



Os impactos do rompimento da Barragem de Fundão

O caminho para uma mitigação sustentável e resiliente

L.E. Sánchez, K. Alger, L. Alonso, F.A.R. Barbosa, M.C.W. Brito, F.V. Laureano, P. May, H. Roeser, Y. Kakabadse



Sobre a UICN

A UICN é uma união de membros composta exclusivamente por organizações governamentais e da sociedade civil. Ela fornece às organizações públicas, privadas e não-governamentais uma série de conhecimentos e ferramentas que possibilitam que o progresso humano, o desenvolvimento econômico e a conservação da natureza ocorram juntos.

Criada em 1948, a UICN é hoje a maior e mais diversificada rede ambiental do planeta, reunindo os conhecimentos, os recursos e o alcance de mais de 1.300 organizações membros e cerca de 10.000 especialistas. A UICN é líder na produção de dados, avaliações e análises sobre conservação. Com um amplo quadro de membros, a UICN assume o papel de incubadora e de repositório confiável de melhores práticas, ferramentas e padrões internacionais.

A UICN oferece um espaço neutro para as diversas partes interessadas - incluindo governos, ONGs, cientistas, empresas, comunidades locais, organizações de povos indígenas e outros - trabalharem juntas para conceber e implementar soluções para os desafios ambientais e alcançar o desenvolvimento sustentável.

www.iucn.org
<https://twitter.com/IUCN/>

Os impactos do rompimento da Barragem de Fundão

O caminho para uma mitigação sustentável e resiliente

L.E. Sánchez, K. Alger, L. Alonso, F.A.R. Barbosa, M.C.W. Brito, F.V. Laureano, P. May, H. Roeser, Y. Kakabadse

A designação de entidades geográficas neste livro e a apresentação do material não implicam a expressão de qualquer opinião por parte da UICN sobre a situação legal de qualquer país, território ou área, ou de suas autoridades, ou no que concerne à delimitação de suas fronteiras ou limites.

As opiniões expressas nesta publicação não refletem, necessariamente, as opiniões da UICN.

A UICN não se responsabiliza por erros ou omissões que possam ocorrer na tradução para o português deste documento, cuja versão original é em inglês. Em caso de discrepâncias, consulte a edição original. Título da edição original: *Impacts of the Fundão Dam failure. A pathway to sustainable and resilient mitigation*. Relatório Temático nº 1 do Painel do Rio Doce. (2018). Publicado por: UICN, Gland, Suíça. DOI: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.18.en>

Publicado por: UICN, Gland, Suíça

Direito autoral: © 2018 UICN, União Internacional para a Conservação da Natureza e Recursos Naturais

A reprodução desta publicação para fins educacionais ou outros fins não comerciais é permitida sem autorização prévia por escrito do titular dos direitos autorais, desde que a fonte seja plenamente reconhecida.

É proibida a reprodução desta publicação para revenda ou outros fins comerciais sem autorização prévia por escrito do titular dos direitos autorais.

Citação: Sánchez, L.E., Alger, K., Alonso, L., Barbosa, F.A.R., Brito, M.C.W., Laureano, F.V., May, P., Roeser, H., Kakabadse, Y., (2018). *Os impactos do rompimento da Barragem de Fundão. O caminho para uma mitigação sustentável e resiliente*. Relatório Temático nº 1 do Painel do Rio Doce. Gland, Suíça: UICN.

ISBN: 978-2-8317-1937-5 (PDF)
978-2-8317-1938-2 (print version)

DOI: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.18.pt>

Tradução: Leonardo Padovani

Foto da capa: Imagem do NASA Earth Observatory feita por Joshua Stevens, usando dados do Landsat do Serviço Geológico dos EUA.

Edição e layout: Diwata Hunziker

Disponível em: UICN (União Internacional para a Conservação da Natureza)
Programa Global de Negócios e Biodiversidade
Rue Mauverney 28
1196 Gland
Suíça
Tel +41 22 999 0000
Fax +41 22 999 0002
www.iucn.org/resources/publications

Índice

Figuras e quadro	iv
Apresentação	v
Prefácio	vii
Agradecimentos	viii
Resumo Executivo	ix
1 Introdução	1
O caminho para mitigação sustentável e resiliente	2
2 Um breve relato do desastre	4
3 A bacia do Rio Doce e a zona costeira	9
4 Os impactos do rompimento da Barragem de Fundão — Contexto	13
5 As respostas	15
6 Resultados pretendidos e os impactos da mitigação	17
7 Condições necessárias para resultados de mitigação sustentáveis e resilientes	19
8 O caminho à frente — Aproveitando as oportunidades	22
9 Conclusões e recomendações — Um roteiro	24
Epílogo	33
Referências	34

Figuras e quadro

Figura 1.	Mina da Samarco e localidades afetadas no Rio Gualaxo do Norte e no Rio Doce	5
Figura 2.	Área marinha potencialmente afetada pela pluma de rejeitos na superfície	8
Figura 3.	A bacia do Rio Doce e a zona costeira	9
Figura 4.	Rompimento da Barragem de Fundão e seus impactos diretos	13
Figura 5.	Representação contextual do estado do ambiente afetado pelo rompimento da Barragem de Fundão, ações humanas atuais e passadas na Bacia do Rio Doce e medidas para mitigar os impactos do rompimento	17
Quadro 1.	Ações recomendadas em relação à sustentabilidade e resiliência da mitigação	25

Apresentação

Em 2015, o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão causou 19 mortes e danos incalculáveis às comunidades e ao meio ambiente da bacia do Rio Doce. Este relatório esboça os principais passos necessários para a recuperar a saúde para esta bacia hidrográfica profundamente degradada e, principalmente, para as pessoas que dependem de seus recursos. Este é o primeiro relatório de uma série que será publicada pelo Painel independente do Rio Doce, o qual é coordenado pela UICN e foi estabelecido para exercer o papel crítico de aconselhar sobre os esforços de recuperação após o desastre e auxiliar em como evitar tais catástrofes no futuro. Como o Rio Doce já estava prejudicado por poluição antes do evento, o objetivo do Painel é apoiar na recuperação da paisagem e das comunidades locais para uma condição mais saudável e sustentável do que quando o desastre ocorreu.

Para tornar esta visão realidade, uma gestão ambiental forte e integrada em todos os níveis é fundamental. Como a maioria das bacias hidrográficas do mundo, o Rio Doce enfrenta cada vez mais desafios ligados à pressão industrial, falta de regulação, degradação do ecossistema e mudança climática. Garantir a gestão sustentável dos recursos hídricos por todas as partes interessadas na região é essencial para recuperar e manter a saúde, os meios de subsistência e o abastecimento de água e alimentos da população local.

Considerando a importância dos ecossistemas saudáveis para a sustentabilidade e resiliência das ações de mitigação, o relatório destaca o papel vital de esforços de recuperação que incluam soluções baseadas na natureza. Por exemplo, quando a proibição da pesca no Rio Doce eventualmente se encerrar, os estoques podem rapidamente ficar ameaçadas pela sobrepesca, caso não haja controles adequados para assegurar a sua sustentabilidade em vigor. O futuro da pesca no Rio Doce depende de que as instituições, o governo e as comunidades - principalmente os pescadores - ajam com responsabilidade e em prol de um bem maior.

A UICN está confiante de que esta importante publicação marca o início de uma colaboração frutífera com a Fundação Renova e as partes interessadas da região, proporcionando mudanças profundas e positivas para as pessoas afetadas pelo rompimento da barragem de rejeitos, sua economia e o meio ambiente.

Inger Andersen

Diretora Geral

UICN, União Internacional para a Conservação da Natureza



Foz do Rio Doce.

Foto: Painei do Rio Doce.

Prefácio

A UICN é, reconhecidamente, uma autoridade global em matéria do mundo natural e das medidas necessárias para protegê-lo. Desde o início dos anos 2000, a UICN vem formando e administrando uma série de Painéis Independentes de Assessoria Técnica e Científica para tecer recomendações confiáveis e objetivas a terceiros - com transparência, responsabilidade e rigor científico.

Os painéis liderados pela UICN engajam as partes interessadas abertamente e todas as suas recomendações são compartilhadas publicamente. Cada painel tem seu próprio foco, duração e objetivo, mas todos seguem os mesmos princípios básicos: independência, transparência, responsabilidade e engajamento.

Os painéis liderados pela UICN - como o Painel do Rio Doce - não se propõem a substituir o diálogo ou a formação de consenso, nem são adequados para tratar de mudanças sociais de modo geral. Os painéis são mais indicados para situações em que uma empresa, órgão de governo ou setor necessita de assessoramento estratégico independente ou quando a decisão sobre o melhor caminho a se seguir exige orientações baseadas em métodos científicos.

No caso do Painel do Rio Doce, a Fundação Renova solicitou que UICN convocasse um painel de especialistas técnicos nacionais e internacionais, atualmente presidido por Yolanda Kakabadse, ex-Presidente da UICN e ex-Ministra do Meio Ambiente do Equador. A missão do painel é tecer recomendações objetivas para a Fundação Renova sobre a recuperação da bacia do Rio Doce, após a ruptura da barragem de rejeitos de Fundão no Brasil, em 2015. O trabalho do Painel, portanto, se soma aos programas sociais e ambientais que a fundação já realiza.

Nos próximos anos, as recomendações do Painel do Rio Doce tratarão de diversas questões destacadas em uma série de relatórios temáticos e questões em foco, com base no que o Painel considera questões prioritárias para a reabilitação e a recuperação de longo prazo da bacia do Rio Doce e da zona costeira adjacente.

Portanto, o objetivo do Painel do Rio Doce vai além de restaurar a bacia hidrográfica a seu estado anterior ao desastre. Sua visão é contribuir com orientações que ajudarão a Fundação Renova - e também os principais tomadores de decisão e as várias comunidades afetadas - a recuperar e manter uma paisagem integrada, baseada na natureza e economicamente sustentável, capaz de servir de modelo para outras bacias hidrográficas. O que se segue é o primeiro desses relatórios.

Agradecimentos

O Painel Rio Doce agradece às seguintes pessoas que contribuíram com informações importantes e compartilharam seus pontos de vista sobre o desastre e os programas de mitigação, incluindo:

- Representantes dos governos subnacionais envolvidos, especialmente dos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo e dos municípios de Mariana, Rio Doce e Linhares;
- Representantes de órgãos governamentais ambientais, especialmente a SEAMA-ES (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo), a SEMAD-MG (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais), o ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) e o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis);
- Representantes de organizações não-governamentais locais, especialmente o IBIO (Instituto BioAtlântica, Agência de Água do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce);
- A comunidade de pescadores de Regência, especialmente Élcio José Sabino de Oliveira e Leônidas Carlos; e
- Os membros da UICN no Brasil que contribuíram para o trabalho do Painel.

Este relatório não teria sido possível sem o apoio da Fundação Renova - mais especificamente, de Alan Rigolo, Guilherme Tângari e Roberto Waack.

Finalmente, agradecemos à equipe da UICN pelo apoio técnico contínuo ao Painel, especialmente Stephen Edwards, Carolina Del Lama Marques, Maria Ana Borges, Julien Colomer e Leigh Ann Hurt.

Resumo executivo

No dia 5 de novembro de 2015, uma barragem de grande porte - contendo 52 milhões de m³ de resíduos (rejeitos) de mineração de ferro - se rompeu na cidade de Mariana, Brasil. A onda de lama fluiu por um vale estreito e chegou rapidamente à localidade de Bento Rodrigues, destruindo várias edificações pelo caminho, incluindo moradias e a histórica capela de São Bento. Infelizmente, 19 pessoas perderam suas vidas: 14 trabalhadores no local da barragem e cinco moradores, que não foram avisados a tempo. A onda de lama continuou seu percurso a jusante, afetando a fauna, a vegetação ciliar e outras localidades antes de chegar ao Rio Doce, que flui para o leste em direção ao Oceano Atlântico.

Ao longo do trajeto rio abaixo, parte dos rejeitos ficou retida no reservatório de uma usina hidrelétrica, paralisando a geração de eletricidade. Também o abastecimento de água foi interrompido em diversas cidades. Ao chegarem no oceano - a 670 km de distância do local da barragem - os rejeitos espalharam uma pluma de turbidez por uma grande área.

Além de ações de resposta emergencial, como assistência e indenizações para as pessoas afetadas, está em andamento um conjunto de medidas de mitigação de curto e de longo prazo, estruturado em 42 programas, determinado por um grupo de órgãos de governo, visando restaurar e melhorar a qualidade ambiental e o bem-estar das populações afetadas.

Esses requisitos e diretrizes de mitigação foram definidos em um acordo extrajudicial

assinado em 2 de março de 2016 entre a mineradora Samarco e suas controladoras Vale e BHP, o Governo Federal e os governos estaduais de Minas Gerais e do Espírito Santo. Esses programas estão sendo implementados pela Fundação Renova, uma entidade de propósito específico dotada pelas empresas controladoras e administrada por um Conselho que inclui representantes das comunidades afetadas.

Na primeira de uma série de publicações, o Painel independente do Rio Doce apresenta suas perspectivas e recomendações para avançar na mitigação sustentável e resiliente dos impactos do rompimento da barragem. A mensagem principal do painel é: os esforços de mitigação devem resultar em um legado positivo e duradouro para as atuais e futuras gerações.

Neste contexto, a **mitigação** é composta por três tipos de ações: (i) de remediação dos danos; (ii) de restauração do ambiente biofísico e do sustento das pessoas; e (iii) de compensação por danos que não possam ser remediados. **Mitigação sustentável** significa que as ações de remediação e restauração devem ser empreendidas de maneira a causar danos mínimos e gerar soluções autossustentáveis que melhorem a qualidade do meio ambiente e os meios de subsistência das comunidades afetadas. A **compensação**, por sua vez, é uma ação provisória, necessária apenas no período em que os impactos nocivos do rompimento da barragem ainda não foram plenamente remediados e os ecossistemas e meios de subsistência ainda não foram restaurados.

Mitigação resiliente refere-se a soluções capazes de enfrentar ameaças atuais e futuras, especialmente a mudança climática e as ameaças relacionadas à forma como os recursos dos ecossistemas têm sido historicamente usados e degradados.

Na opinião do Painel do Rio Doce, há vários pré-requisitos que precisam ser cumpridos para que a mitigação seja sustentável e resiliente. Da mesma forma, as oportunidades decorrentes dos esforços e recursos mobilizados para a mitigação devem ser aproveitadas para melhorar a qualidade ambiental e o bem-estar humano em toda a bacia hidrográfica e zona costeira do Rio Doce, indo além dos programas em andamento. Por exemplo, os programas implementados pela Fundação Renova injetam recursos financeiros e humanos para melhorar a qualidade ambiental na bacia (como no caso das ações de saneamento básico) e podem ser usados para alavancar recursos financeiros de outras fontes para ajudar a sanar problemas históricos e facilitar a adoção de mecanismos de longo prazo para dar apoio contínuo aos esforços de restauração e proteção ambiental.

A análise realizada pelo Painel do Rio Doce gerou as seguintes recomendações:

- 1 Elaborar uma avaliação ampla dos impactos do rompimento da barragem e levar em consideração - para cada componente social e ambiental relevante selecionado para avaliação - a linha de base em algum momento no passado (antes do rompimento) e as tendências relativas ao estado futuro desses componentes;
- 2 Realizar uma avaliação integrada dos resultados dos programas de mitigação;
- 3 Identificar ameaças à sustentabilidade e à resiliência dos resultados de mitigação e saná-las;
- 4 Analisar os modelos regionais de mudança climática e propor melhorias

nos programas de mitigação para sanar os elementos que apresentam riscos aos resultados;

- 5 Desenvolver um plano de gestão adaptativa;
- 6 Desenvolver e implementar um plano de compartilhamento de dados e informações; e
- 7 Iniciar e manter ações para reunir e divulgar informações e conhecimentos relevantes.

Essas recomendações são dirigidas, principalmente, à Fundação Renova. No entanto, o tratamento dos impactos preexistentes e acumulados ao longo do tempo e do espaço na bacia do Rio Doce e na zona costeira exige mais do que a mitigação bem-sucedida dos impactos causados pelo rompimento da barragem: ações urgentes por parte dos governos, grupos da sociedade civil e organizações privadas são necessárias para enfrentar problemas já amplamente reconhecidos - como o tratamento de esgoto e o deflorestamento - bem como os desafios previsíveis. Além disso, uma vez que a mitigação dos impactos do rompimento da barragem tenha sido realizada de forma satisfatória, seus resultados positivos precisam ser sustentados e aprimorados por um período muito além da missão - e, possivelmente, da própria existência - da Fundação.

Por fim, o Painel do Rio Doce acredita que o esforço de remediação e restauração do Rio Doce se tornará um caso de sucesso a ser estudado no futuro, bem como uma referência internacional para a restauração bacias hidrográficas.

1 | Introdução

Um desastre¹ de grandes consequências ambientais, sociais e econômicas começou com o rompimento de uma barragem de rejeitos de mineração no sudeste do Brasil. A Barragem de Fundão - uma enorme instalação de armazenamento de rejeitos, com cerca de 52 milhões de m³ de partículas minerais finas e grossas resultantes do processamento de minério de ferro das minas da Samarco, localizadas no município de Mariana, estado de Minas Gerais - se rompeu na tarde de 5 de novembro de 2015. A Samarco, que iniciou suas atividades em meados da década de 1970, é atualmente uma empresa de propriedade conjunta de duas das maiores mineradoras do mundo, a brasileira Vale e a anglo-australiana BHP.

As barragens de rejeitos são estruturas de engenharia projetadas para armazenar com segurança os resíduos do tratamento de minérios, uma operação que concentra os minerais que contêm substâncias de interesse (neste caso, minerais de óxido de ferro, principalmente a hematita), separando-os de outros minerais. O processamento de minérios requer britagem e moagem, produzindo grãos finos o suficiente para possibilitar a separação física ou físico-química do minério de outros minerais. O minério assim concentrado passa por processamento adicional, muitas vezes em outros locais, mas os rejeitos são descartados nas imediações da mina.

Embora sejam projetadas para durar por toda sua vida operacional e além (após o devido fechamento), as barragens de rejeitos (ou outras instalações de armazenamento de rejeitos) podem romper, o que ocorre com muito mais frequência do que nas barragens de água. O histórico de acidentes (Roche et al., 2017) e a experiência acumulada resultaram na elaboração de guias de boas práticas voltadas para a prevenção e redução de riscos, assim como para o preparo e a execução de ações em casos de emergência.²

Os riscos tecnológicos (ou seja, os potenciais danos ambientais e sociais de atividades antropogênicas) costumam ser avaliados considerando a probabilidade de ocorrência de eventos indesejáveis e a magnitude de suas consequências. Após uma avaliação adequada, são propostas ações de gestão e redução de risco com a finalidade de minimizar a probabilidade de acidentes e de prevenir ou minimizar suas consequências negativas. A gestão de risco deve ser uma atividade contínua nos locais de armazenamento de rejeitos, já que os riscos podem se agravar com o tempo.

O rompimento da Barragem de Fundão causou 19 fatalidades, o deslocamento de mais de 220 famílias, a poluição e degradação de 670 km de rio e de uma grande área oceânica, dentre várias outras

¹ O termo *desastre* usado neste documento é definido pelo grupo intergovernamental de trabalho da ONU sobre terminologia relacionada à redução do risco de desastres como “uma interrupção séria no funcionamento de uma comunidade ou sociedade, em qualquer escala, devido a eventos perigosos que interagem com condições de exposição, vulnerabilidade e capacidade, resultando em um ou mais dos seguintes efeitos: perdas e impactos humanos, materiais, econômicos e ambientais O efeito do desastre pode ser imediato e localizado, mas costuma ser generalizado e pode durar por muito tempo. O efeito pode desafiar ou exceder a capacidade da comunidade ou sociedade de lidar com o problema por conta própria, fazendo com que, às vezes, seja necessária assistência de fontes externas - incluindo jurisdições vizinhas, nacionais ou internacionais” (UNGA, 2016). Em suma, “os desastres interrompem o funcionamento da comunidade” (Phillips, 2016).

² Uma análise encomendada pelo ICMM (Conselho Internacional de Mineração e Metais), uma associação empresarial do setor, após o desastre da Barragem de Fundão, apresenta uma lista de documentos técnicos contendo orientações relativas ao manejo dos rejeitos de mineração (ICMM, 2016).

consequências graves de curto e de longo prazo.

À medida que as ações judiciais prosseguem e os governos e partes responsáveis trabalham para mitigar os impactos, a UICN formou um Painel Independente de Assessoria Técnica e Científica para tecer recomendações construtivas e imparciais em relação aos esforços multi-institucionais em andamento para restaurar os ambientes degradados e os meios de subsistência das comunidades afetadas.

No primeira de uma série de relatórios temáticos e documentos denominados “Questões em foco”, o Painel apresenta a sua visão dos desafios enfrentados pelos governos Federal e estaduais, as empresas e as comunidades para se recuperar do desastre. Ações emergenciais e de curto prazo foram adotadas após o rompimento para mitigar os efeitos mais graves. Em seguida, foi iniciada uma avaliação detalhada dos danos e teve início a remediação, ainda em andamento. Este relatório trata dos desafios de longo prazo e busca aproveitar as oportunidades decorrentes da estrutura de governança criada para garantir a eficácia do processo de mitigação. Este relatório é de natureza conceitual e enfoca os impactos do rompimento da Barragem de Fundão e sua mitigação. As causas e a responsabilização pelo desastre não fazem parte do escopo do Painel.

Nesse sentido, este relatório adota uma abordagem ecossistêmica³ e uma perspectiva de paisagem terrestre / marítima ao considerar os efeitos cumulativos de ações e fatores passados, presentes e razoavelmente previsíveis no futuro sobre os recursos ambientais e os valores sociais

e culturais sobre o sistema “fonte-mar” (*source-to-sea*).⁴ Impacto cumulativo é definido como “uma mudança no ambiente causada por múltiplas interações entre atividades humanas e processos naturais que se acumulam no espaço e no tempo” (CCME, 2014).

O caminho para mitigação sustentável e resiliente

O título deste relatório, “Os impactos do rompimento da Barragem de Fundão e o caminho para mitigação sustentável e resiliente”, reflete a principal preocupação do Painel: os esforços de mitigação devem gerar um legado positivo e duradouro para as gerações atuais e futuras. Este relatório usa diversos termos para descrever as ações implementadas após o desastre, coletivamente chamadas de “mitigação”, de acordo com a terminologia que costuma ser adotada em avaliações de impacto (IAIA, 2013). Tal mitigação se concentra nos seguintes objetivos: (i) remediar os danos; (ii) restaurar o ambiente biofísico a um estado prévio desejado; (iii) restaurar ou melhorar os meios de subsistência das pessoas afetadas; e (iv) compensar os danos que não puderem ser remediados. Sabe-se, no entanto, que as ações de mitigação podem - em determinadas circunstâncias - causar novos impactos, que devem ser tratados de acordo com a hierarquia de mitigação - ou seja: evitar, minimizar e compensar, nessa ordem.

Mitigação sustentável significa que a remediação e a restauração devem gerar soluções equitativas e duradouras para os problemas causados pelo rompimento da

³ A definição de “abordagem ecossistêmica” baseia-se na Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) que, por sua vez, forma a base das diretrizes seguidas pela UICN - incluindo a Comissão de Manejo de Ecossistemas. Para mais informações, por favor acesse: <https://www.cbd.int/ecosystem/publication> e <https://www.cbd.int/doc/publications/ea-text-en.pdf>

⁴ O conceito de sistemas fonte-mar (*source-to-sea*) tem sido usado para guiar as ações voltadas para a sustentabilidade no manejo de bacias hidrográficas e suas áreas costeiras e oceânicas adjacentes. Conforme definido por Granit et al. (2017), “um sistema fonte-mar (*source-to-sea*) inclui a área de terra drenada por um sistema fluvial, seus lagos e afluentes (a bacia hidrográfica), aquíferos conectados e receptores a jusante, incluindo deltas e estuários, costas e águas próximas à costa, o mar e a plataforma continental adjacentes e o mar aberto.”

barragem. Em outras palavras, as ações de remediação e restauração devem ser conduzidas de tal forma que: (i) causem danos mínimos e (ii) gerem soluções autossustentáveis que melhorem a qualidade do meio ambiente e os meios de subsistência das comunidades afetadas.

A compensação é uma ação interina, temporária e necessária apenas na medida - e durante o período - em que os impactos nocivos do rompimento da barragem ainda não foram integralmente remediados e os ecossistemas e meios de subsistência não foram restaurados.

Mitigação resiliente refere-se a soluções capazes de enfrentar ameaças atuais e futuras, especialmente a mudança climática, e as ameaças relacionadas à forma como os recursos dos ecossistemas têm sido historicamente usados e degradados dos.⁵ A adoção de soluções baseadas na natureza é de grande relevância para a resiliência dos sistemas socioecológicos; são definidas como “ações que visam proteger, manejar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, abordando os desafios da sociedade de forma eficaz e adaptativa e proporcionando, simultaneamente, o bem-estar humano e os benefícios da biodiversidade” (Cohen-Shacham et al., 2016).

Este documento está organizado em nove seções. Uma breve descrição do desastre é apresentada na seção 2, seguida por informações sintéticas sobre a bacia hidrográfica afetada e a zona costeira na seção 3. A seção 4 defende que os impactos ambientais, sociais, econômicos e culturais do rompimento da barragem precisam ser entendidos em sua extensão

total e combinada, em prol de uma mitigação eficaz. A seção 5 apresenta um resumo das ações de mitigação realizadas pelas partes responsáveis. A seção 6 considera os impactos do rompimento da Barragem de Fundão e sua devida mitigação, juntamente com outras ações humanas que têm afetado a qualidade ambiental da bacia hidrográfica e da zona costeira. A seção 7 apresenta o entendimento do Painel sobre as principais necessidades a ser consideradas para garantir a sustentabilidade e a resiliência da mitigação; a seção 8 trata das várias oportunidades decorrentes dos esforços contínuos de mitigação. Na última seção, o Painel apresenta suas recomendações para atender a essas necessidades e aproveitar as oportunidades para assegurar uma mitigação sustentável e resiliente dos impactos do rompimento da Barragem de Fundão.

⁵ Existem muitas definições de resiliência e “vários níveis de significado” (Carpenter et al., 2001), visto que o conceito é usado em disciplinas e contextos diversos (Walker e Cooper, 2011). Nos sistemas socioecológicos, a resiliência costuma ser conceituada como “a capacidade de um sistema que sofre perturbações de preservar suas funções e controles” (Carpenter et al., 2001) ou “a capacidade de um sistema de absorver perturbações e se reorganizar em um processo de mudança para reter, essencialmente, a mesma função, estrutura e retroalimentações - e, portanto, sua identidade” (Folke, 2016).

2 | Um breve relato do desastre

Antes do rompimento da Barragem de Fundão
(11 de outubro de 2015)



Depois do rompimento da Barragem de Fundão
(12 de novembro de 2015)



Vistas aéreas da Barragem de Fundão, Barragem de Santarém, Bento Rodrigues e da área a jusante, antes e depois do desastre.

Fonte: Nasa Earth Observatory (Operational Land Imager on Landsat 8, cores naturais).

Quando se rompeu, em novembro de 2015, a Barragem de Fundão liberou cerca de 39,2 milhões de m³ de rejeitos. Uma massa viscosa de rejeitos escoou em grande velocidade para o vale do córrego Santarém, uma área íngreme e estreita, erodindo seu leito e suas margens e carregando os sedimentos e a vegetação. Em menos de 30 minutos, a onda de rejeitos cobriu a comunidade de Bento Rodrigues, localizada 6 km a jusante, e se depositou sobre as margens do rio (ver fotos). A maioria das casas e outras edificações ficou coberta ou destruída.

Outras comunidades mais a jusante também foram afetadas naquela noite - Paracatu de Baixo, Gesteira e Barra Longa, a 76 km de distância da barragem. Ao todo, 19 pessoas morreram - 14 trabalhadores na barragem e cinco residentes de Bento Rodrigues. A onda de rejeitos afetou 806 edificações e destruiu 218 (Carmo et al., 2017), incluindo a igreja de São Bento, parte do patrimônio histórico local.

Casas localizadas nas planícies fluviais também foram destruídas ou invadidas pelos rejeitos, mas os moradores foram avisados a tempo e conseguiram escapar. No centro urbano de Barra Longa, uma praça da cidade foi invadida e os drenos fluviais entupidos. Foram afetados aproximadamente 2.000 ha de terra ao longo do rio (Carmo et al., 2017), pertencentes a mais de 200 propriedades rurais;⁶ a devastação da vegetação natural foi estimada em 1.469 ha (Fernandes et al., 2016). Uma rápida avaliação realizada pelo IBAMA nas semanas após o rompimento concluiu que pelo menos 21 espécies de peixes haviam sido afetadas (Ibama, 2015), ao passo que Carmo et al. (2017) ressaltam a morte de mamíferos e anfíbios.

⁶ Em alguns casos, há controvérsias ou diferentes interpretações das informações que detalham os impactos do rompimento da Barragem de Fundão. Os números aqui apresentados representam o entendimento do Painel no momento da redação do presente documento (julho de 2018).

O grande aumento das cargas de sedimentos em suspensão nos rios afetados foi acompanhado pelo aumento da concentração de metais dissolvidos na água; os sedimentos eram altamente enriquecidos de metais - incluindo o mercúrio, bastante utilizado na mineração artesanal de ouro no passado (Hatje et al., 2017).

Cerca de 24,3 milhões de m³ de partículas compostas, essencialmente, por quartzo e hematita, foram depositados em um trecho de aproximadamente 100 km do rio, entre as barragens de Fundão e Candonga, ou ficaram retidos neste reservatório. A Barragem de Candonga é uma usina hidrelétrica de 140 MW de potência instalada, com um reservatório com capacidade para 30,8 milhões de m³, que começou a operar em 2004. Um volume estimado de 18,9 milhões de m³ - composto, em sua maioria,

por partículas finas - ultrapassou o maciço de concreto da barragem e, após um percurso de 16 dias, desembocou no oceano, 670 km a jusante, espalhando-se pela área costeira (ver foto).



Vista do reservatório de Candonga a montante, obstruído pelos rejeitos (julho de 2016). Uma draga pode ser vista no canto inferior direito da foto. Acima da draga, estavam sendo feitas obras para transportar os rejeitos dragados para locais de descarte.

Foto: © Felipe Werneck/Ascom/Ibama (CC BY 2.0)

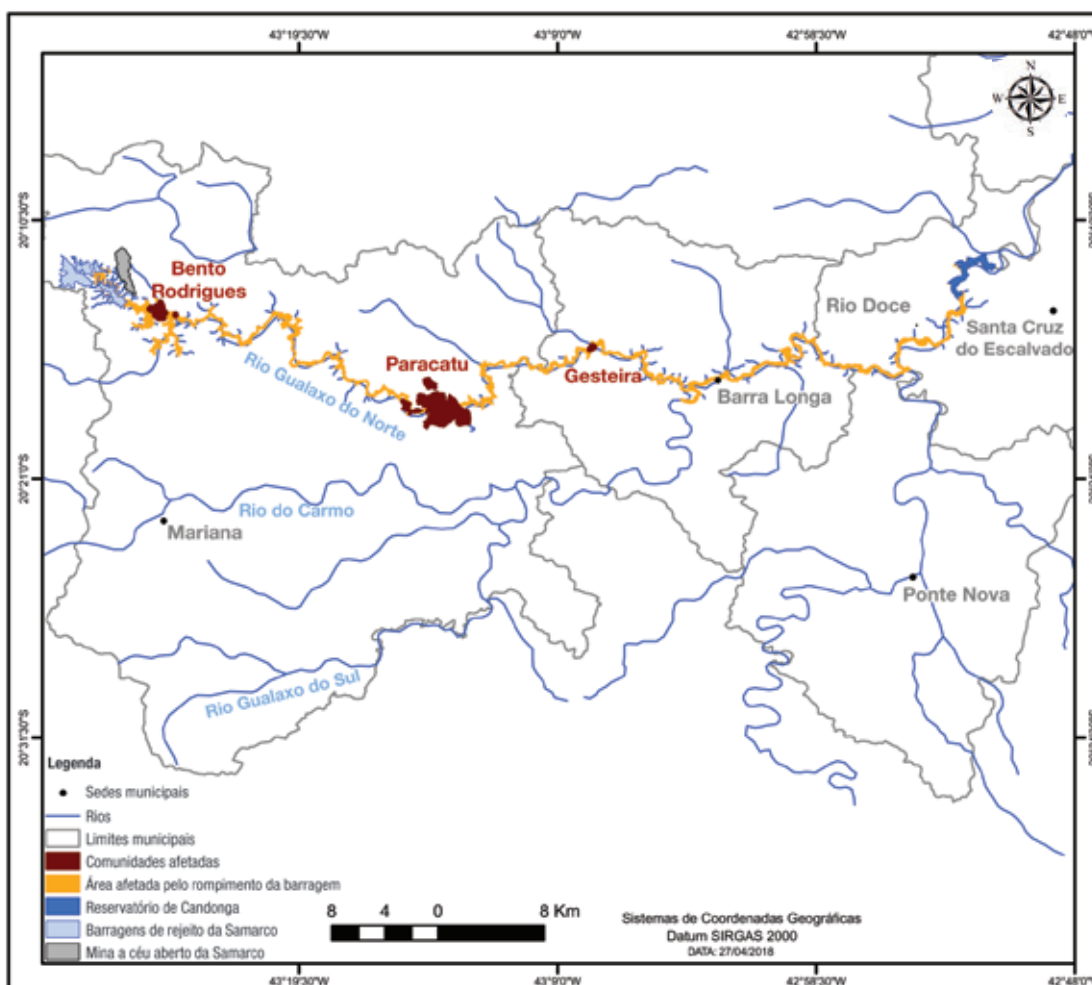


Figura 1 Mina da Samarco e localidades afetadas no Rio Gualaxo do Norte e no Rio Doce

Fonte: Fundação Renova.

Pluma de rejeitos na foz do Rio Doce em 30 de novembro de 2015

Fonte: Imagem do NASA
Earth Observatory feita por
Joshua Stevens, usando
dados do Landsat dos EUA.
Estudo Geológico.



Embora não tenham chegado até as margens do rio a jusante da Barragem de Candonga, os rejeitos se depositaram nos canais do rio e as partículas finas permaneceram em suspensão, interrompendo o abastecimento de água para as cidades e comunidades ribeirinhas a jusante - como a cidade de Governador Valadares, atingida quatro dias depois. Ao longo de sua trajetória, os resíduos também causaram mortandade de peixes e deixaram a água do rio imprópria para o consumo de animais selvagens. Foi o que ocorreu ao longo dos 40 km do Parque Estadual do Rio Doce, nas margens do Rio Doce que configuram seu limite natural ao leste. Mais a jusante, no Espírito Santo, a cidade de Colatina também sofreu com interrupções no abastecimento de água; já em Linhares,

perto da foz, diques de emergência foram construídos para evitar que os rejeitos se espalhassem para as lagoas adjacentes.

Ao chegar no delta do Rio Doce, uma pluma de rejeitos (predominantemente finos) foi depositada no estuário (Queiroz et al., 2018)⁷ ou liberada no oceano (ver foto) onde se depositou parcialmente, enterrando organismos bentônicos e alterando temporariamente os agrupamentos de macrofauna estuarina (Gomes et al., 2017), matando a biota marinha - incluindo espécies raras (Hatje et al., 2017) - e causando proliferação de algas devido à maior disponibilidade de ferro na água (ICMBio, 2017a). Imagens de helicópteros e satélites, bem como amostras de água, sedimentos e organismos, foram usadas para monitorar

⁷ Amostragens dos rejeitos depositados no estuário indicam que são compostos, principalmente, de areia fina, silte e argila (74%), com predominância dos minerais quartzo, hematita, goethita e caulinita e contendo ferro, manganês e outros metais; os solos do estuário apresentaram maior concentração de metais em comparação ao estado pré-interrupção (Queiroz et al., 2018).

a extensão da área afetada, que variava de acordo com a direção do vento, as correntes e a vazão do rio.

Métodos diversos de monitoramento geraram resultados diferentes. De acordo com a interpretação visual das imagens de satélite realizada pelo IBAMA, os rejeitos cobriram uma área de até 47.000 km² (IBAMA, 2017; ICMBio, 2017b). Esta estimativa equivale à área total onde a pluma foi observada durante o período de 15 meses, independentemente do tempo que os rejeitos permaneceram em cada local - ou seja, a distribuição instantânea da pluma superficial é menor.

O monitoramento visual por helicóptero começou no dia seguinte à chegada da

pluma ao mar. Diversos critérios foram usados para determinar os limites da pluma - todos com base na diferenciação de cores a olho nu, seguindo as orientações do órgão ambiental do Espírito Santo (IEMA, 2016). Este monitoramento concluiu que a extensão máxima da pluma “densa” (de alta turbidez) era de, aproximadamente, 1.400 km² em dezembro de 2015; a pluma mais diluída cobriu uma área de cerca de 4.800 km² (Econservation, 2017).

A área afetada situa-se, principalmente, ao sul da foz do rio (Figura 2), numa extensão de até 75 km da costa (Rudorff et al., 2018). A zona de maior turbidez está mais próxima da costa (20-30 km), predominantemente ao norte da foz. Com este método, só é possível monitorar a pluma superficial.



Pluma de rejeitos fluindo do Rio Doce para o mar, 24 de novembro de 2015. Regência aparece à esquerda. Parte da Reserva Biológica de Comboios - um local de nidificação de tartarugas - fica à esquerda (ao sul) de Regência

Fonte: Fred Loureiro/SecomES.

Figura 2 Área marinha potencialmente afetada pela pluma de rejeitos na superfície**Figura 2a (esquerda)**

Extensão da pluma de superfície, observada a olho nu por helicóptero no período de 11 de novembro de 2015 a 11 de novembro de 2016. Dependendo do momento, a extensão real da pluma pode ser menor ou muito menor, visto que sua posição e amplitude variam de acordo com os ventos, as correntes oceânicas e a vazão do rio.

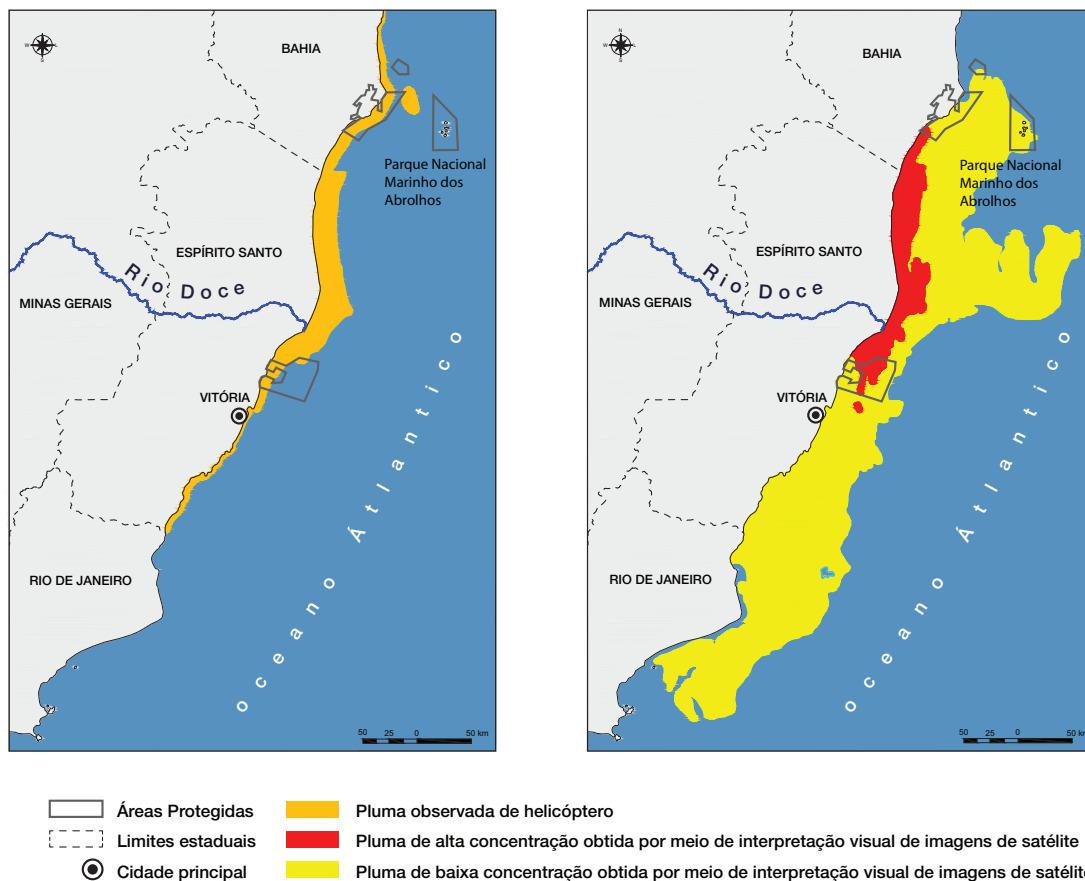
Fonte: Fundação Renova, com base nas instruções emitidas pelo IEMA (2016) e conforme relatado em Econservation (2017).

Figura 2a (direita)

Alcance máximo observado da pluma de superfície no período de 3 de dezembro de 2015 a 3 de fevereiro de 2017, conforme interpretação visual das imagens de satélite da Acqua, Terra e Suomi NPP. Dependendo do momento, a extensão real da pluma pode ser menor ou muito menor, visto que sua posição e amplitude variam de acordo com os ventos, as correntes oceânicas e a vazão do rio. A turbidez a concentração das partículas também variam no espaço no tempo. A pluma de baixa concentração pode conter sedimentos transportados por outros rios que fluem para o oceano.

Fonte: IBAMA (2017).

Artwork by Mirna Ferracini.



Finamente moídas na mina, a maioria das partículas media menos de 1 μm , dificultando sua sedimentação no oceano. Um forte ciclone atingiu a região em 8 de janeiro de 2016 e inverteu as correntes costeiras para o norte, espalhando os rejeitos até o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, no litoral da Bahia (ICMBio, 2017a; Rudorff et al., 2018), uma importante área protegida.

Parte do volume estimado de 12,9 milhões de m^3 de rejeitos que não fluíram quando a barragem se rompeu foram drenados lentamente para o sistema fluvial na estação chuvosa que se seguiu, aumentando a carga de partículas e afetando a qualidade da água por um período ainda mais longo. Barragens provisórias foram construídas para

reter o máximo de rejeitos remanescentes enquanto o projeto de uma nova barragem (definitiva) era elaborado e apresentado para aprovação.⁸

Várias outras ações emergenciais foram deflagradas pela Defesa Civil e outros órgãos do governo, além da Samarco. Algumas das ações emergenciais incluíram apoio material às famílias afetadas, alojamento temporário e fornecimento de água potável para a população afetada a jusante. Diques de emergência foram construídos nos trechos mais baixos, para evitar a entrada de águas barrentas nos lagos situados na planície de inundação que fornece água doce para Linhares.⁹

⁸ Para mais informações sobre as consequências do rompimento da barragem, visite: <http://www.ibama.gov.br/recuperacao-ambiental/rompimento-da-barragem-de-fundao-desastre-da-samarco/documentos-relacionados-ao-desastre-da-samarco-em-mariana-mg>

⁹ No entendimento de alguns, os diques, construídos como parte da resposta de emergência, devem permanecer no local por tempo indeterminado e serem reforçados a outras intervenções deveriam ser feitas para transformar as estruturas provisórias em definitivas. O Painel do Rio Doce está revendo a situação do Lago Juparanã, o maior desses lagos, e está elaborando um documento da série Questões em Foco sobre o assunto.

3 | A bacia do Rio Doce e a zona costeira

Para contextualizar adequadamente o desastre e sua mitigação dentro de uma abordagem ecossistêmica e uma perspectiva de paisagem, é necessário considerar os impactos cumulativos de outras ações humanas, passadas e presentes, que afetam o estado do meio ambiente e o bem-estar das comunidades afetadas. De fato, a situação da água e dos ecossistemas na bacia do Rio Doce antes mesmo do desastre já era bem preocupante.

A Bacia do Rio Doce cobre 86.715 km², onde residem aproximadamente 3,6 milhões

de pessoas. O rio nasce nas serras do Espinhaço e da Mantiqueira, nas terras altas de Minas Gerais, e flui para o leste rumo ao oceano Atlântico, no litoral do Espírito Santo (Figura 3).

Nos séculos XIX e XX, o desenvolvimento da região foi, em grande parte, impulsionado pelas forças dos mercados interno e externo. Com o declínio da produção de ouro em Minas Gerais, a região passou a fornecer carne e produtos lácteos para São Paulo e o Rio de Janeiro, onde as plantações de café se expandiam. No decorrer desse período,



Figura 3 A bacia do Rio Doce e a zona costeira

Fonte: Elaborado pela Fundação Renova usando mapas de autoria da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (<http://geo.fbds.org.br/>), com base em imagens do satélite RapidEye de 2013 (com resolução espacial de 5 m), processadas à escala de 1:10.000.

os assentamentos agrícolas rurais passaram a desenvolver atividades pecuárias de pequeno porte em terras públicas desocupadas; os solos férteis e ainda abundantes às margens do Rio Doce também atraíram produtores de café.

A mineração de ferro se desenvolveu a partir do início do século XX nas regiões altas da bacia, especialmente nos afluentes dos rios Piracicaba e do Carmo. Em seguida vieram as siderúrgicas, contribuindo para a concentração industrial no baixo Rio Piracicaba, região apelidada de “Vale do Aço”. Inicialmente, foi erguida uma infraestrutura de transporte ao longo do rio. A ferrovia Vitória-Minas, cuja construção começou em 1903, contribuiu para a concentração populacional e industrial a curtas distâncias do rio principal, muitas vezes em áreas propensas a enchentes (ANA, 2013).

Na região central da bacia hidrográfica, a construção da rodovia federal BR-116, na década de 1960, gerou um crescimento populacional e econômico considerável e consolidou o município de Governador Valadares como centro regional.

A energia hidrelétrica também passou a ser explorada nos locais de maior potencial - ou seja, no próprio Rio Doce e nos rios Piracicaba e Santo Antônio, seus afluentes. Existem 10 usinas hidrelétricas, das quais quatro estão no Rio Doce, e 16 usinas de pequeno porte operando na bacia. Várias pequenas centrais hidrelétricas estão em fase de planejamento (ANA, 2015).

Os ecossistemas de água doce foram severamente degradados devido à pressão imposta por uma série de atividades humanas, principalmente o tratamento inadequado do esgoto (Hatje et al., 2017). A bacia compreende 225 municípios, dos quais 93% têm menos de 20.000 habitantes. Estima-se que 70% da população receba

água tratada e que apenas 58% tenham coleta de esgoto. No entanto, apenas uma pequena parcela do volume de esgoto recebe algum tipo de tratamento; 191 municípios escoam todo o seu esgoto diretamente para os rios, sem qualquer tratamento (Consórcio Ecoplan / Lume, 2010).

O assoreamento na maioria dos afluentes é expressivo, com graves consequências para os habitats dos peixes. Os solos são altamente erodíveis. Estima-se que 58% da área da bacia apresentem alto potencial de erosão e que 30% apresentem um potencial moderado de erosão (ANA, 2013). Como consequência, a intensa perda de solo resulta em volumes consideráveis de sedimentos nos sistemas fluviais, chegando ao ponto da Barragem de Candonga receber cerca de 1 milhão de m³ de sedimentos por ano. Na foz, o Rio Doce descarrega uma média anual de 11 milhões de m³ de sedimentos, volume muito alto se comparado à descarga de sedimentos em outros grandes rios no Atlântico Oriental (Lima et al., 2005).

De acordo com os registros, há mais de 100 espécies de peixes nativos na Bacia do Rio Doce (Fernandes et al, 2016), 11 das quais estão ameaçadas de extinção (Vieira, 2009). Também foram detectadas 28 espécies exóticas (Vieira, 2009), aumentando, portanto, a pressão sobre a diversidade de peixes nativos, que ficarão ameaçados caso todas as usinas hidrelétricas planejadas venham, de fato, a ser construídas. A introdução generalizada de espécies exóticas é uma grande causa da extinção de peixes, conforme demonstra um estudo recente de Fragoso-Moura et al. (2016) sobre a extinção local de sete espécies de peixes de um lago natural no Parque Estadual do Rio Doce (um sítio Ramsar) devido à introdução de peixes não-nativos.

A cobertura vegetal natural foi severamente reduzida e fragmentada entre o final do

século XIX e meados do século XX. O aumento da extração de minério de ferro a partir dos anos 1940 nos trechos superiores da bacia e a construção de siderúrgicas contribuíram para o crescimento populacional e a expansão urbana ao longo do Rio Doce - especialmente no Rio Piracicaba, seu afluente - ao passo que o desmatamento avançou, impulsionado pela produção de madeira e carvão vegetal e como meio de sustento para uma economia predominantemente rural na região mais ao leste da bacia do Rio Doce. Atualmente, a vegetação natural remanescente é, essencialmente, vegetação secundária que cresceu em áreas que antes eram dedicadas ao cultivo agrícola ou usadas como pasto. A cobertura da terra na bacia é, predominantemente, pastagem ou de cultivo (64%) (Consórcio Ecoplan / Lume, 2010). Já as estimativas do percentual de floresta remanescente são altamente variáveis e dependem dos critérios adotados e do método de mapeamento.

A vazão média de longo prazo do rio Doce na estação hidrográfica de Colatina (de acordo com uma série histórica de 30 anos) varia entre 1.700 m³ por segundo (dezembro) e 300 m³ por segundo (agosto-setembro). Uma tendência de baixa nas vazões mínimas foi identificada nessa estação (Coelho, 2006), que registrou anos consecutivos de fortes secas em 2010-11 e 2015-16 (Rudorff et al., 2018). Nas vazões de pico (as últimas foram observadas em 1979 e 2013), o rio transborda na região do delta, inundando as regiões agrícolas.

A zona costeira próxima à foz do Rio Doce é caracterizada por terras baixas e uma planície fluviomarinha com vários lagos. As praias são extensas e associadas a dunas frontais de areia. De modo geral, o litoral do Espírito Santo está propenso a retrogradar, à exceção das proximidades das fozes dos rios, onde a maior contribuição de sedimentos terrígenos e o efeito do molhe hidráulico devido à vazão fluvial favorecem o avanço da linha costeira

a médio e longo prazo (Albino et al., 2006). Situadas em lados opostos do Rio Doce em sua foz, a praia de Povoação sofre erosão com a chegada de frentes frias, enquanto na praia de Regência ocorre deposição, fazendo com que a orla se desloque em direção ao oceano.

A plataforma continental voltada para o Espírito Santo possui dois compartimentos fisiográficos. O compartimento Bahia Sul-Espírito Santo, que se estende de Belmonte a Regência tem, em média, 230 km de largura. Já o compartimento de Tubarão, ao sul de Regência, atinge 50 km de largura. Os sedimentos transportados pelo rio tendem a se depositar na plataforma interna. Os sedimentos finos são depositados ao sul da foz do rio, a profundidades de até 30 m. No entanto, as tempestades associadas aos ventos do sul-sudeste mobilizam esses sedimentos e os transportam para o norte (Quaresma et al., 2015).

Os assentamentos humanos ao longo do rio incluem várias cidades de médio e pequeno porte, bem como comunidades rurais e terras indígenas. De montante a jusante, os maiores municípios são: Ipatinga (261.000 habitantes, situada na confluência dos rios Piracicaba e Doce), Governador Valadares (281.000 habitantes), Colatina (124.000 habitantes) e Linhares (169.000 habitantes).

As comunidades indígenas que vivem em territórios demarcados e situados na área afetada são: a comunidade Krenak, cujas terras confrontam o Rio Doce no município de Resplendor, e as comunidades Tupiniquim e Guarani, que vivem nas terras de Caieiras Velhas II, Comboios e Tupiniquim, na costa ao sul da foz do Rio Doce. Cerca de 350 krenak vivem em suas terras de 4.040 hectares; já as terras indígenas costeiras abrigam cerca de 3.000 guaranis e tupiniquins. Os krenak receberam a posse definitiva da terra oficialmente em 2001. Já os atos oficiais que reconhecem os direitos

às outras terras só foram assinados em 2011. Situadas próximas umas das outras, suas terras se estendem por 3.872 ha (Comboios) e 18.104 ha (Tupiniquim), além dos 57 ha de Caieiras Velhas II.

Quarenta municípios estão situados ao longo do rio na bacia do Rio Doce. Os indicadores sociais e econômicos desses municípios apresentam um quadro heterogêneo. De acordo com um índice de exclusão social desenvolvido para o contexto brasileiro (Guerra et al., 2014),¹⁰ nenhum desses municípios está na pior categoria, mas oito municípios apresentam condições sociais precárias, ao passo que 28 municípios figuram na faixa intermediária e quatro municípios aparecem na faixa superior, com boas condições. No entanto, os autores do estudo não apresentam os cálculos desse índice referentes a setores censitários (na terminologia oficial da IBGE), como comunidades ou bairros.

Várias propriedades rurais situadas ao longo do Rio Gualaxo do Norte (Figura 2) foram afetadas pela deposição de rejeitos ou pela limitação do acesso à água. A maioria das propriedades ao longo deste trecho de rio é pequena e gerida por agricultores familiares. Estima-se que 88% das propriedades sejam menores que 20 ha. Em outros setores da bacia, e ao longo do curso principal do Rio Doce, a predominância é de grandes propriedades que abrangem cerca de 80% da área da bacia. A produção agropecuária visa o mercado e também a subsistência. Entre os produtos mais importantes estão o leite e a carne bovina. As plantações de eucalipto para produção de celulose são importantes em certas partes da bacia hidrográfica e perto da foz do rio (não na

bacia do Rio Doce, mas nas bacias vizinhas de pequenos rios costeiros).

A pesca artesanal (para fins comerciais) é uma atividade vital para as comunidades da foz do rio e da zona costeira adjacente. Regência (com aproximadamente 1.100 habitantes) e Povoação (aproximadamente 1.600 habitantes), situadas nas margens direita e esquerda (respectivamente), são comunidades pesqueiras que desenvolveram atividades turísticas de pequena escala relacionadas à praia.

Na costa, há uma série de áreas protegidas (Figura 3). Os ambientes oceânicos e costeiras dessa região são considerados entre mais biodiversos do Atlântico Sul, e incluem recifes de corais - parte dos quais encontra-se protegida no Parque Nacional dos Abrolhos, outro sítio Ramsar.

Nesse ponto, vale ressaltar que os impactos do rompimento da Barragem de Fundão se somam e interagem com os efeitos persistentes de outras ações humanas passadas e presentes. **Identificar os efeitos agudos e imediatos da dispersão de rejeitos é relativamente simples, mas não é fácil diferenciar seus efeitos crônicos e de longo prazo.** Esse é um dos motivos por que a mitigação, para ser sustentável e resiliente, precisa tratar não apenas dos efeitos diretos e indiretos do rompimento da Barragem de Fundão, mas também de outras pressões que afetam a qualidade ambiental da bacia e o bem-estar de suas populações.

¹⁰ O índice de exclusão social (IES) suplementa e amplia o já-conhecido índice de desenvolvimento humano (IDH). Ele é composto por sete componentes (e seus indicadores correspondentes): emprego formal (percentual de trabalhadores), pobreza (ou seja, renda abaixo da metade do salário mínimo brasileiro), desigualdade social (usando o índice de Gini), alfabetização, escolaridade (percentual da população adulta que concluiu o ensino médio), proporção de jovens (parcela da população com menos de 19 anos) e violência (taxa de homicídio). O IES varia de zero a um. Ao aplicá-lo ao Brasil, Guerra et al. (2014) definiram quatro intervalos: 0,25-0,45 / 0,45-0,56 / 0,56-0,68 / 0,68-0,84. Quanto maior o índice, melhor a condição social da população. Os dados usados no cálculo do índice de cada município provêm de bases socioeconômicas oficiais, principalmente do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

4 | Os impactos do rompimento da Barragem de Fundão — Contexto

O rompimento da Barragem de Fundão causou enormes impactos biofísicos, socioeconômicos e culturais, diretos e indiretos, de curto e de longo prazo. Até o momento, ainda não há uma avaliação completa da amplitude desses impactos. A Samarco encomendou estudos iniciais para avaliar a área afetada, ao passo que órgãos do governo - especialmente o IBAMA e o ICMBio¹¹ - também realizavam seus estudos. Avaliações independentes também foram realizadas por universidades, organizações não-governamentais e outras instituições, muitas vezes com foco em questões específicas.

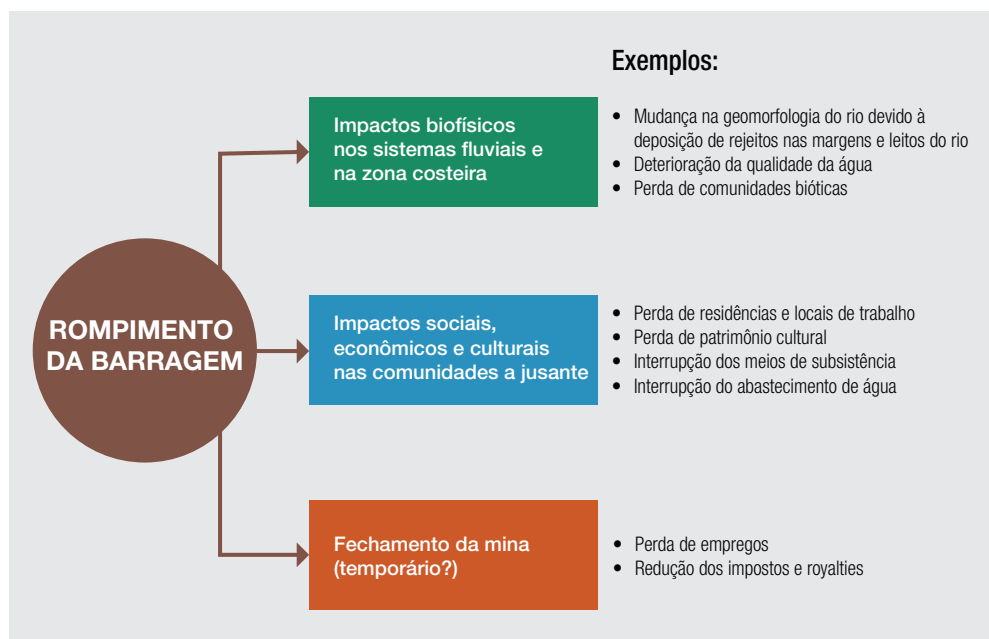
Embora ainda sejam necessárias avaliações mais detalhadas e focadas para melhor compreender cada impacto, ainda faz falta uma avaliação adequada da amplitude total e combinada de tais efeitos para garantir a efetividade do planejamento e da implementação do processo de mitigação. Isso requer a identificação e avaliação abrangente e integrada de todos os impactos relevantes e de suas interações, considerando-se os impactos diretos, indiretos e cumulativos.

Conforme ilustra a Figura 4, o rompimento da Barragem de Fundão teve dois tipos de impactos principais e diretos.

Primeiro, causou impactos biofísicos no sistema fluvial e na zona costeira (o sistema fonte-mar), afetando o canal e as margens do rio, a qualidade da água, as biotas de água doce e salgada e os ecossistemas. Segundo, causou impactos sociais, econômicos e culturais, como interrupção do abastecimento de água para comunidades e cidades ribeirinhas, perda de patrimônio cultural, perda de capacidade de geração hidrelétrica na usina de Candonga e a interrupção da pesca artesanal perto da foz e no próprio Rio Doce, onde só é permitida a pesca de espécies exóticas. O rompimento da barragem provocou a interrupção imediata das atividades de mineração e processamento mineral da Samarco, com a consequente perda de empregos e tributos e redução da receita dos municípios que dependem da mineração e do processamento mineral.

Figura 4 Rompimento da Barragem de Fundão e seus impactos diretos

Fonte: Painei Rio Doce.



¹¹ O IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis) é o órgão ambiental em nível federal. O ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) é responsável pelas áreas protegidas (chamadas unidades de conservação) e pela conservação de modo geral. Os dois órgãos fazem parte do Ministério do Meio Ambiente.

Um foco na escala local mostra que os impactos foram distribuídos desigualmente pela área afetada. As comunidades foram afetadas de muitas maneiras, desde as cabeceiras até o litoral: Bento Rodrigues foi completamente destruída e residentes morreram; ao longo do rio e em sua foz, a subsistência da comunidade indígena em Tupiniquim e de outras comunidades foi prejudicada pela degradação da qualidade da água e a proibição da pesca. Nas grandes cidades de Governador Valadares e Colatina, milhares de pessoas enfrentaram grave escassez de água, enfrentando filas para conseguir água potável.

Os impactos socioeconômicos relacionados ao fechamento da mina foram amplamente divulgados, uma vez que quase 2.000 trabalhadores foram demitidos em Mariana e Anchieta, o município costeiro onde o minério é aglomerado em pellets para transporte marítimo internacional. Em Mariana, as atividades da Samarco eram de tal porte que o município dependia, em grande parte, dos impostos recolhidos da empresa de mineração, bem como de fornecedores e outros prestadores de serviços. Além disso, de acordo com as estimativas da Samarco, suas operações antes do rompimento da barragem geravam cerca de 10 mil empregos indiretos.

Os impactos indiretos também são relevantes. A perda de empregos e a redução da renda familiar em Mariana e Anchieta também reduziram as vendas das empresas locais. Outros impactos socioeconômicos indiretos a jusante incluem o desaparecimento quase por completo do turismo em Regência, cidade situada na foz do Rio Doce.

Estes são apenas alguns exemplos que demonstram como é importante **entender**

as consequências do rompimento da Barragem de Fundão no contexto de várias escalas espaciais e temporais.

Na escala temporal, por exemplo, a Usina Hidrelétrica de Candonga teve que interromper sua geração elétrica por mais de dois anos. Comisso, foram interrompidos também os pagamentos de royalties vinculados à receita obtida pelo operador da usina ao pequeno município de Rio Doce, parcialmente inundado pelo reservatório. Quando um volume suficiente de rejeitos tiver sido dragado do reservatório e a usina voltar a funcionar, esse impacto será revertido. Outros impactos sociais temporários são os impactos (tanto adversos quanto benéficos) associados à restauração, remediação e compensação, como as perturbações em comunidades situadas em áreas onde há obras de remediação e reconstrução em andamento, e o aumento da renda familiar decorrente dos empregos criados para implementar essas ações.

Embora os **impactos variem em termos de intensidade e de distribuição espacial, temporal e social, além de sua reversibilidade**, alguns impactos ainda são pouco compreendidos porque a linha de base antes do rompimento da barragem era pouco conhecida¹² e as informações existentes são fragmentadas.

O Painel entende que, além dos estudos já realizados, é necessária uma avaliação abrangente dos impactos do rompimento da barragem, levando em consideração, para cada componente ambiental e social relevante, uma linha de base em algum ponto no passado (antes do rompimento), bem como as tendências relacionadas ao estado futuro dos componentes selecionados para análise.¹³

¹² O nível de conhecimento ecológico varia ao longo do sistema fonte-mar. As informações existentes sobre a bacia hidrográfica como um todo são limitadas, à exceção dos dados provenientes do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (Brasil LTER / CNPq) sobre os ecossistemas do trecho médio do Parque Estadual do Rio Doce e seus arredores, que têm sido informações valiosas (por exemplo, Fragozo-Moura et al., 2016; Ottoni et al., 2011; Maia-Barbosa et al., 2010).

¹³ O termo “componente ambiental e social relevante” (“valued environmental and social component”) é amplamente utilizado para enquadrar a avaliação de efeitos ou impactos cumulativos (IFC, 2013; Broderick et al., 2018).

5 | As respostas



A ruptura da Barragem de Fundão suscitou uma ação de resposta emergencial, incluindo assistência e indenizações para as pessoas afetadas, e um conjunto de medidas de mitigação de curto e de longo prazo, estruturadas em 42 programas de mitigação. Tais ações visam restaurar e melhorar a qualidade ambiental e o bem-estar das populações afetadas e são conduzidas por diversos órgãos do governo.¹⁴

As diretrizes de mitigação foram definidas em um acordo extrajudicial entre a Samarco e suas empresas controladoras - a Vale e a BHP - e os governos Federal e estaduais firmado em 2 de março de 2016. Conhecido como «Termo de Transação e Ajustamento de Conduta» (TTAC),¹⁵ este documento define as obrigações da Samarco, abrangendo não apenas todas as áreas e comunidades afetadas, mas também incluindo ações a serem implementadas em áreas circundantes ou outros setores da bacia hidrográfica. Exemplos desses programas incluem o reassentamento das famílias afetadas de Bento Rodrigues, Paracatu de Baixo e Gesteira, que têm rejeitos depositados

nas margens dos rios; a dragagem dos rejeitos retidos na Barragem de Candonga; a restauração de 40.000 ha de floresta nativa; a restauração de 5.000 nascentes; a construção de dois centros de resgate da vida silvestre; assistência para os produtores rurais afetados restaurarem seus meios de subsistência; e R\$ 500 milhões a serem investidos em coleta de esgoto e tratamento e gestão de resíduos sólidos.

Devido à natureza multijurisdicional das competências legais dos órgãos governamentais, os principais órgãos responsáveis negociaram a criação de uma estrutura inovadora: o Comitê Interfederativo, ou CIF.¹⁶ O CIF é composto por 11 Câmaras Técnicas, onde representantes de 70 órgãos de governo (federal, estaduais e municipais) se reúnem para elaborar as diretrizes de implementação dos 42 programas. O CIF, sob recomendação de suas Câmaras Técnicas, orienta as ações realizadas pela Fundação Renova, uma fundação privada criada em agosto de 2016 para implementar as medidas de mitigação.¹⁷ A Renova é financiada pela Samarco e suas empresas

Margens do Rio Gualaxo do Norte, a montante de Barra Longa, um dos locais com deposição de rejeitos. A ação corretiva nessa área visa estabilizar as margens para reduzir sua erosão e o transporte de rejeitos adicionais durante as chuvas. A foto foi tirada dois meses após os rejeitos terem sido recuperados com uma manta degradável e a grama ter sido semeada; o plantio de mudas de árvores foi planejado para o futuro. Ao fundo, pode ser vista uma passagem para o gado.

Foto: © Luis E. Sánchez.

¹⁴ Os programas são descritos em <https://www.fundacaorenova.org/en/discover-the-programs/>. Há um breve relatório de progresso disponível para cada programa, juntamente com os relatórios técnicos.

¹⁵ TTAC – Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta. Para mais informações, por favor, visite: www.samarco.com/en/plano-de-recuperacao-macro/

¹⁶ O comitê é presidido pelo Ministério do Meio Ambiente.

¹⁷ Para mais informações, por favor, visite: www.fundacaorenova.org



Barragem de Candonga, vista a montante (setembro de 2017). A água está visivelmente carregada de sedimentos finos. O trabalho de dragagem está sendo realizado.

Foto: © Luis E. Sánchez.



O processamento dos artefatos escavados em Bento Rodrigues - para catalogação, armazenamento e futuro retorno à comunidade - é uma medida de compensação em andamento.

Foto: © Luis E. Sánchez.

controladoras, e é administrada por um Conselho Curador composto por membros das empresas e um representante do CIF.¹⁸

Outra tarefa do CIF é monitorar a implementação dos programas e avaliar seus resultados. O comitê também elabora termos de referência detalhados para os programas - e, quando aplicável, também para os subprogramas. O CIF recebe apoio técnico dos órgãos de governo de acordo com suas respectivas competências legais - por exemplo, Assuntos Indígenas (FUNAI), Direitos Humanos e outros. No entanto, visto que muitas dessas competências se sobrepõem - especialmente entre as esferas de ação federal e estadual - o CIF atua como fórum para sanar essas diferenças. No entanto, a supervisão das ações de remediação continua, em grande parte, a cargo de cada instituição.

Várias ações de remediação exigem aprovação administrativa, incluindo uma licença ambiental emitida pelo IBAMA ou pelo órgão ambiental de cada Estado. Por exemplo, o reassentamento da comunidade de Bento Rodrigues requer uma licença concedida pelo órgão ambiental de Minas Gerais. Além disso, a ação precisa atender às exigências regulatórias municipais. A construção do local de reassentamento

começou no início de julho de 2018. Em contraste, a licença para a dragagem dos rejeitos no reservatório de Candonga foi concedida em caráter de emergência. Ao lidar com desastres provocados pelo homem, as autoridades sofrem pressão para responder com rapidez e consistência e se responsabilizar perante a indignação da opinião pública. No caso do Rio Doce, as ações prioritárias incluem a contenção dos rejeitos remanescentes na área da mina (que não foram transportados rio abaixo quando a barragem se rompeu) e dos rejeitos depositados no canal do rio e sobre as margens a jusante, com vistas a reduzir seu fluxo contínuo no sistema fluvial. Outras ações prioritárias consistiram no reassentamento de Bento Rodrigues (incluindo o resgate de objetos pessoais), a escavação arqueológica da igreja destruída e a catalogação de todos os seus artefatos.

Ao adotar-se uma perspectiva de paisagem, os impactos do rompimento da Barragem de Fundão e sua devida mitigação devem ser considerados juntamente com outras ações humanas que tenham afetado a qualidade ambiental da bacia hidrográfica e da zona costeira. Uma grande preocupação de todas as partes interessadas é saber se as respostas (ou seja, os resultados dos 42 programas) estão sendo efetivas.

¹⁸ Em 25 de junho de 2018, um novo Termo foi assinado pela Samarco, suas controladoras e o Ministério Público estabelecendo mudanças na governança da Fundação Renova. Este novo documento não altera os programas de mitigação em andamento, mas responde às duradouras críticas de que, “em relação à composição institucional da Fundação, não foram incluídos mecanismos ou dispositivos específicos para garantir a participação efetiva das comunidades afetadas no processo de tomada de decisão sobre o projeto e a execução dos programas previstos no Acordo [TTAC]” (Tuncak, 2017). O processo de elaboração do TTAC também é criticado por este mesmo autor, que é o Relator Especial das Nações Unidas sobre direitos humanos e substâncias e resíduos perigosos: “Em relação ao processo de negociação do Acordo entre as autoridades públicas e as Empresas, houve poucas consultas com as partes impactadas ou afetadas pela catástrofe, principalmente as comunidades que vivem perto da barragem de rejeitos que se rompeu, aquelas localizadas a jusante e as populações indígenas que habitam as proximidades do Rio Doce. (...) O acordo ocorreu em menos de oito semanas, prazo extremamente exiguo para um desastre ambiental dessa magnitude.” (Tuncak, 2017).

6 | Resultados pretendidos e os impactos da mitigação

Reparar os danos e restaurar os ecossistemas afetados e os meios de subsistência das comunidades afetadas são os objetivos gerais das ações de mitigação. No entanto, vale ressaltar que a mitigação, mesmo quando bem-sucedida, pode causar novos impactos prejudiciais. Na realidade, tanto as ações de emergência (incluindo a resposta regulatória) quanto os programas de remediação, restauração e compensação são, eles próprios, fontes de novos impactos adversos dos pontos de vista ambiental e social (é por isso que muitos deles exigem licenças ambientais). Por exemplo, os impactos das obras de remediação vão desde incômodos causados pela poeira e pelo ruído das máquinas durante a remoção

de rejeitos próximos às casas de Barra Longa até a destinação de território adjacente para o depósito de rejeitos dragados do reservatório de Candonga. A foto na próxima página ilustra o impacto adverso de uma ação corretiva sobre o patrimônio cultural.

Outros exemplos de impactos adversos causados por respostas regulatórias incluem a mudança dos modos de vida das comunidades pescadoras decorrentes da proibição de pesca no rio e em sua foz.¹⁹ Com a proibição desta atividade tradicional, o significado cultural das atividades relacionadas à pesca ficará em risco durante a vigência da proibição. O programa de pagamentos mensais implementado pela

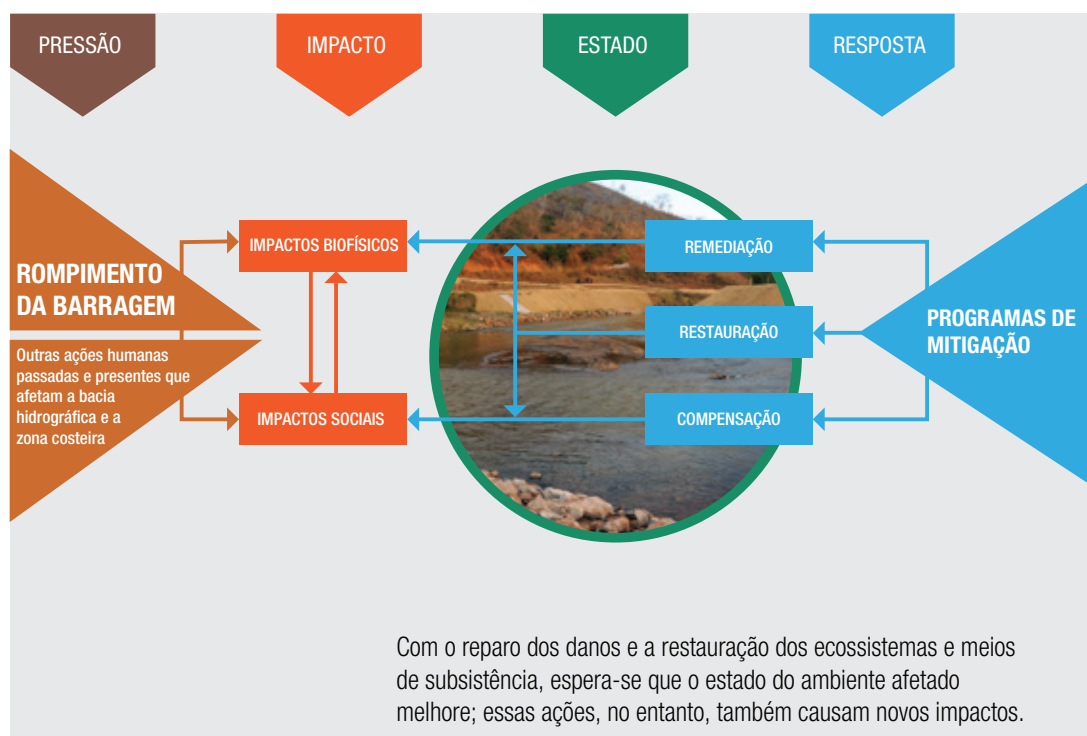


Figura 5
Representação contextual do estado do ambiente afetado pelo rompimento da Barragem de Fundão, ações humanas atuais e passadas na Bacia do Rio Doce e medidas para mitigar os impactos do rompimento

Fonte: Painel do Rio Doce.

¹⁹ O Painel está elaborando um documento da série Questões em Foco sobre a pesca no Rio Doce.



Um muro de pedra histórico da Igreja de São Bento até o Rio Gualaxo do Norte, em Bento Rodrigues, foi coberto para protegê-lo contra os efeitos do aumento do nível da água devido à construção de uma barragem temporária para reter os rejeitos. O turismo na área foi interrompido quando a represa também inundou um trecho da Estrada Real, uma atração turística do início do século 19 que ligava os portos marítimos às regiões produtoras de diamantes e ouro mais ao norte.

Foto: © Luis E. Sánchez.

Renova tem atraído pessoas residentes em outras localidades em busca de indenizações.

As ações de emergência - como a interrupção do fluxo natural entre o Lago Juparanã e o Rio Doce - também podem ameaçar os ecossistemas caso se tornem perenes, sem uma avaliação prévia e adequada de seus impactos.

Essas são evidências de que as ações de mitigação precisam ser cuidadosamente planejadas e discutidas com uma ampla gama de partes interessadas (Tuncak, 2017) e, tanto quanto possível, necessitam de bases científicas (Philips, 2016).

A Figura 5 (página 17) ilustra essa cadeia de impacto usando um modelo de pressão-impacto-estado-resposta aplicado à avaliação dos impactos cumulativos (Neri et al., 2016).

O ambiente biofísico e social afetado pelo rompimento da barragem também é influenciado - e amplamente degradado - por ações humanas (passadas e presentes) não apenas nas áreas diretamente afetadas, mas também na bacia hidrográfica e na zona costeira. Como consequência, essas e outras ações podem prejudicar a eficácia das ações de mitigação. Enquanto a mitigação realizada pela Renova se concentra na remediação, restauração ou compensação dos impactos do rompimento da Barragem de Fundão, podem ser necessárias ações adicionais de mitigação - **orientadas pela**

sustentabilidade e que abarquem toda a escala da bacia hidrográfica e da paisagem terrestre / marinha - para que esses esforços se tornem sustentáveis e resilientes. Elas serão tratadas na próxima seção.

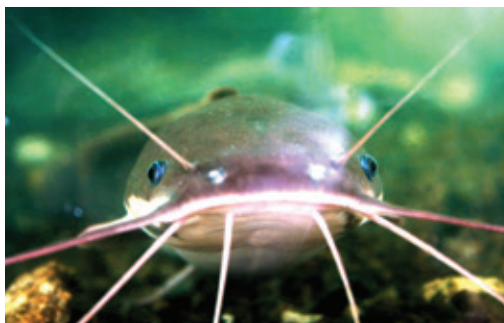
7 | Condições necessárias para resultados de mitigação sustentáveis e resilientes

Avaliar a eficácia dos 42 programas não faz parte do objetivo deste documento conceitual. A Fundação Renova dispõe de um mecanismo interno de garantia de qualidade e, nesse assunto, também recebe assessoramento de auditores externos. A Fundação Renova se reporta ao CIF e aos órgãos governamentais responsáveis por avaliar os resultados e, caso necessário, exigir ajustes ou correções. Esta seção trata de uma perspectiva mais ampla, de longo prazo e focada na paisagem terrestre / marinha; o Painel do Rio Doce acredita que essa perspectiva é essencial para garantir uma mitigação sustentável e resiliente. Para que isso seja possível, no entanto, os pré-requisitos abaixo devem ser cumpridos a contento.

7.1 Considerar os impactos cumulativos das atividades humanas em um contexto de paisagem terrestre / marinha. Os ecossistemas e o bem-estar humano no Rio Doce e na zona costeira - áreas severamente afetadas pelo rompimento da Barragem de Fundão - já sofriam estresse devido às pressões históricas e atuais. Nesse sentido:

7.1.1 As medidas para restaurar o ambiente biofísico diretamente afetado serão efetivas somente se outras ações eliminarem ou reduzirem os fatores de estresse. Por exemplo, as comunidades de peixes autóctones estão em declínio, devido ao extenso histórico de desmatamento na região, bem como à construção de barragens, poluição da água, sobrepesca e introdução de espécies exóticas. Embora os rejeitos tenham prejudicado as populações de

peixes, as ações de mitigação direta - como a translocação da biota de água doce nativa de outros setores da bacia hidrográfica - não terão a eficácia esperada se não forem acompanhadas de ações para solucionar as causas preexistentes do declínio das populações de peixes nativos.



Bagre, peixe nativo do Rio Doce

Foto: © Franklin Cirino Ribeiro (CC BY-SA 3.0)

7.1.2 Qual linha de base deve ser considerada ao definirem-se as metas de restauração? A remediação deve ter como objetivo restaurar os componentes ambientais às condições em que estavam imediatamente antes da barragem se romper? Ou os esforços de mitigação também devem reunir os recursos financeiros e humanos de outras iniciativas e fontes que visam restaurar ou melhorar os sistemas de suporte à vida na bacia hidrográfica?

7.1.3 Qual deve ser o horizonte de tempo para avaliar a eficácia da mitigação no futuro? Para que sejam duradouros, os esforços devem levar em conta as ameaças atuais e futuras - especialmente a mudança climática (ver item 7.5, abaixo).

7.2 Adotar uma abordagem multiescalar e multitemporal para guiar as ações de mitigação. Para levar em conta os impactos cumulativos, é necessário acordar com as partes interessadas - especialmente os órgãos reguladores - as escalas temporais e espaciais mais adequadas para: (i) avaliar os impactos reais do rompimento da barragem; e (ii) definir as metas de remediação e restauração e seus devidos cronogramas.

7.3 Avaliar os resultados das ações de mitigação de forma integrada. Cada programa segue sua própria lógica e deve cumprir condições e exigências legais específicas definidas pelos órgãos de governo responsáveis por supervisionar sua implementação. Até agora, os avanços na implementação dos programas têm sido desiguais. A Fundação Renova comunica ao CIF mensal e anualmente o avanço de cada programa e também divulga informações em seu sítio internet e outras mídias. Além disso, cada programa passa por uma auditoria independente. Não obstante, os resultados não podem ser avaliados apenas individualmente, devido às inevitáveis sobreposições ou sinergismo entre certos programas. Por exemplo, quatro programas visam diretamente beneficiar as propriedades rurais, incluindo a “Retomada das atividades agropecuárias”, a “Recuperação de áreas de preservação permanente”, a “Recuperação de nascentes” e um programa de apoio ao Cadastro Ambiental Rural (CAR) e à implementação dos Programas de Regularização Ambiental (PRAs) de propriedades rurais.

7.4 Avaliar a sustentabilidade e a resiliência dos resultados da mitigação. Quando cada programa atingir plenamente às suas metas, será necessário considerar as condições necessárias para manter seus resultados e também a sua capacidade de resistir a pressões externas no futuro, sem colapso. Por exemplo, pode-se dizer que o objetivo da restauração das nascentes

terá sido atingido depois que a vegetação nativa prosperar e estiver protegida contra a invasão de gado; no entanto, a menos que os proprietários das terras e os agricultores entendam e “abracem” os benefícios da proteção das nascentes, eles não serão perenes. Portanto, é necessário identificar e encontrar soluções para fazer face às ameaças à sustentabilidade e à resiliência de cada programa.

7.5 Considerar a mudança climática. A adoção de uma perspectiva de paisagem terrestre / marinha necessita uma perspectiva intergeracional de longo prazo. A mudança climática é uma das maiores ameaças para a atividade humana e, portanto, requer estratégias de adaptação em nível local e regional. Se os riscos climáticos não forem considerados adequadamente no processo de concepção da mitigação, os objetivos de longo prazo podem não ser atingidos. Os 42 programas em andamento, no entanto, não incluem qualquer consideração sobre a mudança climática. A mudança climática pode afetar os resultados da mitigação de várias maneiras. Por exemplo, longos períodos de seca podem prejudicar o sucesso da restauração das nascentes e chuvas muito intensas podem desestabilizar os rejeitos depositados nas margens do Rio Gualaxo do Norte.

7.6 Abordar e / ou levar em conta as incertezas relacionadas aos resultados de mitigação. Diversos fatores podem ameaçar os programas de mitigação e dificultar o alcance de seus objetivos, tais como: linhas de base pouco conhecidas, compreensão insuficiente de cada situação problema na fase de concepção dos programas, dificuldades de implementação, falta de aceitação das partes interessadas e fatores externos (como a mudança climática). É necessário que todos os envolvidos estejam preparados para a gestão adaptativa a fim de poder lidar com situações imprevistas que possam impedir que os programas atinjam

suas metas; em alguns casos, as metas precisarão ser redefinidas conforme avance a implementação dos programas.

7.7 Disponibilizar dados e informações acessíveis a um público mais amplo.

O processo de remediação gera um grande volume de dados e informações, armazenados por órgãos governamentais, empresas de consultoria e pela Fundação Renova. Costuma ser dito que, depois do desastre, o Rio Doce passou a ser o rio “mais bem monitorado” do país. Porém, o monitoramento é um meio, não uma finalidade, e deve ser utilizado em apoio à gestão e à tomada de decisões. Além disso, os dados e informações coletados no âmbito dos 42 programas, podem ser usados para diversos outros fins, como pesquisa científica, gestão de bacias hidrográficas e planejamento do uso da terra. Por isso, deve ser elaborado um plano para tornar os dados publicamente, em consulta com os órgãos relevantes do governo e com a comunidade científica.

7.8 Recorrer às lições aprendidas e divulgá-las. Lidar com um desastre dessa escala e com tamanhas consequências é algo que necessitou - e ainda necessita - de criatividade, negociação e amplo

envolvimento das partes interessadas. Suportar as consequências do desastre - além dos processos de recuperação e adaptação à nova situação pós-desastre - é uma experiência coletiva que possibilita uma aprendizagem prática nos níveis individual, social e organizacional. Não há dúvida de que os indivíduos e comunidades afetados, os órgãos de governo, as organizações da sociedade civil e todos os atores envolvidos aprenderam muito. Essas lições precisam ser compartilhadas. Por exemplo, para implementar ações de restauração florestal, é necessário envolver os pequenos produtores rurais - muitas vezes já idosos e pouco propensos a novas práticas - e encontrar soluções que alinhem a conservação da natureza com a manutenção da capacidade produtiva das pequenas propriedades. Essas lições podem ser importantes para outros atores na bacia do Rio Doce, no Brasil e em outros países. A menos que a aprendizagem social seja devidamente registrada e interpretada, corre o risco de ser diluída e não apropriada pelos atores relevantes. Do ponto de vista organizacional, as lições podem acabar não sendo registradas e usadas internamente para melhorar o desempenho das organizações.

Vista do Rio do Carmo nas proximidades de sua foz no Rio Doce. A paisagem é típica das partes altas do vale do Rio Doce, com um mosaico de pastagens, pequenas áreas de culturas agrícolas de ciclo anual e capões de vegetação florestal secundária (no topo da colina). Observe-se a ausência de vegetação ciliar. As águas têm alta carga de poluentes orgânicos provenientes de áreas urbanas a montante. A margem do rio visível no centro da foto foi recentemente protegida contra erosão, após a passagem dos rejeitos.

Foto: © Luis E. Sánchez.



8 | O caminho à frente — Aproveitando as oportunidades

Em vista das várias consequências trágicas do rompimento da barragem, deve-se reconhecer que o esforço e os recursos mobilizados para fins de mitigação também suscitaram uma série de oportunidades que podem ser aproveitadas para melhorar a qualidade ambiental e o bem-estar das pessoas na bacia do Rio Doce e na zona costeira. Essas oportunidades incluem (mas não se limitam) ao seguinte:

8.1 A resposta ao desastre exigiu que as autoridades e órgãos de todas as esferas de governo trabalhassem juntos e ouvissem as partes interessadas. A resposta ao desastre fez surgir uma nova estrutura de governança. Embora essa estrutura inevitavelmente se sobreponha às estruturas já existentes, em particular ao Comitê de Bacia Hidrográfica criado pela Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos, ela pode ser melhorada e usada para promover outras iniciativas de cooperação e novas abordagens (muito necessárias). Um exemplo dessa última questão é a modernização da governança dos recursos hídricos, proposta pelo Water Governance Facility Programme da ONU²⁰ para fortalecer a segurança da água. Um exemplo de possível colaboração é a oportunidade de Minas Gerais e Espírito Santo implementarem um sistema comum de registro e monitoramento do Cadastro

Ambiental Rural (CAR) e desenvolverem regras para a regularização de propriedades rurais por meio do PRA (Programa de Regularização Ambiental), com incentivos adicionais para o cumprimento da legislação (Código Florestal).²¹

8.2 A resposta ao desastre gerou um enorme volume de dados e informações: se forem disponibilizados de modo facilmente acessível, esses dados e informações podem ser usados para melhorar a gestão de recursos hídricos, o planejamento do uso da terra e outras ações de restauração, bem como a definição das prioridades de conservação da biodiversidade e poderão também ser usados em várias outras frentes. Um exemplo é o monitoramento da região oceânica, uma área de 520 km de extensão, de onde já haviam sido coletadas mais de 48.000 amostras biológicas, de água e sedimentos até março de 2018.

8.3 Universidades do Espírito Santo estão organizando uma ação conjunta para avaliar o estado da biodiversidade em parte da área afetada - principalmente no litoral e no oceano. Na medida que os objetivos de pesquisa puderem ser conciliados, em tempo hábil, com as necessidades das políticas públicas, esse formato pode ser estendido a outras áreas

²⁰ Para mais informações, por favor, visite: <http://watergovernance.org/>

²¹ O Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) - um sistema georreferenciado baseado na internet, desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente e replicado pelos estados - possibilitará a documentação de mais de 5 milhões de propriedades rurais, aumentará a transparência e será um caminho para o cumprimento das leis ambientais. Segundo a lei, os estados que já tivessem implementado seus sistemas de licenciamento ambiental rural teriam permissão para manter seus próprios CARs, desde que os cadastros fossem consistentes com o SICAR; porém, do ponto de vista da consistência, o ideal seria que todos adotassem o mesmo protocolo e as mesmas ferramentas de mapeamento. O sistema funciona online e calcula automaticamente os passivos legais, simplesmente fazendo o carregamento dos limites georreferenciados das propriedades e demarcando os corpos d'água e as áreas florestais. Espera-se que essa ferramenta facilite a demarcação automatizada de áreas potencialmente comercializáveis e sinalize mudanças no uso da terra, reduzindo assim os custos de monitoramento e fiscalização. Espera-se que o SICAR também facilite o mercado de Cotas de Reserva Ambiental (CRA), um tipo de título de desenvolvimento negociável e autorizado pelo novo Código Florestal.

carentes de pesquisas e pode também fomentar uma iniciativa semelhante com universidades e grupos de pesquisa de Minas Gerais. Sempre que possível, o desenvolvimento de protocolos de pesquisa compartilhados e usados pelos diversos grupos de pesquisadores pode ajudar na análise dos dados coletados.

8.4 A resposta ao desastre está contribuindo para a aprendizagem social

nas comunidades afetadas e nas organizações da sociedade civil. Se esse aprendizado puder ser registrado e usado / adaptado no enfrentamento de outros problemas (atuais e futuros), surgirão mais oportunidades de desenvolvimento sustentável na bacia.

8.5 Os programas de mitigação implementados pela Fundação Renova injetam recursos financeiros e humanos para melhorar a qualidade ambiental na bacia (por exemplo, por meio de saneamento) e podem ser usados para alavancar recursos financeiros de outras fontes para ajudar a sanar problemas históricos e facilitar a adoção de mecanismos de longo prazo para dar apoio contínuo aos esforços de restauração e proteção ambiental.

8.6 A resposta ao desastre deve contribuir para a aprendizagem organizacional dos órgãos encarregados.

Um exemplo é a Portaria 70389/2017 do antigo Departamento Nacional de Produção Mineral (atualmente Agência Nacional de Mineração)²² sobre a segurança das barragens de mineração, aproximando os requisitos nacionais das recomendações

internacionais (UNEP, 2001). Outro exemplo é o desenvolvimento de critérios de avaliação de risco ecológico, para informar as decisões relacionadas ao manejo dos rejeitos depositados nos canais, margens e várzeas dos rios. Também podem ser identificadas oportunidades para melhorar e fortalecer o processo de licenciamento ambiental, com base nos conhecimentos acumulados pelo IBAMA e órgãos ambientais estaduais nos atuais esforços de mitigação.

8.7 Os processos que possibilitaram o início da mitigação também geraram grandes oportunidades de aquisição e compartilhamento de conhecimentos

sobre a concepção, implementação, monitoramento e avaliação de programas de mitigação. Os conhecimentos sobre a bacia hidrográfica e a zona costeira são um legado positivo e podem ser úteis em situações semelhantes em outros locais.

A Fundação Renova pode desempenhar um papel importante na efetivação do potencial dessas e outras oportunidades. Embora a Fundação Renova obviamente não possa agir sozinha e tenha um alcance limitado enquanto entidade privada, sua capacidade de alavancagem pode ser usada para transformar essas oportunidades em resultados sociais e ambientais positivos.

²² Essa Portaria, no âmbito da Política Nacional de Segurança de Barragens, substituiu as portarias anteriores (2012) e aumentou as exigências de preparo para ações emergenciais e de alerta para as populações em situação de risco.

9 | Conclusões e recomendações — Um roteiro

Com base nas necessidades e oportunidades descritas nas seções anteriores, esta seção final apresenta uma série de recomendações para ações futuras. Embora estejam voltadas à Fundação Renova no contexto do Rio Doce, essas recomendações podem ser úteis para outras partes interessadas e podem ser usadas como um roteiro em outras situações de desastre que afetem grandes áreas de uma bacia hidrográfica. A implementação das recomendações exige parceria e colaboração entre as várias partes interessadas.

As recomendações estão resumidas no quadro 1 (direita) e são descritas resumidamente. As partes interessadas devem ser consultadas antes da implementação das recomendações. Também devem ser elaboradas orientações detalhadas para cada recomendação.

As recomendações são explicadas resumidamente nas próximas páginas. Especificações detalhadas (ou termos de referência) devem ser elaborados com a participação das partes interessadas relevantes, antes das recomendações serem implementadas.

“ *Em vista das várias consequências trágicas do rompimento da barragem, deve-se reconhecer que o esforço e os recursos mobilizados para fins de mitigação também suscitaram uma série de oportunidades que podem ser aproveitadas para melhorar a qualidade ambiental e o bem-estar das pessoas na bacia do Rio Doce e na zona costeira.* ”



Rio Doce Panel

PRÉ-REQUISITOS A SEREM CONSIDERADOS NA MITIGAÇÃO	RECOMENDAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> ■ Considerar os impactos cumulativos das atividades humanas em um contexto de paisagem terrestre / marinha ■ Adotar uma abordagem multiescalar e multitemporal para guiar as ações de mitigação 	Elaborar uma avaliação ampla dos impactos do rompimento da barragem e levar em consideração - em relação a cada componente social e ambiental valorizado e relevante - a linha de base em algum momento no passado (antes do rompimento) e as tendências relativas ao estado dos componentes valorizados
<ul style="list-style-type: none"> ■ Avaliar os resultados das ações de mitigação de forma integrada 	Realizar uma avaliação integrada dos resultados dos programas de mitigação
<ul style="list-style-type: none"> ■ Avaliar a sustentabilidade e a resiliência dos resultados da mitigação 	Identificar ameaças à sustentabilidade e à resiliência dos resultados de mitigação e saná-las
<ul style="list-style-type: none"> ■ Levar a mudança climática em consideração 	Rever os modelos regionais de mudança climática e propor melhorias nos programas de mitigação para sanar os elementos que apresentam risco aos resultados
<ul style="list-style-type: none"> ■ Considerar as incertezas relacionadas aos resultados de mitigação 	Desenvolver um plano de gestão adaptativa
<ul style="list-style-type: none"> ■ Disponibilizar dados e informações acessíveis a um público mais amplo 	Desenvolver e implementar um plano de compartilhamento de dados e informações
<ul style="list-style-type: none"> ■ Recorrer às lições aprendidas e divulgá-las 	Iniciar e manter ações para reunir e divulgar informações e conhecimentos relevantes

Quadro 1. Ações recomendadas em relação à sustentabilidade e resiliência da mitigação

Recomendação 1

Elaborar uma avaliação ampla dos impactos do rompimento da barragem e levar em consideração - para cada componente social e ambiental relevante selecionado para análise - a linha de base em algum momento no passado (antes do rompimento) e as tendências relativas ao estado futuro desses componentes.

Considerando-se os conhecimentos disponíveis, devem ser identificados todos os impactos que possam ser relevantes para o rompimento da barragem; a magnitude desses impactos deve ser descrita por indicadores adequados e sua significância deve ser avaliada, considerando-se o estado de cada componente ambiental e social logo antes do rompimento e, conforme o caso, também em período anterior. Essa avaliação deve ser elaborada com base em informações e conhecimentos existentes, mas as lacunas, incógnitas e incertezas também devem ser ressaltadas. O Painel recomenda a elaboração de um relatório breve, porém abrangente, objetivo e adequadamente ilustrado, para ampla divulgação.

Essa avaliação abrangente de impacto deve ser usada em uma revisão sistemática e completa dos 42 programas que, por sua vez - e em conjunto com outras fontes (como as recomendações do Conselho Consultivo da Fundação Renova) - pode ser apresentada ao Comitê Interfederativo para subsidiar a atualização, correção ou melhoria desses programas, conforme necessário, com base no conceito de gestão adaptativa (Recomendação nº 5), fazendo uso (sempre que possível) de soluções baseadas na natureza.

Recomendação 2

Realizar uma avaliação integrada dos resultados dos programas de mitigação

Devido às exigências regulatórias, para cada programa são enviados relatórios que, por sua vez, são também avaliados separadamente, apesar das óbvias conexões entre alguns deles - por exemplo, a restauração florestal, a proteção das nascentes e a retomada da produção agrícola nas fazendas afetadas. Além dos relatórios e avaliações obrigatórios, a avaliação tanto do sinergismo quanto de possíveis efeitos contraditórios desses programas é importante para melhorar os resultados e aumentar a relação custo / eficácia da mitigação.

Essa avaliação integrada pode ser feita de várias formas e, de preferência, deve considerar as perspectivas das principais partes interessadas. Por exemplo, os pescadores devem participar ativamente da avaliação integrada dos programas direta ou indiretamente relacionados à pesca. Os resultados da avaliação integrada devem subsidiar a gestão adaptativa (Recomendação nº 5) e, eventualmente, podem resultar em sugestões para o Comitê Interfederativo acerca de fusão, reformulação ou melhor integração de determinados programas.

Recomendação 3

Identificar ameaças à sustentabilidade e à resiliência dos resultados de mitigação e saná-las

Para que os resultados sejam duradouros, é muito importante que as ameaças sejam devidamente compreendidas e que ações adequadas sejam implementadas para reduzir os riscos de fracasso a longo prazo. Levando-se em conta a importância de ecossistemas saudáveis para o objetivo de mitigação sustentável e resiliente, as soluções baseadas na natureza devem receber a devida atenção. Por exemplo, o sucesso da restauração florestal pode ser ameaçado por diversos fatores, renda insuficiente obtida por pequenos agricultores e períodos de seca mais longos associados à mudança climática. Diversas ações devem ser consideradas para melhorar a sustentabilidade do programa de restauração florestal, como uma compensação (monetária) para os pequenos agricultores pela conservação e manutenção das florestas, possivelmente com um limite máximo relativo à duração dos pagamentos (em anos). Outro exemplo: quando a pesca for liberada, os estoques pesqueiros podem ser ameaçados pela sobrepesca, caso não haja controles adequados em vigor. Tais controles (quotas pesqueiras e áreas de proibição, entre outros) dependem de instituições e órgãos reguladores e raramente funcionam quando não há consenso geral entre os usuários do recurso quanto a seus respectivos direitos e responsabilidades.

Várias ferramentas podem ser usadas para identificar e lidar com ameaças, como a análise de partes interessadas e a análise FOFA (forças-oportunidades-fraquezas-ameaças). A identificação das ameaças e a revisão das ações adequadas devem ser aplicadas sistematicamente a todos os programas; em certos casos, podem resultar em propostas de modificação, a serem apresentadas para consideração do Comitê Interfederativo.

Recomendação 4

Analisar os modelos regionais de mudança climática e propor melhorias nos programas de mitigação para sanar os elementos que põem em risco os resultados

Deve ser realizado um estudo para aplicar o conhecimento atual sobre mudanças climáticas em escala regional e avaliar suas consequências para a sustentabilidade e a resiliência dos resultados almejados por cada programa. Os resultados desse estudo devem ser combinados com as ações da Recomendação nº 3 e encaminhados ao Comitê Interfederativo como propostas de revisão e atualização dos programas de mitigação.

Apesar das limitações atuais dos conhecimentos relacionados à modelagem de mudanças climáticas em escala regional, essa análise é urgentemente necessária para melhorar a relação custo / eficácia de vários programas de mitigação. Possíveis mudanças dos padrões de chuva são apenas um dos exemplos de mudanças previsíveis cujas consequências sobre a sustentabilidade das ações de mitigação requerem uma avaliação mais aprofundada. A análise deve levar em consideração a relação custo / eficácia da integração da mitigação de emissões (associada a investimentos de restauração) aos esforços de preparo para os riscos climáticos regionais (adaptação).

Recomendação 5

Desenvolver um plano de gestão adaptativa

Um plano de gestão adaptativo deve identificar sistematicamente os riscos atrelados a cada programa - ou seja, os riscos de o programa não atingir os objetivos e resultados pretendidos. O plano deve estipular requisitos ou recomendações para avaliar, periodicamente, o desempenho e corrigir as ações, conforme necessário. Sempre que possível, é importante que as soluções baseadas na natureza sejam consideradas como ações. No entanto, vale uma ressalva: não há muito espaço para flexibilidade na implementação dos 42 programas definidos desde o início. Toda ação precisa de aprovação da autoridade competente e dos outros órgãos que participam de uma ou mais das câmaras técnicas do Comitê Interfederativo.

A análise de risco pode ser usada para informar o plano de manejo adaptativo. As propostas que alteram os programas precisam ser fundamentadas e baseadas nas conclusões das recomendações 1 a 4. Ao redesenhar, alterar ou atualizar os planos de mitigação, deve-se dar preferência às soluções baseadas na natureza.

Recomendação 6

Desenvolver e implementar um plano de compartilhamento de dados e informações

Vários estudos sobre diversos aspectos do Rio Doce e da zona costeira já foram realizados ou estão em andamento, financiados pela Fundação Renova para responder às solicitações do Comitê Interfederativo ou por iniciativa independente dos pesquisadores. Além disso, houve um aumento considerável do monitoramento da qualidade da água, da vazão da água, das ambientes marinhos, dos sedimentos, da biota e de diversas outras variáveis após o desastre.

O plano deve ser elaborado em consulta com as partes interessadas relevantes (por exemplo, universidades, órgãos governamentais, organizações não-governamentais) e levar em conta os tipos de dados a ser disponibilizados, a qualidade dos dados, repositórios, acesso, responsabilidade pela manutenção, custódia de longo prazo e outras questões pertinentes.

Recomendação 7

Iniciar e manter ações para reunir e divulgar as lições aprendidas e os conhecimentos relevantes

As lições aprendidas no esforço de recuperação do Rio Doce podem ser de grande valia tanto para melhorar os resultados dos programas de mitigação quanto para informar e inspirar outras ações de restauração ambiental em outros locais, combinando os conhecimentos científicos com o conhecimento local. Porém, grande parte da aprendizagem social e organizacional que vem sendo obtida pode acabar perdida se não for aproveitada adequadamente. São necessárias, portanto, iniciativas para capturar, registrar e divulgar as lições aprendidas.

Há uma série de opções nesse sentido, como reuniões / seminários / grupos focais e outros formatos para capturar as lições aprendidas sob diversas perspectivas - por exemplo, políticas públicas, regulamentação, aprendizagem social. De maneira semelhante, diversas abordagens e ferramentas podem ser usadas para disseminar as lições aprendidas. Esta recomendação inclui a avaliação das lições aprendidas sobre o modelo de governança do Comitê Interfederativo, que podem ser valiosas caso a experiência do Rio Doce seja replicada ou adaptada em outros locais.

Epílogo

A reparação tempestiva, justa e duradoura dos danos causados pelo rompimento da Barragem de Fundão apresenta diversos desafios. O Painel reconhece os esforços inestimáveis de várias organizações e indivíduos para contribuir para o entendimento dos impactos, a concepção e a implementação dos programas de remediação, restauração e compensação, bem como na avaliação do progresso efetivo e dos resultados de tais programas. A visão do Painel - de saúde e resiliência ambiental e socioeconômica de longo prazo na bacia do Rio Doce e na zona costeira adjacente - é um objetivo possível que pode ser atingido por meio da combinação desses esforços com outras iniciativas.

As recomendações deste Relatório Temático são direcionadas, principalmente, à Fundação Renova. No entanto, o tratamento dos impactos preexistentes e acumulados ao longo do tempo e do espaço na bacia do Rio Doce e na zona costeira exige mais do que a mitigação bem-sucedida dos impactos causados pelo rompimento da barragem: ações urgentes por parte dos governos, grupos da sociedade civil e organizações privadas são necessárias para enfrentar problemas já amplamente reconhecidos - como o tratamento de esgoto e o reflorestamento - bem como os desafios previsíveis. Além disso, uma vez que a mitigação dos impactos do rompimento da barragem tenha sido realizada de forma satisfatória, seus resultados positivos precisam ser mantidos e aprimorados por um período muito além da missão - e, possivelmente, da própria existência - da Fundação.

Referências

- Albino, J., Girardi, G. e Nascimento, K.A. (2006). 'Erosão e progradação do litoral brasileiro - Espírito Santo'. In: D. Muehe (ed.) *Erosão e progradação no litoral brasileiro*, pp. 227-264. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_publicacao/78_publicacao12122008090123.pdf
- ANA (Agência Nacional de Águas). (2013). *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, Relatório Executivo*. Brasília: ANA. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/sala-de-situacao/rio-doce/documentos-relacionados/encarte-qualidade-da-gua-do-rio-doce-dois-anos-apos-rompimento-de-barragem-de-fundao-1.pdf>
- ANA (Agência Nacional de Águas). (2015). Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce – Rompimento da Barragem em Mariana/MG. Brasília: ANA. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/sala-de-situacao/rio-doce/documentos-relacionados/encarte-qualidade-da-gua-do-rio-doce-dois-anos-apos-rompimento-de-barragem-de-fundao-1.pdf>
- Broderick, M., Durning, B., Sánchez, L.E. (2018). 'Cumulative effects'. In: Therivel, R., Wood, G. (eds). *Methods of Environmental and Social Impact Assessment*, 4th edn. Routledge, New York, pp 649-677.
- Carmo, F.F.D., Kamino, L.H.Y., Junior, R.T., Campos, I.C.D., Silvino, G., Castro, K.J.D.S.X.D., Mauro, M.L., Rodrigues, N.U.A., Miranda, M.P.D.S., Pinto, C.E.F. (2017). 'Fundão tailings dam failure: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context'. *Perspectives in Ecology and Conservation* 15 (3): 145-151. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.06.002>
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J.M., Abel, N. (2001). 'From metaphor to measurement: resilience of what to what?'. *Ecosystems* 4: 765-781. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). (2014). *Canada-wide definitions and principles for cumulative effects*. Winnipeg: CCME. Disponível em: https://www.ccme.ca/files/Resources/enviro_assessment/CE%20Definitions%20and%20Principles%201.0%20EN.pdf
- Coelho, A.L.C. (2006). 'Situação hídrico-geomorfológica da bacia do Rio Doce com base na série histórica de vazões da estação de Colatina-ES'. *Caminhos da Geografia* 6: 56-79. Disponível em: www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15489/8768
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Jansen, C. e Maginnis, S. (eds.) (2016). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. Gland, Suíça: IUCN, xiii + 97 pp. Disponível em: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>

Consórcio Ecoplan/Lume (2010). *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce: Volume 1, Relatório Final*. Disponível em: http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PIRH_Doce_Volume_I.pdf

Econservation. (2017). *Análise Integrada dos Contornos do Deslocamento das Plumas de Turbidez no Meio Marinho*. Relatório Técnico – RT ECV 233/16, revisão 01, fevereiro de 2017.

Fernandes, G.W., Goulart, F.F., Ranieri, B.D., Coelho, M.S., Dales, K., Boesche, N., Bustamante, M., Carvalho, F.A., Carvalho, D.C., Dirzo, R., Fernandes, S., Galetti, P.M., Millan, V.E.G., Mielke, C., Ramirez, J.L., Neves, A., Rogass, C., Ribeiro, S.P., Scariot, A., Soares-Filho, B. (2016). 'Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil'. *Natureza & Conservação* 14 (2): 35-45.

Fragoso-Moura, E.N., Oporto, L.T., Maia-Barbosa, P.M. e Barbosa, F.A.R. (2016). 'Loss of biodiversity in a conservation unit of the Brazilian Atlantic Forest: the effect of introducing non-native fish'. *Brazilian Journal of Biology* 76(1):18-27. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.07914>

Folke, C. (2016). 'Resilience'. In: *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science* [on-line]. <http://environmentalscience.oxfordre.com/view/10.1093/acrefore/9780199389414.001.0001/acrefore-9780199389414-e-8>

Gomes, L.E.O., Correa, L.B., Sá, F., Rodrigues Neto, R., Bernardino, A.F. (2017). 'The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil'. *Marine Pollution Bulletin* 120: 28-36. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X17303636>

Granit, J., Liss-Lymen, B., Olsen, S., Tengberg, A., Nömmann, S. e Clausen, T.J. (2017). 'A conceptual framework for governing and managing key flows in a source-to-sea continuum'. *Water Policies* 19: 673-691. Disponível em: <http://wp.iwaponline.com/content/ppiwawaterpol/19/4/673.full.pdf>

Guerra, A., Pochmann, M. e Silva, R.A. (2014). *Atlas da Exclusão Social no Brasil*. São Paulo: Cortez.

Hatje, V., Pedreira, R.M.E., Rezende, C.E., Schettini, C.A.F., Souza, G.C., Marin, D.C., Hackspacher, P.C. (2017). 'The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide'. *Scientific Reports* 7: 10706. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-11143-x>

IAIA (International Association for Impact Assessment). (2013). *Mitigation in impact assessment*. FasTips No. 6. Fargo: IAIA. Disponível em: http://www.iaia.org/uploads/pdf/Fastips_6Mitigation.pdf

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). (2015). *Laudo Técnico Preliminar. Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais*. Disponível em http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). (2017). *Plumas de Sedimentos na Foz do Rio Doce – Consolidação dos Mapas Gerados de 03/12/2015 a 03/02/2017 (Sediment plumes in the mouth of Rio Doce – Consolidation of maps from 3 December 2015 to 3 February 2017)*. Disponível em <http://ibama.gov.br/recuperacao-ambiental/rompimento-da-barragem-de-fundao-desastre-da-samarco/documentos-relacionados-ao-desastre-da-samarco-em-mariana-mg>

ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). (2017a). *Monitoramento da Pluma de Sedimentos Proveniente da Barragem de Fundão*. Nota Técnica nº 23/2017/ VitoriaES/TAMAR/DIBIO/ICMBio; Vitória: ICMBio. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/Rio_Doce/nota_tecnica_23_2017_Tamar_ICMBio_monitoramento_pluma.pdf

ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). (2017b). *Identificação da área atingida pela pluma de rejeitos da Samarco e das principais comunidades pesqueiras existentes na mesma*. Nota Técnica nº 3/2017/ VitoriaES/TAMAR/DIBIO/ICMBio; Vitória: ICMBio. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/Rio_Doce/NT_CTAMAR_03_2017.pdf

ICMM (International Council of Mining and Metals). (2016). *Review of tailings management guidelines and recommendations for improvement*. Prepared by Golder Associates Africa (Pty) Ltd., Midrand, South Africa. Disponível em: https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/tailings/161205_review-of-tailings-management-guidelines.pdf

IEMA (Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos). (2016). *Alterações na Metodologia de Monitoramento da Dispersão dos Rejeitos de Mineração na Zona Marinha do Espírito Santo, Sudoeste do Atlântico*. Nota Técnica DT/Monitoramento Marinho no. 013/2016.

IFC (International Finance Corporation). (2013). *Good Practice Handbook: Cumulative Impact Assessment and Management, Guidance for the Private Sector in Emerging Markets*. Washington, DC: IFC. Disponível em: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/publications_handbook_cumulativeimpactassessment

Lima, J.E.F.W., Lopes, W.T.A., Carvalho, N.O., Vieira, M.R., Silva, E.M. (2005). Suspended sediment fluxes in the large river basins of Brazil. *Sediment Budgets 1* (Proceedings of symposium S1 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005). IAHS Publ. 291. Disponível em: <https://iahs.info/uploads/dms/13042.48%20355-363%20S11-19%20Werneck%20et%20al.pdf>

Maia-Barbosa, P.M., Barbosa, L.G., Brito, S.L., Garcia, F.C., Barros, C.F.A., Souza, M.B.G., Mello, N.A.S.T., Guimarães, A. de S., Barbosa, F.A.R. (2010). 'Limnological changes in Dom Helvécio Lake (South-East Brazil): natural and anthropogenic causes'. *Brazilian Journal of Biology* 70: 795-802. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842010000400010

Neri, A.C., Dupin, P., Sánchez, L.E. (2016). 'A pressure-state-response approach to cumulative impact assessment'. *Journal of Cleaner Production* 126: 288-298. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-cleaner-production/vol/126>

Otoni, F.P., Lezama, A.Q., Triques, M.L., Fragoso-Moura, E.N., Lucas, C.C.T., Barbosa, F.A.R. (2011). 'Australoheros perdi, new species (Teleostei: Labroidei: Cichlidae) from the lacustrine region of the Doce River Valley, southeastern Brazil, with biological information'. *Vertebrate Zoology* 61: 137-145. Disponível em: <http://www.periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/blabohidro/index>

Philips, B.D. (2016). *Disaster Recovery*. Boca Raton: CRC Press, 2nd edition.

Quaresma, V.S., Catabriga, G., Bourguignon, S.N., Godinho, E., Bastos, A.C. (2015). 'Modern sedimentary processes along the Doce River adjacent continental shelf'. *Brazilian Journal of Geology* 45(3): 635-644. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2317-48892015000500635

Queiroz, H.M., Nóbrega, G.N., Ferreira, T.O., Almeida, L.S., Romero, T.B., Santaella, S.T., Bernardino, A.F., Otero, X.L. (2018). 'The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination'. *Science of the Total Environment* 637-638: 498-506. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718315547>

Roche, C., Thygesen, K. e Baker, E. (eds.) (2017). *Mine Tailings Storage: Safety Is No Accident. A UNEP Rapid Response Assessment*. Nairobi e Arendal: United Nations Environment Programme and GRID-Arendal. Disponível em: https://gridarendal-website-live.s3.amazonaws.com/production/documents/:s_document/371/original/RRA_MineTailings_lores.pdf?1510660693

Rudorff, N., Rudorff, C.M., Kampel, M. e Ortiz, G. (2018). 'Remote sensing monitoring of the impact of a major mining wastewater disaster on the turbidity of the Doce River plume off the eastern Brazilian coast'. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271618300480>

Tuncak, B. (2017). 'Lessons from the Samarco disaster'. *Business and Human Rights Journal* 2: 157-162. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/business-and-human-rights-journal/article/div-classtitlelessons-from-the-samarco-disasterspan-classsup1spandiv/5502598996B9E9CAC9439380A61A8848#>

UNEP (United Nations Environment Programme). (2001). *APELL for Mining. Guidance for the Mining Industry in Raising Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level*. Paris: UNEP. Disponível em: <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/webx0055xpa-apellminingen.pdf>

UNGA (United Nations General Assembly). (2016). *Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction*. A/71/644. New York: United Nations. Disponível em: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/50683_oiewgreportenglish.pdf

Vieira, F. (2009). 'Distribuição, impactos ambientais e conservação da fauna de peixes da bacia do rio Doce'. *MG. Biota* 2 (5): 5-22. Disponível em: http://ief.mg.gov.br/images/stories/MGBIOTA/mgbiota11/mgbiot_%20v.2n.5.pdf#page=5

Walker, J. e Cooper, M. (2011). 'Genealogies of resilience: from systems ecology to the political economy of crisis adaptation'. *Security Dialogue* 42(2): 143-160. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jeremy_Walker6/publication/258186723_Genealogies_of_Resilience_From_Systems_Ecology_to_the_Political_Economy_of_Crisis_Adaptation/links/562f509908aea5dba8d34354/Genealogies-of-Resilience-From-Systems-Ecology-to-the-Political-Economy-of-Crisis-Adaptation.pdf



UNIÃO INTERNACIONAL
PARA A CONSERVAÇÃO DA NATUREZA

SEDE GLOBAL
Rue Mauverney 28
1196 Gland, Switzerland
mail@iucn.org

Tel +41 22 999 0000
Fax +41 22 999 0002
www.iucn.org

