



Programa de Qualidade de Água e Sedimento

Inserir no item de descrição dos programas recomendados

RMPC & CONSULTORES EM RECURSOS HÍDRICOS

Rua Gerson Blumberg, 152/101
Bairro Ouro Preto
CEP 31.340-180 – Belo Horizonte, MG
Tel 031 3243 9086 – 99638 4815
E-mail: rpcoelho@globo.com
www.rmpceecologia.com

EQUIPE TÉCNICA

	Nome	Formação	Função
1	Ricardo Motta Pinto Coelho	Biólogo, MSc., PhD em limnologia	Coordenador
2	Eliane Corrêa Elias	Bióloga, M.Sc. em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre	Analista
3	Mariana Araújo Resende	Bióloga, Especialista em Gestão Estratégica da Qualidade	Analista
4	Tarcísio Brasil Caires	Biólogo, Mestrando Bioquímica UFMG	Analista

RMPC & CONSULTORES EM RECURSOS HÍDRICOS - RMPC

CNPJ: 27.630.143/0001-33

RUA GERSON BLUMBERG 152/101

BAIRRO OURO PRETO

31.340-180 BELO HORIZONTE (MG)

TEL 031 3243 9086

<http://rmpceciologia.com>

PROGRAMAS AMBIENTAIS

Programa de Qualidade de Água e Sedimento

I. Descrição Sumária

O Programa de Qualidade de Água e Sedimentos estabelece ações de investigação e monitoramento do ambiente aquático impactado pelo evento de rompimento da barragem de Fundão, incluindo águas superficiais de ambientes dulcícolas e marinhas, águas subterrâneas e sedimentos fluviais, lacustres, estuarinos e marinhos. As ações aqui propostas deverão ser incluídas no Termo de Ajustamento de Conduta Final (TACF) a fim de complementar às ações já estabelecidas do Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC).

II. Objetivos

O objetivo do Programa de Qualidade de Água e Sedimentos é estabelecer as diretrizes para ações de investigação e monitoramento do ambiente aquático impactado, com foco na qualidade das águas superficiais, subterrâneas e dos sedimentos fluviais, lacustres, estuarinos e marinhos. Estas ações visam investigar e monitorar as alterações físico-químicas na qualidade da água e dos sedimentos da Bacia do Rio Doce, ocorridas após o rompimento da barragem de Fundão, para reestabelecimento de níveis de qualidade aceitáveis para restauração e manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, principalmente abastecimento de água e atividades de pesca.

III. Justificativa

O Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC), cláusulas 177 e 178, dispõe sobre elaboração e execução de um programa de investigação e monitoramento da Bacia do Rio Doce, áreas estuarinas, costeiras e marinha impactadas. Nestas cláusulas, são apresentadas as medidas de cunho reparatório e compensatório, tais como: implantar um programa de monitoramento quali-quantitativo sistemático (PMQQS) de água e sedimentos, abrangendo também a avaliação de riscos toxicológicos e ecotoxicológicos, e planejar e implementar um plano de monitoramento quali-quantitativo das águas do rio Doce e seus tributários, em função das intervenções da Fundação Renova que forem realizadas para detectar, acompanhar e registrar eventuais impactos das intervenções estruturais.

O PMQQS elaborado pela Fundação Renova e aprovado pelo Comitê Interfederativo (CIF) a partir da deliberação nº 53, em 31 de março de 2017, atende perfeitamente ao exposto nas cláusulas citadas acima. Entretanto, a investigação e monitoramento de alguns fatores e processos relacionados à qualidade de água e sedimentos não foram abordados no TTAC e, conseqüentemente, não foram incluídos no PMQQS e no programa da Fundação Renova. PG-38: Monitoramento da Bacia do Rio Doce.

Citamos, a seguir, alguns processos não identificados no TTAC como relevantes para retorno e manutenção da qualidade da água:

- mapeamento de fontes poluidoras,
- estudos de fluxo energético e calor,
- definição de áreas prioritárias para controle de aporte de nutrientes e
- diagnóstico da produção primária e secundária

- qualidade das águas subterrâneas

Esses novos programas serão detalhados no item IV.

O último fator merece um destaque especial. O rompimento da barragem do Fundão pode ter afetado a qualidade das águas subterrâneas ao longo de toda a Bacia do Rio Doce. As planícies fluviais que foram afetadas pela deposição da lama de rejeitos apresentam maior permeabilidade do solo, o que as torna mais susceptíveis à contaminação por metais e outros xenobiontes associados à esta lama. Este fator se torna mais relevante à medida que populações afetadas pela diminuição/interrupção do abastecimento de água estão consumindo – cada vez mais – água subterrânea de poços artesianos e outros sem que haja qualquer estudo de caracterização da sua qualidade (UFRJ, 2017). Portanto, ações que visam caracterizar os depósitos de água subterrâneas ao longo da bacia e monitorar o uso destas pela população se tornam extremamente importantes. Desta forma, a proposição do Programa de Qualidade de Água e Sedimentos irá indicar, a partir das ações propostas no item IV deste documento, as ações de investigação e monitoramento que deverão complementar o PMQQS e o PG-38 já estabelecido pela Fundação Renova.

IV. Principais ações propostas

As ações propostas abaixo são de caráter investigatório e devem ser adicionadas, de forma complementar, ao PG-38 da Fundação Renova, a fim de que todas as esferas do ambiente aquático que possam ter sido impactadas pelo evento tenham sido bem avaliadas e monitoradas para que se tenha o melhor cenário de restauração do ecossistema aquático.

IV.1 Caracterização e monitoramento dos aquíferos

Esta ação tem como objetivo promover um amplo estudo integrado com a finalidade de caracterizar fisicamente e quimicamente os aquíferos da Bacia do Rio Doce localizados em regiões sob estresse hídrico provocado pelo evento de rompimento da barragem de Fundão, para que haja segurança de utilização destas águas pela população, e para que haja garantia de disponibilidade hídrica.

Este estudo deverá considerar uma integração e tratamento de dados já existentes na literatura com dados de estudos complementares que devem ser executados. Abaixo, seguem estudos que devem compor, minimamente, a caracterização dos aquíferos:

- Informações sobre nível d'água dos poços tubulares;
- Dados de vazão das nascentes da região;
- Caracterização climatológica e fluviométrica;
- Caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica;
- Estudos sobre uso e ocupação da terra;
- Cobertura vegetal;
- Geomorfologia;
- Uso e disponibilidade dos recursos hídricos;
- Determinação da origem e taxa de renovação das águas subterrâneas;
- Determinação da taxa de condutividade hidráulica e porosidade dos litotipos;

- Caracterização do regime de descarga dos aquíferos;
- Estimativa de recarga natural.

Sugere-se que a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – Serviço Geológico do Brasil acompanhe a execução dos estudos citados acima.

Adicionalmente aos estudos listados acima, a caracterização físico-química da água também deverá ser realizada. Abaixo seguem os parâmetros sugeridos inicialmente que devem ser analisados, de acordo com resolução CONAMA nº 396/2008 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para enquadramento das águas subterrâneas.

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------|
| • Alcalinidade; | • Cobre; |
| • Bicarbonato; | • Cromo; |
| • Carbonato; | • Ferro; |
| • Cloretos; | • Lítio; |
| • Condutividade elétrica; | • Magnésio; |
| • Cor real; | • Manganês; |
| • Coliformes termotolerantes; | • Mercúrio; |
| • Dureza carbonato e não-carbonato; | • Molibdênio; |
| • Ferro Ferroso (solúvel); | • Níquel; |
| • Fluoretos; | • Potássio; |
| • Fósforo total; | • Prata; |
| • Nitrato; | • Selênio; |
| • Nitrito; | • Sódio; |
| • pH; | • Vanádio; |
| • Silício dissolvido; | • Zinco. |
| • Sólidos dissolvidos totais; | Orgânicos |
| • Sólidos suspensos totais; | • Acrilamida; |
| • Sulfatos; | • Benzeno; |
| • Turbidez; | • Benzeno antraceno; |
| Metais | • Benzo flouranteno; |
| • Alumínio; | • Benzo (k) flouranteno; |
| • Antimônio; | • Benzo pireno; |
| • Arsênio; | • Cloreto de vinila; |
| • Bário; | • Clorofórmio; |
| • Berílio; | • Criseno; |
| • Boro; | • 1,2-Diclorobenzeno; |
| • Cádmio; | • 1,4-Diclorobenzeno; |
| • Cálcio; | • 1,2-Dicloroetano; |
| • Chumbo; | • 1,1-Dicloroetano; |
| • Cianeto; | • 1,2-Dicloroetano; |
| • Cobalto; | • trans (156-60-5); |

- Dibenzo antraceno;
- Diclorometano;
- Estireno;
- Etilbenzeno;
- Fenóis;
- Indeno(1,2,3)pireno;
- PCBs (somatória de 7);
- Tetracloroeto de carbono;
- Triclorobenzenos;
- Tetracloroeteno;
- 1,1,2tricloroeteno;
- Tolueno;
- Xileno total;
- **Agrotóxicos**
- Alaclor;
- Aldicarb+ald/sulfona+ald/sulfóxido;
- Aldrin + Dieldrin;
- Atrazina;
- Bentazona;
- Carbofuran;
- Clordano (cis+trans);
- Clorotalonil;
- Clorpirifós;
- 2,4-D;
- DDT;
- Endosulfan (I + II + sulfato);
- II (33213-65-9) sulfato (1031-07-8);
- Endrin;
- Glifosato + Ampa;
- Heptacloro + heptacloro epóxido;
- Heptacloro epóxido (1024-57-3);
- Hexaclorobenzeno;
- Lindano (gama-BHC);
- Malation;
- Metolacloro;
- Metoxicloro;
- Molinato;
- Pendimetalina;
- Pentaclorofenol;
- Permetrina;
- Propanil;
- Simazina;
- Trifuralina.

Com a caracterização dos aquíferos de interesse concluída, será possível verificar se estes estão aptos para uso e consumo humano, de acordo com o enquadramento definido pela resolução CONAMA nº396/2008, e se estes apresentam disponibilidade hídrica satisfatória para tal.

Os aquíferos considerados aptos para consumo humano deverão ser monitorados periodicamente a fim de assegurar a qualidade da água utilizada pela população. Este monitoramento deverá ter frequência mínima semestral, e será definida em função das características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas dos aquíferos, das fontes de poluição e dos usos pretendidos, podendo ser reavaliada após um período representativo. Os parâmetros a serem analisados também deverão ser determinados após avaliação dos estudos de caracterização dos aquíferos definidos acima, de acordo com os resultados encontrados nas análises físico-químicas.

A Fundação Renova deverá informar aos órgãos ambientais a necessidade de restringir o uso ou captação da água quando esta não estiver de acordo com os padrões de uso e consumo estabelecidos na resolução CONAMA nº396/2008, e promover a implementação de Áreas de Restrição e Controle do Uso da Água Subterrânea, em caráter excepcional e temporário, até que medidas de mitigação e remediação possam permitir o retorno das condições de qualidade aceitáveis. Adicionalmente, também deverão ser promovidos implementação de Áreas de Proteção de Aquíferos e Perímetros de Proteção de Poços de Abastecimento, objetivando a proteção da qualidade da água subterrânea.

IV.2 Mapeamento de fontes poluidoras das águas na Bacia do Rio Doce

As fontes de poluição da qualidade da água de uma bacia se referem a basicamente a fontes de poluição pontuais, que são os lançamentos de esgotos domésticos e industriais, e fontes de poluição difusas, que não apresentam um ponto de lançamento específico e se referem a por exemplo, aporte de nutrientes pela drenagem pluvial, infiltração de agrotóxicos no solo, etc. Dessa forma, o mapeamento das fontes poluidoras deve identificar os pontos de lançamento de esgoto no curso hídrico e identificar as atividades antrópicas que influenciam a área de drenagem da bacia, sendo esta última etapa realizada através de um estudo de uso e ocupação do solo.

A partir da identificação dos tipos de fontes poluidoras e de suas localizações é possível definir ações de gestão dos recursos hídricos a fim de permitir a manutenção do ecossistema aquático e dos serviços ecossistêmicos que estes promovem.

Após o evento de rompimento da barragem de fundão, significativas alterações físico-químicas da água foram observadas nos rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce, o que exige a modificação/adequação das ações de gestão destes cursos hídricos, no que se refere à qualidade das águas. Portanto, a atualização de estudos de uso e ocupação do solo, bem como de identificação de fontes poluidoras pontuais, se torna necessária a fim de integrar estes dados de fontes poluidoras na nova dinâmica de restauração da bacia do Rio Doce. Por exemplo, foi observado um aumento significativo de áreas com processos erosivos avançados nos trechos de rios mais impactados pelo evento (entre mina e UHE Risoleta Neves) o que permitirá maior aporte de nutrientes devido à drenagem pluvial.

O mapeamento dos usos do solo deverá ser realizado utilizando-se informações georreferenciadas a fim de se gerar um mapa com a identificação dos usos do entorno da bacia, como, por exemplo, a identificação mais precisa e atualizada periodicamente dos polígonos das áreas industriais, áreas agrícolas, áreas utilizadas para lazer e recreação, áreas de proteção ambiental, áreas de reflorestamento, de silvicultura, áreas urbanizadas, etc. Esta identificação é pré-requisito avaliar os tipos de contaminantes que possam estar entrando nos cursos hídricos. Importante seria incluir também as áreas identificadas por apresentarem processo erosivos avançados, principalmente na área mais impactada pelo evento (entre mina da Samarco e a UHE Risoleta Neves).

O produto final deverá correlacionar o mapa de uso e ocupação dos solos, com a identificação de fontes poluidoras e com dados de qualidade de água para melhor entendimento de como o uso da bacia está influenciando na qualidade da água e de como a alteração nesta após o evento poderá alterar as ações de gestão dos cursos hídricos.

IV.3 Estudos de fluxo energético/calor

A ecologia energética tem o objetivo de entender como a energia transita no interior de um sistema. Ao nível ecossistêmico, o fluxo de energia desenvolve uma série de reações químicas que podem liberar ou absorver calor. Essas funções atuam primeiramente ao nível individual, populacional (Odum & Smalley 1959) e, posteriormente, ecossistêmico (Odum 2001). As relações entre produtores e consumidores, predador e presa, são limitadas e regidas pelas mesmas leis básicas dos sistemas vivos e controladas pelo fluxo de energia.

O monitoramento em longo prazo dos fluxos de carbono, água e nutrientes é de extrema importância para compreender o uso dos recursos naturais, a influência da sazonalidade climática e a sustentabilidade dos ecossistemas. A realização de tal atividade requer uma grande intensidade amostral, contemplando inúmeras atividades de campo e laboratório, que usualmente são bastante trabalhosas e onerosas. Dependendo da escala de tempo e da área que se pretende avaliar, seguir a metodologia de amostragens em campo torna-se totalmente inviável.

Devido a essas limitações, a utilização de torres de fluxo (*Eddy Covariance*) (Figura 1) vem se tornando uma metodologia cada vez mais robusta, sendo uma ferramenta padrão para a avaliação dos fluxos de carbono, água e energia entre a atmosfera e diferentes ecossistemas, florestais, agrícolas e ecossistemas aquáticos.

A coleta em alta frequência dos dados climáticos e parâmetros físico-químicos nas torres de fluxo (*Eddy Covariance*) permite maior compreensão dos eventos e processos como o fluxo de energia, fluxo de carbono e o fluxo de água dos sistemas aquáticos, permitindo o aprimoramento das ações de manejo.

A técnica *Eddy Covariance* é utilizada para diversos fins e auxilia no entendimento preditivo dos ecossistemas frente às alterações climáticas e, conseqüentemente, dos parâmetros internos. Alguns trabalhos publicados mostram a utilização da técnica para medição do fluxo de carbono, metano, fluxo energético, balanço hídrico (Hammerle et al, 2016; Scholz et al, 2016; Spielmann et al, 2016; HuiZhi Liu et al, 2015, entre outros).

As torres de fluxo são construídas de acordo com o objeto de estudo e da escolha dos sensores de interesse. A vantagem da instalação dessas torres é a rápida disponibilização confiabilidade e alta frequência dos dados coletados, dispensando as coletas em campo e análises laboratoriais. Sugere-se a instalação de torres de fluxo em trechos do Rio Doce para o monitoramento contínuo dos dados em complementação à rede fixa de monitoramento em tempo real descrita no PMQQS.

No Brasil, as torres micrometeorológicas são largamente utilizadas para o acompanhamento dos fatores climáticos (velocidade do vento, umidade relativa do ar, pluviosidade, radiação solar) em ambientes terrestres. O IPEF (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais), por exemplo, mantém um programa – Programa Cooperativo sobre Torre de Fluxo – que investe recursos em diversas linhas de pesquisas que utiliza os dados coletados pelo conjunto dos equipamentos para calcular fluxo de carbono, água, energia e nutrientes em sistemas florestais.

As estações *Eddy Covariance* que propomos adicionar à rede fixa de monitoramento em tempo real já estabelecida no PMQQS deverão ter como objetivo a medição dos fluxos energéticos, de

calor e fluxo hídrico. O entendimento destes fluxos permitirá maior conhecimento do balanço energético entre o ecossistema aquático e o terrestre, e, aliado aos estudos propostos nos itens IV.4 e IV.5, permitirá também maior entendimento das interações entre os meios bióticos e abióticos e entre as relações tróficas. A relação entre os dados de produção primária e secundária, também irão auxiliar o entendimento das relações tróficas e o comportamento do funcionamento do ecossistema em relação aos ciclos biogeoquímico, principalmente em relação ao carbono (fonte ou sumidouro de carbono), após a ocorrência de um grande distúrbio no ambiente.

Sobre o número e localização destas torres, estas informações ainda estão sendo estudadas para melhor indicação. O tratamento dos dados se dá na própria torre de fluxo, que calcula o fluxo de calor a partir dos dados brutos.

Sobre a disponibilização dos dados, estes deverão seguir o mesmo padrão definido no PMQQS: inserção destes em um banco de dados aos quais os componentes da CT-SHQA terão acesso. Neste sentido, observamos que instituições de ensino não estão contempladas como membros que possuem acesso a este banco de dados, o que contraria os princípios estabelecidos no TTAC no que diz respeito à transparência, engajamento das comunidades e acesso às informações pela sociedade (Cláusula 07, c e q). A inserção das universidades e instituições de ensino no processo de análise destes dados permitirá ampliar a geração de conhecimento sobre o funcionamento dos ecossistemas impactados pelo evento, visto que, com esta grande quantidade de dados que serão gerados continuamente por um longo período, é possível gerar um grande número de estudos científicos (teses de mestrado, doutorado, etc.).



Figura 1 – (A) Torre de Eddy Covariance instalada no centro do reservatório Ross Barnett (Mississippi, EUA), nesta torre são medidas a troca líquida de dióxido de carbono, evapotranspiração e fluxo energético. (B) Torre de Eddy Covariance instalada no centro do reservatório Ross Barnett (Mississippi, EUA), nela são medidos os parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível, fluxo de dióxido de carbono, radiação líquida, radiação de onda curta e longa, precipitação) e temperatura superficial da água e em diferentes profundidades do reservatório.

IV.4 Diagnóstico e monitoramento da produção primária dos ambientes terrestres fluviais lacustres e marinhos afetados pelo rompimento da barragem de Fundão.

A manutenção dos serviços ecossistêmicos que a natureza oferece depende grandemente do equilíbrio e do funcionamento dos ecossistemas, sendo estes serviços, direta ou indiretamente, relacionados à ciclagem global de matéria e energia (Brighenti, 2014).

Na maioria dos corpos de água, o fitoplâncton constitui o principal rudimento fotossintetizante, precursor da maior parte da matéria orgânica, sendo por isso, a base da produção da cadeia alimentar na região. Portanto, considera-se a medida dessa produção como o ponto de partida para uma avaliação sobre a dinâmica funcional desse tipo de ecossistemas, o que leva, em última análise, à exploração racional destes pelo homem (TUNDISI, 1975 e ÂNGELO et al., 1986), fornecendo o subsídio para o gerenciamento e manejo dos recursos hídricos.

O objetivo desta ação é avaliar qual o papel do fitoplâncton e de outros produtores primários na produção de carbono e de biomassa, como recurso alimentar para o zooplâncton como de resto para toda a cadeia trófica do rio Doce.

Esses dados, além de fundamentais para o entendimento do funcionamento de qualquer ecossistema, são essenciais para alimentar o modelo trófico-dinâmico proposto no item IV.5. O entendimento destas relações é importante para avaliar como se reestruturou as relações tróficas após o evento, visto que este possivelmente alterou fortemente a biodiversidade de diversos grupos de organismos aquáticos.

Uma das metodologias que poderá ser usada para o monitoramento da produção primária foi proposta por Field et al (1998). Essa metodologia tem a vantagem de poder integrar dados de produção tanto de ecossistemas terrestres, quando de água doce e de áreas marinhas, sendo portanto muito adequada no caso em questão. O método estima a produção primária (NPP = net primary production) tanto para ecossistemas terrestres quanto aquáticos.

A NPP é estimada como uma função da condução energia para fotossíntese, a partir de uma fração da energia advinda da radiação solar em uma faixa espectral definida ($\lambda = 400$ a 700 nm), o que doravante se designará como sendo (APAR). Essa é função, por sua vez, da eficiência de utilização da luz Eficiência (ϵ).

$$NPP = APAR * \epsilon \quad (1)$$

Os modelos baseados nesta abordagem são diversos em termos de detalhes mecanicistas, mas são todos conectados a observações de escala global.

Para os oceanos, o APAR pode estar relacionado a medidas derivadas do satélite da clorofila superficial (C_{sat}) e para sistemas terrestres, ele pode ser determinado a partir de estimativas por satélite. Da vegetação verde, muitas vezes a normalização índice de vegetação diferencial (NDVI). APAR depende da quantidade e distribuição de biomassa fotossintética (a principal fonte de variabilidade em C_{sat} e NDVI, também da quantidade de radiação solar ao longo da coluna de água, o que depende da turbidez do ecossistema e a fração que está no visível (de radiação

fotosinteticamente ativa) comprimentos de onda. A constante ϵ é um efetivo rendimento de fótons para o crescimento que converte a biomassa - Variável dependente (APAR) - em um fluxo de Compostos orgânicos (NPP). Para ambos terrestres e modelos oceânicos, "não podem ser medidos diretamente e do espaço e deve ser parametrizado com medições de campo.

A NPP pode ser estimada para ecossistemas terrestres (Modelo CASA) pela equação:

$$NPP = f(NDVI) * PAR * \epsilon * g(T) * 3h(W) \quad (2)$$

Onde:

PAR: radiação solar fotossinteticamente ativa ($\text{mJ}/\text{m}^2 \cdot \text{mes}$). Es

NDVI e ϵ : funções que ajustam a eficiência fotossintética da vegetação ao modelo

Os efeitos da temperatura e estresse hídricos são acessados por $g(T)$ e $h(W)$, respectivamente.

A NPP pode ser estimada para ecossistemas aquáticos pela equação (Modelo VGPM):

$$NPP = C_{\text{sat}} * Z_{\text{eu}} * f(\text{PAR}) * P_{\text{opt}}^b(T) \quad (3)$$

Onde

C_{sat} : é a concentração na superfície de clorofila do fitoplâncton derivada por imagens de satélite ($\text{mg Cl}/\text{m}^3$),

Z_{eu} : profundidade (em metros) à qual a luz é suficiente para suportar NPP positiva,

$f(\text{PAR})$: fração da coluna de água do Superfície para Zeu em que a fotossíntese é leve Saturado e

$P_{\text{opt}}^b(T)$: Taxa específica de fixação de carbono por unidade de clorofila ($\text{mgC}/\text{mgCl} \cdot \text{dia}$) estimado em função da temperatura superfície do mar.

O método acima descrito pode ser usado a partir de imagens de satélites, dados secundários, literatura especializada, base de dados climáticos e, principalmente pelas estações de monitoramento limnológico de alta frequência propostas nesse documento. Essa abordagem tem a grande vantagem de poder integrar os ecossistemas terrestres, aquáticos epicontinentais e marinhos usando sempre a mesma metodologia, o que torna a comparação entre os valores muito mais confiável.

IV.5 Elaboração de modelos trófico-dinâmicos

Os modelos ecológicos ecossistêmicos se baseiam em modelos matemáticos menos complexos, que permitem uma descrição holística do ecossistema, embasado nos atributos de dinâmica da teia trófica. Os modelos trófico-dinâmicos procuram descrever o funcionamento das comunidades sediadas em ambientes aquáticos a partir de suposições de que os ecossistemas aquáticos normalmente são limitados pelo aporte de um nutriente limitante, em geral o fósforo.

Esses modelos são, em geral, baseados em equações que pressupõem um estado de equilíbrio no ambiente, podendo ser de grande utilidade em diversas aplicações que vão, desde o estabelecimento da capacidade de suporte para fins de aquacultura, até prognósticos de respostas da comunidade aquática a diversos tipos de distúrbios ambientais. Por estas razões há grande importância de se propor este estudo.

Esses modelos podem ser aplicados no caso do Rio Doce, para simular o progresso da recuperação, uma vez que a principal variável de força do modelo está relacionada a uma das variáveis mais afetadas pelo distúrbio, que é a turbidez (ou sólidos em suspensão e dissolvidos, ou transparência da água). Assim, a redução do aporte de lama pode ser diretamente relacionada à respostas da biota aquática que podem ser medidas e simuladas por esse tipo de modelo (produção primária, respiração) ou ainda às variáveis tais como a clorofila-a, ou biomassa de carbono, em cada nível trófico.

Para elaboração de um modelo trófico-dinâmico existem alguns softwares que são utilizados para tal, como, por exemplo, Stella e Ecospath (exclusivo para ecossistemas aquáticos). O Laboratório de Gestão Ambiental de Reservatórios (LGAR) da Universidade Federal de Minas Gerais também desenvolveu um software próprio para modelagem trófico-dinâmica. Os valores de turbidez, temperatura da água, aporte de energia solar, fósforo, dentre outros, coletados pelas estações automáticas implantadas na calha do rio Doce, e estações manuais, servirão como dados de entrada no modelo. Dessa forma, o balanço de massa (em termos de unidades de carbono) dos diferentes níveis tróficos de consumidores (ex: herbívoros, carnívoros de primeira ordem, predadores de topo de cadeia, etc.) pode ser obtido.

A integração deste estudo juntamente com os estudos/diagnósticos indicados nos itens acima (IV.3 e IV.4) permitirá melhor avaliação da magnitude dos impactos provocados pelo rompimento da barragem de Fundão, bem como permitirá analisar criticamente as ações de mitigação em execução pela Fundação Renova e propor novas sugestões de ações mais direcionadas pelos resultados destes estudos.

V. Indicadores

Indicadores	Descrição
Progresso	<i>Estudos realizados pelo total de estudos estimados Campanhas realizadas por total de campanhas</i>
Eficiência (orçamentária)	<i>Número de estudos/campanhas concluídos por ano</i>
EFICÁCIA (resultado esperado)	<i>Retorno dos padrões de qualidade de água aos valores de referência do CONAMA 357/2005. Atendimento ao padrão de qualidade de águas subterrâneas de acordo com resolução CONAMA 396/2008.</i>

VI. Custos

O valor estimado para a execução das ações complementares necessárias que resultaram na proposição deste programa, é de R\$ 205.515.000,00 (duzentos e cinco milhões e quinhentos e quinze mil reais) e contempla:

- O diagnóstico e o monitoramento das águas subterrâneas de interesse para usos e consumo humano, que inclui a elaboração de um relatório contendo todos os estudos para caracterização e enquadramento físico-químico dos aquíferos, e campanhas de monitoramento da qualidade da água destes, por um período de 10 anos, apresentando os padrões de qualidade para avaliação de possíveis usos e consumo. Foi considerado os custos com logística (aquisição de veículo próprio), mão de obra auxiliar e especializada e prestação de serviços por terceiros;
- Mapeamento de fontes poluidoras refere-se a realização de um estudo único, que inclui a contratação de mão de obra especializada (engenheiros de agrimensura, técnicos de campo, biólogos, etc.) e elaboração de um relatório técnico indicando o tipo de localização das fontes poluidoras.
- Estudos de fluxo energético/calor com a implantação de estações fixas de medição de fluxo tipo Eddy Covariance, bem como os custos de manutenção destes equipamentos, mão de obra especializada para manutenção e análise dos dados, elaboração de relatórios técnicos semestrais e relatório técnico consolidado anual apresentando os resultados para direcionamento das ações de restauração;
- Diagnóstico de produção primária e secundária inclui custos com campanhas de coleta *in situ*, e elaboração de relatórios técnicos anuais. Há incertezas em relação ao número de campanhas anuais.
- Elaboração de estudos de modelos tróficos-dinâmicos que inclui aquisição de software e mão de obra especializada (3 profissionais da área de biológicas, ecologia, modelagem matemática ou estatística, nível pleno a sênior) a ser realizado em, pelo menos, três anos.

Referências Bibliográficas

- ÂNGELO; DEBORA; MARCELO; et al., 1986. Produção primária e fotossíntese do fitoplâncton em regiões tropicais. São Paulo. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. 39p. 1986.
- FIELD, C.B., M. J. BEHRENFELD, J., T. RANDERSON, & P. FALKOWSKI. 1998. Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science*, 281:237-240. 10 JULY 1998.
- HAMMERLE A., KITZ F., SPIELMANN F., GERDEL K. AND WOHLFAHRT G. (2016) Carbon monoxide exchange and partitioning of a managed mountain meadow. EGU2016-6002. EGU 2016 General Assembly, 17-22 Abril, 2016, Vienna, Austria
- HUIZHI LIU, JIANWU FENG, JIHUA SUN, LEI WANG, ANLUN XU. 2015. Eddy covariance measurements of water vapor and CO2 fluxes above the Erhai Lake. *Science China Earth Sciences* – março de 2015 – vol 58, pág. 317-328. DOI: 10.1007/s11430-014-4828-1.
- ODUM, E.P. & SMALLEY, A.E. 1959. Comparison of Population Energy Flow of a Herbivorous and a Deposit-Feeding Invertebrate in a Salt Marsh Ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 45(4): 617-622.
- ODUM, E.P. 2001. *Fundamentos de Ecologia*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 927p.
- SCHOLZ K., HAMMERLE A. AND WOHLFAHRT G. (2016) Long-term EC measurements over a pre-alpine lake. EGU2016-12128. EGU 2016 General Assembly, 17-22 Abril de 2016, Vienna, Austria
- SPIELMANN F., KITZ F. HAMMERLE A., GERDEL K. AND WOHLFAHRT G. (2016) Sources and sinks of carbonyl sulfide in a mountain grassland and relationships to the carbon dioxide exchange. EGU2016-5498. EGU 2016 General Assembly, 17-22 Abril 2016, Vienna, Austria.
- TUNDISI, J; TUNDISI, T. M. Produção orgânica em ecossistemas aquáticos. *Ciência e Cultura*, v.28, n.8, p.864-887. 1975.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO E GREENPEACE, 2017. Contaminação por metais pesados na água utilizada por agricultores familiares na Região do Rio Doce. Rio de Janeiro. 37 p.