



Relatório de Definição dos Indicadores de Biodiversidade (PG30 e PG28)

Projeto: Assessoria à Gerência Socioambiental

Contrato nº: 4800018497

Ordem de Serviço nº 11: Definição de Indicadores de Biodiversidade

Abril, 2020

1. PERGUNTAS ORIENTADORAS DOS PROGRAMAS 28 E 30

Como forma de orientar os trabalhos dos Programas 28 e 30, a Câmara Técnica de Biodiversidade elaborou perguntas que deveriam guiar o planejamento do monitoramento e de outras atividades realizadas no âmbito dos programas. As perguntas são:

1. Qual o impacto do evento sobre as espécies da fauna terrestre e aquática?
2. Houve acumulação de metais nas diferentes espécies e no solo?
3. Até qual distância do Rio Doce a acumulação de metais foi observada?
4. Como os metais estão circulando nas cadeias?
5. Como as taxas de ocupação das diferentes espécies são afetadas pelas distâncias de rios, bordas, estradas ou ferrovias, e aspectos físicos e químicos?
6. Áreas protegidas por Unidades de Conservação (UC) e aquelas fora de UC são semelhantes em termos das estruturas de comunidades ou são complementares?
7. Como se dará a recolonização das áreas que foram restauradas?
8. É possível detectar mudanças na composição das espécies de fauna terrestre afetadas pelo desastre?

A equipe Ekos considera que o conjunto de perguntas originalmente estabelecidas para o monitoramento da biodiversidade pós-rompimento da barragem deve ser revisto uma vez que muito do que foi proposto não é possível de ser respondido. Isso porque (i) dados para a composição e estrutura de comunidades biológicas terrestres, dulcícolas, estuarinas e costeiras pré-rompimento na área em análise são na maior parte das vezes anecdóticos, (ii) transcorridos 4 anos, muitos dos efeitos do rompimento se diluíram no tempo, (iii) o desenho amostral estabelecido até o momento não aparenta possuir robustez para responder várias das perguntas originalmente formuladas.

Numa outra linha de argumentação, que está relacionada mas não se limita à dificuldade de se associar alterações na biodiversidade ao rompimento da Barragem de Fundão, a Fundação Renova se comprometeu a melhorar a condição ambiental da bacia estabelecendo que, após 10 anos de ações implementadas pela **Renova a bacia do Rio Doce estará em condições ambientais melhores do que aquelas prevalecentes antes do rompimento.**

Ocorre que (i) temos em geral melhores dados estruturais e físico-químicos que bióticos para avaliar mudanças pré- e pós-rompimento da Barragem de Fundão e (ii) temos um mosaico de condições ambientais a serem avaliadas e para os quais alvos de conservação e restauração poderão diferir. Na área do Alto Rio Doce fortemente impactada pelo rompimento da Barragem de Fundão, por exemplo, o mais provável é que ocorra uma nova organização das comunidades biológicas pela alteração significativa das condições estruturais. Neste caso, o retorno às condições pré-rompimento pode não ser um alvo viável.

Isso significa que devemos, por um lado, considerar indicadores ambientais no sentido mais amplo, associando indicadores de biodiversidade a indicadores estruturais e físico químicos e, por outro, caracterizar com clareza e valorizar as consequências das ações de restauração e recuperação.

Nesse aspecto, a pergunta geral poderia ser: **A biodiversidade na bacia do Rio Doce estará em condições melhores após as ações de restauração e recuperação?** A equipe Ekos recomenda buscar um desenho amostral do modelo *Before-After-Control-Impact* (BACI), ou o mais próximo possível, usando a implementação das ações de restauração e recuperação como o evento a ser analisado (comparação antes e depois de determinada ação em área onde a ação foi implementada; comparação entre áreas onde a ação foi implementada *versus* áreas onde a ação não foi implementada). Assim, a caracterização da biota terrestre elaborada até a data presente poderia ser considerada como a condição anterior às ações de recuperação da bacia. Sabemos que várias ações estão em curso, porém, assumimos que o efeito positivo de tais ações ainda é incipiente e o retrato das comunidades de fauna e flora terrestre, obtido nesse primeiro ano da Avaliação Ecológica Rápida, reflete a condição anterior à recuperação. Por outro lado, para a biota aquática o conjunto de informações já compiladas até o momento indicam evidências de recuperação, principalmente à jusante da UHE Risoleta Neves (ex UHE Candonga), portanto, pode-se assumir que os processos naturais de recomposição, associados a algumas das ações de recuperação, já apresentam resultados e o monitoramento deverá ser capaz de acompanhar e indicar melhorias nas condições para biota aquática.

O monitoramento continuado, sistemático e robusto poderá indicar se as condições ambientais na bacia melhoraram e se a biota respondeu adequadamente. Importante também, para inferências mais robustas, estabelecer um desenho amostral com clara distinção de amostras controle (ou referência) e amostras impactadas pela restauração. Para isso, é fundamental conhecer as diversas atividades de recuperação ambiental desenvolvidas pela Renova e aplicar as perguntas e indicadores a tais atividades. Entendemos também que é bastante provável que ainda persistam vários impactos sobre a biota decorrentes do rompimento, principalmente no trecho mais diretamente afetado pela supressão da vegetação e pela deposição dos rejeitos no leito e nas margens dos cursos d'água. A existência e persistência de tais potenciais impactos deve também ser alvo dos programas de monitoramento.

Considerando as atividades já realizadas e os avanços já obtidos, optou-se por reelaborar as perguntas de maneira a torná-las mais efetivas na orientação dos programas. Além disso, passados 4 anos do rompimento da barragem, algumas perguntas perderam relevância ou podem ser interpretadas de outras maneiras, mais ajustadas às atuais demandas.

Abaixo apresentamos primeiramente uma avaliação crítica das perguntas originais e comentários com foco na proposição do futuro do programa de monitoramento, e depois alguns indicadores que poderiam ser úteis para seu monitoramento. A primeira pergunta diz respeito à identificação do impacto do rompimento da barragem.

Pergunta 1. Qual o impacto do evento sobre as espécies da fauna terrestre e aquática?

Comentário: A pergunta, da forma como está feita, não se aplica em um programa de monitoramento. Além disso, os principais impactos registrados foram elencados em Relatório da Golder de 2016. Mais interessante para um programa de monitoramento, portanto, é buscar identificar e mensurar impactos persistentes e contínuos no ambiente e avaliar como variam tais impactos entre os trechos da bacia (Alto, Médio, e Baixo Rio Doce) e da zona costeira e marinha sob sua influência, entre os tipos de ambiente (terrestre; dulcícola, costeiro e marinho) e sazonalmente (estações seca e chuvosa).

A questões 2, 3 e 4 são inter-relacionadas, pois tratam da contaminação por metais. São elas:

Pergunta 2. Houve acumulação de metais nas diferentes espécies e no solo?

Pergunta 3. Até qual distância do Rio Doce a acumulação de metais foi observada?

Pergunta 4. Como os metais estão circulando nas cadeias?

Comentários: Tais questões já devem estar relacionadas com os outros programas de monitoramento em execução pela Fundação Renova, pois trata-se de contaminação por metais de interesse toxicológico. Optou-se por reformulá-las e associá-las à avaliação e monitoramento dos impactos persistentes, além de verificar se estão sendo respondidas pelas atividades de outros programas.

As perguntas 5 e 6 não são passíveis de serem associadas diretamente com os impactos provocados pelo rompimento da barragem. Por isso, a sugestão é de exclusão da lista de perguntas orientadoras dos Programas 28 e 30.

Pergunta 5. Como as taxas de ocupação das diferentes espécies são afetadas pelas distâncias de rios, bordas, estradas ou ferrovias, e aspectos físicos e químicos?

Comentário: A maior parte desta pergunta não está relacionada aos impactos do rompimento da barragem. Uma série de variáveis espaciais (e.g. tipo de vegetação, uso e ocupação do solo), ecológicas (e.g. disponibilidade de recursos, interações ecológicas), históricas (pressão de caça, desmatamento) e outras que não são decorrentes do impacto do rejeito na bacia podem atuar influenciando a probabilidade de ocupação de um sítio por uma dada espécie. Por outro lado, a parte desta pergunta que está relacionada ao impacto *per se* não pode ser respondida atualmente, tendo em vista o tempo decorrido desde o rompimento e os ajustes naturais das espécies potencialmente impactadas às variações ambientais na bacia. Sendo assim, esta questão perde seu sentido como “orientadora” do monitoramento, e deve ser excluída, neste momento.

Pergunta 6: Áreas protegidas por Unidades de Conservação (UC) e aquelas fora de UC são semelhantes em termos das estruturas de comunidades ou são complementares?

Comentário: Pergunta não relacionada ao impacto e não pertinente ao monitoramento.

Pergunta 7: Como se dará a recolonização das áreas que foram restauradas?

Comentários: Inicialmente é preciso estabelecer se está sendo considerado o processo de restauração ambiental ou de recuperação. Por restauração, entendemos o processo de retornar o ambiente às condições anteriores ao rompimento. Esse processo é complexo, primeiro porque não se conhece com precisão qual era a condição ecológica da bacia anterior ao desastre. Além disso, boa parte da bacia já se encontrava em condição de degradação pelo histórico de desmatamento, uso do solo e poluição. Por outro lado, podemos considerar o processo de recuperação como a busca da melhoria na qualidade ambiental e funcionalidade do ecossistema por meio de restabelecimento de vegetação nativa, recuperação de nascentes e APPs e melhoria da qualidade da água do Rio Doce e seus tributários. Assim, a pergunta original poderia ser substituída pelo acompanhamento das consequências das ações de recuperação ambiental na bacia do rio Doce, avaliando a tendência de melhoria nas condições ambientais, o potencial de áreas que forneçam propágulos e/ou migrantes para o restabelecimento

natural das populações de fauna e flora e a eventual necessidade de colonização/recolonização assistida.

Pergunta 8: É possível detectar mudanças na composição das espécies de fauna terrestre afetadas pelo desastre?

Comentários: A equipe Ekos entende que, transcorridos 4 anos do evento de impacto, não é possível responder a essa pergunta. O atual delineamento amostral, os indicadores estabelecidos, que não são, necessariamente, sensíveis ao impacto, o tempo decorrido desde o rompimento, a complexidade em avaliar e estabelecer relações de causa e efeito para mudanças na estrutura e composição das comunidades de fauna terrestre, são fatores que impossibilitam responder à essa questão.

Após avaliação crítica das perguntas originais, considerando o relatório e os dados do primeiro ano do monitoramento da biodiversidade (Avaliação Ecológica Rápida), sugere-se uma reformulação no programa de monitoramento, a começar pela formulação de novas perguntas e definição de novos indicadores que sejam capazes de responder à essas perguntas. A seguir, a sequência de perguntas reformuladas.

- 1- Quais os impactos persistentes ou recorrentes do evento sobre as espécies da fauna e flora terrestres da Bacia do rio Doce, e qual a magnitude e abrangência espacial e temporal destes impactos?**
- 2- Quais os impactos persistentes ou recorrentes do evento sobre as espécies da fauna e flora aquáticas da Bacia do rio Doce e zona costeira, e qual a magnitude e abrangência espacial e temporal destes impactos?**
- 3- Há uma tendência de melhoria de condições ambientais favoráveis para o restabelecimento de populações de animais e plantas afetadas pelo rompimento da barragem?**
- 4- As ações de restauração, recuperação e compensação da bacia do rio Doce estão levando a um aumento na abundância, distribuição ou riqueza de espécies ou grupos funcionais ameaçados, sensíveis ou chave, nos diferentes contextos afetados?**

As duas primeiras perguntas orientadoras estão relacionadas com o monitoramento do impacto persistente, recorrente ou residual do rompimento da barragem de Fundão e as demais, com o monitoramento da recuperação do ambiente na escala temporal (por ação da Renova e por ação da própria natureza).

2. PREMISSAS E CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE BONS INDICADORES

Para que um indicador cumpra seu objetivo de avaliar e, se necessário, redirecionar ações de um programa de recuperação ambiental, sua escolha deve ser baseada em premissas e critérios bem estabelecidos.

Premissas são as bases lógicas essenciais de um estudo que tem por objetivo levar a uma conclusão. No contexto dos Programas em questão, premissas são as condições indispensáveis sobre as quais se assentarão os critérios que nortearão a escolha dos indicadores necessários à avaliação do sucesso das ações. Na tabela abaixo estão listadas as 6 premissas definidas que devem guiar a seleção de indicadores dos monitoramentos.

Premissas		Justificativa
Sistemas de indicação de integridade ambiental devem:		
1	Incluir parâmetros que possam ser medidos a partir das amostragens já realizadas e em curso.	Já existe um volume muito grande de informações ambientais coletadas pela Fundação Renova, parceiras e contratadas, bem como pesquisadores independentes. É possível que indicadores não contemplados nestes estudos venham a se mostrar úteis na avaliação de impacto e recuperação do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana, mas não é razoável supor, ao menos a priori, que dados já coletados não possam oferecer parte das respostas que a Fundação Renova e Comitê Interfederativo buscam.
2	Incluir variáveis biológicas, mas também físicas, químicas e estruturais.	Um ambiente abiótico adequado é condição essencial para ocorrência e persistência da biota.
3	Incluir tanto indicadores que evidenciem impacto como indicadores que evidenciem recuperação.	O rompimento da Barragem de Fundão ocorreu há mais de quatro anos e ao menos parte dos impactos agudos foram bem documentados pelas alterações geomorfológicas, batimétricas, físico-químicas e de mortalidade de peixes na Bacia do rio Doce. Indicadores de impacto continuam sendo importantes, principalmente no que diz respeito à avaliação de impactos residuais, recorrentes ou persistentes do desastre. Porém, precisamos ter em mente que o objetivo maior das ações da Fundação Renova é a recuperação da Bacia do rio Doce e zona costeira.

4	Se biológicos, incluir diferentes níveis de organização (células, tecidos, indivíduos, populações, comunidades, ecossistemas).	Sistemas de bioindicação em níveis de organização biológica inferiores (moléculas, células, tecidos) respondem de forma mais rápida e específica a perturbações ambientais, mas sua relevância ambiental é pequena. Por exemplo, danos nas brânquias (um órgão) de determinada espécie de peixe não necessariamente sinalizam alterações na população desta mesma espécie de peixe (como declínio populacional), e menos ainda na comunidade de peixes do rio Doce (como mudança nos padrões de dominância ou substituição de espécies). Sistemas de bioindicação em níveis de organização biológica superiores (comunidades, ecossistemas) tem grande relevância ambiental. Considere, por exemplo, a perda de espécies ou a perda de função ecossistêmica. Porém, respondem de forma mais lenta e inespecífica a perturbações ambientais. Desta forma, sistemas de bioindicação que reconhecem este <i>'trade off'</i> e exploram as forças e limitações da bioindicação em diferentes níveis de organização biológica tem maior probabilidade de sucesso.
5	Ser adequados às especificidades de cada uma das diferentes sub-regiões da área de estudo.	Alto, Médio e Baixo Rio Doce e Zona Costeira apresentam características ambientais distintas e foram sujeitas a diferentes magnitudes de impacto. Portanto alvos de recuperação e critérios temporais deverão ser ajustados para cada uma delas.
6	Ser SMART (específicos, mensuráveis, atingíveis, relevantes, temporais).	Indicadores devem possibilitar a verificação de um determinado impacto, ao mesmo tempo em que devem considerar parâmetros que permitam diagnosticar e graduar a efetividade das ações de recuperação ao longo do tempo.

Crítérios, por sua vez, são os fundamentos ou bases para uma opção, escolha e/ou decisão. Dada a complexidade da resposta de sistemas biológicos às mudanças ambientais, é fundamental que se estabeleça critérios para a escolha de indicadores de integridade ambiental, levando em consideração as melhores informações científicas disponíveis. O quadro abaixo apresenta uma definição de 10 critérios que deverão guiar a escolha de indicadores, devidamente apoiada na literatura (e.g., Carignan V. & M.A. Villard. 2002. *Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review. Environmental Monitoring and Assessment* 78:45-61; Holt E.A. & S.W. Miller. 2010. *Bioindicators: using organisms to measure environmental impacts. Nature Education Knowledge* 3(10):8)

É altamente improvável que determinado indicador contemple ao mesmo tempo todos os 10 critérios apresentados. No mais, critérios variam em sua interpretabilidade e/ou aplicabilidade, particularmente num ambiente diverso e comparativamente pouco estudado como a Bacia do rio Doce e Zona Costeira. Por este motivo, para auxiliar na tomada de decisão de quais indicadores selecionar, cada critério foi

classificado em termos de sua relevância contrapondo 'critérios obrigatórios' versus 'critérios desejáveis', e atribuindo um peso que variou de 1 ('baixa') a 3 ('alta'). Critérios considerados 'obrigatórios' por definição receberam peso 3, enquanto critérios considerados 'desejáveis' receberam peso variando entre 1 e 3.

Um critério obrigatório é aquele indispensável para que o indicador possa efetivamente nortear ações e avaliar resultados. Por exemplo, para serem usados como indicadores, é indispensável que organismos ou fenômenos sejam suficientemente bem conhecidos e tenham abundância e/ou frequência de ocorrência adequadas e viáveis para a amostragem e, conseqüentemente, inferência. Em outras palavras, espécies ou fenômenos raros são inadequados como indicadores. Esta consideração foi questionada durante o workshop sob a alegação de que a busca por uma espécie ameaçada, por exemplo, poderia ser muito relevante. Tal importância não foi negada, mas argumentou-se que o dispêndio de esforços para monitorar espécies raras e/ou ameaçadas normalmente é muito grande. Mesmo não sendo consideradas em sistemas de indicação, a observação ou ocorrência de fenômenos e/ou espécies raras em amostragens regulares deve ser anotada. Eventualmente, espécies ameaçadas ocorrentes na bacia podem compor o grupo de indicadores biológicos, desde que atendam aos critérios estabelecidos.

Quanto aos critérios desejáveis, estes também, contribuem positivamente, mas não são indispensáveis para o sistema de indicação. Na atribuição de pesos a critérios desejáveis foi levada em consideração simultaneamente a relevância (em termos do poder, qualidade ou precisão da informação), mas também a aplicabilidade do critério. Por exemplo, idealmente selecionaríamos indicadores cuja resposta fosse específica e proporcional à magnitude de um vetor de degradação ambiental associado ao rompimento da Barragem de Fundão (por exemplo, que respondesse de forma escalonada à turbidez ou à contaminação por arsênio, exclusivamente). Porém, mesmo que houvesse tal grau de especificidade e de proporcionalidade, é improvável que a conhecêssemos dada a escassez de dados das respostas ambientais de espécies brasileiras. Por isso estes critérios receberam pesos 1 (Critério 8; aplicabilidade) e 2 (Critério 3; relevância). No decorrer do Workshop foram suscitadas várias discussões - bastante construtivas - sobre essa ponderação combinada de aplicabilidade e relevância, bem como a uma certa subjetividade na atribuição de pesos. Como solução, foi sugerido que cada um dos participantes atribuísse pesos à aplicabilidade e à relevância de cada um dos 9 critérios apresentados no Workshop, separadamente e por escrito. Em seguida foram calculadas as médias dos pesos propostos pelos participantes. A correspondência entre os pesos propostos originalmente pelo Instituto Ekos e os pesos propostos pelo conjunto de integrantes do Workshop foi muito similar (exceto pelo Critério 8, todos os demais critérios permaneceram com peso igual). O peso final foi dado pela média entre relevância e aplicabilidade arredondadas para cima (no caso de médias fracionais iguais ou maiores que 0,5) ou para baixo (no caso de médias fracionais menores que 0,5). A ponderação final, definida pelo conjunto de participantes do Workshop, é apresentada na Tabela abaixo.

Também é importante que se saiba reconhecer a que escalas espaciais e temporais o indicador está respondendo. Porém, num contexto de avaliação da efetividade de ações de restauração, recuperação e compensação, o reconhecimento da escala temporal pode ser mais relevante que a espacial, além de ser provavelmente mais razoável de se extrapolar a partir de ciclos de vida de organismos aparentados

aos encontrados na Bacia do rio Doce. Este também foi um ponto bastante debatido no workshop e houve a compreensão de que o monitoramento deve ser realizado dentro de escalas espaciais muito bem definidas, e que a escala temporal poderá refletir melhor, dentro de cada área, o status da recuperação do ambiente e que deve existir uma clara associação entre o organismo ou processo indicador e a escala espacial ou temporal. Em vários momentos foi destacada a heterogeneidade de cada área de estudo, seja na porção continental ou litorânea, e suas implicações no que diz respeito à limitação de indicadores “universais”.

Por sua vez, a definição dos critérios de seleção de indicadores encontra-se na tabela abaixo, onde consta o peso inicialmente sugerido pela equipe Ekos, para cada critério, e os pesos definidos na plenária, com a subdivisão em “relevância” e “aplicabilidade”. Esses pesos são as médias aritméticas arredondadas dos pesos atribuídos por todos os participantes:

Critério	Justificativa	Peso definido em plenária		Peso Final	
		‘Relevância’ (qualidade da informação)	‘Aplicabilidade’		
1	É desejável que o indicador seja associado a uma escala espacial definida, vinculada ao impacto do agente estressor ou à sua recuperação.	Indicadores de integridade ambiental devem ser associados a determinada extensão espacial.	2,60	2,25	2
2	É desejável que o indicador seja associado a uma escala temporal definida, vinculada ao impacto do agente estressor ou à sua recuperação.	Indicadores de integridade ambiental devem ser associados a determinada escala temporal, especialmente para interpretar respostas às ações de recuperação.	2,90	2,65	3
3	É desejável que o indicador responda a vetores de degradação ambiental específicos resultantes do rompimento da Barragem (sólidos	Indicadores são mais informativos se apresentarem uma resposta específica a	2,60	1,95	2

	suspensos, contaminação, perda de habitat, dentre outros).	determinado vetor de degradação ambiental.			
4	É obrigatório que, para definição do indicador, existam informações suficientes e adequadas sobre ecologia e biologia dos organismos, comunidades, ecossistemas e/ou processos a serem monitorados que permitam formulação de hipóteses, predições ou interpretações dos resultados.	Um conhecimento básico da ecologia e história de vida do organismo é pressuposto para um sistema de bioindicação.	3	3	3
5	É desejável que os indicadores sejam vinculados a organismos que permitam obter simultaneamente mais de uma informação ambiental.	Um único indicador pode em tese evidenciar alterações de naturezas distintas.	1,40	1,40	1
6	É obrigatório que os indicadores sejam vinculados a organismos ou fenômenos que tenham abundância e/ou frequência de ocorrência adequadas e viáveis para a amostragem (isto é, suficientemente altas para inferência). Portanto, exclui espécies ou fenômenos raros.	Pressuposto para um sistema de bioindicação.	3	3	3
7	É desejável que os indicadores sejam vinculados a organismos e/ou funções ecossistêmicas com percebida importância	Serviços ecossistêmicos, que incluem a provisão de alimento, fibras e fármacos, bem como a reciclagem da matéria e	2,20	1,85	2

	social, econômica, de saúde humana ou de qualidade ambiental ou de vida.	a purificação da água e do ar, comunicam de forma poderosa a importância e benefícios da preservação e recuperação dos sistemas naturais.			
8	É desejável que os indicadores sejam vinculados a organismos ou processos que respondam de forma proporcional à degradação ambiental e, conversamente, recuperação ambiental.	Indicadores são mais informativos se apresentarem uma resposta proporcional à magnitude do impacto.	2,30	1,45	2
9	É desejável que os indicadores tenham um caráter integrativo dentro dos objetivos dos programas de monitoramento e recuperação da Bacia do rio Doce como um todo, ou seja, que possam ser utilizados simultaneamente por mais de um programa.	Indicadores devem permitir avaliar simultaneamente a efetividade das ações de mais de um Programa da Fundação Renova.	2,05	1,75	2

Além dos critérios previamente apresentados e validados no “Workshop para Definição de Indicadores de Resultados da Biodiversidade dos Programas 28 e 30”, a equipe Ekos sugere a adição do décimo critério, conforme apresentado abaixo.

Critério	Justificativa	Peso definido em plenária	Peso Final
-----------------	----------------------	----------------------------------	-------------------

			‘Relevância’ (qualidade da informação)	‘Aplicabilidade’	
10	É desejável que os indicadores tenham um histórico sólido, continuado e robusto de coleta de dados na área de estudo anterior ao rompimento da Barragem de Fundão.	Havendo disponibilidade de dados pré-rompimento e assumindo que são dados sólidos, continuados, de médio a longo prazo (não pontuais), é desejável que sejam utilizados para o acompanhamento dos efeitos do rompimento da barragem.	3	3	3

3. SUGESTÃO DE INDICADORES PARA O PROGRAMA 30

Os Indicadores obtidos durante o Workshop foram divididos em dois grupos espaciais: aqueles voltados para o trecho Fundão - UHE Risoleta Neves (Candonga) e aqueles dedicados a toda a bacia do rio Doce. Esses indicadores podem responder a perguntas relativas à persistência do impacto e às ações de recuperação da bacia, sendo esse aspecto, para o ambiente terrestre, o mais relevante na atual conjuntura, após transcorridos mais de 4 anos desde o evento.

Parte dos trabalhos a serem realizados num primeiro ano já foram feitos por Consultorias contratadas, como a Bicho do Mato. Nesse sentido, parte dessas informações poderiam, inicialmente, subsidiar outros trabalhos.

Uma das principais questões discutidas foi referente ao desenho amostral para fins de obtenção de dados relevantes e que possam responder às perguntas inicialmente formuladas. Nesse sentido, não podemos deixar de considerar a pergunta relativa ao Impacto “*Quais os impactos persistentes ou recorrentes do evento sobre as espécies da fauna e flora terrestres da Bacia do rio Doce, e qual a magnitude e abrangência espacial e temporal destes impactos?*” e as perguntas relativas à recuperação “*Há uma tendência de melhoria de condições ambientais favoráveis para o restabelecimento de populações de animais e plantas afetadas pelo rompimento da barragem? As ações de restauração, recuperação e compensação da bacia do rio Doce estão levando a um aumento na abundância, distribuição ou riqueza de espécies ou grupos funcionais ameaçados, sensíveis ou chave, nos diferentes*

contextos afetados?”. Ademais, os indicadores a serem utilizados não podem deixar de considerar as premissas e os critérios de seleção, baseados na relevância e na aplicabilidade.

Portanto, não podemos perder de vista o cenário que se deseja para um período estimado temporal de 10 anos, quais sejam: i) *Que seja possível demonstrar/indicar os efeitos sobre a biodiversidade terrestre em função das melhorias nas condições ambientais da bacia; ii) Que no trecho Fundão - UHE Risoleta Neves (Candongá), os ambientes florestais e fluviais afetados estejam em franco processo de recuperação autônoma e que ocorra efetiva regularização ambiental em propriedades privadas, com efeitos positivos sistêmicos sobre a saúde dos ambientes fluviais a jusante; iii) Para as demais drenagens afetadas a jusante, que os ecossistemas fluviais e ripários associados estejam em condição equiparável à pretérita, como base para melhoria da condição ambiental, por meio de fornecimentos e fruição de serviços ecossistêmicos na Bacia; iv) Que, a partir da mudança de foco para ações de restauração, se estabeleça como meta, a existência de condições sistêmicas e cenário para incremento significativo de cobertura florestal nativa, considerando limiares de fragmentação, priorizando matas ciliares e conectividades, utilizando para isso, informações estratégicas, oportunidades e sinergias na bacia; e v) Que a Bacia do rio Doce tenha estrutura básica para continuar se recuperando por meio de processos naturais, com representatividade significativa de fauna e flora.*

Para o PG30, o grupo reunido durante o workshop considerou que o foco de monitoramento do programa de biodiversidade terrestre deve ser o trecho mais afetado pelo rompimento da barragem de Fundão, entre a área da barragem até a UHE Risoleta Neves (Candongá), porém, alguns indicadores são aplicados para a bacia como um todo. O grupo entende que os resultados apresentados da Avaliação Ecológica Rápida constituem uma boa caracterização da biodiversidade na bacia do rio Doce, porém não foram capazes de demonstrar relações causais dentre o rompimento e as alterações sobre a biodiversidade terrestre. Nesse sentido, e buscando alterar o foco do monitoramento de agora em diante para as ações de restauração e recuperação na bacia, o grupo propôs um conjunto de indicadores para o monitoramento futuro. Ao final, foram apontados 15 Indicadores para o monitoramento no PG30, sendo que dois deles (Indicador 3, Indicador 7) já estão sendo avaliados em outros programas (PG23 e PG38, respectivamente) e o último indicador (contaminação em subprodutos de uso humano da fauna e flora) possivelmente já está sendo monitorado por programas relacionados à saúde humana. Nesses três casos, a metodologia, desenho amostral, periodicidade, áreas de coleta e resultados devem ser compartilhados e discutidos com a equipe do PG30.

Apresentamos, a seguir, a tabela com os 15 indicadores apontados durante o workshop bem como os critérios que cada um deles atende. Dentre esses, sugerimos 10 Indicadores para serem implantados ainda no primeiro ano, os quais deverão fazer parte das novas propostas de monitoramento com o objetivo de responder às perguntas orientadoras descritas anteriormente, o que não tem sido contemplado adequadamente nos trabalhos já realizados na Bacia do rio Doce, especialmente no trecho compreendido entre Fundão e UHE Risoleta Neves (Candongá). O principal critério para a seleção desses 10 indicadores é a capacidade de agregar respostas em diferentes escalas biológicas, desde populações até comunidades, além da interface e do potencial de aplicação em outros Programas da Renova. Os demais indicadores poderiam ser adicionados a propostas futuras, pois dependem, em parte, das respostas obtidos com nesse primeiro ano. Observa-se, que parte dos indicadores poderiam

ser associados num único item, como os indicadores 1 e 2, e outros, como os indicadores 3, 6 e 8, devem fazer parte de outros Programas. Entretanto, como assim foram definidos no Workshop sobre Bioindicadores, com a participação de diversos segmentos e consultores, optamos por manter a descrição dos indicadores tal como se encontram. Para esses indicadores apresentamos, também, um detalhamento considerando: justificativa; perguntas norteadoras (indicador de impacto, indicador de recuperação) e descrição do indicador. Importante destacar que, para cada indicador, as fórmulas de cálculo, as hipóteses e predições, o desenho amostral, a metodologia, periodicidade e duração deverão ser definidos e detalhados pelas consultorias contratadas para a realização dos estudos, após revisão do escopo do monitoramento.

Indicadores para o trecho Fundão - UHE Risoleta Neves (Candonga)

Indicador	Critérios atendidos
Composição funcional da flora regenerante ao longo do processo sucessional *	1,2,3,4,5,6,8,9
Aspectos fitossociológicos das áreas diretamente afetadas e em recuperação *	1,2,3,4,5,6,8,9
Taxa de carreamento de rejeitos residuais em Fundão, Mariana, com a possibilidade de utilizar dados do PG23 e outros programas *	1,2,3,4,5,9
Indicadores genéticos de dispersão e polinização de espécies vegetais (definição das espécies pela Consultoria responsável)	1,2,4,5,6,8,
Dispersão e polinização de espécies zoofílicas e zocóricas (definição das espécies será feito a posteriori)	1,2,4,6,8,9
Níveis/ concentração de contaminantes em anfíbios, insetos aquáticos, mamíferos semifossoriais e semiaquáticos *	1,2,3,4,6,8

Ocorrência de histopatologias e/ou malformações em morcegos jovens (que tenham nascido após o rompimento) e em girinos *	1,2,3,4,6,8
Assimetria flutuante em insetos aquáticos	1,2,4,6,8
Aspectos físico-químicos e microbiológicos de tecnosolos *	1,2,3,4,5,6,7,9
Composição funcional da meso e macrofauna edáfica	1,2,3,4,6,7,9
Composição funcional da fauna dependente de ambientes florestais ao longo do processo sucessional (grupos faunísticos a definir conforme critérios obrigatórios) *	1,2,3,4,5,6

* Indicadores para implementação no primeiro ano do monitoramento.

Indicadores para a Bacia do rio Doce (como um todo)

Indicador	Critérios atendidos
Concentração de metais de interesse toxicológico e ecotoxicológico biodisponíveis no solo e água – Fonte de dados PG38 *	2,4,6,7,8,9
Cobertura e distribuição espacial da vegetação nativa nas Otto bacias já avaliadas no estudo de ecologia da paisagem *	1,2,4,6,8,9
Níveis/ concentração de contaminantes em macrófitas (verificar macrófitas para o PG28) e insetos aquáticos *	1,2,3,4,6,8

Níveis de contaminantes em subprodutos de uso humano da fauna e flora (mel). Obs: avaliar se esse indicador já vem sendo monitorado nos programas de saúde humana	1,2,3,4,6,7,9
---	---------------

* Indicadores para implementação no primeiro ano do monitoramento.

INDICADOR 1

Composição funcional da flora regenerante ao longo do processo sucessional.

Justificativa

Indicador de recuperação, atendendo aos critérios 1,2,3,4,5,6,8,9. Pergunta orientadora: *As ações de restauração, recuperação e compensação da bacia do rio Doce estão levando a um aumento na abundância, distribuição ou riqueza de espécies ou grupos funcionais ameaçados, sensíveis ou chave, nos diferentes contextos afetados?* Se justifica pelo fato de que ao analisar temporalmente como é a variação da composição das comunidades vegetais é possível avaliar se o processo de recuperação está levando ao restabelecimento de funções ecossistêmicas e processos ecológicos.

Descrição do Indicador

Esse indicador é ferramenta valiosa para o manejo, guiando a forma mais adequada de uso das espécies e auxiliando na superação dos fatores limitantes ao crescimento, o que é fundamental para o sucesso da restauração. O uso de ferramentas analíticas para categorizar conjuntos de espécies dentro de grupos com semelhantes funções no ecossistema, leva à compreensão das respostas adaptativas desses organismos frente às mudanças ambientais e processos ecológicos como dispersão e competição. Há várias possibilidades de agrupamentos de grupos funcionais, os quais estão intimamente relacionados à biodiversidade do ecossistema. Segundo abordagem da Biodiversidade no Funcionamento do Ecossistema (BEF), é a diversidade funcional e não o número de espécies que definem a estabilidade de um ecossistema, fazendo com que a diversidade funcional seja mais importante do que a diversidade taxonômica. Assim, o conhecimento das características funcionais das espécies é essencial para garantir os objetivos e ações de restauração de uma área degradada. Cita-se, como exemplo, 3 atributos funcionais: potencial para fixação biológica de nitrogênio atmosférico (visa tanto restauração das condições do solo como o estabelecimento das espécies); atratividade da fauna silvestre (quanto maior o número de espécies com capacidade para atrair a fauna silvestre, maior a efetividade do processo de restauração); oferta de produtos florestais madeireiros e não madeireiros (agregar valor econômico a partir da inserção de espécies arbóreas na propriedade, é uma forma de aliar questão ambiental à socioeconômica).

Objetivo

Identificar a composição dos grupos funcionais da flora no processo sucessional. Acompanhar e avaliar o processo de recuperação ambiental no que diz respeito à vegetação terrestre.

Fórmula de cálculo

Variação temporal na diversidade funcional e composição das comunidades de flora. Avaliação dos grupos sucessionais, gramíneas, herbáceas, arbustivas e arbóreas, considerando parâmetros de medidas de DAP para acompanhamento das espécies arbóreas. Análises de agrupamentos e avaliação da similaridade da composição de espécies entre ambientes.

Periodicidade

Esse indicador deverá ser implementado no primeiro ano e avaliado em anos subsequentes, com periodicidade anual.

Fonte dos dados

Coletas na área compreendida entre Fundão e UHE Risoleta Neves (Candonga).

INDICADOR 2

Aspectos fitossociológicos das áreas diretamente afetadas e em recuperação.

Justificativa

Indicador de recuperação, atendendo aos critérios 1,2,3,4,5,6,8,9. Perguntas a serem respondidas: *Há uma tendência de melhoria de condições ambientais favoráveis para o restabelecimento de populações de animais e plantas afetadas pelo rompimento da barragem? As ações de restauração, recuperação e compensação da bacia do rio Doce estão levando a um aumento na abundância, distribuição ou riqueza de espécies ou grupos funcionais ameaçados, sensíveis ou chave, nos diferentes contextos afetados?*

Descrição do Indicador

Para caracterizar o estágio de sucessão das comunidades utiliza-se a análise dos parâmetros fitossociológicos quantitativos e qualitativos. Os mais utilizados são densidade, dominância, frequência, estrutura sociológica, Valor de Importância e Valor de Cobertura, além do Índice de Diversidade de Shannon.

Objetivo

Avaliar os parâmetros fitossociológicos indicadores de sucesso na recuperação, natural ou induzida, de áreas afetadas pela deposição de rejeitos. Em face da diversidade de parâmetros possíveis de serem avaliados, sugere-se que a definição de quais seriam os mais apropriados para o estudo de

monitoramento sejam selecionados na revisão do escopo da proposta, priorizando aqueles que, possivelmente, terão maior efetividade em responder às perguntas orientadoras descritas anteriormente.

Fórmula de cálculo

Estimativas de parâmetros fitossociológicos. Medidas adicionais como a ocorrência e abundância das espécies ao longo do gradiente de sucessão, permitindo avaliações a respeito da adaptabilidade a ambientes mais ou menos favoráveis ao crescimento.

Periodicidade

Esse indicador deverá ser implementado no primeiro ano e avaliado em anos subsequentes, com periodicidade anual.

Fonte dos dados

Coletas na área compreendida entre Fundão e UHE Risoleta Neves (Candongá).

INDICADOR 3

Taxa de carreamento de rejeitos residuais depositados às margens dos cursos d'água no trecho entre Fundão e UHE Risoleta Neves (Candongá).

Justificativa

Indicador de impacto e de recuperação, atendendo os critérios de indicação 1,2,3,4,5,9. Perguntas a serem respondidas: *“Quais os impactos persistentes ou recorrentes do evento sobre as espécies da fauna e flora terrestres da Bacia do rio Doce, e qual a magnitude e abrangência espacial e temporal destes impactos?”* *“Há uma tendência de melhoria de condições ambientais favoráveis para o restabelecimento de populações de animais e plantas afetadas pelo rompimento da barragem?”* Esse indicador visa avaliar o carreamento de rejeitos depositados nas áreas próximas aos cursos d'água, no trecho entre Fundão e UHE Risoleta Neves (Candongá), em áreas sujeitas à recomposição vegetal natural ou induzida, como forma de avaliar a efetividade dessas ações em reter os rejeitos.

Descrição do Indicador

A taxa de carreamento de rejeitos, atendendo os critérios mencionados, baseia-se na utilização de dados de outros programas, como o PG23 – Manejo de Rejeitos. Convém ressaltar que parte desses dados já compõem o Relatório de Consolidação de Estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH) relativo aos estudos realizados pelas empresas Ambios e Tecnohidro em áreas rurais dos municípios de Mariana e Barra Longa (MG).

Objetivo

Avaliar a efetividade das ações de recomposição da flora, naturais ou induzidas, na retenção dos rejeitos nas áreas diretamente afetadas pela deposição de rejeitos.

Fórmula de cálculo

A fórmula de cálculo seria aquela empregada nos trabalhos desenvolvidas no programa PG23, em desenvolvimento sob a coordenação do Prof. Carlos Schaefer. A definição da fórmula de cálculo foge ao escopo do PG30, pois trata-se de dados provenientes de outro programa para subsidiar os estudos do PG30. Nesse caso, vem de encontro da proposta que busca a integração dos Programas que estão sendo desenvolvidos na Bacia.

Periodicidade

Os estudos desse indicador deverão ser implementados no primeiro ano, com avaliações anuais subsequentes, especificamente na estação chuvosa. Destaca-se que essas atividades têm sido executadas no PG23.

Fonte dos dados

Dados obtidos a partir de análises de componentes físicos e químicos dos rejeitos, ao longo do perfil da área amostrada, a diferentes pontos a partir da margem dos cursos d'água e nascentes, até o limite das áreas atingidas pelos rejeitos. Avaliar a possibilidade de utilizar dados do PG23 e outros programas.

INDICADOR 4

Concentração de contaminantes em anfíbios, insetos aquáticos, mamíferos semifossoriais e semiaquáticos.

Justificativa

Indicador de impacto e de recuperação que atende aos critérios 1,2,3,4,6,8. Pergunta orientadora: *Quais os impactos persistentes ou recorrentes do evento sobre as espécies da fauna e flora terrestres da Bacia do rio Doce, e qual a magnitude e abrangência espacial e temporal destes impactos?* É possível que ainda exista exposição, disponibilização de contaminantes provenientes do rompimento da barragem. Tais contaminantes, metais pesados e arsênio já mensurados em análises de solo, água e sedimentos, como o Fe, Mn, As, Al, Cr, Pb, dentre outros metais, podem estar presentes nos ambientes aquáticos diretamente atingidos e que ainda estão recebendo rejeito que está depositado nas margens dos cursos d'água. Tais elementos podem contaminar indivíduos de organismos associados ao ambiente aquático, por isso é importante quantificar e monitorar as concentrações de eventuais contaminantes em tecidos dessas espécies. A indicação de alguns grupos, como anfíbios, insetos aquáticos, mamíferos semifossoriais e semiaquáticos se dá pela relativa facilidade de coletar tais organismos e a associação dos mesmos com água e/ou sedimentos contaminados.

Descrição do Indicador

As concentrações dos contaminantes devem ser avaliadas em espécies de diferentes grupos biológicos que estejam associados ao ambiente aquático em áreas impactadas e não impactadas pelo rejeito.

Objetivo

Avaliar se há persistência de contaminação em organismos associados ao ambiente aquático e comparar se essa eventual contaminação é maior na área sob impacto do rejeito do que em áreas similares não impactadas.

Fórmula de cálculo

Caraterização e quantificação da concentração de diferentes metais nos tecidos dos organismos e nos habitats. Avaliação temporal da variação da concentração de contaminantes.

Periodicidade

Esse indicador deverá ser implementado no primeiro ano e avaliado em anos subsequentes, com periodicidade trimestral ou semestral.

Fonte dos dados

Coletas na área compreendida entre Fundão e UHE Risoleta Neves (Candongia) e em microbacias hidrográficas adjacentes, porém não impactadas.

INDICADOR 5

Ocorrência de histopatologias e/ou malformações em morcegos e em girinos.

Justificativa

Indicador de impacto persistente que atende aos critérios 1,2,3,4,6,8. Pergunta orientadora: *Quais os impactos persistentes ou recorrentes do evento sobre as espécies da fauna e flora terrestres da Bacia do rio Doce, e qual a magnitude e abrangência espacial e temporal destes impactos?* Os efeitos da exposição a contaminantes podem surgir com o passar do tempo e serem expressos nos animais por meio de histopatologias e/ou malformações. No caso de malformações de base genética, o foco de avaliação seria a taxa de tais malformações em animais que tenham nascido após o rompimento. A literatura aponta que alguns grupos de vertebrados podem ser bons indicadores de contaminação ambiental. Relatos pessoais de pesquisadores coletando morcegos na área diretamente afetada pelo rompimento apontam para uma taxa mais elevada do que o esperado de malformações. Avaliar se problemas de ordem genética ou de saúde são mais frequentes nas áreas impactadas do que em áreas adjacentes pode auxiliar no processo de recuperação ambiental e na avaliação do status populacional de espécies que tenham sido expostas aos contaminantes.

Descrição do Indicador

O indicador aponta a prevalência de histopatologias e as taxas de ocorrência de malformações em organismos expostos aos contaminantes no ambiente.

Objetivo

Avaliar se existe dano morfológico em organismos expostos ao rejeito acima do que é encontrado em áreas não diretamente impactadas.

Fórmula de cálculo

Cálculo da prevalência de histopatologias e da taxa de ocorrência de malformações em morcegos e girinos.

Periodicidade

Esse indicador deverá ser implementado no primeiro ano e avaliado em anos subsequentes, com periodicidade trimestral ou semestral.

Fonte dos dados

Coletas nas áreas onde houve maior acúmulo de rejeito e em áreas não impactadas.

INDICADOR 6

Aspectos físico-químicos e microbiológicos de tecnosolos.

Justificativa

Indicador de recuperação, atendendo os critérios 1,2,3,4,5,6,7,9. Pergunta orientadora: *Há uma tendência de melhoria de condições ambientais favoráveis para o restabelecimento de populações de animais e plantas afetadas pelo rompimento da barragem?*

Descrição do Indicador

O conhecimento das características físico-químicas/microbiológicas dos tecnosolos e a magnitude das alterações que estão ocorrendo ao longo do tempo nas áreas de recomposição natural ou induzida é determinante para definições de ações de recomposição da vegetação e avaliação da efetividade das intervenções nas áreas afetadas pela deposição de rejeitos, considerando o trecho Fundão – UHE Risoleta Neves (Candongá). Adicionalmente, permite avaliar o desenvolvimento da biota vegetal em relação às condições físico-químicas e microbiológicas das áreas sob estudo.

Objetivo

Avaliar a magnitude das alterações que estão ocorrendo, ao longo do tempo, nas áreas de recomposição natural ou induzida para fins de definições de ações de recomposição da vegetação e análise da efetividade das intervenções nas áreas afetadas pela deposição de rejeitos, considerando o trecho Fundão – UHE Risoleta Neves (Candongá).

Fórmula de cálculo

Análises das variáveis determinadas nas áreas sob estudo, integrando os dados físico-químicos, microbiológicos e de vegetação. Dentre os parâmetros cita-se: pH, matéria orgânica, CTC, granulometria, compactação, nutrientes minerais, metais pesados e arsênio, potencial redox (especialmente em áreas sujeitas à inundação), análises microbiológicas (abundância, diversidade, distribuição, composição). Esses são parâmetros básicos de análise físico-química e microbiológica, mas, da mesma forma que os demais parâmetros, deveriam ser objeto de revisão por ocasião da contratação da Consultoria.

Periodicidade

Os estudos desse indicador deverão ser implementados no primeiro ano, com avaliações anuais subsequentes.

Fonte dos dados

Coletas na área compreendida entre Fundão e UHE Risoleta Neves (Candongá).

INDICADOR 7

Composição funcional da fauna dependente de ambientes florestais ao longo do processo sucessional (grupos faunísticos a definir conforme critérios obrigatórios).

Justificativa

Indicador de recuperação, atendendo aos critérios 1,2,3,4,5,6. Pergunta Orientadora: *As ações de restauração, recuperação e compensação da bacia do rio Doce estão levando a um aumento na abundância, distribuição ou riqueza de espécies ou grupos funcionais ameaçados, sensíveis ou chave, nos diferentes contextos afetados?* Se justifica pelo fato de que ao analisar temporalmente como é a variação da composição das comunidades faunísticas é possível avaliar se o processo de recuperação está levando ao restabelecimento de funções ecossistêmicas e processos ecológicos.

Descrição do Indicador

Esse indicador mede a variação na composição de espécies da fauna dependente de ambientes florestais. É ferramenta valiosa para avaliação da recuperação de processos e funções ecossistêmicas.

Objetivo

Identificar a composição dos grupos funcionais da fauna no processo sucessional. Acompanhar e avaliar o processo de recuperação ambiental.

Fórmula de cálculo

Variação temporal na diversidade funcional e composição das comunidades de fauna. Avaliação dos grupos sucessionais em diferentes grupos de organismos dependentes de floresta. Análises de agrupamentos e avaliação da similaridade da composição de espécies entre ambientes.

Periodicidade

Esse indicador deverá ser implementado no primeiro ano e avaliado em anos subsequentes, com periodicidade semestral ou anual.

Fonte dos dados

Coletas na área compreendida entre Fundão e UHE Risoleta Neves (Candonga).

INDICADOR 8

Concentração de metais de interesse toxicológico e ecotoxicológico biodisponíveis no solo e água – Fonte de dados PG38.

Justificativa

Indicador de impacto e de recuperação, atendendo os critérios de indicação 2,4,6,7,8,9. Perguntas orientadoras: *Quais os impactos persistentes ou recorrentes do evento sobre as espécies da fauna e flora terrestres da Bacia do rio Doce, e qual a magnitude e abrangência espacial e temporal destes impactos? Há uma tendência de melhoria de condições ambientais favoráveis para o restabelecimento de populações de animais e plantas afetadas pelo rompimento da barragem?*

Descrição do Indicador

Indicador de abrangência para a bacia do rio Doce, como um todo. Os metais de interesse toxicológico e ecotoxicológico capazes de causar danos biológicos estão presentes na fração disponível, tanto em solos, sedimentos e água. A concentração dos metais na fração disponível, no entanto, não desqualifica a obtenção da concentração total presente no meio, pois, a depender das alterações das condições químicas do meio, tais como pH e potencial redox, a proporção dos metais disponíveis pode sofrer considerável incremento.

Objetivo

Determinar as concentrações dos metais e arsênio na fração disponível, uma vez que se trata de componente diretamente relacionado ao potencial toxicológico e ecotoxicológico.

Fórmula de cálculo

Seguindo metodologia descrita no PG38.

Periodicidade

Os estudos desse indicador deverão ser implementados no primeiro ano, com avaliações anuais subsequentes.

Fonte dos dados

Coletas em áreas diretamente afetadas pelos rejeitos e em áreas controle, ao longo da bacia do rio Doce. Dados obtidos no PG38.

INDICADOR 9

Cobertura e distribuição espacial da vegetação nativa nas Otto bacias já avaliadas no estudo de ecologia da paisagem.

Justificativa

Indicador de recuperação, atendendo os critérios de indicação 1,2,4,6,8,9. Pergunta orientadora: *Há uma tendência de melhoria de condições ambientais favoráveis para o restabelecimento de populações de animais e plantas afetadas pelo rompimento da barragem?* As ações de recuperação na bacia devem levar a um aumento na cobertura de vegetação nativa melhorando as condições ambientais gerais.

Descrição do Indicador

Indicador de abrangência para a bacia do rio Doce, como um todo. O indicador é composto por um conjunto de métricas de ecologia de paisagem que deverão ser acompanhadas ao longo do tempo.

Objetivo

Avaliar se as ações de recuperação estão levando a um acréscimo da cobertura de vegetação nativa, aumento do tamanho dos fragmentos, redução do grau de isolamento das manchas de habitat natural e melhoria em outras métricas de paisagem na bacia do rio Doce.

Fórmula de cálculo

Métricas de ecologia de paisagem como proporção de vegetação nativa, número e tamanho de fragmentos florestais, tamanho da borda, conectividade e distância entre manchas de vegetação. Em face da diversidade de parâmetros que podem ser avaliados, sugere-se que as métricas sejam definidas posteriormente, por ocasião da revisão do escopo do monitoramento.

Periodicidade

Os estudos desse indicador deverão ser implementados no primeiro ano, com avaliações anuais subsequentes.

Fonte dos dados

Imagens de satélite e dados produzidos em outros programas da Fundação Renova.

INDICADOR 10

Concentração de contaminantes em macrófitas e insetos aquáticos.

Justificativa

Indicador de impacto e de recuperação, atendendo os critérios de indicação 1,2,3,4,6,8. Perguntas orientadoras: *“Quais os impactos persistentes ou recorrentes do evento sobre as espécies da fauna e flora terrestres da Bacia do rio Doce, e qual a magnitude e abrangência espacial e temporal destes impactos?” Há uma tendência de melhoria de condições ambientais favoráveis para o restabelecimento de populações de animais e plantas afetadas pelo rompimento da barragem? É possível que ainda exista no rio Doce, disponibilização de contaminantes provenientes do rompimento da barragem. Tais contaminantes podem estar presentes nos ambientes aquáticos diretamente atingidos e que ainda estão recebendo rejeito que está depositado nas margens dos cursos d’água. Tais elementos podem contaminar indivíduos de organismos associados ao ambiente aquático, por isso é importante quantificar e monitorar as concentrações de eventuais contaminantes em tecidos dessas espécies. Observação: Esse indicador possivelmente deverá ser incorporado ao PG28.*

Descrição do Indicador

Indicador de abrangência para a bacia do rio Doce, como um todo. Indicador de persistência do impacto e de recuperação. Com base nas concentrações dos contaminantes (metais e arsênio) nos organismos aquáticos é possível inferir sobre a disponibilidade de metais no meio aquático e potencial de danos biológicos.

Objetivo

Determinar as concentrações dos metais e arsênio em macrófitas e insetos aquáticos ao longo do rio Doce, os quais estão expostos de forma continuada aos elementos presentes nos corpos hídricos.

Fórmula de cálculo

Análise da concentração de metais em macrófitas e insetos aquáticos ao longo da bacia do rio Doce. O detalhamento metodológico será definido quando da revisão do escopo do monitoramento.

Periodicidade

Os estudos desse indicador deverão ser implementados no primeiro ano, com avaliações semestrais (período seco e chuvoso) nos anos subsequentes.

Fonte dos dados

Coletas em áreas diretamente afetadas pelos rejeitos e em áreas controle, ao longo da bacia do rio Doce.

CONCLUSÃO A RESPEITO DAS RECOMENDAÇÕES DE INDICADORES DO PG30

Tanto a mudança no foco do monitoramento da biodiversidade terrestre quanto o conjunto de indicadores apresentados neste relatório são frutos das discussões e das avaliações que começaram com o processo de revisão do relatório da Avaliação Ecológica Rápida apresentado pela consultoria à Renova em meados de 2019. Desde então, ficou bem evidente para a equipe de especialistas Ekos, para os membros do GAT do PG30 e mesmo para os pesquisadores envolvidos com a execução da AER que a metodologia empregada produziu um bom diagnóstico da biodiversidade terrestre na bacia do rio Doce mas não foi capaz de responder às questões originalmente formuladas. Ficou claro que em razão do escopo das perguntas, dos aspectos metodológicos e do delineamento amostral, a manutenção do monitoramento nas mesmas bases da Avaliação Ecológica Rápida iria continuar falhando em demonstrar qualquer tipo de relação entre alterações na biodiversidade terrestre e o rompimento da barragem. Tendo como objetivo maximizar os recursos para tentar produzir respostas mais objetivas sobre como irá se alterar certos parâmetros da fauna e flora terrestre que esses indicadores foram aqui propostos.

Dos 15 indicadores apontados durante o workshop, 11 são propostos para serem implantados apenas no trecho entre Fundão - UHE Risoleta Neves (Candongia). Desses 15 indicadores, seis podem indicar eventuais melhorias na condição ambiental da área afetada e da bacia do rio Doce, outros seis podem ser indicadores de impactos ainda persistentes e três podem ser usados para inferências tanto do impacto quanto da recuperação. Pelo menos três indicadores podem dialogar com outros Programas da Fundação Renova e a equipe Ekos considera fundamental que haja uma maior integração entre os programas para evitar duplicidade de esforços e promover a complementaridade de ações.

4. ANÁLISE E RECOMENDAÇÕES SOBRE OS INDICADORES RECEBIDOS PARA O PROGRAMA 28

Durante o Workshop foi realizado um exercício de escolha de indicadores, mas a definição destes para o ambiente aquático não pôde ser concluída durante o evento. Dando sequência às discussões e acordos firmados, e como parte de uma estratégia participativa de indicação de indicadores ambientais, em 15 de janeiro de 2020 foi enviado aos participantes um relatório atualizado (“Relatório de Consolidação dos Resultados do Workshop para definição de indicadores de resultados da biodiversidade – Programas 28 e 30”) acompanhado de um “Formulário de Contribuição para Definição de Indicadores” a ser preenchido em um prazo de 10 dias. Este Formulário era constituído de três

planilhas: (i) objetivos e instruções de preenchimento, (ii) descrição básica do indicador, e (iii) aderência do bioindicador às premissas e critérios definidos e justificados no Relatório de Consolidação. Importante mencionar que dos participantes presentes no Workshop, apenas representantes da Rede Rio Doce Mar enviaram suas contribuições, na forma de 43 Formulários. Segue abaixo uma avaliação de cada um dos indicadores propostos.

ECOTOXICOLOGIA

Diversidade da comunidade microbiana em amostras de água, sedimento e biota (apenas para corais da região de Abrolhos)

Indicador relacionado às perguntas 2, 3 e 4, atende também à maior parte das premissas e critérios (com possibilidades de atendimento ao terceiro critério - relação com o rompimento da barragem -, muito importante, mas nem sempre atendido por outros indicadores).

Além da importância ecológica direta - considerando que os microrganismos do sedimento são essenciais para a ciclagem de nutrientes -, a análise de diversidade e abundância pode sugerir táxons que sirvam como bioindicadores da presença de material oriundo da barragem de Fundão e, indiretamente, de metais do rio Doce em outros ambientes, como já apontado no primeiro relatório anual do PMBA. Questões:

1. Como estas análises podem agregar informações aos demais sistemas de indicadores?
2. As análises já realizadas permitem a supressão de pontos de amostragem, sem perda de qualidade da informação?
3. A periodicidade semestral (seca e chuva) é representativa, considerando a grande variação de correntes e eventos climáticos extremos?

Índice de bioacumulação de metais (IBR bioacumulação) - para plâncton, bentos e nécton

Este indicador tem relação com todas as perguntas relacionadas aos organismos aquáticos (2,3 e 4). É um dos indicadores mais consistentes e importantes, não apenas do ponto de vista estritamente ambiental, mas também do social. Atende a todas as premissas e é complementar às análises de metais realizadas no meio abiótico, às análises de biomarcadores, bem como àquelas que têm por objetivo indicar a possível associação ao vetor de impacto (como é o caso das análises da microbiota).

No entanto, é necessário especificar:

1. Qual índice em particular está sendo indicado? Está disponível, ou será construído e proposto? É aplicável amplamente a todos os grupos de organismos elencados?
2. Quais metais serão analisados? Será incluído o alumínio (Al), não contemplado nas primeiras campanhas?

3. Quais são os organismos selecionados (táxon mais específico possível) dentro de cada guilda trófica?
4. Qual a importância em se utilizar um índice, uma vez que há (ou pode haver) metais mais relacionados ao vetor de impacto que outros? Ao contrário dos biomarcadores, unificar aqui não seria prejudicial à compreensão do problema?
5. Qual a periodicidade de amostragem?
6. Como este indicador agrega informações a outros sistemas de indicadores?
7. Está prevista a integração com outros programas da Renova que avaliam os mesmos parâmetros, nas mesmas localidades, ou em localidades próximas também sob influência da pluma de rejeitos (p.ex. Estudo do Componente Indígena)? Em caso positivo, como se dará essa integração?

Índice da resposta biológica (IBR Biomarcador) - para plâncton, bentos e nécton

Este biomarcador tem poder para responder principalmente à pergunta número 2 e, indiretamente, à pergunta número 3; atende a todas as premissas, especialmente às três últimas e, mais especificamente ainda, à quarta premissa (análises nos vários níveis de organização biológica); é um indicador muito dependente da segunda premissa (consideração, além das variáveis biológicas, também de variáveis físicas, químicas e estruturais). Por considerar mecanismos fisiológicos evolutivamente preservados, tem importância não apenas para os organismos estudados, mas para a integridade de outros organismos e para a saúde humana; o indicador atende aos critérios em graus variados, com maior adesão aos critérios 2, 7, 8 e 9.

Pelo apresentado no primeiro relatório anual, subentende-se que será utilizada a resposta integrada de biomarcadores, o que é uma boa estratégia para verificar quais biomarcadores respondem melhor para cada grupo de organismos considerado em cada localidade (ambientes dulcícolas, estuarinos e marinhos). No entanto, por esta abordagem (adaptada da proposta por Beliaeff & Burgeot, 2002), é necessário estabelecer valores de referência para cada biomarcador que compõe o IBR. Considerando este e outros pontos, perguntamos:

1. Esses valores de referência serão baseados em respostas de biomarcadores em organismos coletados em locais controle, ou se propõe uma outra fórmula de cálculo que ainda considere a comparação entre áreas?
2. Existem áreas que podem ser consideradas referência, não apenas para o indicador em questão, mas para vários outros?
3. Quais os organismos planctônicos, bentônicos e nectônicos considerados nos diferentes ambientes?
4. No primeiro relatório foram identificadas e quantificadas as espécies de peixes coletadas, mas não ficou claro quais foram consideradas nas amostragens para análises de biomarcadores. Ainda com relação aos peixes, há uma indicação de escolha de espécies dentro de guildas tróficas para amostragens destinadas a biomarcadores?

5. Alguns biomarcadores podem ser importantes para todo o período de monitoramento, especialmente os de exposição. Há uma indicação de biomarcadores (de efeito e/ou de exposição) que deverão ser considerados nas próximas etapas, baseada na efetividade percebida nas primeiras campanhas? Considerar supressão e adição de biomarcadores.
6. Os biomarcadores serão agrupados em biomarcadores de estresse e de dano oxidativo, separadamente, para a construção das respostas integradas? Os biomarcadores escolhidos variaram entre organismos de diferentes níveis na primeira campanha. Metalotioneínas e biomarcadores de danos oxidativos serão considerados para todos os organismos?
7. Qual a periodicidade das amostragens? Ela necessariamente deve ser a mesma para todos os biomarcadores, ou há algum que aponte alterações mais perenes, ou reversíveis em um tempo mais prolongado (p. ex. análises histopatológicas)?
8. Como este indicador (índice de respostas de biomarcadores) agrega informações a outros indicadores?

Índice de Toxicidade (baseado em ensaios de toxicidade agudos e crônicos com diferentes organismos)

Considerando que não exista previsão, por outro programa, de realização de testes de toxicidade em todos os diferentes ambientes (testes de toxicidade com amostras de ambientes dulcícolas estão contemplados no PMQQS), esses ensaios, no PMBA, podem ser justificados pelas perguntas 2 e 3, e por todas as premissas e critérios (com exceção do terceiro e do décimo). No entanto, é preciso fazer uma análise crítica daqueles testes que se mostraram mais responsivos nas primeiras campanhas. No primeiro relatório, alguns deles, como os testes com embriões e adultos de zebrafish se mostraram muito pouco sensíveis (o que a literatura também aponta, quando se compara com o mesmo organismo em estágio larval, mais sensível). Definir quais são os “diferentes organismos”. Além disso, é preciso atentar para:

1. Quais as relações/coordenação de ações com o PMQQS? O que está sendo feito para garantir que não sejam produzidos dados discrepantes entre programas? Discrepâncias podem não apenas constituir fatores de confusão para a análise e tomada de decisão, mas também podem ser fontes para questionamentos de ordem legal (o que vale para outros indicadores previstos em mais de um programa).
2. Como este indicador se relaciona ou agrega informações aos demais indicadores propostos?

ICTIOFAUNA DULCÍCOLA

Alterações ecológicas nas assembleias de peixes e macroinvertebrados

Indicadores são variáveis de resposta quantitativas bem definidas e suficientemente bem conhecidas para permitir inferência sobre o impacto (e/ou posterior recuperação) de uma perturbação ou estressor ambiental. O título acima (‘Alterações ecológicas nas assembleias de peixes e macroinvertebrados’)

não pode ser considerado um bioindicador, mas sim um guarda-chuva abarcando um grande número de indicadores.

Do lado positivo, assumindo que os proponentes se referem a peixes e macroinvertebrados bentônicos (uma vez que não está especificado), a seleção do sistema biológico é acertada. Macroinvertebrados bentônicos (assembleias que incluem diversas ordens de insetos, crustáceos, ácaros e anelídeos) constituem o mais tradicional sistema de bioindicação de ambientes de água doce no mundo, usado há décadas em programas nacionais e supranacionais de avaliação de integridade de ambientes de água doce como RIVPACS (Reino Unido), AUSRIVAS (Austrália), EPA (EUA) e Diretivo-Quadro da Comunidade Europeia (Comunidade Europeia). Peixes também constituem sistema de bioindicação tradicional; porém, alguns países confiam suas avaliações de integridade ambiental exclusivamente em macroinvertebrados bentônicos, devido à sua alta sensibilidade e baixa incerteza de associação com perturbações mais ou menos específicas. Monitoramento de peixes traz suas próprias vantagens, como a reconhecida relevância ecológica e socioeconômica.

Porém, não há uma argumentação que justifique a escolha destes sistemas biológicos e não de outros, nem uma justificativa para quais serão as variáveis de resposta. Assembleias de peixes e macroinvertebrados bentônicos, como qualquer outra, se prestam a respostas sub individuais (bioquímicas e fisiológicas), individuais, populacionais (abundância de taxa específicos), funcionais, ponderadas por atributo (*trait-based approaches*), análises multivariadas de composição e estrutura de assembleia, riqueza e diversidade, índices multimétricos, etc.

Os proponentes também não esclarecem que tipo de alterações ambientais as mudanças em assembleias indicarão. Não foi justificada a aderência da proposição às premissas e critérios, por esse motivo, não há como identificar a que escala espaço-temporal responde(m) o(s) indicador(es), e como se relaciona(m) com o impacto do agente estressor ou à sua recuperação. Não fica claro em que grau, com que especificidade e em que direção (aumento, diminuição) o(s) indicador(es) responde(m) aos fatores ambientais associados ao rompimento da Barragem; e assim por diante, para as 6 premissas e 10 critérios.

Em outra linha de argumentação, o Formulário apresenta que o indicador será aplicado ao “Baixo rio Doce, rio Guandu, lagos e lagoas continentais”, porém, não discute como os mesmos indicadores serão utilizados para avaliar a integridade ambiental de ecossistemas tão distintos. Há ainda que se considerar que, um indicador com essas características deve ser passível de uso a todo sistema dulcícola, compreendendo dessa forma a bacia do rio Doce em toda a área afetada pelo carreamento de rejeitos oriundos da barragem de Fundão.

Convém lembrar que, diferentemente das assembleias de peixes, macroinvertebrados não foram amostrados como parte do PMBA. Então não há uma amostragem que poderia ser usada como piloto. Por outro lado, macroinvertebrados estão intimamente associados a substratos específicos. Assim, uma caracterização ambiental simultânea à amostragem dos macroinvertebrados é essencial.

Concluindo, o indicador escolhido é promissor mas não há elementos suficientes para que, dentro da forma que foi colocado, seja validado para implementação.

ICTIOFAUNA MARINHA

Todos os indicadores apresentados para a Ictiofauna marinha tratam de estudos relacionados com “subdivisões” para alguns estágios de vida dos peixes ou aspectos relacionados a ecologia de populações ou estrutura de comunidades (**Composição de espécies de pós-larvas; Composição de espécies de peixes recifais, Índices Ecológicos de Pós-Larvas de peixes marinhos - Abundância, Biomassa, Riqueza e Diversidade; Índices ecológicos de peixes recifais - Abundância, Biomassa, Riqueza, Diversidade, Diversidade verdadeira alfa e beta e Diversidade α - 0D e 1D; Estrutura populacional de algumas espécies da ictiofauna - abundância e biomassa relativas, tamanho, entre outros aspectos; Estrutura de comunidades da ictiofauna - riqueza, diversidade, entre outros índices**). O mesmo raciocínio se aplica a carcinofauna (**Estrutura populacional - abundância e biomassa relativas, tamanho - de algumas espécies da carcinofauna; Estrutura de comunidade da carcinofauna**).

Em uma análise ampla dos indicadores propostos observa-se que não são descritas as relações (variáveis resposta) com os impactos causados pelo rompimento da barragem de Fundão, tampouco com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Via de regra os indicadores podem ser traduzidos como propostas de estudos gerais (auto ecologia, populações ou comunidades - e seus sub componentes em diferentes fases do desenvolvimento ontogenético), que carecem de aderência com as premissas e critérios desejados para um programa de monitoramento robusto e que minimamente tenha objetivos claros e respostas a serem buscadas através de métodos claramente descritos. Nos indicadores estão especificados quais parâmetros devem ser destacados como variáveis resposta para serem avaliados em alinhamento ao que se pretende no programa de monitoramento (impacto ou recuperação). É imprescindível que, para cada indicador, seja apresentada a informação que dele deriva e a forma como ela será utilizada na interpretação do processo sob investigação, condição distinta do que foi sugerido na formulação de cada um.

No que tange a “composição de espécies”, seja essa em qualquer nível avaliado (jovens, adultos, larvas), cabe definir claramente quais métricas serão calculadas e associadas, pois deverão ser usadas como indicadoras dos fenômenos e processos definidos para análise. Não são indicadas e justificadas as escalas temporal e espacial das amostragens (uma indicação é: Área Ambiental I - Desde PARNAMAR Abrolhos até APA de Setiba). Essa é uma região muito extensa e com características distintas, possivelmente com processos ambientais estruturadores distintos e que podem influenciar os resultados obtidos, tornando difícil avaliar questões relativas a causa/efeito diretamente relacionadas ao rompimento da barragem. Na apresentação dos indicadores também deve ser considerado e adequadamente descrito todo e qualquer resultado prévio ou lacunas de conhecimento evidenciadas no relatório técnico. Tal procedimento permitirá sanar lacunas ou mesmo abandonar determinados estudos que não agregam entendimento dos processos que se buscam avaliar.

Apesar desses componentes da biodiversidade (ictiofauna e carcinofauna) provavelmente estarem associados com a capacidade de recomposição de estoques pesqueiros ou biodiversidade em geral (outros grupos animais via redes tróficas ou outras relações), sendo, portanto, relevantes por si só, não está claro quais variáveis poderiam descrever o sistema sob investigação e de que forma elas poderiam

evidenciar impacto relacionado ao rompimento da barragem de Fundão. Agrega-se à essa discussão, a dependência das conclusões do desenho amostral que será colocado em prática. Torna-se fundamental que os indicadores destacados anteriormente sejam pensados e propostos de forma a se integrarem com outros módulos do programa de monitoramento, como ecotoxicologia e aqueles relacionados à caracterização do sinal real com o incidente (e.g. Ferro no sedimento, ressuspensão de sedimentos, turbidez, e outros que possam ser mensurados e claramente relacionados ao evento em análise). Em suma, há necessidade absoluta que os indicadores sejam propostos com vistas ao que buscam avaliar, complementando o cenário analisado e o nexo entre a causa e o efeito observado em campo dentro do contexto real do rompimento, em outras palavras, o monitoramento em si. Da forma que os indicadores foram propostos, podem ser entendidos como estudos básicos e extremamente gerais, cuja aplicabilidade se faz a qualquer sistema, estando estes sob estresse ou não, mas não como ferramentas que permitam aferir a efetividade de estudos que ora são desenvolvidos.

MANGUEZAL E RESTINGA

Indicadores ecológicos associados aos ecossistemas manguezal e restinga

Um estudo de monitoramento ambiental depende da comparação consistente entre respostas de variáveis em áreas afetadas e não afetadas (levando em conta a dimensão espacial) ou na comparação consistente das respostas antes e depois de um incidente (levando em conta a dimensão temporal), buscando-se associar a presença dos contaminantes provenientes do rompimento da barragem de Fundão com os padrões de variação encontrados na biota.

Os protocolos de monitoramento devem incluir análises em níveis orgânicos, em virtude de apresentarem maior sensibilidade; em níveis supra-orgânicos, pois populações ou comunidades podem fornecer melhores indicações das consequências das perturbações sobre aspectos ecológicos e socioeconômicos; e em níveis sub-orgânicos, como o celular e o molecular, devido à sua elevadíssima especificidade. Entretanto, os Indicadores sugeridos para o Ambiente Costeiro – Vegetação de Manguezal e de Restinga, foram muito generalistas, sendo apresentados respectivamente como “Indicadores ecológicos associados ao ecossistema manguezal” e “Padrões ecológicos da comunidade vegetal”.

A descrição dos indicadores não apresentou claramente a sua relação (variáveis resposta) com os impactos causados pelo incidente, tampouco com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Não especificou escala temporal e não justificou a escala espacial das amostragens (i.e. coletas em Aracruz (ES) a Caravelas (BA); ausência de coletas no Rio Doce). Não apresentou justificativas para a aderência dos indicadores propostos à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Não especificou que parâmetros devem ser destacados como variáveis resposta (e.g. recrutamento) para serem avaliados em alinhamento ao que se pretende no programa de monitoramento (impacto ou recuperação). Em outras palavras, quais métricas da comunidade serão calculadas para serem indicadores dos fenômenos e processos em análise. É imprescindível que para cada indicador seja apresentada a informação que dele deriva e a

forma como ela será utilizada na interpretação do processo sob investigação. De forma semelhante, é essencial que informações do relatório técnico sejam consideradas para justificar e detalhar os indicadores propostos. Portanto, da forma como foram propostos, não é possível recomendar a utilização desses Indicadores no programa de monitoramento.

Devido à infinidade de estruturas e processos biológicos passíveis de investigação, seria de fato essencial identificar aqueles mais relevantes e específicos, seja no sentido de que possam ser diretamente afetados pelos contaminantes, seja no sentido de que possam estar localizados ao longo da via de transmissão de um determinado efeito (efeitos indiretos). Nesse sentido, as proposições recebidas carecem de identificação clara dos indicadores biológicos e ecológicos presumidamente sensíveis.

A definição dos indicadores deve ser baseada no atendimento às Premissas do Programa de Monitoramento, na possibilidade de responder às Perguntas Orientadoras e no enquadramento dentro dos Critérios de adequabilidade e exequibilidade. Conforme sugeridos, os indicadores não atendem às considerações anteriores, acrescidas ao fato de, além da falta de detalhamento, não serem apresentadas quaisquer justificativas para essas indicações.

Como sugestão, portanto, recomenda-se o agrupamento dos indicadores em grupos:

1. Indicadores em nível orgânico e sub-orgânico:

Biomarcadores de estresse em plantas de restinga e de mangue

Bioacumulação de metais em plantas de restinga e de mangue

Os biomarcadores de estresse em plantas de restinga e de mangue, cujas análises devem ser associadas aos dados de bioacumulação de metais em raízes e em folhas, assim como às concentrações dos metais disponíveis no solo/sedimento, são indispensáveis para o entendimento dos danos biológicos em nível celular e molecular, com reflexos na produção de biomassa e desenvolvimento das plantas.

Os danos oxidativos são os mais recorrentes em situação de contaminação por metais pesados, especialmente por meio da peroxidação de lipídios de membranas. Nesse sentido, ao invés de realizar análises dos mecanismos moleculares (produção de espécies reativas de oxigênio, metabolismo antioxidante enzimático e não enzimático) que levariam aos danos oxidativos (como TBARS e extravasamento de eletrólitos), seria mais interessante determinar diretamente a extensão dos danos causados e, não necessariamente, as vias por meio das quais isso acontece. Do ponto de vista acadêmico é interessante conhecer esses mecanismos, mas para um estudo do escopo do Projeto, cujo interesse é determinar o impacto sobre a biota, seria mais interessante avaliar diretamente os danos. A redução do número de parâmetros e a possibilidade em associá-los com as condições de estresse possibilitará, mais facilmente, chegar às respostas para as perguntas orientadoras.

Igualmente, se o interesse é avaliar os danos em termos de produção de biomassa e consequente crescimento vegetal, a determinação de um dado primário do processo fotossintético seria suficiente, como a medição da taxa fotossintética líquida. Os demais parâmetros fotossintéticos, tais como índice de clorofila e dados derivados das medições com o IRGA, são importantes para fins de entendimento

científico acerca dos mecanismos que afetam a fotossíntese. Entretanto, se o objetivo é avaliar danos à produção de biomassa, um parâmetro que sintetiza o processo fotossintético seria suficiente e poderia mais facilmente ser relacionado com os demais parâmetros.

Estes parâmetros poderiam ser úteis para avaliar a persistência do impacto nas áreas afetadas. Mesmo com a otimização dos parâmetros a serem avaliados, considera-se que estes são sujeitos a enormes variações, pelos mais diversos fatores e, assim sendo, deve-se implementar um grande esforço amostral, privilegiando menos espécies vegetais e parâmetros e mais repetições e sítios amostrais.

2. Indicadores em nível orgânico e ambiental:

Análise da microbiota do solo, com identificação de isolados bacterianos produtores de compostos quelantes de ferro (sideróforos)

Estudos ex situ para avaliação de dose-resposta

Além de sua importância ecológica direta, considerando que os microrganismos do solo/sedimento são essenciais para a ciclagem de nutrientes, a análise de sua diversidade e abundância pode sugerir táxons que sirvam como bioindicadores da presença de contaminantes do rejeito nos ambientes costeiros. Destaca-se, nesse caso, a análise da microbiota associada à produção de sideróforos, cujo dado pode ser diretamente relacionado à presença de ferro. Obviamente, esses dados devem estar associados às análises físico-químicas dos locais onde são amostrados.

Cultivo de plântulas de restinga e de mangue em diferentes concentrações dos principais metais analisados e avaliar nessas plantas os parâmetros medidos nas plantas em campo, buscando associar concentrações de metais nas raízes e folhas com os danos potencialmente medidos, poderiam fornecer informações mais acuradas em relação aos dados obtidos em campo. Poderiam, nesse caso, serem feitas as mesmas análises realizadas em campo, como determinação da bioacumulação de metais, fotossíntese, danos estruturais (TBARS e extravasamento de eletrólitos).

Embora a realização de bioensaios em laboratório possam apresentar algumas limitações em termos ecológicos, estes revestem-se de importância num cenário onde há pouca informação bibliográfica sobre as espécies vegetais alvo dos estudos, especialmente em uma condição em que vários metais pesados possam estar associados.

3. Indicadores em nível orgânico e supra-orgânico:

Aspectos fitossociológicos das áreas afetadas, direta e indiretamente, pelos rejeitos

Viabilidade de propágulos e capacidade de regeneração da vegetação

Considerando as atividades já realizadas em um período de ano de monitoramento, o indicador de estrutura da vegetação poderia avaliar a possibilidade de ocorrência de impacto persistente e a tendência de melhoria de condições ambientais favoráveis para o restabelecimento de populações de animais e plantas afetadas pelo rompimento da barragem. No caso de implementação de ações de recuperação, os parâmetros de abundância, distribuição ou riqueza de espécies ou grupos funcionais poderiam subsidiar a efetividade dos procedimentos adotados. Os parâmetros podem incluir dados de

densidade, dominância, frequência, estrutura sociológica, Valor de Importância e Valor de Cobertura, além do Índice de Diversidade de Shannon.

Tanto a vegetação de restinga como a de mangue já tiveram, num primeiro ano de monitoramento, a caracterização da estrutura da vegetação, contando, inclusive, com inventário florístico. Esse indicador deve constar na continuidade dos estudos para acompanhar o desenvolvimento estrutural da restinga e dos manguezais, buscando mapear áreas de impacto direto e áreas controle, considerando a vegetação herbácea, arbustiva e arbórea.

Um Indicador diretamente relacionado à capacidade regenerativa do ecossistema é a análise da viabilidade de propágulos, tanto sementes como aqueles de reprodução vegetativa. Para tanto, estudos relacionados à viabilidade de sementes, estruturas reprodutivas, emergência e crescimento de propágulos, devem ser considerados em avaliações em campo e em ensaios de laboratório.

Adicionalmente, fica evidente, pelo relatório, um efeito diferenciado no rio Doce, cuja ausência na presente proposta não está adequadamente justificada. Deriva-se do relatório que seria importante realizar o acompanhamento de *Ucides* e *Cardisoma* no rio Doce (em especial o comportamento da população emergente de *Ucides*), usando outros manguezais (talvez 2; Aracruz (ES) a Caravelas (BA), conforme proposto aqui) como controle. Os dados de densidade e tamanho equivalem a indicadores integradores de diversos processos biológicos (e.g. razão sexual, fecundidade, recrutamento) e que poderiam ser priorizados, ainda mais pela agilidade de se obter as medidas em campo. Outra sugestão, mas que necessita ser avaliada, integrando estudos da vegetação, é uma abordagem experimental e manipulativa de transplante de plântulas (rio Doce/rio Doce, rio Doce/outro, outro/rio Doce, outro/outro) para avaliar efeitos duradouros e inequívocos do incidente no sucesso do recrutamento e crescimento, algo que pode ter um efeito sistêmico e de longo prazo nos seus componentes faunísticos.

A exemplo de outros indicadores, é fundamental que esse indicador busque integração com outros módulos do programa de monitoramento, como ecotoxicologia (e.g., presença de Fe), que complementem o cenário analisado e o nexos entre a causa e o efeito observado em campo dentro do contexto do incidente.

MEGAFUNA

Uso de habitat, genética, saúde ou encalhes de cetáceos

O indicador foi apresentado de forma genérica e sem justificativa. A descrição do indicador não apresentou claramente a sua relação (variáveis resposta) com os impactos causados pelo incidente, tampouco com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Não especificou escala temporal e não justificou a escala espacial das amostragens (litoral do ES) e convergência com a magnitude do sinal do incidente. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Não especificou quais parâmetros devem ser destacados como variáveis resposta, para serem avaliados em alinhamento ao que se pretende no programa de monitoramento (impacto ou

recuperação). Em outras palavras, quais métricas serão calculadas para serem indicadoras dos fenômenos e processos em análise. É imprescindível que para cada indicador seja apresentada a informação que dele deriva e a forma como ela será utilizada na interpretação do processo sob investigação. De forma semelhante, é essencial que informações do relatório técnico sejam consideradas para justificar e detalhar o indicador/sub-indicador proposto. A redação do indicador revela pouca convicção quanto aos indicadores/sub-indicadores propostos: “Uso de habitat, genética, saúde OU encalhes de cetáceos”. De fato, espera-se que a proposição de um indicador seja convincente da sua relevância e aderência ao programa de monitoramento. Além do indicador ser apresentado de forma genérica, os sub-indicadores também o são.

O relatório indica efeito pós rompimento em alguns parâmetros avaliados de forma mais circunscrita à Foz e a organismos de área de vida mais restrita (e.g. boto cinza e toninha). Relata evidências de recuperação pós rompimento, em especial em relação a encalhes. Menciona que dados de encalhe possuem ruídos inerentes (e.g. outras causas de morte), o que poderia não representar um efeito inequívoco do incidente em análise. Nesse sentido, não fica clara a razão da continuidade da proposição de dados de encalhe como evidências. Raciocínio semelhante se aplica aos outros “indicadores” propostos (e.g. uso de habitat, genética, saúde). Salvo contra-argumentação robusta, o monitoramento de espécies de grande mobilidade não se sustenta com as evidências apresentadas até o momento.

Considerando a necessidade de revisão e aprofundamento da proposição feita, também é importante se considerar a pertinência de métodos alternativos ou complementares que possam trazer informações mais sistêmicas e integradoras e ao mesmo tempo direcionadas para o fenômeno em tela. Um exemplo seria o monitoramento acústico e continuado de diferentes pontos (ou populações/grupos) para espécies de menor mobilidade e mais fortemente associadas ao ambiente com maior sinal de impacto (Foz). Além disso, a exemplo do proposto para o bentos (conchas de bivalves), a incorporação de uma abordagem de esclerocronologia dos dentes dos animais, adultos (que passaram pelo incidente) e jovens (nascidos após o incidente), poderia trazer resultados alternativos e oportunos para rastrear o sinal do incidente nesse componente do sistema. Sem sinais inequívocos como esses (ou outros), não é possível compreender como outros efeitos populacionais podem estar associados ao incidente.

A exemplo de outros indicadores, é fundamental que esse indicador busque integração com outros módulos do programa de monitoramento, como ecotoxicologia e aqueles relacionados à caracterização do sinal do incidente (e.g. Fe no sedimento, ressuspensão), que complementem o cenário analisado e o nexos entre a causa e o efeito observado em campo dentro do contexto do incidente.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Parâmetros populacionais de aves marinhas (tamanho populacional, sucesso reprodutivo, saúde, diversidade genética, áreas utilizadas para alimentação, dieta, contaminação por metais)

A exemplo de diversos indicadores acima, em especial cetáceos, o indicador foi apresentado de forma genérica e sem justificativa. A descrição do indicador não apresentou claramente a sua relação (variáveis

resposta) com os impactos causados pelo incidente, tampouco com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Não especificou escala temporal e não justificou a escala espacial das amostragens (Abrolhos e ilhas do Espírito Santo) e convergência com a magnitude do sinal do incidente. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador/sub-indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Não especificou quais parâmetros devem ser destacados como variáveis resposta para serem avaliados em alinhamento ao que se pretende no programa de monitoramento (impacto ou recuperação). Em outras palavras, quais métricas serão calculadas para serem indicadoras dos fenômenos e processos em análise. É imprescindível que, para cada indicador, seja apresentada a informação que dele deriva e a forma como ela será utilizada na interpretação do processo sob investigação. De forma semelhante, é essencial que informações do relatório técnico sejam consideradas para justificar e detalhar o indicador/sub-indicador proposto. De fato, espera-se que a proposição de um indicador seja convincente da sua relevância e aderência ao programa de monitoramento. Além do indicador ser apresentado de forma genérica, os sub-indicadores também o são. Conforme exposto acima, aqui também não fica clara a razão da continuidade da proposição de dados de uso de habitat, genética e saúde.

O relatório traz informações variadas sobre esse grupo, mas sem evidenciar claramente o efeito do incidente ou de recuperação pós incidente. Exceção existe para a o sinal de elementos essenciais no sangue e, principalmente nas penas, altamente correlacionado com o incidente e potencialmente indicador de base de potenciais efeito populacionais. Nesse sentido, e considerando a lógica e o *momentum* do programa de monitoramento, seria esperado um maior direcionamento para o indicador proposto. Por exemplo, poderiam ser elencadas algumas espécies representativas da comunidade (e do potencial efeito do incidente; e.g. limícola e insular; migratória) com área de vida sobreposta à área com maior evidência do sinal do incidente (Foz e imediações) para uma avaliação direcionada da contaminação a partir das penas (procedimento pouco invasivo). Em paralelo, o monitoramento das comunidades nessas regiões seria apropriado para avaliar uma eventual resposta sistêmica e a potencial recuperação do sistema. Enfim, um desenho amostral robusto e apropriado deveria ser planejado para que esses dados possam de fato atuar como indicadores inequívocos do incidente.

A exemplo de outros indicadores, é fundamental que esse indicador busque integração com outros módulos do programa de monitoramento, como ecotoxicologia e aqueles relacionados à caracterização do sinal do incidente (e.g. Fe no sedimento, ressuspensão), que complementem o cenário analisado e o nexos entre a causa e o efeito observado em campo dentro do contexto do incidente.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Diversidade genética e saúde das tartarugas marinhas

A exemplo de diversos indicadores acima, em especial cetáceos e aves, o indicador foi apresentado de forma genérica e sem justificativa. A descrição do indicador não apresentou claramente a sua relação (variáveis resposta) com os impactos causados pelo incidente, tampouco com a teoria de mudança

prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Não especificou escala temporal e não justificou a escala espacial das amostragens (Foz do Rio Doce e APA Costa das Algas) e convergência com a magnitude do sinal do incidente. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador/sub-indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Não especificou quais parâmetros devem ser destacados como variáveis resposta para serem avaliados em alinhamento ao que se pretende no programa de monitoramento (impacto ou recuperação). Em outras palavras, quais métricas serão calculadas para serem indicadoras dos fenômenos e processos em análise. É imprescindível que para cada indicador seja apresentada a informação que dele deriva e a forma como ela será utilizada na interpretação do processo sob investigação. De forma semelhante, é essencial que informações do relatório técnico sejam consideradas para justificar e detalhar o indicador/sub-indicador proposto. De fato, espera-se que a proposição de um indicador seja convincente da sua relevância e aderência ao programa de monitoramento. Além do indicador ser apresentado de forma genérica, os sub-indicadores também o são. Assim, conforme exposto acima, aqui também não fica clara a razão da continuidade da proposição de dados de diversidade genética e saúde.

O relatório traz informações variadas sobre esse grupo, em especial a tartaruga-verde, revelando maiores níveis de metais e de lesões oculares e menor diversidade genética (microssatélites) na APA, área onde o sinal do efeito do incidente foi registrado e é persistente. Esses elementos poderiam justificar a presente proposta, mas falta um detalhamento sobre o tipo de variável resposta que será produzida e como ela será analisada no contexto em tela. Por outro lado, o relatório evidencia “constante redução da faixa de areia”, que tem forte conexão com a manutenção do processo reprodutivo (desovas), mas cuja relação com o incidente ainda deve ser evidenciada. Adicionalmente, a redução da taxa e eclosão das ninhadas ao sul da Foz remete a um possível efeito agudo e crônico que tem como referência dados pré-incidente. Não fica clara a opção de avaliar saúde e genética, apresentadas de forma genérica, em detrimento desses dois outros indicadores (redução da faixa de areia e da taxa de eclosão), em especial a taxa de eclosão, que pode equivaler a um indicador de possíveis efeitos populacionais e integrador de efeitos na saúde e na diversidade genética dos animais.

A exemplo de outros indicadores, é fundamental que esse indicador busque integração com outros módulos do programa de monitoramento, como ecotoxicologia e aqueles relacionados à caracterização do sinal do incidente (e.g. Fe no sedimento, ressuspensão), que complementem o cenário analisado e o nexos entre a causa e o efeito observado em campo dentro do contexto do incidente.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Uso intensivo da área mais impactada pela lama para alimentação e criação por mais de 50% das espécies de cetáceos ameaçadas

Diferentemente da maioria dos indicadores propostos acima, o indicador foi apresentado de forma um pouco mais detalhada e com justificativas. Entretanto, a descrição do indicador não apresentou

claramente a sua relação (variáveis resposta) com os impactos causados pelo incidente, tampouco com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Apresentou justificativas para a aderência do indicador/sub-indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Entretanto, não especificou quais parâmetros devem ser destacados como variáveis resposta para serem avaliados em alinhamento ao que se pretende no programa de monitoramento (impacto ou recuperação). Em outras palavras, quais métricas serão calculadas para serem indicadores dos fenômenos e processos em análise. É imprescindível que para cada indicador seja apresentada a informação que dele deriva e a forma como ela será utilizada na interpretação do processo sob investigação. De forma semelhante, é essencial que informações do relatório técnico sejam consideradas para justificar e detalhar o indicador/sub-indicador proposto. De fato, espera-se que a proposição de um indicador seja convincente da sua relevância e aderência ao programa de monitoramento, o que foi cumprido parcialmente aqui.

Deve-se chamar a atenção para a sobreposição com o indicador proposto acima “Uso de habitat, genética, saúde ou encalhes de cetáceos”, o que demanda maior integração das proposições. Apesar desse indicador ter uma maior objetividade quando comparado a grande maioria dos indicadores propostos no programa de monitoramento da biodiversidade, há uma certa dissonância com o reportado no relatório técnico. Nele é destacada a baixa taxa de avistagem de boto-cinza (adultos e jovens) em regiões próximas à Foz, com comparações com outras áreas e dados pretéritos. Essas informações justificam claramente o acompanhamento dessa espécie na região. Entretanto, não há menção equivalente a outras espécies. Ainda que outras espécies estejam ameaçadas de extinção, não fica claro o porquê da aplicação dessa abordagem a elas com base nos dados apresentados no relatório.

A exemplo de outros indicadores, é fundamental que esse indicador busque integração com outros módulos do programa de monitoramento, como ecotoxicologia e aqueles relacionados à caracterização do sinal do incidente (e.g. Fe no sedimento, ressuspensão), que complementem o cenário analisado e o nexos entre a causa e o efeito observado em campo dentro do contexto do incidente.

Compreendemos que é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento, considerando as ressalvas/sugestões apresentadas acima e eventuais complementações.

Identificados 4 hotspots de uso pela megafauna: tartarugas, cetáceos, aves, raias e tubarões

À semelhança do indicador acima, este indicador foi apresentado de forma um pouco mais detalhada e com justificativas. Entretanto, a descrição do indicador não apresentou claramente a sua relação (variáveis resposta) com os impactos causados pelo incidente, tampouco com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Apresentou justificativas para a aderência do indicador/sub-indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Entretanto, não especificou quais parâmetros devem ser destacados como variáveis resposta para serem avaliados em alinhamento ao que se pretende no programa de monitoramento (impacto ou recuperação). Em outras palavras, quais métricas serão calculadas para

serem indicadores dos fenômenos e processos em análise. É imprescindível que para cada indicador seja apresentada a informação que dele deriva e a forma como ela será utilizada na interpretação do processo sob investigação. De forma específica, o indicador proposto refere-se a uma meta de identificar 4 hotspots de uso pela megafauna, considerando diferentes grupos (tartarugas, cetáceos, aves, raias e tubarões) e não a variáveis que possam ser claramente contrastadas com o incidente em tela. Também não fica clara a lógica de avaliar o ambiente costeiro e marinho dentro e adjacente às áreas mais impactadas, sem uma estratégia clara de análise da informação que instrua o programa de monitoramento.

Deve-se chamar a atenção para a sobreposição com os indicadores propostos acima para mamíferos, aves e quelônios, o que demanda maior integração das proposições. Esse indicador também não parece ter sustentação com base em dados nem lacunas de conhecimento apresentados em relatórios anteriores.

A exemplo de outros indicadores, é fundamental que esse indicador busque integração com outros módulos do programa de monitoramento, como ecotoxicologia e aqueles relacionados à caracterização do sinal do incidente (e.g. Fe no sedimento, ressuspensão), que complementem o cenário analisado e o nexos entre a causa e o efeito observado em campo dentro do contexto do incidente.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Efeito do aumento de fatores abióticos (turbidez) no balanço energético de cetáceos

À semelhança do indicador acima, o indicador foi apresentado de forma um pouco mais detalhada e com justificativas. Entretanto, a descrição do indicador não apresentou claramente a sua relação (variáveis resposta) com os impactos causados pelo incidente, tampouco com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Apresentou justificativas para a aderência do indicador/sub-indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Entretanto, não especificou quais parâmetros devem ser destacados como variáveis resposta para serem avaliados em alinhamento ao que se pretende no programa de monitoramento (impacto ou recuperação). Em outras palavras, quais métricas serão calculadas associadas ao “balanço energético” para serem indicadores dos fenômenos e processos em análise. É imprescindível que para cada indicador seja apresentada a informação que dele deriva e a forma como ela será utilizada na interpretação do processo sob investigação. Também não fica clara a lógica de avaliar o ambiente costeiro e marinho dentro e adjacente às áreas mais impactadas, sem especificá-las e sem uma estratégia clara de análise da informação que instrua o programa de monitoramento. O indicador é apresentado na forma de uma pergunta científica, a qual, na realidade, ao ser conhecida teoricamente ou prevista pelo entendimento dos processos, deveria justificar a proposição do indicador (i.e. balanço energético ou variáveis resposta associadas).

Entretanto, não está claro que variáveis descrevem o balanço energético e de que forma elas poderiam evidenciar impacto do incidente, associado ao aumento da turbidez e seus efeitos na bioacústica, ou

recuperação, pelo aumento da energia acústica associado a diminuição de turbidez. Para que tal teoria de mudança possa ser sustentada é fundamental acoplá-la aos resultados de turbidez, descritos e avaliados em escala espacial e temporal apropriada para permitir esse tipo de correlação. Não há referências, nas justificativas, às tendências temporais e espaciais da turbidez, parâmetro que, em linhas gerais, diminui com o tempo e fica associado mais fortemente a episódios de curta duração de ressuspensão de sedimento por eventos de alta energia. Por outro lado, a teoria de mudança pode ter outros elementos que a influenciam, diferentes da (ou somados à) turbidez, e que podem ter um efeito negativo no balanço energético dos animais.

Deve-se chamar a atenção para a sobreposição com os indicadores propostos acima para mamíferos, o que demanda maior integração das proposições. Esse indicador também não parece ter sustentação com base em dados nem lacunas de conhecimento apresentados em relatórios anteriores. De qualquer forma, esse tipo de investigação poderia ser direcionado à localidade reconhecidamente mais impactada ao sul da Foz em grande sinergia com o indicador “Uso intensivo da área mais impactada pela lama para alimentação e criação por mais de 50% das espécies de cetáceos ameaçadas (uso do habitat 1)”.

A exemplo de outros indicadores, é fundamental que esse indicador busque integração com outros módulos do programa de monitoramento, como ecotoxicologia e aqueles relacionados à caracterização do sinal do incidente (e.g. Fe no sedimento, ressuspensão), que complementem o cenário analisado e o nexos entre a causa e o efeito observado em campo dentro do contexto do incidente.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

MONITORAMENTO DULCÍCOLA

Padrões ecológicos da Biodiversidade Aquática do Baixo Rio Doce: Composição, riqueza e diversidade de espécies, diversidade funcional e biomassa

Indicadores são variáveis de resposta quantitativas bem definidas e suficientemente bem conhecidas para permitir inferência sobre o impacto (e/ou posterior recuperação) de uma perturbação ou estressor ambiental. O título acima (‘Padrões ecológicos’) não pode ser considerado um bioindicador, mas sim um guarda-chuva abarcando um grande número de indicadores.

Não há uma descrição do sistema biológico no campo ‘Descrição do Indicador Proposto (sistema biológico, se for um bioindicador)’. Infere-se a partir dos ‘Comentários Adicionais’ que o sistema biológico será constituído pelos produtores primários (macrófitas e algas) uma vez que variáveis de resposta incluirão ocorrência (?) de espécies exóticas e invasoras de macrófitas, percentual de diatomáceas móveis da comunidade perifítica, frequência de florações de cianobactérias e dinoflagelados e presença de espécies associadas a ambientes com alta disponibilidade de metais. Porém, não há uma argumentação que justifique a escolha destes indicadores e não de outros. As premissas e critérios acordados são numerosos e por vezes nada triviais e, portanto, exigem uma justificativa elaborada e devidamente embasada na literatura. Não há justificativas sobre a aderência às

premissas e critérios, portanto, não fica clara a que escala espaço-temporal responde(m) o(s) indicador(es), e como se relaciona(m) com o impacto do agente estressor ou à sua recuperação. Não sabemos em que grau, com que especificidade e em que direção (aumento, diminuição) o(s) indicador(es) responde(m) aos fatores ambientais associados ao rompimento da Barragem; e assim por diante, para as 6 premissas e 10 critérios.

Como comentário geral, macrófitas e algas – e especialmente cianobactérias e dinoflagelados - são indicadores particularmente sensíveis de poluição orgânica e enriquecimento por nutrientes. Porém, mesmo se considerarmos que N, P, DBO e DQO aumentaram com a passagem da pluma de rejeitos e mantiveram-se com valor elevado nas temporadas seca e chuvosa subsequentes (Golder 2018), estas alterações estão diretamente relacionadas com o precário sistema de tratamento de esgoto da Bacia do rio Doce e não com o desastre de Mariana. Por outro lado, algas de fato constituem excelente bioindicador de integridade ambiental, e há diatomáceas reconhecidamente acidobiônicas (tolerantes a baixo pH), eutróficas (dependentes de águas ricas em nutrientes) e móveis (que respondem a sedimentação). A descrição do indicador não parece explorar plenamente o potencial de ganho destas informações.

Em outra linha de argumentação, o Formulário coloca que o indicador será aplicado ao “Baixo rio Doce, rio Guandú, lagos e lagoas continentais”. Porém, não discute como os mesmos indicadores serão utilizados para avaliar a integridade ambiental de ecossistemas tão distintos – de outra forma tratados de forma agregada nas análises dos Relatórios do primeiro ano do PMBA. Para que se tenha ideia da importância da adequação do sistema de bioindicação à tipologia do ambiente, o Diretivo-Quadro da Comunidade Europeia reconheceu 48 ecótipos de lagoas rasas (< 3 m profundidade), definindo assim subconjuntos de corpos d'água dentro dos quais a comparação é possível. Se lagoas rasas não são equivalentes, que dizer lagoas rasas e rios de planície.

Concluindo, não há elementos suficientes para que se possa recomendar, ao menos por ora, a adoção do indicador proposto.

Parâmetros limnológicos, hidroquímicos e físicos de água e sedimento de calhas fluviais, lagos e lagoas (e.g., nutrientes, turbidez, material particulado em suspensão, estratificação térmica, hipolimnio anóxico, índice de estado trófico - IET de estado trófico)

Um meio abiótico adequado é condição necessária para o restabelecimento de populações viáveis de microrganismos, plantas e animais. Portanto, o monitoramento de parâmetros físicos, químicos e hidrológicos do rio Doce e lagos e lagoas associados é importante tanto para avaliar a ocorrência, recorrência e persistência dos impactos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana quanto sua recuperação. No mais, diversas variáveis mencionadas no campo “Descrição do Indicador Proposto” são de fato relevantes para avaliar impacto e/ou recuperação do sistema em análise, como turbidez e material particulado. Outros parâmetros são importantes como parâmetros básicos de qualidade ambiental e por isso mesmo devem ser monitorados (nutrientes, IET), mas estão diretamente relacionados com o precário sistema de tratamento de esgoto da Bacia do rio Doce como um todo e não

com o rompimento da barragem de Fundão per se. Assim, seu uso deve ser justificado, como todos os demais parâmetros, dentro das 6 premissas e 10 critérios. Não fica clara a que escala espaço-temporal responde(m) o(s) indicador(es), e como se relaciona(m) com o impacto do agente estressor ou à sua recuperação; tampouco em que grau, com que especificidade e em que direção (aumento, diminuição) o(s) indicador(es) responde(m) aos fatores ambientais associados ao rompimento da Barragem; e assim por diante. Não está claro porquê e em que circunstâncias estratificação térmica seria um indicador de impacto ou recuperação ambiental, e se se aplicaria a todos os ecossistemas aquáticos amostrados. Finalmente, chama a atenção que não estejam incluídas concentrações totais e frações biodisponíveis de metais como Fe, Al, Mn, constituintes dominantes do rejeito, bem como As, Cd, Cu, Cr, Ni, Zn, que se mantiveram em valores elevados ou voltaram a apresentar picos de concentrações após a passagem da pluma de rejeitos (Golder 2018).

Mesmo reconhecendo que parâmetros físicos, químicos e hidrológicos do rio Doce são muito importantes, este Formulário não traz informações suficientes para análise.

Padrões de qualidade ambiental do Baixo Rio Doce

Indicadores são variáveis de resposta quantitativas bem definidas e suficientemente bem conhecidas para permitir inferência sobre o impacto (e/ou posterior recuperação) de uma perturbação ou estressor ambiental. 'Padrões de qualidade ambiental do Baixo rio Doce' é uma descrição excessivamente vaga e, portanto, não pode ser interpretada como uma proposta de indicador ambiental. Outros campos deste Formulário tampouco trazem informações suficientes para análise. Portanto, esta proposta de indicador ambiental não pode ser recomendada.

MONITORAMENTO MARINHO

Alteração nas características físicas do sedimento de fundo - Diminuição da densidade superficial e aumento da mobilidade do sedimento

O indicador foi apresentado de forma genérica e sem considerar elementos apresentados no relatório técnico em sua justificativa. A descrição do indicador (*Alteração nas características físicas do sedimento de fundo - Diminuição da densidade superficial e aumento da mobilidade do sedimento*) foi feita de forma superficial e não apresentou claramente a relação do indicador com os impactos causados pelo incidente nem com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Não especificou escala temporal e espacial das amostragens. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Não especificou que parâmetros devem ser avaliados no sedimento superficial (exceto *Diminuição da densidade superficial e aumento da mobilidade do sedimento*) em alinhamento ao que se pretende no programa de monitoramento (impactos ou recuperação).

O sedimento equivale a uma alteração no meio físico que se desdobra em efeitos no meio biótico. Portanto, além de registrar o sinal do incidente, esse indicador deve evidenciar a presença de parâmetros que possam afetar a biodiversidade. Essas informações devem ser geradas e apresentadas em larga escala em diálogo com outros componentes do programa de monitoramento da biodiversidade, aportando subsídios para embasar a interpretação dos componentes (desde fitoplâncton até fundos recifais) e parâmetros (desde ecotoxicologia a alteração em nível de comunidade) que serão monitorados. Esse componente do programa de monitoramento deve considerar a provisão de informações sobre a abrangência e duração do sinal do incidente, sendo uma das bases lógicas para a interpretação dos demais componentes e processos do sistema a serem monitorados.

Deve-se considerar como avaliar esse indicador de forma mais abrangente e estratégica com base nos dados obtidos, como locais de amostragem, parâmetros (e.g. granulometria, fluidez, presença de minerais, material particulado em suspensão - indiretamente) ou estratégias (e.g. armadilhas de sedimento) mais apropriados para a escala e comportamento do fenômeno a ser avaliado.

Armadilhas de sedimento têm o potencial de avaliar a resultante de processos de sedimentação-ressuspensão-sedimentação integrados ao longo do tempo, gerando, portanto, resultados menos influenciados pela erraticidade de fenômenos pontuais e de curta duração como eventos de maior energia, e considerando diferentes tipos de ambiente, incluindo de fundo consolidado, como recifes de coral, avaliados em outros componentes do programa de monitoramento. Considerar o uso acoplado de *data loggers* às armadilhas de sedimento para avaliar luminosidade como um indicativo de processos de ressuspensão.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Distribuição espacial de habitats, considerando atributos físicos, estruturais e biológicos como: geomorfologia e depósitos de rejeito na Foz, vitalidade e presença de macroalgas na APA e distribuição de recifes ao norte da Foz

O indicador foi apresentado sem justificativa para os sub-indicadores propostos, os quais foram apresentados como exemplos do indicador. A descrição do indicador/sub-indicador não apresentou claramente a sua relação com os impactos causados pelo incidente nem com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. A escala espacial foi apresentada sem justificativa (Foz do Rio Doce, APA Costa das Algas e Norte da Foz do Rio Doce) e desacoplada das principais evidências de impacto registradas pelo programa de monitoramento (e.g. ecotoxicologia; Foz e APA), sem justificativa adicional. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Da forma como foi apresentado, não é possível identificar o que de fato será avaliado e como agrega informação ao programa de monitoramento. Esse indicador considera sub-indicadores bastante diferentes e que poderiam ser integrados com outros módulos do programa de monitoramento. Ou seja,

a apresentação desses sub-indicadores em conjunto na presente proposta carece de uma justificativa apropriada.

Em outras palavras, é fundamental que fique claro como a análise da distribuição espacial de habitats, considerando atributos físicos, estruturais e biológicos, pode instruir o programa de monitoramento. Compreendo que a análise da geomorfologia e depósitos de rejeito na Foz deriva de conclusão clara do relatório que indica maior taxa de sedimentação nessa localidade, mas não fica claro como a produção do indicador trará essa informação. A análise da vitalidade e presença de macroalgas na APA também não está apropriadamente justificada. No relatório são apresentadas informações essencialmente descritivas das macroalgas, especificamente da APA, e que são pouco informativas do fenômeno em análise. A análise da vitalidade, feita inicialmente para rodólitos, deveria ter incluído as macroalgas da APA, região cujo sinal da contaminação foi bastante evidente. Não fica claro o porquê de incluir a vitalidade das macroalgas nesse momento do programa de monitoramento. Outro ponto remete à sobreposição deste com outro indicador proposto “Composição e diversidade da comunidade de macroalgas nos recifes costeiros adjacentes ao litoral da APA Costa das Algas.” Não fica clara a razão da menção à avaliação das macroalgas na mesma localidade em dois indicadores diferentes, considerando que a continuidade do monitoramento deve buscar a integração de indicadores e esforços para uma visão mais sistêmica e estratégica do que está acontecendo no ambiente. A proposição de avaliação da distribuição de recifes ao norte da Foz também não está adequadamente justificada no contexto do programa de monitoramento. No meu entendimento, o mapeamento dos recifes, apresentado no relatório, é um passo inicial para identificar áreas para amostragem estratificada e replicação espacial representativa de amostras e, portanto, deveria ter sido previsto anteriormente.

Considero que a proposta deveria apresentar esses sub-indicadores de forma destacada, independente, justificando-os apropriadamente. Da forma como foi apresentado, este indicador inclui sub-indicadores que apresentam, aparentemente, pequena relação entre eles. Esse componente do programa de monitoramento deve dialogar com outros (e.g. sedimentação/ressuspensão de material particulado orgânico e inorgânico e elementos, como Ferro).

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Turbidez na coluna d'água

Ainda que apresentado sem justificativa, como o indicador acima (“Presença ou ausência do rejeito no sedimento de fundo, evidenciada pelo aumento do volume das fases minerais de Fe e susceptibilidade magnética (rejeito)”, esse indicador também é bastante circunscrito, evidenciando claramente o que se pretende avaliar e a sua relação com o rejeito oriundo da barragem de Fundão.

Também tem forte relação com o indicador “Alterações nas características físicas do sedimento”, o qual não foi apresentado em detalhe apropriado (ver acima). Talvez seja outro indicador central da presença do sinal do rejeito da recuperação ambiental, tendo forte relação com a produção primária (sombreamento, módulo fitoplâncton, com o qual deve buscar integração) e outras possíveis

consequências para a biodiversidade (remobilização de metais, módulo ecotoxicologia). Esse componente do programa de monitoramento deve considerar a provisão de informações sobre a abrangência e duração do sinal do rejeito, sendo uma das bases lógicas para a interpretação dos demais componentes e processos do sistema a serem monitorados (com os quais deve buscar integração – e.g. recifes de coral).

Portanto, ele também precisa ser amostrado de forma precisa e representativa, apropriada para a escala e comportamento do fenômeno a ser avaliado, assim como as sugestões apresentadas para o módulo fitoplâncton (satélite) e aquelas associados com sedimento (armadilhas). Considerando o ruído atribuído à amostras pontuais em função de processos de ressuspensão de sedimento, normalmente de curta duração, sugere-se considerar formas alternativas ou complementares de obtenção dos dados.

Conforme proposto acima para o módulo fitoplâncton, recomenda-se que seja avaliada a possibilidade de uma estratégia escalonada, incremental e complementar, considerando informações sinóticas em grande abrangência espacial (ainda que com menor resolução) para monitorar o material particulado em suspensão/turbidez. Um caminho plausível seria monitorar a região utilizando informações de satélites. Além disso, dados pretéritos poderiam ser obtidos e aprimorar a interpretação dos impactos do rejeito ao longo do tempo.

Conforme proposto acima, armadilhas de sedimento têm o potencial de avaliar a resultante de processos de sedimentação-ressuspensão-sedimentação integrados ao longo do tempo, gerando, portanto, resultados menos influenciados pela erraticidade de fenômenos pontuais e de curta duração como eventos de maior energia, e considerando diferentes tipos de ambiente, incluindo de fundo consolidado, como recifes de coral, avaliados em outros componentes do programa de monitoramento. Esse procedimento permitiria a geração de dados altamente padronizada com base no material (sedimento ressuspendido e posteriormente sedimentado) ao longo de toda a área de influência do incidente, sendo um indicativo indireto do material em suspensão durante um determinado período de tempo. Adicionalmente, poderia se considerar o uso acoplado de data loggers às armadilhas de sedimento para avaliar luminosidade como um indicativo de processos de ressuspensão e da turbidez.

Compreendemos que é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento, considerando as ressalvas/sugestões apresentadas acima e eventuais complementações.

Diversidade beta temporal em assembleias bênticas de recifes e bancos de rodolitos

O indicador foi apresentado de forma genérica, ainda que considerando elementos relativamente circunscritos mencionados no relatório técnico. Entretanto, além de não estar apropriadamente detalhado, não apresenta justificativa para os sub-indicadores propostos. A descrição do indicador/sub-indicador não apresentou claramente a sua relação com os impactos causados pelo incidente nem com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Não especificou escala temporal e espacial das amostragens. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de

monitoramento. Não especificou que parâmetros devem ser destacados como variáveis resposta para serem avaliados em alinhamento ao que se pretende no programa de monitoramento (impacto ou recuperação). Em outras palavras, que métricas da comunidade serão calculadas para serem indicadoras dos fenômenos e processos em análise. É imprescindível que para cada indicador/sub-indicador seja apresentada a informação que dele deriva e a forma como ela será utilizada na interpretação do processo sob investigação. Embora haja menções à necessidade de monitoramento continuado da biodiversidade associada aos recifes de coral no relatório técnico e eu, pessoalmente, considere esse sistema apropriado para busca de respostas sistêmicas para fenômenos como o aqui apresentado (incluindo replicação espacial e temporal adequadas), justificativas não são apresentadas.

A proposta possui sobreposição potencial com duas abordagens feitas anteriormente. A primeira, relacionada com “assembleias bênticas de recifes”, relaciona-se com os indicadores “Distribuição espacial de habitats, considerando atributos físicos, estruturais e biológicos como: geomorfologia e depósitos de rejeito na Foz, vitalidade e presença de macroalgas na APA e distribuição de recifes ao norte da Foz” (macroalgas) e “Composição e diversidade da comunidade de macroalgas nos recifes costeiros adjacentes ao litoral da APA Costa das Algas” (macroalgas). Além disso, tem forte integração com a ictiofauna associada (“Composição de espécies de peixes recifais”). A segunda, relacionada com “assembleias bênticas de bancos de rodolitos”, relaciona-se fortemente com o indicador “Densidade, vitalidade, concentração de minerais ferrosos associados, fauna e flora associada (biomassa e diversidade), composição interna de organismos associados ao banco de rodolitos”. Essas relações devem ser explicitadas e detalhadas para promover um programa de monitoramento efetivamente integrado, incluindo eventuais trabalhos em campo.

Alternativamente, solicito que se considere a possibilidade de uso de métodos alternativos ou complementares àqueles relatados no relatório e que permitam uma obtenção e uma integração mais abrangente de informações, como o uso de foto mosaicos para descrição da paisagem nesses ambientes.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Diversidade taxonômica e morfo-funcional (diversidade citométrica) do fitoplâncton associado aos sistemas recifais

O indicador foi apresentado de forma genérica, ainda que considerando elementos relativamente circunscritos mencionados no relatório técnico. Entretanto, além de não estar apropriadamente detalhado, não apresenta justificativa para os sub-indicadores propostos. A descrição do indicador/sub-indicador não apresentou claramente a sua relação com os impactos causados pelo incidente nem com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Não especificou escala temporal e espacial das amostragens. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Não especificou que parâmetros devem ser destacados como variáveis resposta para

serem avaliados em alinhamento ao que se pretende no programa de monitoramento (impacto ou recuperação). Em outras palavras, que métricas da comunidade serão calculadas para serem indicadoras dos fenômenos e processos em análise. É imprescindível que para cada indicador/sub-indicador seja apresentada a informação que dele deriva e a forma como ela será utilizada na interpretação do processo sob investigação.

Conforme mencionado acima para o indicador “Alterações dos padrões ecológicos de abundância, diversidade e saúde ecofisiológica da comunidade fitoplanctônica marinha”, o fitoplâncton é um componente importante do ecossistema que reage às mudanças ambientais (efeito bottom up), causadas por alterações associadas ao incidente (e.g. fertilização por ferro; aumento de turbidez), ou por processos naturais que podem amplificar ou aumentar a duração e abrangência do efeito do incidente (e.g. processos que geram ressuspensão e dispersão de sedimento/elementos). A falta de detalhamento no indicador apresentado compromete a avaliação da sobreposição ou da complementaridade entre este e aquele indicador, com o qual deveria dialogar de forma mais direta.

O presente indicador deriva de um estudo amplo que integra diferentes componentes, em cujo relatório foram avaliados pigmentos clorofilianos e os organismos planctônicos (com base em diferentes métodos). Em sua síntese há a seguinte menção “Alterações no plâncton são indicadoras de alterações na estrutura trófica da coluna d’água e no acoplamento bento-pelágico (fluxos entre a coluna d’água e o fundo). Além disso, como a quantidade de flocos e partículas detriticas foi alta em diversas estações, indicamos que o entendimento desse processo seja aprofundado, incluindo a elucidação da natureza do particulado”. Essa menção, que indica relevância de um processo, ainda que não claramente acoplado ao propósito do programa de monitoramento, não foi proposto. Entretanto, a continuidade desse estudo da comunidade planctônica está sendo proposta, mas sem um lastro no relatório e na proposição do indicador.

Por fim, esse componente do programa de monitoramento deve estar acoplado a outros (e.g. sedimentação/ressuspensão de material particulado orgânico e inorgânico e elementos, como Ferro, recifes de coral e, especialmente, Alterações dos padrões ecológicos de abundância, diversidade e saúde ecofisiológica da comunidade fitoplanctônica marinha – ver recomendações feitas). Essas relações devem ser explicitadas e detalhadas para promover um programa de monitoramento efetivamente integrado.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Alteração dos padrões ecológicos de abundância, diversidade e saúde ecofisiológica da comunidade fitoplanctônica marinha

O indicador foi apresentado de forma genérica, ainda que considerando elementos mencionados na síntese do relatório técnico. Entretanto, além de não estar detalhado, não apresenta justificativa para os indicadores propostos. A descrição do indicador/sub-indicador não apresentou claramente a sua relação com os impactos causados pelo incidente. Apenas relatou que não teria, à princípio, relação com a teoria

de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Não especificou escala temporal e espacial das amostragens. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Não especificou que parâmetros devem ser avaliados para os três itens propostos (padrões ecológicos de abundância, diversidade e saúde ecofisiológica) para serem avaliados na comunidade fitoplanctônica marinha em alinhamento ao que se pretende no programa de monitoramento (impacto ou recuperação). Em outras palavras, que métricas da comunidade (e.g. produtores primários predominantes, estabilidade da comunidade e porcentagem de clorofila ativa) serão calculadas para serem indicadoras dos fenômenos e processos em análise. É imprescindível que para cada indicador seja apresentada a informação que dele deriva e a forma como ela será utilizada na interpretação do processo sob investigação (impacto ou recuperação).

O fitoplâncton é um componente importante do ecossistema que reage às mudanças ambientais (efeito *bottom up*), causadas por alterações associadas ao incidente (e.g. fertilização por ferro; aumento de turbidez) ou por processos naturais que podem amplificar ou aumentar a duração e abrangência do efeito (e.g. processos que geram ressuspensão e dispersão de sedimento/elementos). Episódios de modificação da estrutura e da saúde da comunidade fitoplanctônica e aumento de produção primária, incluindo florações tóxicas ou não, devem ter suas características, magnitudes e durações mapeadas e compreendidas. Isso demanda uma estratégia amostral adicional (ver adiante). Por outro lado, o fitoplâncton remete à base de uma cadeia de eventos responsáveis pela transferência de biomassa e energia, mas também diversos serviços ecossistêmicos importantes como a provisão de alimento (base da cadeia alimentar), sequestro de carbono e depuração de efluentes. Essa abordagem mais sistêmica não é considerada na proposta do indicador.

Nesse aspecto, recomenda-se que seja avaliada a possibilidade de uma estratégia escalonada, incremental e complementar, considerando informações sinóticas em grande abrangência espacial (ainda que com menor resolução) para monitorar o processo de produção primária. Um caminho plausível seria monitorar a região utilizando informações de satélites a partir da avaliação da cor do mar (dentre outros parâmetros). Essas informações seriam estratégicas para definir locais e períodos para direcionar amostras de campo. Além disso, dados pretéritos poderiam ser obtidos e aprimorar a interpretação dos impactos do incidente ao longo do tempo.

É fundamental que os indicadores propostos tenham a capacidade de serem interpretados de forma dedutiva, relatando os parâmetros da comunidade e saúde fisiológica do plâncton, mas também de forma indutiva, remetendo a possíveis extrapolações que podem conectar o fitoplâncton aos serviços ecossistêmicos por ele desempenhados.

Por fim, esse componente do programa de monitoramento deve estar acoplado a outros (e.g. sedimentação/ressuspensão de material particulado orgânico e inorgânico e elementos, como Ferro, recifes de coral). Essas relações devem ser explicitadas e detalhadas para promover um programa de monitoramento efetivamente integrado.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Índices Ecológicos e abundância de espécies indicadoras para Zooplâncton

O indicador foi apresentado sem justificativa e sem detalhamento de seus sub-indicadores. A descrição do indicador não apresentou claramente a sua relação com os impactos causados pelo incidente nem com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. A escala espacial foi apresentada sem justificativa (APA, Foz, Norte e Abrolhos) e desacoplada das principais evidências de impacto registradas pelo programa de monitoramento (e.g. ecotoxicologia; Foz e APA), incluindo o módulo de zooplâncton (maiores efeitos próximos à Foz), sem justificativa adicional. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Da forma como foi apresentado, não é possível identificar o que de fato será avaliado e como agrega informação ao programa de monitoramento. Como exemplo, foi mencionado que “o sistema de indicação proposto inclui apenas variáveis biológicas, mas que respondem diretamente às variáveis físicas, químicas e estruturais.” Entretanto, não fica claro como se espera que o indicador responda especificamente aos sinais derivados do incidente.

Seria de se esperar que na próxima fase do programa de monitoramento houvesse uma maior integração dos esforços de coleta e a produção de indicadores mais sistêmicos e acoplados com o fenômeno em análise. Assim, esse componente do programa de monitoramento deve dialogar com outros (e.g. fitoplâncton e ictioplâncton) de forma a gerar informações mais integradas.

Embora os índices ecológicos sejam sabidos, o relatório dá pistas sobre tamanhos (menores) e grupos específicos (herbívoros) que seriam potencialmente informativos do impacto ou relevantes no sistema pelágico para o fluxo de matéria e energia, respectivamente. O mesmo raciocínio pode ser aplicado ao meroplâncton, que tem forte conexão com os bentos, componente com o qual o presente indicador também deveria dialogar claramente. Assim como para outros componentes e processos que estão sendo propostos no programa de monitoramento, considero que o acoplamento da dinâmica espacial e temporal do zooplâncton com o incidente em questão é crítica para que ele possa ser considerado um indicador apropriado. Esse tipo de elemento não foi apresentado na proposição do indicador. Conforme mencionado para o componente ictioplâncton, a amostragem desse sistema padece de características inerentes ao plâncton de maneira geral, alta variabilidade espacial (ocorrência em manchas; profundidade) e temporal (dia e noite; resposta a condições meteorológicas e oceanográfica). Nesse sentido, amostragens pontuais apenas podem ser pouco apropriadas para a avaliação dos fenômenos que se pretende avaliar.

Nesse aspecto, recomenda-se que seja avaliada a possibilidade de uma estratégia escalonada, incremental e complementar, considerando informações em grande abrangência espacial somadas a esforços mais direcionados para amostragem contínua ao longo de um dia ou mais dias (e.g. rede, amostragem contínua de água, zooscan) em algumas localidades estratégicas nas quais o sinal do impacto foi mais evidente pelos resultados de diversos módulos do programa de monitoramento ambiental, em especial ecotoxicologia (e.g. Foz e APA). Uma alternativa poderia ser a análise de um volume maior de água com técnicas de análise de imagem (e.g. zooscan) direcionadas a identificação e contagem de foto-feições correlacionadas aos elementos que se pretende avaliar. Uma eventual redução

na exatidão da identificação seria compensada pelo ganho de representatividade (mais locais de amostragem e maiores volumes de água amostrados).

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Alterações dos padrões morfológicos, riqueza e densidade dos ovos e larvas de peixes em áreas de desova e recrutamento larvas

A exemplo do fitoplâncton, o indicador foi apresentado de forma genérica, ainda que considerando elementos mencionados na síntese do relatório técnico (*Densidade de larvas e ovos, número de táxons e ocorrência de larvas com trato digestório destruído*). Além dessa falta de detalhamento, não apresenta justificativa para os indicadores propostos. A descrição do indicador/sub-indicador não apresentou claramente a sua relação com os impactos causados pelo incidente nem com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Não especificou periodicidade temporal das amostragens. A escala espacial foi apresentada de forma genérica e dissociada das principais evidências de impacto registradas (larvas com tubo digestório afetado; Foz e APA), sem justificativa adicional. A menção da avaliação da riqueza e da densidade dos ovos e larvas de peixes em áreas de desova e recrutamento larval é vaga. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Por exemplo, o relatório indica que ovos e larvas foram afetados pelo rejeito, mas que há evidências de recuperação, com valores semelhantes aos registrados anteriormente ao impacto. Nesse sentido, seria esperada uma justificativa do porquê da manutenção desses componentes no programa de monitoramento (e.g., a baixa riqueza de espécies ainda registrada; indicadores de processos relevantes para a manutenção de estoques pesqueiros potencialmente afetados por processos de ressuspensão dos rejeitos/sedimento). Em outras palavras, como as métricas a serem calculadas informam sobre os fenômenos e processos em análise. É imprescindível que para cada indicador seja apresentada a informação que dele deriva e a forma como ela será utilizada na interpretação do processo sob investigação (impacto ou recuperação).

O componente aqui apresentado tem uma relevância e é informativo do potencial de recuperação de estoques pesqueiros, assim como o meroplâncton, tem o potencial de indicar a capacidade de recomposição da comunidade bentônica, desde corais a espécies de interesse comercial, como caranguejos e camarões (avaliados no módulo de ictiofauna e carcinofauna marinha). Assim, esse componente também tem potencial de conexão com componentes socioeconômicos, com os quais deve dialogar, tanto no planejamento amostral quanto na interpretação dos resultados. Entretanto, a amostragem desse componente padece de características inerentes ao plâncton de maneira geral, alta variabilidade espacial (ocorrência em manchas; profundidade) e temporal (dia e noite; resposta a condições meteorológicas e oceanográfica). Nesse sentido, amostragens pontuais apenas podem ser pouco apropriadas para a avaliação dos fenômenos que se pretende avaliar, em especial para componentes cuja densidade é ocasionalmente baixa, como ovos e larvas.

Nesse aspecto, recomenda-se que seja avaliada a possibilidade de uma estratégia escalonada, incremental e complementar, considerando informações em grande abrangência espacial somadas a esforços mais direcionados para amostragem contínua ao longo de um dia ou mais dias (e.g. rede, amostragem contínua de água, zooscan) em algumas localidades estratégicas nas quais o sinal do impacto foi mais evidente pelos resultados de diversos módulos do programa de monitoramento ambiental, em especial ecotoxicologia (e.g. Foz e APA). Uma alternativa poderia ser a análise de um volume maior de água com técnicas de análise de imagem (e.g. zooscan) direcionadas a identificação e contagem de foto-feições relacionadas aos elementos que se pretende avaliar. Uma eventual redução na exatidão da identificação seria compensada pelo ganho de representatividade (mais locais de amostragem e maiores volumes de água amostrados). Por fim, esse componente do programa de monitoramento deve estar acoplado a outros (e.g. sedimentação/ressuspensão de material particulado orgânico e inorgânico e elementos, como Ferro, fitoplâncton e ictiofauna). Não ficou claro por que o meroplâncton não foi incluído como indicador (considerando que os indicadores podem ser organizados por processo que indicam do que apenas pelo componente biológico ao qual está associado). Essas relações devem ser explicitadas e detalhadas para promover um programa de monitoramento efetivamente integrado, incluindo eventuais trabalhos em campo.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Aumento da abundância de espécies de Polychaetae Amphipoda, Crustacea e Annelida, resistentes à poluição

O indicador foi apresentado de forma genérica e sem justificativa para os sub-indicadores propostos. A descrição do indicador/sub-indicador não apresentou claramente a sua relação com os impactos causados pelo incidente nem com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Na realidade, foi explicitado que “embora os indicadores biológicos apresentados não forneçam diretamente dados sobre fatores abióticos (físicos, químicos, estruturais), a interpretação dos resultados deve ser conduzida associando-se estes indicadores aos dados abióticos para cada ponto amostral”, fato que não pressupõe relação causal direta com os efeitos diretos do incidente sobre o meio físico. Essa afirmação coloca em dúvida a pertinência desse indicador. Não especificou periodicidade temporal das amostragens. A escala espacial foi apresentada de forma genérica (Abrolhos, Norte, Foz do Rio Doce, APA Costa das Algas, Sul) e desacoplada das principais evidências de impacto registradas pelo programa de monitoramento (e.g. ecotoxicologia; Foz e APA), sem justificativa adicional. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento.

Os indicadores propostos são genéricos e baseados em informações do relatório técnico que se pautou por análise de grandes grupos e sem uma relação clara entre o incidente e o componente da biodiversidade estudado. Os resultados de Crustacea, Mollusca e Polychaeta não aprofundaram as análises em nível específico a ponto de permitir uma reflexão mais apropriada sobre espécies indicadoras do incidente. Mesmo a análise por grandes grupos não evidenciou isso de forma inequívoca

(indica redução de espécies de moluscos em relação a dados anteriores, mas sem detalhamento; Crustacea sem padrão claro em relação ao incidente - indica recuperação; Polychaeta apresentou aumento de depositívoros e onívoros/carnívoros). Outro aspecto que dificulta a interpretação e avaliação da proposta são os organismos foco do estudo. O título propõe Polychaeta, Amphipoda, Crustacea e Annelida. Não fica claro o porquê das escolhas desses taxa, excluindo Mollusca (bivalvia), que pelo seu hábito filtrador pode trazer indícios mais evidentes do incidente. Causa estranheza o destaque para Amphipoda (sem qualquer indicação no relatório a esse potencial destaque) e a menção desvinculada a Polychaeta e Annelida. Não nos parece que Oligochaeta seria um grupo relevante para o presente estudo com base no relatório. Além disso, o relatório apresenta uma atribuição genérica entre os grandes grupos Mollusca, Crustacea e Polychaeta como indicadores de impacto ambiental (resistentes). Essa relação foi baseada em um estudo (Warwick 1988) que indicou que proporções entre grandes grupos poderiam ser utilizadas para caracterizar alterações ambientais. Na presente proposta, o sentido da mudança esperada em resposta às potenciais alterações ambientais não é apresentado de forma clara e os grupos têm sido trabalhados de forma independente e não relativa. Além disso, diferentes grupos/espécies respondem de forma diferente a diferentes alterações ambientais, fato que precisa ser melhor explorado na proposta em resposta ao incidente em questão.

Uma alternativa para a proposta poderia ser um olhar mais refinado (malha amostral mais concentrada em locais) em algumas áreas onde o sinal do impacto foi mais forte ou onde os processos de remobilização de sedimento contaminado possam ser mais intensos (e.g. Foz e APA). Além disso, a incorporação de uma abordagem de esclerocronologia nas conchas dos moluscos, adultos (que passaram pelo incidente) e jovens (recrutados após o incidente) poderia trazer resultados alternativos bastante oportunos para rastrear o sinal do incidente nos bentos.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Composição e diversidade da comunidade de macroalgas nos recifes costeiros adjacentes ao litoral da APA Costa das Algas

O indicador foi apresentado com algumas justificativas para algumas premissas e critérios. Sobre a premissa 2 (Sistema de indicação de integridade ambiental deve incluir variáveis biológicas, mas também físicas, químicas e estruturais), menciona que foram obtidos resultados de variáveis físico-químicas, de outros indicadores, que também demonstram o impacto do rejeito na região em questão, mas que, contudo, a partir da análise da comunidade de macroalgas não foram mensuradas, diretamente sobre as mesmas, variáveis não-biológicas. No que se refere a premissa 4 (Sistema de indicação de integridade ambiental, se biológico, deve incluir diferentes níveis de organização (células, tecidos, indivíduos, populações, comunidades, ecossistemas), o indicador trata mudanças na dominância de espécies (indivíduo) e na composição da comunidade. Apesar de não terem sido demonstradas mudanças em nível celular e de tecidos, dados de outros subprojetos indicam estas alterações em organismos do ecossistema em questão. Sobre o critério 5 (É desejável que os indicadores sejam vinculados a organismos que permitam obter simultaneamente mais de uma informação ambiental), a

análise de comunidade pode até refletir outras informações ambientais, mas a análise de correlação permitiu indicar apenas o efeito do desastre na mudança (temporal) da comunidade de macroalgas da APA Costa das Algas, costeira. Há menção ainda ao histórico de coleta de dados na área de estudo, de caráter pontual, não continuado.

Apesar das justificativas apresentadas para os sub-indicadores propostos, a descrição do indicador/sub-indicador não apresentou claramente a sua relação com os impactos causados pelo incidente nem com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador proposto à maioria das premissas e critérios desejados para o programa de monitoramento. Da forma como foi apresentado, não é possível identificar o que de fato será avaliado (variáveis resposta) e como agrega informação ao programa de monitoramento (nexo causal).

A presente proposta tem sobreposição com o indicador “Distribuição espacial de habitats, considerando atributos físicos, estruturais e biológicos como: geomorfologia e depósitos de rejeito na Foz, vitalidade e presença de macroalgas na APA e distribuição de recifes ao norte da Foz”. Considerando que a continuidade do monitoramento deve buscar a integração de indicadores e esforços para uma visão mais sistêmica e estratégica do que está acontecendo no ambiente, é fundamental que haja maior integração das propostas do programa de monitoramento.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Densidade, vitalidade, concentração de minerais ferrosos associados, fauna e flora associada (biomassa e diversidade), composição interna de organismos associados ao banco de rodolitos

O indicador foi apresentado com algumas justificativas para algumas premissas e critérios. No que se refere a premissa 4 (Sistema de indicação de integridade ambiental, se biológico, deve incluir diferentes níveis de organização (células, tecidos, indivíduos, populações, comunidades, ecossistemas), informa que o indicador não fornece informações de alta resolução sobre a integridade celular, mas permite avaliar a vitalidade dos tecidos dos organismos relacionados. Sobre o critério 10 (É desejável que os indicadores tenham um histórico sólido, continuado e robusto de coleta de dados na área de estudo anterior ao rompimento da Barragem de Fundão), o histórico de coleta de dados na área de estudo conta com poucos dados pretéritos, que ainda devem ser mais explorados para a melhor compreensão das condições pretéritas ao rompimento da Barragem deste indicador, inclusive acessando o material coletado (pretérito ao rompimento) para análises complementares.

Apesar das justificativas apresentadas para os diversos sub-indicadores propostos, a descrição do indicador/sub-indicador não apresentou claramente a sua relação com os impactos causados pelo incidente nem com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Não apresentou evidências a partir do relatório técnico que pudessem sustentar a proposição dos indicadores/sub-indicadores. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador proposto à maioria das premissas e critérios desejados para o programa de monitoramento. Da forma

como foi apresentado, não é possível identificar o que de fato será avaliado (variáveis resposta) e como agrega informação ao programa de monitoramento (nexo causal).

Entretanto, a avaliação dos efeitos do incidente (ou recuperação) sobre os bancos de rodolitos é algo relevante dada a importância desses habitats e sua fragilidade. Para tanto, a escala espacial da proposta e as localidades selecionadas são elementos centrais para a qualificação desse indicador. Solicita-se verificar o direcionamento da investigação a localidades com indícios de efeitos e de efeitos continuados do incidente (Foz e APA). É fundamental que o monitoramento considere a possibilidade de utilizar a densidade e a vitalidade dos rodolitos como *proxy* da fauna e flora associadas, buscando assim identificar variáveis-chave para o monitoramento de longo prazo da comunidade. Com relação aos minerais ferrosos, é importante verificar a sobreposição e necessidade de integração com outros indicadores acima que propõe levantamentos semelhantes para otimização e customização do delineamento amostral. Entretanto, um complemento a essa abordagem poderia ser a avaliação da presença desses minerais nos rodolitos, ainda que superficialmente), o que poderia gerar uma informação de contaminação crônica e menos suscetível à erraticidade de amostras pontuais de sedimento superficial (ver outros comentários acima).

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

Presença ou ausência do rejeito no sedimento de fundo, evidenciada pelo aumento do volume das fases minerais de Fe e susceptibilidade magnética (rejeito)

Ainda que apresentado sem justificativa, este indicador é bastante circunscrito, evidenciando claramente o que se pretende avaliar e a sua relação com o incidente. Na verdade, é composto por dois sub-indicadores (volume das fases minerais de Fe e susceptibilidade magnética) ou formas complementares de registrar o sinal de um mesmo fenômeno.

Tem forte relação com o indicador “Alterações nas características físicas do sedimento”, o qual não foi apresentado em detalhe apropriado (ver acima). Talvez seja o indicador central da presença do sinal do incidente ou da recuperação ambiental, tendo forte relação com a produção primária (módulo fitoplâncton, com o qual deve buscar integração) e outras possíveis consequências para a biodiversidade. Esse componente do programa de monitoramento deve considerar a provisão de informações sobre a abrangência e duração do sinal do incidente, sendo uma das bases lógicas para a interpretação dos demais componentes e processos do sistema a serem monitorados.

Portanto, ele precisa ser amostrado de forma precisa e representativa, apropriada para a escala e comportamento do fenômeno a ser avaliado. Considerando o ruído atribuído à amostras pontuais em função de processos de ressuspensão de sedimento, sugere-se considerar formas alternativas ou complementares de obtenção dos dados. Conforme proposto acima, armadilhas de sedimento têm o potencial de avaliar a resultante de processos de sedimentação-ressuspensão-sedimentação integrados ao longo do tempo, gerando, portanto, resultados menos influenciados pela erraticidade de fenômenos pontuais e de curta duração como eventos de maior energia, e considerando diferentes tipos de

ambiente, incluindo de fundo consolidado, como recifes de coral, avaliados em outros componentes do programa de monitoramento. Esse procedimento permitiria a geração de dados altamente padronizada com base no material (sedimento ressuspensionado e posteriormente sedimentado) ao longo de toda a área de influência do incidente.

Compreendemos que é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento, considerando as ressalvas/sugestões apresentadas acima e eventuais complementações.

Teor de metais, nutrientes e hidrocarbonetos na coluna d'água e teor de metais e hidrocarbonetos no sedimento de fundo

O indicador foi apresentado sem justificativa e sem detalhamento de seus vários sub-indicadores. A descrição do indicador não apresentou claramente a sua relação com os impactos causados pelo incidente nem com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. A escala espacial foi apresentada sem justificativa (Região costeira de Guarapari à Abrolhos) e desacoplada das principais evidências de impacto registradas pelo programa de monitoramento (e.g. ecotoxicologia; Foz e APA). Não apresentou justificativas para a aderência do indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Da forma como foi apresentado, não é possível identificar como agrega informação ao programa de monitoramento. O teor de metais tem mais aderência com o programa de monitoramento, em especial aqueles que podem indicar o sinal do incidente (e.g. Fe e Hematita)(segundo o indicador proposto acima "Presença ou ausência do rejeito no sedimento de fundo, evidenciada pelo aumento do volume das fases minerais de Fe e susceptibilidade magnética (rejeito)". Deve-se apresentar justificativa do porque da redundância da amostragem de Fe em dois indicadores, bem como a necessidade de análise de outros metais dentro do contexto do incidente em questão. De forma semelhante ao apresentado acima para o supracitado indicador, recomendo fortemente considerar armadilhas de sedimento como estratégia para aprimorar a qualidade e representatividade espacial dos dados. Consideramos essa forma mais apropriada de se avaliar o sinal do incidente e não recomendo, pelas mesmas razões da amostragem de sedimento superficial (ressuspensão), avaliação desses materiais na água.

A análise de nutrientes também não está justificada e sua inclusão em conjunto com metais e hidrocarbonetos neste indicador não traz indicativos de como os dados serão utilizados no contexto do programa de monitoramento. Ademais, a avaliação de nutrientes necessita acoplamento com o plâncton (ver recomendação acima) de forma a produzir uma visão mais ampla e sistêmica da área afetada pelo incidente. De forma semelhante, a análise de hidrocarbonetos na água também não é justificada, em especial dada a relação não direta com o incidente e a errática e pontualidade espacial e temporal dos dados de hidrocarbonetos na matriz aquosa. Mais apropriado seria fazer essa avaliação na matriz biológica, caso haja nexos com o incidente.

Esse indicador também tem relação com o indicador “Alterações nas características físicas do sedimento”, o qual não foi apresentado em detalhe apropriado (ver acima), mas com o qual deve, eventualmente, haver coordenação amostral.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

PRAIAS

Padrões ecológicos da comunidade bentônica das areias de praia

De forma semelhante a outros indicadores, este também foi apresentado de forma genérica. Entretanto, além de não estar apropriadamente detalhado, não apresenta justificativa. A descrição do indicador não apresentou claramente a sua relação (variáveis resposta) com os impactos causados pelo incidente nem com a teoria de mudança prevista pelas ações de recuperação que estão sendo ou serão implementadas. Não especificou escala temporal e não justificou a escala espacial das amostragens. Não apresentou justificativas para a aderência do indicador proposto à cada premissa e critério desejados para o programa de monitoramento. Não especificou que parâmetros devem ser destacados como variáveis resposta para serem avaliados em alinhamento ao que se pretende no programa de monitoramento (impacto ou recuperação). Em outras palavras, que métricas da comunidade serão calculadas para serem indicadoras dos fenômenos e processos em análise. É imprescindível que para cada indicador seja apresentada a informação que dele deriva e a forma como ela será utilizada na interpretação do processo sob investigação. Embora haja menções à necessidade de monitoramento continuado da biodiversidade associada à praias no relatório técnico, não se utiliza os dados pretéritos para justificar a proposta aqui apresentada.

Fica evidente pelo relatório a dinamicidade desse ambiente, tanto da praia emersa quanto da submersa, o que reflete na erraticidade de dados coletados de forma pontual. O sinal do incidente na comunidade bêntica não é inequívoco, em especial pela diluição do (ou relativamente pequeno) esforço amostral empreendido e pela integração de dados de diferentes compartimentos da praia. Resulta que os sinais do episódio (e.g. presença de Fe) estão mais evidentes no infralitoral raso e nas proximidades da Foz (+ áreas B e C). Entretanto, como a morfodinâmica da praia apresenta autocorrelação com a comunidade, essa relação com a Foz merece análise mais cautelosa. Os dados mais robustos e que permitem uma integração temporal mais precisa são da Praia do Degredo, com indicativo de recomposição da riqueza e diversidade da macrofauna (efeitos não evidentes na abundância) e aumento da abundância, riqueza e diversidade da meiofauna. Nesse sentido, considero que um monitoramento mais apropriado para esse sistema (com base nos resultados e na ausência de justificativas apresentadas) poderia concentrar os esforços nos compartimentos da praia mais afetados pelo incidente e mais estáveis e práticos para amostragem. Seria importante também considerar a intensificação da amostragem (maior número de amostras) em alguns locais relevantes, como a Praia do Degredo.

É fundamental que esse indicador busque integração com outros módulos, como ecotoxicologia, mas também megafauna (quelônios – efeitos na eclosão), do programa de monitoramento que

complementem o cenário analisado e o nexos entre a causa e o efeito observado em campo dentro do contexto do incidente. Como exemplo, considerando que respostas a nível de comunidade possam responder a diferentes fenômenos e processos (e.g. morfodinâmica, outros impactos locais e regionais), é importante considerar indicadores mais basais acoplados, como avaliação de metais (associados ao episódio) na biodiversidade, que podem ser incorporados a outros módulos do programa de monitoramento.

Da forma como está proposto não é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento.

SEDIMENTAÇÃO EM ABROLHOS

Deteção de traços de sedimentos de rejeito da Samarco em Abrolhos

Ainda que apresentado sem justificativa, este indicador é bastante circunscrito, conforme outros que objetivam identificar o sinal do incidente, evidenciando claramente o que se pretende avaliar e a sua relação com o incidente. Tem forte relação com os indicadores “Alterações nas características físicas do sedimento” e “Turbidez da coluna da água”, com os quais é necessário dialogar. É um dos indicadores centrais da presença do sinal do incidente ou da recuperação ambiental, tendo forte relação com outras possíveis consequências para a biodiversidade. Esse componente do programa de monitoramento deve considerar a provisão de informações sobre a abrangência e duração do sinal do incidente, sendo uma das bases lógicas para a interpretação dos demais componentes e processos do sistema a serem monitorados, devendo, portanto, estar fortemente integrado às estratégias amostrais empregadas neles. A sua aplicação no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e Recife de Fora/Porto Seguro remete à avaliação do efeito remoto do incidente em área de reconhecida relevância para conservação.

Entretanto, não menciona como e em que compartimento pretende fazer a análise e qual a escala espacial e temporal pretendida em cada localidade. De qualquer forma, ele precisa ser amostrado de forma precisa e representativa, apropriada para a escala e comportamento do fenômeno a ser avaliado. Considerando o ruído atribuído a amostras pontuais em função de processos de ressuspensão de sedimento (caso a amostragem seja direcionada ao sedimento superficial), sugere-se considerar formas alternativas ou complementares de obtenção dos dados. Conforme proposto acima, armadilhas de sedimento têm o potencial de avaliar a resultante de processos de sedimentação-ressuspensão-sedimentação integrados ao longo do tempo, gerando, portanto, resultados menos influenciados pela erraticidade de fenômenos pontuais e de curta duração como eventos de maior energia, e considerando diferentes tipos de ambiente, incluindo de fundo consolidado, como recifes de coral. Esse procedimento permitiria a geração de dados altamente padronizada com base no material (sedimento ressuspensionado e posteriormente sedimentado) ao longo de toda a área de influência do incidente. Alternativamente, deve-se considerar a possibilidade de detecção de traços do sedimento de rejeito em matrizes biológicas.

Compreendemos que é possível recomendar a utilização desse indicador no programa de monitoramento, considerando as ressalvas/sugestões apresentadas acima e eventuais complementações.

CONCLUSÃO A RESPEITO DAS RECOMENDAÇÕES DE INDICADORES DO PG28

Os pareceres apresentados acima indicam a complexidade da definição de indicadores para o PG28 com base nas indicações apresentadas nos relatórios e na profundidade das contribuições após o Workshop. Os relatórios, de forma geral, não apresentaram proposições e argumentos para continuidade do programa de monitoramento. As respostas recebidas após o Workshop, por sua vez, continham poucos detalhes que justificassem as escolhas baseadas no atendimento aos critérios e premissas e, por vezes, a proposição do indicador foi demasiadamente genérica. As premissas e critérios bem definidos e justificados no 'Relatório de Consolidação' são numerosos e por vezes nada triviais e, portanto, exigem uma justificativa elaborada e devidamente embasada na literatura. Assim, infelizmente essas contribuições não trouxeram subsídios detalhados o suficiente para permitir a análise e a subsequente definição dos indicadores a serem monitorados dentro do escopo da nova fase de ações para recuperação da bacia do rio Doce.

Algumas propostas são excessivamente genéricas e como tal não podem ser consideradas bioindicadores, muito embora possam conter ou ser desdobradas em um número de bioindicadores. Entre elas estão 'Padrões ecológicos da comunidade bentônica das areias de praias', 'Indicadores ecológicos associados ao ecossistema manguezal' e 'Alterações ecológicas nas assembleias de peixes e macroinvertebrados'. Outras poderão ser avaliadas quando adotarem uma definição mais clara e justificada de quais variáveis de resposta incluem e qual a direção da mudança que permitirá avaliar impacto ou recuperação. Por exemplo, riqueza e diversidade podem em tese ser bons indicadores de integridade ambiental, mas a informação que se quer acessar com essas métricas pode ser mascarada pela presença de espécies exóticas e/ou nativas generalistas e robustas a perturbações ambientais. Finalmente, o conjunto de contribuições também inclui propostas suficientemente focadas como 'Detecção de traços de sedimentos de rejeitos da Samarco em Abrolhos', 'Índice de bioacumulação de metais (IBR bioacumulação) - para plâncton, bentos e necton' e 'Índice de Toxicidade (baseado em ensaios de toxicidade agudos e crônicos com diferentes organismos)'. Estes são bons exemplos de foco, mas nenhum deles apresenta ou justifica os parâmetros usados no cômputo dos índices.

Esse diagnóstico guiou a elaboração dos pareceres acima, nos quais foram comentados os indicadores sugeridos e sinalizados os caminhos possíveis, com a finalidade de construção colaborativa do melhor conjunto possível de indicadores de biodiversidade que continuarão a ser avaliados no futuro do programa de monitoramento.