

Síntese da Avaliação de Impacto Ambiental

Unidades de Conservação
na Bacia do Rio Doce e
Região Costeira-Marinha
Grupo 4



Unidades de
Conservação

do **Grupo 4**

**Reserva Particular do
Patrimônio Natural
(RPPN) Sete de
Outubro**

**Parque Estadual (PE)
Sete Salões**

**Floresta Nacional
(FLONA) de
Goytacazes**

**Reserva Particular do
Patrimônio Natural
(RPPN) Fazenda
Bulcão**

Coordenação



Financiamento



Rio de Janeiro, 2022

Equipe técnica

Coordenação

Rafael Loyola

Subcoordenação

Aliny P. F. Pires

Equipe de Consultores

Adriano Sanches Melo

Carla Grigoletto Duarte

Lúcia Fernandes Sanches

Mário Almeida Neto

Equipe de Apoio

Aldo Caccavo

Juliana Leal

Stella Manes

Sumário

	05	Apresentação
	06	Contextualização
O rompimento da barragem e suas consequências	07	
	08	Caracterização do Grupo de UCs
	12	Linha de base integrada
Linha de base do meio físico	13	
Linha de base do meio biótico	15	
	19	Caracterização do impacto
	24	Impactos identificados
Impactos do meio físico	24	
Impactos do meio biótico	47	
	61	Síntese dos impactos
	66	Impactos na gestão e usos das UCs
	68	Proposta de medidas de reparação e compensação
	90	Conclusão
	96	Referências
	100	Anexos

Apresentação

Esta publicação é o segundo produto do projeto firmado entre a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) e a Fundação Renova visando a avaliação e o estabelecimento de estratégias de conservação para grupos de unidades de conservação (UCs), impactadas pelo rompimento da Barragem de Fundão - Mariana, MG.

Após uma série de estudos que avaliaram os impactos em cada uma das UCs isoladamente, diversos pontos críticos levaram à necessidade de uma análise integrada de grupos de UCs que estivessem em uma mesma região. Nesta análise, integramos a linha de base e as medidas de reparação, atentando para que a regionalização das medidas de reparação considerasse as demandas específicas de cada UC.

A equipe da FBDS realizou uma avaliação crítica dos relatórios produzidos no contexto do atendimento ao Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC). Estes relatórios visam apresentar as Avaliações de Impacto Ambiental (AIA), individualmente, para as UCs decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão. No caso das UCs do Grupo 4, contempladas neste produto, os relatórios disponíveis foram desenvolvidos pelo Instituto Ekos Brasil.

Este estudo teve como ponto de partida a avaliação e integração das linhas de base elaboradas a partir de informações disponíveis sobre as UCs e suas regiões de inserção relativas a dados ambientais físico-químicos e dados bióticos anteriores aos efeitos provocados pela chegada do rejeito sobre os ambientes. Além dos dados disponíveis nos relatórios, foram feitas buscas complementares de modo a enriquecer a linha de base.

Os impactos ocorrendo em escala regional, ou seja, ocorrendo em uma ou mais UCs do grupo, foram identificados, descritos e tiveram sua significância avaliada. A determinação da significância é parte importante da definição de prioridades para a implementação das medidas reparatórias e/ou compensatórias para cada um dos impactos identificados.

Através desta publicação esperamos contribuir de forma simples e objetiva para um melhor entendimento dos impactos decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão sobre as UCs do Grupo 4. Buscamos também deixar sugestões de medidas reparatórias que contribuam efetivamente para a recuperação ou compensação dos danos ambientais.

Contextualização

Este relatório sintetiza e regionaliza informações sobre a linha de base e os impactos físicos e bióticos potencialmente causados pela ruptura da Barragem de Fundão e apresenta propostas de medidas de monitoramento, reparação e compensação para quatro Unidades de Conservação (UC) continentais a jusante de Governador Valadares (MG):

Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Sete de Outubro

Parque Estadual (PE) Sete Salões

Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Bulcão

Floresta Nacional (FLONA) de Goytacazes

O relatório tem como base os "Diagnósticos de Avaliação - Medição 8 Final" de cada uma das quatro UCs produzidos pelo Instituto Ekos Brasil e finalizados em junho de 2019 (Instituto Ekos 2019a, b, c, d). Informações adicionais para consolidação da linha de base e construção deste relatório foram obtidas em fontes diversas. Os diagnósticos usados são bastante detalhados (entre 278 e 408 páginas) e o maior desafio deste trabalho foi sintetizá-los em um único documento, que seja fiel às suas fontes e ao mesmo tempo capaz de fornecer um quadro confiável da linha de base para o grupo de UCS, seus impactos, e sugestões de medidas reparatórias e compensatórias. Para efetivação de tal tarefa, foram priorizadas simplicidade e clareza para construção de um quadro que possa servir de base para ações pragmáticas. Maior detalhamento pode ser encontrado nos anexos deste relatório e nos Diagnósticos produzidos pelo Instituto Ekos (2019a, b, c, d).

Conforme recomendação do "Plano de trabalho para estudos de avaliação dos impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação - Revisão 04" (Fundação RENOVA, 2018), para cada UC também foram considerados os impactos identificados em suas Zonas de Amortecimento (ZA) ou em uma área de entorno de até 3 km dos limites das UCs onde não há ZA oficialmente estabelecida. A distância de 3 km é determinada pela Resolução CONAMA nº 428 de 17/12/2010, que regulamenta os procedimentos de licenciamento ambiental de empreendimentos de significativo impacto ambiental que afetem as UCs específicas ou suas zonas de amortecimento.

A RPPN Sete de Outubro fica adjacente ao Rio Doce, em sua margem direita, sendo separada dele por uma distância mínima de 150 m, a qual inclui uma rodovia e uma estrada de ferro (Fig. 1). O PE Sete Salões se caracteriza pela predominância de regiões montanhosas, fica paralelo ao Rio Doce, também em sua margem direita e apresenta uma distância mínima de 1,4 km em relação ao rio. As Zonas de Amortecimento das duas UCs se sobrepõem em grande parte e, portanto, possuem alta semelhança de linha de base, impactos e sugestões de medidas reparatórias e compensatórias. Eventuais diferenças são notadas no texto.

A RPPN Fazenda Bulcão faz divisa com o perímetro urbano de Aimorés (MG). O Rio Doce situa-se do outro lado da zona urbana. A distância entre o Rio Doce e a RPPN Fazenda Bulcão é de 1,3 km. O trecho do Rio Doce que margeia a cidade de Aimorés possui vazão reduzida desde 2005 devido ao desvio de curso causado pela UHE Eliezer Batista. Não houve transbordamento de lama do Rio Doce no trecho de Aimorés (MG).

A FLONA de Goytacazes, localizada em Linhares (ES), dista 350 m da margem direita do Rio Doce. Do outro lado do Rio fica a zona urbana de Linhares. A FLONA é atravessada em sua face leste pela BR-101.

O rompimento da barragem e suas consequências

Contextualização

A Barragem de Fundão, município de Mariana (MG), rompeu em 05 de novembro de 2015. Cerca de 39,2 milhões de m³ de rejeitos de mineração foram lançados no Rio Gualaxo do Norte, que percorreram 71 km até o Rio do Carmo e neste mais 25 km até sua foz no Rio Doce. Já no Rio Doce, o rejeito percorreu 16 km até o reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Risoleta Neves (Candonga), onde boa parte do sedimento mais grosso foi retida. Os sedimentos mais finos foram levados por mais 324 km até Conselheiro Pena (RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões), 383 km até Aimorés (RPPN Fazenda Bulcão) e 504 km até Linhares (FLONA de Goytacazes), totalizando, respectivamente, 437, 496 e 617 km desde a Barragem de Fundão.

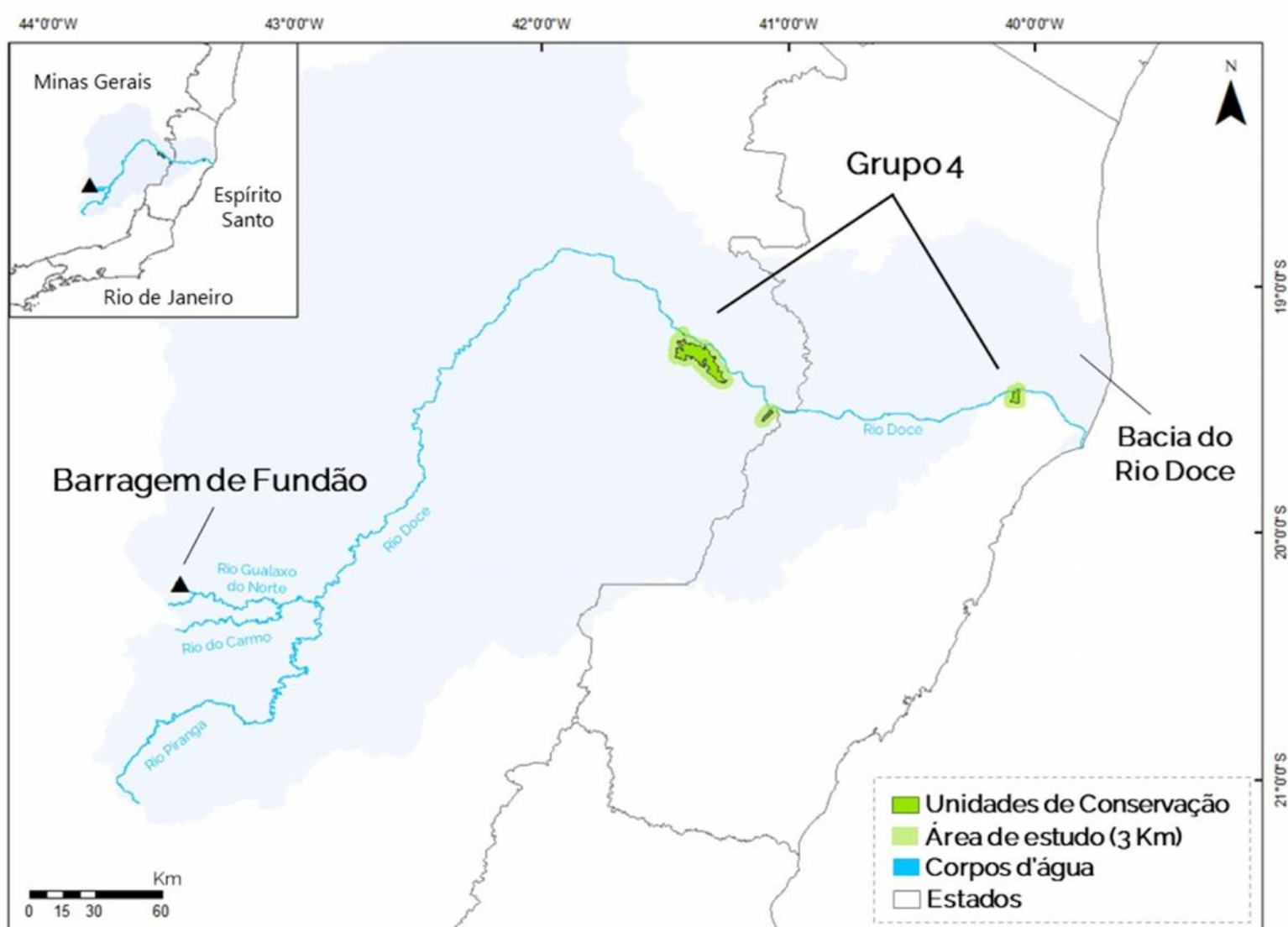
O desastre foi classificado como de muito grande porte e causou a morte de moradores locais e de funcionários da Barragem, além de grandes perdas materiais e ambientais. O rejeito transbordou para as margens no percurso entre a Barragem de Fundão e o Reservatório da UHE Risoleta Neves. As regiões ribeirinhas deste trecho foram diretamente e fortemente impactadas. Antes da chegada dos rejeitos na UHE Risoleta Neves, houve liberação de água armazenada de modo a reter parte dos rejeitos que estavam chegando.

Isto causou, junto com onda de água vinda da barragem (sem sedimentos), uma rápida enchente menor que as enchentes recorrentes durante o verão. A segunda onda, com rejeitos, chegou em Conselheiro Pena e Resplendor (RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões) e em Aimorés (RPPN Fazenda Bulcão) no dia 10 de novembro de 2015, e entre 13 e 14 de novembro de 2015 em Linhares (FLONA de Goytacazes).

A onda de rejeitos ficou em grande parte contida na calha do Rio Doce no trecho entre Conselheiro Pena (MG) e Resplendor (MG), que engloba as Zonas de Amortecimento da RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões. A mesma situação aconteceu em Linhares (ES), na Zona de Amortecimento da FLONA de Goytacazes.

Entretanto, em janeiro de 2016, o rio atingiu áreas que normalmente são inundadas no período de chuvas (planícies fluviais ou várzeas) e trouxe grande quantidade de rejeitos que estavam depositados no leito do Rio Doce e nos reservatórios a montante. Este extravasamento não aconteceu na Zona de Amortecimento da RPPN Fazenda Bulcão, pois o trecho do Rio Doce próximo possui vazão residual devido a instalação em 2005 da UHE Eliezer Batista, que desviou boa parte do fluxo de água.

Caracterização do Grupo de UCs



Unidades de Conservação do Grupo 4 na bacia do Rio Doce

Caracterização do Grupo 4

A região do médio-baixo Rio Doce, onde se localizam as quatro UCs tratadas neste relatório, pertence ao domínio da Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual no interior e Floresta Ombrófila Densa na região próxima ao litoral). As florestas da região, assim como observado em outras regiões não muito íngremes do domínio, foram em grande parte substituídas por usos antrópicos. A pequena fração de cobertura nativa na região é distribuída predominantemente em pequenos fragmentos; o restante é ocupado por pastagens e, em menor escala por agricultura.

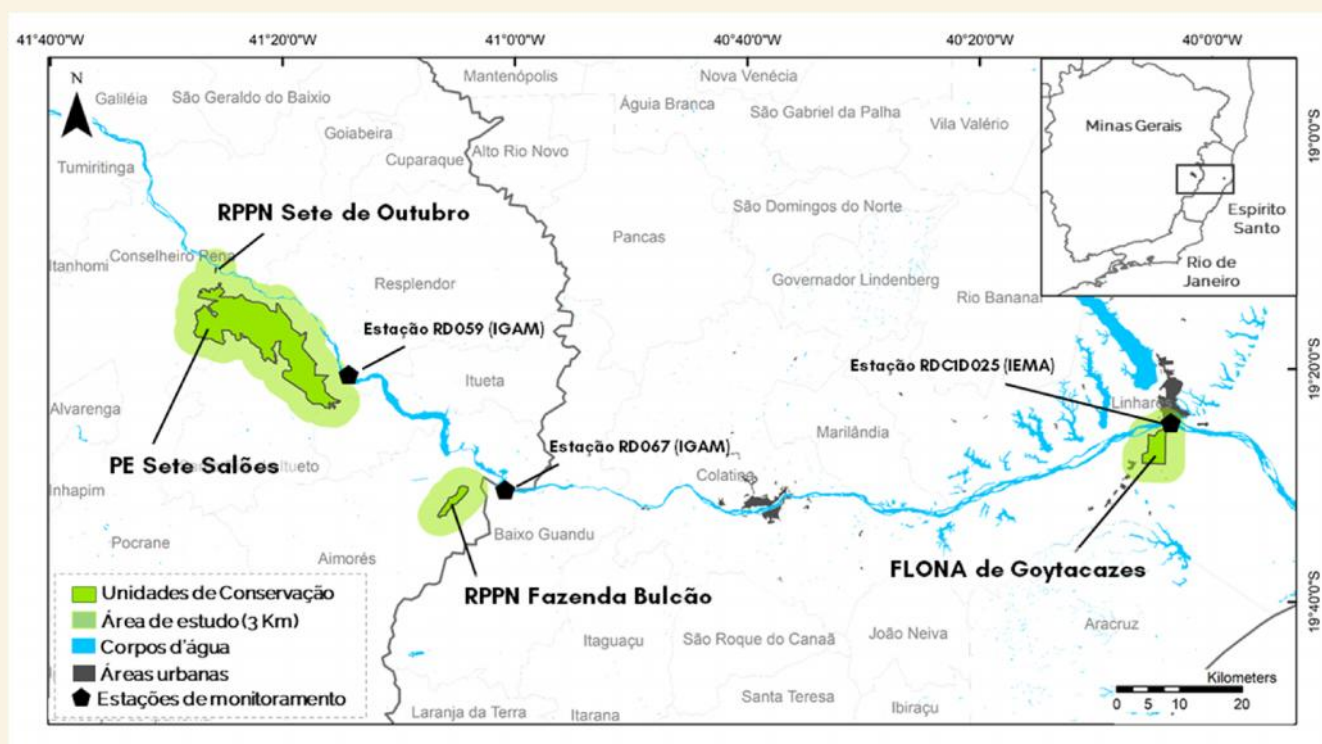


Figura 1. Mapa da Área de Estudo, definida pela área que se estende pelas Zonas de Amortecimento ao redor das UCs que compõem o Grupo 4: RPPN Sete de Outubro, PE Sete Salões, RPPN Fazenda Bulcão e FLONA de Goytacazes. As UCs apresentam características particulares quanto ao impacto do rompimento da Barragem de Fundão, as quais são consideradas na análise realizada. **Fonte:** FBDS, 2022.

A RPPN Sete de Outubro é bastante reduzida e fica localizada dentro da Zona de Amortecimento do PE Sete Salões. A Zona de Amortecimento do PE Sete Salões foi ampliada de modo a incluir a Terra Indígena (TI) Krenak, situada do outro lado do Rio Doce, pois seus habitantes demonstram relação simbólica com a Gruta de Sete Salões e demais áreas do PE. A TI é explorada por atividades agropecuárias.

A RPPN Sete de Outubro foi homologada pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF) de Minas Gerais em 2012 e possui 5,22 ha. A entrada da propriedade se dá pela parte baixa (120 m de altitude), pela estrada paralela à linha férrea e Rio Doce. A RPPN se estende por terras mais altas (170 m) e inclui uma nascente. A lama de rejeitos não atingiu a propriedade. A vegetação é constituída por fragmentos de mata nativa bastante alterados, em estágios iniciais de recuperação. Destacam-se trechos compostos quase exclusivamente por aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), enquanto outros, mais íngremes, sofrem com erosão intensa. A RPPN não possui Plano de Manejo ou estudos anteriores e faz parte de propriedade maior com atividade pecuária. Não há registro de visitação pública na UC.

O PE Sete Salões é uma unidade de proteção integral com área total de 12.520,90 ha, e está localizado nos municípios Conselheiro Pena, Itueta, Resplendor e Santa Rita do Itueto, todos em Minas Gerais. O nome do Parque está associado à Gruta de Sete Salões, situada em seu interior. A equipe gestora, do Instituto Estadual de Florestas, fica em Conselheiro Pena. A falta de regularização fundiária, a exemplo de outras UCs pelo Brasil, causa grande dificuldade na plena consolidação do Parque. Apenas 25 ha do Parque é de propriedade pública; outros 600 ha estão sendo desapropriados.

A vegetação do PE Sete Salões inclui florestas, incluindo trechos com grande densidade de candeia (*Eremanthus erythropappus*), indaiá (*Attalea compta*) e campos rupestres. A vegetação arbórea representa 26% da área de estudo, boa parte dentro do Parque. A área é montanhosa e atinge 1135 m no Pico de Sete Salões. A ZA (3 km) é montanhosa nas faces oeste e sudoeste, tendendo a regiões mais baixas e aplainadas nas faces norte e nordeste, em direção ao Rio Doce. Os riachos que se originam no Parque se dividem em dois grandes grupos ao longo do seu eixo longitudinal, o primeiro drenando diretamente para o Rio Doce (faces norte e nordeste) e outro drenando para rios menores fora do Parque (faces oeste e sudeste) que em seguida drenam para o Rio Doce.

O PE Sete Salões e seus arredores possuem alguns atrativos, em grande parte visitados pela população dos municípios próximos. O mais famoso é a Gruta Sete Salões, formação arenítica que dá nome ao Parque. O local possui lixo e marcas de vandalismo, como inscrições de datas e nomes nas paredes. A região também inclui vários sítios arqueológicos (Serra da Onça). A UC também possui trilhas que dão acesso às áreas altas, como Pico do Garrafão e Alto Mandengo. Estudos para o Plano de Manejo do PE Sete Salões foram iniciados em 2018 e, em dezembro de 2021, estavam sendo finalizados.

A RPPN Fazenda Bulcão possui 608,69 ha e está dentro da Fazenda Bulcão, com 711,53 ha, e faz divisa com a zona urbana de Aimorés (MG). A RPPN fica a 2 km da divisa com Baixo Guandú, já no Espírito Santo. A Fazenda Bulcão era explorada por atividades agropecuárias até 1998, quando Lélia Deluiz Wanick Salgado e Sebastião Salgado, herdeiros da área, decidiram criar o Instituto Terra (sem fins lucrativos). A área continha basicamente pastagens, o que é pouco usual na criação de RPPN, embora com compromisso de recuperação ambiental. Em 1999 aconteceu o primeiro plantio de mudas, doadas pela Vale do Rio Doce. Desde então, a RPPN passou a produzir suas próprias mudas e uma exuberante floresta secundária se estabeleceu.

Existem várias fotos disponíveis que demonstram o processo de recuperação da RPPN Fazenda Bulcão. O filme que documenta a vida do fotógrafo Sebastião Salgado dedica bom espaço para as ações feitas na RPPN (Salgado & Wenders 2015). A RPPN possui plano de manejo.

O Instituto Terra possui papel local importante quanto à mudança de práticas agrícolas, com foco em maior sustentabilidade, por exemplo, por incentivo de atividades agroecológicas. O Instituto Terra desenvolve intensa atividade de educação ambiental na RPPN Fazenda Bulcão e região. Destaca-se curso de formação de agentes ambientais mirins com duração de um ano e em regime integral, com pernoite na RPPN. O instituto também mantém projetos de recuperação ambiental em áreas fora dos limites da RPPN Fazenda Bulcão, por exemplo, o Programa Olhos D'água de recuperação de 2.000 nascentes. Os visitantes da RPPN Fazenda Bulcão são provenientes majoritariamente de municípios da região, com possibilidade de pernoite no local. Existe infra-estrutura para visitantes dentro da RPPN, incluindo salas de aula, área de exposição/eventos, auditório, alojamentos para estudantes e profissionais, refeitórios e trilhas estabelecidas. Existe potencial para o estabelecimento de um programa turístico regional que inclua a RPPN, o patrimônio histórico-cultural de Aimorés (MG) e Baixo Guandú (ES), o Rio Doce e as regiões represadas pela UHE Eliezer Batista. O Instituto Terra possui convênio com a Fundação Renova e já recebeu alguns auxílios, incluindo um veículo 4x4.

A FLONA de Goytacazes foi criada em 2002 com 1350 ha, sendo acrescentados outros 73,96 ha em 2012, totalizando 1423,96 ha. A área foi doada pelo Governo do Espírito Santo à União em 1923 e havia sido usada para pesquisas agropecuárias, particularmente de cacau. A área correspondente à FLONA teve sua vegetação preservada. A FLONA possui fácil acesso, pois é atravessada em sua face leste pela BR-101 e fica a cerca de 1 km da zona urbana de Linhares (ES). A UC possui plano de manejo, tem sua situação fundiária totalmente regularizada e recebe visitas de estudantes, pesquisadores e moradores da região. Possui seis funcionários e sede administrativa, mas não tem infraestrutura para visitantes.

A FLONA de Goytacazes possui Floresta Ombrófila Densa em solos aluviais. Segundo Loyola et al. (2014), a UC possui importância e prioridade de conservação muito alta. A FLONA de Goytacazes faz parte do Projeto Corredor Ecológico SOCOMGO (Sooretama-Comboios-Goytacazes) que visa conectar a Reserva Biológica de Sooretama e Reserva Natural Vale (ao norte), FLONA de Goytacazes e Reserva Biológica de Comboios, esta última costeira e na foz do Rio Doce. Sua Zona de Amortecimento inclui dois fragmentos florestais com tamanhos próximos ao da UC; um destes fragmentos fica na margem do Rio Doce. Diferente de outras UCs tratadas neste relatório, a FLONA de Goytacazes e a região de Linhares (ES) em geral possuem boa documentação da fauna, ainda que boa parte tenha sido feita há várias décadas. A FLONA possui registros de 350 espécies vegetais, 49 de mamíferos, 204 de aves, 43 de répteis e 43 de anfíbios. A caça e atropelamentos na BR-101 e ES-245 estão entre as principais ameaças à fauna da UC.

Linha de base integrada

A bacia do Rio Doce sofreu forte desmatamento para plantio de culturas, principalmente café. As culturas tinham baixa produtividade e com o tempo foram substituídas por pastagens. A vegetação original, Mata Atlântica, ficou restrita a fragmentos e hoje soma cerca de 39,5% da área da bacia do Rio Doce, em grande parte presentes na porção oeste da bacia (Fundação Renova, UFMG e UFV 2018). A região do médio-baixo Rio Doce, a jusante de Governador Valadares, possui proporção consideravelmente menor de vegetação nativa.

Os rejeitos de Fundão são constituídos em grande parte por argila e areia. Possuem grande quantidade de ferro (hematita $[Fe_2O_3]$ e goethita $[FeO(OH)]$), quartzo (SiO_2) e caulinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$). Os rejeitos também possuem baixas concentrações de diversos metais (por exemplo, arsênio, chumbo e cromo) (Tecnohidro, 2019).

As distâncias entre as quatro UCs tratadas neste relatório diferem bastante, com a RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões na mesma Área de estudo e a FLONA de Goytacazes distante 180 km a jusante da RPPN Sete de Outubro. A RPPN Fazenda Bulcão fica a 69 km a jusante da RPPN Sete de Outubro.

Apesar de distantes, suas relações com o Rio Doce são semelhantes; todas estão próximas, mas suas áreas não incluem o Rio Doce. Consequentemente, os impactos observados nas UCs foram em grande parte concordantes, exceto pela RPPN Fazenda Bulcão devido a vazão reduzida causada pelo represamento e desvio de curso do Rio Doce no trecho que passa em suas proximidades.

Embora a criação de uma linha de base sintética para este grupo de UCs seja facilitada por estarem em contexto espacial semelhante, a qualidade dos dados disponíveis é bastante variável. Existem séries históricas para um grande número de variáveis de água do Rio Doce obtidas em estações de monitoramento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) nas cidades de Resplendor (MG) (próximo da RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões) e Baixo Guandú (ES) (RPPN Fazenda Bulcão), mas poucas amostras e variáveis de água obtidas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) em Linhares (ES) (FLONA de Goytacazes). Em relação aos aspectos biológicos, existem registros de diversas fontes, muitas obtidas há décadas e que já não refletiam o que existia nas UCs antes do rompimento da Barragem de Fundão. São dados não quantitativos e de difícil comparação.

Meio Físico

A água de um rio reflete as características geológicas e usos do solo dos locais por onde passa. A bacia do Rio Doce é bastante degradada e isto se reflete em várias características de suas águas. O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) monitora a água do Rio Doce em Resplendor (MG), cuja estação de coleta fica dentro das Zonas de Amortecimento da RPPN Sete de Outubro e do PE Sete Salões (IGAM: RD059). Esta estação também é monitorada pelo Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático da Renova (PMQQS: RDO10). O trecho do Rio Doce mais próximo à RPPN Fazenda Bulcão é aquele em frente à cidade de Aimorés (MG). Este trecho apresenta vazão bastante reduzida devido represamento situado a 5 km a montante por ocasião da construção da UHE Eliezer Batista em 2005. Este represamento causou desvio à esquerda com posterior retorno 3 km a jusante de Aimorés (na divisa com Baixo Guandú, ES). A estação do IGAM (RD067) fica na divisa de MG e ES, 1,3 km a jusante do encontro do trecho de vazão reduzida com aquele desviado pela barragem. Esta estação também é monitorada pelo PMQQS (RDO11).

As duas estações do IGAM possuem boas séries de dados antes do rompimento da Barragem de Fundão, com coletas desde 1997 para Resplendor (RD059) e desde 1998 para Baixo Guandú (RD067). O número de variáveis determinadas em cada amostra do IGAM foi bastante variável ao longo do tempo, com tendência de maior número nas amostras dos últimos anos. As variáveis incluem descritores básicos de qualidade de água, íons (incluindo nutrientes), contaminação microbiológica e indicadores de biomassa de fitoplâncton. Os dados para a FLONA de Goytacazes são bem mais escassos. A estação do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA: RDC1D025) possui apenas 18 amostras entre 1999 e 2009 e poucas variáveis (por exemplo, não inclui dados sobre sólidos dissolvidos) (Tabela 1). Esta estação também é monitorada pelo PMQQS (RDO15).

As condições da água do Rio Doce antes do rompimento de Fundão podem ser avaliadas a partir da porcentagem de valores que estiveram de acordo com padrões de qualidade de água para rios de Classe 2 para o período 2000-2015 segundo o Diagnóstico do Instituto Ekos (Instituto Ekos 2019a, b, c, d) (Tabela 1).

Das variáveis apresentadas, vale ressaltar que ferro, alumínio e manganês são elementos presentes em altas concentrações nos rejeitos. Estes elementos apresentam alta concentração na água do Rio Doce em relação aos padrões de qualidade d'água para rios de Classe 2, particularmente manganês. Estas altas concentrações refletem as altas concentrações naturais destes elementos nos terrenos drenados pelo Rio Doce.

As Áreas de Estudo do PE Sete Salões, da qual faz parte a RPPN Sete de Outubro, e da FLONA de Goytacazes, incluem trechos marginais ao Rio Doce. Parte destas áreas, mais baixas, costumam ser inundadas pelo rio (várzea) nas épocas de chuva. O trecho do Rio Doce próximo a RPPN Fazenda Bulcão possui vazão reduzida e controlada pela UHE Eliezer Batista, não apresentando eventos de inundação.

Tabela 1. Porcentagem de valores que estiveram de acordo com padrões de qualidade de água para rios de Classe 2 no período 1997-2015 segundo relatórios do Instituto Ekos (2019a, b, c, d). Para nitrogênio, valores fora de parênteses indicam nitrogênio total e aqueles dentro de parênteses em suas diferentes formas (nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal). Muitos valores de chumbo, mercúrio e cádmio estavam abaixo do limite de detecção dos métodos empregados. **Fonte:** Modificado de Instituto Ekos, 2019.

Variável	RPPN Sete de Outubro PE Sete Salões	RPPN Fazenda Bulcão	FLONA de Goytacazes
Sólidos Suspensos Totais	75	90	--
Sólidos Dissolvidos Totais	90	100	-
Turbidez	75	86	85
Oxigênio Dissolvido	90	100	96
pH	100	99	96
Ferro Dissolvido	88	80	--
Alumínio dissolvido	90	100	--
Manganês Total	78	75	--
Mercúrio	97	100	--
Cádmio	97	100	--
Chumbo	83	84	--
Cobre Dissolvido	90	100	--
Selênio Total	100	100	--
Zinco Total	100	100	--
Arsênio Total	75	100	--
Cromo Total	100	100	--
Nitrogênio	100 (100)	100 (100)	93 (100)
Fósforo Total	91	91	70
DBO	97	99	89
Clorofila a	89	98	--

Meio Biótico

As informações compiladas para a linha de base do meio biótico das quatro UCs avaliadas neste relatório representam uma síntese atualizada dos dados que compõem os diagnósticos elaborados pelo Instituto Ekos para a RPPN Sete de Outubro, o PE Sete Salões, a RPPN Fazenda Bulcão e a FLONA de Goytacazes (Instituto Ekos 2019a, b, c, d). Os componentes do meio biótico analisados nestes relatórios foram a vegetação (cobertura vegetal e composição da flora) e a fauna de vertebrados terrestres e aquáticos, com ênfase nas espécies importantes para a conservação (ex. espécies ameaçadas e/ou endêmicas) ou com algum valor de uso direto ou indireto (ex. pesca, frutos, madeira, valor científico).

Os Planos de Manejo constituem uma das principais fontes de dados para a elaboração de uma linha de base em Unidades de Conservação. No entanto, somente a FLONA de Goytacazes (ICMBio, 2013) e a RPPN Fazenda Bulcão (Souza, 2009) possuem Planos de Manejo até o presente momento. A elaboração do Plano de Manejo do PE Sete Salões teve início em 2020 e deve ser publicado em breve. Quanto à RPPN Sete de Outubro, não foram encontradas informações sobre a elaboração de Plano de Manejo. Além dos Planos de Manejo, foram usados dados extraídos de artigos científicos, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso de graduação, coleções de museus e dados dos monitoramentos em andamento disponibilizados pela Fundação Renova. Devido à ausência ou baixa disponibilidade de inventários florísticos e faunísticos amplos realizados nas UCs, a maior parte dos registros de ocorrência usados nos relatórios do Instituto Ekos é baseada em dados secundários compilados de repositórios de dados online não específicos como SpeciesLink (smlink.cria.org.br) e Global Biodiversity Information Facility (www.gbif.org), assim como de banco de dados específicos para plantas terrestres (JABOT: jabot.jbrj.gov.br), aves (VertNet: vertnet.org; Wikiaves: www.wikiaves.com.br), anfíbios e répteis (herpNet: www.herpNet.org). Portanto, dada a carência de registros de espécies dentro das UCs ou a ausência de amostragens espacialmente e temporalmente abrangentes, a maior parte das espécies listadas para as UCs nos relatórios de diagnóstico (Instituto Ekos 2019a, b, c, d) são, na verdade, espécies que apresentam ocorrência potencial.

Informações sobre o grau de ameaça das espécies em escala global foram obtidas na Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2021). Em escala nacional, foram usados o Livro Vermelho da Flora do Brasil publicado pelo Centro Nacional de Conservação da Flora do Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro (CNCFlora, 2013) e o Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (ICMBio, 2018). Para o Estado de Minas Gerais foram usadas as listas da Fundação Biodiversitas (Biodiversitas, 2007) e do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM, 1997, 2010). Para o Estado do Espírito Santo, foram usadas as listas em Simonelli & Fraga (2007) para a flora e Passamani & Mendes (2007) para a fauna, ambos atualizados recentemente em Fraga et al. (2019).

As quatro UCs avaliadas neste relatório apresentam diferenças marcantes em diversos aspectos, entre os quais se destaca a área total e a altitude (Tabela 2). Por exemplo, o PE Sete Salões apresenta uma área cerca de 2,4 mil vezes maior que a RPPN Sete de Outubro e uma amplitude altitudinal cerca de 24 vezes maior que a FLONA de Goytacazes (Tabela 2). Uma outra diferenciação importante entre as UCs conforme mapas de cobertura vegetal e usos e ocupação da áreas de estudo apresentados nos Relatórios de Diagnóstico do Instituto Ekos (Instituto Ekos 2019a, b, c, d) é o estado de conservação da vegetação e os tipos de usos de solo dentro das UCs. Enquanto os o PE Sete Salões e a FLONA de Goytacazes se destacam pela maior cobertura de floresta primária ou em estágio avançado de regeneração, a RPPN Sete de Outubro e a RPPN Fazenda Bulcão apresentam predominância de floresta secundária ou em estágio inicial de regeneração. Cabe destacar, no entanto, que o nível de antropização é consideravelmente maior na RPPN Sete de Outubro quando comparada à RPPN Fazenda Bulcão. Nesta última, tem havido um aumento expressivo da cobertura florestal devido à ações planejadas de regeneração florestal dentro desta UC.

Tabela 2. Diferenças entre as UCs relevantes para a avaliação da linha de base do meio biótico: distância da UC até a calha do Rio Doce, área total de cada UC (sem considerar Zona de Amortecimento), amplitude altitudinal (altitudes mínima e máxima) e principal fitofisionomia. **Fonte:** FBDS, 2022.

UC	Distância da calha do Rio Doce (m)	Área (ha)	Altitudes (m) mínima e máxima	Principal fitofisionomia
RPPN Sete de Outubro	150	5,2	80 - 200	Floresta Estacional Semidecidual
PE Sete Salões	1.400	12.520,9	400 - 1135	Floresta Estacional Semidecidual
RPPN Fazenda Bulcão	1.300	608,7	80 - 200	Floresta Estacional Semidecidual
FLONA de Goytacazes	350	1.424,0	20 - 50	Floresta Ombrófila Densa

Para fins de avaliação integrada das quatro UCs, no presente relatório os registros de táxons não identificados até o nível específico ou aqueles com identificação incerta (ex: sp., spp., cf., aff., gr.) foram agrupados como uma única espécie incerta dentro de cada gênero. Assim, procurou-se minimizar que a mesma espécie fosse considerada mais de uma vez na linha de base. Este é um procedimento razoável, pois minimiza equívocos de identificação e evita que diferentes espécies não identificadas em cada área sejam consideradas espécies distintas umas das outras, o que tenderia a aumentar artificialmente tanto a riqueza quanto a dissimilaridade de espécies na escala regional. Após realizado estes procedimentos, os registros de espécies foram conferidos para avaliação de sinonímia e eventuais correções de digitação. Para as plantas, foi utilizada como referência a base dados Flora do Brasil 2020 (floradobrasil.jbrj.gov.br). Para os vertebrados foi utilizada a base do Global Biodiversity Information Facility (www.gbif.org). Além disso, para minimizar potenciais vieses de comparação entre as UCs, as espécies que só possuíam registros históricos anteriores a 1950 não foram consideradas.

Na linha de base atualizada do presente relatório considerando as áreas de estudo das quatro UCs, foram listadas um total de 981 espécies, das quais 349 plantas e 632 vertebrados. A lista de plantas inclui 267 espécies de angiospermas (Magnoliopsida e Liliopsida) e 82 espécies de pteridófitas (Lycopodiopsida e Polypodiopsida). As angiospermas estão distribuídas em 191 gêneros e 56 famílias, entre as quais se destaca a família Fabaceae com 69 espécies, enquanto as pteridófitas são representadas por 37 gêneros e 17 famílias, com destaque para Pteridaceae com 17 espécies listadas. Na Tabela 3 é apresentado um resumo quantitativo do número de espécies de plantas com ocorrência potencial em cada UC e os respectivos valores de espécies potencialmente endêmicas da Mata Atlântica e ameaçadas em escala global (IUCN, 2021), nacional (ICMBio, 2018) e estadual para Minas Gerais (COPAM, 1997) e Espírito Santo (Fraga et al., 2019).

Ainda que se leve em conta as áreas das Zonas de Amortecimento das UCs, tendo em vista as diferenças no tamanho das áreas das UCs e o estado de conservação das mesmas (Tabela 2), é possível afirmar que os dados de ocorrência de plantas endêmicas e ameaçadas estão superestimados para as duas RPPNs e subestimados para o PE Sete Salões e para a FLONA de Goytacazes. Isto ocorreu em parte devido à proximidade entre as UCs. Por exemplo, 199 das 205 espécies nativas consideradas de ocorrência provável no PE Sete Salões também foram consideradas como de ocorrência potencial na RPPN Sete de Outubro, uma UC muito pequena e bastante antropizada na qual a ocorrência de boa parte das plantas (em especial epífitas e plantas que necessitam de condições mais úmidas, ex. Hymenophyllaceae e Cyatheaceae) é bastante improvável. Já no caso do PE Sete Salões é bastante provável que diversas espécies de plantas do estrato herbáceo nas regiões mais altas do parque, assim como epífitas e rupícolas das áreas mais úmidas não tenham sido consideradas devido ao viés de amostragem de plantas arbustivas e arbóreas na Mata Atlântica.

Tabela 3. Número de espécies de plantas em cada UC e suas respectivas informações sobre endemismo e grau de ameaça nas escalas global (IUCN, 2018), nacional (ICMBio, 2018) e estadual para Minas Gerais (COPAM, 1997, 2010) e Espírito Santo (Fraga et al., 2019). CR = Criticamente em perigo. EN = Em perigo. VU = Vulnerável. **Fonte:** FBDS, 2022.

UC	Espécies com ocorrência potencial	Endêmicas da Mata Atlântica	Ameaçadas (Global) CR - EN - VU	Ameaçadas (Nacional) CR - EN - VU	Ameaçadas (Estadual) CR - EN - VU
RPPN Sete de Outubro	200	6	0 - 3 - 3	1 - 4 - 13	6 - 7 - 8
PE Sete Salões	209	6	1 - 4 - 6	3 - 7 - 23	8 - 11 - 15
RPPN Fazenda Bulcão	167	7	1 - 3 - 7	4 - 6 - 22	5 - 14 - 14
FLONA de Goytacazes	175	9	1 - 3 - 7	3 - 8 - 27	9 - 11 - 19

Quanto aos vertebrados listados como de ocorrência real ou potencial nas Áreas de Estudo das UCS, foram encontradas 130 espécies de mamíferos, 295 espécies de aves, 67 espécies de répteis, 60 espécies de anfíbios e 80 espécies de peixes. Na Tabela 4 é apresentado um resumo quantitativo do número de espécies de vertebrados com ocorrência potencial em cada UC e os respectivos valores de espécies potencialmente endêmicas da Mata Atlântica e ameaçadas em escala global (IUCN, 2021), nacional (ICMBio, 2018) e estadual para Minas Gerais (COPAM, 2010) e Espírito Santo (Fraga et al., 2019). Diferentemente dos dados para as plantas, o número de espécies endêmicas e ameaçadas de vertebrados parece apresentar um viés positivo pequeno para a RPPN Sete de Outubro relacionado à sua proximidade com o PE Sete Salões.

Tabela 4. Número de espécies de vertebrados em cada UC e suas respectivas informações sobre origem, endemismo e grau de ameaça nas escalas, global (IUCN, 2021), nacional (ICMBio, 2018) e estadual para Minas Gerais (COPAM, 2010) e Espírito Santo (Fraga et al., 2019). CR = Criticamente em perigo. EN = Em perigo. VU = Vulnerável. **Fonte:** FBDS, 2022.

UC	Espécies com ocorrência potencial	Endêmicas da Mata Atlântica (subespécies)	Ameaçadas (Global) CR - EN - VU	Ameaçadas (Nacional) CR - EN - VU	Ameaçadas (Estadual) CR - EN - VU
RPPN Sete de Outubro	253	18 (5)	0 - 0 - 1	0 - 1 - 3	0 - 1 - 1
PE Sete Salões	410	48 (5)	1 - 1 - 4	2 - 4 - 13	2 - 6 - 8
RPPN Fazenda Bulcão	428	45 (5)	1 - 1 - 6	2 - 2 - 15	3 - 8 - 8
FLONA de Goytacazes	470	56 (10)	1 - 1 - 6	2 - 5 - 21	8 - 7 - 6

Caracterização do Impacto

Nota metodológica

Conforme citado no início deste relatório, nosso maior desafio foi sintetizar o grande volume de informações presentes nos relatórios do Instituto Ekos, bancos de dados e outras fontes consultadas. Ainda, nossa meta era produzir não apenas um documento objetivo, mas um instrumento pragmático, que seja de ampla compreensão quanto aos impactos e as ações reparadoras ou compensatórias necessárias. A estratégia incluiu sete etapas:

(1) Síntese de todos os impactos listados nos relatórios de diagnóstico dos impactos produzidos para as UCS potencialmente afetadas pelo rompimento da Barragem de Fundão. Esta etapa foi necessária para padronizar os impactos e compatibilizar diferenças nas listas de impactos descritos nos relatórios do Instituto Ekos e da CEPEMAR. Estas diferenças na listagem dos impactos incluem i) impactos avaliados por uma empresa e não avaliados pela outra, e (ii) impactos descritos de maneira específica para uma região (por ex. Rio Gualaxo do Norte), embora o mesmo tipo de impacto tenha ocorrido em outros locais. Na padronização feita, alguns impactos que ocorrem de maneira associada foram agrupados. Por exemplo, a turbidez da água está associada a sólidos totais e, portanto, a resposta de uma pode ser em grande parte derivada da outra.

Finalmente, alguns impactos que tratavam de mais de um compartimento ecossistêmico foram separados. Como resultado do processo de padronização dos impactos, foram identificados oito impactos físicos e oito impactos bióticos para as UCs do Grupo 4 (Ver seção "Impactos Identificados e sua Significância").

Embora a presente síntese tenha sido produzida com base em um número reduzido de impactos, sempre que relevante os impactos originalmente descritos pelas empresas que realizaram os diagnósticos foram citados neste relatório. Isto deverá facilitar a correspondência entre os mesmos, algo útil caso se queira buscar maior detalhamento nos diagnósticos originais. O documento "Metodologia de Integração da Avaliação de Impacto Ambiental das Unidades de Conservação da bacia do Rio Doce e região costeira-marinha" traz a correspondência entre todos os impactos compilados;

(2) Revisão dos procedimentos de atribuição dos níveis de magnitude e significância dos impactos e construção de um **sistema de avaliação** no qual os impactos de diferentes UCs pudessem ser tratados de forma regionalizada. Nesta revisão levou-se em conta que:

(a) Em um contexto regional, no qual os impactos em várias UCs são avaliados simultaneamente, deve-se ponderar não somente se os impactos ocorreram dentro das UCs e/ou em suas zonas de amortecimento, mas também qual a proporção de UCs afetadas por cada impacto;

(b) a magnitude de cada impacto constitui o nível de alteração das condições físicas e bióticas em relação às condições anteriores ao rompimento da barragem e pode ser estimada qualitativamente como a soma dos níveis de severidade, extensão geográfica e duração de cada impacto;

(c) a importância dos componentes afetados por cada impacto independe da magnitude e deve ser analisada como um atributo que diz respeito ao valor intrínseco em termos de valor de existência dos componentes que representam o meio físico e a biota local ou ao valor instrumental para populações humanas afetadas;

(d) a significância de cada impacto é o resultado da relação entre a magnitude total de cada impacto (i.e., o nível de alteração do impacto ponderado por sua duração e extensão) e a importância dos diferentes componentes afetados por cada impacto;

(e) diferente das estimativas de magnitude e significância de impactos potenciais que ainda não ocorreram, a reversibilidade de um impacto que já ocorreu não constitui um atributo que deve compor sua magnitude total, pois tendo o impacto ocorrido não se trata mais do risco de perder definitivamente um componente físico ou biótico, mas sim de um aspecto que deve ser considerado nas medidas de reparação ou compensação a serem estabelecidas para cada impacto.

Cálculo da significância

Neste relatório, os níveis de significância dos impactos foram estimados por meio da combinação dos valores de magnitude de cada impacto e da importância dos componentes afetados. A magnitude se refere à combinação de três atributos distintos: severidade, extensão e duração. A severidade, relacionada ao tamanho do efeito observado, foi classificada em três níveis: baixa, média e alta. Já a extensão, que descreve se o impacto foi observado na UC, em sua zona de amortecimento e o número de UCs afetadas por determinado impacto no grupo, foi classificada em quatro níveis distintos: baixa, média, alta e muito alta. O enquadramento da extensão em um determinado nível foi estabelecido a partir do cálculo da extensão normalizada para o grupo de UCs. A duração também contou com quatro níveis distintos, relacionados à atuação do impacto: curta, média, longa e permanente. Cada um destes atributos foi ordenado de modo que variassem de 1 à 4, sendo a magnitude resultado da soma destes três atributos.

A magnitude foi dividida em três níveis: baixa, para escores de 3 a 5; média, para escores de 6 a 9 e; alta, para escores de 10 a 12. Cada um destes níveis foi relacionado com um novo escore, representando a magnitude total do impacto, que variou entre 1 e 3.

A importância dos componentes também foi classificada nestes mesmos níveis: baixa, média e alta e seguiu a mesma hierarquização. A classificação dos componentes em cada um destes níveis de importância seguiu critérios distintos para os meios físico e biótico, e buscou representar o valor intrínseco do componente afetado, relacionado a critérios como a ocorrência de espécies endêmicas e ameaçadas e ao uso humano.

Por fim, a significância é resultado da combinação entre magnitude e importância atribuídas e foi classificada em 5 níveis, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5. Interpretação dos níveis de significância dos impactos a partir dos valores em escala ordinal descritos em detalhes para todos os impactos no Anexo 1. **Fonte:** FBDS, 2022.

Níveis de magnitude	Níveis de importância do componente afetado		
	Baixa	Média	Alta
Baixa	Muito baixa	Baixa	Média
Média	Baixa	Média	Alta
Alta	Média	Alta	Muito alta

A FBDS representará os valores atribuídos a cada um dos parâmetros avaliados e a significância resultante para cada impacto através do ícone gráfico abaixo, buscando facilitar a visualização dos mesmos:



A coloração de cada atributo segue a lógica descrita no texto e na tabela apresentada, onde cores mais quentes representam níveis de maior intensidade. Cabe ressaltar que a metodologia de cálculo brevemente descrita aqui está apresentada em detalhes no documento "Metodologia de Integração da Avaliação de Impacto Ambiental das Unidades de Conservação da bacia do Rio Doce e região costeira-marinha".

(3) Construção de mapas causais para sintetizar os impactos detectados. Os mapas possibilitam rápida compreensão da localização dos impactos nos compartimentos ecossistêmicos e sua relação com as UCs (por exemplo, se dentro das UCs ou apenas nas Zonas de Amortecimento). Eles possibilitam um arcabouço prático para interpretação dos impactos listados. Os mapas também ilustram o resultado da avaliação de significância dos impactos;

(4) Para os dados do meio físico, foram feitas sínteses com análise multivariada para grupos de variáveis com bons dados quantitativos disponíveis. Os dados históricos de qualidade de água do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e, em menor grau, do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), possibilitaram comparação direta das condições pretéritas e posteriores ao rompimento da Barragem de Fundão. Um exame exploratório individual de dezenas de variáveis em relação às datas das amostragens foi feito e selecionadas aquelas disponíveis para várias datas ao longo da série histórica.

A síntese do comportamento destas variáveis em relação ao rompimento da Barragem de Fundão foi feita através de análise de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) e correlação de seus eixos com as variáveis originais. Esta análise permite entender quais variáveis, entre o grande número de variáveis utilizadas, mais distinguem amostras antes e após o rompimento. Optamos por essa abordagem pelo grande poder de síntese e fácil interpretação gráfica dos resultados. A análise descrita neste relatório para as UCS de Minas Gerais inclui apenas dados do IGAM. A vantagem de usar apenas estes dados é a padronização do esforço de coleta e métodos analíticos laboratoriais. Entretanto, a análise foi repetida adicionando dados de Golder Associates(2017) e do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) da Renova (obtidos de www.monitoramentoriodeoce.org). Os dados do Relatório Golder Associates(2017) incluem o período entre 09/11/2015 e 16/08/2017, enquanto os dados do PMQQS correspondem ao período de 09/08/2017 a 17/07/2021. As conclusões desta segunda análise foram semelhantes. Detalhes metodológicos das análises bem como os resultados da segunda análise podem ser vistos no Anexo 2. Para a FLONA de Goytacazes, não foi possível fazer uma análise com apenas uma fonte de dados (e evitar os vieses metodológicos citados acima), tendo em vista a curta série histórica do IEMA que trata apenas do período anterior ao rompimento da Barragem de Fundão. Portanto, a análise neste relatório inclui dados do IEMA, Golder Associates(2017) e PMQQS.

A mesma abordagem multivariada (NMDS) foi aplicada, separadamente, para dados de granulometria e descritores químicos do sedimento. Os dados de granulometria e química do sedimento foram obtidos em Golder Associates(2017) e PMQQS. Para variáveis químicas do sedimento, obteve-se dados pré-rompimento de Golder Associates(2021, 2022) e que são derivadas da tese de Pacheco (2015). Os valores na tese foram determinados com metodologia distinta. Entretanto, as amostras foram reanalisadas pelo próprio autor com metodologia compatível com resoluções nacionais e disponibilizadas em Golder Associates(2021, 2022). Apresentamos análises com e sem os dados de Pacheco (2015) disponibilizados em Golder Associates(2021, 2022).

(5) Para os dados do meio biótico, foram realizadas interpretações dos efeitos dos impactos observados e mensurados no meio físico sobre os componentes bióticos considerando os seguintes aspectos:

- (a) as linhas de base dos diferentes componentes bióticos;
- (b) as distâncias e diferenças de elevação das UCs em relação aos locais onde os impactos físicos foram identificados e/ou até onde a ocorrência dos mesmos possa ter se propagado;
- (c) a conectividade hidrológica e terrestre entre as UCs e os locais onde os impactos físicos foram identificados;
- (d) a potencial propagação dos impactos bióticos por meio de bioacumulação ou bioamplificação de contaminantes, perda de habitat ou recursos, cascatas tróficas e outros efeitos diretos e indiretos entre os grupos de espécies avaliados.

(6) Interpretação integrada dos efeitos dos impactos físicos e bióticos sobre os diferentes compartimentos ecossistêmicos por meio de **diagramas causais**. O uso de diagramas permite sintetizar de maneira clara as potenciais relações causais entre o rompimento da Barragem de Fundão e os vários compartimentos avaliados, além de incluir a significância dos impactos.

(7) Síntese das propostas de **ações reparatórias e compensatórias** por meio da compilação das medidas listadas nos relatórios apresentados para cada uma das UCs, seguida de uma análise crítica sobre a pertinência das mesmas para lidar com os impactos estabelecidos.

Mais detalhes sobre os métodos utilizados e brevemente descritos acima podem ser encontrados no documento "Metodologia de Integração da Avaliação de Impacto Ambiental das Unidades de Conservação da bacia do Rio Doce e região costeira-marinha" e nos Anexos 1 e 2.

Impactos identificados

e sua significância

Impactos no Meio Físico

Antes da descrição de cada impacto, é interessante ter uma visão em macroescala dos compartimentos ecossistêmicos afetados (Fig. 2). O fluxo de rejeitos deteriorou a qualidade da água do Rio Doce e partes baixas de seus tributários (Fis1). A grande quantidade de material em suspensão foi depositada no leito, causando assoreamento (Fis2), contaminação do sedimento (Fis3) e alteração da granulometria e demais propriedades do sedimento (Fis4). A grande quantidade de sedimento depositada também afetou a morfologia do canal (Fis5). Nos períodos chuvosos após o desastre, a água do rio ressuspendeu o sedimento depositado no leito do Rio Doce e reservatórios a montante e alcançou suas planícies sazonalmente alagáveis, soterrando-as (Fis6) e contaminando-as (Fis7). Finalmente, a deterioração da água do Rio Doce causou aumento no uso de água subterrânea (poços) e superficial (riachos) por populações humanas, diminuindo a vazão de seus tributários (Fis8) (Fig. 2).

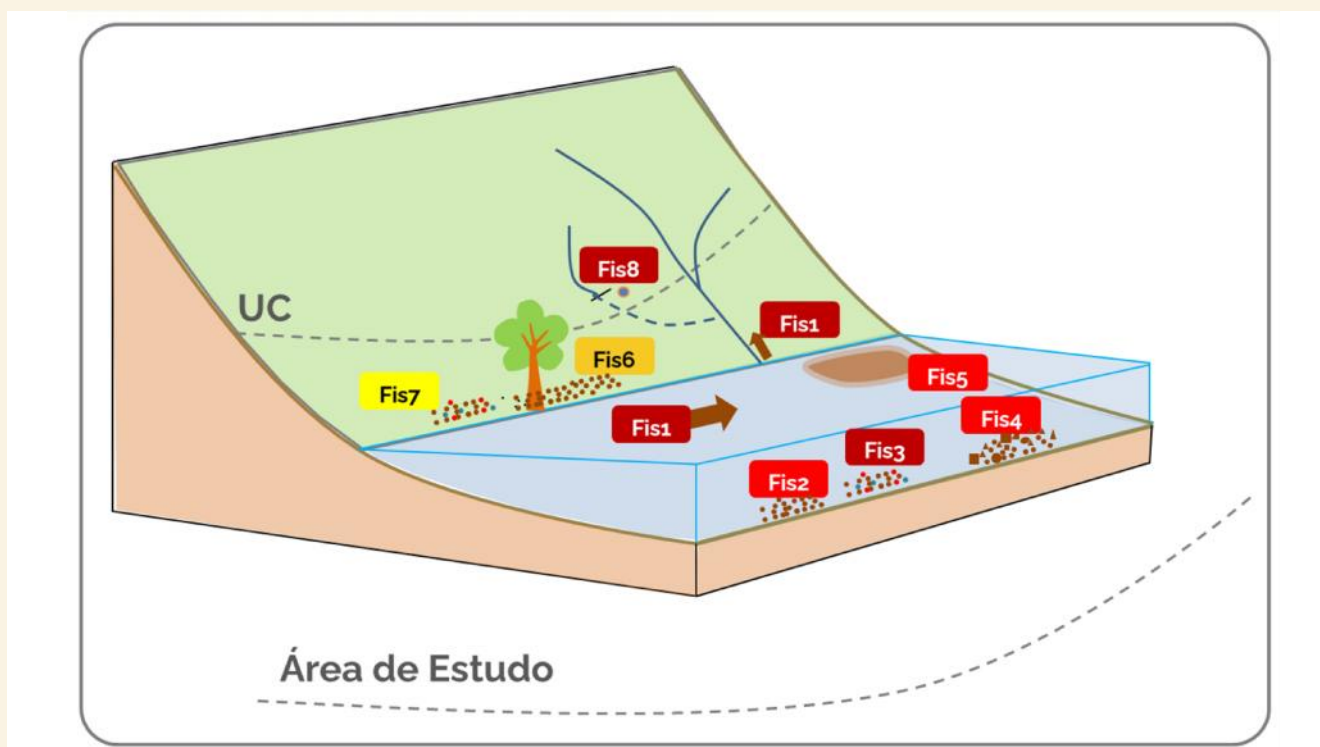


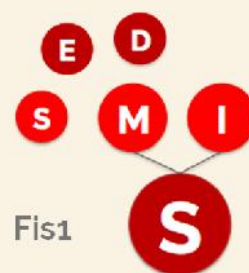
Figura 2. Mapa conceitual dos impactos detectados e os compartimentos ecossistêmicos afetados para as UCs do Grupo 4. Fis1 = Degradação da qualidade da água. Fis2 = Assoreamento de corpos hídricos. Fis3 = Contaminação do leito. Fis4 = Degradação da qualidade do sedimento. Fis5 = Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água. Fis6 = Soterramento de planícies fluviais. Fis7 = Contaminação de planícies fluviais. Fis8 = Redução da quantidade de água dos tributários ao Rio Doce. Significância dos impactos: Amarelo = baixa; Laranja = média; Vermelho = Alta; Vermelho escuro = Muito Alta. **Fonte:** FBDS, 2022.

O quadro geral descrito aplica-se à RPPN Sete de Outubro, PE Sete Salões e FLONA de Goytacazes. A RPPN Fazenda Bulcão não foi impactada por dois dos impactos descritos acima, referentes à planície fluvial (Fis6 e Fis7). Isto é devido ao fato do trecho do Rio Doce próximo à RPPN Fazenda Bulcão possuir vazão reduzida causada pela UHE Eliezer Batista, não estando sujeito a enchentes e conseqüente alagamento de planícies fluviais. Portanto, os impactos físicos diretos ficaram restritos à calha do Rio.

A relação dos impactos físicos bem como sua magnitude pode ser vista no Anexo 1. A descrição de cada um segue abaixo. Os códigos iniciados com "Fis" foram criados pela equipe da FBDS, a partir do esforço de síntese realizado. Já os códigos iniciados com "F" se referem aos impactos originalmente apresentados pelas empresas que realizaram a AIA de cada uma das UCs, o Instituto Ekos no caso deste grupo de UCs.



Fis1: Degradação da qualidade da água



Diminuição da qualidade da água através do aumento na carga suspensa, contaminação por metais, nutrientes, microorganismos e demais alterações nos parâmetros físico-químicos da água.

F1: Degradação da qualidade da água do Rio Doce e corpos d'água marginais: aumento na carga suspensa
 F3: Degradação da qualidade da água do Rio Doce e corpos d'água marginais: contaminação microbiológica
 F4: Degradação da qualidade da água do Rio Doce e corpos d'água marginais: demais alterações físico-química
 F11: Degradação da qualidade da água e dos sedimentos de tributários ao Rio Doce

Este é o impacto **melhor documentado e com menor incerteza** de relação causal em relação ao rompimento da Barragem de Fundão. Sua caracterização mais detalhada aqui neste relatório é fundamental, pois é por meio da água e seus materiais transportados que acontecem os demais impactos físicos. A descrição abaixo é referente ao Rio Doce no trecho entre Conselheiro Pena (MG) e Linhares (ES), mas se estende para regiões baixas de seus tributários incluídos nas Áreas de Estudo.

Os sedimentos grossos de rejeito foram em grande parte depositados no reservatório da UHE Risoleta Neves (Candonga). Sedimentos finos de rejeito foram depositados no leito a jusante de Candonga e nas UHEs Baguari, Eliezer Batista (Aimorés) e Mascarenhas. A RPPN Sete de Outubro e o PE Sete Salões estão a 324-356 km, pelo percurso de rio, a jusante do reservatório da UHE Risoleta Neves. A estação de coleta de dados de água para a RPPN Fazenda Bulcão está a 383 km a jusante da UHE Risoleta Neves e 1,3 km a jusante da UHE Eliezer Batista. A FLONA de Goytacazes está a 504 km a jusante da UHE Risoleta Neves, 111 km da UHE Eliezer Batista e 99 da UHE Mascarenhas. Portanto, os trechos do Rio Doce a jusante tenderam a receber menos sedimento, e de menor granulometria, num primeiro momento. De fato, Golder Associates(2020, apud Golder Associates2021) estimou que logo após o rompimento da Barragem de Fundão foram depositados 3.360.000 m³ na UHE Baguari, 1.047.000-3.432.000 m³ no trecho entre as UHEs Baguari e Mascarenhas e 3.350.000 m³ na UHE Aimorés. Pode-se inferir que estes sedimentos depositados ao longo do rio e nos reservatórios serão ressuspensos durante cheias, fazendo com que trechos a jusante sejam impactados por períodos mais longos.

A Figura 3 apresenta a série histórica de sólidos totais (suspensos + dissolvidos) bem como a vazão do Rio Doce nos trechos de Resplendor (RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões), Baixo Guandú (RPPN Fazenda Bulcão) e Linhares (FLONA de Goytacazes). O padrão observado para sólidos ilustra muito bem o que aconteceu com dezenas de outros descritores da água do Rio Doce, ou seja, apresenta forte correlação estatística com estes outros descritores. Por exemplo, para o trecho de Resplendor (MG), sólidos totais apresentou correlação de 0,98 com manganês total (representando inorgânicos) e 0,69 com fósforo total (representando íons nutrientes). Portanto, este descritor é um indicador parcial deste impacto (análise mais abrangente é dada pela ordenação NMDS descrita abaixo).

O rompimento aconteceu no dia 5 de novembro de 2015. Houve pequena cheia em torno do dia 08/11/2015 decorrente de liberação de água armazenada na UHE Risoleta Neves para que se pudesse armazenar os rejeitos de Fundão. Esta liberação de água foi pequena em relação à vazão do Rio Doce em épocas de cheia e praticamente não é notada na série histórica de vazão (Fig. 3). As primeiras amostras que detectaram o aumento súbito de sólidos totais foram obtidas no dia 08/12/2015 em Resplendor e 18/11/2015 em Baixo Guandú (Fig. 3A, B). A série histórica de Baixo Guandú também inclui valor de 54152 mg/l no dia 30/12/2015 (não mostrado na Fig. 3B), valor extremamente alto e que pode ter sido um erro de registro. Chuvas intensas em meados do mês seguinte ressuspenderam o sedimento depositado e causaram o maior valor de sólidos totais de toda série histórica em Resplendor e o segundo maior em Baixo Guandú nos dias 21-23/01/2016. Um valor alto, mas dentro da amplitude de valores pré-rompimento, foi observado em Resplendor dois anos depois do rompimento da Barragem de Fundão (07/12/2017). Os dados de sólidos totais não eram monitorados pelo IEMA na estação de Linhares (ES) por ocasião da época do rompimento de Fundão, mas existiam algumas informações para o período 1999-2009. Assim como observado em Resplendor e Baixo Guandú, foram registrados valores muito altos de sólidos em Linhares imediatamente após o rompimento de Fundão, no final de novembro de 2015 (Fig. 3C). Valor relativamente alto, em relação à série histórica, também foi observado no verão seguinte (Fig. 3C).

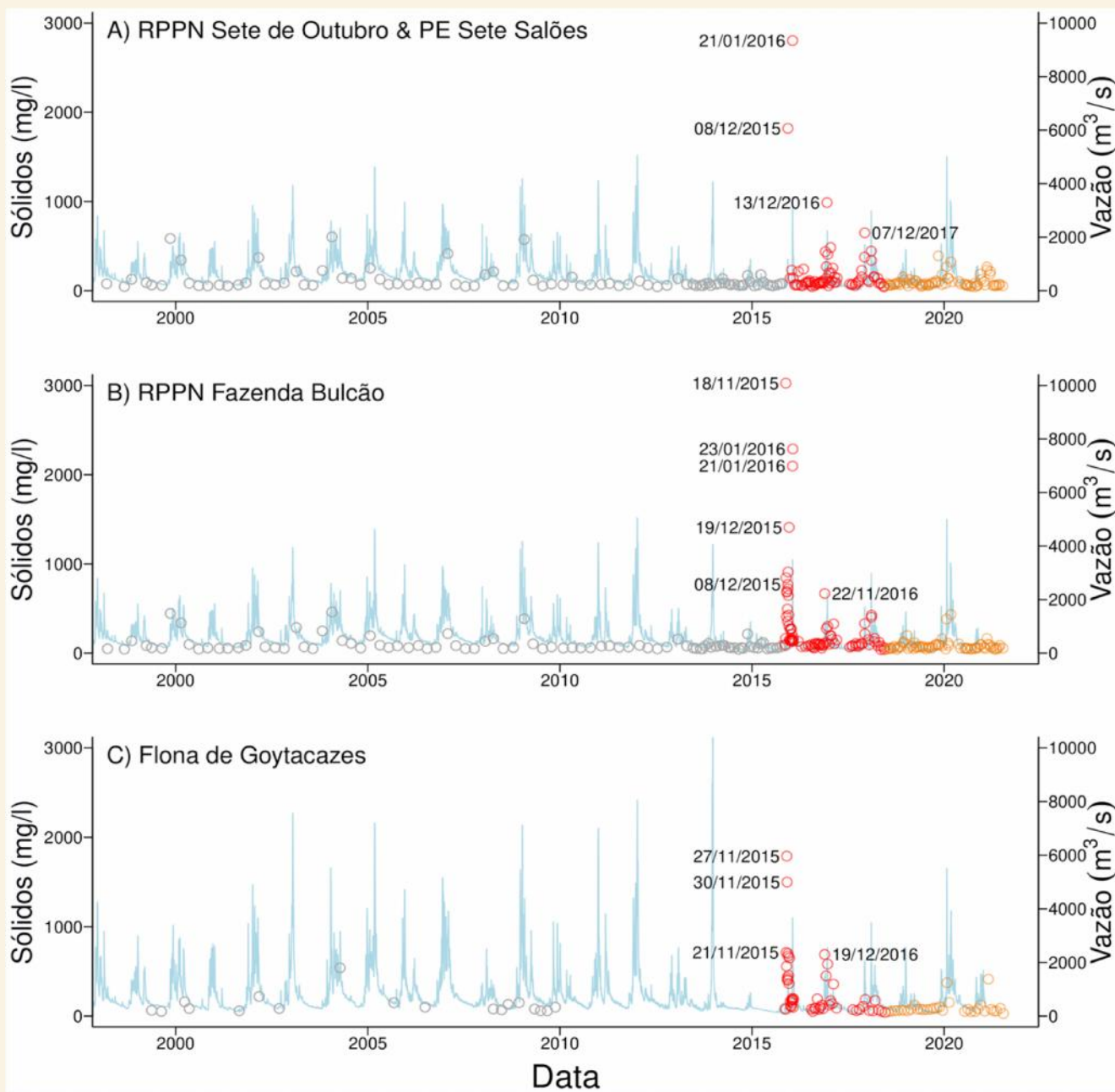


Figura 3. Série histórica de concentração de sólidos totais (suspensos + dissolvidos) e vazão do Rio Doce, ambos determinados nos trechos de A) Resplendor (RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões), B) Baixo Guandú (RPPN Fazenda Bulcão) e C) Linhares (FLONA de Goytacazes). Pontos indicam os valores de sólidos e a linha azul indica a vazão. Pontos em cinza indicam amostras obtidas antes do rompimento. Amostras em vermelho e laranja representam amostras pós-rompimento obtidas antes e após 01/07/2018, respectivamente (a data escolhida fica mais ou menos na metade do período pós-impacto). Valores discrepantes de sólidos são marcados com datas de ocorrência. Incluí dados do IGAM, IEMA, Golder Associates(2017) e PMQSS. Dados de vazão foram obtidos das estações 56920000 (Tumiritinga - MG) e 56994500 (Colatina - ES) da Agência Nacional de Águas. Os dados de Tumiritinga são usados em A) e B). Um registro de Golder Associates(2017) de sólidos totais de 54152 mg/l no dia 30/12/2015 não é mostrado na figura B) para maior clareza das demais amostras. **Fonte:** FBDS, 2022.

Para uma análise mais abrangente dos descritores de água, fizemos uma ordenação NMDS das amostras de água obtidas em Resplendor (RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões), Baixo Guandú (RPPN Fazenda Bulcão) e Linhares (FLONA de Goytacazes) (Fig. 4). Nesta figura, pontos (amostras de água) próximos tendem a ser semelhantes quanto aos valores das variáveis utilizadas na análise. Pontos distantes entre si tendem a ser diferentes. Pontos cinza indicam amostras pré-rompimento, vermelho aquelas pós-rompimento até 01/07/2018 e laranja aquelas obtidas desde 01/07/2018.

As ordenações com os dados de Resplendor e Baixo Guandú foram feitas com 41 e 40 variáveis de água, respectivamente, e seus resultados foram semelhantes (Figs. 4A, B). As duas amostras obtidas no dia 21/01/2016 nos dois locais foram ordenadas de forma discrepante em relação às demais. No caso de Resplendor a amostra obtida no dia 08/12/2015 também foi discrepante. Estas duas datas correspondem a alguns dos picos de sólidos totais observados na Figura 3. As amostras do dia 21/01/2016 foram fortemente correlacionadas com sólidos totais e manganês (setas vermelhas na Figs. 4A, B). As demais amostras destas duas estações de coleta ficaram agrupadas, com tendência de posicionamento daquelas pós-rompimento (vermelho e laranja) na porção superior do eixo 2. Estas amostras pós-rompimento tenderam a ter maiores valores de nitrato.

A presença das amostras discrepantes obtidas nos dias 08/12/2015 e 21/01/2016 em Resplendor (Fig. 4A) e 21/01/2016 em Baixo Guandú (Fig. 4B) prejudicaram a visualização das demais amostras. Portanto, retiramos estas três amostras e refizemos as análises, que são apresentadas na Figura 1 do Anexo 2. O posicionamento parcialmente distinto ao longo do eixo 2, com amostras pré-rompimento abaixo e aquelas pós-rompimento acima, ficou mais evidente nesta nova análise. Isto indica que as condições pré-rompimento ainda não foram totalmente restabelecidas. Usamos estes dois conjuntos reduzidos (sem 2 amostras em Resplendor e sem 1 amostra em Baixo Guandú) para testar a semelhança entre o período pré-rompimento com os dois períodos pós-rompimento usando uma Análise de Variância Multivariada baseada em Distâncias (método PERMANOVA; Anderson, 2001). Para Resplendor, o teste comparativo de amostras antes e logo após o rompimento (pós1 = antes de 01/07/2018; em vermelho nas figuras) mostrou que os dois grupos são distintos ($F_{1,114} = 11,126$; $p < 0,001$). O teste com amostras obtidas antes do rompimento e aquelas obtidas recentemente (pós2 = desde 01/07/2018; em laranja nas figuras) também mostrou que as características de água em Resplendor são distintas nos dois períodos ($F_{1,125} = 12,958$; $p < 0,001$). Os resultados para Baixo Guandú foram semelhantes àsquelas de Resplendor, com diferenciação dos dois pares de comparações (pré e pós1: $F_{1,113} = 16,076$; $p < 0,001$; pré e pós2: $F_{1,123} = 12,319$; $p < 0,001$). Isto indica que as condições da água do Rio Doce ainda não retornaram totalmente às suas características pré-rompimento em Resplendor e Baixo Guandú.

Apesar da menor disponibilidade de amostras pré-rompimento e menor quantidade de variáveis de água determinadas, a ordenação das amostras obtidas na Zona de Amortecimento da FLONA de Goytacazes, em Linhares (Fig. 4C), apresentou resultado semelhante àqueles de Resplendor e Baixo Guandú. As amostras do verão 2015/2016 tenderam a ser distintas das demais, mas não de modo tão discrepante quanto aquelas obtidas em 21/01/2021 nas duas estações a montante. Estas amostras do verão 2015/2016 estiveram associadas a sólidos totais. Também houve separação parcial das amostras antes e após o rompimento da Barragem de Fundão ao longo do eixo 2. Os testes multivariados para comparação das semelhanças das condições de água antes com os dois períodos pós-rompimento deram suporte às interpretações visuais da análise NMDS (pré e pós1: $F_{1,86} = 9,810$; $p < 0,001$; pré e pós2: $F_{1,50} = 7,255$; $p < 0,001$). Deve-se ressaltar, entretanto, que esta análise possui menor confiabilidade em relação àquelas de Resplendor e Baixo Guandú. Enquanto aquelas foram feitas com 41-42 variáveis de água, a de Linhares foi feita com 14 variáveis. Ainda, a análise de Linhares incluiu dados do IEMA, Golder Associates(2017) e PMQQS, enquanto em Resplendor e Baixo Guandú foram utilizados apenas dados do IGAM, o que assegura melhor padronização de eventuais vieses metodológicos por ser derivado de apenas uma fonte. Finalmente, os dados do IEMA foram obtidos apenas entre 1999-2009 e, portanto, em época consideravelmente anterior ao rompimento da Barragem de Fundão.

Finalmente, assim como feito para Linhares (Fig. 4C), foram feitas ordenações para as estações de Resplendor e Baixo Guandú agregando dados do IGAM, Golder Associates(2017) e PMQQS (Figura 2 no Anexo 2). Os resultados foram qualitativamente semelhantes. Amostras nos verões 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018 foram discrepantes em relação às demais. Ainda, amostras de Resplendor pós-rompimento foram ordenadas acima daquelas pré-rompimento, enquanto em Baixo Guandú elas foram ordenadas acima e a esquerda daquelas pré-rompimento (Anexo 2).

As ordenações indicam que enchentes no verão ressuspendem rejeitos depositados no leito do Rio Doce, reservatórios e planícies fluviais (várzea) de trechos a montante. Ainda, este processo vem acontecendo em todos os verões desde o rompimento, ainda que em menor intensidade em períodos recentes. Finalmente, as ordenações mostram que, apesar de amostras antes e após o rompimento ocuparem regiões semelhantes na ordenação, existe nítida tendência de maior concentração de amostras pós-rompimento em região distinta daquelas ocupadas por amostras pré-rompimento. Isto indica que a qualidade de água do Rio Doce no trecho de estudo é relativamente distinta daquela observada antes.

Finalmente, a alteração da qualidade d'água do Rio Doce entre Resplendor e Linhares pode ser vista de forma resumida na Tabela 6. Entre os parâmetros com valores regulatórios determinados (CONAMA 357/2005 e COPAM 1/2018), 68% (21/31), 75% (24/32) e 81% (26/32) ultrapassaram os limites, respectivamente para Resplendor, Baixo Guandú e Linhares, nas amostras obtidas no mesmo verão em que houve o rompimento de Fundão. Ainda, 71% (35/49), 90% (44/49) e 75% (12/16) dos parâmetros ultrapassaram a série histórica no curto prazo (mesmo verão do rompimento da Barragem de Fundão). Até o verão seguinte, 67% (32/48), 75% (36/48) e 44% (7/16) dos parâmetros ainda estavam distintos daqueles observados, nas séries históricas, respectivamente para Resplendor, Baixo Guandú e Linhares.

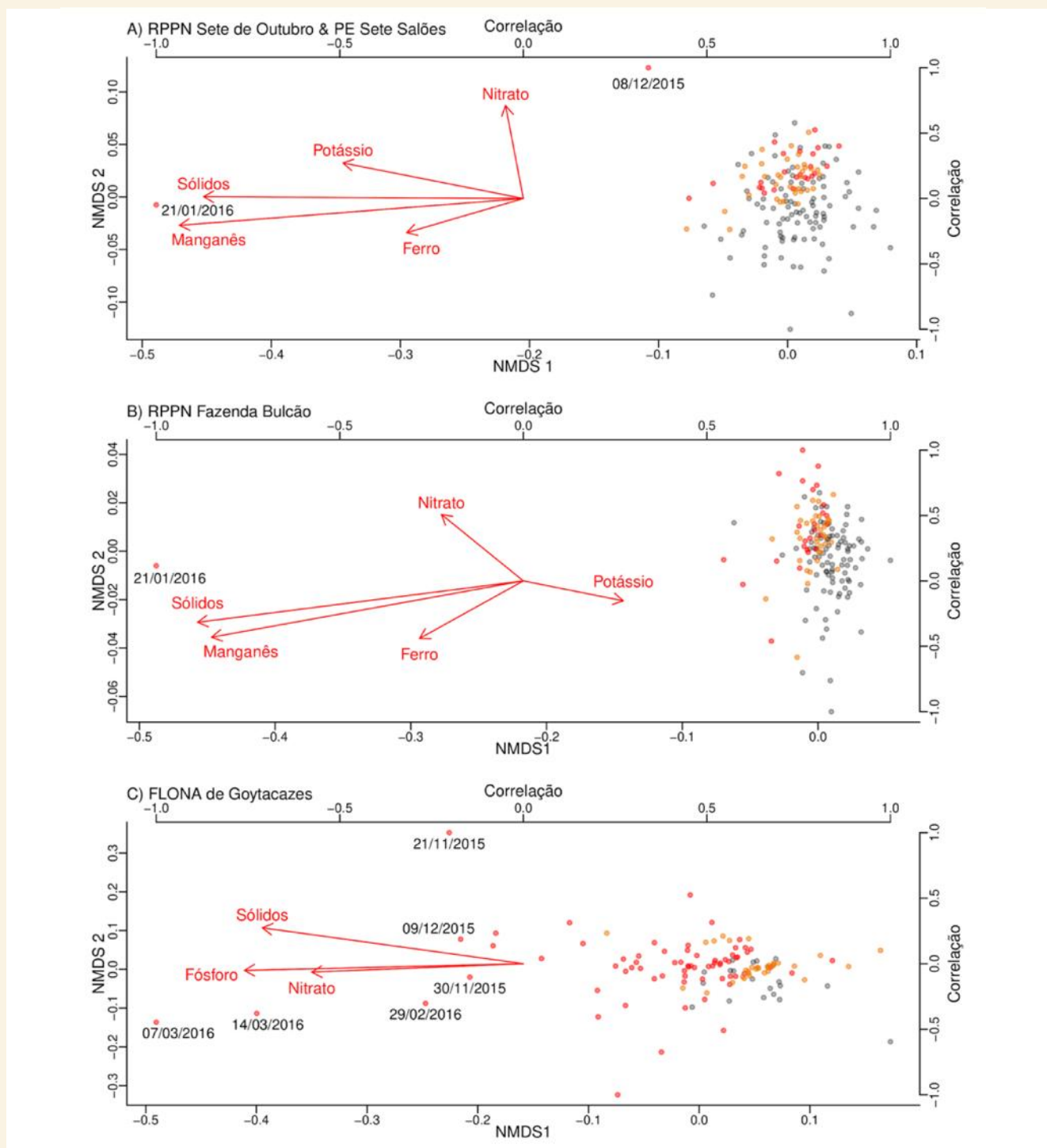


Figura 4. Ordenação das amostras de água do Rio Doce obtidas em A) Resplendor (RPPN Sete de Outubro & PE Sete Salões), B) Baixo Guandú (RPPN Fazenda Bulcão) e C) Linhares (FLONA de Goytacazes) em relação a variáveis físicas, químicas e microbiológicas. Pontos em cinza indicam amostras obtidas antes do rompimento. Amostras em vermelho e laranja representam, respectivamente, amostras pós-rompimento obtidas antes e após 01/07/2018. Amostras próximas indicam maior similaridade nos valores das variáveis aquáticas. Setas indicam correlação de algumas variáveis associadas com os eixos de ordenação. As escalas de correlação estão representadas nos eixos superior e a direita. Setas longas indicam forte correlação. Amostras no sentido da cabeça da seta tendem a possuir maiores valores daquela variável, enquanto aquelas em sentido contrário tendem a apresentar valores baixos. Amostras discrepantes obtidas após o rompimento são identificadas com suas datas. As análises de Resplendor e Baixo Guandú foram feitas com dados do IGAM. A análise de Linhares foi feita com dados do IEMA, Golder Associates(2017) e PMQQS. **Fonte:** FBDS, 2022.

Tabela 6. Porcentagem de variáveis aquáticas que ultrapassaram valores regulamentares (CONAMA 357/2005 e COPAM 1/2018) e que ultrapassaram valores históricos no curto (mesmo verão em que ocorreu rompimento) e médio (até o verão seguinte) prazo (modificado de Instituto Ekos 2019a, b, c, d). Valores em parênteses indicam número total de variáveis analisadas no grupo. Não foram computadas variáveis para as quais não se tem padrões claros, em geral por falta de dados (marcados com "?") ou por falta de valores de regulamentação (marcados como "ND") nos diagnósticos do Instituto Ekos.

Fonte: FBDS, 2022.

● RPPN Sete de Outubro ◆ Parque Estadual Sete Salões ■ RPPN Fazenda Bulcão ▲ FLONA de Goytacazes

Variáveis	Regulatório Curto prazo				Histórico Curto prazo				Histórico Médio prazo			
	◆ ●	■	▲	◆ ●	■	▲	◆ ●	■	▲			
Básicos	100 (6)	100(6)	100(6)	85 (13)	100 (13)	100 (6)	92 (13)	92 (13)	83 (6)			
Inorgânicos	71 (17)	72 (18)	83 (18)	74 (23)	87 (23)	0 (2)	59 (22)	77 (22)	0 (2)			
Macronutrientes	25 (4)	50 (4)	50 (4)	100 (4)	100 (4)	100 (4)	50 (4)	50 (4)	50 (4)			
Microbiológicos	0 (1)	100 (1)	100 (1)	0 (4)	100 (4)	0 (0)	75 (4)	75 (4)	0 (0)			
Orgânicos	50 (2)	100 (2)	100 (2)	67 (3)	67 (3)	67 (3)	33 (3)	33 (3)	0 (3)			
Fitoplâncton	100 (1)	0 (1)	0 (1)	50 (2)	50 (2)	0 (1)	50 (2)	50 (2)	0 (1)			

Básicos: Sólidos dissolvidos, Sólidos em suspensão, Sólidos totais, Turbidez, Condutividade, Oxigênio dissolvido, pH, Alcalinidade do bicarbonato, Alcalinidade total, Dureza de cálcio, Dureza de magnésio, Dureza total, Cor verdadeira

Inorgânicos: Alumínio dissolvido, Alumínio total, Arsênio total, Bário total, Boro dissolvido, Boro total, Cádmiu total, Cálcio total, Chumbo total, Cianeto livre, Cloreto total, Cobre dissolvido, Cobre total, Cromo hexavalente, Cromo total, Cromo trivalente, Ferro dissolvido, Magnésio total, Manganês total, Mercúrio total, Níquel total, Selênio total, Sódio dissolvido, Sulfato total, Sulfeto, Zinco total

Macronutrientes: Fósforo total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal total, Nitrogênio orgânico, Potássio dissolvido

Microbiológicos: Coliformes termotolerantes, Coliformes totais, Escherichia coli, Estreptococos fecais

Orgânicos: Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Fenóis totais

Fitoplâncton: Clorofila a, Feofitina a, Densidade de cianobactérias.

Este impacto foi classificado como de **alta magnitude**. Ele teve alta severidade, pois mudou fortemente as características da água do Rio Doce e trechos baixos de seus tributários, particularmente em eventos de cheia. Sua extensão foi muito alta, pois atingiu as Zonas de Amortecimento das UCs deste relatório, incluindo parte baixa dos tributários do Rio Doce, alguns dos quais com origem ou passagem pelas UCs. Sua duração é tida como permanente tendo em vista que se manifesta até o presente (particularmente em eventos de cheia). A **importância é alta**, pois é habitat de ampla diversidade de organismos aquáticos sendo usada por populações humanas para diversos fins. A alta magnitude e alta importância do impacto classifica-o como de **muito alta significância** (Tabela 7). Trata-se de um impacto negativo, de ocorrência Real (com base em evidências quantitativas), incidência direta e reversível.



Fis2: Assoreamento de corpos hídricos



Aumento do acúmulo de sedimentos sobre o leito dos rios, nas suas respectivas zonas de confluência com tributários e nos corpos d'água marginais

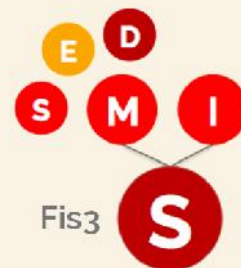
F5: Assoreamento do leito do Rio Doce, zonas de confluência com tributários e corpos d'água marginais.

Golder Associates(2021, 2022) avaliaram a deposição de rejeitos na bacia do Rio Doce (intracalha e extracalha) por meio de dados secundários e também dados obtidos em campo. Eles estimaram que no trecho de 180 km delimitado entre as UHEs Baguari e Mascarenhas (T14), que inclui Conselheiro Pena e Resplendor (RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões) e Baixo Guandú (RPPN Fazenda Bulcão), 629,98 ha do leito estavam recobertos por sedimentos no levantamento de campo feito entre outubro de 2020 e julho de 2021. O volume de rejeitos neste trecho foi estimado em 642.696 m³. Estas estimativas não incluem os rejeitos retidos em reservatórios das UHEs no trecho de estudo. Entre os vários trechos onde se identificou depósitos de rejeitos, destacam-se aqueles nas Áreas de Estudo da RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões (Figura 224 [pranchas 35-36] de Golder Associates2021). Golder Associates(2021) não detectaram depósitos de rejeitos na Área de Estudo da RPPN Fazenda Bulcão (Figura 224 [prancha 40] de Golder Associates2021), mas apenas no reservatório da UHE Aimorés a montante (Figura 224 [prancha 39] de Golder Associates2021) e no reservatório da UHE Mascarenhas a jusante (Figura 224 [prancha 41] de Golder Associates2021). Golder Associates(2022) não detectaram depósitos de rejeitos no inventário feito entre novembro e dezembro de 2019 no trecho do Rio Doce na Área de Estudo da FLONA de Goytacazes. Vale ressaltar que o estudo de campo de Golder Associates(2021, 2022) foi feito cerca de 5 anos após a ruptura da Barragem de Fundão portanto, a deposição de rejeitos na época deve ter sido bem maior. Em relação a esta última inferência, Golder Associates(2021) citam estudo de Rhama e Água Doce (2020) que estimaram que o montante de rejeitos presentes em 2019 representava 51,4% dos sedimentos originalmente depositados no leito do Rio Doce no trecho T14. Tendo em vista que o reservatório da UHE Baguari, a montante de todas UCs deste relatório possui cerca de 1.892.907 m³ de rejeitos, e que a UHE Aimorés, a montante das Áreas de Estudo da RPPN Fazenda Bulcão e FLONA de Goytacazes possui cerca de 2.733.342 m³ de rejeitos (Golder Associates2021), é plausível que trechos assoreados por rejeitos estarão presentes nas Áreas de Estudo de algumas das UCs por vários anos.

Este impacto foi classificado como de ocorrência real, baseado em evidências empíricas. Ele teve natureza negativa, incidência direta, reversível e de **média magnitude**. Ele teve baixa severidade, pois mudou parcialmente os depósitos de sedimentos no leito do do Rio Doce. Sua extensão foi média, pois atingiu apenas a calha do Rio Doce nas Zonas de Amortecimento das UCs tratadas neste relatório. Sua duração é tida como permanente tendo em vista que se manifesta até o presente (particularmente em eventos de cheia). A **importância é alta** pois o leito do rio é habitat de ampla diversidade de organismos bentônicos e os rejeitos depositados são ressuspensos durante cheias, o que afeta a qualidade da água. A média magnitude e alta importância do impacto classifica-o como de **alta significância** (Tabela 7). É um impacto negativo, incidência direta e reversível.



Fis3: Contaminação do leito do rio



Aumento da contaminação do leito do Rio Doce

F2: Degradação da qualidade da água e sedimento do Rio Doce e corpos d'água marginais: contaminação por metais

Este impacto ocorre associado ao depósito de rejeitos no leito do Rio Doce, mas é avaliado separadamente tendo em vista o potencial de maior persistência de seus efeitos. A relação causal é dada pela deposição de rejeitos e revolvimento de sedimentos já depositados no leito. A identificação do impacto é dada por diferentes evidências. A primeira é a drástica alteração de variáveis aquáticas em relação às condições pré-rompimento (Fis1). Outras três evidências são apresentadas abaixo e consistem de: i) série temporal de diversas variáveis de sedimento (dados de Golder Associates[2017] e PMQQS) obtidas desde o rompimento da Barragem de Fundão; ii) comparações de metais em amostras obtidas pré-rompimento por Pacheco (2015) e disponibilizadas por Golder Associates(2021, 2022) e pós-rompimento por Golder Associates(2017) e PMQQS; e iii) resultados de trabalhos científicos.

O IGAM e IEMA não monitoram características do sedimento, portanto, não existem dados sistematizados para o período anterior ao rompimento da Barragem de Fundão. Entretanto, houve esforços de amostragem pós-rompimento e determinação analítica de diversas variáveis químicas do sedimento, disponibilizadas por Golder Associates(2017) e PMQQS. Portanto, pode-se avaliar as variáveis das amostras imediatamente após o rompimento (verão 2015/2016) com aquelas mais recentes. A expectativa foi de que amostras coletadas nas primeiras estações chuvosas (verão) fossem distintas, como consequência do depósito de rejeitos e revolvimento do leito, e que amostras recentes tendessem a serem mais semelhantes entre si. Para tanto, selecionamos variáveis químicas com pelo menos 4 anos de dados (11 variáveis em Resplendor e 16 em Baixo Guandú e Linhares) e fizemos uma análise NMDS com as amostras disponíveis (17, 73 e 68 em Resplendor (RPPN Sete de Outubro & PE Sete Salões), Baixo Guandú (RPPN Fazenda Bulcão) e Linhares (FLONA de Goytacazes), respectivamente).

A Figura 5 (A, C e E) mostra a ordenação das amostras de química do sedimento obtidas antes de 01/07/2018 (vermelho) e aquelas obtidas desde então (laranja). Em Resplendor, as poucas amostras disponíveis indicaram diferenciação dos dois períodos (Fig. 5A). Deve-se notar, entretanto, que só estão disponíveis duas amostras do verão 2015/2016 (30/12/2015 e 22/02/2016) e nenhuma do verão 2016/2017. Nota-se em Baixo Guandú (Fig. 5C) e Linhares (Fig. 5E) que amostras imediatamente após o rompimento de Fundão ficaram bastante espalhadas por todo espaço de ordenação. Amostras recentes foram bastante semelhantes entre si e ocuparam pequena área dentro do espaço de ordenação das amostras obtidas imediatamente após o rompimento da Barragem de Fundão. Isto indica que amostras do sedimento obtidas recentemente em Baixo Guandú e Linhares deixaram de apresentar valores muito discrepantes. Extrapolando-se os resultados obtidos para condições da água (Fig. 4) para estes do sedimento, pode-se inferir que amostras recentes do sedimento podem estar retornando às condições pretéritas ao rompimento.

A análise na Figura 5 (A, C e E) inclui um bom número de variáveis do sedimento, mas todas coletadas após o rompimento da Barragem de Fundão. Pacheco (2015) determinou a concentração de alguns metais em amostras obtidas antes do rompimento da Barragem de Fundão nas Áreas de Estudo das três UCs tratadas neste relatório (a tese de Pacheco foi defendida no dia 31/03/2015, mas não menciona em qual data as amostras foram obtidas). Golder Associates(2021, 2022) ressaltam que os métodos empregados por Pacheco (2015) não são compatíveis com aqueles usados por agências de monitoramento no Brasil e disponibilizam tabela com dados das amostras reanalisadas pelo autor (A. A. Pacheco) com métodos compatíveis. Selecionamos de Pacheco (2015; dados disponibilizados em Golder Associates2021, 2022) as variáveis que foram posteriormente monitoradas por Golder Associates(2017) e PMQQS e fizemos uma análise NMDS semelhante à feita na Figura 5 (A, C e E). O padrão obtido com as amostras de Golder Associates(2017) e PMQQS usando este conjunto reduzido de variáveis, mostrado na Figura 5 (B, D e F), é muito semelhante àquele obtido com grupo maior de variáveis descritoras do sedimento e descrito anteriormente (Fig. 5A, C e E). Para Resplendor (Fig. 5B), as amostras de Pacheco (2015) foram ordenadas próximas de amostras obtidas após a deposição de rejeitos por Golder Associates(2017) e PMQQS, indicando semelhança com estas. Em Baixo Guandú, com exceção de dois casos, as demais amostras de Pacheco (2015) foram ordenadas próximas daquelas obtidas recentemente (amostras em laranja na Fig 5D, desde 01/07/2018). Em Linhares (Fig. 5F), as amostras de Pacheco (2015) ficaram dispersas por ampla região da ordenação, de maneira semelhante àquela obtidas logo após o rompimento da Barragem de Fundão (em vermelho na Fig. 5F). Em síntese, as amostras pós-rompimento de Resplendor e Linhares tenderam a serem semelhantes àquelas obtidas por Pacheco (2015) no período pré-rompimento, evidenciando baixo impacto. Nota-se, entretanto, o pouco volume de dados em Resplendor. Por outro lado, as amostras obtidas imediatamente pós-rompimento e antes de 01/07/2018 (em vermelho na Fig. 5D) em Baixo Guandú tenderam a serem distintas daquelas obtidas pré-rompimento por Pacheco (2015). A semelhança das amostras recentes em Baixo Guandú (após 01/07/2018; em laranja na Fig. 5D) com aquelas pré-rompimento denotam valores semelhantes das variáveis de química do sedimento, indicando retorno das amostras recentes às condições pré-rompimento.

Davila et al. (2020) determinaram as concentrações de diversos metais pesados em amostras que receberam ou não rejeitos da Barragem de Fundão e também de rejeitos presentes na Barragem de Fundão. Eles encontraram que, exceto para ferro, haviam maiores valores de metais nas amostras que não receberam rejeitos. Eles explicam que isto é devido a baixa concentração de metais em itabirito, a rocha usada na mineração. Por outro lado, Duarte et al. (2021) avaliaram vários metais em amostras antes e após a deposição de rejeitos em diversos trechos do Rio Doce e encontraram que apenas cádmio e arsênio foram aumentados. Eles indicam que o aumento de cádmio tem relação direta com os rejeitos e que maiores concentrações de arsênio deve-se a maior revolvimento do fundo do Rio Doce pelos rejeitos. Vaneli et al. (2022) compararam amostras de sedimentos obtidas no baixo Rio Doce antes e após a deposição de rejeitos e encontraram aumento nas concentrações médias de ferro, manganês e bário. Assim como Duarte et al. (2021), Vaneli et al. (2022) argumentam que os rejeitos causaram o revolvimento do leito e disponibilizaram elementos que já estavam presentes no sedimento. Segundo estes últimos autores, este processo vem acontecendo até o presente durante a estação chuvosa. Silva et al. (2018) avaliaram amostras obtidas cerca de 7 meses antes e 6 meses após a deposição de rejeitos no Rio do Carmo, formador do Rio Doce e que recebeu rejeitos após o rompimento da Barragem de Fundão. Eles encontraram que a lama de rejeitos causou o aumento das frações disponíveis de vários elementos (arsênio, cádmio, cobalto, cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco) disponíveis no sedimento, indicativo de aumento nos riscos para a biota e populações humanas.

Este impacto foi classificado como de **alta magnitude**. Ele teve alta severidade, pois afetou as condições químicas do sedimento e existe potencial, ainda que de difícil detecção empírica, de persistência de contaminantes no leito do rio e transferência para a coluna d'água e outros compartimentos terrestres distantes do rio. Sua extensão foi média, pois atingiu apenas a calha do Rio Doce nas Zonas de Amortecimento das UCs tratadas neste relatório. Sua duração é tida como permanente, tendo em vista que os contaminantes depositados tendem a persistir por tempo indeterminado (Tabela 7).

A **importância é alta**, pois o leito do rio é habitat de ampla diversidade de organismos bentônicos e os contaminantes depositados são ressuspensos durante cheias, o que afeta a qualidade da água (Tabela 7). A alta magnitude e alta importância do impacto classifica-o como de **muito alta significância** (Tabela 7). É um impacto negativo, com ocorrência real, baseada em dados quantitativos, incidência direta e reversível.

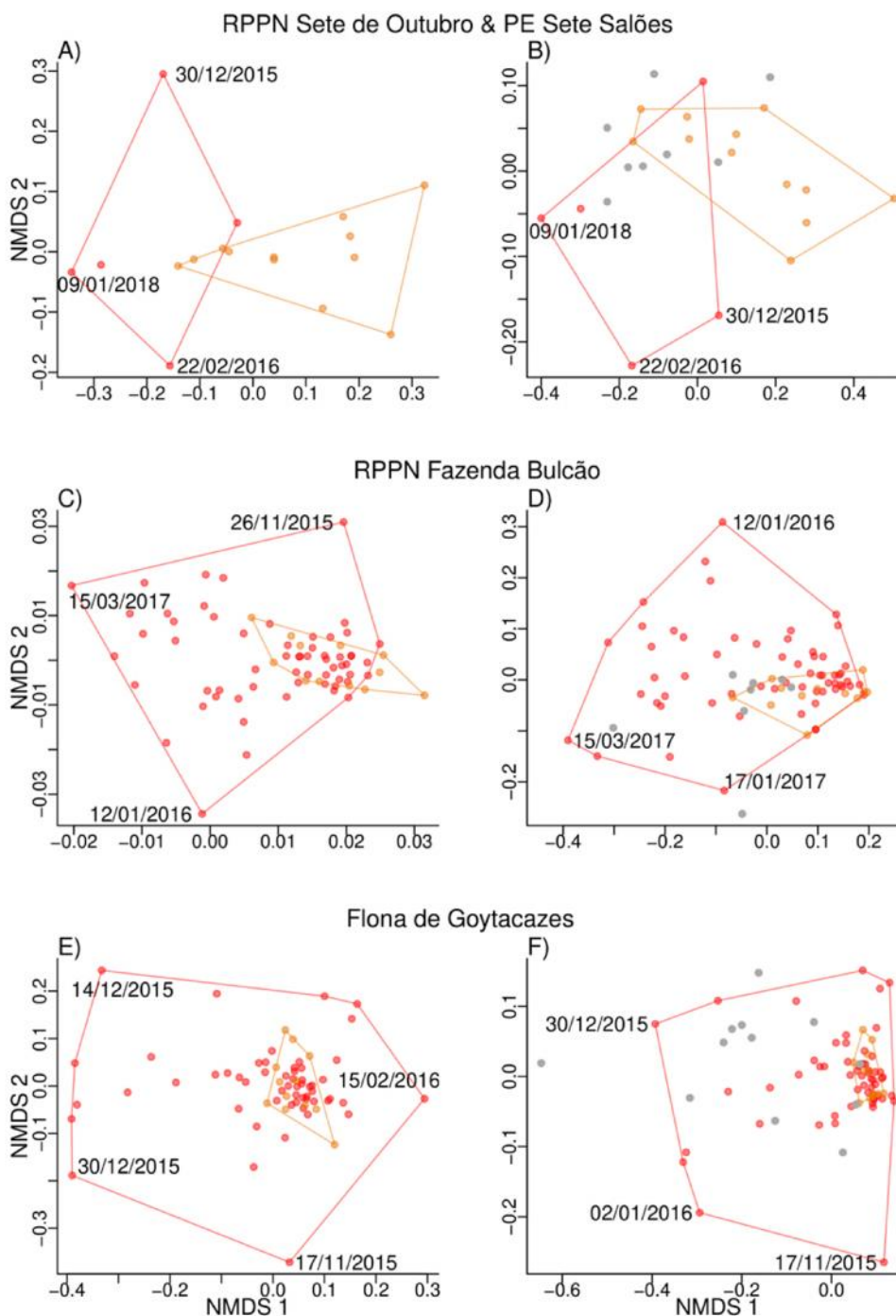
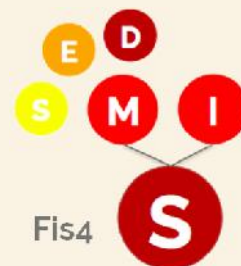


Figura 5. Ordenação das amostras de sedimento do Rio Doce obtidas nos trechos de Resplendor - MG (A, B; RPPN Sete de Outubro & PE Sete Salões), Baixo Guandú - ES (B, C; RPPN Fazenda Bulcão) e Linhares - ES (C, D; FLONA de Goytacazes) em relação a variáveis químicas. A, C, E representam ordenações feitas com dados de Golder Associates(2017) e PMQQS. B, D e F representam ordenações feitas com amostras obtidas antes do rompimento da Barragem de Fundão (Pacheco 2015; dados disponibilizados em Golder Associates2021, 2022) e dados após o rompimento obtidas por Golder Associates(2017) e PMQQS. Amostras em vermelho e laranja representam, respectivamente, amostras pós-rompimento obtidas antes e após 01/07/2018. Amostras em cinza representam aquelas obtidas pré-rompimento por Pacheco (2015). Amostras próximas indicam maior similaridade nos valores das variáveis aquáticas. Amostras discrepantes são identificadas com suas datas. Os polígonos unem as amostras mais externas (*convex hull*) nos dois grupos de amostras pós-rompimento. Para maior clareza, as ordenações de Baixo Guandú (B e D) não incluem uma amostra extremamente discrepante, com valores muito altos, obtida em 29/03/2016. Análises feitas com dados de Pacheco (2015; disponibilizados em Golder Associates2021, 2022), Golder Associates(2017) e PMQQS. **Fonte:** FBDS, 2022.



Fis4: Degradação da qualidade do sedimento



Comprometimento das características do sedimento do ambiente aquático, incluindo a granulometria, graus de seleção e arredondamento, assimetria, mineralogia bem como a diminuição da densidade de depósito

F6: Degradação da morfologia da calha do Rio Doce, zonas de confluência com tributários e vales de corpos d'água marginais: alteração na granulometria dos sedimentos e na estrutura dos agregado.

As propriedades dos grãos de sedimentos derivam dos terrenos drenados na bacia. A grande quantidade de rejeito alterou as propriedades do sedimento, tais como distribuição de tamanhos, assimetria e mineralogia. Este impacto decorre da grande quantidade de material liberado no rompimento, com características distintas daquelas do sedimento produzido naturalmente na bacia de drenagem.

O IGAM e o IEMA não monitoram a granulometria do sedimento e, portanto, não existem dados sistematizados para o período anterior ao rompimento da Barragem de Fundão. Entretanto, houve esforços de amostragem e determinação de 7 frações granulométricas do sedimento, disponibilizadas por Golder Associates(2017) e PMQQS (argila, silte, areia muito fina, areia fina, areia média, areia grossa e areia muito grossa). Apesar de não ser possível compará-las com as condições pretéritas, pode-se avaliar as condições das amostras imediatamente após o rompimento (verão 2015/2016) com aquelas mais recentes. Espera-se que amostras obtidas imediatamente após o rompimento da Barragem de Fundão sejam distintas daquelas obtidas recentemente. Especificamente, espera-se que exista maior proporção de material fino (argila) imediatamente após o rompimento tendo em vista que o material mais grosso ficou em grande parte retido a montante na UHE Risoleta Neves e, em menor grau, na UHE Baguari. Fizemos uma análise NMDS com as amostras disponíveis (17, 58 e 54 para Resplendor, Baixo Guandú e Linhares, respectivamente) e descritas pelas 7 frações granulométricas.

As informações obtidas nos meses seguintes ao impacto mostraram tendência de maior proporção de partículas finas (argila, silte e areia muito fina), embora nem sempre de maneira clara (Fig. 6). Na estação de Resplendor - MG (Fig. 6A), referente à RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões, existem poucos dados antes de 01/07/2018 e estes foram ordenados na porção esquerda (Fig 6A). Eles estiveram fortemente associados a grande proporção de areia fina. Amostras recentes de Resplendor tendem a ter pequenas frações de areia fina (Fig. 6B). As ordenações de Baixo Guandú (Fig. 6C) e Linhares (Fig. 6E) possuem mais amostras e resultados mais robustos. Amostras obtidas imediatamente após o rompimento foram ordenadas à esquerda e associadas a grandes proporções de silte. Amostras recentes tenderam a ter pouco silte (Fig. 6D e 6F). As análises de granulometria, em conjunto com os resultados obtidos para condições da água (Fig. 4) e química do sedimento (Fig. 5), indicam que amostras recentes do sedimento podem estar retornando às condições pretéritas ao rompimento.

Este impacto foi classificado como de **média magnitude**. Ele teve baixa severidade, pois mudou parcialmente as propriedades dos sedimentos no leito do Rio Doce. Sua extensão foi média, pois atingiu apenas a calha do Rio Doce nos trechos das Zonas de Amortecimento das UCs tratadas neste relatório. Sua duração é tida como permanente tendo em vista que se manifesta até o presente (particularmente em eventos de cheia). A **importância é alta**, pois o leito do rio é habitat de ampla diversidade de organismos bentônicos e a granulometria seleciona os organismos que são capazes de se manter no local. A média magnitude e alta importância do impacto classifica-o como de **alta significância** (Tabela 7). É um impacto negativo, com ocorrência Real, baseada em dados quantitativos, incidência direta e reversível.

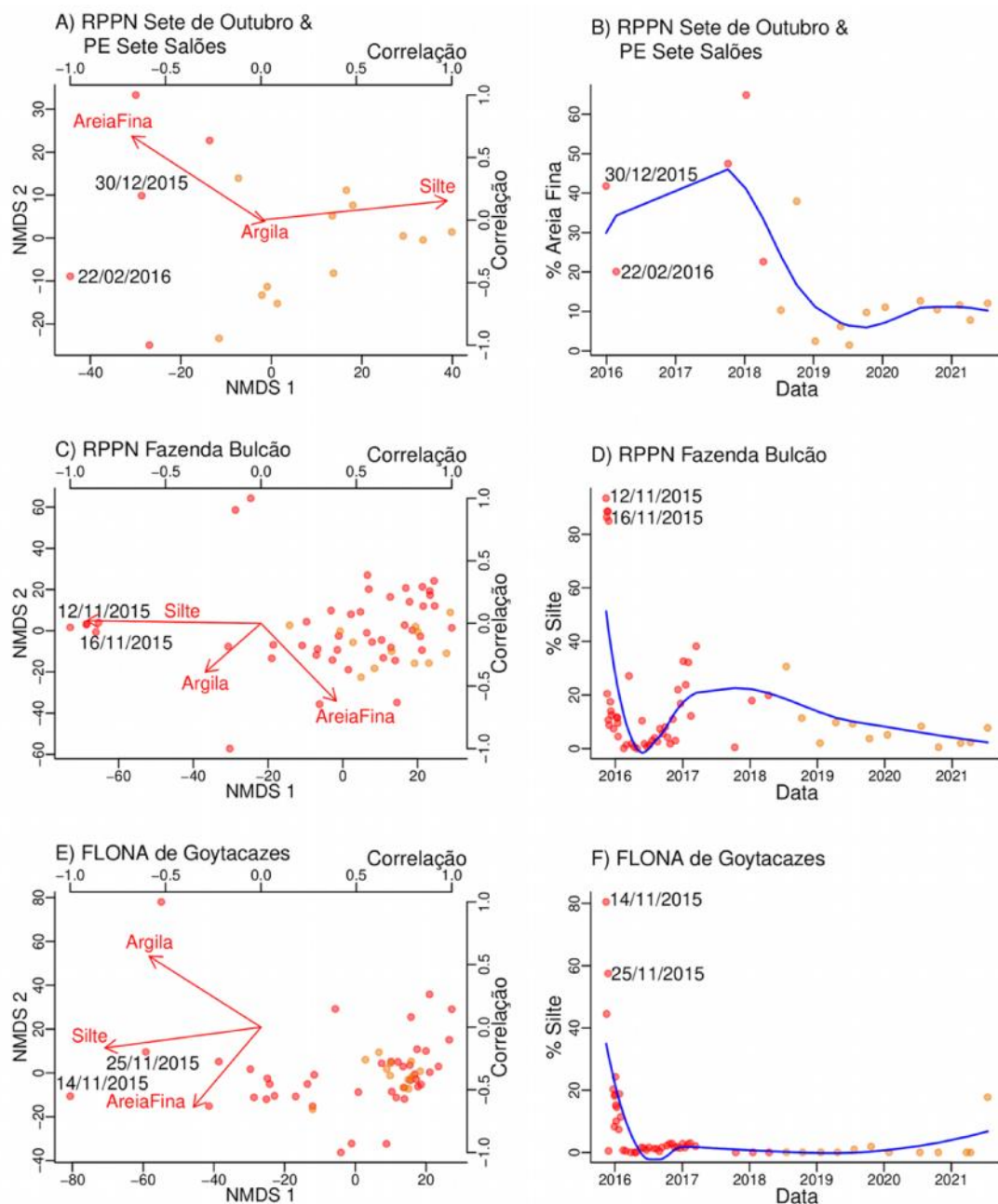


Figura 6. Ordenação das amostras de sedimento do Rio Doce obtidas nos trechos de Resplendor (A), Baixo Guandú (C) e Linhares (E) em relação a sete frações granulométricas. Amostras próximas indicam maior similaridade nos valores das variáveis aquáticas. Setas indicam correlação de algumas variáveis associadas com os eixos de ordenação. As escalas de correlação estão representadas nos eixos superior e a direita. Setas longas indicam forte correlação. Amostras no sentido da cabeça da seta tendem a possuir maiores valores daquela variável, enquanto aquelas em sentido contrário tendem a apresentar valores baixos. Séries temporais das frações relacionadas a amostras obtidas imediatamente após o rompimento da Barragem de Fundão são mostradas para Resplendor (B), Baixo Guandú (D) e Linhares (F). A linha azul indica a tendência ponderada localmente (*Local Polynomial Regression Fitting*). Amostras em vermelho e laranja representam, respectivamente, amostras pós-rompimento obtidas antes e após 01/07/2018. Amostras discrepantes são identificadas com suas datas. Análise feita com dados de Golder Associates(2017) e PMQQS. **Fonte:** FBDS, 2022.



Fis5: Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água



Comprometimento das características morfodinâmicas dos cursos d'água e da dinâmica fluvial, incluindo modificações da calha dos rios e das zonas de confluência dos seus tributários

Fg: Alteração na dinâmica fluvial

Este impacto deriva da acumulação diferencial de sedimentos em trechos da calha do Rio Doce, margens e ilhas fluviais. Isto foi ocasionado pela grande quantidade de sedimentos derivados do rompimento da Barragem de Fundão. Deve-se ressaltar que o leito de um rio de maior tamanho, em região aplainada, tende a se modificar após ciclos de cheia e seca. Entretanto, este processo foi alterado devido a quantidade não usual de sedimentos carregados pela água após o rompimento. Não foram detectadas (com imagens aéreas antes e depois) mudanças na morfologia de áreas emersas durante períodos de seca. Portanto, este impacto refere-se, neste grupo de UCs, à morfologia interna do canal. Golder Associates(2021, 2022) inventariaram diversos transectos e pontos de varredura (*screening*) ao longo de trechos (T14 e T16) do Rio Doce cerca de 5 anos após o rompimento da Barragem de Fundão e detectaram deposição de rejeitos em barra de sedimentos nas Áreas de Estudo da RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões (Figura 224 [pranchas 35-36] de Golder Associates2021). Golder Associates(2021) não detectou depósitos de rejeitos na Área de Estudo da RPPN Fazenda Bulcão (Figura 224 [prancha 40] de Golder Associates2021), mas apenas no reservatório da UHE Aimorés a montante (Figura 224 [prancha 39] de Golder Associates2021) e no reservatório da UHE Mascarenhas a jusante (Figura 224 [prancha 41] de Golder Associates2021). Golder Associates(2022) não detectou depósitos de rejeitos no inventário feito entre novembro e dezembro de 2019 no trecho do Rio Doce na Área de Estudo da FLONA de Goytacazes. Vale ressaltar que os estudos de campo de Golder Associates(2021, 2022) foi feito cerca de 5 anos após a ruptura da Barragem de Fundão, portanto, a deposição de rejeitos na época deve ter sido bem maior. Em relação a esta última inferência, Golder Associates(2021) citam estudo de Rhama e Água Doce (2020) que estimaram que o montante de rejeitos presentes em 2019 representava 51,4% dos sedimentos originalmente depositados no leito do Rio Doce no trecho T14 (entre UHEs Baguari e Mascarenhas). Tendo em vista que o reservatório da UHE Baguari, a montante de todas as UCs deste relatório possui cerca de 1.892.907 m³ de rejeitos, e que a UHE Aimorés, a montante das Áreas de Estudo da RPPN Fazenda Bulcão e FLONA de Goytacazes possui cerca de 2.733.342 m³ de rejeitos (Golder Associates2021), é plausível que trechos assoreados por rejeitos estarão presentes nas Áreas de Estudo de algumas das UCs por vários anos.

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real baseado em evidências qualitativas (inferência científica fundamentada em dados de sedimento), incidência indireta, reversível, e de **média magnitude**. Ele teve baixa severidade, pois mudou a morfologia do leito do Rio Doce, o que afeta os trechos de maior/menor fluxo de água. Sua extensão foi média, pois atingiu apenas a calha do Rio Doce nos trechos das Zonas de Amortecimento das UCs tratadas neste relatório. Sua duração é tida como permanente tendo em vista que os sedimentos ressuspensos em épocas de cheias recentes indicam que o leito ainda é afetado pela deposição de rejeitos. A **importância é alta**, pois o leito do rio é habitat de ampla diversidade de organismos bentônicos e a reconfiguração do leito afeta locais de maior ou menor velocidade de água. A média magnitude e alta importância do impacto classifica-o como de **alta significância** (Tabela 7). É um impacto negativo, de ocorrência real baseado em evidências qualitativas (inferência científica fundamentada em dados de monitoramento da água), incidência indireta e reversível.



Fis6: Soterramento de planícies fluviais



Soterramento de planícies fluviais pela deposição de rejeito.

F7: Soterramento de planícies fluviais pela deposição de lodo de rejeito

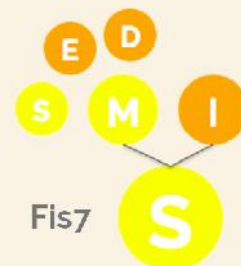
F10: Alteração no regime hídrico de planícies fluviais

Este impacto foi documentado por ocasião dos períodos de cheia do Rio Doce que sazonalmente invade áreas baixas adjacentes (planícies fluviais ou várzeas). Após a passagem da primeira cheia após o rompimento, em torno do dia 20/01/2016, as planícies ficaram recobertas por espessa camada de rejeitos. Esta é uma região bastante dinâmica, que sofre inundações sazonais, com depósito e remoção de sedimentos naturalmente. Entretanto, os registros após a primeira cheia indicam que a deposição foi muito maior do que em cheias anteriores ao impacto. Ainda, o material depositado, derivado do rejeito, apresentava características distintas daquele normalmente depositado/removido nestas planícies. Este processo tende a ser amenizado com o passar das cheias de anos subsequentes. Espacialmente, este impacto aconteceu nas margens baixas do Rio Doce. Como consequência do soterramento físico, existe mudança no padrão de alagamento e drenagem (regime hídrico) destas áreas. Este impacto não afetou a RPPN Fazenda Bulcão, pois o trecho do Rio Doce em sua Zona de Amortecimento possui vazão reduzida e não sujeito a inundação.

Este impacto foi classificado como de **média magnitude**. Ele teve baixa severidade, pois atinge áreas sazonalmente impactadas naturalmente por cheias e que possuem fauna e flora parcialmente adaptadas a eventos de deposição e remoção de sedimentos. Sua extensão foi média, pois atingiu apenas as Zonas de Amortecimento de três das quatro UCs tratadas neste relatório. Sua duração é tida como permanente tendo em vista que se manifesta até o presente. A **importância é média** pois estas planícies recebem (naturalmente) sedimentos durante cheias e, portanto, são locais sujeitos a perturbações naturais frequentes. Por outro lado, são locais importantes para reter sedimentos e contaminantes de partes altas da bacia, além de serem intensamente utilizadas pelas populações humanas para atividades recreacionais. A média magnitude e média importância do impacto classifica-o como de **média significância** (Tabela 7). É um impacto negativo, de ocorrência real baseado em evidências qualitativas, incidência direta e reversível.



Fis7: Contaminação de planícies fluviais



Aumento da contaminação das planícies de inundação.

F8: Contaminação de planícies fluviais pela deposição de lodo de rejeito.

Este impacto ocorre associado ao soterramento de planícies, mas é avaliado separadamente tendo em vista o potencial de maior persistência de seus efeitos. A relação causal é dada pela deposição de sedimento (o que foi constatado) e a drástica alteração de variáveis aquáticas (Fis1; Fig. 4) e química do sedimento no leito do rio (Fis3; Fig. 5), incluindo substâncias abundantes no rejeito ou revolvidas do leito. Este impacto não afetou a RPPN Fazenda Bulcão, pois o trecho do Rio Doce em sua Zona de Amortecimento possui vazão reduzida e não sujeito a inundação.

Este impacto foi classificado como de **baixa magnitude**. Ele teve baixa severidade, pois existe potencial, ainda que de difícil detecção empírica, de persistência de contaminantes na planície fluvial e transferência para outros compartimentos terrestres distantes do rio. Sua extensão foi média, pois atingiu apenas as Zonas de Amortecimento de três das quatro UCs tratadas neste relatório. Sua duração é tida como média tendo em vista que os contaminantes depositados tendem a ser removidos em cheias futuras. A **importância é média**, pois estas planícies recebem (naturalmente) sedimentos durante cheias e, portanto, são locais sujeitos a perturbações naturais frequentes. Por outro lado, são locais importantes para reter sedimentos e contaminantes de partes altas da bacia, além de serem intensamente utilizadas pelas populações humanas para atividades recreacionais. A baixa magnitude e média importância do impacto classifica-o como de **baixa significância** (Tabela 7). É um impacto negativo, de ocorrência potencial, incidência direta e reversível.



Fis8: Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce











Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce devido à maior captação de água nestes ambientes frente ao risco de desabastecimento após o desastre.

F12: Redução da quantidade de água dos tributários ao Rio Doce = redução da quantidade de água dos tributários ao Rio Doce devido pelo aumento de captação frente ao risco de desabastecimento de água.

A deterioração súbita da qualidade da água do Rio Doce, e posterior incerteza sobre sua volta à normalidade, fez com que moradores ribeirinhos (urbanos e rurais) deixassem de usar suas águas. Ainda, poços próximos ao Rio Doce foram abandonados. Como consequência, houve maior pressão de exploração de água superficial (riachos) e subterrânea, esta última obtida em poços perfurados em terrenos mais altos. Este impacto aconteceu tanto dentro quanto nas Zonas de Amortecimento das UCs.

Este impacto foi classificado como de **alta magnitude**. Ele teve média severidade, pois atingiu riachos que já eram fortemente impactados por atividades humanas. Sua extensão foi muito alta, pois atingiu tanto áreas das UCS quanto de suas Zonas de Amortecimento. Sua duração é tida como longa tendo em vista que o maior uso de água dos riachos e novos poços deve se estender por vários anos. A **importância é alta**, pois é habitat de ampla diversidade de organismos aquáticos e suas águas são usadas intensamente por populações humanas. A alta magnitude e alta importância do impacto classifica-o como de **muito alta significância** (Tabela 7). É um impacto negativo, de ocorrência potencial, incidência indireta e reversível.

Tabela 7: Caracterização geral dos impactos do meio físicos e seus atributos de magnitude e significância para cada impacto. UCs onde os impactos foram detectados estão representadas com símbolos sólidos. As siglas utilizadas para a caracterização dos impactos são as mesmas descritas no documento "Metodologia de Integração para a Avaliação de Impacto Ambiental". **Fonte:** FBDS 2022

Identificação		Caracterização					Atributos da magnitude			Atributos da significância		Significância
Nº	Impacto	UCs	Natureza	Ocorrência	Incidência	Reversibilidade	Severidade	Extensão	Duração	Magnitude	Importância	
Fis1	Degradação da qualidade da água		Neg	RT	D/I	Rev	Alta	Muita Alta	Perm	Alta	Alta	Muito Alta
Fis2	Assoreamento de corpos hídricos		Neg	RL	D	Rev	Baixa	Média	Perm	Média	Alta	Alta
Fis3	Contaminação do leito do rio		Neg	RT	D	Rev	Alta	Média	Perm	Alta	Alta	Muito Alta
Fis4	Degradação da qualidade do sedimento		Neg	RT	D	Rev	Baixa	Média	Perm	Média	Alta	Alta
Fis5	Alteração das características morfológicas dos cursos d'água		Neg	RL	I	Rev	Baixa	Média	Perm	Média	Alta	Alta
Fis6	Soterramento de planícies fluviais		Neg	RL	D	Rev	Baixa	Média	Perm	Média	Média	Média
Fis7	Contaminação de planícies fluviais		Neg	P	D	Rev	Baixa	Média	TM	Baixa	Média	Baixa
Fis8	Redução da quant. da água dos tributários do Rio Doce		Neg	P	I	Rev	Média	Muito Alta	TL	Alta	Alta	Muito Alta

Impactos identificados

e sua significância

Impactos no Meio Biótico

A carência de dados empíricos locais para os componentes da linha de base biótica que pudessem ser contrastados com dados amostrados após o rompimento da barragem torna inviável uma análise estatística convencional sobre os efeitos do rompimento no meio biótico. Dessa forma, a análise aqui apresentada é baseada principalmente na conexão lógica entre os impactos e seus efeitos sobre os componentes da biota e em contrastes empírico-qualitativos dos dados da linha de base com aqueles obtidos após o rompimento da barragem (Fig. 7). Para isso, foram levadas em consideração a distância dos componentes bióticos (recursos, habitats, populações) em relação às áreas afetadas pelos rejeitos e contaminantes e a possibilidade de propagação dos impactos ao longo do tempo por meio de efeitos ou interações indiretas entre as espécies. Uma característica dos impactos bióticos nas UCs do Grupo 4 é que a maioria não atingiu as áreas das UCs, ficando restritos às áreas das Zonas de Amortecimento localizadas na calha do Rio Doce. De fato, a lama de rejeitos não atingiu diretamente nenhuma das UCs avaliadas neste relatório (Fig. 7).

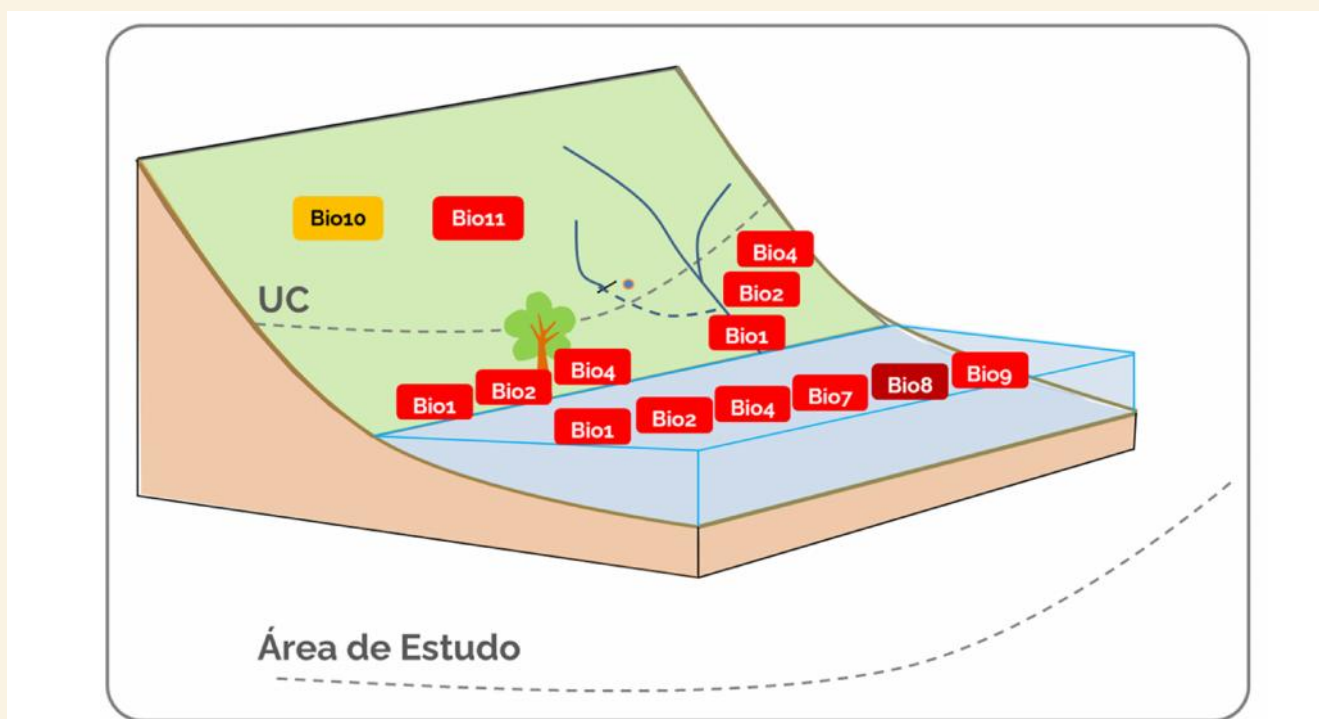


Figura 7. Mapa conceitual dos impactos bióticos detectados e os ambientes afetados para as UCs do Grupo 4. Bio1 = Mortandade direta e/ou indireta. Bio2 = Contaminação da biota. Bio4 = Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares. Bio7 = Perda e/ou degradação de habitats. Bio8 = Redução da originalidade biótica. Bio9 = Redução da biodiversidade local. Bio10 = Aumento de pressão antrópica sobre recursos naturais florestais. Bio11 = Aumento da caça/pesca predatória. Significância dos impactos: Laranja = média; Vermelho = Alta; Vermelho escuro = Muito Alta. **Fonte:** FBDS, 2022

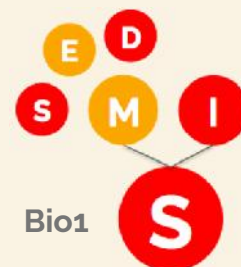
No caso da RPPN Fazenda Bulcão, os impactos bióticos na Zona de Amortecimento foram ainda menores, pois somente um pequeno trecho da ZA foi atingido. Além disso, os impactos bióticos mais severos não ocorreram necessariamente logo após o rompimento, mas sim a partir de janeiro de 2016 em decorrência da ressuspensão dos rejeitos que estavam depositados no leito do rio devido às chuvas e pelo aumento de vazão das UHEs a montante.

A maior parte dos impactos bióticos ficou restrita às espécies aquáticas e semiaquáticas na Zona de Amortecimento das UCs do Grupo 4. Os organismos terrestres atingidos diretamente pelos impactos bióticos provavelmente foram, em sua maioria, aqueles que forrageiam, nidificam ou usam de alguma forma a calha do Rio Doce.

A descrição dos impactos bióticos e suas correspondências com os impactos originalmente descritos nos Diagnósticos do Instituto Ekos (Ekos, 2019a, b, c, d) seguem abaixo. Na Tabela 9 são apresentados os níveis de magnitude, importância e significância para cada impacto biótico. Os códigos iniciados com "Bio" correspondem aos impactos bióticos padronizados e criados pela equipe da FBDS, enquanto os impactos iniciados com "B" foram criados pelas empresas que fizeram os relatórios de diagnóstico individualizados por UCs, o Instituto Ekos no caso deste grupo de UCs.



Bio1: Mortandade direta e/ou indireta



Mortalidade de indivíduos da fauna (peixes, anfíbios, répteis, aves e/ou mamíferos) ou flora (vegetação terrestre e/ou aquática) devido a: ação física da água, rejeitos e/ou detritos (arrasto ou soterramento), degradação ou contaminação.

B1 (avifauna) - Aumento de mortalidade e redução dos tamanhos populacionais: mortalidade de aves aquáticas e semiaquáticas, destruição de ninhos e ovos, mortalidade de filhotes.

B1 (herpetofauna) - Aumento da mortalidade e redução dos tamanhos populacionais: mortalidade de anfíbios e de crocodilianos.

B1 (ictiofauna) - Aumento da mortalidade e redução dos tamanhos populacionais: mortalidade de peixes afetando a dinâmica e estrutura da ictiofauna local

B1 (vegetação) - Aumento de mortalidade e redução dos tamanhos populacionais: impacto sobre o banco de macrófitas no Rio Doce.

Este foi um dos impactos bióticos mais evidentes logo após o rompimento da Barragem de Fundão, afetando principalmente a biota aquática e semiaquática. Laudos técnicos com expedições de campo realizados nas primeiras semanas após o rompimento atestam principalmente a mortandade de peixes (SEMAD, 2016). Membros da Associação dos Pescadores e Amigos do Rio Doce (APARD) apontam que observaram o curso do Rio Doce desde Governador Valadares até a foz do Rio Doce no distrito de Regência, em Linhares (ES) e relatam que observaram grande mortandade de capivaras, cágados e, principalmente, de peixes. Obviamente, estes relatos apontam para o que é material e que, portanto, parece mais evidente. No entanto, não há nenhuma razão teórica para pressupor que a parte menos visível da biota aquática e semiaquática (por ex., invertebrados e microbiota) do Rio Doce não tenha sofrido altos níveis de mortandade e consequente reduções populacionais nas primeiras semanas após o rompimento da Barragem de Fundão.

A brusca redução na concentração de oxigênio dissolvido nos primeiros dias a partir da chegada dos rejeitos nos trechos do Rio Doce próximos às Áreas de Estudo das UCs é uma das causas mais prováveis da alta mortandade de peixes. As medições realizadas pelo IGAM, pelo IEMA e pela CPRM mostram que a concentração de oxigênio dissolvido atingiu níveis abaixo do mínimo de 5 mg/L regulamentado pelo CONAMA para rios de classe 2 nos três trechos do Rio Doce avaliados para as UCs do Grupo (Fig. 8). Estes níveis reduzidos de oxigênio dissolvido apresentaram duração De acordo com as medições disponíveis, os baixos níveis de oxigênio dissolvido foram mais pronunciados em trechos a jusante (Fig. 8), com valores mínimos registrados de 1,1 mg de OD/L no trecho que corresponde à Área de Estudo do PE Sete Salões (Fig. 8a), de 1,41 mg de OD/L no trecho da RPPN Fazenda Bulcão (porém fora da Área de Estudo desta UC) (Fig. 8b), e de 4,01 no trecho da Área de Estudo da FLONA Goytacazes (Fig. 8c). Embora a duração dos níveis de oxigênio dissolvido não possam ser determinados com precisão devido ao pequeno número de medições em intervalos mais curtos, a análise visual dos valores apresentados na figura 10 indicam uma duração mínima entre 2 e 4 dias.

Os efeitos (combinados ou isolados) de hipóxia, incluindo eventos de hipóxia severa, dos danos físicos causados pelo efeito do arrasto da onda de rejeitos, dos estresses fisiológicos e comportamentais resultantes das elevadas cargas de sólidos e contaminantes e dos altos níveis de turbidez certamente causaram a mortandade de uma fração expressiva das espécies menos tolerantes da biota aquática nos trechos avaliados no presente Relatório. Cabe ressaltar ainda que diversas espécies da ictiofauna estavam em período reprodutivo no mês de novembro de 2015, implicando assim em mortandade de ovos e imaturos e no comprometimento da viabilidade das populações menos abundantes devido ao maior risco de extinção estocástica.

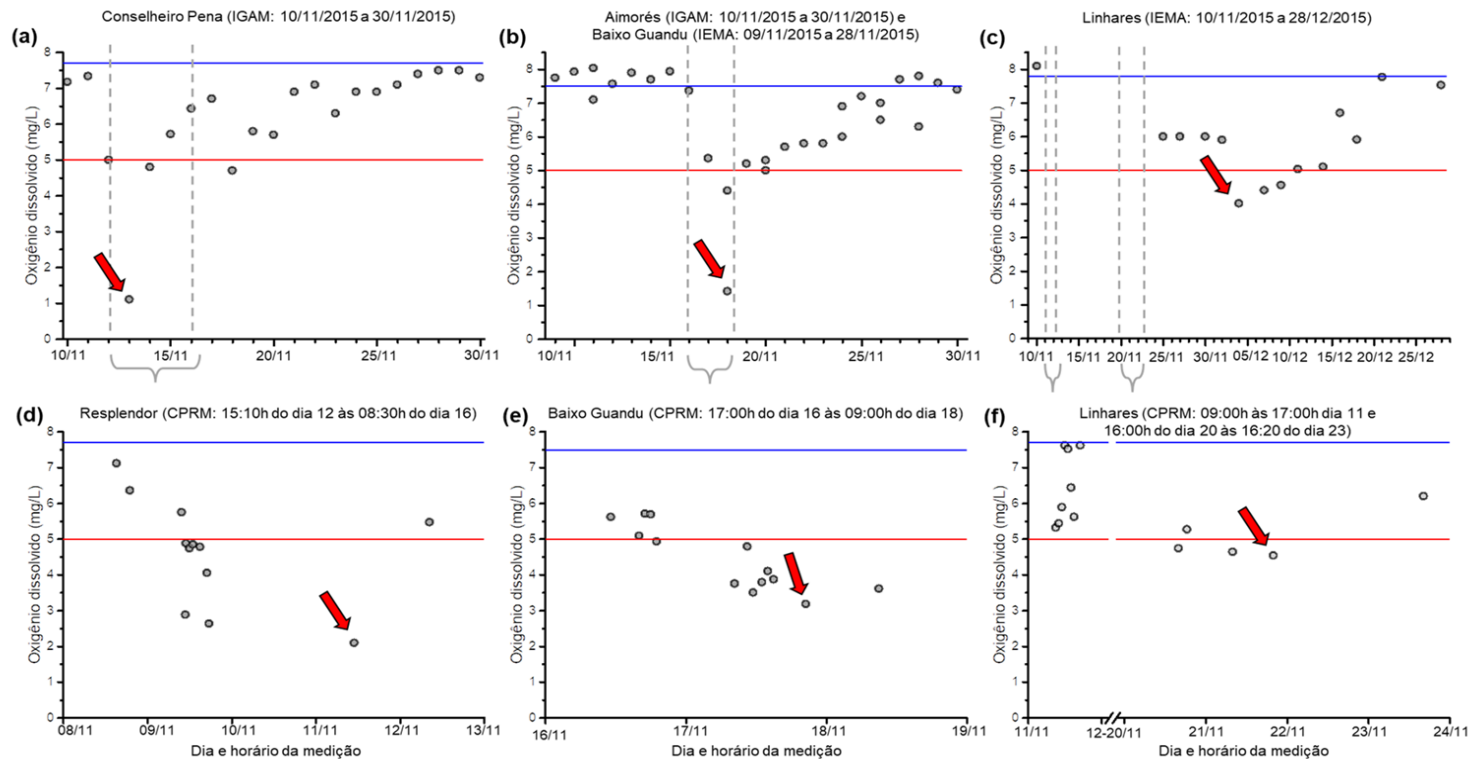


Figura 8. Níveis de oxigênio dissolvido (mg/L) nos trechos do Rio Doce dentro ou próximo das Áreas de Estudo no mês de novembro (e dezembro para Linhares) de 2015. Os gráficos a, b, c apresentam as medições realizadas pelos órgãos estaduais (MG: IGAM; ES: IEMA) durante as primeiras semanas após o rompimento da barragem de Fundão. Os gráficos d, e, f mostram as medições realizadas em diferentes horários pela CPRM (CPRM, 2015) nos primeiros dias após a chegada da onda de rejeitos nos trechos avaliados. A linha superior em azul indica o valor médio da série histórica, a linha vermelha indica o limite inferior determinado pelo CONAMA para rios de classe 2, e a seta vermelha em cada gráfico indica o valor mínimo registrado no trecho. **Fonte:** FBDS, 2022.

Tendo em vista que este impacto no ambiente aquático ocorreu de modo pronunciado ao longo das primeiras semanas após o rompimento da barragem e após o início das chuvas em janeiro de 2016, é provável que sua principal causa tenha sido o impacto físico *Degradação da qualidade da água* (Fis1); mais especificamente a redução na concentração de oxigênio, aumento da turbidez com o aumento da carga suspensa, a contaminação por metais e os efeitos fisiológicos das alterações físico-químicas da água. O *Assoreamento de corpos hídricos* (Fis2) e a *Degradação da qualidade do sedimento* (Fis4) são outros dois impactos físicos que certamente contribuíram para a mortalidade da biota aquática e semiaquática na região. Quanto à biota terrestre, a mortalidade direta na região do Grupo 4 provavelmente ficou restrita às margens do Rio Doce.

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real (baseado em evidências qualitativas), incidência direta, reversível/irreversível, e de **média magnitude**. Ele apresentou alta severidade, pois houve grande mortalidade da biota aquática, notadamente dos peixes. Sua extensão também foi classificada como média, pois atingiu somente as Zonas de Amortecimento das UCs do Grupo 4. A duração deste impacto foi interpretada como longa, pois, dado o nível de mortalidade da biota aquática e a contaminação ainda presente nestes ambientes, seguramente levará bem mais que 10 anos desde o rompimento para que as espécies da biota aquática retomem suas abundâncias originais. **A importância dos componentes afetados é alta**, pois inclui espécies ameaçadas, raras e/ou endêmicas (*Awaous tajasica*, *Genidens genidens*, *Rachoviscus graciliceps*, *Standachneridon doceanum*, *Xenurolebias izecksohni*), assim como ao menos 30 espécies importantes para a pesca, implicando em redução da oferta de pescado na região e redução da probabilidade de recomposição de espécies ameaçadas e endêmicas. Dado que o impacto foi classificado como de média magnitude e alta importância, ele representa um impacto considerado de **alta significância** (Tabela 9).



Bio2: Contaminação da biota



Contaminação da biota por rejeitos da Barragem de Fundão, incluindo a bioacumulação e bioamplificação de metais, a contaminação dos recursos alimentares, os danos à saúde dos organismos contaminados, a transferência e bioamplificação de contaminantes do ambiente aquático para o terrestre devido ao consumo de recursos aquáticos e movimentação dos animais, a contaminação de manchas de habitats aquáticos no ambiente terrestre, como bromélias e poças, e a deposição direta ou indireta de rejeito sobre o solo e a vegetação terrestre.

B11-Contaminação e bioamplificação de contaminantes em animais e plantas.

Estudos experimentais e observacionais recentes sobre os contaminantes liberados pelo rompimento da barragem de Fundão têm demonstrado elevadas concentrações de metais e outros contaminantes (por ex., As, Fe, Mn, Se, Zn) na ictiofauna (e.g., Gomes et al., 2019; LACTEC 2019; Ferreira et al., 2020; Gabriel et al., 2020; Passos et al., 2020; Weber et al., 2020), incluindo espécies de peixes que ocorrem nos trechos médio e baixo da bacia do Rio Doce. Tendo em vista os altos níveis de contaminantes registrados nas águas do Rio Doce próximo às UCs do Grupo 4, supõem-se que as contaminações reportadas não sejam casos isolados, e que outras contaminações tenham ocorrido e estejam ocorrendo na fauna aquática do Rio Doce e seus tributários que receberam maior carga de metais. Além disso, a contaminação da fauna aquática pode atingir parte da fauna terrestre que se alimenta de organismos aquáticos e, indiretamente, outros organismos terrestres através das cadeias tróficas, promovendo inclusive a bioamplificação dos contaminantes.

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real [ex: resultados em LACTEC (2019) para os trechos próximos às UCs do Grupo 4, incidência direta (biota aquática e parte da biota terrestre em locais atingidos pela lama de rejeitos) e indireta (biota terrestre via cadeia trófica), reversível/irreversível, e de **média magnitude**. Ele foi classificado como tendo causado média severidade, mas ainda não se sabe ao certo qual a incidência e os efeitos da contaminação sobre a fauna. Sua extensão foi classificada como alta, pois afetou, potencialmente, todas as Zonas de Amortecimento e parte das UCs. A duração deste impacto foi interpretada como longa devido ao potencial efeito de bioamplificação deste impacto. A **importância é alta**, pois inclui espécies aquáticas e semiaquáticas e parte da biota terrestre que tem organismos aquáticos como um recurso trófico de suas cadeias alimentares. Portanto, além de incluir as espécies aquáticas ameaçadas, endêmicas e de importância econômica, o componente ameaçado potencialmente inclui espécies terrestres ameaçadas e/ou endêmicas. Além disso, a potencial contaminação de peixes e outros organismos implica em risco à saúde humana e danos à economia. Tendo sido o impacto classificado como de média magnitude e alta importância, ele representa um impacto de **alta significância** (Tabela 9).



Bio4: Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares



Redução na quantidade e variabilidade de recursos alimentares para os animais devido à mortalidade e declínio populacional de plantas aquáticas e/ou terrestres e/ou animais predados ou consumidos por necrófagos.

B5 (avifauna) - Alterações na cadeia trófica relacionadas aos ambientes aquáticos: desestruturação das cadeias tróficas através da mortalidade de peixes e invertebrados afetando as assembleias de aves.

B5 (herpetofauna) - Alterações na cadeia trófica relacionadas aos ambientes aquáticos: alterações na herpetofauna decorrentes de impactos sobre as comunidades de insetos aquáticos das quais se alimentam.

B5 (ictiofauna) - Alterações na cadeia trófica relacionadas aos ambientes aquáticos: perda de recursos alimentares disponíveis para a ictiofauna, resultando em aumento da competição por recursos alimentares e alterações na assembleia de peixes.

No contexto das UCs avaliadas, este impacto decorre principalmente da redução nas abundâncias das populações das espécies aquáticas na calha do Rio Doce. Porém, o foco do impacto não é a mortalidade, um impacto categorizado e avaliado acima (Bio1), mas sim a redução na diversidade e quantidade de alimento para a fauna das UCs e entorno. Trata-se de um impacto biótico bastante difícil de ser dimensionado, mas tendo em vista que a fauna descrita para as UCs é composta em sua maior parte por organismos terrestres é provável que este impacto não tenha afetado diretamente este componente.

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real (baseada em dados qualitativos), de incidência direta e indireta, reversível/irreversível, e de **média magnitude**. O nível de severidade estimado para o impacto foi baixo, pois é provável que grande parte da biota das UCs não tenha sofrido reduções populacionais decorrentes do empobrecimento ou redução dos recursos alimentares nos ambientes aquáticos. Sua extensão foi classificada como muito alta, pois potencialmente afetou, ainda que com baixa severidade, tanto as Zonas de Amortecimento quanto às áreas da maior parte das UCs. A duração deste impacto foi interpretada como longa, pois é improvável que as espécies da biota aquática retomem suas abundâncias originais em menos de 10 anos após o rompimento da barragem. A **importância dos componentes afetados é alta**, pois inclui espécies ameaçadas, raras e/ou endêmicas (*Awaous tajasica*, *Genidens genidens*, *Rachoviscus graciliceps*, *Steindachneridion doceanum*, *Xenurolebias izecksohni*), assim como ao menos 30 espécies importantes para a pesca. Tendo sido o impacto classificado como de média magnitude e alta importância, ele representa um impacto com **alta significância** (Tabela 9).



Bio7: Perda e/ou degradação de habitats



Redução da disponibilidade de habitats e/ou intensa degradação das condições naturais e/ou recursos necessários para as espécies terrestres, aquáticas e semiaquáticas de áreas continentais, costeiras ou marinhas; como consequência ocorre redução populacional e/ou degradação migração para habitats antropizados ou naturais.

B2 (avifauna) - Perda de habitat através de destruição: soterramento de micro-habitats utilizados para nidificação e forrageamento pelas aves, como praias e bancos de macrófitas.

B2 (ictiofauna) - Perda de habitat através de destruição: soterramento de recursos alimentares, vegetação das margens do Rio Doce, poços, corredeiras. Formação de bancos de areia diminuindo a profundidade da água.

B3 (avifauna) - Perda de habitat por degradação: degradação de micro-habitats utilizados para nidificação e forrageamento pelas aves, tais como praias e bancos de macrófitas.

B3 (herpetofauna) - Perda de habitat por degradação: degradação da qualidade da água e assoreamento do leito do Rio Doce, bem como das zonas de confluência com tributários e corpos d'água marginais, impactando a herpetofauna aquática.

B3 (ictiofauna) - Perda de habitat por degradação: aumento da turbidez prejudicando espécies de peixes visualmente orientadas e diminuindo a incidência de luz e a produtividade primária.

B4 (ictiofauna) - Perda de conectividade na calha do Rio Doce e áreas adjacentes: interrupção do fluxo dos tributários tendo como causa o aumento do número de barramentos e o assoreamento causado pela degradação ambiental.

A perda e/ou degradação de habitats ocorreu basicamente para as espécies aquáticas e semiaquáticas. A degradação dos habitats de espécies aquáticas e semiaquáticas foi causada principalmente pela *Degradação da qualidade da água* (Fis1). Por sua vez, o *Assoreamento de corpos hídricos* (Fis2), a *Degradação da qualidade do sedimento* (Fis4) e a *Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água* (Fis5) promoveram perda de habitats e microhabitats usados por espécies aquáticas e semiaquáticas. Além disso, a mortandade de macrófitas ocasionou perda de micro-habitats usados para nidificação e forrageamento de diversos grupos da fauna aquática e semiaquática.

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real (baseada em evidências qualitativas), de incidência direta e indireta, reversível/irreversível e de **média magnitude**. O nível de severidade estimado para o impacto foi médio, pois ficou basicamente restrito à calha do Rio Doce e afetou trechos do rio que já são degradados devido à antropização das margens e usos do solo na região. Sua extensão foi classificada como muito média, pois ficou restrito às Zonas de Amortecimento das quatro UCs avaliadas. A duração deste impacto foi interpretada como longa, pois é improvável que as propriedades físico-químicas, morfodinâmicas e sedimentológicas do Rio Doce e tributários assim como os micro-habitats físicos e bióticos que existiam voltem ao estágio anterior ao rompimento em menos de 10 anos. A **importância dos componentes afetados é alta**, pois inclui espécies ameaçadas, raras e/ou endêmicas (*Awaous tajasica*, *Genidens genidens*, *Rachoviscus graciliceps*, *Standachneridon doceanum*, *Xenurolebias izecksohni*), assim como ao menos 30 espécies importantes para a pesca, comprometendo as chances de retorno de espécies raras e ameaçadas. Tendo sido o impacto classificado como de média magnitude e alta importância, ele representa um impacto com **alta significância** (Tabela 9).



Bio8: Redução da originalidade biótica



Aumento da riqueza e/ou abundância relativa de espécies exóticas/invasoras ou redução na abundância e/ou riqueza de espécies nativas raras, endêmicas ou em categorias de extinção, reduzindo a diferença composicional e a originalidade da biota da região em relação a biotas de ambientes antropizados.

B7 (ictiofauna) - Aumento na riqueza e abundância relativa de espécies introduzidas em ambientes aquáticos: o deslocamento de espécies para áreas menos impactadas causa o aumento da competição, predação e doenças, que atingem menos as espécies mais resistentes, como a maior parte das espécies introduzidas.

A mortalidade da biota aquática reduziu drasticamente os tamanhos populacionais e provavelmente levou a extinção local (ainda que temporária) de diversas espécies nativas endêmicas, principalmente das espécies que vivem e/ou forrageiam no fundo dos rios, onde houve deposição de rejeitos. Muitas espécies exóticas só conseguem invadir e se estabelecer após perturbações fortes, quando a fauna de competidores ou predadores nativos é reduzida. Dados de composição da ictiofauna pré- e pós-rompimento da barragem de Fundão apontam para um aumento na proporção de espécies exóticas (de 20,4% para 28,4% de um total de 126 espécies) após o rompimento da barragem. As listas de espécies foram padronizadas quanto à incerteza taxonômica e não devem ser usadas como estimativa da riqueza total de peixes, mas sim como uma estimativa da proporção de espécies exóticas em relação ao total. Embora estatisticamente não significativa (Qui-quadrado = 1,65; $p = 0,1991$; Tabela 8), observa-se que a riqueza de peixes exóticos não foi alterada, enquanto a riqueza de nativas amostradas reduziu de 79 para 50 espécies. Portanto, os dados mostram uma redução diferencial da riqueza de espécies nativas de peixes na região e uma perda originalidade biótica das comunidades aquáticas na região.

Tabela 8. Tabela de contingência da riqueza de peixes nativos e exóticos amostrados ou compilados para sítios próximos às UCs do Grupo 4 de acordo com (Junho et al., 2004; Vieira, 2009; Santos et al., 2017; Ekos, 2019a, b; Fundação Renova, 2019; LACTEC, 2019) o rompimento da barragem de Fundão. Para fins de padronização e comparação, as espécies com identificação incerta ("cf.") foram agrupadas com as suas espécies correspondentes. Já as morfoespécies não identificadas ("aff.", "gr.", "sp.") foram agrupadas como uma única morfoespécie ("sp.") quando nenhuma outra espécie do gênero foi amostrada ou desconsideradas caso alguma espécie do gênero tenha sido amostrada no período.

Fonte: FBDS, 2022.

Espécies de peixes	Pré-rompimento	Pós-rompimento
Nativas	79	50
Exóticas	21	21
Totais	100	71

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real (baseado em evidências quantitativas), incidência indireta, reversível e de **alta magnitude**. A severidade deste impacto foi considerada alta, pois houve drástica redução populacional e potencialmente a extinção local de espécies endêmicas de peixes e outros organismos aquáticos. Sua extensão foi classificada como média, pois ficou restrito às Zonas de Amortecimento das UCs. A duração deste impacto foi interpretada como permanente, pois o provável aumento nas abundâncias de peixes predadores exóticos é um processo praticamente irreversível sem algum tipo de manejo de alto custo, dificultando o restabelecimento das espécies nativas e endêmicas, principalmente daquelas mais sensíveis aos impactos físicos nos ambientes aquáticos. **A importância dos componentes afetados é alta** diz respeito à extinção local de espécies, incluindo espécies ameaçadas, raras e/ou endêmicas (*Awaous tajasica*, *Genidens genidens*, *Rachoviscus graciliceps*, *Standachneridon doceanum*, *Xenurolebias izecksohni*), assim como ao menos 30 espécies importantes para a pesca. Tendo sido o impacto classificado como de alta magnitude e alta importância, ele representa um impacto com **significância muito alta** (Tabela 9).



Biog: Redução da biodiversidade local



Redução no número de espécies nativas devido à declínios populacionais extremos ou mesmo a extinção permanente de espécies na escala local.

B6 (ictiofauna) - Alterações na composição da assembleia ou comunidades aquáticas: a perda de recursos alimentares e de ambientes especiais, bem como a introdução de espécies provenientes de outras regiões atuam reduzindo a diversidade taxonômica e funcional das assembleias de peixes.

B10 (ictiofauna) - Ambiente aquático - redução de tamanhos populacionais e provável extinção local de espécies de peixes anuais.

Assim como os demais impactos bióticos, a redução da biodiversidade local ocorreu basicamente na calha do Rio Doce e nas áreas mais baixas dos tributários e atingiu boa parte da biota aquática, principalmente as espécies que vivem e/ou se alimentam no fundo dos rios, onde houve deposição de sedimentos dos rejeitos. Uma análise comparativa das listas de espécies nativas da ictiofauna em levantamentos realizados antes (últimos 20 anos; Junho et al., 2004; Ekos, 2019a, b) e após o rompimento da barragem (Santos et al., 2017; Fundação Renova, 2019; FEST, 2019; LACTEC, 2019) revela que das 79 espécies nativas pré-rompimento, 47 (60%) ainda não foram registradas nos levantamentos pós-rompimento. Além da possível perda (ainda que temporária) de algumas espécies da ictiofauna, considerando a composição total (pré- e pós rompimento) de peixes, houve uma redução a proporção de gêneros (de 83% para 58% de um total de 72) e famílias (de 86% para 69% para um total de 35). Efeitos semelhantes são esperados para outros grupos de espécies aquáticas, principalmente para os organismos bentônicos.

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real (baseado em evidências qualitativas), incidência indireta, reversível e de **magnitude média**. A severidade deste impacto foi considerada baixa, pois se restringe aos ambientes aquáticos, onde houve enorme mortandade de organismos. No entanto, como a mortandade já foi considerada como um impacto biótico específico e ainda não se tem uma dimensão da proporção da biota extinta localmente, supõem-se que a maior parte dos declínios populacionais severos não resultarão necessariamente em extinções locais permanentes. A extensão deste impacto foi classificada como média, pois ficou restrito às ZA das quatro UCs avaliadas. A duração deste impacto foi classificada como permanente, pois pelo menos parte das espécies localmente extintas só retornarão após algum tipo de manejo de alta complexidade e custo. **A importância dos componentes afetados é alta**, diz respeito à extinção local de espécies, incluindo espécies ameaçadas, raras e/ou endêmicas (*Awaous tajasica*, *Genidens genidens*, *Rachoviscus graciliceps*, *Standachneridon doceanum*, *Xenurolebias izecksohni*), assim como ao menos 30 espécies importantes para a pesca. Tendo sido o impacto classificado como de média magnitude e alta importância, ele representa um impacto com **significância alta** (Tabela 9).



Bio10: Aumento de pressão antrópica sobre recursos naturais florestais



Aumento da exploração dos recursos naturais florestais devido ao avanço urbano sobre áreas de mata e à estagnação econômica da região. Nesse impacto, inclui-se a supressão de vegetação e aumento da extração de palmito.

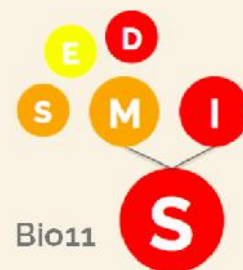
Bg - Aumento da extração de palmito (*Euterpe edulis*)

Este impacto é baseado em relatos de moradores dos arredores das UCs e provavelmente está relacionado à redução na atividade pesqueira e/ou de oportunidades de emprego e renda relacionadas aos efeitos do rompimento da Barragem de Fundão nos locais atingidos. Ainda, é reportado que os funcionários e gestores dos parques apresentaram preocupação com a intensificação deste impacto. Entre as quatro UCs avaliadas, supõem-se que este impacto tenha ocorrido (e talvez ainda esteja ocorrendo) dentro do PE Sete de Salões e da FLONA de Goytacazes.

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real (baseada em dados qualitativos), de incidência indireta, reversível e de **magnitude média**. A severidade deste impacto foi considerada média, pois a extração ilegal de palmito-juçara já é uma realidade em muitas UCs e depende de fiscalização constante e não se sabe ao certo qual a alteração deste impacto em relação à sua linha de base nas regiões em que ele foi identificado. A extensão deste impacto foi classificada como média, ele foi identificado em duas UCs de um total de quatro avaliadas. A duração deste impacto foi interpretada como longa, pois a redução da extração de palmito depende do efeito combinado de fiscalização dentro das UCs e oportunidades de trabalho e renda para aqueles que se arriscam extraindo palmito dentro das UCs. A importância dos componentes afetados é média, pois *Euterpe edulis* é uma espécie classificada como vulnerável tanto na lista de nacional quanto na lista estadual (ES) de espécies ameaçadas e apresentam ampla distribuição original na Mata Atlântica e Cerrado. Tendo sido o impacto classificado como de média magnitude e média importância, ele representa um impacto com **significância média** (Tabela 9).



Bio11: Aumento da caça/pesca predatória



Aumento da pressão da caça predatória sobre a fauna ou captura de espécimes da avifauna da região.

B8 (fauna terrestre) - aumento da caça e captura de espécimes da mastofauna e avifauna

Este impacto foi registrado somente para a FLONA de Goytacazes e se baseia em relatos do gestor e funcionários da UC. Assim como a extração ilegal de palmito-juçara, este impacto provavelmente está relacionado à redução na atividade pesqueira e/ou de oportunidades de emprego e renda relacionadas aos efeitos do rompimento da Barragem de Fundão nos locais atingidos.

O impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real (baseada em dados qualitativos), de incidência indireta, reversível e de **magnitude média**. A severidade deste impacto foi considerada média, pois a caça ilegal de aves a mamíferos já é uma realidade em muitas UCs e depende de fiscalização constante e não se sabe ao certo qual a alteração deste impacto em relação à sua linha de base nas regiões em que ele foi identificado. A extensão deste impacto foi classificada como baixa, pois foi registrado apenas para uma das quatro UCs avaliadas. A duração deste impacto foi interpretada como longa, pois a redução da caça ilegal depende do efeito combinado de fiscalização dentro das UCs e novas oportunidades de renda.

A **importância dos componentes afetados é alta**, pois inclui, potencialmente, espécies de aves e/ou mamíferos classificadas nas três categorias de ameaça (CR, EN, VU) nas escalas global, nacional e estadual. Tendo sido o impacto classificado como de média magnitude e alta importância, ele representa um impacto com **significância alta** (Tabela 9).

Tabela 9: Caracterização geral dos impactos do meio biótico e seus atributos de magnitude e significância para cada impacto. UCs onde os impactos foram detectados estão representadas com símbolos sólidos. As siglas utilizadas para a caracterização dos impactos são as mesmas descritas no documento "Metodologia de Integração para a Avaliação de Impacto Ambiental". **Fonte:** FBDS 2022

Identificação		Caracterização					Atributos da magnitude			Atributos da significância		Significância
Nº	Impacto	UCs	Natureza	Ocorrência	Incidência	Reversibilidade	Severidade	Extensão	Duração	Magnitude	Importância	
Bio1	Mortandade direta e/ou indireta		Neg	RL	D	Irre/Rev	Alta	Média	TL	Média	Alta	Alta
Bio2	Contaminação da biota		Neg	RL	I	Irre/Rev	Média	Alta	TL	Média	Alta	Alta
Bio4	Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares		Neg	RL	D/I	Irre/Rev	Baixa	Muito Alta	TL	Média	Alta	Alta
Bio7	Perda e/ou degradação de habitats		Neg	RT	D/I	Irre/Rev	Média	Média	TL	Média	Alta	Alta
Bio8	Redução da originalidade biótica		Neg	P	I	Irre/Rev	Alta	Média	Perm	Alta	Alta	Muito Alta
Bio9	Redução da biodiversidade local		Neg	RL	I	Rev	Baixa	Média	Perm	Média	Alta	Alta
Bio 10	Aumento de pressão antrópica sobre recursos naturais florestais		Neg	RL	I	Rev	Média	Média	TL	Média	Média	Média
Bio 11	Aumento da caça/pesca predatória		Neg	RL	I	Rev	Média	Baixa	TL	Média	Alta	Alta

Síntese dos Impactos

Impactos no Meio Físico

A maior parte dos sedimentos grossos contidos nos rejeitos de Fundão ficou retida na UHE Risoleta Neves e, em menor quantidade, na UHE Baguari. Parte da água armazenada na UHE Risoleta Neves foi liberada para acomodar os rejeitos que estavam chegando. Esta liberação de água causou pequena enchente, mas não o suficiente para inundar a planície de inundação. As frações finas do sedimento foram transportadas pela água e chegaram em Resplendor (RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões) e Baixo Guandú (RPPN Fazenda Bulcão) em 10/11/2015 e em Linhares (FLONA de Goytacazes) em 14/11/2015 mas não afetaram a planície fluvial (Fig. 8A). A estação do IGAM na divisa de Aimorés (MG) com Baixo Guandú (ES) fica a jusante do Reservatório da UHE Eliezer Batista e a estação do IEMA em Linhares (ES) fica abaixo da UHE Mascarenhas. Estes reservatórios, assim como o próprio leito do Rio Doce a montante, receberam depósitos de rejeitos, fazendo com que a qualidade da água em trechos a jusante fossem um pouco menos afetados que trechos a montante (embora ainda em grau bastante severo). Por outro lado, é provável que estes trechos a jusante tenham efeitos mais prolongados dos rejeitos do que trechos a montante devido ao contínuo transporte de sedimentos rio-abaixo, particularmente durante cheias.

Num primeiro momento, os rejeitos em transporte degradaram a qualidade da água do Rio Doce (Fis1). Os rejeitos trazidos causaram assoreamento (Fis2), contaminação (Fis3) e mudança nas propriedades dos sedimentos (Fis4) no leito do Rio. A grande quantidade de sedimentos depositados também afetou a morfologia submersa do canal (Fis5). Como consequência indireta, a população deixou de usar a água do Rio e passou a usar água de tributários e furar novos poços em terrenos mais altos, causando a diminuição da quantidade de água nos riachos que drenam as UCs deste grupo (Fis8) (Fig. 9A).

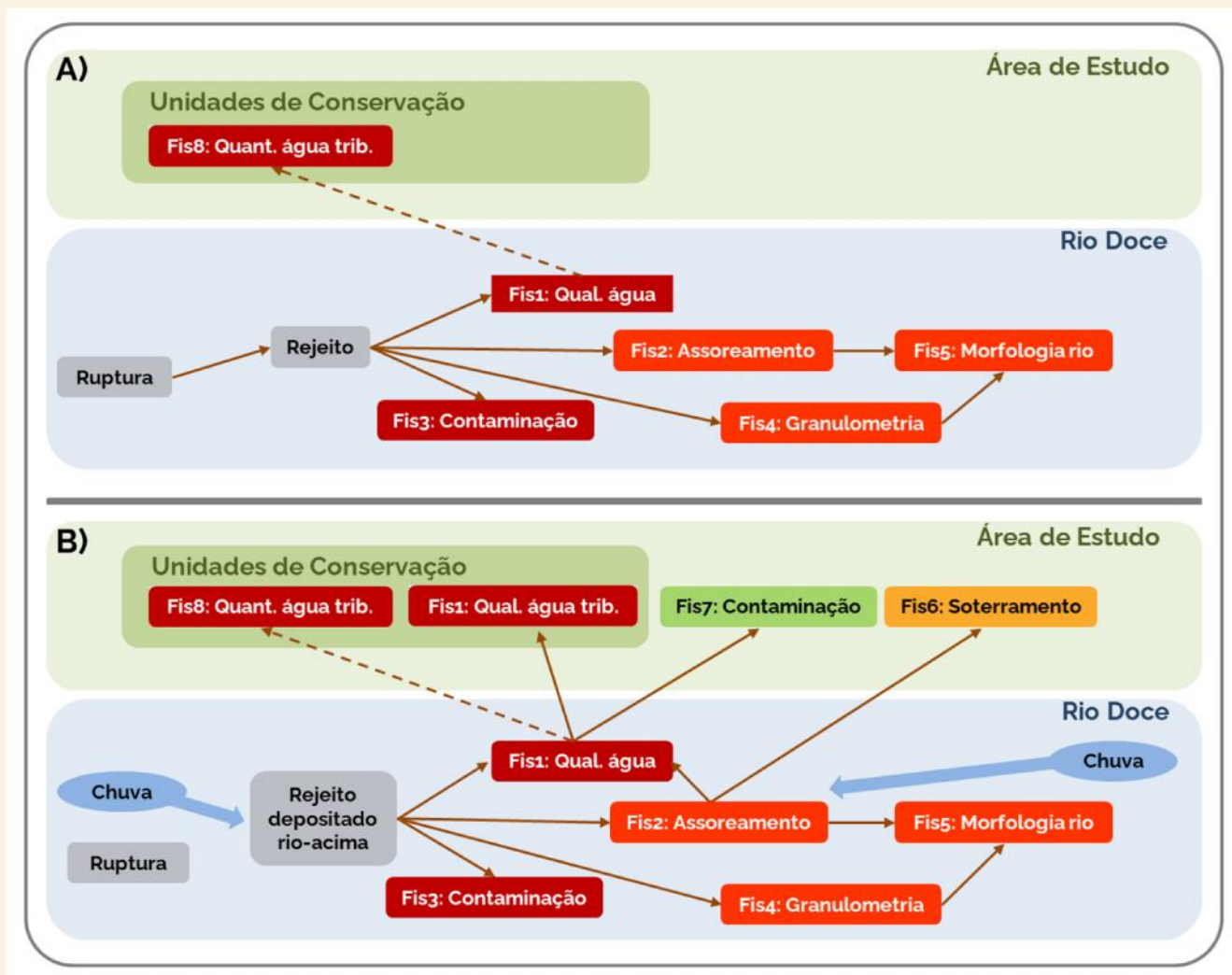


Figura 9. Síntese das relações causais entre o rompimento da Barragem de Fundão e a significância dos impactos detectados nas UCS e trechos terrestres e aquáticos (Rio Doce e tributários) nas Áreas de Estudo das UCs. A) Não houve transbordamento de água para as planícies fluviais logo após a chegada da onda de rejeitos nas Zonas de Amortecimento das UCS. Portanto, neste primeiro momento os impactos ficaram restritos ao canal do Rio e ao maior uso de água superficial e subterrânea pela população. B) Em eventos de cheia, os rejeitos e contaminantes depositados rio-acima são ressuspensos nas Zonas de Amortecimento, re-intensificando os impactos no canal do Rio. Nestes momentos de cheia, a água do Rio avança sobre riachos tributários, degradando sua qualidade, e planícies fluviais, causando contaminação e soterramento. Fis1 = Degradação da qualidade da água. Fis2 = Assoreamento de corpos hídricos. Fis3 = Contaminação do leito. Fis4 = Degradação da qualidade do sedimento. Fis5 = Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água. Fis6 = Soterramento de planícies fluviais. Fis7 = Contaminação de planícies fluviais. Fis8 = Redução da quantidade de água dos tributários ao Rio Doce. Significância dos impactos: Amarelo = baixa; Laranja = média; Vermelho = Alta; Vermelho escuro = Muito Alta. Setas tracejadas e contínuas indicam impactos indiretos e diretos, respectivamente. **Fonte:** FBDS, 2022.

Todos os rios naturais estão sujeitos a enchentes. Estas podem acontecer de maneira rápida em riachos pequenos e tendem a serem lentas e longas em rios maiores. Represas tendem a interromper este ciclo. Apesar de haver represas a montante das UCs tratadas aqui, ciclos de secas e enchentes são bem claros na Área de Estudo (Fig. 3). Durante cheias o fluxo de água torna-se mais turbulento o que revolve o leito do canal. Ainda, o aumento da vazão faz com que o rio aumente sua competência para transportar partículas maiores. Nestes momentos de cheias (Fig. 8B), os rejeitos e contaminantes depositados rio acima (leito e reservatórios) e nas planícies fluviais são ressuspensos e voltam a degradar a qualidade da água (Fis1). Com águas mais altas, o rio tende a avançar sobre tributários, levando consigo os rejeitos e degradando trechos baixos destes tributários (Fis1). O maior uso de águas superficiais e subterrâneas pela população é intensificado, diminuindo a quantidade de água nos tributários que drenam as UCs (Fis8). Os sedimentos em transporte causam assoreamento (Fis2), contaminação (Fis3) e mudança nas propriedades dos sedimentos (Fis4) no leito do Rio. A grande quantidade de sedimentos depositados também afeta a morfologia submersa do canal (Fis5). Estas águas altas também transbordam para as planícies fluviais, onde encontram obstáculos (vegetação), diminuem sua velocidade e depositam sedimentos (Fis6) e contaminantes (Fis7). Este processo de ressuspensão de sedimentos aconteceu de forma bastante intensa nas primeiras cheias após o rompimento (08/12/2015, 20/01/2016) e vem acontecendo, em menor grau, desde então (Fig. 8B). A única exceção a este quadro geral refere-se à RPPN Fazenda Bulcão que não foi impactado pelo soterramento (Fis6) e contaminação (Fis7) da planície fluvial pois o trecho do Rio Doce na proximidade possui vazão reduzida e não está sujeito a enchentes.

Síntese dos Impactos

Impactos no Meio Biótico

O rompimento da Barragem de Fundão em 5 de novembro de 2015 causou, e tem causado, diversos impactos diretos e indiretos nos componentes bióticos das UCs do Grupo 4, especialmente nos componentes da biota aquática nas Zonas de Amortecimento das UCs. O aumento na turbidez da água nas primeiras semanas após o rompimento alcançou valores muito (aprox. 2.000 vezes) superiores à média dos dias anteriores, enquanto a concentração de oxigênio dissolvido foi drasticamente reduzida (valores cerca de 30 vezes inferiores aos registrados nos dias anteriores). Estas alterações também ocorreram em outros momentos devido à ressuspensão dos sedimentos em 2016 e 2017, com destaque para os meses de janeiro de 2016 e dezembro de 2017. Estas alterações foram, muito provavelmente, a principal causa de mortandade da biota aquática nas Zonas de Amortecimentos das UCs avaliadas. As outras causas de mortandade incluem: o impacto físico da força de arraste das cheias com grande concentração de sólidos totais; a contaminação devido às altas concentrações de metais; a perda de habitats, micro-habitats e recursos alimentares (Fig. 10). A mortandade de organismos terrestres nas UCs parece estar mais relacionada aos efeitos indiretos do rompimento da barragem, tais como o aumento na pressão de caça e extrativismo ilegais. No entanto, efeitos indiretos sobre a biota terrestre também podem ter ocorrido principalmente devido à perda de recursos alimentares e à redução na oferta de água.

Como consequência da mortandade generalizada nos ambientes aquáticos na área da calha do Rio Doce e da perda e degradação duradouras de habitats e recursos usados principalmente por espécies aquáticas e semiaquáticas, é bastante provável que tenha ocorrido extinção local de espécies de peixes e de outros grupos de organismos aquáticos. Ou seja, a redução da biodiversidade local de espécies aquáticas e semiaquáticas devido aos impactos causados pelo rompimento da Barragem de Fundão na Zona de Amortecimento das UCs avaliadas é uma realidade cuja magnitude não pode ser dimensionada com segurança. Tendo em vista que as espécies endêmicas e raras geralmente apresentam nichos ecológicos mais restritos e tendem a ser mais sensíveis a alterações nas condições e recursos, é quase certo que a extinção atingiu várias espécies de distribuição restrita à região do baixo-médio Rio Doce ou à Mata Atlântica, causando assim uma redução na originalidade biótica da biota aquática da região.

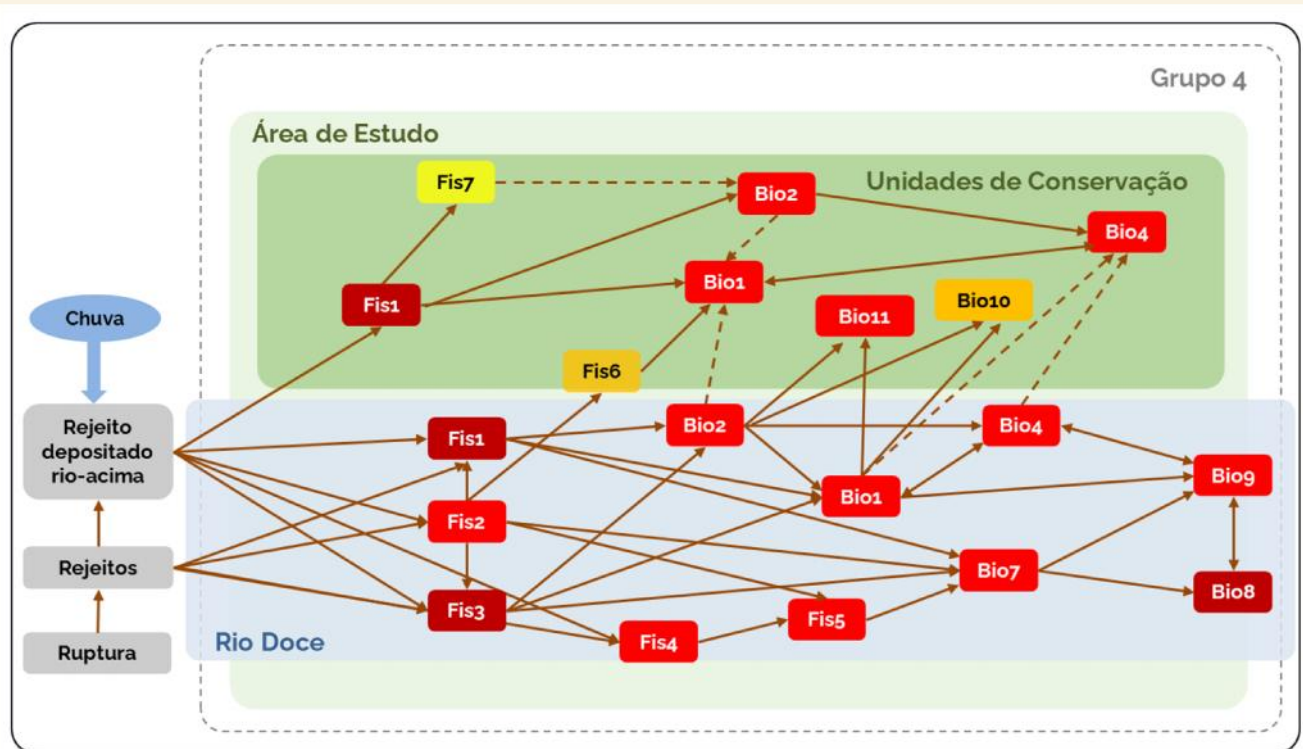


Figura 10. Síntese das relações causais entre o rompimento da Barragem de Fundão, os impactos físicos e bióticos detectados nas UCs e trechos terrestres e aquáticos (Rio Doce e tributários) na Área de Estudo. Enunciado reduzido foi suprimido nesta figura para facilitar a visualização das setas, demonstrando a complexa rede de efeitos existentes entre os diferentes impactos observados. Fis1 = Degradação da qualidade da água. Fis2 = Assoreamento de corpos hídricos. Fis3 = Contaminação do leito. Fis4 = Degradação da qualidade do sedimento. Fis5 = Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água. Fis6 = Soterramento de planícies fluviais. Fis7 = Contaminação de planícies fluviais. Bio1 = Mortandade direta e/ou indireta. Bio2 = Contaminação da biota. Bio4 = Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares. Bio7 = Perda e/ou degradação de habitats. Bio8 = Redução da originalidade biótica. Bio9 = Redução da biodiversidade local. Bio10 = Aumento de pressão antrópica sobre recursos naturais florestais. Bio11 = Aumento da caça/pesca predatória. Significância dos impactos: Amarelo = baixa; Laranja = média; Vermelho = Alta; Vermelho escuro = Muito Alta. Setas tracejadas e contínuas indicam impactos indiretos e diretos, respectivamente. **Fonte:** FBDS, 2022.

Impactos na Gestão e Usos das UCs

O impacto do rompimento da Barragem de Fundão no meio socioeconômico das UCs foi especialmente importante para aspectos relacionados ao seu uso e gestão. A maior parte destas informações não estão disponíveis em bases de dados abertas e devido ao caráter deste tipo de impacto, a validação junto aos gestores das UCs e atores sociais é parte fundamental do processo de avaliação destes impactos.

Desta forma, a estratégia da FBDS compreende, a partir da análise preliminar dos relatórios que subsidiaram a análise realizada para os meios físico e biótico, estabelecer perguntas que permitam coletar informações sobre o uso e gestão das UCs. As perguntas orientadoras que fundamentaram o desenvolvimento deste trabalho incluem temas relacionados à gestão, atividades e usos nas UCs. Além disso, o detalhamento das medidas reparatórias e compensatórias também depende de informações relacionadas ao contexto institucional das UCs e seu grau de implementação e atuação.

Estas informações serão coletadas durante a reunião devolutiva e consolidadas durante o encontro. O relatório final incluirá a análise realizada, bem como os demais aspectos coletados durante devolutiva, a fim de garantir a celeridade do processo. Cabe ressaltar que essas informações, nem sempre estão disponíveis ou atualizadas nos relatórios utilizados como base para o esforço da FBDS e, uma vez que consultas, visitas de campo ou levantamento de dados primários não são parte do escopo da avaliação realizada pela FBDS, elaboramos o questionário abaixo que será direcionado aos gestores das UCs. As questões estão apresentadas no Quadro 1.

Para todas as perguntas propostas no Quadro 1 serão solicitadas as fontes que subsidiaram as respostas apresentadas. Este aspecto garantirá que a equipe da FBDS identifique o tipo de evidência que caracteriza cada um dos impactos levantados e seu potencial de estabelecer a relação de causalidade com o rompimento da Barragem de Fundão.

Quadro 1. Questionário sobre impactos na gestão, atividades e usos nas UCs, a ser direcionado aos gestores das UCs na bacia do rio Doce e região costeiro-marinha afetada pelo rompimento da barragem de Fundão. **Fonte:** FBDS, 2022.

A. Sobre a UC:

1. Apresente brevemente informações sobre
 - a. Atual estrutura física
 - b. Equipe
 - c. Sinalização interna na UC
2. Quais os projetos de pesquisa concluídos e em andamento na UC?
3. A UC possui Plano de Manejo? Se sim, está atualizado/em implantação? Se não, está previsto ou em elaboração?
4. A UC possui viveiro de mudas?

B. Sobre impactos potenciais/certos do rompimento da barragem de Fundão sobre a UC e área de entorno

5. Foram observados impactos sobre a visitação? Há registros/estimativas da visitação antes e depois do rompimento da barragem de Fundão?
6. Houve necessidade de alteração/cancelamento de projetos de pesquisa?
7. Houve necessidade de alteração/cancelamento de programas de manejo?
8. Houve necessidade de alteração/cancelamento de projetos de exploração de recursos na UC, se aplicável?
9. Você considera que houve comprometimento da imagem da UC enquanto mantenedora dos serviços ambientais, turísticos e de conservação da biodiversidade?
10. Qual a sua percepção sobre o grau de comprometimento do rio (e de seus afluentes afetados) e/ou região costeira/área marinha como fonte de recursos para as comunidades inseridas na UC ou em seu entorno?
11. Quais os tipos de pressão sobre as UCs foram intensificadas após o evento? Houve forte incremento das invasões humanas na UC?

C. Sobre medidas de reparação e compensação para a UC e entorno

12. Quais ações de apoio à comunidade podem diminuir as pressões observadas na UC? (completar com 'decorrentes do rompimento'?)
13. Quais ações você entende serem adequadas para reparação e compensação dos impactos do rompimento da barragem de Fundão percebidos sobre a UC e entorno?

Proposta de medidas de reparação e compensação

Esta seção apresenta a revisão das medidas reparatórias e compensatórias propostas nos Diagnósticos de Avaliação de Impactos Ambientais das quatro UCs que compõem o Grupo 4: RPPN Sete de Outubro, PE Sete Salões, RPPN Fazenda Bulcão e FLONA de Goytacazes.

É apresentada a lista das medidas propostas agrupadas, e na sequência é feita uma análise das medidas agrupadas por impacto à qual foram relacionadas. A análise foi feita buscando atender a demanda do Plano de Trabalho mencionado na apresentação deste relatório e Nota Técnica nº 10/2021/ CTBio/DIBIO/ICMBio, contudo, trata-se de uma análise preliminar a ser refinada em futuro plano de ação. São feitas também propostas complementares de medidas para o mosaico de UCs do Grupo 4.

No documento "Metodologia de Integração da Avaliação de Impacto Ambiental das Unidades de Conservação da bacia do Rio Doce e região costeira-marinha" estão descritas as etapas metodológicas, e há também uma análise crítica quanto aos conceitos adotados na proposição das medidas de reparação e compensação, e uma proposta de critérios a serem adotados na elaboração do Plano de Ação para caracterização e detalhamento das medidas.

Descrição da coleta de dados

Originalmente, as medidas propostas nos diagnósticos realizados para as UCs do Grupo 4 e relacionadas aos impactos nos meios físico e biótico somam 25 e estão distribuídas em cinco projetos distintos, como mostra a Tabela 10. Os nomes dos projetos estão apresentados entre parênteses ao final do nome da medida.

Cabe ressaltar que as medidas relacionadas exclusivamente aos impactos sobre o meio socioeconômico não foram explicitamente citadas na Tabela 10, uma vez que o componente socioeconômico não foi alvo desta avaliação. No entanto, ressalta-se a importância destas medidas e programas no estabelecimento de estratégias integradas para lidar com os impactos do rompimento da Barragem de Fundão para as UCs do Grupo 4.

Tabela 10. Medidas propostas para os impactos sobre os meios físico e biótico nas UCs do Grupo 4 e programas que fazem parte no relatório de origem em parênteses. A previsão de cada uma das medidas nas UCs está indicado nas colunas através do número de citações no diagnóstico da UC.

Fonte: FBDS 2022.

● RPPN Sete de Outubro ◆ Parque Estadual Sete Salões ■ RPPN Fazenda Bulcão ▲ FLONA de Goytacazes

Medidas	UCs			
	◆	●	■	▲
M1 - Análise de risco da condução extensiva de dragagem aos locais propícios à retenção/acúmulo de sedimentos (Melhoria da Qualidade e Quantidade da Água pela Segurança Hídrica)	7	6	7	7
M2 - Apoio (financeiro, logístico e suprimentos) ao IGAM e demais órgãos responsáveis, no controle da implantação de barramentos e incentivo a remoção das unidades existentes (Melhoria da Qualidade e Quantidade da Água pela Segurança Hídrica)	5	10	-	-
M3 - Capacitação ao cultivo de palmito nativo (Recuperação, Manejo e Conectividade das Florestas)	1	-	-	-
M4 - Controle da introdução de espécies exóticas de peixes no Rio Doce e tributários na UC e ZA, através de programa de conscientização, incentivo de pesca direcionada e fiscalização ¹ (Manejo de Fauna e Vegetação)	4	-	4	4
M5 - Criação em cativeiro das espécies de ambientes temporários para reintrodução (Manejo de Fauna e Vegetação)	-	-	-	3
M6 - Curso de empreendedorismo e associativismo/cooperativismo vinculado ao uso público da UC (artesanato, gastronomia etc.) (Uso Público)	-	-	-	2
M7 - Diagnóstico sobre a estrutura e qualidade dos solos na planície fluvial (Requalificação Sustentável dos Vales e Planícies Fluviais para a População)	5	5	3	5
M8 - Estabilização das margens (Rio Doce e tributários) utilizando preferencialmente técnicas de bioengenharia (Requalificação Sustentável dos Vales e Planícies Fluviais para a População)	5	5	3	-
M9 - Expansão das atividades de abastecimento e saneamento ambiental, relativas aos Programas 31 e 32 da Fundação Renova, para a área de estudo (Melhoria da Qualidade e Quantidade da Água pela Segurança Hídrica)	3	3	2	6
M10 - Expansão do programa de monitoramento da ictiofauna para os tributários do Rio Doce (Manejo de Fauna e Vegetação)	5	4	4	3
M11 - Indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais (Recuperação, Manejo e Conectividade das Florestas)	14	13	14	10
M12 - Instalação de sistemas de captação de água mais eficientes (cisternas, água de reuso, etc) em locais estratégicos (Melhoria da Qualidade e Quantidade da Água pela Segurança Hídrica)	1	2	1	1
M13 - Introdução de elementos estruturantes naturais ou artificiais com o objetivo de garantir a heterogeneidade necessária para a recuperação e manutenção de meso e micro-habitats aquáticos (Manejo de Fauna e Vegetação)	3	3	3	3
M14 - Levantamento das espécies de peixes em ambientes temporários (Manejo de Fauna e Vegetação)	-	-	-	1

1 - Para FLONA de Goytacazes - Controle da introdução de espécies exóticas de peixes no Rio Doce, tributário e corpos d'água da UC e ZA, através de projeto de conscientização, incentivo de pesca direcionada e fiscalização

Tabela 10 (Continuação). Medidas propostas para os impactos sobre os meios físico e biótico nas UCs do Grupo 4 e programas que fazem parte no relatório de origem em parênteses. A previsão de cada uma das medidas nas UCs está indicado nas colunas através do número de citações no diagnóstico da UC. **Fonte:** FBDS 2022.

● RPPN Sete de Outubro ◆ Parque Estadual Sete Salões ■ RPPN Fazenda Bulcão ▲ FLONA de Goytacazes

Medidas	UCs			
	◆	●	■	▲
M15 - Manejo e apoio no uso sustentável dos solos na planície de inundação e ilhas fluviais (Requalificação Sustentável dos Vales e Planícies Fluviais para a População)	3	3	-	5
M16 - Monitoramento da estabilidade das encostas, vales e margens fluviais, assim como da regeneração natural da vegetação (Requalificação Sustentável dos Vales e Planícies Fluviais para a População)	5	5	2	-
M17 - Monitoramento de anfíbios em ambientes alagáveis do interior da UC (Manejo de Fauna e Vegetação)	-	-	-	2
M18 - Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos de rios tributários do Rio Doce e zonas de confluência na UC e ZA através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS ² (Melhoria da Qualidade e Quantidade da Água pela Segurança Hídrica)	9	9	10	8
M19 - Monitoramento dos solos da planície fluvial ³ (Requalificação Sustentável dos Vales e Planícies Fluviais para a População)	5	-	-	5
M20 - Monitoramento quali-quantitativo sobre o comportamento das águas subterrâneas (vazão, metais, condutividade, pH) através de coletas de água de poços e nascentes em locais estratégicos (Melhoria da Qualidade e Quantidade da Água pela Segurança Hídrica)	2	2	3	2
M21 - Pesquisa sobre status taxonômico e distribuição de espécies de anfíbios potencialmente novas para a ciência (Manejo de Fauna e Vegetação)	2	-	2	-
M22 - Pesquisas para avaliar a necessidade e viabilidade de programas de reintrodução de espécies sensíveis e endêmicas de peixes (Manejo de Fauna e Vegetação)	3	3	3	4
M23 - Pesquisas prévias para avaliar a viabilidade e reintrodução de mamíferos e aves (Manejo de Fauna e Vegetação)	-	-	5	3
M24 - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave como o palmito juçara ⁴ (Recuperação, Manejo e Conectividade das Florestas)	13	13	11	18
M25 - Vigilância patrimonial para monitoramento da área (Manejo de Fauna e Vegetação)	-	-	-	4

2 - Para RPPN Sete de Outubro e FLONA de Goytacazes, o enunciado desta medida não menciona tributários: Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos do Rio Doce na UC e ZA, através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS;

3 - Para FLONA, o enunciado adotado foi Monitoramento dos solos da planície fluvial e avaliação da contaminação do ambiente e comunidades biológicas da FLONA de Goytacazes pela eventual inundação e consequente depósito de sedimento pelo Rio Doce;

4 - Para PE Sete Salões, o enunciado menciona 'além de outras espécies nativas'.

As medidas sugeridas podem ser classificadas em: 51% de reparação, 25% de monitoramento, 20% de novos estudos, e 4% de compensação.

Análise da pertinência das medidas propostas

Nesta seção realizamos uma breve análise das medidas apresentadas nos Diagnósticos das UCs do Grupo 4 quanto à sua pertinência. Os Diagnósticos do Instituto Ekos analisados apresentaram 25 medidas distintas. Na próxima seção é apresentada uma análise crítica das medidas apresentadas para cada um dos impactos identificados nas ZAs/UCs do Grupo 4. Após o título da medida, há indicação de quais foram as UCs que receberam aquela proposta de medida. As medidas foram classificadas em: estudos, monitoramento, reparação e compensação pela equipe da FBDS. As descrições completas das medidas podem ser encontradas na lista de medidas que acompanha este relatório.

As propostas de reparação apresentadas neste documento seguem a noção apresentada pela hierarquia de mitigação (Sánchez, 2020), que estabelece a ordem prioritária para implementar ações de mitigação quando se trata de intervenções planejadas. A hierarquia de mitigação dá preferência a medidas para evitar os impactos, o que é aplicável no contexto deste estudo para impactos que ainda podem ocorrer, como a presença de rejeito sedimentado na calha do rio Doce e tributários que podem ser revolvidos/ressuspensos e disponibilizar novamente compostos potencialmente contaminantes para a água e a planície fluvial, e também para o caso da biocumulação e biomagnificação. Os demais passos são minimizar, recuperar e compensar os impactos, quando não há possibilidade de implementar outras medidas. No contexto do rompimento de barragens é preciso considerar todas as opções de minimização dos efeitos do impacto e de recuperação do ambiente biofísico. Entretanto, para impactos irreversíveis e impactos residuais, quando não há possibilidade de recuperação, restam apenas medidas de compensação.

Fis1: Degradação da qualidade da água



Estudo

M7 - Diagnóstico sobre a estrutura e qualidade dos solos na planície fluvial

Monitoramento

M16 - Monitoramento da estabilidade das encostas, vales e margens fluviais, assim como da regeneração natural da vegetação

M18 - Monitoramento de parâmetros quali- quantitativos das águas e dos sedimentos do Rio Doce na UC e ZA, através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS

M19 - Monitoramento dos solos da planície fluvial

M20 - Monitoramento quali-quantitativo sobre o comportamento das águas subterrâneas (vazão, metais, condutividade, pH) através de coletas de água de poços e nascentes em locais estratégicos

Reparação

M8 - Estabilização das margens (Rio Doce e tributários) utilizando preferencialmente técnicas de bioengenharia

M9 - Expansão das atividades de abastecimento e saneamento ambiental, relativas aos Programas 31 e 32 da Fundação Renova, para a área de estudo

M11 - Indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais

M12 - Instalação de sistemas de captação de água mais eficientes (cisternas, água de reuso, etc) em locais estratégicos

M24 - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave, como o palmito juçara, além de outras espécies nativas

A recuperação da qualidade da água é um dos objetivos mais relevantes de reparação no contexto da rompimento da Barragem de Fundão. Dentre as medidas propostas, a recuperação das APPs (M24) é certamente relevante para redução do carreamento de sedimentos para o Rio Doce e para seus tributários. Se implantada de forma ampla nas sub-bacias, associada à M11, pode ser esperado aumento da cobertura vegetal com potencial aumento da produção de água e potencial aumento da qualidade da água em níveis superiores aos indicados na linha de base. Para isso, é preciso que esta medida não seja limitada a APPs de matas ciliares ao longo do Rio Doce, mas também contemple seus tributários de forma abrangente e buscando aumento da qualidade ambiental das sub-bacias mais afetadas.

Sobre M8 e M16, a estabilização das margens e monitoramento da estabilidade das encostas, vales e margens fluviais não se mostraram adequadas para esta área de estudo de acordo com o Plano de Manejo de Rejeitos, PMR (Golder Associates. 2021). Este plano conclui que a melhor opção de manejo para a região é o acompanhamento da recuperação natural. Desta forma, entendemos que para esta área, o diagnóstico já foi executado e o monitoramento da estabilidade não se mostra necessário.

M9 pode ser considerada de reparação no caso do abastecimento de água, pois houve supressão de mananciais, no entanto, da mesma forma que M12, seria melhor estar associada a um impacto do meio socioeconômico explicitamente ligado ao abastecimento de água em comunidades afetadas. Quanto às ações de esgotamento sanitário, há registros de várias comunidades na ZA das UCs que adotam fossas sépticas ou com sumidouro com a indicação de que podem ter sofrido colapso; no entanto, a descrição da medida apresentada não aborda exatamente este aspecto, e tem como objetivo 'Fomentar e apoiar tecnicamente os municípios onde se insere a UC na implementação de sistemas de tratamento de água (ETAs) e esgoto (ETEs)'. Desta forma, esta medida visa melhoria da qualidade da água por meio de ação complementar, para um contexto de impactos sobre a qualidade da água não diretamente relacionados ao rompimento da Barragem de Fundão, e que pode até mesmo ser considerada medida de compensação decorrente de impactos residuais não reparados sobre a qualidade da água.

M18 é uma medida que auxilia na compreensão da qualidade ambiental da região, e está proposta a ampliação do PMQQS com a inclusão da caracterização de tributários na ZA das UCs, incluindo parâmetros de qualidade e quantidade de água e sedimentos. Está proposto para 5 anos nas UCs mineiras e para a FLONA de Goytacazes se propõe apenas um a dois anos. No entanto, a partir de nossa análise, consideramos não há razão para o monitoramento na região da FLONA ter menor prazo, sendo mais adequado manter a duração de cinco anos prevista nas outras UCs do Grupo 4. Além disso, convém destacar é importante que os novos pontos de coleta sugeridos para este grupo de UCs sejam planejados e compatibilizados a partir da rede de amostragem já existe.

M7 (Diagnóstico sobre a estrutura e qualidade dos solos na planície fluvial) proposto para todas as UCs visa ampliar o conhecimento sobre condições estruturais (porosidade, textura, agregados), químicas e biológicas locais desses solos. M19 (Monitoramento dos solos da planície fluvial) foi proposta apenas duas UCs, PE Sete Salões e FLONA Goytacazes. No PE Sete Salões esta medida visa construir um banco de dados de qualidade dos solos para avaliar se os solos das planícies podem ainda sofrer algum tipo de contaminação oriunda do rejeito da Barragem de Fundão. Na FLONA Goytacazes a medida foi ampliada e inclui avaliação da contaminação do ambiente e de comunidades biológicas, incluindo coletas em comunidades de poças temporárias. Essas medidas estão estreitamente associadas à medida M15 (Manejo e apoio no uso sustentável dos solos na planície de inundação e ilhas fluviais). As três medidas aqui citadas (M7, M19 e M15) dialogam com as ações previstas no Plano de Manejo de Rejeitos para a área em estudo, que prevê que em áreas fora de APP seja feito o condicionamento do solo, com "realização de práticas agrícolas, sob análise de solo e recomendações agrônômicas, a serem definidas no âmbito do PG 17 - Retomada das atividades agropecuárias", e que em áreas de APP seja feito acompanhamento da recuperação natural, ressaltando que "não são previstas ações de manejo adicionais, considerando que não houve supressão ou arraste da vegetação" (Golder Associates, 2021, p29).

No caso da FLONA Goytacazes, que se encontra em planície de inundação do rio Doce, até o momento do estudo feito pelo Instituto Ekos o nível do rio Doce permaneceu dentro da calha desde o rompimento da barragem de Fundão, não tendo alcançado a planície onde se encontra a UC. Isto é relevante pois no passado houve várias enchentes que atingiram área substancial da FLONA. Desta forma seria importante que o diagnóstico da planície fluvial nesta UC fosse feito o quanto antes para caracterizar o ambiente não afetado pela presença de rejeitos. Não temos informações sobre a extensão da inundação de janeiro/2022 sobre a UC que atingiu Linhares (ES).

Com M19, espera-se gerar 'um banco de dados de qualidade dos solos, que aliado a estudos sobre o regime hidrológico local, poderá responder se os solos das planícies podem ainda sofrer algum tipo de contaminação oriunda do rejeito da Barragem de Fundão ou pelo material revolvido do fundo da calha pela força da onda de rejeito' (Instituto Ekos, 2019a, p.362). Esta medida, preferencialmente, pode ser detalhada não apenas como monitoramento, mas como um estudo de caracterização dos solos da planície fluvial, com duração indicada de dois anos (cf. proposta para FLONA de Goytacazes).

Sobre o monitoramento do comportamento de águas subterrâneas, M20, proposto para todas as UCs, pode ser reelaborada e ampliada como proposta de novos estudos, uma vez que seu objetivo é coletar 'dados e informações que possibilitarão estudos de tendências sobre o comportamento e qualidade dos aquíferos e das áreas de recarga, consubstanciando o planejamento e gestão do território da UC e Zona de Amortecimento', e pode ser desenvolvida em parceria com órgãos responsáveis pela outorga (IGAM, CPRM e ANA). Sugerimos que esta medida tenha seu enunciado alterado para indicar que se trata de um estudo de caracterização do comportamento das águas subterrâneas, para garantir um delineamento que alcance este objetivo, e não um monitoramento contínuo.



Fis2: Assoreamento de corpos hídricos

Estudos

M1 - Análise de risco da condução extensiva de dragagem aos locais propícios à retenção/acúmulo de sedimentos

M7 - Diagnóstico sobre a estrutura e qualidade dos solos na planície fluvial

Monitoramento

M16 - Monitoramento da estabilidade das encostas, vales e margens fluviais, assim como da regeneração natural da vegetação

M18 - Monitoramento de parâmetros quali- quantitativos das águas e dos sedimentos do Rio Doce na UC e ZA, através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS

M19 - Monitoramento dos solos da planície fluvial

Reparação

M8 - Estabilização das margens (Rio Doce e tributários) utilizando preferencialmente técnicas de bioengenharia

M24 - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave, como o palmito juçara, além de outras espécies nativas

Este impacto foi listado como potencial, no entanto, o Plano de Manejo de Rejeitos para a área de estudo, trecho 14, (Golder Associates. 2021), conclui que a melhor opção de manejo para a região é o acompanhamento da recuperação natural, que supera a opção de à remoção mecânica do rejeito na calha. Desta forma, entendemos que as medidas M1, M7, M16 e M8 já foram avaliadas, e não é necessário novos estudos sobre assoreamento e estabilidade de encostas..

A medida M18 inclui a estratigrafia dos sedimentos e permitiria compreender melhor a situação atual quanto ao assoreamento com rejeitos no rio Doce e tributários nesta área de interesse.

As medidas relacionadas à planície fluvial, M7 e M19, como já mencionado, foram exploradas no Plano de Manejo de Rejeitos para os trechos. A estabilização das margens e seu monitoramento, caso necessária (ver comentários em Fis1), e a recuperação da vegetação ripária das APPs, M8, M16 e M24, pode reduzir a carga de sedimentos carreados para o Rio Doce, e são medidas que podem minimizar problemas relacionados ao assoreamento.



Fis3: Contaminação do leito do rio

Monitoramento

M18 - Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos de rios tributários do Rio Doce e zonas de confluência na UC e ZA através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS

Reparação

M9 - Expansão das atividades de abastecimento e saneamento ambiental, relativas aos Programas 31 e 32 da Fundação Renova, para a área de estudo

O monitoramento da água e do sedimento no rio Doce e tributários/zonas de confluência é fundamental para que se possa qualificar a contaminação do leito ocorrida na ZA das UCs do Grupo 4. Se os resultados indicarem que a contaminação tem implicações significativas para a biota aquática, medidas para remediação da área poderão ser indicadas. A medida M9, uma vez que busca ampliar a cobertura de tratamento de esgotos na região, poderá contribuir para a redução de fontes de pressão que podem causar a contaminação do leito do rio por meio de processos cumulativos.

Fis4: Degradação da qualidade do sedimento



Estudo

M7 - Diagnóstico sobre a estrutura e qualidade dos solos na planície fluvial

Monitoramento

M16 - Monitoramento da estabilidade das encostas, vales e margens fluviais, assim como da regeneração natural da vegetação

M18 - Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos de rios tributários do Rio Doce e zonas de confluência na UC e ZA através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS

M19 - Monitoramento dos solos da planície fluvial

Reparação

M8 - Estabilização das margens (Rio Doce e tributários) utilizando preferencialmente técnicas de bioengenharia

A mudança nas características do sedimento pode ter consequências importantes para a biota aquática, à medida que se altera a distribuição de tamanhos, assimetria e mineralogia em relação ao sedimento produzido naturalmente na bacia de drenagem. Essa mudança se caracteriza, portanto, como alteração de habitat de organismos bentônicos.

Da mesma forma que para Fis2, as medidas relacionadas à contaminação dos solos da planície fluvial, M7 e M19, são menos relevantes para mitigação deste impacto. A estabilização das margens e seu monitoramento, caso necessária (ver comentários em Fis1), M8 e M16, respectivamente, juntamente com a recuperação das APPs, não prevista neste impacto, reduziriam a carga de sedimento produzido naturalmente na bacia de drenagem carreados para o Rio Doce; caso o carreamento de sedimento que se tinha antes do rompimento da Barragem de Fundão seja considerado excessivo, dado o estado de degradação no qual a bacia se encontrava, então convém considerar medidas de reparação que busquem aprimorar o cenário da linha de base.

M18, a partir da estratigrafia dos sedimentos, pode auxiliar a compreender a acompanhar o contexto existente, sendo importante para medir a efetividade das medidas de reparação.

Fis5: Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água



Estudo

M1 - Análise de risco da condução extensiva de dragagem aos locais propícios à retenção/acúmulo de sedimentos

Monitoramento

M18 - Monitoramento de parâmetros quali- quantitativos das águas e dos sedimentos do Rio Doce na UC e ZA, através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS

M20 - Monitoramento quali-quantitativo sobre o comportamento das águas subterrâneas (vazão, metais, condutividade, pH) através de coletas de água de poços e nascentes em locais estratégicos

A extensão e consequências da alteração da morfologia interna do canal não foram caracterizadas de forma suficiente para se possa indicar a realização de dragagem; M1 foi proposta, pois 'não foi possível delimitar manchas deposicionais ou mesmo o volume dos sedimentos lamosos acumulados, que se originaram do desastre, e por isso, sem o aprofundamento de tais informações, não se pode avaliar a efetividade da técnica de dragagem ou mesmo a quantidade de sedimentos que precisariam ser dragados. Obras de dragagem executadas sem as avaliações dos riscos de sua condução em sistemas fluviais podem desencadear novos impactos na morfologia dos canais' (Instituto Ekos, 2019d, p.282).

A medida M1 foi descartada no contexto do Programa 23 - Manejo de Rejeitos, e a opção atual para a área é de realizar o acompanhamento da recuperação natural, que inclui campanhas de monitoramento de transectos, da qualidade da água e sedimentos, de estudos e condições hidrossedimentológicas intracalha, abrangendo e extrapolando ações do PMQQS (previstas na M14) (Golder Associates, 2021). M18 é relevante para se avançar no conhecimento sobre os sedimentos, enquanto M20 não foi descrita com nenhuma particularidade que a relacione diretamente com o impacto Fis5.

Fis6: Soterramento de planícies fluviais



Estudos

M7 - Diagnóstico sobre a estrutura e qualidade dos solos na planície fluvial

Monitoramento

M16 - Monitoramento da estabilidade das encostas, vales e margens fluviais, assim como da regeneração natural da vegetação

M19 - Monitoramento dos solos da planície fluvial

Reparação

M8 - Estabilização das margens (Rio Doce e tributários) utilizando preferencialmente técnicas de bioengenharia

M15 - Manejo e apoio no uso sustentável dos solos na planície de inundação e ilhas fluviais

M24 - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave, como o palmito juçara, além de outras espécies nativas

O Plano de Manejo de Rejeitos para a área em estudo prevê que em áreas fora de APP seja feito o condicionamento do solo, com "realização de práticas agrícolas, sob análise de solo e recomendações agronômicas, a serem definidas no âmbito do PG 17 - Retomada das atividades agropecuárias", e que em áreas de APP seja feito acompanhamento da recuperação natural, ressaltando que "não são previstas ações de manejo adicionais, considerando que não houve supressão ou arraste da vegetação" (Golder Associates, 2021, p29). Tendo estas diretrizes mais recentes em vista, entendemos que estão contempladas as medidas M7, M15 e M19. Entendemos que ações de educação/comunicação farão parte das ações de condicionamento do solo. Quanto à M8 e M16, entendemos que não são medidas adequadas para este trecho da bacia, pois não se identifica problemas de estabilidade das margens que justifiquem ações de contenção e monitoramento.



Fis7: Contaminação de planícies fluviais

Reparação

M15 - Manejo e apoio no uso sustentável dos solos na planície de inundação e ilhas fluviais

Como já mencionado antes, o Plano de Manejo de Rejeitos prevê condicionamento do solo em áreas fora de APP, compatível com a proposta da medida M15, além do acompanhamento da recuperação natural em área de APP (Golder Associates, 2021). Para a área de estudo não foram identificadas áreas contaminadas que demandem ações de monitoramento ou remediação.

Fis8: Redução da quantidade da água dos tributários

ao Rio Doce

Reparação

M11 - Indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais

M12 - Instalação de sistemas de captação de água mais eficientes (cisternas, água de reuso, etc.) em locais estratégicos

M24 - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies-chave, como o palmito juçara, além de outras espécies nativas



A recuperação das APPs de nascentes (M24) e a revegetação para incremento da conectividade (M11) são medidas que devem contribuir para o aumento da produção de água nas sub-bacias em que houve supressão do Rio Doce enquanto manancial e abandono de poços próximos ao Rio Doce.

A instalação de sistemas de captação de água (M12), aqui proposta apenas para a RPPN Sete Salões, aumenta a segurança hídrica nas áreas das comunidades afetadas. Esta medida, entretanto, seria melhor associada a um impacto do meio socioeconômico que trouxesse adequada caracterização das comunidades afetadas, de forma separada deste impacto específico sobre a redução da quantidade de água.



Bio1 - Mortandade direta e/ou indireta

Estudo

M1 - Análise de risco da condução extensiva de dragagem aos locais propícios à retenção/acúmulo de sedimentos

M22 - Pesquisas para avaliar a necessidade e viabilidade de programas de reintrodução de espécies sensíveis e endêmicas de peixes

M23 - Pesquisas prévias para avaliar a viabilidade e reintrodução de mamíferos e aves

Monitoramento

M17 - Monitoramento de anfíbios em ambientes alagáveis do interior da UC

Reparação

M4 - Controle da introdução de espécies exóticas de peixes no Rio Doce e tributários na UC e ZA, através de programa de conscientização, incentivo de pesca direcionada e fiscalização

M5 - Criação em cativeiro das espécies de ambientes temporários para reintrodução

M11 - Indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais

M24 - Projeto de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave como o palmito juçara

Compensação

M2 - Apoio (financeiro, logístico e suprimentos) ao IGAM e demais órgãos responsáveis, no controle da implantação de barramentos e incentivo a remoção das unidades existentes

M22 e M23, se viáveis, são medidas relevantes para acelerar a restauração de populações de espécies selecionadas. M1, como já mencionado, foi descartada no Plano de Manejo de Rejeitos para o trecho da área em estudo.

M4 é uma medida importante para aumentar as chances de retorno e viabilidade das populações de espécies nativas. Além disso, seria importante evitar a introdução de espécies exóticas e alóctones que ainda não ocorrem na região.

M5, M11, M2 e M24 são medidas de aprimoramento, que visam elevar a qualidade ambiental na região, e são essenciais para garantir a viabilidade das populações.

Sobre M17, Monitoramento de anfíbios em ambientes alagáveis do interior da UC na FLONA de Goytacazes, trata-se de medida para aprimorar o controle de espécies de grande relevância para conservação que podem ser afetadas em episódios de grandes cheias do Rio Doce, que ocorrem em intervalos que podem variar entre cinco e dez anos. Em uma grande cheia, estas espécies poderiam entrar em contato com os rejeitos e pode haver perda de habitat; é adequado que se amplie o conhecimento sobre as espécies indicadas (*Ceratophrys aurita*, *Aparasphenodon brunoi*, *Sphaenorhynchus pauloalvini*, *Leptodactylus cupreus*, *Dasylops schirchi* e *Macrogenioglottus alipioi*) por meio de monitoramento populacional até que a qualidade da água mostre normalização em relação aos valores anteriores ao rompimento da Barragem de Fundão.



Bio2: Contaminação da biota

Estudo

M21 - Pesquisa sobre status taxonômico e distribuição de espécies de anfíbios potencialmente novas para a ciência

M23 - Pesquisas prévias para avaliar a viabilidade e reintrodução de mamíferos e aves

Monitoramento

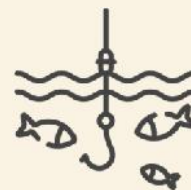
M10 - Expansão do programa de monitoramento da ictiofauna para os tributários do Rio Doce

M18 - Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos do Rio Doce na UC e ZA, através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS

A contaminação da biota, incluindo a bioacumulação e a bioamplificação de metais em espécies da fauna e da flora, não conta com medidas corretivas diretas que sejam conhecidas e eficazes. Dessa forma, a estratégia a ser adotada prioritariamente é evitar que este impacto ganhe magnitude por meio da redução da presença/concentração de metais e metalóides na água, no sedimento e em planícies fluviais. Com isso, recomendamos que medidas adicionais de remediação de áreas contaminadas sejam exploradas no Plano de Ação.

As medidas M10 e M18 são relevantes, pois permitem acompanhar o progresso no restabelecimento e aprimoramento da qualidade ambiental da região. M21 traz uma demanda de estudo de espécies não identificadas: *Bokermannohyla* sp., *Ololygon* sp., *Phasmahyla* sp., *Hylodes* sp. no PE Sete Salões e *Leptodactylus* aff. *spixii* na RPPN Fazenda Bulcão. A primeira foi identificada a partir da literatura e as outras duas são provenientes de registros de espécimes no MZUFV, e consideramos que é apropriado avançar no estudo desta espécie nesta região.

M23 traz uma proposta de pesquisa relacionada à reintrodução de aves e mamíferos, no entanto, seria interessante uma avaliação dos níveis de contaminação de mamíferos e aves antes de se avançar nesta ação, uma vez que não foram encontradas evidências experimentais para esses grupos.



Bio4: Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares

Estudo

M21 - Pesquisa sobre status taxonômico e distribuição de espécies de anfíbios potencialmente novas para a ciência

M22 - Pesquisas para avaliar a necessidade e viabilidade de programas de reintrodução de espécies sensíveis e endêmicas de peixes

M23 - Pesquisas prévias para avaliar a viabilidade e reintrodução de mamíferos e aves

Monitoramento

M10 - Expansão do programa de monitoramento da ictiofauna para os tributários do Rio Doce

M25 - Vigilância patrimonial para monitoramento da área

Reparação

M4 - Controle da introdução de espécies exóticas de peixes no Rio Doce e tributários na UC e ZA, através de programa de conscientização, incentivo de pesca direcionada e fiscalização

M5 - Criação em cativeiro das espécies de ambientes temporários para reintrodução

M24 - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave, como o palmito juçara, além de outras espécies nativas

M11 - Indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais

M13 - Introdução de elementos estruturantes naturais ou artificiais com o objetivo de garantir a heterogeneidade necessária para a recuperação e manutenção de meso e micro-habitats aquáticos

M24 - Projeto de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave como o palmito juçara

Compensação

M2 - Apoio (financeiro, logístico e suprimentos) ao IGAM e demais órgãos responsáveis, no controle da implantação de barramentos e incentivo a remoção das unidades existentes

As medidas para reduzir a significância do impacto Bio4 estão alinhadas à necessidade de dar suporte e acelerar o processo gradual de recuperação dos ambientes aquáticos e apoiar a reversão da redução na diversidade e quantidade de alimento disponível para a fauna presente nas UCs e entorno (M24, M4, M11, M13, M22, M23).

O monitoramento da ictiofauna e o apoio ao monitoramento do IGAM (M10 e M2) permitirão acompanhar a qualidade ambiental da região e o progresso da reparação da área de forma abrangente. A remoção de barramentos existentes deve levar em conta os riscos de contaminação recorrente no caso das espécies mais sensíveis.

M21 é uma medida que busca avançar em estudos sobre três espécies de anfíbios que não puderam ser identificadas até o nível específico, e que por serem potencialmente novos táxons, não se tem informações sobre seu habitat, distribuição geográfica e status de conservação. Pode ser desenvolvida em parceria com agências de fomento à pesquisa, e no Plano de Ação, poderá ser considerada entre as opções de medidas compensatórias.

Para este impacto, como complemento das medidas M21 e M10, pode ser previsto o levantamento taxonômico e estimativa de tamanhos populacionais de vertebrados aquáticos e semiaquáticos, e avaliação de espécies potencialmente novas para a ciência, bem como o levantamento taxonômico e estimativa de tamanhos populacionais das macrófitas aquáticas e também o controle de espécies exóticas de macrófitas.

M25 é relevante especificamente a FLONA de Goytacazes, na qual foi observado aumento da caça e captura de mamíferos e aves, e da extração ilegal de palmito, atividades relacionadas direta e indiretamente às alterações nas atividades econômicas derivadas do rompimento da barragem.

Bio7: Perda e/ou degradação de habitats



Estudo

M1 - Análise de risco da condução extensiva de dragagem aos locais propícios à retenção/acúmulo de sedimentos

M23 - Pesquisas prévias para avaliar a viabilidade e reintrodução de mamíferos e aves

Monitoramento

M10 - Expansão do programa de monitoramento da ictiofauna para os tributários do Rio Doce

M17 - Monitoramento de anfíbios em ambientes alagáveis do interior da UC

M18 - Monitoramento de parâmetros quali- quantitativos das águas e dos sedimentos de rios tributários do Rio Doce e zonas de confluência na UC e ZA através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS

Reparação

M9 - Expansão das atividades de abastecimento e saneamento ambiental, relativas aos Programas 31 e 32 da Fundação Renova, para a área de estudo

M11 - Indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais

M13 - Introdução de elementos estruturantes naturais ou artificiais com o objetivo de garantir a heterogeneidade necessária para a recuperação e manutenção de meso e micro-habitats aquáticos

M24 - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave, como o palmito juçara, além de outras espécies nativas

Compensação

M2 - Apoio (financeiro, logístico e suprimentos) ao IGAM e demais órgãos responsáveis, no controle da implantação de barramentos e incentivo a remoção das unidades existentes

As medidas propostas para o impacto Bio7 são compatíveis com a necessidade de restauração ecológica da área de estudo e criação de habitats (M1, M23, M9, M11, M13, M24), a única exceção é M1, descartada no Plano de Manejo de Rejeitos para o trecho da área em estudo.

O monitoramento da ictiofauna, anfíbios (apenas na FLONA de Goytacazes) e o apoio ao monitoramento do IGAM (M10, M17 e M18) permitem acompanhar a qualidade ambiental da região e o progresso da reparação da área de forma abrangente.

Bio8: Redução da originalidade biótica



Monitoramento

M10 - Expansão do programa de monitoramento da ictiofauna para os tributários do Rio Doce

M18 - Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos do Rio Doce na UC e ZA, através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS

Reparação

M4 - Controle da introdução de espécies exóticas de peixes no Rio Doce, tributário e corpos d'água da UC e ZA, através de projeto de conscientização, incentivo de pesca direcionada e fiscalização

M9 - Expansão das atividades de abastecimento e saneamento ambiental, relativas aos Programas 31 e 32 da Fundação Renova, para a área de estudo

A recuperação da originalidade biótica também deve contar com medidas abrangentes de controle das espécies exóticas, como indicado em M4, M10 e M18 são importantes para o acompanhamento das respostas das medidas implantadas.

M9 não está diretamente relacionada ao impacto Bio8. No entanto, sua implementação e continuidade permitem acompanhar o restabelecimento da qualidade ambiental que influencia diretamente na mitigação do impacto Bio8.

Bio9: Redução da biodiversidade local



Estudo

M14 - Levantamento das espécies de peixes em ambientes temporários

M22 - Pesquisas para avaliar a necessidade e viabilidade de projetos de reintrodução de espécies sensíveis e endêmicas de peixes

Monitoramento

M10 - Expansão do programa de monitoramento da ictiofauna para os tributários do Rio Doce

Reparação

M4 - Controle da introdução de espécies exóticas de peixes no Rio Doce e tributários na UC e ZA, através de programa de conscientização, incentivo de pesca direcionada e fiscalização

M5 - Criação em cativeiro das espécies de ambientes temporários para reintrodução

Compensação

M2 - Apoio (financeiro, logístico e suprimentos) ao IGAM e demais órgãos responsáveis, no controle da implantação de barramentos e incentivo a remoção das unidades existentes

As seis medidas propostas são pertinentes para este impacto que se relaciona fundamentalmente com a biota aquática. O monitoramento da ictiofauna (M10) é importante para o acompanhamento da evolução da comunidade aquática, bem como a remoção dos barramentos (M2) é importante para ampliação de habitats. Para a FLONA de Goytacazes, M5 e M14 são medidas interrelacionadas e podem acelerar a recuperação de espécies em ambientes temporários. Medidas adicionais para recuperação de áreas degradadas ou enriquecimento podem ser exploradas no Plano de Ação.



Bio10: Aumento de pressão antrópica sobre recursos naturais florestais

Reparação

M15 - Manejo e apoio no uso sustentável dos solos na planície de inundação e ilhas fluviais

M24 - Projeto de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave como o palmito juçara

M3 - Capacitação ao cultivo de palmito nativo

M6 - Curso de empreendedorismo e associativismo/cooperativismo vinculado ao uso público da UC (artesanato, gastronomia etc.)

No PE Sete Salões e na FLONA de Goytacazes houve aumento da extração ilegal de palmito na área da UC, espécie importante para o forrageamento de aves e mamíferos. As medidas propostas para reparação deste impacto incluem o plantio do palmito em APPs (M24), e sugerem o envolvimento da comunidade na recuperação (M3). Para o caso da FLONA, a medida M3 não está mencionada para este impacto na Tabela 51 (Relação dos Impactos com as Medidas e Projetos Propostos) do diagnóstico produzido pelo Instituto Ekos, mas está presente no descritivo da medida (Instituto Ekos, 2019d).

Quanto às medidas M15 e M6, propostas apenas no caso da FLONA de Goytacazes, não é mencionado plantio direto de palmito nas planícies de inundação, mas sim o desenvolvimento de outras atividades na Zona de Amortecimento que poderiam reduzir a busca pelo palmito na área das UCs. No caso do PE Sete Salões, estas duas medidas são propostas associadas a outros impactos, mas certamente também cumpririam papel na redução da pressão sobre a extração de palmito na área da UC.

Bio11: Aumento da caça/pesca predatória

Estudo

M23 - Pesquisas prévias para avaliar a viabilidade e reintrodução de mamíferos e aves



Monitoramento

M25 - Vigilância patrimonial para monitoramento da área

Reparação

M15 - Manejo e apoio no uso sustentável dos solos na planície de inundação e ilhas fluviais

M6 - Curso de empreendedorismo e associativismo/cooperativismo vinculado ao uso público da UC (artesanato, gastronomia etc.)

Para este impacto, identificado apenas para a FLONA de Goytacazes, as medidas visam tanto gerar alternativas para lidar com a redução na atividade pesqueira e/ou de oportunidades de emprego e renda relacionadas aos efeitos do rompimento da Barragem de Fundão nos locais atingidos, com as medidas M6 e M15, quanto avaliar a viabilidade de reintroduzir espécies de aves e mamíferos, acelerando a recuperação de danos causados (M23) e aumentar a vigilância patrimonial para coibir a caça.

Padrões na relação entre impactos e medidas

A Figura 11 permite a identificação de que os impactos com mais medidas associadas são Bio7, Fis1, Bio4, Bio1 e Fis6. Quanto às medidas, as que se conectam ao maior número de impactos são M24 (Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave como o palmito juçara) e M18 (Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos de rios tributários do Rio Doce e zonas de confluência na UC e ZA através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS). Na sequência, ligadas a cinco impactos cada, aparecem as medidas M10 (Expansão do projeto de monitoramento da ictiofauna para os tributários do Rio Doce), M11 (Indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais) e M23 (Pesquisas prévias para avaliar a viabilidade e reintrodução de mamíferos e aves).

É possível notar que a maior parte dos impactos está associada a medidas de reparação, sendo as exceções os impactos Bio2 e Fis5, que contam apenas com recomendações de estudos e monitoramento que tratam da contaminação da biota e do leito do rio.

A única medida classificada como compensatória, M2, está ligada apenas a impactos do meio biótico (Bio1, Bio4, Bio7 e Bio9). A medida trata da remoção de barramentos nos tributários por meio de apoio ao IGAM. Considerando que os impactos sobre o meio físico provavelmente também terão impactos residuais após implantação de medidas de reparação, é provável que novas medidas de compensação sejam necessárias. Da mesma forma, outros impactos do meio biótico também podem receber novas medidas de compensação, a depender dos impactos residuais.

Da análise do diagrama é possível ainda identificar que todos os impactos foram relacionados a alguma medida de monitoramento ou a novos estudos, sendo as exceções Fis7, Fis8 e Bio10, que estão ligados apenas a medidas de reparação.

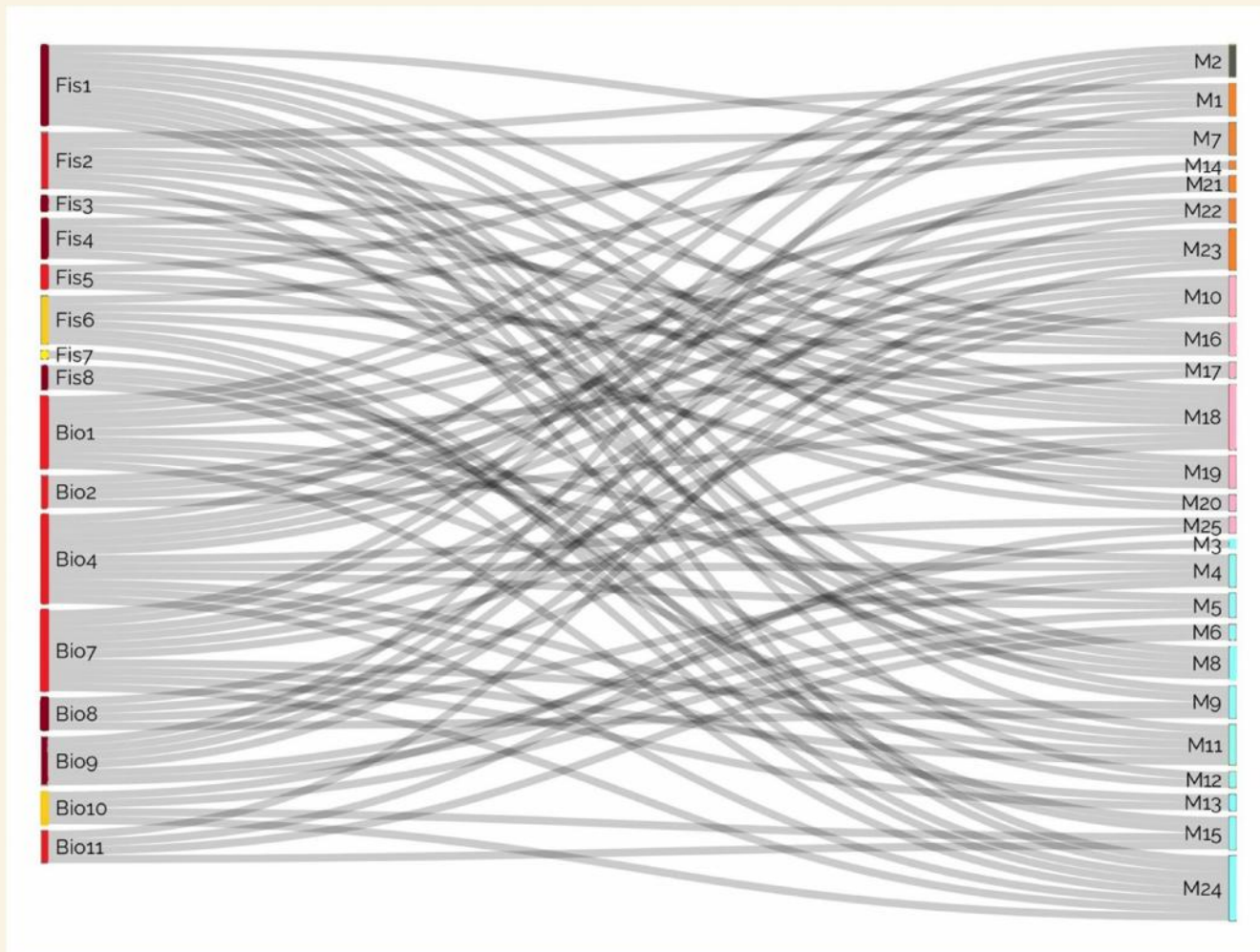


Figura 11. Síntese da relação entre os impactos listados para o meio físico e biótico para as UCs do Grupo 4 afetadas pelo rompimento da Barragem de Fundão e as medidas propostas para lidar com os mesmos, identificadas nos diagnósticos de AIA para as mesmas. As cores dos impactos representam a significância atribuída a cada um deles, já as cores das medidas estão associadas ao tipo de ação proposta. A descrição completa e pertinência das medidas propostas pode ser acessada no texto principal, bem como nos documentos acessórios que acompanham este relatório. Fis1 = Degradação da qualidade da água. Fis2 = Assoreamento de corpos hídricos. Fis3 = Contaminação do leito. Fis4 = Degradação da qualidade do sedimento. Fis5 = Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água. Fis6 = Soterramento de planícies fluviais. Fis7 = Contaminação de planícies fluviais. Fis8 = Redução da quantidade de água dos tributários ao Rio Doce. Bio1 = Mortandade direta e/ou indireta. Bio2 = Contaminação da biota. Bio4 = Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares. Bio7 = Perda e/ou degradação de habitats. Bio8 = Redução da originalidade biótica. Bio9 = Redução da biodiversidade local. Bio10 = Aumento de pressão antrópica sobre recursos naturais florestais. Bio11 = Aumento da caça/pesca predatória. Significância dos impactos: Amarelo = baixa; Laranja = média; Vermelho = Alta; Vermelho escuro = Muito Alta. Tipos de medidas: Cinza = compensação; Laranja = estudo; Rosa = monitoramento; Azul = reparação. **Fonte:** FBDS, 2022.

Considerações sobre as medidas propostas

Da análise apresentada na seção anterior, podemos ainda acrescentar alguns pontos a serem observados quando da elaboração do Plano de Ação.

O primeiro ponto é que as medidas mitigadoras e compensatórias foram apresentadas de forma inicial nos relatórios do Grupo 4, sem detalhamentos sobre técnicas a serem adotadas, sem indicação da área em que seriam implementadas, e nem sempre com a indicação do período de realização. Nesse sentido, a análise de pertinência realizada por esta equipe é indicativa e depende do detalhamento de como essas medidas serão implantadas para conclusões mais assertivas sobre sua pertinência.

Para detalhamento de algumas das medidas propostas será necessário integrar informações do contexto socioeconômico, sendo essencial uma análise mais detalhada do diagnóstico do meio socioeconômico já elaborado, e eventualmente, realizações de complementações e atualizações. Isso ocorre para as medidas M3, M6, M9, M11, M12, M15 e M24.

Também para detalhamento das medidas, deve-se considerar que PE Sete Salões e FLONA de Goytacazes tem um contexto de grande fragilidade quanto à capacidade institucional. O objetivo das UCs também é distinto e abre diferentes possibilidades de medidas: enquanto UC de Proteção Integral, o PE Sete Salões deve buscar conciliar "harmoniosamente, o uso científico, educativo e recreativo com a preservação integral e perene do patrimônio natural", em área onde "não são permitidos a coleta e o uso dos recursos naturais" (Lei Estadual n.º 20.922/2013). Já no caso da FLONA de Goytacazes, na área da UC é permitido uso múltiplo sustentável dos recursos florestais, com "ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativa" de acordo com a Lei do SNUC, Lei Federal n.º 9.985/2000. No caso das RPPNs, enquanto a RPPN Fazenda Bulcão está bem estruturada a partir da administração do Instituto Terra, a RPPN Sete de Outubro não apresenta atividades turísticas, área que 'se constitui por fragmentos bem alterados da mata nativa, em estágio pioneiro e inicial que conferem uma baixa qualidade ambiental da área' (Instituto Ekos, 2019b), mas que no entanto, é relevante para conexão entre PE Sete Salões e calha do rio Doce.

Por fim, neste documento apresentamos uma análise das medidas que foram propostas nos relatórios das UCs do Grupo 4 sem avançar na sistematização de medidas adicionais presentes em outras ações, coordenadas ou não pela Fundação Renova. Várias das medidas analisadas já estão contempladas ou são complementações de ações dos programas já em andamento da Fundação Renova, em especial 26 - Programa de recuperação de APPs e áreas de recargas hídricas e 27 - Programa de recuperação de nascentes, recentemente revisados; 23 - Manejo de rejeitos; 28 - Conservação da Biodiversidade; 29 - Recuperação da fauna silvestre; 30 - Fauna e flora terrestre (também em revisão) e 38 - Monitoramento da bacia do rio Doce. Com destaque, o Plano de Ação para Conservação da Biodiversidade Terrestre do rio Doce apresenta um importante detalhamento de ações e metas a serem especificados no Plano de Ação do Grupo 4.

Sobre os programas 26 e 27, a indicação de áreas para recuperação de APPs ripárias, de topo de morro, de declividade e de nascentes foi para toda a bacia do rio Doce, porém, há um *recorte de priorização* que tem foco em critérios de segurança hídrica; e o escalonamento plurianual é exclusivamente direcionado exclusivamente às sub-bacias deste *recorte de priorização* (UFV; UFMG, 2019). Em análise preliminar dos mapas, é possível notar que há sobreposição da área do mosaico de UCs do grupo 4 com o recorte de priorização, mas uma análise técnica detalhada deve ser feita para identificação de quais áreas estão indicadas para plantio total com ou sem fins econômicos ou para condução da regeneração natural. Esses mapas podem ser adotados como base para dar suporte ao detalhamento das medidas relacionadas à recuperação de apps, incentivo ao plantio de agrofloresta e manejo de recursos florestais, e indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais.

Acrescentamos, ainda, algumas sugestões a serem avaliadas no contexto da elaboração do Plano de Ação Integrado para a Biodiversidade. Trata-se de medidas compensatórias que podem ser propostas como ações de resposta a impactos residuais, e que podem contribuir para o fortalecimento da gestão das UCs em médio e longo prazo: :

- (1) Desenvolvimento de mecanismos para suporte e fortalecimento da gestão das UCs, que podem incluir o desenvolvimento de estratégias para captação de recursos e gestão financeira (ICMBio, 2018; IPÊ, 2019; Instituto Semeia, 2021);
- (2) Medidas para o fortalecimento das ações integradas entre UCs, incluindo a construção/ampliação/manutenção de sistemas de informação para os mosaicos ou para a bacia e que incluam os resultados das ações de monitoramento da biodiversidade (Brito et al. 2021);
- (3) Apoio na regularização fundiária das UCs (ICMBio, 2018; IPÊ, 2019);
- (4) Organização da gestão da pesquisa científica, avançando na organização de prioridades regionais e no financiamento destas pesquisas (IPÊ, 2019; ICMBio, IPÊ, 2014);

Sobre a priorização das medidas, consideramos que é ideal que seja feita como parte do Plano de Ação, reunindo a análise crítica das medidas presentes neste relatório e novas medidas, que devem considerar as sugestões dos gestores das UCs. Também será possível agregar informações importantes sobre os objetivos das UCs, sua capacidade de gestão e estrutura, ações institucionais em curso e prioridades, capacidade para acompanhar a execução das medidas propostas e eventual necessidade de apoio para sua execução, pontos que foram demandados na Nota Técnica nº 10/2021/CIBio/DIBIO/ICMBio e sobre os quais ainda é preciso novo esforço de coleta de dados para adequada caracterização e atualização. As medidas serão caracterizadas tomando como base as diretrizes que constam na Tabela 5 do documento "Metodologia de Integração da Avaliação de Impacto Ambiental das Unidades de Conservação da bacia do Rio Doce e região costeira-marinha".

Conclusão

As sínteses produzidas para os meios físicos e bióticos, e ilustradas nas Figuras 2, 5, 6 e 7 indicam que o impacto no ambiente aquático foi bastante severo e ainda se manifesta em períodos de cheia. Esse resultado está fortemente baseado em dados empíricos de qualidade de água disponíveis para períodos antes e após o rompimento da Barragem de Fundão e de química do sedimento e granulometria obtidos após o rompimento.

Os demais impactos físicos decorrem direta ou indiretamente da degradação da qualidade da água, química do sedimento e granulometria. Embora a evidência empírica para estes outros impactos não seja tão forte quanto aquela para a qualidade de água, soma-se a esta evidência a alta plausibilidade causal com o rompimento da Barragem de Fundão (Figs. 8 e 9).

As evidências de impactos bióticos são esparsas e decorrem da falta de estudos quantitativos padronizados feitos antes do rompimento. Embora a base de dados construída para construção de linha de base seja extensa, ela é derivada de dados secundários coletados na região em diferentes contextos (por ex. quando a região ainda tinha bastante vegetação nativa), com diferentes métodos e propósitos (por ex. estudos ecológicos e taxonômicos). Tal heterogeneidade impede a aplicação de métodos quantitativos objetivos, tal como feito para qualidade de água do Rio Doce.

Apesar da impossibilidade de se ter uma linha de base fortemente baseada em dados empíricos e quantitativos, os impactos nos habitats físicos decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão nos permitiram estimar quais e quão severamente foram afetados os componentes bióticos.

Apesar das restrições apontadas acima, as evidências sobre os impactos físicos são fortes e nos permitem concluir que os impactos não só foram severos mas ainda se manifestam em menor intensidade. Como consequência direta, os habitats da fauna e flora aquática e semiaquática foram degradados. Salvo casos particulares, degradação de habitat, principalmente quando persistente, é o maior impacto que pode acontecer num ecossistema tendo em vista que afeta todas espécies presentes, incluindo aquelas pouco visíveis mas com importante função ecológica (por ex., cupins e formigas no ambiente terrestre e larvas de insetos em ambiente aquático). As evidências empíricas reunidas e também os processos ecológicos causais, entretanto, não nos permite uma inferência robusta sobre impactos muito severos na biota terrestre. É bastante provável que tenham ocorrido, mas sua intensidade e a extensão geográfica afetada a partir do Rio Doce é difícil, senão impossível, estimar sem dados quantitativos padronizados obtidos antes do rompimento.

Os Diagnósticos utilizados (Instituto Ekos 2019a, b, c, d) e este relatório tiveram como diretriz geral as perguntas norteadoras apresentadas na Tabela 10. Portanto, além das sínteses feitas para os meios físico e biótico, concluímos este relatório com uma lista de respostas sintéticas às perguntas norteadoras, que ajudam a sumarizar os impactos detectados.

Tabela 11. Perguntas norteadoras apresentadas para estudos que buscam realizar a Avaliação de Impacto Ambiental e respostas àquelas que são pertinentes ao escopo deste relatório. **Fonte:** FBDS 2022

Perguntas	Resposta
a) Com a chegada da lama de rejeitos no Rio Doce, litoral do ES e litoral sul da Bahia, qual área da UC foi atingida?	Somente as Zonas de Amortecimento das quatro UCs avaliadas: RPPN Sete de Outubro, PE Sete Salões, RPPN Fazenda Bulcão e FLONA de Goytacazes.
b) Com a chegada da lama de rejeitos na UC, qual componente ou compartimento dos meios físicos e/ou biótico foi afetado?	Meio físico - Leito do Rio Doce (assoreamento, contaminação, mudança da granulometria e morfologia do leito), planície fluvial (deposição de sedimentos e contaminação) e tributários (redução da quantidade de água pelo maior uso por populações humanas). Meio biótico - Praticamente toda a biota aquática e semiaquática no Rio Doce e parte da biota aquática, semiaquática e terrestre em áreas baixas dos tributários próximas à calha do Rio Doce e em áreas inundáveis foram impactadas com a chegada da lama de rejeitos. A biota terrestre foi diretamente impactada em pequenas áreas devido ao efeito das cheias, que ocasionou soterramento e contaminação nas áreas adjacentes ao Rio Doce.
c) Quais evidências apontam que a lama foi depositada ou interferiu no ambiente?	Análises da série histórica de qualidade da água do Rio Doce mostram que o sedimento depositado ainda é ressuspenso durante períodos de cheia (dados até 2020). Houve registro visual da deposição de lama em planícies fluviais das Zonas de Amortecimento das UCs.
d) A presença da lama nas áreas atingidas causou alguma alteração física, biológica ou de utilização socioeconômica dos seus recursos?	A deposição de rejeitos no leito e as demais alterações da qualidade da água causaram mortalidade generalizada da fauna aquática e semiaquática, enquanto a deposição de rejeitos na planície fluvial causou mortalidades pontuais de fauna e flora nas áreas inundáveis. As populações humanas deixaram de consumir água do Rio Doce, e de tributários e poços na proximidade da calha do rio.
e) Quais espécies foram afetadas, e como o foram (quais aspectos do ciclo biológico) pela incidência da lama de rejeitos, de sua pluma ou em decorrência de alterações das características físicas e químicas dos ambientes e meios?	Praticamente todas as populações de espécies aquáticas e semi aquáticas na calha do Rio Doce e nas áreas mais baixas dos córregos tributários do Rio Doce foram diretamente afetadas. Entre as espécies terrestres, devem ter sido afetadas principalmente as plantas herbáceas, os vertebrados fossoriais, os invertebrados de solo e os animais que nidificam e/ou se alimentam no Rio Doce ou nas margens inundáveis do rio.
f) As atividades e projetos desenvolvidos na UC sofreram alguma alteração após a chegada da lama de rejeitos (ex.: mortalidade de animais, modificação nas propriedades físico-químicas da água, deposição da lama de rejeitos, diminuição da visitação, necessidade de alteração de projeto de pesquisa, manejo ou exploração de recursos, ou cancelamento do mesmo)?	Não há informações disponíveis sobre os impactos nos projetos desenvolvidos nas UCs. Porém, é esperado que mesmo temporariamente algumas atividades tenham sido interrompidas e outras prejudicadas pelos impactos nos meios físicos e bióticos levantados.

Tabela 11. (Continuação): Perguntas norteadoras apresentadas para estudos que buscam realizar a Avaliação de Impacto Ambiental e respostas àquelas que são pertinentes ao escopo deste relatório.
Fonte: FBDS, 2022

Perguntas	Resposta
g) Quais áreas (mapeamento das mesmas com geração de dados georreferenciados) no interior da UC e em sua zona de amortecimento foram diretamente afetadas pela lama?	Somente os trechos alagáveis (planície fluvial) na Zona de Amortecimento das UCs. Porém, baseado nos registros de cheia e seus efeitos na FLONA de Goytacazes, existe a possibilidade de que os rejeitos atinjam o interior da em algum evento futuro. Não há mapeamento disponível detalhado para este impacto nas UCs do Grupo 4.
h) Nas áreas em que a lama ficou depositada, quais as alterações físicas, químicas e biológicas observadas?	Os rejeitos foram depositados no leito do Rio Doce e nas planícies alagáveis. Análises da série histórica de qualidade de água feita neste relatório mostram que ainda existe ressuspensão do sedimento durante períodos de cheia. A primeira cheia após o rompimento da Barragem de Fundão causou deposição de até 20 cm de rejeitos nas planícies inundáveis, embora boa parte deste material tenha sido removido em cheias subseqüentes.
i) Quais as técnicas recomendadas para recuperação ou restauração das áreas afetadas?	É possível considerar que todas as medidas propostas são importantes para a recuperação ou restauração das áreas afetadas, e cada uma deve se atentar às técnicas adequadas para garantir a sua eficácia. Algumas das técnicas/medidas são a restauração da mata ciliar com espécies nativas, e estabilização das margens (Rio Doce e tributários), utilizando preferencialmente técnicas de bioengenharia; adição de elementos estruturadores de habitat, como troncos ou até estruturas antrópicas (como as utilizadas na construção de recifes artificiais) nas margens em alguns pontos do rio.
j) Haja vista que a recuperação de APPs pode ser uma estratégia para otimizar processos de recarga, redução de assoreamento e aumento de habitats para as populações aquáticas afetadas, quais áreas de APP nas UCs afetadas e em suas zonas de amortecimento poderiam ser recuperadas (mapeamento georreferenciado)?	A recuperação de APPs está prevista como medida ampla, a ser adotada em toda a bacia, para além dos limites geográficos das Unidades de Conservação e Zonas de Amortecimento.
k) Com o rompimento da barragem, houve aumento no isolamento de populações de mamíferos nas diferentes margens do rio Doce?	Tendo em vista que somente em pequenos trechos de planícies alagáveis das Áreas de Estudo das UCs houve extravasamento e deposição de lama e contaminantes em ambiente terrestre, é pouco provável que o rompimento da barragem tenha levado a um aumento no isolamento da maior parte dos mamíferos conhecidos para a região.
l) Quais atividades na sub-bacia em que está localizada a UC concorrem para o agravamento dos impactos do rompimento da barragem (ex: erosão, geração efluentes líquidos, desmatamento, etc.)?	Muitas áreas degradadas e vegetação ciliar reduzida, que causam maior entrada de sedimentos no Rio Doce durante os períodos de chuvas. Uso intenso da água de tributários (muitas represas e outros usos) faz com que estes não produzam descarga de água no Rio Doce em boa parte do ano (mesmo em períodos chuvosos).

Tabela 11. (Continuação): Perguntas norteadoras apresentadas para estudos que buscam realizar a Avaliação de Impacto Ambiental e respostas àquelas que são pertinentes ao escopo deste relatório.
Fonte: FBDS, 2022

Perguntas	Resposta
m) Com relação à alteração da qualidade da água, quais parâmetros foram alterados pelo rompimento da barragem?	Houve alteração de curto prazo (mesmo verão do rompimento da Barragem de Fundão) de 68% (21/31), 75% (24/32) e 81% (26/32) das variáveis avaliadas nas séries históricas de, respectivamente, Resplendor (RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões), Baixo Guandú (RPPN Fazenda Bulcão) e Linhares (FLONA de Goytacazes). Até o verão seguinte, 67% (32/48), 75% (36/48) e 44% (7/16) das variáveis avaliadas foram alteradas em relação aos seus valores pré-rompimento nas estações de Resplendor, Baixo Guandú e Linhares, respectivamente. A tabulação por categoria de variável pode ser encontrada na Tabela 6 deste relatório. As listagens das variáveis podem ser encontradas nas Tabelas 50, 71, 50 e 47 dos diagnósticos feitos para, respectivamente, a RPPN Sete de Outubro, PE Sete Salões, RPPN Fazenda Bulcão e FLONA de Goytacazes (Instituto Ekos 2019a, b, c, d).
n) Qual o impacto da alteração da qualidade da água e substrato do rio Doce (e demais corpos d'água afetados) em termos limnológicos?	A análise de série histórica mostra que o sedimento depositado no leito do Rio Doce é ressuspensionado durante cheias, ainda que em menor intensidade durante anos recentes. Nestes eventos, a qualidade é deteriorada pelo aumento de sólidos totais e diversas substâncias (por ex. ferro, manganês e nitrato).
o) Quais impactos (identificáveis e potenciais) do aumento da turbidez e demais alterações na qualidade da água do rio Doce (e demais corpos de água) na riqueza, diversidade e dominância das espécies aquáticas de invertebrados e vertebrados (destaque para peixes, anfíbios e crustáceos de água doce)?	Devido à enorme mortalidade de organismos aquáticos decorrente do rompimento da barragem, é bastante provável que várias espécies de invertebrados e vertebrados aquáticos e semiaquáticos mais sensíveis às alterações ocorridas e/ou que já apresentavam tamanhos populacionais pequenos anteriormente ao rompimento da barragem tenham sido localmente extintas ou tenham sofrido declínios populacionais severos que comprometem a viabilidade populacional destas espécies em face das alterações ainda presentes nos ambientes aquáticos. Portanto, é possível dizer que deve ter havido redução na riqueza e diversidade das espécies aquáticas. Quanto à dominância nas comunidades aquáticas, esta é uma variável que em grande parte está associada à riqueza e demais medidas de diversidade. Sendo assim, é provável que tenha ocorrido aumento na dominância para alguns grupos de invertebrados e vertebrados aquáticos e semiaquáticos.
p) Qual o impacto da alteração da qualidade da água e substrato do rio Doce (e demais corpos d'água afetados) na distribuição de espécies da ictiofauna e herpetofauna ocorrentes nas UCs afetadas (destaque para as espécies raras, ameaçadas, endêmicas e "de piracema")?	Além da mortalidade, o impacto potencial provável de curto prazo causado pelas alterações mais severas na qualidade da água e substrato do Rio Doce e demais corpos d'água afetados foi a movimentação de indivíduos para áreas de córregos tributários ou poças d'água menos afetadas pelos sedimentos e contaminantes dos rejeitos do rompimento. Porém, os impactos de médio e longo prazo sobre a distribuição de espécies são bastante difíceis de serem previstos e dependerão do processo de recuperação da qualidade das águas, dos substratos e dos habitats e recursos associados. Somente com programas de monitoramento da fauna aquática e semiaquática na região, incluindo estudos populacionais e genéticos, estes impactos poderão ser melhor avaliados.

Tabela 11. (Continuação): Perguntas norteadoras apresentadas para estudos que buscam realizar a Avaliação de Impacto Ambiental e respostas àquelas que são pertinentes ao escopo deste relatório.
Fonte: FBDS, 2022

Perguntas	Resposta
q) Considerando que espécies sensíveis são mais afetadas nos casos de alterações drásticas do ambiente, o controle de espécies de peixes exóticas invasoras poderia minimizar o impacto sobre as espécies de peixes nativas?	Provavelmente sim. Porém, é preciso avaliar a eficácia e a relação custo-benefício das ações de controle de espécies exóticas, pois em muitos casos a erradicação das espécies exóticas e seu controle é temporário e demandaria ações frequentes e de alto custo. Nesse sentido, ações como o incentivo à pesca de espécies exóticas aliado à manutenção da proibição da pesca de espécies nativas selecionadas podem produzir efeitos desejáveis deste tipo de medida.
r) Com relação aos aspectos acima elencados, no caso de espécies afetadas, quais aspectos do seu ciclo biológico foram afetados?	No caso da biota aquática, incluindo vertebrados, invertebrados e algas, o efeito combinado da ação física lama de rejeitos com as alterações na qualidade das águas, dos sedimentos e dos substratos, provavelmente todos os aspectos do ciclo de vida (reprodução, crescimento, área de vida, movimentação e uso de habitats) da maior parte das espécies foram afetados nos primeiros meses após o rompimento da barragem e também após os eventos de chuva ou abertura de barragens que causaram ressuspensão dos sedimentos depositados no leito do rio. Uma avaliação dos efeitos atuais e futuros dependerá do processo de restauração da qualidade da água, dos recursos e dos habitats e microhabitats que existiam.
s) Nas áreas de deposição foi observada alteração da comunidade florística ou indícios de intoxicação ou déficit nutricional nas plantas, principalmente nas plântulas e no extrato herbáceo?	As macrófitas foram o grupo de plantas mais afetado pela ação dos rejeitos e contaminantes da Barragem de Fundão. Eventualmente, deve ter ocorrido também contaminação de plantas nas margens inundáveis do Rio Doce. No entanto, no caso das UCs avaliadas no presente estudo nenhuma teve a flora diretamente afetada pela deposição de lama e/ou contaminação.
t) Houve diminuição da visitação, necessidade de alteração de projeto de pesquisa, manejo ou exploração de recursos, ou cancelamento do mesmo na UC?	<i>Esta questão será respondida após consulta aos gestores das UCs.</i>
u) Quais os impactos do rompimento da barragem no número de visitantes?	<i>Esta questão será respondida após consulta aos gestores das UCs.</i>
v) Houve comprometimento da imagem da UC enquanto mantenedora dos serviços ambientais, turísticos e de conservação da biodiversidade?	<i>Esta questão será respondida após consulta aos gestores das UCs.</i>
w) Qual o grau de comprometimento do rio (e de seus afluentes afetados), da região costeira e área marinha como fonte de recursos para as comunidades inseridas nas UCs ou em seu entorno?	Houve a suspensão da pesca no Rio Doce. Atividades recreacionais no Rio Doce foram comprometidas. Populações humanas dentro das ZAs das UCs foram afetadas pelo impedimento temporário de uso da água do Rio Doce e de tributários e poços marginais próximos. <i>Esta resposta será complementada após consulta aos gestores das UCs</i>

Tabela 11. (Continuação): Perguntas norteadoras apresentadas para estudos que buscam realizar a Avaliação de Impacto Ambiental e respostas àquelas que são pertinentes ao escopo deste relatório.

Fonte: FBDS, 2022

Perguntas	Resposta
x) Quais os tipos de pressão sobre as UCs foram intensificadas após o evento?	Considerando que os impactos Bio10 e Bio11, que se referem respectivamente ao aumento do uso de recursos naturais florestais e caça e pesca predatória foram identificados nos diagnósticos do PE Sete Salões e FLONA de Goytacazes, estas podem ser consideradas importantes pressões antrópicas para a biodiversidade destas UCs. Cabe ressaltar que nenhuma delas possui caráter permanente, foram identificadas apenas para estas duas UCs e o impacto considerado de média magnitude (Tabela 9). Neste sentido, o acompanhamento das populações afetadas e apoio às ações de fiscalização nas UCs tendem a contribuir na identificação de estratégias para minimizar tais impactos. <i>Esta resposta será complementada após consulta aos gestores das UCs</i>
y) Quais ações de apoio à comunidade podem diminuir as pressões observadas na UC?	Em relação às medidas levantadas para lidar com os impactos sobre os meios físico e biótico das UCs, as medidas M3 - Capacitação ao cultivo de palmito nativo e M6 - Curso de empreendedorismo e associativismo/cooperativismo vinculado ao uso público da UC (artesanato, gastronomia etc.) merecem especial destaque por atuarem sobre os impactos Bio10 e Bio11 a partir de ações de apoio à comunidade (Quadro 2). Além disso, é importante considerar todas as medidas focadas nos aspectos socioeconômicos que não são alvo deste relatório. <i>Esta resposta será complementada após consulta aos gestores das UCs</i>
z) Com o rompimento da barragem houve forte incremento das invasões humanas na UC?	<i>Esta questão será respondida após consulta aos gestores das UCs.</i>

Referências

- Anderson, M.J. 2001. **A new method for non-parametric multivariate analysis of variance.** *Austral Ecology*, 26, 32–46.
- Biodiversitas. 2007. **Revisão das Listas Vermelhas da Flora e da Fauna Ameaçadas de Extinção de Minas Gerais, vol 3**, Relatório Final. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte, Brasil.
- Brito, M.C.W., Barbosa, F.A.R., May, P., Maroun, C., Renshaw, J., Sánchez, L.E., Kakabadse, Y. 2021. **Abordagens fonte-mar e de paisagem: Integração da qualidade da água e conservação da biodiversidade na restauração da bacia do Rio Doce.** Relatório Temático n.º 3 do Painel do Rio Doce. Gland, Suíça: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.07.pt>
- CNCFlora. 2013. **Livro Vermelho da Flora do Brasil.** Martinelli, G., Moraes, M.A. Org. 1. ed. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1100 p.
- COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. 1997. **Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Flora do Estado de Minas Gerais.** Deliberação COPAM nº 85, de 21 de outubro de 1997.
- COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. 2010. **Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais.** Deliberação Normativa COPAM Nº 147, DE 30 de Abril de 2010.
- COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. 2010. Deliberação Normativa COPAM Nº 228 de 28 de novembro 2008.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil 2015. **Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce - RELATÓRIO 01: Acompanhamento da onda de cheia. Primeira Campanha de Campo.**
- Davila, R.B., Fontes, M.P.F., Pacheco, A.A., & Ferreira, M.S. 2020. **Heavy metals in iron ore tailings and floodplain soils affected by the Samarco dam collapse in Brazil.** *Science of the Total Environment*, 709, 136151.
- Duarte, E.B., Neves, M.A., Oliveira, F.B., Martins, M.E., Oliveira, C.H.R., Burak, D.L., Orlando, M.T.D. & Rangel, C.V.G.T. 2021. **Trace metals in Rio Doce sediments before and after the collapse of the Fundao iron ore tailing dam, Southeastern Brazil.** *Chemosphere*, 262, 127879.
- Ferreira, F.F., Freitas, M.B.D., Szinwelski, N., Vicente, N., Medeiros, L.C.C., Schaefer, C.E.G.R., et al. 2020. **Impacts of the Samarco tailing dam collapse on metals and arsenic concentration in freshwater fish muscle from Doce River, southeastern Brazil.** *Integrated Environmental Assessment and Management*, 16, 622-630.
- FEST & Rede Rio Doce Mar. 2019. **Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente.** RT-24 RRDM/NOV19.
- Fraga, C.N., Formigoni, M.H., Chaves, F.G. 2019. **Fauna e flora ameaçadas de extinção no estado do Espírito Santo. Santa Teresa/ES.** Instituto Nacional da Mata Atlântica, 432 p.

- Fundação Renova, UFMG & UFV. 2018. **Metodologia de Priorização. Definição de critérios de priorização de áreas para recuperação ambiental na Bacia do Rio Doce.** Produto 3.2.
- Fundação Renova 2019. **Programa de monitoramento da ictiofauna do Rio Doce nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo – Atendimento a Notificação IBAMA No. 678311/2015.** Relatório Técnico – RT-ECV-422/18.
- Golder Associates. 2017. **Avaliação dos Resultados de Qualidade de Água e Sedimento do Rio Doce. Relatório Técnico RT-046_159-515-2282_00-B.** Atualização de Julho de 2017.
- Golder Associates. 2020. **Avaliação de remobilização de solos e sedimentos contaminados resultante do rompimento da barragem de Fundão.** Relatório Técnico RT-003_189-515-2181_05-B. Julho 2020.
- Golder Associates. 2021. **Atualização do Volume 10: Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos no Trecho 13 e 14.** Relatório Técnico RT-001_209-535-7807_02. Novembro de 2021.
- Golder Associates. 2022. **Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos no Trecho 16 - Revisão 02.** Relatório Técnico RT-004_199-515-2536_04. Fevereiro de 2022.
- Gomes, L.C., Gomes, A.R.C., Miranda, T.O., Pereira, T.M., Merçon, J., Davel, V.C., et al. 2019. **Genotoxicity effects on Geophagus brasiliensis fish exposed to Doce River water after the environmental disaster in the city of Mariana, MG, Brazil.** Brazilian Journal of Biology, 79(4), 659-664.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2015. **Lauda Técnico Preliminar Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais.** Novembro de 2015.
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2013. **Plano de Manejo da Floresta Nacional de Goytacazes: Volume I, Diagnóstico.** Vitória (ES): RHEA Estudos e Projetos, 223p.
- ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2018. **Boas Práticas na Gestão de Unidades de Conservação.** Edição 03. Brasília: ICMBio, MMA.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2018. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção.** Brasília: ICMBio. 4162 p.
- Instituto Ekos. 2019a. **Diagnóstico de avaliação - Parque Estadual Sete Salões - Medição 8 final.** Identificação e proposição de medidas reparatórias para eventuais impactos decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação – Pacote 2.
- Instituto Ekos. 2019b. **Diagnóstico de avaliação - Reserva Particular do Patrimônio Natural de Sete de Outubro - Medição 8 final.** Identificação e proposição de medidas reparatórias para eventuais impactos decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação – Pacote 2.
- Instituto Ekos. 2019c. **Diagnóstico de avaliação - Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Bulcão - Medição 8 final.** Identificação e proposição de medidas reparatórias para eventuais impactos decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação – Pacote 2.

- Instituto Ekos. 2019d. **Diagnóstico de avaliação - Floresta Nacional de Goytacazes - Medição 8 final**. Identificação e proposição de medidas reparatórias para eventuais impactos decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação – Pacote 2.
- IPÊ - Instituto de Pesquisas Ecológicas. 2014. **Práticas Inovadoras na Gestão de Áreas Protegidas**. Edição 01. Brasília: ICMBio, IPÊ.
- IPÊ - Instituto de Pesquisas Ecológicas. 2019. **Diálogos da Conservação: Boas Práticas na Gestão de Unidades de Conservação**. Nazaré Paulista: IPÊ.IUCN. 2021. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Version 2021-2. <http://www.iucnredlist.org>.
- Junho, R.A.C. 2004. **Migrações ascendentes de peixes neotropicais e hidrelétricas: proteção a jusante de turbinas e vertedouros e sistemas de transposição**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, USP.
- LACTEC. 2019. **Parecer técnico contaminação e comprometimento dos estoques pesqueiros**. PARECER/LACTEC-MA Nº 24/2019.
- Loyola, R., Machado, N., Vila Nova, D., Martins, E., Martinelli, G. 2014. **Áreas prioritárias para conservação e uso sustentável da flora brasileira ameaçada de extinção**. Rio de Janeiro. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico, 80 p.
- Pacheco, A.A. 2015. **Avaliação da contaminação em solos e sedimentos da bacia hidrográfica do Rio Doce por metais pesados e sua relação com o fundo geoquímico natural**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa.
- Passamani, M. & Mendes, S.L. 2007. **Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção no Estado do Espírito Santo**. Vitória/ES. Instituto de Pesquisas da Mata Atlântica.
- Passos, L.S., Gnocchi, K.G., Pereira, T.M., et al. 2020. **Is the Doce River elutriate or its water toxic to *Astyanax lacustris* (Teleostei: Characidae) three years after the Samarco mining dam collapse?** Science of the Total Environment, 736, 139644.
- Rhama e Água Doce 2020. **Estudos dos processos fluviais e de sedimentos a jusante da Barragem de Fundão, no Rio Doce**. Produto 2. Setembro 2020.
- Salgado, J. & Wenders, W. 2015. **O sal da Terra**. Documentário. 1h50m.
- Sánchez, L.E. 2020. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- Santos J.A.D., Ferreira, F.F. & Pinho, F.M. 2017. **Primeiro levantamento de ictiofauna da bacia do rio Doce após o rompimento da barragem de rejeito da Samarco, em Mariana-MG. Relatório**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.
- SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. 2016. **Mortandade de peixes na Bacia do Rio Doce após rompimento da barragem da Samarco no distrito de Bento Rodrigues (Mariana/MG), em 05/11/2015**. Relatório Técnico DEAMB/SEMAD/SISEMA Nº 011/2016. Ref. DO1-DOC-05112015.

- Silva, D.C., Bellato, C.R., Marques Neto, J.O. & Fontes, M.P.F. 2018. **Trace elements in river waters and sediments before and after a mining dam breach (Bento Rodrigues, Brazil)**. Química Nova, 41, 857-866.
- Simonelli, M. & Fraga, C.N. 2007. **Espécies da flora ameaçadas de extinção no estado do Espírito Santo**. Vitória/ES. Ed. Ipema Data.
- Souza, L.M.I. 2009. **Plano de Manejo da RPPN Fazenda Bulcão - Aimorés/MG**. Instituto Terra, Aimorés, Brasil.
- Tecnohidro. 2019. **Relatório de avaliação de risco a saúde humana**. Metodologia Ministério da Saúde. Mariana - MG. MG.AR.ATSDR.1902/306-02.
- Vaneli, B.P., Araújo, E.M.S., Oliveira, D.B-H., Spagnol, I.T. & Teixeira, E.C. 2022. **Conceptual model to analyze the effects caused by technological disaster on the physical-chemical state of the lower Doce River waters, Brazil**. Science of the Total Environment, 809, 152168.
- Vieira, F. 2009. **Distribuição, impactos ambientais e conservação da fauna de peixes da bacia do rio Doce**. MGBiota, 2: 5-22.
- UFV, UFMG. 2019. **Escalonamento das áreas para recuperação ambiental: Cronograma anual e detalhamento da proposta técnica de escalonamento da recuperação ambiental da Bacia do Rio Doce**. Produto 4.0. Viçosa, Belo Horizonte.

Anexos

Anexo 1

Cálculo das medidas de significância dos impactos observados para o meio físico e biótico

Abaixo são apresentadas as tabelas que apresentam os valores atribuídos a cada um dos componentes que formam a magnitude dos impactos, a importância dos componentes e a significância final dos mesmos. A descrição detalhada da metodologia utilizada para a atribuição de cada um destes valores está presente no documento "Metodologia de Integração da Avaliação de Impacto Ambiental das Unidades de Conservação da bacia do Rio Doce e região costeira-marinha".

Tabela 1. Determinação da magnitude dos impactos no meio físico identificados para as unidades de conservação do Grupo 4. **Fonte:** FBDS, 2022.

Identificação		Níveis dos atributos da magnitude dos impactos			Cálculo da magnitude	Magnitude
Nº	Impacto	Severidade (S)	Extensão (E)	Duração (D)	S + E + D	
Fis1	Degradação da qualidade da água	4	4	3	11	Alta
Fis2	Assoreamento de corpos hídricos	1	2	4	7	Média
Fis3	Contaminação do leito do rio	4	2	4	10	Alta
Fis4	Degradação da qualidade do sedimento	1	2	4	7	Média
Fis5	Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água	1	2	4	7	Média
Fis6	Soterramento de planícies fluviais	1	2	4	7	Média
Fis7	Contaminação de planícies fluviais	1	2	2	5	Baixa
Fis8	Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce	3	4	3	10	Alta

Tabela 2. Determinação e justificativa dos níveis de importância dos componentes afetados pelos impactos no meio físico identificados. **Fonte:** FBDS, 2022.

Identificação		Componentes afetados	Importância	
Nº	Impacto		Nível	Justificativa
Fis1	Degradação da qualidade da água	Água superficial	Alta	Habitat de ampla diversidade de organismos aquáticos. Água é usada de diversas formas por populações humanas, incluindo recreacionais.
Fis8	Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce			
Fis2	Assoreamento de corpos hídricos	Sedimento/ Leito do rio	Alta	Habitat de ampla diversidade de organismos bentônicos. Possui relação direta com propriedades da água, incluindo ressuspensão durante cheias, e com dinâmica interna do leito do rio.
Fis3	Contaminação do leito do rio			
Fis4	Degradação da qualidade do sedimento			
Fis5	Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água			
Fis6	Soterramento de planícies fluviais	Planície fluvial	Média	Recebe sedimentos e material dissolvido durante cheias. Local importante para reter sedimentos e contaminantes de partes altas da bacia hidrográfica. Intenso uso recreacional (ex. balneários).
Fis7	Contaminação de planícies fluviais			

Tabela 3. Determinação da significância dos impactos no meio físico identificados de acordo com a magnitude dos impactos e a importância do componente afetado. **Fonte:** FBDS, 2022.

Identificação		Magnitude (M)	Importância (I)	Significância	
Nº	Impacto			(M x I)	Interpretação
Fis1	Degradação da qualidade da água	3	3	9	Muito Alta
Fis2	Assoreamento de corpos hídricos	2	3	6	Alta
Fis3	Contaminação do leito do rio	3	3	9	Muito Alta
Fis4	Degradação da qualidade do sedimento	2	3	6	Alta
Fis5	Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água	2	3	6	Alta
Fis6	Soterramento de planícies fluviais	2	2	4	Média
Fis7	Contaminação de planícies fluviais	1	2	2	Baixa
Fis8	Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce	3	3	9	Muito Alta

Tabela 4. Determinação da magnitude dos impactos no meio biótico identificados para as unidades de conservação do Grupo 3. **Fonte:** FBDS, 2022.

Identificação		Níveis dos atributos da magnitude dos impactos			Magnitude	
Nº	Impacto	Severidade (S)	Extensão (E)	Duração (D)	S + E + D	Interpretação
Bio1	Mortandade direta e/ou indireta	4	2	3	9	Média
Bio2	Contaminação da biota	3	3	3	9	Média
Bio4	Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares	1	4	3	8	Média
Bio7	Perda e/ou degradação de habitats	3	2	3	8	Média
Bio8	Redução da originalidade biótica	4	2	4	10	Alta
Bio9	Redução da biodiversidade local	1	2	4	7	Média
Bio10	Aumento de pressão antrópica sobre recursos naturais florestais	3	2	3	8	Média
Bio11	Aumento da caça/pesca predatória	3	1	3	7	Média

Tabela 5. Determinação e justificativa dos níveis de importância dos componentes afetados pelos impactos no meio biótico identificados. **Fonte:** FBDS, 2022.

Identificação		Componentes afetados	Importância	
Nº	Impacto		Nível	Justificativa
Bio1	Mortandade direta e/ou indireta	Biota aquática e semiaquática: peixes, anfíbios, aves, mamíferos e crocodilianos, macrófitas. Biota terrestres: plantas e líquens.	Alta	O componente afetado inclui boa parte da biota aquática e semiaquática, inclusive espécies ameaçadas (<i>Awaous tajasica</i> , <i>Genidens genidens</i> , <i>Rachoviscus graciliceps</i> , <i>Xenurolebias izecksohni</i>), diversas espécies endêmicas de peixes (ex. o surubim-do-doce <i>Standachneridon doceanum</i>) e de anfíbios, e pelo menos 30 espécies de peixes importantes para a pesca.
Bio2	Contaminação da biota	Biota aquática e semiaquática: peixes, anfíbios, aves, mamíferos e crocodilianos, macrófitas. Biota terrestre que tem organismos aquáticos como um recurso trófico de suas cadeias alimentares	Alta	O componente afetado inclui espécies aquáticas e semiaquáticas e parte da biota terrestre que tem organismos aquáticos como um recurso trófico de suas cadeias alimentares. Portanto, além de incluir as espécies aquáticas ameaçadas, endêmicas e de importância econômica, o componente ameaçado potencialmente inclui espécies terrestres ameaçadas e/ou endêmicas.
Bio4	Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares	Biota aquática e semiaquática: peixes, anfíbios, aves e crocodilianos.	Alta	O componente afetado inclui boa parte da biota aquática e semiaquática, inclusive espécies ameaçadas (<i>Awaous tajasica</i> , <i>Genidens genidens</i> , <i>Rachoviscus graciliceps</i> , <i>Xenurolebias izecksohni</i>), diversas espécies endêmicas de peixes (ex. o surubim-do-doce <i>Standachneridon doceanum</i>) e de anfíbios, e pelo menos 30 espécies de peixes importantes para a pesca.
Bio7	Perda e/ou degradação de habitats			
Bio8	Redução da originalidade biótica	Biota aquática e semiaquática: peixes.	Alta	O componente afetado inclui espécies ameaçadas (<i>Awaous tajasica</i> , <i>Genidens genidens</i> , <i>Rachoviscus graciliceps</i> , <i>Xenurolebias izecksohni</i>), espécies endêmicas (ex. o surubim-do-doce <i>Standachneridon doceanum</i>), e pelo menos 30 espécies importantes para a pesca.
Bio9	Redução da biodiversidade local			
Bio10	Aumento de pressão antrópica sobre recursos naturais florestais	Palmito-juçara (<i>Euterpe edulis</i>)	Média	<i>Euterpe edulis</i> é uma espécie de palmeira que sofre grande pressão antrópica devido à extração do palmito, sendo classificada como vulnerável tanto na lista de nacional quanto na lista estadual (ES) de espécies ameaçadas.
Bio11	Aumento da caça/pesca predatória	Biota terrestre: aves e mamíferos	Alta	O componente afetado inclui, potencialmente, espécies de aves e/ou mamíferos classificadas nas três categorias de ameaça (CR, EN, VU) nas escalas global, nacional e estadual.

Tabela 6. Determinação da significância dos impactos no meio físico identificados de acordo com a magnitude dos impactos e a importância do componente afetado. **Fonte:** FBDS, 2022.

Identificação		Magnitude (M)	Importância (I)	Significância	
Nº	Impacto			(M × I)	Interpretação
Bio1	Mortandade direta e/ou indireta	2	3	6	Alta
Bio2	Contaminação da biota	2	3	6	Alta
Bio4	Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares	2	3	6	Alta
Bio7	Perda e/ou degradação de habitats	2	3	6	Alta
Bio8	Redução da originalidade biótica	3	3	9	Muito Alta
Bio9	Redução da biodiversidade local	2	3	6	Alta
Bio10	Aumento de pressão antrópica sobre recursos naturais florestais	2	2	4	Média
Bio11	Aumento da caça/pesca predatória	2	3	6	Alta

Anexo 2

Detalhamento da análise de ordenação das variáveis aquáticas e do sedimento do Rio Doce

Foram feitas análises de ordenação com o método Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) dos dados de variáveis da água e química e granulometria do sedimento do Rio Doce. A análise apresentada no texto do relatório incluiu dados do Instituto de Gestão das Águas (IGAM), estações RD059 e RD067, em Resplendor (MG; RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões) e Baixo Guandú (ES; RPPN Fazenda Bulcão), respectivamente. A vantagem de se usar apenas os dados do IGAM é a minimização de vieses metodológicos. Entretanto, isto não foi possível para Linhares (ES; FLONA de Goytacazes) tendo em vista que o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) não possui dados pós-rompimento. Portanto, a análise apresentada para Linhares no relatório inclui dados do IEMA, do monitoramento compilado e usado por Golder Associates (Golder Associates 2017) e do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS). A metodologia das análises dos dados do IGAM para Resplendor e Baixo Guandú e com dados do IEMA+Golder+PMQQS para Linhares é apresentada abaixo e os resultados no corpo do relatório.

Para Resplendor e Baixo Guandú a análise com dados do IGAM foi repetida após exclusão de amostras discrepantes. Ainda para estas duas cidades, foram feitas análises agregando-se dados IGAM, Golder Associates e PMQQS. Detalhes da metodologia e os resultados destas análises são apresentados abaixo.

As análises de sedimentos (química e granulométrica) foram feitas com dados de Golder Associates (2017) e PMQQS (IGAM e IEMA não possuem dados de sedimentos). Uma análise adicional de química de sedimentos foi feita com dados pré-rompimento de Pacheco (2015; dados disponibilizados em Golder Associates 2021, 2022). As metodologias das análises são apresentadas abaixo. Os resultados são apresentados no corpo do relatório.

Gerenciamento dos dados

Os limites de detecção de algumas variáveis mudaram com o passar do tempo, refletindo, geralmente, técnicas mais refinadas de determinação. Inicialmente, tentou-se padronizar estes valores, anotados como abaixo do limite de detecção, para o maior valor de detecção disponível. Entretanto, tal procedimento fez com que amostras de épocas com nível mais refinado (menor limite de detecção) tivessem seus valores aumentados. Portanto, optou-se por designar zero a valores abaixo de qualquer limite de detecção da variável.

Os dados foram então inspecionados para amostras repetidas ou amostras obtidas em diferentes horas do mesmo dia dentro de cada estação de coleta e fonte. Estas foram conciliadas da seguinte forma. Nos casos em que uma variável estava presente em apenas uma amostra do par/grupo, esta foi usada na conciliação. Nos casos em que o par/grupo possuía mais de um valor, a média foi obtida e usada na conciliação.

Amostras com valores para poucas variáveis foram excluídas. Amostras com poucas variáveis não permitem uma boa estimativa de dissimilaridade com as demais amostras no conjunto de dados. Neste sentido, poderíamos pensar em remover mais amostras tendo em vista que muitas outras tinham cerca de 40 variáveis (ver abaixo). Entretanto, excluiríamos por exemplo muitas amostras de Linhares ao ponto de comprometer a análise como um todo. Em geral, menos de 10% das amostras de um conjunto de dados foram excluídas.

Metodologia das análises no relatório: Água

Conjuntos de dados

Resplendor (IGAM: RD059): O conjunto original incluía 153 amostras e 64 variáveis. Destas variáveis, 14 foram descartadas, pois possuíam poucos registros ou nenhum registro antes do rompimento da Barragem de Fundão. Outras 4 eram bastante redundantes com outras e foram removidas (Alcalinidade de bicarbonato, Dureza de cálcio, Dureza de magnésio e Sólidos suspensos). Finalmente, 4 não possuíam qualquer relação com o rompimento e foram removidas (Temperatura da água e do ar, Precipitação e Descarga líquida). Retivemos 153 amostras e 42 variáveis. Noventa e duas amostras foram obtidas antes e 61 após a chegada de rejeitos em Resplendor (MG). Variáveis utilizadas:

Alcalinidade total, Alumínio dissolvido, Arsênio total, Bário total, Cádmio total, Cálcio total, Chumbo total, Cianeto livre, Cloreto total, Clorofila, Cobre dissolvido, Coliformes totais, Condutividade elétrica, Cor, Cromo total, Densidade de cianobactérias, Demanda química de oxigênio, Dureza total, Escherichia coli, Fenóis totais, Feofitina, Ferro dissolvido, Fósforo total, Magnésio total, Manganês total, Mercúrio total, Níquel total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal, Nitrogênio orgânico, Oxigênio dissolvido, pH, Potássio dissolvido, Sódio dissolvido, Sólidos dissolvidos, Sólidos totais, Substâncias tensoativas, Sulfato, Sulfeto, Turbidez e Zinco total.

Baixo Guandú (IGAM: RD067): O conjunto original incluía 151 amostras e 64 variáveis. Destas variáveis, 14 foram descartadas pois possuíam poucos registros ou nenhum registro antes do rompimento da Barragem de Fundão. Outras 4 eram bastante redundantes com outras e foram removidas (Alcalinidade de bicarbonato, Dureza de cálcio, Dureza de magnésio e Sólidos suspensos). Outras 4 não possuíam qualquer relação com o rompimento e foram removidas (Temperatura da água e do ar, Precipitação e Descarga líquida). Finalmente, uma variável não apresentou variação (Mercúrio total, todos valores abaixo do nível de quantificação). Retivemos 151 amostras e 41 variáveis. Noventa amostras foram obtidas antes e 61 após a chegada de rejeitos em Baixo Guandú (ES). As variáveis utilizadas são as mesmas listadas acima para Resplendor com exceção de Mercúrio total, que não mostrou variação e foi descartada.

Linhares (IEMA: RDC1D025 [-56998300]; Golder Associates[2017]: Linhares ES Ponte; PMQQS: RDO15): Tendo em vista o objetivo de comparar amostras obtidas antes e após o rompimento da Barragem de Fundão, selecionamos dos conjuntos de dados de Golder Associates e PMQQS apenas variáveis presentes no conjunto IEMA. Este conjunto inicial incluía 121 amostras e 17 variáveis. Destas variáveis, uma variável foi descartada pois não possuía registros após o rompimento da Barragem de Fundão. Outras 2 não possuíam qualquer relação com o rompimento e foram removidas (Temperatura da água e do ar). Retivemos 121 amostras e 14 variáveis. Dezenove amostras foram obtidas antes e 102 após a chegada de rejeitos em Linhares (ES). Variáveis utilizadas:

Coliformes termotolerantes, Demanda bioquímica de oxigênio, Ferro total, Fosfato, Fósforo total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal, Nitrogênio orgânico, Nitrogênio total Kjeldahl, Oxigênio dissolvido, pH, Sólidos totais e Turbidez.

Análise NMDS

O próximo passo foi obter dissimilaridades para cada par de amostras dentro de cada conjunto de dados. Um problema visto nos dados é a grande quantidade de valores não quantificados. Ainda, as variáveis estão em diferentes unidades de medida. Para contornar este problema, optou-se pelo índice de dissimilaridade de Gower que desconsidera valores ausentes e padroniza as variáveis de modo que cada uma tenha o mesmo peso, independente de sua amplitude de variação.

Finalmente, as amostras foram ordenadas, a partir da matriz de dissimilaridade de Gower, com Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) com dois eixos. Para facilitar a interpretação, as amostras foram identificadas com cores distintas: cinza para antes do rompimento, vermelho para após o rompimento até 01/07/2018 e laranja para as amostras mais recentes. Setas indicando variáveis mais correlacionadas com os eixos de ordenação foram adicionadas para auxiliar a interpretação.

Análise adicional 1:

Re-análise dos dados do IGAM para Resplendor e Baixo Guandú sem amostras discrepantes

As ordenações com dados do IGAM para Resplendor e Baixo Guandú, que são mostradas no relatório, revelaram que amostras nos dias 08/12/2015 (Resplendor) e 21/01/2016 (Resplendor e Baixo Guandú) foram muito discrepantes das demais. Isto fez com que as demais amostras ficassem muito agrupadas. Retiramos estas amostras dos dois conjuntos de dados e refizemos as análises da mesma forma descrita acima.

As ordenações foram bastante concordantes com aquelas mostradas no relatório. Amostras nos verões pós-rompimento tenderam a se diferenciar das demais e foram associadas a grandes quantidades de sólidos totais (Fig. 1). A análise no relatório mostrava tendência de amostras pós-rompimento serem agregadas em parte da área de ordenação ocupada por amostras pré-rompimento. Isto fica mais claro na análise sem amostras discrepantes. Em Resplendor, amostras pós-rompimento tenderam claramente a serem ordenadas em valores maiores do eixo 2 (Fig. 1A).

Em Baixo Guandú, a separação se deu tanto no eixo 1, com amostras pós-rompimento à esquerda, quanto no eixo 2, com amostras pós-rompimento acima (Fig. 1B). Estes resultados indicam que amostras obtidas nos últimos anos (marcadas em laranja na Fig. 1) ainda são relativamente distintas daquelas pré-rompimento.

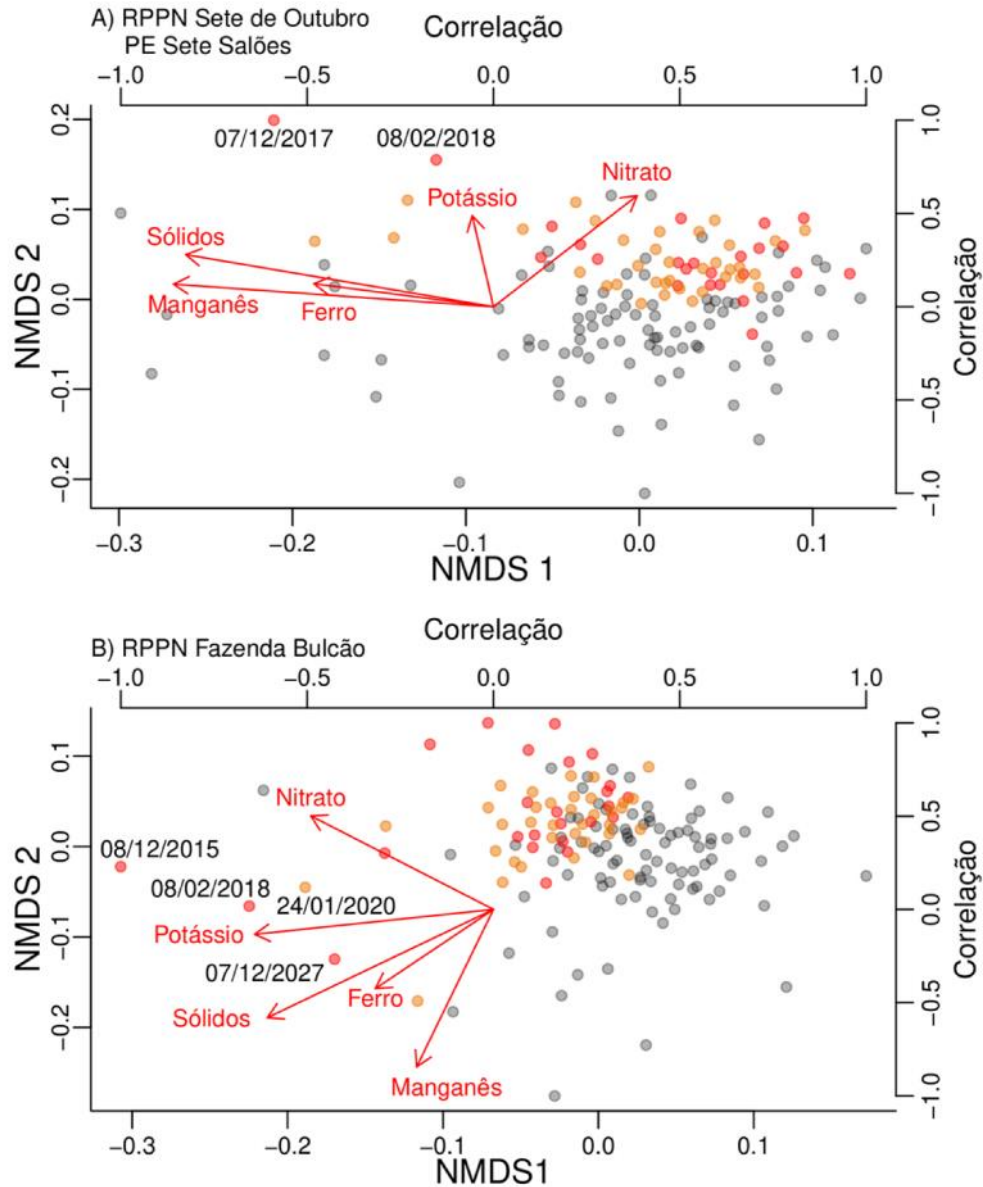


Figura 1. Ordenação das amostras de água do Rio Doce obtidas em A) Resplendor (RPPN Sete de Outubro & PE Sete Salões), B) Baixo Guandú (RPPN Fazenda Bulcão) em relação a variáveis físicas, químicas e microbiológicas. Pontos em cinza indicam amostras obtidas antes do rompimento. Amostras em vermelho e laranja representam, respectivamente, amostras pós-rompimento obtidas antes e após 01/07/2018. Amostras próximas indicam maior similaridade nos valores das variáveis aquáticas. Setas indicam correlação de algumas variáveis associadas com os eixos de ordenação. As escalas de correlação estão representadas nos eixos superior e a direita. Setas longas indicam forte correlação. Amostras no sentido da cabeça da seta tendem a possuir maiores valores daquela variável, enquanto aquelas em sentido contrário tendem a apresentar valores baixos. Amostras discrepantes obtidas após o rompimento são identificadas com suas datas. Análises feitas com dados do IGAM sem amostras muito discrepantes (08/12/2015 [Resplendor] e 21/01/2016 [Resplendor e Baixo Guandú]). **Fonte:** FBDS, 2022.

Análise adicional 2:

Análises para Resplendor e Baixo Guandú com dados do IGAM + Golder Associates(2017) + PMQQS

Conjuntos de dados

Resplendor (IGAM: RD059; Golder Associates[2017]: Resplendor MG; PMQQS: RDO10): Tendo em vista o objetivo de comparar amostras obtidas antes e após o rompimento da Barragem de Fundão, selecionamos dos conjuntos de dados de Golder Associates e PMQQS apenas variáveis presentes no conjunto do IGAM. Este conjunto inicial incluía 237 amostras e 64 variáveis. Destas variáveis, 5 foram descartadas pois possuíam poucos registros ou nenhum registro antes do rompimento da Barragem de Fundão. Outras 5 eram bastante redundantes com outras e foram removidas (Alcalinidade de bicarbonato, Dureza de cálcio, Dureza de magnésio, Sólidos suspensos e Ph obtido em laboratório). Finalmente, 4 não possuíam qualquer relação com o rompimento e foram removidas (Temperatura da água e do ar, Precipitação e Descarga líquida). Retivemos 237 amostras e 50 variáveis. Noventa e duas amostras foram obtidas antes e 145 após a chegada de rejeitos em Resplendor (MG). Variáveis utilizadas:

Alcalinidade total, Alumínio dissolvido, Alumínio total, Arsênio total, Bário total, Boro dissolvido, Boro total, Cádmi total, Cálcio total, Chumbo total, Cianeto livre, Cloreto total, Clorofila, Cobre dissolvido, Cobre total, Coliformes termotolerantes, Coliformes totais, Condutividade elétrica, Cor, Cromo total, Demanda bioquímica de oxigênio, Demanda química de oxigênio, Densidade de cianobactérias, Dureza total, *Escherichia coli*, Estreptococos fecais, Fenóis totais, Feofitina, Ferro dissolvido, Fósforo total, Magnésio total, Manganês total, Mercúrio total, Níquel total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal, Nitrogênio orgânico, Oxigênio dissolvido, pH, Potássio dissolvido, Selênio total, Sódio dissolvido, Sólidos dissolvidos, Sólidos totais, Substâncias tensoativas, Sulfato, Sulfeto, Turbidez e Zinco total.

Baixo Guandú (IGAM: RD067; Golder Associates[2017]: BaixoGuandu ES Ponte; PMQQS: RDO11): Apenas variáveis presentes no conjunto do IGAM foram selecionadas. O conjunto original incluía 265 amostras e 64 variáveis. Destas variáveis, 3 foram descartadas pois possuíam poucos registros ou nenhum registro antes do rompimento da Barragem de Fundão. Outras 6 eram bastante redundantes com outras e foram removidas (Alcalinidade de bicarbonato, Dureza de cálcio, Dureza de magnésio, Sólidos suspensos, ph e condutividade obtidos em laboratório). Uma variável teve todos valores abaixo do nível de quantificação e foi descartada (Mercúrio total). Finalmente, 4 não possuíam qualquer relação com o rompimento e foram removidas (Temperatura da água e do ar, Precipitação e Descarga líquida). Retivemos 265 amostras e 50 variáveis. Noventa e uma amostras foram obtidas antes e 174 após a chegada de rejeitos em Baixo Guandú (MG). Variáveis utilizadas:

Alcalinidade total, Alumínio dissolvido, Alumínio total, Arsênio total, Bário total, Boro dissolvido, Boro total, Cádmi total, Cálcio total, Chumbo total, Cianeto livre, Cloreto total, Clorofila, Cobre dissolvido, Cobre total, Coliformes termotolerantes, Coliformes totais, Condutividade elétrica, Cor, Cromo total, Demanda bioquímica de oxigênio, Demanda química de oxigênio, Densidade de cianobactérias, Dureza total, *Escherichia coli*, Estreptococos fecais, Fenóis totais, Feofitina, Ferro dissolvido, Fósforo total, Magnésio total, Manganês total, Níquel total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal, Nitrogênio orgânico, Óleos e graxas, Oxigênio dissolvido, pH, Potássio dissolvido, Selênio total, Sódio dissolvido, Sólidos dissolvidos, Sólidos totais, Substâncias tensoativas, Sulfato, Sulfeto, Turbidez e Zinco total.

Análises

Foram obtidas dissimilaridades para cada par de amostras dentro de cada conjunto de dados. Um problema visto nos dados é a grande quantidade de valores não quantificados. Ainda, as variáveis estão em diferentes unidades de medida. Para contornar este problema, optou-se pelo índice de dissimilaridade de Gower que desconsidera valores ausentes e padroniza as variáveis de modo que cada uma tenha o mesmo peso, independente de sua amplitude.

Finalmente, foi feita uma análise de ordenação do tipo Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS), com dois eixos, da matriz de dissimilaridade de Gower. Para facilitar a interpretação, as amostras foram identificadas com cores distintas: cinza para antes do rompimento, vermelho para após o rompimento até 01/07/2018 e laranja para as amostras mais recentes. Cada um destes grupos de amostras foi circundado por polígono convexo (convex hull) de modo a facilitar a visualização da amplitude de variação das amostras nos dois eixos de ordenação.

Resultados

A ordenação das amostras obtidas nos 2,5 anos após a chegada dos rejeitos da Barragem de Fundão em Resplendor e Baixo Guandú (entre 10/11/2015 e 01/07/2018, em vermelho na Fig. 2) usando amostras das três fontes disponíveis (IGAM, Golder Associates e PMQQS) mostrou forte discrepância (dissimilaridade) em relação àquelas obtidas antes do rompimento (em cinza na Fig. 2). A maioria destas amostras discrepantes foram obtidas imediatamente após a chegada dos rejeitos (entre novembro de 2015 e janeiro de 2016). As amostras deste período logo após o rompimento da Barragem de Fundão ficaram bastante dispersas por todo diagrama de ordenação. As amostras obtidas antes e aquelas obtidas recentemente (em laranja) ficaram em área contida na área das amostras obtidas nos 2,5 anos após o rompimento da Barragem de Fundão. A área ocupada por amostras obtidas recentemente (após 01/07/2018, polígonos laranja na Fig. 2) se sobrepõe àquela antes da chegada de rejeitos nas duas cidades (polígonos em cinza na Fig. 2). Entretanto, pode-se notar que amostras obtidas recentemente (laranja) tendem a ocupar áreas menores quando comparadas àquelas obtidas antes (em cinza, Fig. 2). Esta diferenciação parcial do posicionamento dos grupos de amostras indica que os efeitos dos impactos causados pelos rejeitos da Barragem de Fundão na qualidade da água do Rio Doce ainda estão se manifestando, embora em intensidade bem menor.

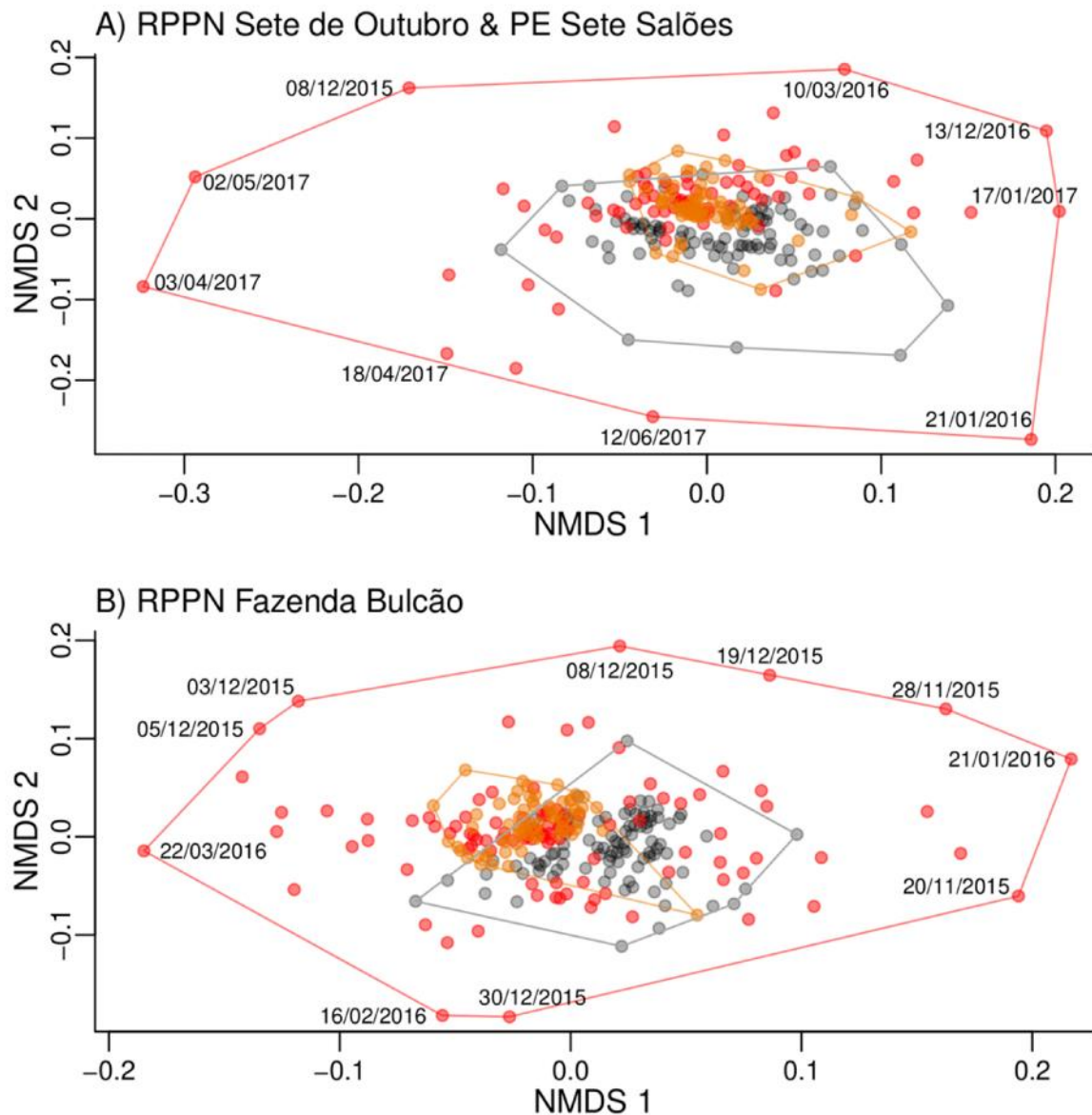


Figura 2. Ordenação por Escalonamento Não-Métrico Multidimensional (NMDS) em dois eixos usando dissimilaridade de Gower para amostras descritas por variáveis de água do Rio Doce nos trechos de A) Resplendor (RPPN Sete de Outubro e PE Sete Salões) e B) Baixo Guandú (RPPN Fazenda Bulcão). Os dados foram obtidos do Instituto de Gestão das Águas (IGAM), Golder Associates(2017) e Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS). Amostras em cinza indicam aquelas obtidas antes da chegada de rejeitos (10 de novembro de 2015). Amostras em vermelho indicam aquelas obtidas após o rompimento e antes de 01/07/2018. Amostras em laranja indicam aquelas obtidas após 01/07/2018. Cada polígono delimita a menor área ocupada por cada conjunto de amostras. Amostras discrepantes estão marcadas com data de ocorrência. **Fonte:** FBDS, 2022.

Metodologia das análises no relatório: Sedimento

Dados Golder Associates(2017) + PMQQS. Tendo em vista a ausência de dados sistematizados sobre sedimentos anteriores ao rompimento da Barragem de Fundão, optou-se por selecionar variáveis com pelo menos 4 anos de amostragem. Isto permitiu comparar amostras obtidas imediatamente após o rompimento (verão 2015/2016) com aquelas obtidas recentemente. Os dados de química do sedimento e granulometria foram analisados separadamente. O conjunto de dados químicos do sedimento obtidas por pelo menos 4 anos incluiu 17, 73 e 68 amostras em Resplendor, Baixo Guandú e Linhares, respectivamente.

O conjunto de Resplendor continha 12 variáveis químicas, mas mercúrio não apresentou variação e foi excluída. As variáveis utilizadas na análise química do sedimento de Resplendor foram:

Arsênio, Cádmio, COT, Chumbo, Cobre, Ferro, Manganês, Níquel, Nitrogênio total Kjeldahl, ph, e Zinco.

Os conjuntos de Baixo Guandú e Linhares continham 17 variáveis químicas, mas selênio não apresentou variação nos dois conjuntos e foi removida de ambos. As variáveis usadas em Baixo Guandú e Linhares foram:

Alumínio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmio, COT, Chumbo, Cobre, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel, Nitrogênio total Kjeldahl, ph, Potencial redox e Zinco.

Os conjuntos de variáveis granulométricas incluíram 17, 58 e 54 amostras, respectivamente em Resplendor, Baixo Guandú e Linhares, e 7 frações de sedimento:

Argila, Silte, Areia muito fina, Areia fina, Areia média, Areia grossa e Areia muito grossa.

O próximo passo foi obter dissimilaridades para cada par de amostras nos dois grupos de conjuntos de dados (química de sedimento e granulometria). Um problema visto nos dados é a grande variabilidade no número de variáveis químicas analisadas em cada amostra. Ainda, as variáveis estão em diferentes unidades de medida. Para contornar este problema, optou-se pelo índice de dissimilaridade de Gower que desconsidera valores ausentes e padroniza as variáveis de modo que cada uma tenha o mesmo peso, independente de sua amplitude de variação. Os dados de granulometria não apresentam estes problemas e foram analisados com distância Euclidiana.

Finalmente, as amostras foram ordenadas, a partir das matrizes de dissimilaridade de Gower (químicos) e distância Euclidiana (granulometria), com Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) com dois eixos. Para facilitar a interpretação, as amostras foram identificadas com cores distintas: vermelho para após o rompimento até 01/07/2018 e laranja para as amostras mais recentes. Setas indicando variáveis correlacionadas com os eixos de ordenação foram adicionadas na ordenação de granulometria para auxiliar a interpretação.

Dados Golder Associates(2017) + PMQQS + Pacheco (2015)

Fizemos análise de química do sedimento adicional em que foram incluídos os dados pré-rompimento de Pacheco (2015; dados disponibilizados em Golder Associates 2021, 2022). A metodologia foi a mesma descrita para análise feita apenas com Golder Associates(2017) e PMQQS. As amostras de Pacheco estão em cinza na ordenação. Foram usadas variáveis presentes em Golder Associates(2017), PMQQS e Pacheco (2015):

Resplendor: Arsênio, Chumbo, Cobre, Ferro, Níquel e Zinco.

Baixo Guandú: Alumínio, Arsênio, Bário, Chumbo, Cobre, Ferro, Mercúrio, Níquel e Zinco.

Linhares: Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Ferro, Manganês, Níquel e Zinco.
