas da calha do Rio Doce e nos lagos do Limão, Nova, Juparanã, Areal, Areão e Monsarás, além da porção estuarina da calha do Rio Doce. O monitoramento se refere ao acompanhamento de lipídeos totais, ácidos graxos e das concentrações totais de C, N e suas razões isotópicas no seston e sedimentos por meio de amostragem em campo com coleta de amostras, análises laboratoriais e análise e discussão de dados de ambientes aquático continental e estuarino em periodicidades amostrais mensal.

#### 4. METAS E JUSTIFICATIVAS

**Meta 4:** Monitoramento ambiental da área dulcícola em 10 estações na região do Baixo Rio Doce: Análise de lipídeos totais, ácidos graxos e das concentrações totais de C, N e suas razões isotópicas no seston e sedimentos

A ação antrópica sobre ecossistemas de água doce se faz perceber em todos os aspectos da saúde destes ecossistemas, seja através de modificações na qualidade da água, na diversidade estrutural de micro- e macrohabitats ou diretamente sobre a diversidade de organismos e a ciclagem biogeoquímica (Vitousek et al., 1997; Karatayev et al., 2005; Guildford et al., 2008), além de afetar importantes processos ecossistêmicos como o metabolismo e o fluxo de energia (Hill et al., 2001). Reconhecer os efeitos do tipo e da intensidade de atividades antrópicas é de grande importância para a determinação do estado de estabilidade ou instabilidade estrutural e funcional de ecossistemas (Allan, 2004).

A pluma oriunda do rejeito de minério ao alcançar a coluna d'água, produz um efeito imediato na disponibilidade e na qualidade da luz, provocando reações imediatas na produção primária e na estrutura das comunidades fitoplanctônicas e bentônicas. Alterações nas comunidades aquáticas, sobretudo na base da cadeia trófica, como consequência de alterações na estrutura da coluna d'água (redução de transparência, alterações na qualidade e quantidade de luz disponível), afetam diretamente a quantidade e a qualidade nutricional dos produtores primários e levam, por sua vez, a mudanças na estrutura das comunidades do

zooplâncton herbívoro (Müller-Navarra et al., 2004). Seguem-se mudanças nas relações de competição dentro das comunidades zooplanctônicas, o que pode vir a desempenhar um papel chave na reestruturação das relações tróficas nestas condições. Portanto, ao alterar a estrutura trófica a um impacto qualquer que altere as relações de luz na coluna d'água acaba por afetar os fluxos de matéria e energia e o metabolismo de todo o ecossistema. Paralelamente, em sistemas aquáticos afetados por sedimentos finos provenientes de rejeitos da atividade mineradora, esperam-se mudanças como a diminuição da produção de algas planctônicas (devido da maior turbidez da água) e bentônicas (devido à turbidez e instabilidade hidráulica do sedimento fino) e, assim, uma menor disponibilidade alimento autóctone para a cadeia trófica. Nesses casos, a base da cadeia pode se deslocar para uma maior contribuição de material vegetal alóctone, cuja composição mineral, e bioquímica pode variar em relação àquela produzida internamente. O acompanhamento de indicadores de tais mudanças (fontes autóctones – fontes alóctones) auxilia na compreensão de como o ecossistema adjacente pode auxiliar na recomposição da cadeia aquática, mesmo que a composição da comunidade mude consideravelmente, como reflexo dos impactos na coluna d'água.

Em ecossistemas aquáticos, a composição e concentração dos ácidos graxos (FA, do inglês fatty acids) vem sendo tradicionalmente utilizadas como marcadores na caracterização da composição das comunidades (Ahlgreen et al., 2009; Sushchik et al., 2003; Brett et al., 2009; Desvillettes e Bec, 2009) e das interações tróficas em experimentos de nutrição de consumidores aquáticos (DeMott e Müller-Navarra, 1997; Becker e Boersma, 2003; Boëchat e Adrian, 2006). Além disso, a presença e a concentração de ácidos graxos essenciais, como certos polinsaturados (PUFAs) e altamente insaturados (HUFAs), vêm sendo associadas ao fitness de diferentes consumidores no campo (Goedkoop et al., 1998; Müller-Navarra et al., 2004) e em estudos de laboratório (Boëchat et al., 2005; Boëchat et al., 2006). Uma outra importante utilização dos ácidos graxos, que vem ganhando bastante espaço em estudos de monitoramento ambiental, é na avaliação da ação antrópica sobre ecossistemas aquáticos. Em um estudo recente, a composição de ácidos graxos foi a única a se correlacionar com a presença de urbanização na bacia de um rio de 5ª ordem (Rio das Mortes, MG), tendo sido um indicador mais eficiente dos impactos desta atividade do que as variáveis comumente utilizadas como descritoras da qualidade da água (Boëchat et al., 2014). Isso ocorre porque os ácidos graxos apresentam-se como marcadores bastante sensíveis para impactos específicos, como por exemplo, da entrada e composição do esgoto de origem doméstica e industrial, de material fecal animal e humano e de óleos (Queeméneur e Marty, 1994; Jardé et al., 2005). Já as razões de isótopos  $\delta^{13}C$  e  $\delta^{15}N$  representam uma ferramenta importante para identificar as fontes (alóctones versus autóctones) da MO em sistemas terrestres e aquáticos, uma vez que diferentes compartimentos dos ecossistemas (plantas C3, C4, fixadores de nitrogênio, fertilizantes químicos, esgoto urbano etc.) possuem assinaturas isotópicas características (Thornton & McManus, 1994).

Este subprojeto visa acessar (i) o potencial de ferramentas marcadoras bioquímicas – lipídeos totais e ácidos graxos – na avaliação direta das consequências do impacto do rejeito de mineração sobre a estrutura trófica e o fluxo de energia em ecossistemas lacustres e fluviais impactados, assim como (ii) as razões de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio  $\delta^{13}C$  e  $\delta^{15}N$  da MOP dos sedimentos e do seston, para monitorar a variação espacial e temporal e as origens da MO na bacia e na pluma do Rio Doce. Esse monitoramento permite avaliar os impactos do rompimento da barragem do Fundão no contínuo aquático, e futuramente, propor ações de mitigação e recuperação.

Ao utilizar as ferramentas aqui propostas (lipídeos totais, perfil de ácidos graxos e razões isotópicas de C e N no seston e sedimentos) poderemos acessar, concomitantemente às análises limnológicas rotineiramente empregadas, informações importantes sobre a mudança na contribuição de novas fontes basais de consumo nos sistemas afetados (entradas de fontes alóctones versus fontes autóctones) e as consequências do impacto, como alterações fisiológicas nos organismos, assim como inferir a repercussão de tais alterações para a cadeia trófica. Trata-se de uma abordagem inovadora, que abraça uma postura mais ecossistêmica e, portanto, mais funcional da análise de impactos antrópicos sobre sistemas aquáticos.

## 5. PRODUTOS

| <p><b>5.1. DADOS BRUTOS</b><br/><i>(Listar os dados que serão entregues como produto, segundo o TR4, tanto os coletados in situ como os processados no laboratório)</i></p>  | <p><b>RESPONSÁVEL</b><br/><i>(Pessoal Vinculado)</i></p> |
|--|--|
| <p>Concentração de lipídeos totais em amostras de seston e sedimento;<br/>Concentração de ácidos graxos saturados e insaturados em amostras de seston e sedimento;<br/>Razão isotópica de C e N em amostras de seston e sedimento;<br/>Concentração de C e N em amostras de seston e sedimento</p>   | <p>Iola Boëchat<br/>Björn Gücker,</p>                    |
| <p><b>5.2. ANÁLISE DE DADOS</b><br/><i>(Relacionar as análises que serão feitas e entregues até o 15º mês de vigência do Projeto)</i></p>  | <p><b>RESPONSÁVEL</b><br/><i>(Pessoal Vinculado)</i></p> |
| <p>Análise espaço-temporal da concentração de lipídeos totais e ácidos graxos saturados e insaturados no seston e sedimento (frequência mensal)</p> <p>Discussão da variabilidade na composição de ácidos graxos no seston e sedimento à luz das modificações físicas (alteração na intensidade luminosa causada por aumento na turbidez, aporte de material externo, etc) e biológicas (alterações na composição da comunidade) sofridas nos sistemas analisados</p> <p>Discussão da variabilidade nas razões isotópicas no seston e à luz das modificações físicas sofridas no sistema (alteração na intensidade luminosa causada por aumento na turbidez, aporte de material externo, etc).</p> | <p>Iola Boëchat<br/>Björn Gücker</p>                     |

## 6. METODOLOGIA

### Amostragem de indicadores lipídicos e ácidos graxos

Serão analisados os perfis de ácidos graxos e a concentração de lipídeos totais em amostras subsuperficiais de matéria orgânica particulada em suspensão (seston) de lagos rasos e do canal riverino, e no sedimento de ecossistemas riverinos e lacustres afetados, coletadas mensalmente. As amostras de seston de lagos profundos, coletadas em diversas profundidades, serão integradas em uma única amostra. As amostras coletadas serão imediatamente filtradas em filtros de fibra de vidro GF-F de 45 mm, pré-incinerados a 450 °C por 2h. O material filtrado em replicata (até a completa saturação do filtro, anotando-se o volume filtrado) ficará acondicionado a -20°C até análise. As amostras de sedimento deverão ser secas em estufa a 30°C e acondicionadas em tubos eppendorf a -20°C até análise. Todas as amostras serão liofilizadas antes da análise.

### Análises de lipídeos e ácidos graxos

Para as análises de lipídeos totais e ácidos graxos, os filtros contendo as amostras de seston filtradas, assim como as amostras de sedimento, serão submetidos a homogeneização por sonicação por 5 a 10 min. a 5000 ciclos min<sup>-1</sup> e posterior extração em solução de clorofórmio–metanol 2:1 v:v. A análise de lipídeos totais será realizada pelo método espectrofotométrico da Fosfovanilina (Zöllner e Kirsch, 1962; Ahlgreen e Merino 1991). Será utilizada uma curva padrão de ácido linoleico e a leitura será feita a 528nm. Para a quantificação dos ácidos graxos, após a extração será adicionado o padrão interno (ácido tricosanóico, 0.2 mg mL<sup>-1</sup>) e as amostras serão secas sob fluxo de nitrogênio e imediatamente analisadas. A análise se dá pela formação dos metil ésteres de ácidos graxos (FAMES) com a adição de ácido sulfúrico 5% v:v e o aquecimento das amostras a 80°C por 4 hs. Uma alíquota de 0.2 µL é injetada em uma coluna capilar (Omegawax 320,

Supelco 60m x 0.32 mm, ou similar) em um sistema de cromatografia gasosa acoplado a um espectrômetro de massa (Agilent, USA). A identificação dos ácidos graxos se dá por comparação dos tempos de retenção do espectro obtido para as amostras analisadas com o espectro de uma solução padrão de ácidos graxos de concentração conhecida (FAME Mix Nrs. 1 e 3, Supelco) e confirmada por comparação do espectro de massa obtido em modo full scan com aqueles presentes em uma biblioteca de espectros. A quantificação se dá por comparação da área dos picos com aquela do padrão interno adicionado após a extração.

#### Amostragem isótopos e análise elementar: sedimentos

Amostragem mensal, corresponde ao TR, protocolo para orgânicos. A sub amostragem do sedimento coletado com corer será feita com espátula de metal raspando os centímetros superficiais contendo a lama alaranjada que representa o rejeito. A amostra deverá ter em torno de 5g e deverá ser armazenada em pote de vidro (carcinado) e congelada.

#### Amostragem isótopos e análise elementar: seston

Amostragem trimestral, corresponde ao TR, protocolo para metais dissolvidos, mas com substituição da lavagem dos recipientes com ácido nítrico por ácido clorídrico (10%). Justificativa: A lavagem com ácido nítrico impossibilita medições confiáveis de isotopia de nitrogênio.

#### Análise de isótopos e análise elementar:

As análises das razões isotópicas e a análise elementar nas amostras de sedimento, seston e fontes da MO serão realizadas por meio da técnica de Oxidação Catalítica em Alta Temperatura (em inglês, High Temperature Catalytic Oxidation – HTCO), com o aparelho CHNO Analyser (FLASH HT Plus, Thermo, Alemanha), acoplado a um espectrômetro de massa de razão isotópica (Isotope Ratio Mass Spectrometer - IRMS, Delta V, Thermo, Alemanha), que mede a composição isotópica concomitantemente às medidas de C e N, presente no laboratório do proponente. Os resultados são então expressos pela unidade padrão  $\delta$  como:  $\delta X = [(R \text{ substrato} - R \text{ produto}) - 1] \times 1000$ , onde X é  $^{13}\text{C}$  ou  $^{15}\text{N}$  e R é a razão correspondente  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ou  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ . As dosagens de fósforo total serão realizadas por meio da técnica de espectrofotometria automatizada por injeção em fluxo (FIA; flow injection analysis) com o aparelho FIALab 2500 (FIALab, EUA) presente no laboratório do proponente.

Antes e depois das análises, o equipamento será calibrado com materiais de referência padrão. Esses padrões serão selecionados por terem uma composição similar às amostras analisadas. Os materiais de referência (ou padrão externo) utilizados serão p.ex. IAEA-CH3 (Celulose), IAEA-600 (cafeína), IAEA N2 (sulfato de amônio) e IAEA-NO3 (nitrato de potássio). Os valores delta finais são expressos em relação aos padrões internacionais baseados no calcário de Viena Pee Dee Belemnite (V – PDB) para o C e nitrogênio atmosférico, N2, para o N. Serão utilizados ainda um padrão interno, a caseína, medido a cada dez amostras analisadas. Esse padrão interno é utilizado para corrigir pequenos erros que podem ocorrer durante as análises isotópicas. Demais informações sobre o método se encontram em Gücker et al. (2011).

## 7. REFERÊNCIAS

Ahlgren G.; Vrede, T. & Goedkoop, W. (2009). Fatty acid ratios in freshwater fish, zooplankton and zoobenthos – are there specific optima? In: Arts, M.T.; Brett, M.T. & Kainz, M.J. (orgs.). *Lipids in aquatic ecosystems*, Springer, New York.

Ahlgren, G. & Merino, L. (1991). Lipid analysis of freshwater microalgae: a method study. *Archiv für Hydrobiologie*, 121: 295–306.

Allan, D.J. (2004). Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 35: 257–84.

Becker, C. & Boersma, M. (2003). Resource quality effects on life histories of *Daphnia*. *Limnology and Oceanography*. 48: 700–706.

Boëchat, I.G. & Adrian, R. (2006). Evidence for biochemical limitation of population growth and reproduction of the rotifer *Keratella quadrata* fed with freshwater protists. *Journal of Plankton Research*, 28: 1027–1038.

- Boëchat, I.G. (2005). Biochemical composition of protists: Dependency on diet and trophic mode and consequences for their nutritional quality. *Ph.D. Thesis*, Institut für Gewässerökologie und Binnenfisherei, Humboldt Universität zu Berlin, 128 p.
- Boëchat, I.G.; Krüger, A.; Chaves, R.C.; Graeber, D. & Gücker, B. (2014) Land-use impacts on fatty acid profiles of suspended particulate organic matter along a larger tropical river. *Science of the Total Environment*, 482–483: 62–70.
- Boëchat, I.G.; Weithoff, G.; Krüger, A.; Gücker, B. & Adrian, R. (2007). A biochemical explanation for the success of mixotrophy in the flagellate *Ochromonas* sp. *Limnology and Oceanography*, 52: 1624–1632.
- Brett, M.T.; Muller-Navarra, D. & Persson, J. (2009). Crustacean zooplankton fatty acid composition. In: Arts, M.T.; Brett, M.T. & Kainz, M.J. (orgs.). *Lipids in Aquatic Ecosystems*, Springer, New York.
- Demott, W. & Müller-Navarra, D. (1997). The importance of highly unsaturated fatty acids in zooplankton nutrition: evidence from experiments with *Daphnia*, a cyanobacterium and lipid emulsions. *Freshwater Biology*, 38: 649–664.
- Desvillettes, C. & Bec, A. (2009). Formation and transfer of fatty acids in aquatic microbial foodwebs: role of heterotrophic protists. In: Arts, M.T.; Brett, M.T. & Kainz, M.J. (orgs.). *Lipids in Aquatic Ecosystems*, Springer, New York.
- Goedkoop, W.; Sonesten, L.; Markensten, H. & Ahlgren, G. (1998). Fatty acid biomarkers show dietary differences between dominant chironomid taxa in Lake Erken. *Freshwater Biology*, 40: 135–143.
- Gücker, B; Brauns, M.; Solimini, A. Voss, M.; Walz, N. & Pusch, M.T. (2011). Urban stressors alter the trophic basis of secondary production in an agricultural stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68:74-88
- Guildford, S.J.; Muir, D.C.G.; Houde, M.; Evans, M.S.; Kidd, K.A.; Whittle, D.M.; Drouillard, K.; Wang, X.; Anderson, M.R.; Bronte, C.R.; Devault, D.S.; Haffner, D.; Payne, J. & Kling, H.J. (2008). PCB concentrations in lake trout (*Salvelinus namaycush*) are correlated to habitat use and lake characteristics. *Environment, Science and Technology*, 42: 8239–8244.
- Hill, W.R.; Mulholland, P.J. & Marzolf, E.R. (2001). Stream ecosystem responses to forest leaf emergence in spring. *Ecology*, 82: 2306–2319.
- Jardé, E.; Mansuy, L. & Faure, P. (2005). Organic markers in the lipidic fraction of sewage sludges. *Water Research*, 39: 1215–1232.
- Karatayev, A.Y.; Burlakova, L.E. & Dodson, S.I. (2005). Community analysis of Belarusian lakes: relationship of species diversity to morphology, hydrology and land use. *Journal Plankton Research*, 27: 1045–1053.
- Müller-Navarra, D. (2008). Food web paradigms: the biochemical view on trophic interactions. *International Review of Hydrobiology*, 93: 489–505.
- Müller-Navarra, D.; Brett, M.; Park, S.; Chandra, S.; Ballantyne, A.P.; Zorita, E. & Goldman, C.R. (2004). Unsaturated fatty acid content in seston and tropho-dynamic coupling in lakes. *Nature*, 427: 69–72.
- Quéméneur, M. & Marty, Y. (1994). Fatty and sterols in domestic wastewaters. *Water Reseach*, 28: 1217–1226.
- Sushchik, N.N.; Gladyshev, M.I.; Moskvichova, A.V.; Makhutova, O.N. & Kalachova, G.S. (2003). Comparison of fatty acid composition in major lipid classes of the dominant benthic invertebrates of the Yenisei river. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B*, 134: 111–122.

Thornton, S.F. & McManus, J. (1994). Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems: Evidence from the Tay estuary, Scotland. *Estuarine and Coastal Shelf Science*, 38: 219–233.

Vitousek, P.M.; Mooney, H.A.; Lubchenco, J. & Melillo, J.M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277: 494–99.

Zöllner, N. & Kirsch, K. (1962). Über die quantitative Bestimmung von Lipoiden (Mikromethode) mittels der vielen natürlichen Lipoiden (allen bekannten Plasmolipoiden) gemeinsamen Sulfophosphovanillin-Reaktion. *Zeits. für die gesam. Experim. Medizin*, 135: 545–561.

**ESTUDO E MONITORAMENTO AMBIENTAL DAS ÁREAS DULCÍCOLA-ES,  
ESTUARINA E MARINHA (ANEXO 3 - DULCÍCOLA)**

**PROJETO: CARACTERIZAÇÃO LIMNOLÓGICA DOS ECOSISTEMAS FLUVIAIS,  
LACUSTRES E ESTUARINOS DO BAIXO RIO DOCE**

**1. EQUIPE TÉCNICA**

| Nome                               | Função  | Instituição |
|------------------------------------|---|-------------|
| Gilberto Fonseca Barroso           | Coordenador de projeto e subprojetos  | UFES        |
| Bolsista de Pós-doutorado*         | Organização e coordenação das amostragens em campo, levantamento, sistematização e análise de dados e produção de relatórios técnicos       | UFES        |
| Mestre II / Profissional Pleno II* | Amostragem em campo, processamento de amostras, análises hidroquímicas, sistematização e análise de dados e produção de relatórios técnicos | UFES        |
| Mestre I / Profissional Pleno I*   | Amostragem em campo, processamento de amostras, análises hidroquímicas, sistematização e análise de dados e produção de relatórios técnicos | UFES        |
| Bolsista de Iniciação Científica*  | Auxílio no processamento de amostras e análises hidroquímicas em laboratório  | UFES        |
| Bolsista de Iniciação Científica*  | Auxílio no processamento de amostras e análises hidroquímicas em laboratório  | UFES        |

\* pesquisadores também alocados no Projeto Integração flúvio-estuarina: fluxos hidrológicos

**2. ESCOPO**

A caracterização limnológica dos ecossistemas fluvial, lacustres e estuarino do Baixo Rio Doce visa descrever as condições físicas, hidroquímicas e hidrobiológicas nas 10 estações amostrais do Anexo 3 'Estudo e monitoramento ambiental no Rio Doce, área estuarina e marinha (Área Ambiental 1)' nos ecossistemas aquáticos continentais do Baixo Rio Doce, constante no Termo de Referência 4 - Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática. O monitoramento será realizado através de amostragens mensais em 10 estações durante um período de 12 meses. Os dados brutos e produtos esperados contemplam a variação espaço-temporal, bem como a avaliação da relação da qualidade da água, como descritos nos itens a seguir.

**3. OBJETIVO**

Avaliação e monitoramento biológico e da qualidade de água e sedimentos da área dulcícola/estuarina definida no Anexo 3 do TR 4. O estudo de avaliação envolve a análise dos ecossistemas aquáticos dulcícolas da calha do Rio Doce e nos lagos do Limão, Nova, Juparanã, Areal, Areão e Monsarás, além da porção estuarina da calha do Rio Doce. O monitoramento se refere ao acompanhamento de variáveis ambientais por meio de amostragem em campo com coleta de amostras, análises laboratoriais e análise e discussão de dados de ambientes aquático continental e estuarino em periodicidade amostral mensal.

**4. METAS E JUSTIFICATIVAS**

**Meta 4:** Monitoramento ambiental da área dulcícola em 10 estações ao longo da bacia do Rio Doce: Caracterização limnológica dos ecossistemas fluviais, lacustres e estuarino do Baixo Rio Doce

**Submeta 1:** Coleta de água para análises hidroquímicas e registro de parâmetros físico-químicos na coluna d'água em 10 estações amostrais conforme o Anexo 3.

Descrição: Coleta mensal em 1, 2 ou 3 profundidades distintas (superfície, meio e fundo)

**Submeta 2:** Coleta de sedimento para análises hidroquímicas em 10 estações amostrais conforme o Anexo 3.

Descrição: Coleta mensal de amostras de sedimento com busca fundo van Veen/Ekman



**Submeta 3:** Registro de parâmetros físico-químicos na coluna d'água na coluna d'água em 10 estações amostrais conforme o Anexo 3.

Descrição: Registro *in situ* de dados com perfilagem com sonda multiparâmetros e CTD

## 5. PRODUTOS

| <b>5.1. DADOS BRUTOS</b><br><i>(Listar os dados que serão entregues como produto, segundo o TR4, tanto os coletados in situ como os processados no laboratório)</i>   | <b>RESPONSÁVEL</b><br><i>(Pessoal Vinculado)</i>  |
|---|---|
| <p><u>Coluna d'água</u><br/>           Perfil térmico<br/>           Turbidez<br/>           Oxigênio dissolvido<br/>           Potencial Redox<br/>           pH<br/>           Condutividade elétrica<br/>           Salinidade<br/>           Concentração de Material Particulado em Suspensão - MPS<br/>           Concentração de nutrientes (nitrogênio, fósforo e silício)<br/>           Concentração de clorofila a<br/>           Concentração de matéria orgânica dissolvida cromófora - MODC<br/>           Concentração de elementos traço nas frações total e dissolvida (Cd, Pb, Ni, Zn, Fe, Al,)*</p> <p><u>Sedimento de fundo</u><br/>           Granulometria<br/>           Teor de matéria orgânica<br/>           Concentração de elementos traço nas frações total e dissolvida (Cd, Pb, Ni, Zn, Fe, Al,)*</p> | <p>Gilberto F Barroso</p> <p>*amostras a serem analisados pela Profa. Vanya Marcia Duarte Pasa (UFMG)</p> |
| <b>5.2. ANÁLISE DE DADOS</b><br><i>(Relacionar as análises que serão feitas e entregues até o 15º mês de vigência do Projeto)</i>   | <b>RESPONSÁVEL</b><br><i>(Pessoal Vinculado)</i>  |
| <p>Análise da variação espaço-temporal do ambiente físico-químico com ênfase nas concentrações do material dissolvido e particulado na coluna d'água dos ecossistemas aquáticos dulcícolas e estuarino do Baixo Rio Doce (amostragem mensal).</p> <p>Análise espaço-temporal da variação do sedimento depositado na calha fluvial e no fundo dos lagos (quanto a granulometria e composição) dos ecossistemas aquáticos dulcícolas e estuarino do Baixo Rio Doce (amostragem mensal).</p> <p>Análise da variabilidade espaço-temporal considerando a integração dos dados da coluna d'água e sedimentos de fundo com os dados de vazão fluvial.</p>   | <p>Gilberto F Barroso</p>   |

## 6. METODOLOGIA

A amostragem será realizada mensalmente, durante 12 meses, nas estações amostrais dulcícolas e estuarinas do Anexo 3 'Estudo e monitoramento ambiental no Rio Doce, área estuarina e marinha (Área Ambiental 1)'.

### Coluna d'água

A perfilagem de temperatura e salinidade será feita da superfície ao fundo por meio de CTD. Dados de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH, Potencial Redox (mV), oxigênio dissolvido (mg/L) serão registrados e por meio de sonda multiparâmetros, previamente calibrada, nas profundidades de subsuperfície, meio e próximo ao fundo em coluna d'água com mais de 3,0 m de profundidade. Em estação com profundidade inferior a 3,0 m serão feitos registros de dados físico-químicos na subsuperfície e fundo. Devido a potencial mistura da coluna d'água em estações amostrais com profundidades inferiores a 3,0 m as amostras para hidroquímica serão coletadas com garrafa de Niskin (material PVC, volume de 3L e montagem horizontal e vertical) no meio da coluna. As amostras de água serão acondicionadas em frascos de polipropileno (1 L), previamente descontaminados. Os frascos com as amostras de água para determinação das concentrações de material particulado em suspensão - MPS, clorofila *a*, turbidez, nutrientes, matéria orgânica dissolvida cromófora - MODC serão armazenados refrigerados e ao abrigo da luz.

A turbidez será determinada com turbidímetro LaMotte 2020, previamente calibrado e os resultados expressos em UNT. As análises hidroquímicas serão realizadas em laboratório conforme *Standard Methods for Analysis of Water and Wastewater* (APHA, 2005). O MPS será determinado por gravimetria em membranas de acetato/éster de celulose (47 mm e 0,45  $\mu\text{m}$ ) utilizando balança analítica (0,1 mg) e os resultados expressos em mg/L. A análise da clorofila *a* ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) será determinada por fluorimetria com extração em acetona 90% e acidificação para conversão de feopigmentos. A MODC será determinada por fluorimetria após as amostras refrigeradas serem filtradas em membranas de 0,45  $\mu\text{m}$  e as concentrações aferidas contra solução padrão de sulfato de quinina. Alíquotas de água serão digeridas simultaneamente com persulfato de potássio para determinação de nitrogênio e fósforo total. O nitrato será reduzido a nitrito coluna de Cd e a leitura em espectrofotômetro. O fosfato será determinado pelo método do ácido ascórbico e o silicato pelo método silicomolibdídico e ambos serão lidos em espectrofotômetro. Os íons nitrito, nitrato, amônio e fosfato serão analisados, em amostras não digeridas e filtradas em membrana 0,45  $\mu\text{m}$ , por cromatografia de íons, sistema Dionex IC1100.

As amostras para determinação dos elementos traço serão separadas em total e dissolvida. A amostra para determinação dos totais será preservada em campo com adição de  $\text{HNO}_3$  e HCl para posterior digestão em microondas, seguido de quantificação em espectrometria de massa com fonte de plasma ICP-MS, conforme EPA 3015A. As amostras para determinação dos elementos traço serão previamente filtradas em membrana de 0,45  $\mu\text{m}$ , sendo em seguida acidificada com  $\text{HNO}_3$  para posterior análise ICP-MS (método EPA 6020A). As análises de elementos traço, totais e dissolvidos na coluna d'água serão realizadas no Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG.

### Sedimento

As amostras de sedimento serão coletadas com draga de Petersen no ambiente fluvial ou Ekman no ambiente lacustre. Em ambos os casos serão coletadas alíquotas de sedimento da parte central e superficial da amostra com colheres de plástico para evitar contaminação dos elementos traço. Para as amostras de contaminantes orgânicos serão utilizadas colheres de metal. Amostras de sedimento úmido serão acondicionadas em sacos plásticos do tipo zip bag previamente descontaminadas, sendo que as amostras para contaminantes orgânicos serão acondicionadas em recipientes de alumínio précalcinaados. Tal como as análises de elementos traço totais e dissolvidos da água a fração total e a parcial também serão analisadas no Departamento de Química da UFMG.

A granulometria será determinada via úmida por difração à laser no sistema Malvern. O conteúdo de matéria orgânica será determinado por meio de ignição em forno mufla a 400 °C por 4 horas e os resultados expressos em %. A concentração total de metais nos sedimentos, previamente liofilizado e macerado, seguirá pela abertura total conforme EPA 3052 com a adição de HF e  $\text{HNO}_3$  destilados. A fração parcial de elementos traço no sedimento será processada com adição de  $\text{HNO}_3$ , conforme o método EPA 3051A.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

APHA (2005). *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, D.C., American Public Health Association. 978-0875530475

**ESTUDO E MONITORAMENTO AMBIENTAL DAS ÁREAS DULCÍCOLA-ES,  
ESTUARINA E MARINHA (ANEXO 3 - DULCÍCOLA)**

**PROJETO: INTEGRAÇÃO FLÚVIO-ESTUARINA: FLUXOS HIDROLÓGICOS**

**1. EQUIPE TÉCNICA**

| <b>Nome</b>                                       | <b>Função</b>   | <b>Instituição</b> |
|---|---|--------------------|
| Gilberto Fonseca Barroso e Daniel                 | Pesquisador Líderes do Subprojeto determinação dos fluxos de água, sedimentos em suspensão, nutrientes e metais do sistema fluvial para o sistema estuarino-marinho   | UFES               |
| Pesquisador pós-doutorado*                        | Organização e coordenação das amostragens em campo, levantamento, sistematização e análise de dados e produção de relatórios técnicos   | UFES               |
| Profissional Pleno II*                            | Amostragem em campo, processamento de amostras, análises hidroquímicas, sistematização e análise de dados e produção de relatórios técnicos   | UFES               |
| Profissional Pleno I*                             | Amostragem em campo, processamento de amostras, análises hidroquímicas, sistematização e análise de dados e produção de relatórios técnicos   | UFES               |
| Bolsista de Iniciação Científica*                 | Processamento de amostras e análises hidroquímicas  | UFES               |
| Bolsista de Iniciação Científica*                 | Processamento de amostras e análises hidroquímicas  | UFES               |
| Daniel Rigo                                       | Pesquisador Líder do Subprojeto Monitoramento de vazões e descargas sólidas no estuário do Rio Doce   | UFES               |
| Profissional - Engenheiro                         | Tratamento de dados de monitoramento; produção de relatórios técnicos   | UFES               |
| Bolsista Pessoal Vinculado                        | Análises laboratoriais, planejamento de campanhas; calibração de equipamentos   | UFES               |
| Bolsista de Apoio Técnico ou Iniciação Científica | Auxílio no tratamento de dados, relatórios e análises laboratoriais   | UFES               |
| Marco Aurélio Caiado                              | Pesquisador Líder do Subprojeto Caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce no ambiente estuarino-marinho do Rio Doce   | IFES               |
| Pesquisador Júnior                                | Levantamento, sistematização, espacialização e análise de dados hidrológicos; produção de relatórios técnicos   | IFES               |
| Técnico de Nível Superior                         | Levantamento, sistematização, espacialização e análise de dados hidrológicos; produção de relatórios técnicos   | IFES               |
| Edmilson Costa Teixeira                           | Pesquisador Líder do Subprojeto Subsídios a compreensão global das relações de causa e efeito do conjunto de ações realizadas na bacia hidrográfica do Rio Doce sobre o aporte de fluxo de água, sedimentos e nutrientes no sistema estuarino-marinho | UFES               |
| Profissional Pleno II                             | Levantamento, sistematização e análise de dados e informações; produção de relatórios técnicos  | UFES               |

|                                  |  |      |
|----------------------------------|--|------|
| Técnico de Nível Superior        | Levantamento, sistematização e análise de dados e informações; produção de relatórios técnicos | UFES |
| Bolsista de Iniciação Científica | Auxílio no levantamento e sistematização de dados e informações                                | UFES |

\* pesquisadores também alocados no Projeto Caracterização limnológica dos ecossistemas fluviais, lacustres e estuarinos do Baixo Rio Doce

## 2. ESCOPO

O Projeto 'Integração Flúvio-Estuarina: Fluxos Hidrológicos' é constituído de quatro atividades (subprojetos) relacionados ao entendimento da conectividade hidrológica dos sistemas fluvial-estuarino e marinho. Para isso foram previstas a modelagem hidrológica da bacia do Rio Doce, o monitoramento da vazão e descargas de água, sedimentos, nutrientes e elementos traço e a análise das relações de causa e efeito das ações de gestão sobre os fluxos hidrológicos do rio Doce para o sistema marinho adjacente. Cada Subprojeto tem seus objetivos e metas específicos; porém, no conjunto, buscam oferecer subsídios para o desenvolvimento de análises integradas sobre o nível de exposição da biodiversidade aquática, dulcícola e marinha, aos efeitos deletérios dos rejeitos de minério considerando a magnitude dos fluxos hidrológicos. A seguir são apresentados o escopo de cada um dos subprojetos:

- Subprojeto Caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce no ambiente estuarino-marinho do Rio Doce

Este subprojeto tem como escopo a análise do comportamento hidrológico da bacia do Rio Doce, que resulta nas vazões que chegam à seção de referência rio-estuário, em Linhares. Entre os aspectos metodológicos do seu desenvolvimento, têm-se: o mapeamento das estações fluviométricas e pluviométricas em funcionamento em toda a bacia do Rio Doce; a análise dos seus dados; o estabelecimento de relações chuva-vazão nas diferentes sub-bacias/regiões hidrográficas que a compõem; a espacialização das informações hidrológicas; e a análise do caminhamento das águas de escoamento superficial, desde a região onde foi precipitada até a seção de controle, de forma a possibilitar o entendimento das variações de vazão e sua correspondência com a qualidade da água. O desenvolvimento do estudo também envolve visitas técnicas às diferentes sub-bacias que compõem a bacia do Rio Doce para um melhor entendimento de seus comportamentos hidrológicos.

- Subprojeto Monitoramento de vazões e descargas sólidas no estuário do Rio Doce

O aporte de água doce modifica o padrão de escoamento, a disponibilidade de nutrientes e sedimentos na área costeira adjacente. Devido à sazonalidade dos eventos de vazão, ocorre maior fluxo de água doce nos períodos úmidos, entre outubro e março na região de estudo, e menor fluxo de água no período seco, entre abril e setembro.

No caso do Rio Doce, cuja vazão média anual é de  $983 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , ocorre interferência na hidrodinâmica na região localizada próxima à sua foz, além desse rio contribuir significativamente com o aporte de sedimentos (OLIVEIRA et al, 2018). Cabe observar que em períodos úmidos os valores de vazões médias mensais podem ser muito superiores à vazão médias anual e, conseqüentemente, mais elevados os valores de cargas de sedimentos aportados ao estuário e lançados no mar.

Estudos desenvolvidos anteriormente descrevem a bacia do Rio Doce com alta produção de sedimentos. Lima et al. (2006) analisaram dados de descargas sólidas de sedimentos suspensos em grandes rios brasileiros e concluíram que a estação localizada em Colatina, no Rio Doce, apresentou o segundo maior fluxo de sedimentos ( $148 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ ), ficando atrás somente do rio Amazonas ( $168 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ ).

O maior fluxo de sedimentos pode estar relacionado à maior disponibilidade de nutrientes, necessários para o desenvolvimento das comunidades aquáticas de produtores primários. Por outro lado, o incremento do material particulado e suspensão tende a reduzir transparência da água, devido ao aumento de turbidez, interferindo em processos fotossintéticos. Estimativas de descargas sólidas auxiliam na análise de dados relativos à vida de espécies aquáticas existentes na região de estudo.

Desse modo, torna-se necessária a quantificação de vazões e de fluxo de sedimentos no Rio Doce, em trecho localizado mais próximo à foz, e livre da intrusão halina durante a maré enchente no período de baixa vazão fluvial, com finalidade de subsidiar a análise de dados de pesquisadores da área biológica, auxiliando na caracterização do ambiente estudado.

- Subprojeto Determinação dos fluxos de água, nutrientes e metais do sistema fluvial para o sistema estuarino-marinho

Visando complementar o Subprojeto 'Monitoramento de vazões e descargas sólidas no estuário do Rio Doce' este Subprojeto irá determinar os fluxos hidrológicos de água, sedimento, nutrientes e contaminantes (i.e., elementos traço) do Rio Doce para o estuário e sistema marinho adjacente. A conectividade hidrológica por fluxos tem sido reconhecida como importante abordagem biogeoquímica para análise integrada de águas costeiras (Crossland et al., 2005; Barroso et al., 2012; Milliman & Farnsworth, 2011; Tong et al., 2015). Para costa leste do Brasil os Rios São Francisco e Doce são os maiores tributários de água doce, sendo que o segundo rio contribui com o maior aporte de sedimentos (Souza & Knoppers, 2003; Milliman & Farnsworth, 2011).

Os fluxos serão considerados em base anual ( $m^3$ /ano para água ou kg/ano para materiais) baseado em amostragens mensais ao longo de 12 meses na estação amostral a montante da influência do efeito represamento da vazão fluvial pela intrusão halina durante a maré enchente na seção estuarina da calha do Rio Doce. Os dados brutos e produtos esperados contemplam a variação espaço-temporal, bem como a avaliação da relação flúvio-marinha, como descritos nos itens a seguir. Os resultados do Subprojeto permitirão avaliar o nível de exposição da biota aquática, estuarina e marinha, em relação aos efeitos deletérios dos rejeitos de minério. Também será possível avaliar a significância dos fluxos de nutrientes e elementos traço comparado a outras bacias hidrográficas.

- Subprojeto Subsídios a compreensão global das relações de causa e efeito do conjunto de ações realizadas na bacia hidrográfica do Rio Doce sobre o aporte de fluxo de água, sedimentos e nutrientes no sistema estuarino-marinho

Este subprojeto tem como escopo a identificação e o mapeamento de ações/intervenções realizadas sobre o território delimitado pela bacia hidrográfica do Rio Doce, particularmente à montante da seção de referência rio-estuário (em Linhares), visando subsidiar a compreensão global de suas relações de causa e efeito sobre os fluxos de água, sedimentos, nutrientes e contaminantes (i.e., elementos traço) à jusante da referida seção de referência. Dentre as atividades a serem desenvolvidas estão a realização de visitas técnicas à área de estudo, o acompanhamento de reuniões ordinárias e/ou extraordinárias de Câmaras Técnicas do Comitê Interfederativo (CIF) e do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CBH Doce), bem como de visitas técnicas ao IBio AGB Doce e à Renova. Será realizado o respectivo levantamento de ações e gestão com potencial relação com os fluxos hidrológicos junto as diferentes instituições. O escopo envolve também o emprego de metodologias de análise integrada, buscando-se obter uma visão sistêmica de como as ações/intervenções identificadas e mapeadas podem estar influenciando nos referidos fluxos.

### **3. OBJETIVO**

Os objetivos do Projeto serão apresentados por subprojetos que o compõem:

- Subprojeto Caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce no ambiente estuarino-marinho do Rio Doce

Subsidiar à compreensão das relações chuva-vazão nas diferentes sub-bacias/regiões hidrográficas que compõem a bacia do Rio Doce e o conseqüente aporte de água na seção de controle rio-estuário em Linhares.

- Subprojeto Monitoramento de vazões e descargas sólidas no estuário do Rio Doce

Monitorar e analisar o comportamento de descargas líquidas e sólidas no Rio Doce, bem como fluxos e variações de níveis d'água, a fim de subsidiar os pesquisadores das áreas de biologia e modelagem ambiental que integram o Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, na caracterização do ambiente estudado.

- Subprojeto Determinação dos fluxos de água, sedimentos em suspensão, nutrientes e metais do sistema fluvial para o sistema estuarino-marinho

Avaliação da conectividade hidrológica do sistema fluvio-estuarino do Rio Doce por meio da análise da variabilidade espacial e temporal dos fluxos de água, sedimentos, nutrientes e contaminantes (i.e., elementos traço) para seção estuarina da bacia e sistema marinho adjacente. A avaliação integrada do sistema fluvio-estuarino possibilitará uma melhor compreensão do nível e exposição da biota aquática, dulcícola, estuarina e marinha, em relação aos contaminantes e os potenciais efeitos fisiológicos nas comunidades biológicas e ecológicas nos ecossistemas aquáticos.

- Subprojeto Subsídios a compreensão global das relações de causa e efeito do conjunto de ações realizadas na bacia hidrográfica do Rio Doce sobre o aporte de fluxo de água, sedimentos e nutrientes no sistema estuarino-marinho

Subsidiar a compreensão global das relações de causa e efeito do conjunto de ações realizadas na bacia hidrográfica do Rio Doce sobre o aporte de fluxos de água, sedimentos e nutrientes no ambiente estuarino-marinho.

#### 4. METAS E JUSTIFICATIVAS

Nesta seção são apresentadas as submetas relacionadas aos subprojetos da Meta 4 do Programa de Monitoramento<sup>1</sup>:

- Subprojeto Caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce no ambiente estuarino-marinho do Rio Doce

**Submeta 1:** *Levantamento, espacialização e compilação de dados das estações pluviométricas e fluviométricas em operação na bacia do Rio Doce.* O desenvolvimento do trabalho envolve a identificação, espacialização e sistematização dos dados hidrológicos e de funcionamento das estações fluviométricas e pluviométricas instaladas na bacia do Rio Doce, abrangendo os responsáveis pela operação das mesmas, a forma de obtenção e transmissão de dados e os procedimentos que devem ser executados para obter seus dados hidrológicos. A finalização dessa atividade se dá com a categorização das estações e a escolha daquelas que serão utilizadas nas análises subsequentes. Nesta etapa dos trabalhos, será criada a base de dados para subsidiar o cumprimento das demais submetas.

**Submeta 2:** *Análise dos dados hidrológicos das diferentes regiões e sub-bacias que compõem o Rio Doce.* O desenvolvimento dessa atividade envolve a análise dos dados pluviométricos e fluviométricos das estações identificadas e o estabelecimento das relações de chuva-vazão nas diferentes regiões hidrográficas/sub-bacias que compõem a bacia do Rio Doce. Para o cumprimento seu comprimento, será necessária a análise de dados pluviométricos e fluviométricos pretéritos e atuais, o conhecimento dos tipos de solo e do uso do solo a partir de mapas existentes e da realização de visitas de campo para melhor conhecimento das características físicas e de uso do solo, facilitando o estabelecimento das relações causa e efeito na hidrologia da bacia do Rio Doce. O estabelecimento das relações de chuva-vazão é importante para se determinar como cada região se comporta quanto ao fornecimento de água para a calha do Rio Doce durante períodos secos e chuvosos.

**Submeta 3:** *Análise do caminhamento do fluxo de água de montante até a seção de controle.* Para o desenvolvimento dessa atividade, serão analisados os dados de altimetria ao longo da calha do Rio Doce e dados fluviométricos das diversas estações pluviométricas instaladas na bacia, de modo a se estabelecer a velocidade média do fluxo em cada trecho e as mudanças no hidrograma ao longo da calha do Rio Doce. Serão também analisadas as precipitações ocorrentes nas sub-bacias/regiões hidrológicas e as vazões na calha do Rio Doce e na seção de controle rio-estuário (em Linhares), de forma a se estabelecer as relações entre elas. Esta atividade se justifica pela necessidade de se compreender como cada região contribui para o fluxo de água que aporta no estuário e como se dá o caminhamento da água na calha do rio, subsidiando o entendimento das relações entre vazão e qualidade da água que aporta no estuário.

---

<sup>1</sup> Meta 4: Monitoramento ambiental da área dulcícola em 10 estações ao longo da bacia do Rio Doce: Determinação dos fluxos de água, sedimentos em suspensão, nutrientes e metais do sistema fluvial para o sistema estuarino-marinho.

- Subprojeto Monitoramento de vazões e descargas sólidas no estuário do Rio Doce

**Submeta 4:** *Quantificação de descargas líquidas e determinação de fluxos e níveis d'água.* Mensalmente, será realizado monitoramento, incluindo a análise multidimensional do comportamento espaço-temporal, de descargas líquidas e fluxos de água em 4 seções do estuário do Rio Doce (uma no limite fluvio-estuarino, em Linhares) por meio da utilização de ADCP (medições na seção transversal da calha fluvial). Nestas mesmas seções, serão instalados sensores de pressão para acompanhamento de níveis d'água. Os resultados obtidos serão utilizados para caracterização do ambiente e no estudo de modelagem numérica.

**Submeta 5:** *Estimativas de descargas sólidas.* Mensalmente, serão realizadas estimativas de descargas sólidas em 4 seções do estuário do Rio Doce, utilizando-se o método Modificado de Einstein. Para tal serão coletadas amostras de sedimentos suspensos integradas na vertical e de sedimentos de fundo. O comportamento espaço-temporal das descargas sólidas estimadas será analisado multidimensional e multicritério em subsídio à caracterização do ambiente e avaliação conjunta de dados biológicos.

- Subprojeto Determinação dos fluxos de água, sedimentos em suspensão, nutrientes e metais do sistema fluvial para o sistema estuarino-marinho

**Submeta 6:** *Será determinada a produção mensal e anual de água ( $m^3$ ), sedimentos em suspensão ( $t$ ), nutrientes ( $kg$ ) e elementos traço ( $kg$ ) do sistema fluvial para os sistemas estuarino e marinho.* Ao final de 12 meses será determinada a produção anual a qual será ponderada para determinação da produção relativa por área drenada (i.e.,  $t/km^2$ ) (Milliman & Farnsworth, 2011; Tong *et al.*, 2015). Será considerada a variabilidade espaço-temporal dos fluxos a partir da determinação mensal da vazão e das concentrações de sedimentos em suspensão, nutrientes e elementos traço em 4 estações amostrais no curso final do Rio Doce.

- Subprojeto Subsídios a compreensão global das relações de causa e efeito do conjunto de ações realizadas na bacia hidrográfica do Rio Doce sobre o aporte de fluxo de água, sedimentos e nutrientes no sistema estuarino-marinho

**Submeta 7:** *Levantamento e sistematização das ações/intervenções.* Esta atividade envolve a identificação, o mapeamento e a sistematização de ações/intervenções de gestão que estão ocorrendo na bacia hidrográfica do Rio Doce, especialmente na porção localizada à montante da seção de referência rio-estuário (em Linhares). Para isso, serão consultados documentos produzidos no âmbito da Renova, do CIF e de suas Câmaras Técnicas, dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) na região hidrográfica do Doce, do IBio AGB Doce, entre outros. Também estão previstas visitas técnicas a algumas dessas Câmaras Técnicas e à área de estudo. As ações que estão sendo realizadas, bem como sua espacialização sobre o território, serão categorizadas por temática.

**Submeta 8:** *Acompanhamento das ações realizadas e levantamento sistemático de dados e informações.* A atividade envolve o acompanhamento das ações realizadas e o levantamento de dados e informações associados a elas, que, para seu cumprimento, será necessário esforço de articulação institucional e mobilização de atores-chave. Para isso, está prevista a participação em reuniões de Câmaras Técnicas do CIF, do CBH Doce, assim como visitas técnicas ao IBio AGB Doce e à Renova, entre outras instâncias que forem identificadas como relevantes no presente contexto. Também estão previstas visitas à área de estudo para observar *in loco* algumas das ações que estão sendo realizadas que poderão subsidiar o desenvolvimento dessa atividade. Todas as informações e dados coletados serão armazenados em um banco de dados para subsidiar a análise de causa e efeito sobre os fluxos de água, sedimentos e nutrientes na seção de referência rio-estuário.

**Submeta 9:** *Análise integrada dos reflexos de ações/intervenções identificadas na bacia.* Para o desenvolvimento dessa atividade, serão utilizadas metodologias de análise integrada multidimensional & multicritério, visando compreender, por meio de visão sistêmica, as relações de causa e efeito das ações/intervenções realizadas na bacia hidrográfica do Rio Doce – à montante da seção de referência fluvio-estuarino (em Linhares) – sobre o aporte de fluxos de água, sedimentos, nutrientes no ambiente estuarino-marinho. De início, todas as informações e dados levantados, no que tange às ações/intervenções mapeadas, serão trabalhados de forma individualizada para identificação de potenciais impactos (sinergias e *trade-offs*) sobre os fluxos supracitados. Identificados os possíveis impactos, essas informações serão correlacionadas

com dados de chuva, vazão e carga de nutrientes, buscando elucidar relações de sinergia e *trade-off* e de causa e efeito do conjunto de ações identificadas.

## 5. PRODUTOS

Nesta seção são apresentados os produtos relacionados aos subprojetos da Meta 4 do Programa de Monitoramento.

| <b>5.1. DADOS BRUTOS</b><br><i>(Listar os dados que serão entregues como produto, segundo o TR4, tanto os coletados in situ como os processados no laboratório)</i>  | <b>RESPONSÁVEL</b><br><i>(Pessoal Vinculado)</i>                        |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinação dos fluxos de água, sedimentos em suspensão, nutrientes e metais do sistema fluvial para o sistema estuarino-marinho</li> <li>- Produção anual de água (m<sup>3</sup>), sedimentos em suspensão (t), nutrientes (kg) e metais (kg) do sistema fluvial</li> </ul>   | <p style="text-align: center;">Gilberto F Barroso e<br/>Daniel Rigo</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoramento de vazões e descargas sólidas no estuário do Rio Doce</li> <li>- Vazão Fluvial</li> <li>- Fluxo d'água, correntes;</li> <li>- Série temporal de níveis d'água;</li> <li>- Concentração e granulometria de sedimentos suspensos;</li> <li>- Gráfico com curva granulométrica e tabela com classificação granulométrica e concentração de sedimentos suspensos;</li> <li>- Concentração e granulometria de sedimentos suspensos e de fundo, associado a descargas líquidas.</li> <li>- Estimativa de descargas sólidas pelo método Modificado de Einstein.</li> </ul>   | <p style="text-align: center;">Daniel Rigo</p>                          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce no ambiente estuarino-marinho do Rio Doce</li> <li>- Dados hidrológicos das estações fluviométricas e pluviométricas em funcionamento na bacia do Rio Doce;</li> <li>- Posicionamento geográfico das estações;</li> <li>- Dados de funcionamento das estações pluviométricas e fluviométricas – responsáveis pela operação das mesmas, forma de obtenção e transmissão de dados e os procedimentos que devem ser executados para obter seus dados hidrológicos;</li> <li>- Mapas pedológicos e de uso do solo da bacia do Rio Doce;</li> <li>- Altimetria ao longo da calha do Rio Doce.</li> </ul> | <p style="text-align: center;">Marco Aurélio Caiado</p>                 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Subsídio a compreensão global das relações de causa e efeito do conjunto de ações realizadas na bacia hidrográfica do Rio Doce sobre o aporte de fluxo de água, sedimentos e nutrientes no sistema estuarino-marinho</li> <li>- Documentos produzidos no âmbito da Renova, do CIF e de suas Câmaras Técnicas, dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs), do IBio AGB Doce, entre outros;</li> <li>- Dados e informações das ações/intervenções.</li> </ul>   | <p style="text-align: center;">Edmilson Costa Teixeira</p>              |



| <b>5.2. ANÁLISE DE DADOS</b><br><i>(Relacionar as análises que serão feitas e entregues até o 15º mês de vigência do Projeto)</i>   | <b>RESPONSÁVEL</b><br><i>(Pessoal Vinculado)</i>                        |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinação dos fluxos de água, sedimentos em suspensão, nutrientes e metais do sistema fluvial para o sistema estuarino-marinho</li> <li>- Análise da variação espaço-temporal dos fluxos hidrológicos na porção final do Rio Doce baseado em amostragem mensais.</li> </ul>   | <p style="text-align: center;">Gilberto F Barroso e<br/>Daniel Rigo</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce no ambiente estuarino-marinho do Rio Doce</li> <li>- Avaliação da variabilidade sazonal das vazões afluentes à foz do Rio Doce;</li> <li>- Avaliação da variabilidade sazonal, semi-diurna e semanal de fluxos d'água e correntes, para identificação do comportamento hidrodinâmico da região estuarina do Rio Doce;</li> <li>- Avaliação da variação sazonal de níveis d'água do Rio Doce, na porção estuarina;</li> <li>- Avaliação de interrelação entre os dados obtidos;</li> <li>- Avaliação da variabilidade sazonal de descargas sólidas em suspensão afluentes à foz do Rio Doce;</li> <li>- Avaliação da variabilidade sazonal de descargas sólidas de fundo afluentes à foz do Rio Doce;</li> <li>- Estimativa de descargas sólidas totais pelo método Modificado de Einstein.</li> </ul>  | <p style="text-align: center;">Daniel Rigo</p>                          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce no ambiente estuarino-marinho do Rio Doce</li> <li>- Especialização das estações pluviométricas e fluviométricas;</li> <li>- Compilação dos dados hidrológicos e de funcionamento de cada estação;</li> <li>- Escolha das estações que servirão de base para os trabalhos das etapas subsequentes;</li> <li>- Análise da qualidade dos dados e facilidade de se obter os dados hidrológicos em tempo real;</li> <li>- Compilação de mapas pré-existentis;</li> <li>- Refinamento de mapas a partir de dados colhidos no campo;</li> <li>- Estabelecimento de relações chuva-vazão nas sub-bacias/regiões hidrológicas que compõem a bacia do Rio Doce;</li> <li>- Avaliação das mudanças do hidrograma entre as estações fluviométricas em funcionamento na calha do Rio Doce;</li> <li>- Estabelecimento da velocidade média da água nos trechos ao longo da calha do Rio Doce;</li> <li>- Avaliação das relações entre as chuvas nas sub-bacias/regiões hidrológicas e o fluxo d'água que aporta no estuário;</li> </ul> | <p style="text-align: center;">Marco Aurélio Caiado</p>                 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Subsídio a compreensão global das relações de causa e efeito do conjunto de ações realizadas na bacia hidrográfica do Rio Doce sobre o aporte de fluxo de água, sedimentos e nutrientes no sistema estuarino-marinho</li> <li>- Categorização e mapeamento das ações/intervenções;</li> <li>- Avaliação dos potenciais impactos de cada uma das ações/intervenções identificadas;</li> <li>- Avaliação dos potenciais impactos do conjunto de ações/intervenções.</li> </ul>   | <p style="text-align: center;">Edmilson Costa Teixeira</p>              |

## 6. METODOLOGIA

Nesta seção são apresentados aspectos metodológicos relacionados a cada uma das quatro atividades (subprojetos) do Projeto Integração Flúvio-Estuarina. As amostragens em campo serão realizadas em 4 estações amostrais, sendo a estação defrontante à Linhares (i.e., estação 21 do Anexo 3 do TR4) a estação de referência, por estar localizada à montante do estuário superior, ou seja, livre dos efeitos do represamento pelas marés enchentes durante os meses de baixa vazão fluvial. Duas estações à jusante (i.e., estações 22 e 26 do Anexo 3 do TR4) funcionam para avaliação dos efeitos da influência estuarina, além da estação 04 da porção dulcícola do Anexos 7 (Ictiofauna).

- Caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce no ambiente estuarino-marinho do Rio Doce

Serão levantadas junto à ANA, INCAPER, INMET, IGAM, RENOVA e outros órgãos as estações fluviométricas e pluviométricas em funcionamento na bacia do Rio Doce. Suas posições geográficas serão compiladas em sistema de informação geográfica e elaborado um mapa com a espacialização das mesmas.

Os dados hidrológicos das estações fluviométricas e pluviométricas identificadas e que estiverem disponíveis na rede mundial de computadores serão obtidos e sistematizados em banco de dados apropriado. Serão feitos contatos com os órgãos responsáveis pela operação das estações, de forma a se conhecer a forma de obtenção e transmissão de dados e os procedimentos que devem ser executados para obter seus dados hidrológicos que não estiverem prontamente disponíveis.

As estações serão categorizadas em termos de qualidade dos dados e posição geográfica e escolhidas as que serão utilizadas para o cumprimento das próximas metas.

Serão realizadas análises de consistência de dados das estações escolhidas, com foco na qualidade dos dados e na facilidade de se obter os dados hidrológicos em tempo real.

Será realizado levantamento dos mapas e imagens existentes que encobrem a bacia do Rio Doce. Estes serão levados a sistema de informação geográfica e recortados os mapas, de forma a caracterizar as sub-bacias/regiões hidrológicas que compõem a bacia no que tange a pedologia e uso do solo

Serão realizadas visitas de campo na bacia do Rio Doce, de forma a se visualizar a calha do rio, o relevo, uso do solo e pedologia, visando o refinamento dos mapas existentes.

Com base nos dados de chuva e de vazão das estações escolhidas e nas características físicas e de uso do solo das sub-bacias/regiões hidrológicas, serão estabelecidas as relações entre as chuvas precipitadas e as vazões advindas das mesmas e que chegam na calha do Rio Doce.

A partir dos dados de altimetria ao longo da calha do Rio Doce e dados fluviométricos das estações fluviométricas existentes na calha do mesmo, será estabelecida a velocidade da água e as mudanças no hidrograma ao longo da mesma. Para tanto, serão utilizadas planilhas eletrônicas e sistema de informação geográfica como ferramentas de análise.

A partir das relações chuva-vazão estabelecidas para as sub-bacias/regiões hidrológicas, da velocidade da água e do entendimento das mudanças no hidrograma ao longo da calha, será estabelecida a relação das precipitações ocorrentes nas sub-bacias/regiões hidrológicas e o fluxo de água que aporta no estuário do Rio Doce.

- Subprojeto Monitoramento de vazões e descargas sólidas no estuário do Rio Doce

As medições de vazão e fluxos d'água serão feitas em 4 seções, com ADCP, e os dados processados em software específico para tal finalidade.

Os dados de vazão serão avaliados segundo sua sazonalidade. Os dados de fluxos d'água serão avaliados segundo sua sazonalidade e variação semi-diurna (maré). Níveis d'água serão medidos com sensor de pressão e armazenados em datalogger. Esses dados serão tabelados e comparados com variação de vazões afluentes à região estuarina.

Para estimativas de descargas sólidas serão coletadas amostras de água nas mesmas seções em que serão feitas as medições de vazão, para análise de sedimentos suspensos, e amostras de sedimentos de fundo.

As medições de descargas sólidas de sedimentos em suspensão serão realizadas pelo método Igual Incremento de Largura, com uso de amostrador de integração na vertical. As amostras coletadas serão enviadas ao LABHIDRO/UFES para análises de concentração e granulometria de sólidos suspensos.

Os dados para elaboração das curvas granulométricas dos sedimentos em suspensão serão obtidos através do Método do Tubo de Retirada pela Base (CARVALHO, 2008). A classificação granulométrica dos sedimentos suspensos será feita segundo a American Geophysical Union. As concentrações de sólidos

suspensos e dissolvidos serão determinadas pelo mesmo método de análise, sendo obtidas concentrações de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos em planilhas de cálculo.

Serão coletadas amostras de sedimento de fundo, com uso de draga, para determinação das distribuições granulométricas dos materiais dos leitos. As amostras serão acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e encaminhadas para o LABHIDRO.

As curvas granulométricas serão obtidas a partir dos resultados das análises dos sedimentos realizadas pelo Método de Peneiramento. A classificação granulométrica dos sedimentos de fundo será feita segundo metodologia indicada pela American Geophysical Union (CARVALHO, 2008).

A equação  $Q_{ss} = 0,0864.Q.C_{ss}$  será utilizada nas estimativas de descargas sólidas em suspensão, na qual  $Q_{ss}$  é a descarga sólida em suspensão (t/d);  $Q$  é a vazão ( $m^3/s$ ) e  $C_{ss}$  é a concentração de sedimentos suspensos (mg/L):

As descargas sólidas totais serão estimadas pelo Método de Einstein modificado por Colby e Hembree (1955). Por este método as descargas totais de sedimentos são obtidas a partir de medições de descargas de sedimentos em suspensão na parte superior da seção de escoamento, entre a superfície e pontos localizados a uma pequena distância do fundo, e de extrapolação das cargas em suspensão medidas para a faixa situada próxima ao fundo (CARVALHO, 2008). Com uso da metodologia descrita, obtêm-se as descargas sólidas em suspensão, por arraste, e total.

Os cálculos serão feitos a partir de parâmetros hidráulicos correspondentes às seções monitoradas, considerando as características do material amostrado em suspensão e no leito. Os dados utilizados serão os seguintes:

- o vazão ( $m^3/s$ );
  - o velocidade média de escoamento (m/s);
  - o área da seção transversal ( $m^2$ );
  - o largura da seção transversal (m);
  - o profundidade média das verticais de coletas de sedimentos (m);
  - o concentração de sedimentos em suspensão (ppm ou mg/l);
  - o distribuição granulométrica de materiais do leito e em suspensão coletados na seção (m);
  - o temperatura da água ( $^{\circ}C$ ).
- Subprojeto Determinação dos fluxos de água, sedimentos em suspensão, nutrientes e metais do sistema fluvial para o sistema estuarino-marinho

Os dados de vazão fluvial e sedimentos em suspensão serão obtidos do subprojeto “Monitoramento de vazões e descargas sólidas no estuário do Rio Doce” enquanto os dados de nutrientes (i.e., nitrogênio, fósforo e silício) e metais serão fornecidos pelo Projeto “Caracterização limnológica dos ecossistemas fluviais, lacustres e estuarinos do Baixo Rio Doce”, também do Anexo 3. A frequência amostral para coleta de água será mensal sendo e equivalente e concomitante com a amostragem no sistema marinho adjacente. A partir destes dados serão estimados os fluxos mensais e anuais de água ( $m^3$ ), sedimentos, nutrientes e metais (kg). Os fluxos serão determinados por meio da equação  $Q_{ss}$ , conforme detalhado no subprojeto anterior.

- Subsídio a compreensão global das relações de causa e efeito do conjunto de ações realizadas na bacia hidrográfica do Rio Doce sobre o aporte de fluxo de água, sedimentos e nutrientes no sistema estuarino-marinho

Serão levantadas as ações/intervenções já realizadas e em execução na bacia hidrográfica do Rio Doce na porção localizada acima da seção de referência rio-estuário (em Linhares). Para tanto, serão realizadas consulta a documentos produzidos por entidades responsáveis por intervenções na bacia - Renova, CIF e suas Câmaras Técnicas, Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs), IBio AGB Doce, entre outras - e definidas aquelas em que serão realizadas visitas para acompanhamento das ações/intervenções potencialmente impactantes nas análises subsequentes previstas neste subprojeto.

No que se refere à sistematização das ações/intervenções, será realizada a categorização de ações/intervenções que estão sendo realizadas na bacia, bem como sua espacialização sobre o território, delimitado pelas sub-bacias. Neste sentido, as ações levantadas serão diferenciadas e classificadas conforme a temática. Adicionalmente, será utilizado um software de Sistema de Informações Geográficas para o mapeamento georreferenciado das ações/intervenções e atribuição das informações de suas classes.

Visando o acompanhamento das ações/intervenções realizadas, será empenhado esforço de articulação com os entes envolvidos para aquisição de dados e informações correspondentes. Para isso, serão realizadas visitas à Renova, IBio AGB Doce, IEMA, SEAMA e ICMBio/ES; participação em reuniões de

Câmaras Técnicas do CIF e de Comitês de Bacia Hidrográfica na região hidrográfica do Doce, entre outras; além de pesquisas em bases públicas e sites. Também estão previstas visitas à área de estudo para observar *in loco* algumas das ações que estão sendo realizadas.

Serão selecionados dados e informações relacionados a chuva, vazão, carga de sedimentos e nutrientes da Base de Dados Geral do Projeto, a fim de subsidiar a execução das atividades subsequentes. Em seguida, estes dados serão tratados para atender as especificações de cada uma das atividades previstas.

Todas as informações e dados coletados nas atividades anteriores serão armazenados em um banco de dados para subsidiar a análise de sinergias e *trade-offs* do conjunto de ações identificadas sobre os fluxos de água, sedimentos e nutrientes na seção de referência rio-estuário. Posteriormente, todas as informações produzidas serão inseridas no Banco de Dados Geral do Projeto.

Os dados e informações levantados nas etapas anteriores serão processados de forma a fornecer informações sobre os potenciais impactos de ações específicas, identificadas na bacia, sobre o aporte de fluxos de água, sedimentos e nutrientes na conexão rio-estuário. Deste modo, será buscada a identificação de fatores-chave e seu respectivo potencial para propiciar variações nesses fluxos, baseando-se na experiência da equipe técnica e em bibliografia especializada.

Inicialmente será realizada uma avaliação dos potenciais impactos do conjunto de ações/intervenções realizadas na bacia considerando dois períodos: anteriormente ao rompimento da barragem de Fundão/Samarco e pós-rompimento até o mês de agosto de 2018. Entre os documentos a serem consultados inclui-se o relatório a ser elaborado no âmbito do presente Acordo de Cooperação Renova - FEST sobre avaliação de impacto agudo e crônico devido ao rompimento da supracitada barragem, utilizando-se dados pretéritos.

Em seguida, será possível estabelecer, entre as diversas ações/intervenções identificadas, relações de sinergia e *trade-off*. O melhor entendimento dessas relações subsidiará a avaliação do impacto do conjunto de ações, como um todo, ou de conjuntos de ações. E para auxiliar nessa avaliação, as informações produzidas serão correlacionadas com informações disponíveis sobre chuvas na bacia e, principalmente, de vazão e descarga de sedimentos e nutrientes obtidas na seção de referência flúvio-estuarina (em Linhares). Essa correlação contribuirá para maior compreensão global das relações de causa e efeito do conjunto de ações realizadas na bacia hidrográfica do Rio Doce sobre o aporte de fluxo de água, de sedimentos e de nutriente no ambiente estuarino-marinho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROSO, G. F., MARTINS, F. C. O., LÉLLIS, F. S. & SANTANA, S. E. (2012). Integrated river basin management: incorporating coastal zone issues. BILIBIO, C., HENSEL, O. AND SELBACH, J. F. (eds.). *Sustainable water management in the tropics and subtropics and case studies in Brazil*. Jaguarão, Universidade Federal do Pampa / University of Kassel / Universidade Federal do Maranhão. 3: 831-872
- CARVALHO, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia prática*. 2<sup>o</sup> ed. Rio de Janeiro, Interciência
- LIMA, J.E.F.W. (2006). *Fluxo de sedimentos em suspensão no exutório de grandes bacias hidrográficas em território brasileiro*. In: VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Anais..., Porto Alegre: nov. 2006.
- CROSSLAND, C. J., KREMER, H. H., LINDEBOOM, H. J., MARSHALL, J. I., MARSHALL-CROSSLAND, J. J. AND TISSIER, M. D. A., Eds. (2005). *Coastal fluxes in the Anthropocene*. The Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project of the International Geosphere-Biosphere Programme Berlin, Springer. 231,
- MILLIMAN, J.D. & FARNSWORTH, K.L. (2011). *River discharge to the coastal ocean: a global synthesis*. Cambridge, Cambridge University Press. 978-1107612181
- OLIVEIRA, J.C.; AGUIAR, W.; CIRANO, M.; GENZ, F. & AMORIM, F.N. de. (2018). A climatology of the annual cycle of river discharges into Brazilian continental shelves: from seasonal to interannual variability. *Environmental Earth Sciences*, 77:192. doi: 10.117/s12665-018-7349-y.
- SOUZA, W.F.L. & KNOPPERS, B. (2003), Fluxos de água e sedimentos a costa leste do Brasil: relações entre a tipologia e as pressões antrópicas. *Geochimica Brasiliensis*, 17(1):57-74.
- TONG, Y., ZHAO, Y., ZHEN, G., CHI, J., LIU, X., LU, Y., WANG, X., YAO, R., CHEN, J. & ZHANG, W. (2015). Nutrient loads flowing into coastal waters from the main rivers of China (2006–2012). *Scientific Reports*, 16678

# REDE RÍO DOCE



**Proposta de Adequação de Estações Amostrais e Frequência Amostral para o sistema dulcícola do Baixo Rio Doce (Anexos 2 e 3, Área Ambiental 1)**

**Vitória,  
18 de julho de 2018**

# PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA BIODIVERSIDADE AQUÁTICA DA ÁREA AMBIENTAL 1

## APRESENTAÇÃO

O presente documento apresenta as justificativas para as adequações em algumas especificações do Termo de Referência (TR4), apresentadas na Proposta Técnica para a execução do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental 1, pela Rede Rio Doce Mar. Todas as adequações foram recomendadas por especialistas nas respectivas áreas e visam a viabilidade, a qualidade e a eficiência do programa de monitoramento. As adequações são referentes aos Anexos 2 e 3 do TR 4. A grade amostral do sistema dulcícola (10 estações) do Anexo 3 é apresentada na figura 1.

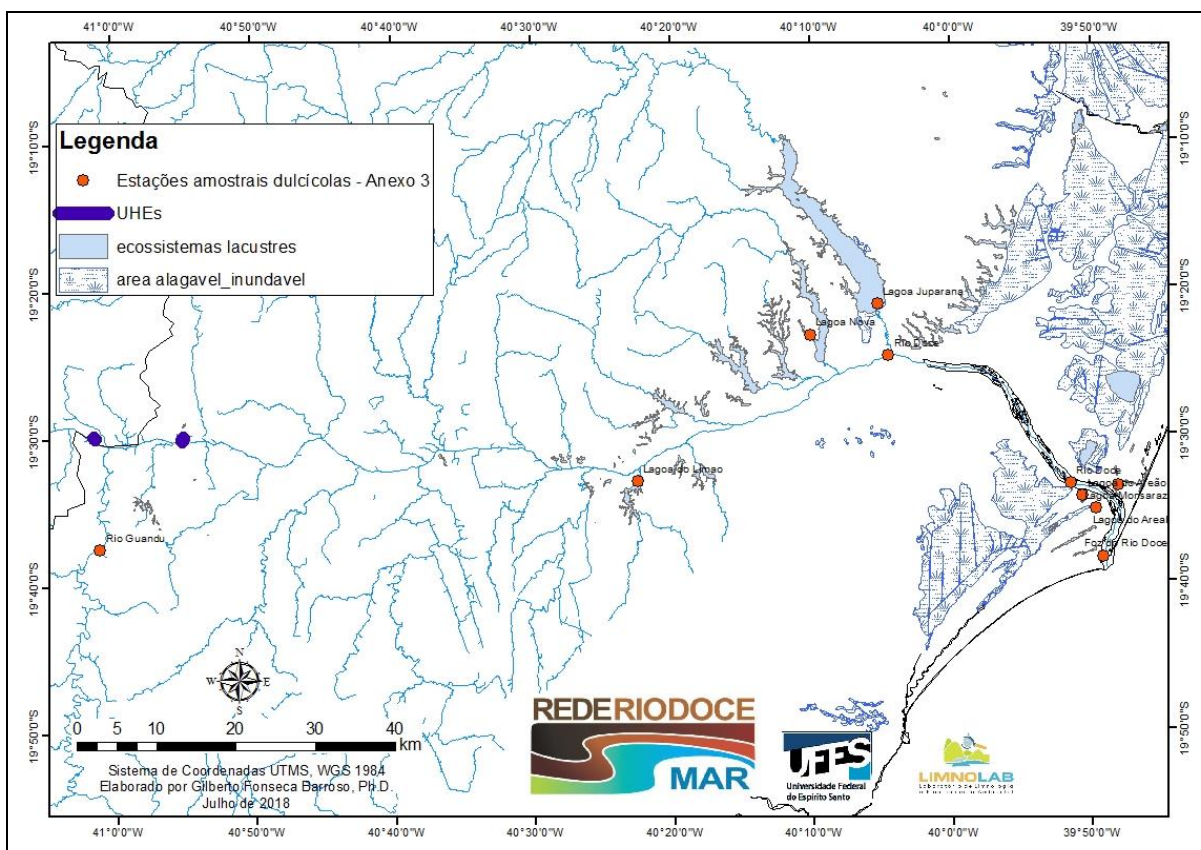


Figura 1: Estações amostrais dulcícolas do Anexo 3.

## 2. ANEXOS 2 E 3

Os Anexos 2, flora aquática (08 estações) e 3 apresentam sobreposições das estações amostrais na calha do Rio Doce nas localidades de Linhares e Regência (Figura 2). São recomendados ajustes na grade amostral das estações dos anexos 2 e 3, conforme a Figura 3.

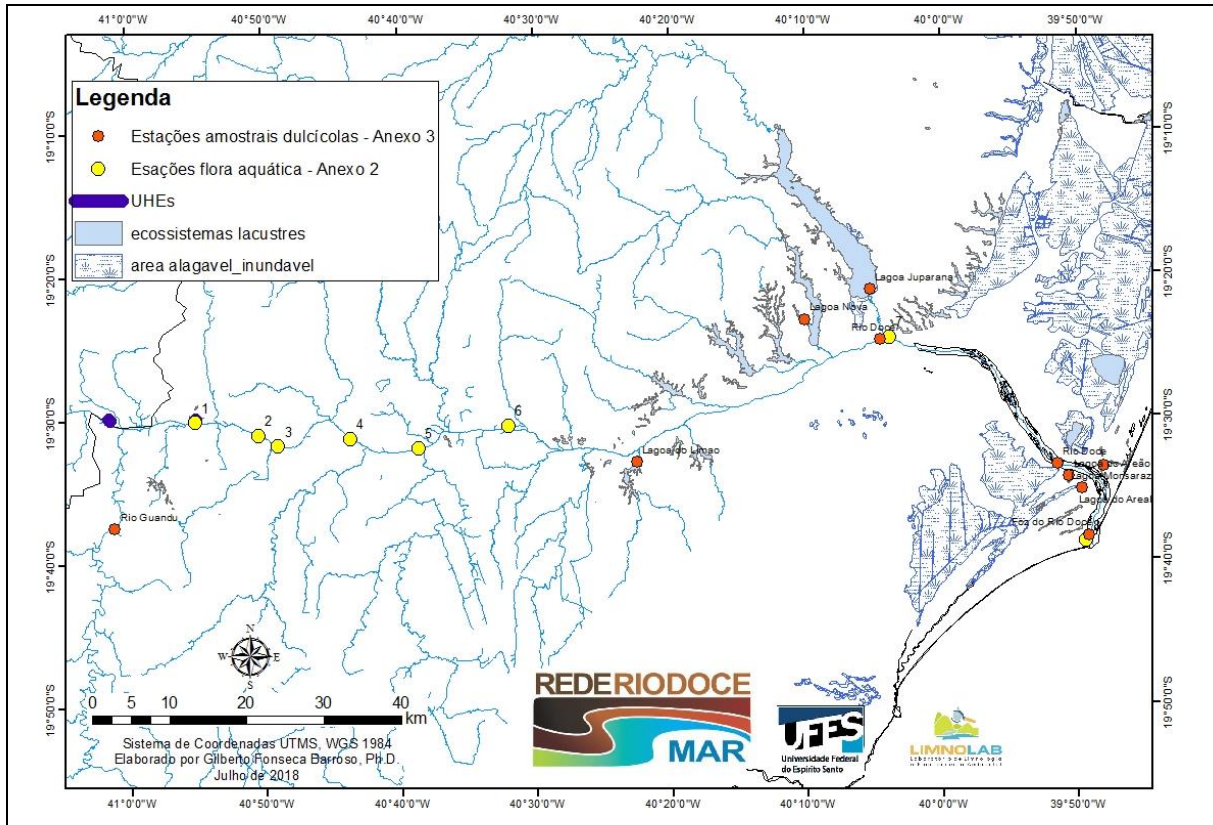


Figura 2: Estações amostrais dulcícolas dos Anexos 2 e 3.

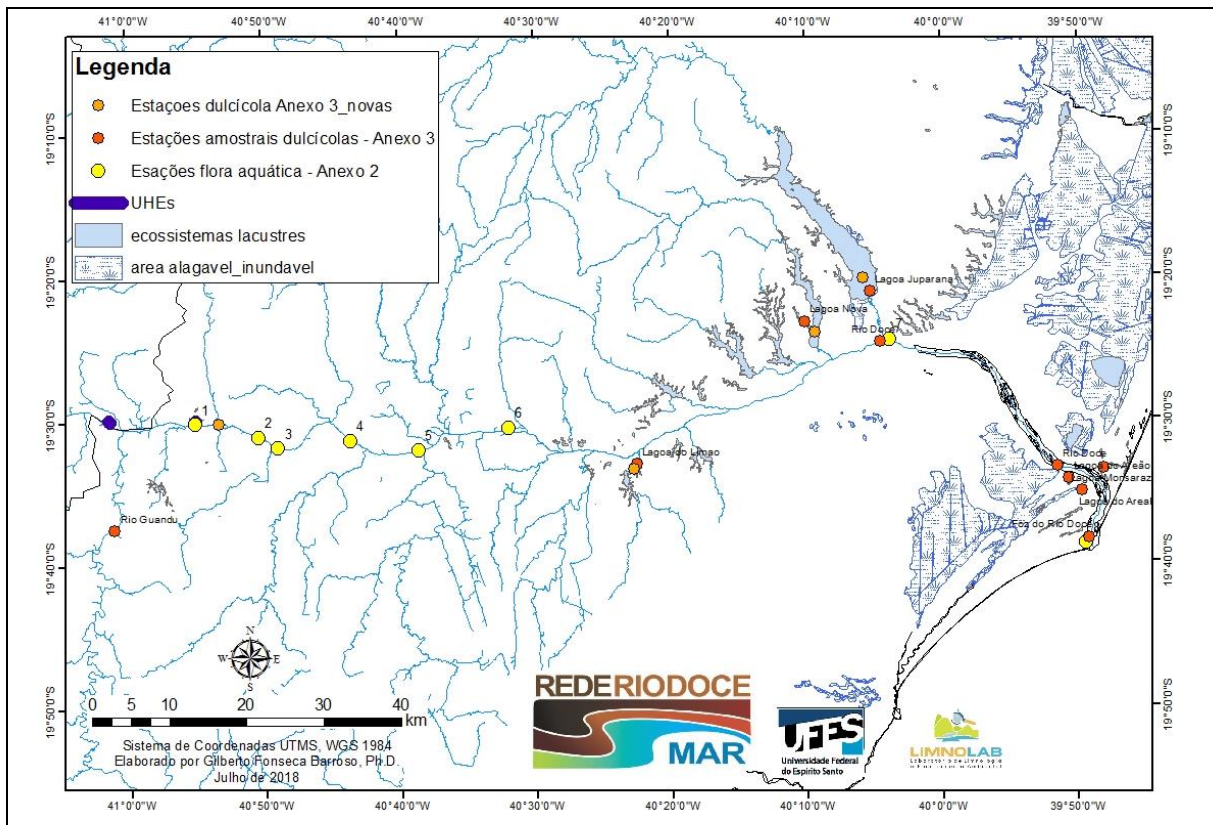


Figura 3: Estações amostrais dulcícolas dos Anexos 2 e 3 e adequações das estações do Anexo 3.

## 2.1 Amostragem no sistema fluvial do Baixo Rio Doce

Considerando que a distância entre UHE de Mascarenhas e a foz do Rio Doce é de 151 km e que a estação mais a montante é a estação de Linhares (Anexo 3) que dista 42 km da foz, vimos propor a inclusão da estação à jusante da UHE de Mascarenhas, distando 136 km da foz (Figura 4). Nesta estação a amostragem será completa considerando a hidroquímica e hidrobiologia. A nova estação funcionará como referência após a última barreira fluvial, represamento para aproveitamento hidrelétrico, com potencial de sedimentação do material particulado em suspensão.

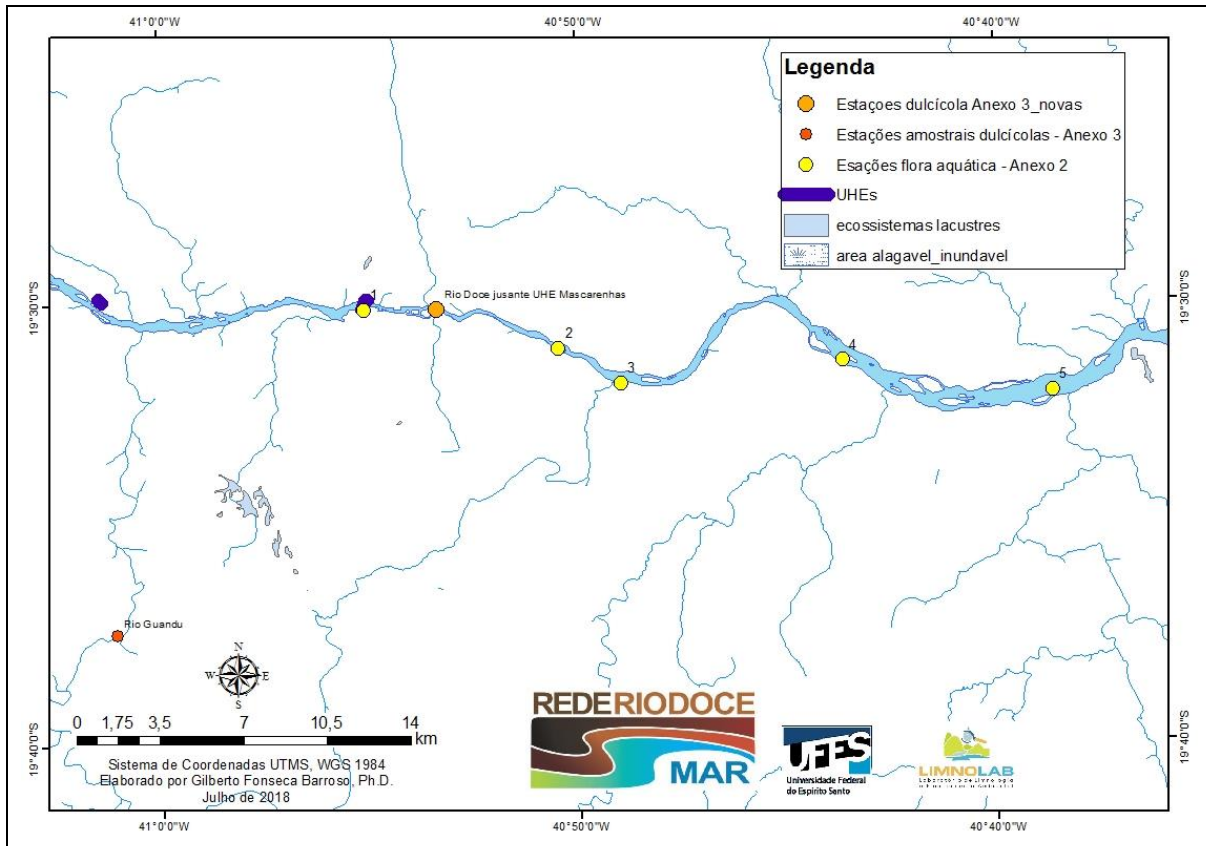


Figura 4: Localização da estação amostral proposta para calha fluvial do Rio Doce: estação à jusante da UHE de Mascarenhas.

### 2.1.1. Coleta de amostras de parâmetros hidroquímicos nas profundidades de subsuperfície e fundo ao invés de superfície, meio e fundo da coluna d'água

Considerando a turbulência da coluna d'água pela correnteza fluvial espera-se que haja significativa mistura da massa d'água. Deste modo, as características hidroquímicas (e.g., pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, nutrientes, etc) devem ser muito próximas entre a superfície e a profundidade de meia água. Assim, sugere-se que as amostragens hidroquímicas sejam realizadas apenas nas profundidades de subsuperfície e fundo. Ressalta-se que as diferenças podem ser significativas entre a superfície e o fundo, sobretudo em relação ao material em suspensão transportado como carga de fundo, principalmente na seção estuarina, onde os processos físico-químicos de sedimentação do material particulado são mais intensivos.



## 2.2. Amostragem nos lagos Nova, Limão e Juparanã e Lagoa Monsarás.

### 2.2.1. Reposicionamento das estações amostrais nos lagos Nova, Limão e Juparanã e Lagoa Monsarás.

A localização original das estações amostrais do Anexo 3 para os lagos Nova, Limão e Juparanã está em locais de baixa profundidade (< 5,0 m), sendo propensos a resuspensão e remobilização de sedimentos pela turbulência do vento na coluna d'água. Assim, sugerimos reposicionar as estações destes lagos para maiores profundidades, onde o processo de sedimentação é mais efetivo com sedimentos finos e acúmulo de poluentes e contaminantes, além da possibilidade de resuspensão ser menor. No lago Nova, onde houve intrusão de rejeitos de minério com o evento de cheia do final de janeiro de 2016 (Figuras 5 e 6). No caso do Lago Juparanã, embora não tenha ocorrido intrusão de rejeitos devido ao represamento prévio do Rio Pequeno, a entrada de água do rio Doce no lago durante eventos de cheia é conhecida e pode ser identificada a partir de imagens de satélite (Figura 7). A Figura 8 apresenta a localização sugerida para estação no lago do Limão.

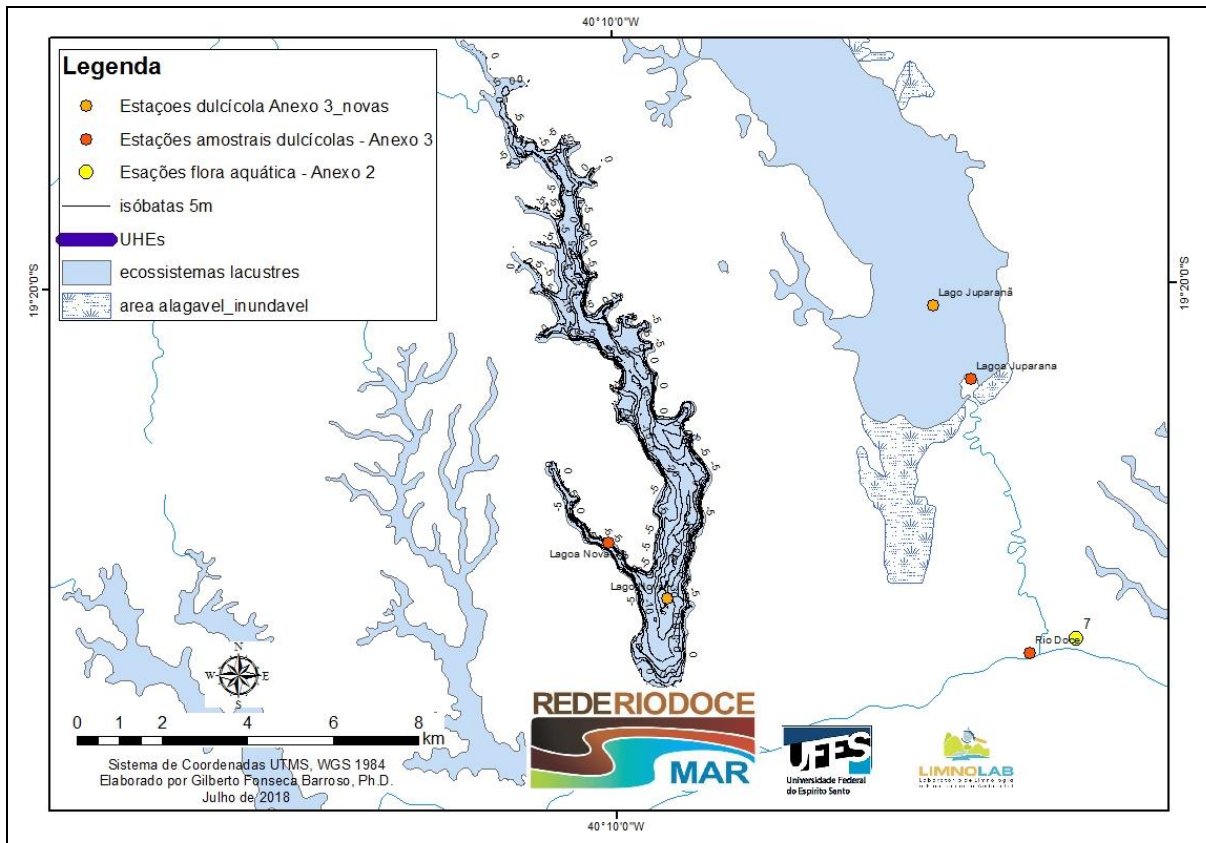


Figura 5: Reposicionamento da estação amostral no Lago Nova: estação original localizada o 'braço' do lago e reposicionamento da estação com profundidade de 30 m. Dados batimétricos conforme Gonçalves et al. (2016).



a)



b)

Figura 6: Intrusão da pluma de rejeitos de minério no Lago Nova com a cheia do Rio Doce em 25 de janeiro de 2016. a) intrusão da pluma do Rio Doce com rejeitos de minério de ferro pelo córrego de drenagem do Lago Nova; b) perspectiva da intrusão da pluma do Rio Doce no Lago Nova com alcance à montante do embaçamento e até a primeira inflexão do eixo longitudinal da bacia lacustre. Fotografias de Bruno Sibilio Barra (Vertical Fun Images).

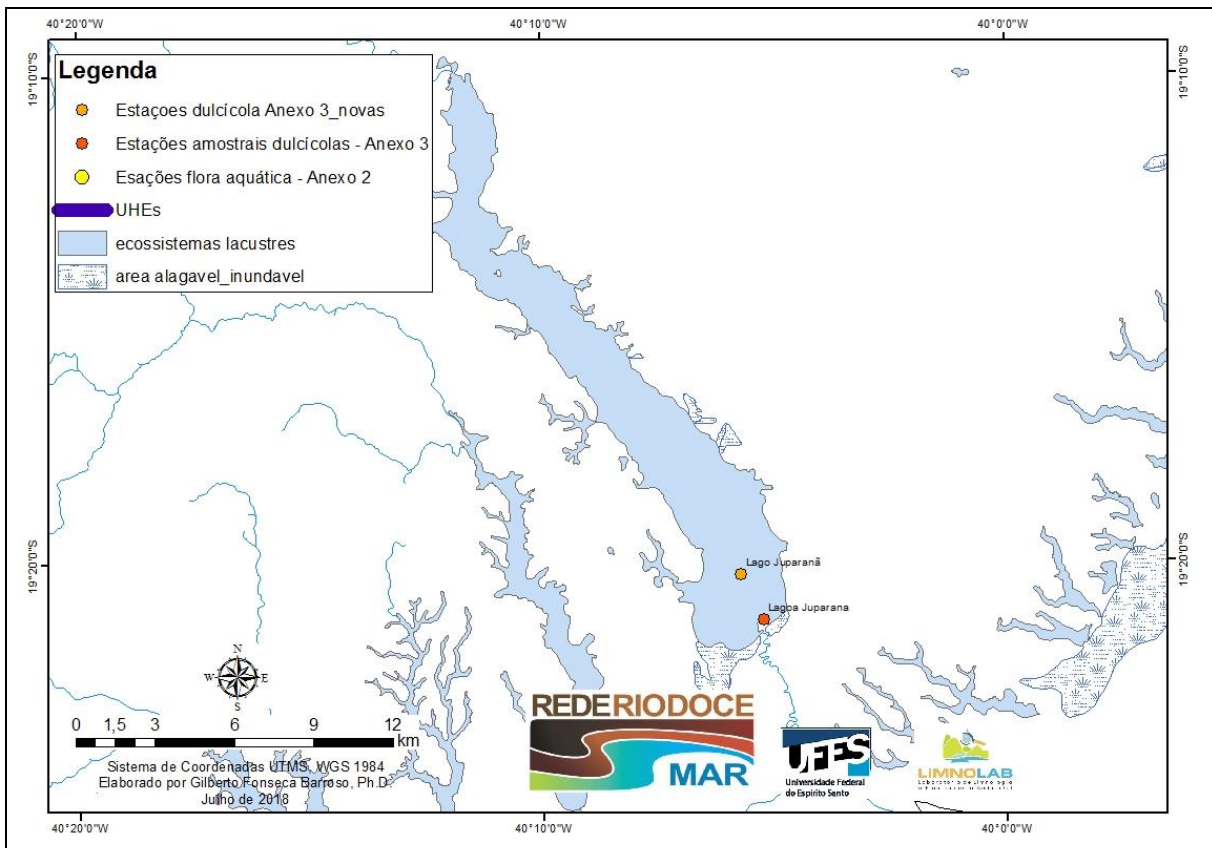


Figura 7: Reposicionamento da estação amostral no Lago Juparanã: estação original em com até 5m e estação amostral reposicionada em local com profundidade > 5,0 m em área de influência direta da pluma do rio Doce.

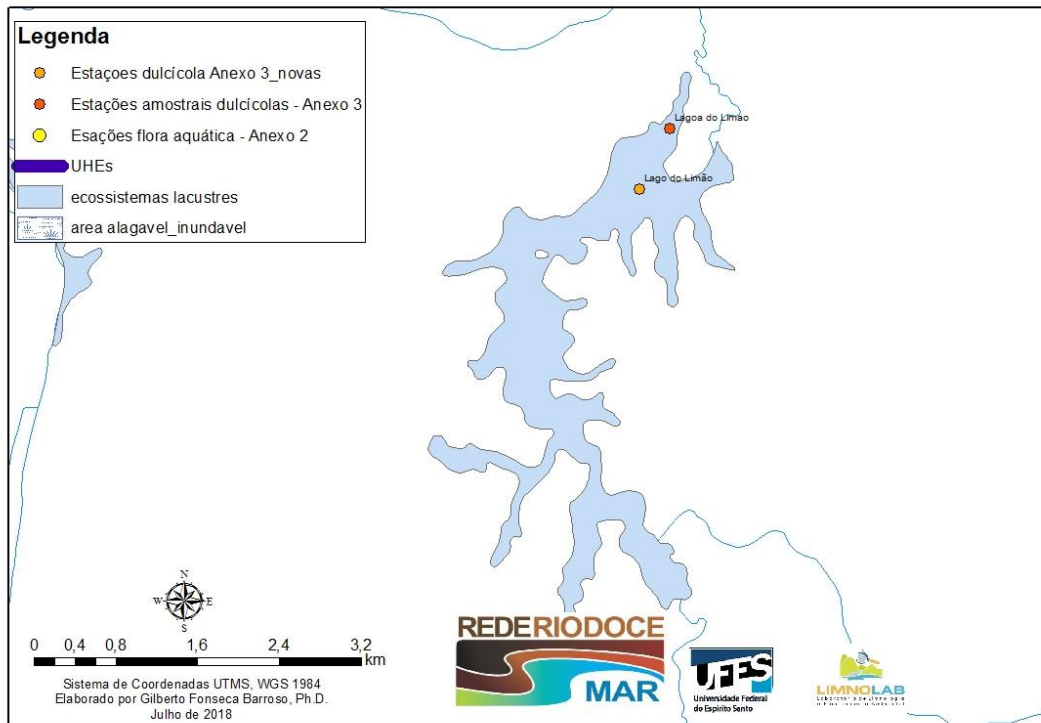


Figura 8: Reposicionamento da estação amostral no Lago do Limão: estação original em com até 5m e estação amostral reposicionada em local com profundidade > 5,0 m em área de influência direta da pluma do rio Doce.

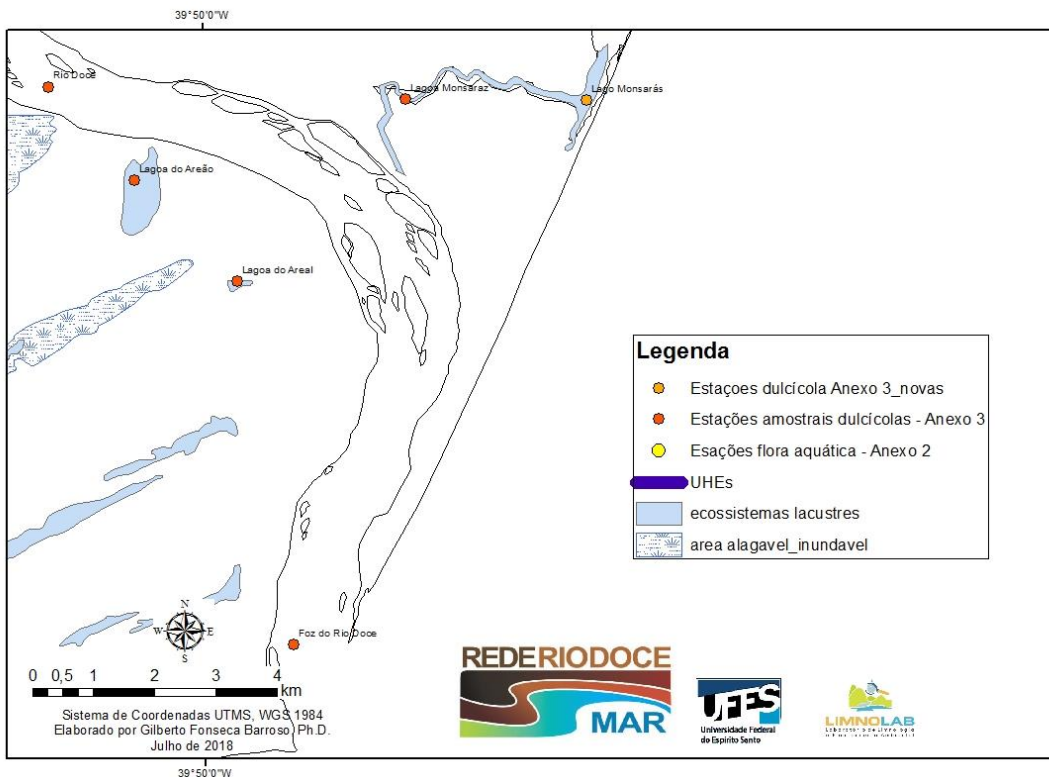


Figura 8: Reposicionamento da estação amostral na Lagoa Monsarás para área mais larga em profunda da lagoa..

### 2.2.2. Profundidade de amostragem nas lagoas Areão, Areal e Monsarás

Devido a baixa profundidade (< 3,0 m) dos ecossistemas lacustres da planície costeira do Baixo Rio Doce, como as lagoas Areão, Areal e Monsarás (Bozelli et al., 1992) e, portanto, maior potencial de turbulência do vento na coluna d'água com a consequente homogeneização da massa d'água, sugere-se uma única amostragem para hidroquímica em meia profundidade.

### 2.2.3. Profundidades de amostragem nos lagos Nova, Limão e Juparanã

A organização vertical da coluna d'água com gradientes físicos, químicos e hidrobiológicos em lagos profundos (> 5 m) promove a formação de zonas ou massas d'água com propriedades distintas. Assim, para avaliação mais precisa dos efeitos dos rejeitos de minério de ferro na coluna d'água é necessário realizar amostragens em diferentes profundidades como: subsuperfície, 10% da radiação fotossintética ativa (RFA), 1% da RFA e fundo da coluna d'água. Considere, por exemplo, o lago Nova com profundidade máxima e média de 33,9 e 14,7 m, respectivamente (Gonçalves et al., 2016).

Em cada estação amostral deverão ser realizados perfis de temperatura (°C), oxigênio dissolvido com sensor óptico ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), pH, ORP (mV) condutividade elétrica ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ), ficocianina ( $\text{células.mL}^{-1}$ ), clorofila ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) e turbidez (UNT) com uma sonda multiparâmetros do tipo Exo2 e registro de dados a cada metro de profundidade. Deverá ser medida a profundidade do disco de Secchi. As amostragens de MPS e nutrientes totais e dissolvidos deverão ser coletadas com garrafa de Niskin em posição vertical (volume 3L) nas profundidades de subsuperfície, 10% da radiação fotossintética ativa (RFA), 1% da RFA e fundo da coluna d'água.

## 2.3. Amostragem de sedimentos nos ecossistemas lacustres

### 2.3.1. Amostragem de sedimentos com testemunhos

As bacias lacustres apresentam três áreas distintas quanto ao processo de sedimentação: áreas de erosão, transporte e sedimentação (Hakanson & Jansson, 2002). As áreas de erosão são encontradas nas margens com maior declividade, enquanto as áreas de transporte em declividade moderada e baixa profundidade com susceptibilidade a turbulência da coluna d'água pelo vento. Já as áreas de sedimentação ocorrem em regiões profundas e com declividade suave. Estas últimas são as mais representativas para amostragem de sedimento, sobretudo para coleta de testemunhos. Para fins de comparação recomenda-se a coleta de 1 testemunho em cada lago/lagoa conforme o novo posicionamento das estações amostrais. Para amostragem dos testemunhos recomenda-se o coletor do tipo “*gravity core with hammer*” da Uwitec ([www.uwitec.at/html/frame.html](http://www.uwitec.at/html/frame.html)) com tubos de 1,20 m e fatiador. Os testemunhos serão analisados quanto as concentrações de matéria orgânica, elementos traço e granulometria.

## 2.4. Amostragem do fitoplâncton

### 2.4.1. Amostragem do fitoplâncton fluvial: frequência amostral e número de amostras por estação

As amostragens de fitoplâncton devem ser realizadas mensalmente e somente na calha central do rio, como vem sendo feito em outros sistemas fluviais brasileiros (Train et al., 2000, Goulart & Callisto, 2003; Mouta et al., 2009, Rangel et al., 2016). A dinâmica do fitoplâncton em rios varia mais em função da hidrodinâmica longitudinal, influenciada pela entrada de material alóctone, que causa variações na entrada de luz e nutrientes, do que quanto a hidrodinâmica transversal (Wetzel, 2001). A variação temporal do fitoplâncton é influenciada pelo ciclo de pluviosidade com picos de biomassa que ocorrem durante os períodos seco ou chuvoso, ou no início ou final de cada período (Huszar et al., 2000). Assim, amostragens mensais são suficientes para obter respostas sobre a variação da diversidade e biomassa fitoplanctônica.

Para a análise qualitativa do fitoplâncton deverá ser coletada somente uma amostra em cada ponto amostral através de arrasto superficial com rede de malha de 20 µm. Deve-se separar a amostra em duas partes e acondicionar em frascos de polietileno (100 mL): uma será fixada com formol 4% - adicionar 10 mL; o outro frasco deverá ser mantido sem preservante, em caixa térmica para análise do material vivo (não congelar).

Nos Anexos 2 e 3 do TR 4 há inconsistência quanto a frequência amostral e número de amostras a serem coletadas. O Anexo 2, primeira linha da página 11 (Item 3.3. Flora aquática: fitoplâncton, perifíton, zooplâncton e macrófitas aquáticas), informa que "*As coletas deverão ser feitas em período quinzenal e deverão ser coletadas pelo menos três amostras de material vegetativo por ponto de coleta*", enquanto no Anexo 3, página 11 a frequência amostral (item 3.1. Periodicidade das amostragens) é mensal. Assim, recomendamos a amostragem mensal com uma única amostra por estação amostral, coletada no centro da calha fluvial.

### 2.4.2. Amostragem do fitoplâncton lacustre: profundidades nas estações amostrais em lagos profundos

Nos lagos profundos localizados na Formação Barreiras é comum a ocorrência de máximos metalimnéticos de clorofila *a* e, conseqüentemente, do fitoplâncton lacustre (Reynolds, 1997; Gonçalves, 2015; Oliveira et al., 2016). Em lagos profundos, sobretudo nos lagos do Médio e Baixo Rio Doce é comum que o máximo de clorofila *a* ocorra na interface entre a camada d'água superficial (i.e., epilímnio) e a camada de fundo (i.e., hipolímnio). A camada do epilímnio é mais quente, com menor densidade, bem iluminada e mais pobre em nutrientes. A camada do fundo é mais fria, com maior densidade, escura e rica em nutrientes. Na camada intermediária (i.e., metalímnio) ocorre a termoclina, geralmente acompanhada de um gradiente da concentração de nutrientes, a nutriclina. Nessa profundidade, geralmente encontra-se a interface entre as camadas iluminada e escura da coluna d'água, sendo a medida de 1% da radiação superficial como limite entre as duas camadas. As figuras 9a e 9b ilustram estes gradientes no Lago Terra Alta em Linhares.

Assim, recomenda-se que a amostragem do fitoplâncton lacustre dos lagos profundos (Juparanã, Nova e Limão) seja feita na subsuperfície e na profundidade de 1% da radiação fotossintética ativa - R.F.A.

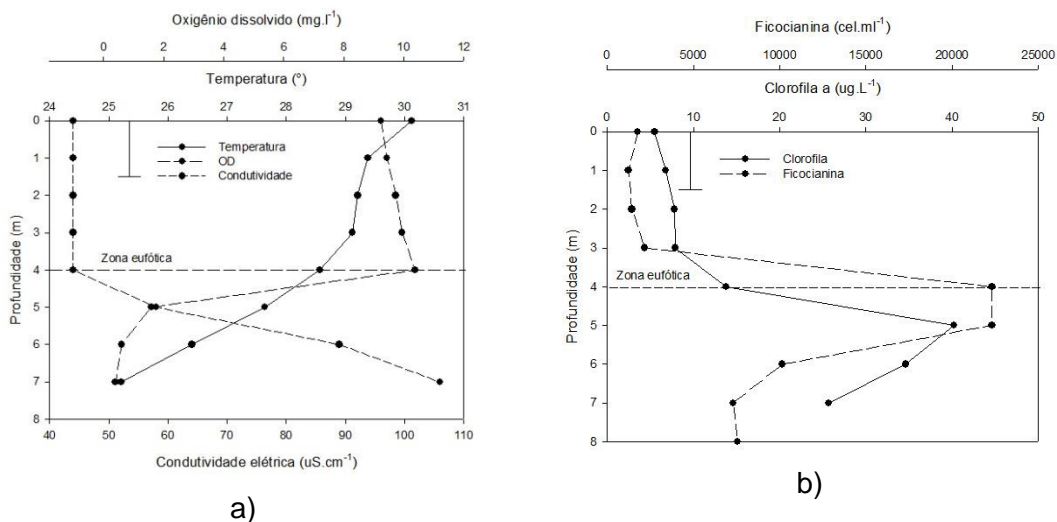


Figura 9: Perfis de temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica (a) e clorofila a e ficocianina (b) na coluna d'água do Lago Terra Alta (Linhares, ES) em 16/04/16 (Oliveira et al., 2016).

## 2.5. Amostragem do zooplâncton

### 2.5.1. Amostragem do zooplâncton fluvial

Tendo como base as solicitações de modificações de amostragens da comunidade fitoplanctônica quanto a frequência amostral e número de amostras por estação recomendamos que sejam consideradas os mesmos critérios para comunidade zooplanctônica.

## 2.6. Amostragem do perifíton

### 2.6.1. Periodicidade de coleta

A alteração da periodicidade das coletas de mensal para mensal foi baseada em uma gama de trabalhos que conseguiram registrar a variação na estrutura e composição da comunidade perifítica considerando as estações climáticas (inverno, primavera, verão e outono - e.g. Murakami, et al. 2009; Santos et al., 2013; Camargo & Ferragut, 2014; Casartelli & Ferragut, 2015). Ainda, outros estudos conseguiram avaliar a variação da comunidade em uma periodicidade maior (semestral - Gaiser et al., 2006; Carapunarla et al., 2014), mesmo em estudos resultantes de projetos de longa duração (Dunck et al. 2015) ou com coletas anuais (Algarte et al., 2016). Dessa forma, a periodicidade mensal é eficiente para atingir os objetivos do presente estudo.

### 2.6.2. Substratos

Devido à distribuição espacial dos substratos ao longo das estações amostrais não serem constantes ao longo de um rio (Vannote et al., 1980), foi sugerido uma ordem de escolha de substrato de acordo com a presença deles. Dessa forma, sempre que possível será coletado seixos (rochas) que serão o substrato padrão. Mas na ausência destes, serão coletados outros substratos de acordo com a ordem apresentada.

Fixação das amostras: a fixação das amostras com a solução de Transeau não tem sido a

mais utilizada nos estudos da comunidade perífita, e, portanto, foi sugerida a alteração para a solução formalina 4% (Bicudo & Menezes, 2005; Almeida & Fernandes, 2012; 2013).

### 2.6.3. Peso seco e peso seco livre de cinzas

Quanto à inclusão da análise do peso seco e do peso seco livre de cinzas se justifica pela análise da representatividade de material orgânico (proveniente no perifiton principalmente de algas) e do material inorgânico, que pode ter proveniência do rejeito da barragem.

## 2.7. Amostragem de macrófitas aquáticas

A abordagem da coleta de dados aqui empregada será a destrutiva, ou seja, haverá a coleta do material botânico para que sejam diagnosticados os aspectos de riqueza e composição das macrófitas aquáticas (angiospermas e plantas vasculares sem sementes). Sendo assim, a sugestão da alteração da periodicidade das coletas, originalmente quinzenais no TR, para mensais (12 meses de execução) baseia-se no entendimento de espaço de tempo mínimo para regeneração populacional sem que haja interferências tendenciosas. Neste primeiro momento, a amostragem dos 08 pontos sugeridos no TR para coleta de dados demandará periodicidade menor devido à necessidade de produção de informações a respeito da riqueza e da composição da flora de macrófitas aquáticas.

Coletas de material botânico: Angiospermas e plantas vasculares sem sementes só podem ser identificadas em nível específico quando as mesmas apresentam estruturas reprodutivas. Além disso, por se tratarem de plantas que possuem adaptações ao ambiente aquático, as mesmas apresentam estruturas bastante delicadas e, quando da herborização, muitas dessas características podem ser perdidas ou não-observáveis a posteriori. Sendo assim, o cuidado com o armazenamento dessas estruturas à parte em recipientes isolados facilita o processo de determinação taxonômica.

Métodos de coleta: A amostragem com o método do quadrado é recomendada para a finalidade a que se propõe o TR, no entanto, foi adicionado mais um lançamento do quadro amostral (originalmente três e aqui sendo proposto quatro lançamentos).

## Referências bibliográficas

- Algarte, V.M., Dunck, B., Leandrini, J.A. & Rodrigues, L. 2016. Periphytic diatom ecological guilds in floodplain: Ten years after dam. *Ecological Indicators*, 69: 407-414.
- Almeida, S.Z. & Fernandes, V.O. 2013. Effects of intensive fish-farming and domestic wastewater on the periphytic algal community in a tropical coastal lagoon (Juara, Brazil). *Acta Scientiarum, Biological Sciences*, 35: 335-342.
- Almeida, S.Z. & Fernandes, V.O. 2012. Periphytic algal biomass in two distinct regions of a tropical coastal lake. *Acta Limnologica Brasilensia*, 24: 244-254.
- APHA – American Public Health Association. 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21st edition. APHA, Washington, DC.
- Battarbee, R. W.; Jones, V.; Flower, R. J.; Cameron, N.; Bennion, H.; Carvalho, L. & Juggins, S. 2001. Diatoms. In: Smol, J. P; Birks, H. J. B.; Last, W. M. (ed.). *Tracking environmental change using lake sediments*. London: Kluwer Academic Publishers.v.3.

p. 155-203.

- Besser, J.M., Brumbaugh, W.G., May, T.W. et al. 2007. Biomonitoring of lead, zinc, and cadmium in streams draining lead-mining and non-mining areas, Southeast Missouri, USA. *Environmental Monitoring and Assessment* 129: 227.
- Bicudo, C.E.M.; Menezes, M. 2005. *Gêneros de Algas continentais do Brasil* (Chave para identificação e descrições). São Carlos, Ed. Rima.
- Biggs, B.J.F. & Kilroy, C. 2000. Stream periphyton monitoring manual. New Zealand, Niwa.
- Bozelli, R. L., F. A. Esteves, et al. (1992). Padrões de funcionamento das lagoas do Baixo Rio Doce: variáveis abióticas e clorofila-a (Espírito Santo - Brasil). *Acta Limnologica Brasiliensis* 4: 13-31.
- Camargo, V.M. & Ferragut, C. 2014. Estrutura da comunidade de algas perifíticas em *Eleocharis acutangula* (Roxb.) Schult (Cyperaceae) em reservatório tropical raso, São Paulo, SP, Brasil. *Hoehnea*, 41:
- Casartelli, M.R. & Ferragut, C. 2015. Influence of seasonality and rooted aquatic macrophytes periphytic algal community on artificial substratum in a shallow tropical reservoir. *International Review of Hydrobiology*, 100: 1-11.
- Carapunarla, L., Baumgartner, D. & Rodrigues, L. 2014. Community structure of periphytic algae in a floodplain lake: a long term study. *Acta Scientiarum: Biological Science*, 36: 147-154.
- DeNicola, D.M. & Lellock, A.J. 2015. Nutrient limitation of algal periphyton in streams along an acid mine drainage gradient. *Journal of Phycology*., 51: 739–749.
- Dunk, B., Scheneck, F. & Rodrigues, L. 2015. Patterns in species and functional dissimilarity: insights from periphytic algae in subtropical floodplain lakes. *Hydrobiologia*. DOI 10.1007/s10750-015-2379-x.
- Fernandes, V.O. Variação temporal da estrutura e dinâmica da comunidade perifítica em dois tipos de substrato na Lagoa Imboassica, Macaé (RJ). 1997. 198 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1997.
- Ferragut, C., Bicudo, D.C. & Vercellino, I.S. 2013. Amostragem e medidas de estrutura da comunidade perifítica. In: A. Schwarzbald, A. Burliga & L.C. Torgan (eds.). *Ecologia do perifiton*. Rima, São Carlos, 157-177 pp.
- Gaiser, E.E., Childers, D.L., Jones, R.D., Richards, J.H., Scinto, L.J. & Trexler, J.C. Periphyton responses to eutrophication in the Florida Everglades: Cross-system patterns of structural and compositional change. *Limnology and Oceanography*, 51: 617-630.
- Golterman, H. L.; Clymo, R. S. & Ohnstad, M. A. M. 1978. *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. 2a ed. Oxford, Blackwell Scientific Publications. International Biological Program.
- Gonçalves, M. A., F. C. Garcia, et al. (2016). Morphometry and mixing regime of a tropical lake: Lake Nova (Southeastern Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 88(3): 1341-1356.
- Hakanson, L. & Jansson, M. (2002). *Principles of lake sedimentology*. The Blackburn Press, 316p.
- Hill, B.H., Willingham, W.T., Parrish, L.P. et al. 2000. Periphyton community responses to elevated metal concentrations in a Rocky Mountain stream. *Hydrobiologia* 428: 161.
- Lund, J.W.G., Kipling, C. & Le-Cren, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting.



- Hydrobiologia* 11: 143-170.
- McCauley, J.R. & Bouldin, J.L. 2016. Cadmium Accumulation in Periphyton from an Abandoned Mining District in the Buffalo National River, Arkansas. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 96: 757.
- Murakami, E.A., Bicudo, D.C. & Rodrigues, L. 2009. Periphytic algae of the Garças Lake, Upper Paraná River floodplain: comparing the years 1994 and 2004. *Brazilian Journal of Biology*, 69: 459-468.
- Reynolds, C. S. (1997). On the vertical distribution of phytoplankton in the middle Rio Doce Valley lakes. In: Tundisi, J. G. and Saijo, Y. (eds.). *Limnological studies on the Rio Doce valley lakes, Brazil*. São Paulo, Brazilian Academy of Sciences / Center for Water Resources and Applied Ecology - USP,,: 227-242.
- Oliveira, F.B de (2016). Fitoplâncton do lago Terra Alta, Linhares, ES: dinâmica espaço-temporal e relação com a piscicultura. 2016. *Trabalho de Conclusão de Curso*. (Graduação em Ciências Biológicas), Faculdades Integradas São Pedro, Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo
- Santos, T.R., Ferragut, C. & Bicudo, C.E.M. 2013. Does macrophyte architecture influence periphyton? Relationships among *Utricularia foliosa*, periphyton assemblage structure and its nutrient (C, N, P) status. *Hydrobiologia*, 714: 71-83.
- Sartory, D.P. & Grobbelaar, J.E. 1984. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia*, 114:177-187.
- Schwarzbold, A., Burliga, A.L. & Torgan, L.C. 2013. *Ecologia do Perifiton*. São Carlos, Rima. 413p.
- Stevenson, J.R. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. In: Stevenson, J. R.; Bothwell, M. L. & Lowe, R. L. (Eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. New York, Academic Press. 1996. p. 3-30.
- Uehlinger, V. 1964. Étude statistique des méthodes de dénombrement planctonique. *Archives des Sciences* 17: 121-123.
- Utermohl, H. 1958. Zur Vervollkommenung der quantitative phytoplankton: metodik. *Internationale Vereinigung Theoretische und Angewandte Limnologie* 9: 1-38.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 27: 130-137.
- Wetzel, R.G. 1990. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators. *Internationale Vereinigung Theoretische und Angewandte Limnologie*, 24, p. 6-24.
- Wetzel, R.G. 1983. Opening remarks. In: Wetzel, R.G. (Ed.). *Periphyton of freshwater ecosystems*. The Hague, Dr. W. Junk Publishers, p. 339-346.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*. New York, Academic Press.

## COORDENAÇÃO TÉCNICA

| Pesquisador                           | Instituição                             | Área temática  | E-mail   |
|---------------------------------------|---|--|--|
| Alex Cardoso Bastos, Dr.              | Depto de Oceanografia e Ecologia - UFES | Coordenador Técnico da RRDM                            | <a href="mailto:alexcardosobastos@gmail.com">alexcardosobastos@gmail.com</a>   |
| Anderson Alves Araújo, Dr.            | CEUNES - UFES                           | Macrófitas Aquáticas                                   | <a href="mailto:sapotae@gmail.com">sapotae@gmail.com</a>   |
| Alessandra Delazari Barroso, Dra.     | FAESA                                   | Fitoplâncton   | <a href="mailto:delazaribarroso@gmail.com">delazaribarroso@gmail.com</a>   |
| Bjorn Güecker, Dr./Iola Boechat, Dra. | Depto de Geociências - UFSJ             | Limnologia<br>Lipídeos e isótopos                      | <a href="mailto:guecker@ufsj.edu.br">guecker@ufsj.edu.br</a><br><a href="mailto:iboechat@ufsj.edu.br">iboechat@ufsj.edu.br</a> |
| Eneida Maria Eskinazi Santana, Dra.   | ICEB - UFOP                             | Zooplâncton  | <a href="mailto:eskinazi@iceb.ufop.br">eskinazi@iceb.ufop.br</a>   |
| Gilberto Fonseca Barroso, Dr.         | Depto de Oceanografia e Ecologia - UFES | Limnologia<br>Coordenador Técnico do sistema dulcícola | <a href="mailto:Gilberto.barroso@ufes.br">Gilberto.barroso@ufes.br</a>   |
| Valéria Fernandes, Dra.               | Depto de Biologia - UFES                | Perifíton  | <a href="mailto:valeriaufes@yahoo.com.br">valeriaufes@yahoo.com.br</a>   |

---

Gilberto Fonseca Barroso, Ph.D.  
Laboratório de Limnologia e Planejamento Ambiental  
Departamento de Oceanografia e Ecologia  
Centro de Ciências Humanas e Naturais  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Av. Fernando Ferrari, nº 514, Vitória, ES, Brasil  
CEP 29075-910  
Tel. 55 27 4009-2744 Fax 55 27 4009-2500  
E-mail: [ggilberto.barroso@ufes.br](mailto:ggilberto.barroso@ufes.br)