

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região
Marinha e Costeira Adjacente**

RELATÓRIO ANUAL:

**Integração dos principais impactos identificados nas
Unidades de Conservação**

RT-32 RRDM/NOV19

Coordenação Geral

Adalto Bianchini

Alex Cardoso Bastos

Edmilson Costa Teixeira

Eustáquio Vinícius de Castro

Jorge Abdala Dergam dos Santos

Vitória,

Novembro de 2019

COORDENAÇÕES

Anexo 1

Adalto Bianchini (FURG)

Anexo 3

Edmilson Costa Teixeira (UFES)

Fabian Sá (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

Subprojetos

Alessandra Delazari Barroso (FAESA)

Alex Cardoso Bastos (UFES)

Ana Cristina Teixeira Bonecker (UFRJ)

Anderson Geyson Alves de Araújo (UFES)

Björn Gücker (UFSJ)

Camilo Dias Júnior (UFES)

Daniel Rigo (UFES)

Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna (UFOP)

Gilberto Amado Filho (IPJB) *in memoriam*

Gilberto Fonseca Barroso (UFES)

Iola Gonçalves Boechat (UFSJ)

Leila Lourdes Longo (UFRB)

Leonardo Tavares Salgado (IPJB)

Luís Fernando Loureiro (UFES)

Marco Aurélio Caiado (UFES)

Renato David Ghisolfi (UFES)

Renato Rodrigues Neto (UFES)

Rodrigo Leão de Moura (UFRJ)

Valéria da Silva Quaresma (UFES)

Valéria de Oliveira Fernandes (UFES)

Vanya Marcia Duarte Pasa (UFMG)

Anexo 4

Jacqueline Albino (UFES)

Subprojetos

Karla Costa (UFES)

Maria Tereza Carneiro (UFES)

Anexo 5

Diolina Moura Silva (UFES)

Mônica Tognella (UFES)

Anexo 6

Agnaldo Silva Martins (UFES)

Subprojetos

Ana Paula Cazerta Farro (UFES)

Leandro Bugoni (FURG)

Sarah Vargas (UFES)

Anexo 7

Maurício Hostim (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

Subprojetos

Carlos W. Hackradt (UFESB)

Fabiana Felix Hackradt (UFESB)

Jean-Christophe Joyeux (UFES)

Luis Fernando Duboc (UFV)

Anexo 8

Heitor Evangelista (UERJ)

Coordenação Técnica (CTEC)

Alex Cardoso Bastos

Lara Gabriela Magioni Santos

Laura Silveira Vieira Salles

Tarcila Franco Menandro

Coordenação Escritório de Projetos

Eustáquio Vinicius Ribeiro de Castro

Patrícia Bourguignon Soares

Paulo Roberto Filgueiras

Valdemar Lacerda Junior

Walter Luiz Alda Junior

Coordenação Núcleo de Atuação Integrada em Rede (NAIR)

Edmilson Costa Teixeira

Karla Libardi Gallina

Andressa Christiane Pereira

Anna Paula Lage Ribeiro

Caroline De Marchi Pignaton

Paulo Eduardo Marques

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
2	UNIDADES DE CONSERVAÇÃO	4
2.1	ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE SETIBA.....	4
2.2	REFÚGIO DE VIDA SILVESTRE SANTA CRUZ E ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL COSTA DAS ALGAS.....	6
2.3	RESERVA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL MUNICIPAL PIRAQUÊ-AÇU E PIRAQUÊ-MIRIM	10
2.4	RESERVA BIOLÓGICA DE COMBOIOS E RESERVA INDÍGENA DE COMBOIOS	10
2.5	ÁREA DE RELEVANTE INTERESSE ECOLÓGICO DO DEGREDO	12
2.6	ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL CONCEIÇÃO DA BARRA.....	14
2.7	PARQUE NACIONAL MARINHO DE ABROLHOS, ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL PONTA DA BALEIA/ABROLHOS E RESERVA EXTRATIVISTA DE CASSURUBÁ.....	15

INTEGRAÇÃO NAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Afim de atender a solicitação feita pela Câmara Técnica de Biodiversidade (CTBio), este documento tem o objetivo de agrupar os principais impactos observados nas Unidades de Conservação (UC's) localizadas na costa do Espírito Santo e região marinha adjacente que apresentam pontos de monitoramento dentro da malha amostral do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), ou bem próximo a seu limite, e cujos resultados do PMBA identificaram impactos importantes.

A UC's abordadas aqui são:

Área de Proteção Ambiental de Setiba; Refúgio de Vida Silvestre Santa Cruz e Área de Proteção Ambiental Costa das Algas; Reserva de Desenvolvimento Sustentável Municipal Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim; Reserva Biológica de Comboios e Reserva Indígena de Comboios; Área de Relevante Interesse Ecológico do Degredo; Área de Proteção Ambiental Conceição da Barra; Parque Nacional Marinho de Abrolhos, Área de Proteção Ambiental Ponta da Baleia/Abrolhos e Reserva Extrativista de Cassurubá.

2 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

2.1 ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE SETIBA

Em relação à legislação vigente, foi observado ao longo do período de desenvolvimento do PMBA, concentrações de Cobre (Cu) e Ferro (Fe) dissolvido na água acima do limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005. Observou-se que as concentrações de Cobalto (Co), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Mercúrio (Hg) apresentaram, na fração dissolvida, valores acima dos níveis para efeitos crônicos à biota, seguindo a referência de níveis agudos e crônicos estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental Norte-americana (*Environmental Protection Agency - EPA*) para águas marinhas. Ao passo que os sedimentos, apresentaram níveis de Cobre (Cu) e Níquel (Ni) acima dos valores que possivelmente podem causar efeitos deletérios aos organismos (valores estipulados pela NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Agency*). Contudo, não é possível categorizar qualquer influência do rejeito provindo do rompimento da barragem de Fundão nessa região com relação aos metais e As.

Também em relação à legislação vigente, foi observado ao longo do período de desenvolvimento do PMBA, concentração de Cádmiio (Cd) no músculo de peixes coletados acima do permitido pela resolução ANVISA RDC 42/2013. Por sua vez, tendo como referência dados pretéritos pré-rompimento da barragem, foi observada maior concentração corporal de Cromo (Cr), Ferro (Fe), Cádmiio (Cd), Cobre (Cu) e Chumbo (Pb) no zooplâncton.

Em termos dos indicadores de impacto no sedimento, as amostras dessa região apontaram para ausência do rejeito, seguindo os critérios estabelecidos. As análises dos elementos terras raras são inconclusivas para esta UC, pois, apesar de apresentar assinatura semelhante à do rejeito de minério, esta pode ocorrer devido a presença de indústrias de beneficiamento e escoamento de minério próximas a esta região. Por esta UC estar próxima de centros metropolitanos e portos ligados ao comércio de Ferro, os resultados obtidos através de amostras de sedimento para a região se mostram inconclusivos em relação ao impacto causado pela lama de rejeito, em função do rompimento da Barragem de Fundão.

Devido a atividade antrópica em seu entorno, são registrados eventos com elevação das concentrações de hidrocarbonetos alifáticos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, além de ácidos graxos e esteróis. Para os nutrientes analisados a principal observação nesta unidade de conservação é o aumento do n-amoniaco em toda a coluna d'água estando acima dos valores de referência pré-desastre para a região (FIGUEIREDO et al., 2016).

A determinação de aminas semelhantes às encontradas a partir de análises de rejeito, demonstra que estes compostos estando ligados ao uso de flocculantes, dispersos pela lama, resultando assim na observação de impacto mesmo nos pontos mais distais deste monitoramento.

As densidades numéricas de fitoplâncton se mostraram maiores quando comparadas aos dados pré-rompimento da barragem ao longo da região da APA de Setiba, sugerindo uma condição de impacto crônico, que poderia estar relacionado com o alcance da pluma de rejeito proveniente do rio Doce até a região (mesma padrão de resposta observado ao norte), embora menos significativa quando comparado aos Setores Abrolhos e Costa das Algas.

Concentrações de clorofila-a se apresentaram abaixo do limite de detecção nas estações próximas da APA de Setiba. Era esperado que as estações de Guarapari fossem mais saudáveis em relação à comunidade fitoplanctônica uma vez que são menos influenciadas por poluição do que as estações de Vitória, que têm população consideravelmente mais densa. Mas isso não ocorreu quando consideramos clorofila ativa e feopigmentos. Apesar da falta de um padrão espaço-temporal das concentrações de clorofila-a e feopigmentos, é notável que há uma queda da clorofila ativa e aumento dos feopigmentos.

A região da APA de SETIBA registrou também baixa abundância de organismos zooplanctônicos além da dominância de espécies indicadoras de impacto, como exemplo *T. turbinata*. Porém, as evidências de que a comunidade esteja sob condições de *stress* ambiental podem ter outras fontes precursoras, uma vez que a área em questão sofre influência de outras atividades antrópicas realizadas nas regiões metropolitanas de Vitória e Vila Velha, tais como despejo de efluentes domésticos e industriais, dragagem para atividade portuária, entre outros.

Em termos da comunidade ictioplanctônica, foram encontradas larvas de peixes com trato digestório destruído. Estas larvas foram analisadas quanto ao nível de metais e estes estavam mais altos do que

em larvas normais da mesma espécie antes do rompimento da barragem demonstrando uma causa direta do impacto.

Ainda em relação ao ictioplâncton, as densidades médias de ovos e larvas de peixes foram baixas (>70 ovos. 100m^{-3} e >10 larvas. 100m^{-3}) se compararmos com densidades encontradas em estudos anteriores ao rompimento. Entretanto, o número de amostras coletadas é insuficiente para afirmar que as baixas densidades estão sendo diretamente relacionadas com o rompimento.

Em relação ao bentos de sedimento inconsolidado, foi registrado o indicador de vestígios, ou seja, um aumento na frequência relativa de concha de Gastropoda (frequência relativa variando entre 0,2 e 48,5) e valva de Bivalvia (frequência relativa variando entre 0,04 e 2,6). Entretanto, os outros indicadores de bentos não foram observados nesta UC.

2.2 REFÚGIO DE VIDA SILVESTRE SANTA CRUZ E ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL COSTA DAS ALGAS

A região da APA Costa das Algas foi uma das principais UCs afetadas pelos rejeitos de minério que chegaram à região costeira. Além de visualmente apresentar material de rejeitos no leito marinho, os sinais do impacto também puderam ser observados nas concentrações de metais e Arsênio (As) na coluna d'água e nos sedimentos. Ferro (Fe) e Cobre (Cu) dissolvidos apresentaram níveis acima dos causadores de efeitos crônicos e agudos para algumas estações, tanto para níveis estabelecidos pela CONAMA 357/05, quanto pela EPA. Já na fração total, Mercúrio (Hg), Arsênio (As), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) apresentam níveis para possíveis efeitos crônicos com referência a CONAMA 357/05. Além de elevadas concentrações de Ferro (Fe), Alumínio (Al) e Manganês (Mn) associadas aos rejeitos, Cobre (Cu), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) também apresentaram concentrações elevadas nos sedimentos. Para a biota, foram encontradas concentrações acima do permitido pela resolução ANVISA RDC 42/2013 para Arsênio (As) no músculo de camarões e peixes e Cádmio (Cd) no músculo de peixes.

Tendo como referência dados pretéritos pré-rompimento da barragem, foram observadas maiores concentrações corporais de Ferro (Fe), Cromo (Cr), Mercúrio (Hg) e Cádmio (Cd) no zooplâncton, bem como, maiores concentrações de Cromo (Cr), Mercúrio (Hg) e Cádmio (Cd) nos tecidos dos peixes.

As estações amostrais do ambiente praiial localizadas no REVIS Santa Cruz e na APA Costa das Algas apresentaram concentrações de metais na água em não conformidade com os limites da legislação vigente (CONAMA 357/2005), sendo eles: Ferro (Fe), Mercúrio (Hg) total e Zinco (Zn) total. Foi observado o incremento na concentração de metais associado à presença de material lamoso na antepraia e eventual aporte para a praia emersa.

Também foi observado como impacto nas praias da região o solapamento e erosão dos cordões em função do alcance das ondas (inundação da praia).

Em relação à análise espaço-temporal dos dados obtidos pelo PMBA no ambiente praiado, foi possível observar que as concentrações de Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Manganês (Mn) e Pb total aumentaram de setembro de 2018 a fevereiro de 2019. Nas amostras de sedimento, as concentrações de Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Chumbo (Pb) também aumentaram no mesmo período. Já para a biota foram observados aumento da concentração corporal de Ferro (Fe), Arsênio (As) e Manganês (Mn) nos anfípodos e poliquetas, maior nível de metalotioneína (MT) nos anfípodos, bem como, para amostras do caranguejo *Ocypode quadrata*, aumento das concentrações de Cobre (Cu) nos tecidos, aumento da concentração de Ferro (Fe) no músculo, aumento dos níveis de Zinco (Zn) no hepatopâncreas e músculo, aumento dos níveis de Cobre (Cu) e Zinco (Zn) nas brânquias e músculo, aumento do nível de metalotioneína (MT) e aumento do nível de proteínas carboniladas (PCO) no músculo.

Em relação à análise espaço-temporal dos dados obtidos pelo PMBA em amostras coletadas no ambiente manguezal (não há dados do PMQQS para esse ponto), foram encontradas maiores níveis teciduais de Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Cromo (Cr) e de dano ao DNA na hemolinfa nos caranguejos coletados entre setembro e outubro de 2018. Em relação às coletas realizadas entre janeiro e fevereiro de 2019, foram identificados nível de Zinco (Zn), danos oxidativos em lipídios (lipoperoxidação - LPO) e proteínas (proteínas carboniladas - PCO), bem como nível de metalotioneína (MT).

Em relação a dados disponíveis na literatura especializada para amostras de manguezal, foram observados concentrações de Ferro (Fe) e Manganês (Mn) nos tecidos dos caranguejos acima da média relatada na literatura para ambientes contaminados e danos oxidativos (lipoperoxidação e proteínas carboniladas) e nível de metalotioneína (MT) elevados em relação às médias relatadas na literatura especializada.

Para os nutrientes analisados, a principal observação nesta UC é o aumento do n-amoniaco na coluna d'água estando acima dos valores de referência pré-PMBA após a chegada da lama (UFES, 2016).

Em relação aos elementos terras raras analisados, há evidências da presença do rejeito no sedimento, bem como foi observada também a presença de sinal do rejeito referente a determinação de amina. A presença de amina evidencia a alta dispersão destes contaminantes, mediada principalmente pelas forçantes meteorológicas. A modelagem numérica aponta evidências de chegada de material sedimentar oriundo da descarga do Rio Doce. A análise sedimentológica do material de fundo identifica uma tendência de afinamento da granulometria do sedimento superficial e presença do sinal mineralógico associado ao rejeito.

Elevadas concentrações de Hidrocarbonetos Alifáticos e HPA, observada inicialmente com o aumento da descarga do Rio Doce. Este aumento é significativo ao comparar com dados pretéritos, excedendo também níveis regulamentadores do CONAMA e NOAA.

Aumento eventual das concentrações de ácidos graxos e esteróis que podem estar correlacionados ao aumento da produtividade primária e, esta, por sua vez, com o aporte de nutrientes (input referente a amina).

De forma geral, as densidades fitoplanctônicas demonstraram um aumento para as estações de amostragem na APA, estando acima dos valores comumente encontrados em regiões tropicais oligotróficas e com grandes oscilações. Além disso, florações de espécimes fitoplanctônicos foram observados na subsuperfície das águas de algumas estações amostrais.

As concentrações de clorofila-a e feopigmentos variaram bastante e, por várias vezes, as concentrações de feofitina foram superiores aos valores de clorofila-a, o que indica um processo de senescência do fitoplâncton.

A densidade numérica total e os feopigmentos nas camadas mais profundas apresentaram valores mais elevados do que nas camadas mais superficiais, apontando um indício evidente de que a comunidade fitoplanctônica está fisiologicamente senescente. Há a possibilidade da ocorrência da ressuspensão de sedimento APA e Revis pelo fato de concentrações altas de feopigmentos terem ocorrido principalmente nas amostras de fundo e uniformemente em quase todas as estações amostrais. Além disso, perturbações na ficoflórula são observadas toda vez que o sedimento é ressuspensionado e ocorre uma fertilização da coluna d'água, que culmina aumento populacional e alteração na composição da comunidade fitoplanctônica.

Foram registradas larvas de peixes com trato digestório destruído e essa característica é um impacto relacionado à chegada da pluma contaminada na região costeira. Foram coletadas larvas com essas características tanto na rede de nêuston como nas amostras da rede bongô durante três das quatro campanhas realizadas na área. Já as densidades médias de ovos de peixes foram altas (> 1.000 ovos. 100 m^{-3}) apenas em uma das campanhas, nas demais campanhas as densidades médias de ovos foram inferiores a 70 ovos. 100 m^{-3} . Apesar de ter tido desova o recrutamento das larvas foi baixo (> 20 larvas. 100 m^{-3}) em 75% das amostras. As larvas com trato digestório danificados e o baixo recrutamento demonstra que esta área está sofrendo influência da lama oriunda do rompimento da barragem.

Os vestígios de Mollusca, considerados como indícios de impacto para o bentos marinho de sedimento inconsolidado, ocorreram em todas as amostras: valva de Bivalvia (frequência relativa variou entre 0,02 e 9,6); seguidos por concha de Gastropoda (frequência relativa variou entre 0,001 e 11,9). Nas amostras de bentos marinho do ambiente praiado foram identificadas redução da riqueza da macrofauna e meiofauna bentônica associada ao incremento da concentração de arsênio.

Em termos de indicadores de impacto, os resultados do PMBA evidenciaram sazonalidade marcada na cobertura benthica dos recifes emergentes e adjacentes ao litoral na APA Costa das Algas. Comparação dos resultados do primeiro ano do PMBA, com os apresentados em GOLDER (2016a, b), referentes ao verão de 2012, revelou aumento expressivo na cobertura de *Sargassum* spp. (tolerantes a sedimentos finos), e redução na cobertura de algas calcárias articuladas e *Caulerpa* spp. Além disso, alguns sítios, que são considerados "afetados" pelo rejeito nos estudos prévios, apresentaram redução de ~20% na cobertura total de macroalgas. As assembleias de peixes recifais amostradas na APA, em comparação

com os Recifes Esquecidos e com os recifes de Abrolhos, apresentaram menor abundância, biomassa, riqueza e diversidade.

No que tange a ictiofauna marinha, especificamente para peixes recifais, os dados coletados no primeiro ano do PMBA mostram diferenças significativas quanto a abundância, riqueza, diversidade, composição e estrutura de algumas populações de espécies de peixes recifais, quando comparado com áreas consideradas controles. Estas diferenças podem ser um efeito direto da chegada do rejeito proveniente do rompimento da barragem, contudo, com apenas um ano de monitoramento não se pode separar estes efeitos dos referentes à variação latitudinal, típica das espécies de peixes recifais, ou ainda relacionadas com o habitat na área destas UC's. A continuidade do monitoramento será fundamental para se compreender em profundidade a estrutura e funcionamento das assembleias de peixes recifais, assim como o assentamento e recrutamento dos mesmos na área da APA e do REVIS.

Foi observado como impacto em tartarugas marinhas a diminuição da diversidade genética na APA Costa das Algas. Tartarugas *Chelonia mydas*, amostradas entre novembro de 2018 e junho de 2019, apresentaram menor diversidade haplotípica ($N=48$, $h=0.4778\pm 0.0814$) para a região controle do DNA mitocondrial em relação a amostras analisadas antes do rompimento da barragem (entre 2000 e 2006) em Vitória-ES ($N=157$, $h=0.6128\pm 0.0307$ – NARO-MACIEL ET AL. 2012). Parâmetros de saúde de tartarugas também identificaram maiores níveis de ectoparasitas e maior prevalência da fibropapilomatose em *Chelonia mydas* na APA Costa das Algas do que em Coroa Vermelha, BA, além de apresentarem sinais de imunossupressão, anemia, pior nível nutricional e maior déficit fisiológico.

Do ponto de vista ecotoxicológico, amostras de água e sedimento coletadas no REVIS Santa Cruz se apresentaram tóxicas, o que foi verificado através de ensaios de toxicidade padronizados com organismos de diferentes níveis tróficos. No entanto, esta toxicidade pode não ser exclusivamente decorrente do rompimento da barragem. No entorno do REVIS Santa Cruz e APA Costa das Algas estão instalados o estaleiro Jurong, o Portocel e a fábrica de celulose Suzano SA que podem estar contribuindo para o impacto no local.

Em relação às análises ecotoxicológicas, os ensaios de toxicidade aguda (fertilização) e crônica (desenvolvimento embrio-larval) com ouriço-do-mar (*Echinometra lucunter*) indicaram toxicidade em amostras de água e sedimento, enquanto que os ensaios de toxicidade aguda com o peixe *Poecilia vivipara* permitiram classificar as amostras de água e sedimento como "levemente tóxicas". O ensaio crônico com *Nitokra sp* indicou toxicidade em todas as amostras de sedimento bruto com maior toxicidade observada nas amostras de sedimento do que de água superficial.

Em síntese, os resultados abióticos e bióticos obtidos na APA e Revis são conclusivos quanto ao impacto associado ao rejeito de minério oriundo do rompimento da Barragem de Fundão. A comparação de dos resultados com dados pretéritos ao rompimento mostram que indicadores geoquímicos (água e sedimento), sedimentológicos, ecotoxicológicos e biológicos não deixam dúvida que a região mais costeira da APA e a Revis estão impactadas pelo aporte de rejeito, tando em fração particulada quanto dissolvida.

2.3 RESERVA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL MUNICIPAL PIRAQUÊ-AÇU E PIRAQUÊ-MIRIM

A análise espaço-temporal dos dados obtidos pelo PMBA no ecossistema manguezal da reserva indicou que o nível de Ferro (Fe) e Zinco (Zn) acumulado nos tecidos dos caranguejos, bem como os danos oxidativos (lipoperoxidação e proteínas carboniladas) e nível de metalotioneína (MT) foram maior na campanha de janeiro a fevereiro de 2019 do que na campanha setembro a outubro de 2018. Já os níveis de Manganês (Mn) e Cromo (Cr) acumulados nos tecidos dos caranguejos e os danos ao DNA na hemolinfa dos caranguejos diminuíram para o mesmo período. Foram observadas correlações positivas entre as concentrações de Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Mercúrio (Hg) e os biomarcadores lipoperoxidação (LPO), proteínas carboniladas (PCO), metalotioneína (MT) e dano de DNA. Em relação à legislação da ANVISA (RDC 42/2013), foi observada concentração de Chumbo (Pb) no músculo de caranguejos acima do permitido pela legislação

Os dados do PMQQS (2017-2018), apontaram altos níveis de Ferro (Fe) dissolvido na água e de Manganês (Mn), Cromo (Cr), Zinco (Zn) e Ferro (Fe) no sedimento, quando comparados àqueles descritos para manguezais considerados como ambientes "controle".

Em relação aos dados disponíveis na literatura especializada, foram observados níveis de Ferro (Fe) e Cromo (Cr) nos tecidos dos caranguejos, acima da média relatada; nível de Manganês (Mn) no músculo dos caranguejos e níveis de proteínas carboniladas (PCO) e metalotioneína (MT).

2.4 RESERVA BIOLÓGICA DE COMBOIOS E RESERVA INDÍGENA DE COMBOIOS

A análise espaço-temporal dos dados obtidos pelo PMBA no ambiente praias das Reservas de Comboi e Indígena de Comboios indicou concentrações de Manganês (Mn) total, Mercúrio (Hg) total e Manganês (Mn) total na água acima do limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005. As concentrações de Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Chumbo (Pb) total e de Cobre (Cu) dissolvido na água foram maiores em janeiro e fevereiro de 2019 do que em setembro e outubro de 2018.

Foram observados maiores níveis corporais de Ferro (Fe), Arsênio (As), Cobre (Cu) e Manganês (Mn) nos anfípodos em janeiro e fevereiro de 2019 do que em setembro e outubro de 2018, enquanto que o nível corporal de Cd nos anfípodos apresentou padrão inverso. Também foi observado aumento do nível corporal de metalotioneína (MT) nos anfípodos em janeiro e fevereiro de 2019 do que em setembro e outubro de 2018, enquanto que o nível corporal de lipoperoxidação (LPO) nos anfípodos apresentou padrão inverso.

Em relação aos isópodos, estes apresentaram aumento dos níveis corporais de Arsênio (As), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn), bem como de lipoperoxidação (LPO) e metalotioneína (MT) de setembro e outubro de 2018 para janeiro e fevereiro de 2019.

Foi observado também o aumento dos níveis teciduais de Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Zinco (Zn), bem como de lipoperoxidação (LPO) e proteínas carboniladas (PCO) no caranguejo *Ocypode quadrata* em janeiro e fevereiro de 2019 quando comparado a setembro e outubro de 2018.

Na antepraia foram observadas concentrações elevadas de Fe, Mn, Al e Cr, associadas à presença de lama, com eventual aporte de contaminantes para a praia emersa. Alta exposição à ação de ondas e a composição por areias grossas a médias, resultam em grande capacidade de mobilizar os sedimentos, o que leva a uma maior resiliência à contaminação das areias praias.

Na vegetação de restinga foram encontrados indicadores importantes de alteração:

- a) modificações morfo-estruturais (lignificação das paredes celulares em plantas arbóreas;
- b) aumento da razão lignina:hemiceluloses – nas herbáceas e arbóreas; redução de espessura de folha - *A. arenaria*, com maior densidade estomática, maior espessura da cutícula e do parênquima paliçádico e redução no tamanho de estômatos – *I. imperati*, *G. pernambucensis*, *M. salmannii*, *C.* e *P. heptaphyllum*);
- c) alterações na fotossíntese e metabólitos primários (no período seco *I. imperati* apresentaram índices de clorofila cerca de, em média, 30% abaixo do esperado, comportamento também observado na espécie arbustiva *G. pernambucensis*, enquanto que, no período chuvoso, as plantas da formação herbácea mostraram redução nos teores de clorofila - *Canavalia rósea* - e alta relação entre teores de clorofila e concentração foliar de Ferro;
- d) a formação arbustiva apresentou reduções nos teores de clorofila - *Allagoptera arenaria* e *Guapira pernambucensis*;
- f) na formação arbórea observou-se clorese em várias plantas, reduções nos teores de clorofila total e altos teores de carotenoides em *Protium heptaphyllum*) e modificação na capacidade de Recuperação.

Na região marinha adjacente às reservas, foi observado o aumento nas concentrações de todos os nutrientes (exceto nitrato) em mais de 50% das amostras d'água em relação aos valores de referência pré-desastre para a região (FIGUEIREDO et al., 2016). É possível destacar elevadas concentrações de Ferro (Fe) dissolvido e totais ao longo do monitoramento, indicando o contínuo impacto dos rejeitos nessa região.

Elevada turbidez foi observada em momentos de cheia do Rio Doce e durante a passagem de frentes frias. Amostras sedimentares de fundo apresentaram uma tendência de afinamento da granulometria do sedimento superficial, bem como a presença do sinal mineralógico associado ao rejeito. As análises geoquímicas indicam aumento nos teores de metais (principalmente Fe e Al) quando comparadas com dados pré rompimento da barragem. O mapeamento na região da Foz do Rio Doce mostrou a extensa presença de lama fluida, o que já indica o transporte de rejeito na região da UC.

As amostras de bentos de sedimento inconsolidado apresentaram valores mais altos de frequência relativa dos vestígios de concha de Gastropoda, valva de Bivalvia e concha de Scaphopoda nas

primeiras campanhas, seguido de redução destes valores ao longo do monitoramento. O mesmo padrão foi observado para Crustacea e Polychaeta.

A área marinha adjacente à Reserva de Comboios é uma área de uso e ocupação intensiva de pequenos cetáceos residentes e aves migratórias, que as usam como locais de alimentação e criação. Registra-se, nessa área, a ocorrência de espécies com status de vulnerável ou criticamente ameaçadas de extinção. Além disso, essa região demonstra alta sensibilidade a impactos crônicos devido à presença de acumulação de lama de rejeitos na plataforma interna, oriunda do rompimento da barragem de Fundão. Neste caso, as principais espécies atingidas são: o boto-cinza (*Sotalia guianensis*), a toninha (*Pontoporia brainvillei*), e as aves da família Sternidae.

Também foram observados impactos em tartarugas marinhas na região de Povoação. Tartarugas *Dermochelys coriacea* amostrados na temporada 2018/2019 apresentaram menor diversidade haplotípica ($N=9$, $h=0.222\pm 0.166$) para a região controle do DNA mitocondrial quando comparadas com amostradas pré-rompimento da barragem da mesma região ($N=9$, $h=0.3889\pm 0.164$). Enquanto tartarugas *Caretta caretta* apresentam pior condição corporal e maior carga epibiônica do que na área controle (Praia do Forte, BA) e tartarugas *Caretta caretta* apresentam alterações oftalmológicas não relatadas em outras partes do país.

As tartarugas *Caretta caretta* de Povoação também apresentaram maiores níveis de Ferro (Fe), Cromo (Cr), Chumbo (Pb) e Arsênio (As) do que na Praia do Forte. As concentrações de metais influenciam mais nos parâmetros bioquímicos em Povoação do que na Praia do Forte, especialmente Arsênio (As) e Mercúrio (Hg). Os níveis de Arsênio (As) e Chumbo (Pb) em ovos de *Caretta caretta* também foram maiores em Povoação do que na Praia do Forte.

2.5 ÁREA DE RELEVANTE INTERESSE ECOLÓGICO DO DEGREDO

Em relação à legislação vigente, foi observada a não conformidade das concentrações de Ferro (Fe) dissolvido acima do limite estabelecido na resolução CONAMA 357/2005 e de Cádmiio (Cd) no músculo de camarões acima do limite permitido pela resolução ANVISA RDC 42/2013.

Tendo como referência dados pretéritos pré-rompimento da barragem, foram observadas maiores concentrações corporais de Mercúrio (Hg) e Chumbo (Pb) no zooplâncton em setembro e outubro de 2018 e de Cromo (Cr) e Chumbo (Pb) em janeiro e fevereiro de 2019. Da mesma forma, foi observada maior concentração de Manganês (Mn) no músculo de peixes coletados em setembro e outubro de 2018 e de Cromo (Cr) em janeiro e fevereiro de 2019.

Em relação aos dados obtidos pelo PMBA, foram observados níveis corporais de metalotioneína (MT) e de dano oxidativo em lipídios no zooplâncton, nível de dano ao DNA na hemolinfa de camarões, nível de dano histopatológico em peixes e atividades de enzimas do metabolismo energético (MDH) e antioxidantes (SOD), indicando maiores estresse fisiológico e gasto de energia em peixes.

A estação amostral no ambiente praiial desta UC apresentou um aumento nas concentrações de Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr) e Chumbo (Pb) total na água, aumento no nível corporal de Arsênio (As) nos anfipodas, aumento nos níveis teciduais de Cobre (Cu) e Zinco (Zn) no caranguejo *Ocypode quadrata* e aumento no nível de metalotioneína (MT) no hepatopâncreas do caranguejo *Ocypode quadrata*.

Os registros de altos teores de lama, metais e minerais pesados na praia e antepraia, indicam o sentido preferencial sul-norte da deriva litorânea, o que potencializa a alteração da qualidade dos sedimentos. Foi observado o solapamento e erosão dos cordões praiiais em função do alcance das ondas (inundação da praia). Comparando com dados pretéritos, foi identificada a redução da riqueza e diversidade da macrofauna bentônica.

Amostragens realizadas na plataforma continental adjacente que, apesar de não estarem incorporadas na área de abrangência da reserva, são descritas aqui por estarem associadas ao contexto da área. Na plataforma continental adjacente foram observados o aumento de sílica reativa dissolvida, do ortofosfato e n-amoniaco para a maioria das amostras d'água em relação aos valores de referência pré-desastre para a região (FIGUEIREDO et al., 2016). Foram identificadas também elevações nas concentrações de ácidos graxos que corroboram os resultados observados referentes ao aumento de nutrientes, principalmente ortofosfato, n-amoniaco e sílica reativa dissolvida.

A região offshore de Degredo apresentou elevados níveis de Ferro (Fe) e Cobre (Cu) dissolvidos acima dos níveis estabelecidos pela CONAMA 357/05, bem como níveis de Ferro (Fe), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Prata (Ag), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Chumbo (Pb) e Vanádio (V) totais acima das concentrações encontradas nas campanhas analisadas em 2016. Esses níveis de concentração dos elementos são um indicativo da contínua influência do rejeito na região de Degredo, indicando uma tendência de transporte em direção norte em longo termo. Além disso, na região marinha foi encontrada a assinatura do rejeito de minério (elementos terras raras) no material particulado em suspensão e no sedimento, bem como o afinamento da granulometria do sedimento superficial e a presença do sinal mineralógico associado ao rejeito

Foram observadas também concentrações elevadas de aminas e aumento nas concentrações de hidrocarbonetos alifáticos e HPA.

Em termos da biota na plataforma continental interna adjacente, foram registradas larvas de peixes com o trato digestório destruído e densidades baixa de ovos e larvas ictioplanctônicas (> 40 ovos.100 m⁻³ e > 40 larvas.100 m⁻³). Alteração na densidade numérica do fitoplâncton e na comunidade de zooplâncton também são observadas. Para o bentos de sedimento inconsolidado, foram registrados aumentos importantes nos valores de frequência relativa dos vestígios concha de Gastropoda, valva de Bivalvia e concha de Scaphopoda em janeiro de 2019, seguido de redução destes valores ao longo das demais campanhas de monitoramento.

Este Área de Interesse está inserida na Localidade 4, definida como uma das quatro áreas vulneráveis para a megafauna. Esta região compreende uma área de maior uso por pequenos cetáceos, as quais

coincidem com áreas de maior sensibilidade a alta turbidez, as quais também coincidem em parte com áreas de maior acúmulo de rejeitos. Neste caso, as principais espécies atingidas são: o boto-cinza (*Sotalia guianensis*) e a toninha (*Pontoporia brainvillei*).

2.6 ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL CONCEIÇÃO DA BARRA

Em relação à análise espaço-temporal dos dados do PMBA, alguns resultados obtidos nos caranguejos do manguezal podem ser destacados: maiores concentrações de Ferro (Fe) e Zinco (Zn) nos tecidos e maiores níveis de danos oxidativos (lipoperoxidação e proteínas carboniladas) e metalotioneína (MT) em janeiro e fevereiro de 2019 do que setembro e outubro de 2019, enquanto que maiores concentrações de Manganês (Mn) e Cromo (Cr) nos tecidos e maior nível de dano ao DNA na hemolinfa apresentaram padrão temporal inverso.

Tendo como referência os dados do PMQQS (2017-2018), é possível citar as concentrações maiores de Ferro (Fe) dissolvido e de Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cromo (Cr) e Zinco (Zn) no sedimento do que aqueles observados em manguezais considerados como ambientes "controle".

Algumas informações em relação a dados disponíveis na literatura especializada também podem ser mencionadas: nível de Ferro (Fe) acumulado no hepatopâncreas e brânquias acima da média relatada na literatura, nível de Cromo (Cr) acumulado nos tecidos dos caranguejos acima da média relatada na literatura para ambientes contaminados, níveis de proteínas carboniladas (PCO) e metalotioneína (MT) nos tecidos dos caranguejos acima da média relatada na literatura.

Para a vegetação de restinga foram detectadas algumas evidências de impacto: modificações morfo-estruturais, espessura da folha (parênquima paliçádico), aumento dos teores de hemicelulose (nos estolões – herbáceas), aumento dos teores de hemicelulose (ramos – arbustivas) e aumento dos teores de hemicelulose (caule – arbóreas). Em relação a fotossíntese e metabólitos primários, as alterações observadas parecem estar associadas à sazonalidade de período chuvoso e período seco.

Os resultados da fluorescência transiente da clorofila a e trocas gasosas mostram possíveis indícios de alterações temporais e espaciais na maquinaria fotossintética das plantas analisadas e sugerem alterações persistentes que poderiam apontar para possíveis estresses.

Dados da plataforma continental interna adjacente que, apesar de não estar incorporada na área de abrangência da APA, podem indicar o contexto regional da qualidade da água e da integridade da biodiversidade. Os valores de sílica reativa dissolvida e do n-amoniaco para a maioria das amostras de água estão mais elevados do que em relação aos valores de referência pré rompimento para a região (FIGUEIREDO et al., 2016).

Os sedimentos apresentam concentrações mais elevadas de Ferro (Fe), Alumínio (Al), Arsênio (As), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Vanádio (V) e Zinco (Zn) do que as encontradas em análises pretéritas ao monitoramento. Além disso, foi observada a assinatura do rejeito de minério (elementos

terras raras) no material particulado em suspensão e no sedimento nas imediações marinhas desta unidade de conservação. Também foi observada a presença do sinal do rejeito pela alta concentração de aminas e pela análise das fases mineralógicas.

Para o bentos de sedimento inconsolidado, foram registrados aumentos importantes nos valores de frequência relativa dos vestígios concha de Gastropoda, valva de Bivalvia e concha de Scaphopoda em janeiro de 2019, seguido de redução destes valores ao longo das demais campanhas de monitoramento. O mapeamento do fundo marinho mostrou, e forma inédita, a extensão dos fundos recifais nesta região. Os primeiros resultados mostraram que as placas de colonização não apresentaram recrutamento de corais e que a cobertura bêntica desses recifes varia bastante ao longo da área, sendo localmente dominada por organismos de alta taxa de crescimento. Foi observado ainda a presença de sedimentos terrígenos aportando esses recifes (armadilhas de sedimento)

2.7 PARQUE NACIONAL MARINHO DE ABROLHOS, ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL PONTA DA BALEIA/ABROLHOS E RESERVA EXTRATIVISTA DE CASSURUBÁ

Essas três UCs apresentam um mosaico de ecossistemas costeiros e marinhos da maior importância para a biodiversidade e manutenção dos serviços ecossistêmicos. As três espécies de decápodos alvos deste monitoramento são comercializadas na região, sendo que *U. cordatus* e *C. guanhumi* apresentaram concentração de metais nos seus diferentes órgãos. A formação de extensos apicuns na região já coloca a flora do manguezal sob intensa pressão ecológica (vide os dados de economia da água no processo de assimilação de carbono) e o agravante de contaminantes pode trazer consequências graves sobre a produção primária e manutenção destas florestas, com comprometimento inclusive do Banco de Abrolhos.

Além disso, a análise espaço-temporal dos dados gerados pelo PMBA para o ambiente de manguezal encontrou alguns resultados, dentre os quais podemos destacar: maiores níveis de acumulação de Ferro (Fe) e Zinco (Zn) nos tecidos dos caranguejos em janeiro e fevereiro de 2019, do que setembro e outubro de 2019. Já os níveis de acumulação de Manganês (Mn) e Cromo (Cr) apresentaram padrão temporal inverso. Também foram observados maiores níveis de metalotioneína (MT) e danos oxidativos em lipídios no hepatopâncreas e de proteínas carboniladas no músculo de caranguejos em janeiro e fevereiro de 2019, quando comparados a setembro e outubro de 2019. Os níveis de danos oxidativos em lipídios nas brânquias e dano ao DNA na hemolinfa de caranguejos apresentaram padrão temporal inverso.

Em relação a dados do PMQQS (2017-2018), os resultados acerca dos níveis de Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cromo (Cr) e Zinco (Zn) podem ser destacados. Altos níveis de Ferro (Fe) dissolvido na água e de Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cromo (Cr) e Zinco (Zn) no sedimento quando comparados àqueles observados para manguezais considerados como ambientes "controle".

Em relação a dados disponíveis na literatura especializada, vale ainda ressaltar sobre as concentrações de Ferro (Fe), Cromo (Cr) e Manganês (Mn) associadas aos caranguejos, tais como: concentrações de Ferro (Fe) no hepatopâncreas e nas brânquias dos caranguejos acima da média descrita na literatura especializada; concentração de Cromo (Cr) no hepatopâncreas e no músculo dos caranguejos acima da média descrita na literatura especializada para ambientes contaminados; concentração de Manganês (Mn) em todos tecidos analisados dos caranguejos acima da média descrita na literatura para ambientes contaminados. Além disso, níveis de lipoperoxidação (LPO) e metalotioneína (MT) no hepatopâncreas, bem como de proteínas carboniladas (PCO) no músculo e metalotioneína (MT) no hepatopâncreas de caranguejos acima das médias descritas na literatura.

Na região marinha, em relação à legislação vigente, foi observado ao longo do período de desenvolvimento do primeiro ano do PMBA, concentrações de Mercúrio (Hg) total e Ferro (Fe) dissolvido na água acima dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005. A partir de comparações com dados pretéritos pré-rompimento da barragem, foram observados maiores níveis corporais de Chumbo (Pb), Cádmio (Cd) e Ferro (FE) no zooplâncton. Maiores níveis de metalotioneína (MT) e dano oxidativo em lipídios, bem como maior atividade de enzimas envolvidas no metabolismo de metais no fitoplâncton foram observadas nesta região.

Resultados das análises de química da água apresentaram aumentos nas concentrações de metais e Arsênio (As) em todas as frações comparadas aos níveis encontrados anteriormente ao monitoramento. Entretanto, apenas Ferro (Fe), Cobalto (Co), Cobre (Cu) e Zinco (Zn) nas frações dissolvidas apresentaram níveis acima dos níveis crônicos estabelecidos pela EPA. Eventos cíclicos acarretaram na observação do aumento de concentração de praticamente todos os parâmetros orgânicos, entretanto deve-se ressaltar os picos registrados de hidrocarbonetos poliaromáticos (HPAs), aminas e ácidos graxos. A partir da mineralogia, foi observada presença do sinal mineralógico no sedimento associado ao rejeito, na estação mais próxima a costa. Porém não foi conclusiva a presença do rejeito porque nem todos os indicadores de rejeito em sedimento foram observados na estação.

Diferenciando-se das outras regiões, as UCs em Abrolhos tenderam, inicialmente, a uma redução da densidade numérica de fitoplâncton. Notou-se uma significativa redução da densidade numérica total em superfície até abril de 2019. Da mesma forma, a concentração de clorofila-a e clorofila ativa foi menor em abril de 2019 do que em outubro de 2018, ao passo que a concentração de feopigmentos aumentou entre as campanhas semestrais analisadas. Tais parâmetros indicam um ambiente exposto a um maior estresse ambiental em abril de 2019. Foi possível observar um padrão temporal nas concentrações de clorofila-a e de feopigmentos, em quase todas as estações e profundidades amostradas. Observou-se que as concentrações de clorofila-a foram mais elevadas quando comparadas as concentrações de feopigmentos no princípio, o que se inverteu em abril de 2019, quando as concentrações de feopigmentos superaram as de clorofila-a. A maior concentração de feopigmentos indica elevado grau de senescência da comunidade fitoplanctônica, essa inversão no padrão de concentração sugere que a comunidade fitoplanctônica passou por uma deterioração de seu estado fisiológico. Vários fatores podem estar relacionados a essa perda de saúde fisiológica, como

por exemplo ocorrência de uma tempestade tropical na região, ocorrida no início de abril de 2019. Apesar de terem sido verificadas alterações na comunidade fitoplanctônica na região das UCs de Abrolhos, este efeito do impacto parece ter sido menor e mais tardio do que em áreas mais ao sul. Os efeitos ainda são inconclusivos também pelo fato de terem sido feitas apenas duas campanhas.

Para a comunidade zooplanctônica, o setor Abrolhos registrou índices de diversidade baixos, porém, tal comportamento corrobora com registros em estudos pretéritos onde tal característica é comum para a área de estudo em questão. Além disso, é importante ressaltar que o setor Abrolhos compreende uma área que pode receber influência antrópica através de outras vertentes, como já apontado em resultados preliminares referentes à campanha semestral, onde possivelmente os impactos recebidos nessa região podem ter origem do estuário do Rio Caravelas, além da atividade de dragagem que ocorre no canal do tomba. Em julho de 2019 os índices ecológicos estiveram especialmente baixos na região, porém não é possível afirmar que a causa esteja diretamente correlacionada ao rompimento da barragem de Mariana.

Para o compartimento bentos de sedimento inconsolidado, os grupos taxonômicos indicadores de impacto ambiental foram registrados em todas as amostras, como Concha de Gastropoda (frequência relativa variando entre 6,6 e 0,5), Valva de Bivalvia (frequência relativa variando entre 9,7 e 0,5), Polychaeta (frequência relativa variando entre 1,930 e 0,060) e esqueleto de Bryozoa (frequência relativa variando entre 2,8 e 0,02). Em abril de 2019, em todas as amostras foram registrados aumentos, ainda que pouco expressivos, de Bivalvia vivo, Crustacea, Polychaeta e de vestígios como esqueleto de Bryozoa.

Em termos da dinâmica da cobertura bêntica nos fundos recifais, observou-se que os organismos de crescimento rápido apresentaram maior variação temporal. Neste sentido, a variação sazonal na abundância de macroalgas tendeu a se sobrepôr à variação interanual. Macroalgas tendem a responder a contaminação por metais, concentração de nutrientes e pressão de herbivoria (relacionada com o esforço de pesca), mas os indutores dos padrões observados não estão claros. A cobertura relativa de macroalgas foi, no geral, inversamente relacionada com a de *turf* e cianobactérias, sendo que esses últimos são organismos antagonistas dos corais. A despeito da grande variabilidade na cobertura de organismos de crescimento rápido, a cobertura de corais foi estável entre 2015 e 2019. Dentre os corais, no entanto, a abundância de algumas espécies variou significativamente, pelo menos no sítio monitorado continuamente (Pedra de Leste em Abrolhos, com cobertura coralínea de 15%), com aumentos na abundância de *Montastrea cavernosa* e diminuição na de outros táxons (e.g. *Agaricia* spp., *Favia gravida*, *Millepora nitida*). A análise do conjunto dos dados, pré e pós rompimento, não permite atribuir a variação observada na estrutura de comunidades recifais de Abrolhos e adjacências ao evento.

A utilização do índice de Respostas Integradas de Biomarcadores (IBR) nos corais em Abrolhos permitiu verificar um aumento no valor do IBR bioacumulação, em relação ao respectivo valor do IBR bioacumulação pretérita. Os maiores valores de bioacumulação e biomarcadores forma na campanha dois, referente ao período de janeiro-fevereiro de 2019.

Os dados acerca da saúde dos corais nos recifes de Abrolhos evidenciaram os efeitos negativos do estresse térmico registrado em escala regional. O branqueamento em massa decorrente do estresse térmico, observado nos recifes de Abrolhos, embora não relacionado com o rejeito, representa uma dimensão importante do monitoramento em longo prazo, uma vez que compromete a saúde dos corais e pode ser agravado pelos efeitos do desastre.

A estrutura das assembleias de peixes recifais de Abrolhos, amostrada nos arcos interno e externo, esteve associada principalmente à distância da costa, uma variável que se confunde com a proteção contra a pesca, uma vez que os recifes do arco externo estão inseridos na área do Parque Nacional. A abundância e riqueza de pós-larvas de peixes foi máxima nas áreas protegidas (Arquipélago de Abrolhos ~52%, 50 taxa; Parcel dos Abrolhos ~29%, 47 taxa), e mínima nas desprotegidas (Sebastião Gomes ~10%, 25 taxa; Parcel das Paredes ~8%, 29 taxa).

No que se refere a estrutura e composição de assembleias e populações de peixes recifais, o PARNAMAR Abrolhos foi utilizado como área controle à zona impactada pelo rejeito da barragem de Mariana que chegou ao ambiente marinho. Embora exista confirmação da chegada da lama ao arquipélago, não verificamos efeitos ou impactos diretos detectados em relação a assembleia ou populações da ictiofauna recifal. Os padrões de assentamento e recrutamento de peixes recifais no Arquipélago e Parcel dos Abrolhos não parece ter sido afetado pela chegada do rejeito no parque. Entretanto, ainda que não conclusivo, os dados provenientes da telemetria de *Mycteroperca bonaci* (badejo-quadrado) indicam possível síndrome comportamental na espécie em questão. Síndromes comportamentais, em último caso, são alterações ou desvios dos padrões comportamentais normais (neste caso padrão de movimentação) a serem encontrados em uma espécie. Sabe-se hoje que a chegada do rejeito ao PARNA pode ter alterado o padrão de crescimento dos corais, fator esse que pode afetar diretamente o comportamento de espécies de peixes recifais. Os dados de telemetria, ainda são pertencentes à um período muito curto de monitoramento e devem ser melhorados para que seja possível ampliar sua resolução e obter dados mais concretos sobre possíveis efeitos do rejeito sobre as comunidades marinhas do PARNAMAR de Abrolhos.

Na RESEX Cassurubá foram identificados impactos indiretos quanto a riqueza e abundância de pós-larvas de peixes marinhos no estuário do Rio Mucuri, enquanto que no Rio Caravelas foram encontrados indícios diretos e indiretos de impactos genéticos para espécie de peixe estuarino, *Lycengraulis grossidens*. Tais resultados reforçam os encontrados para os recifes estudados na APA Ponta da Baleia, e demonstram a fragilidade desses ecossistemas costeiros frente aos impactos antrópicos.

Em termos de Aves, Abrolhos é uma área de reprodução de sete espécies de aves marinhas, das quais duas delas (*Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster*) foram avaliadas como indicadoras de impacto sobre o grupo. Foi definido um potencial de alto impacto para as aves que se reproduzem nesta área devido, especialmente, às alterações nos parâmetros de saúde, redução no tamanho populacional, falhas na reprodução, diminuição da diversidade genética, alteração das presas ingeridas, diminuição nos níveis de elementos essenciais, e aumento nos níveis de elementos não essenciais. A

vulnerabilidade também é considerada alta porque a partir de dados de rastreamento remoto, foi possível identificar que não houve alteração substancial nas áreas de alimentação entre antes e depois do rompimento, as quais se sobrepõem às áreas potencialmente impactadas pelos rejeitos, conforme demonstrado no PMBA. Portanto, é possível inferir que as aves marinhas que se reproduzem em Abrolhos estão utilizando as áreas atingidas pelos rejeitos para alimentação.