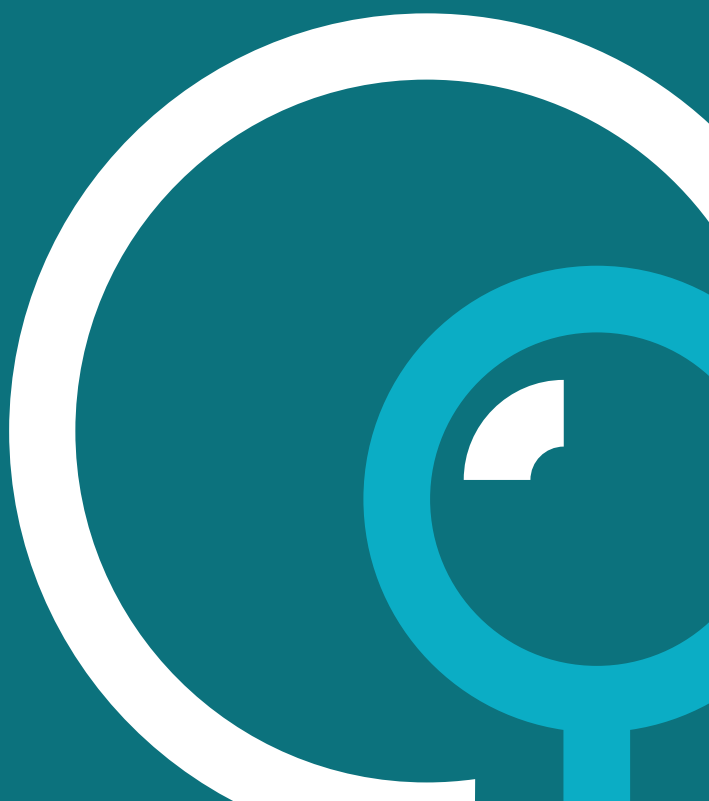


Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento
da barragem de Fundão na bacia do rio Doce

Relatório de Linha-Base: Resumo Executivo

Institutos Lactec
Curitiba – Paraná – Brasil
Novembro/2017



Documento:	Diagnóstico Socioambiental do Rio Doce – Relatório de Linha - Base – Resumo Executivo
Considerações Gerais:	Este documento refere-se ao resumo executivo do relatório de linha-base, integrante do Diagnóstico Socioambiental da Bacia do Rio Doce, o qual demonstra características ambientais prévias ao desastre do rompimento da barragem de Fundão ocorrido no dia 5 de novembro de 2015.
Contrato:	4500173758 – Samarco/Lactec
Solicitante:	Empresa: Ministério Público Federal Procuradoria da República em Minas Gerais
	CNPJ:
	Endereço: Av. Brasil, 1877
	Bairro: Bairro Funcionários
	Cidade: Belo Horizonte/MG
	CEP: CEP 30140-007
	A/C: Dr. José Adercio Leite Sampaio
	E-mail: joseadercio@mpf.mp.br
Executante:	Institutos Lactec Rodovia BR-116, km 98, nº 8813 Jardim das Américas Caixa Postal 19067 CEP 81531-980 Curitiba – PR – BR e-mail: leonardo.bastos@lactec.org.br Divisão de Meio Ambiente T + 55 (41) 3361-6882

Autoria: Equipe Técnica dos Institutos Lactec	Emitido por: Leonardo Pussieldi Bastos, M. Sc. Biólogo / CRBio 28808-07D Divisão de Meio Ambiente Aprovado por: Tânia Lucia Graf de Miranda, D. Sc. Engenheira Agrônoma / Crea RS 069105/D Gerente Departamento Recursos Ambientais Luiz Alkimin de Lacerda, D. Sc. Engenheiro Civil / Crea PR 155674/D Gerente Departamento de Estruturas Cíveis
---	--

EQUIPE TÉCNICA

PRESIDÊNCIA		
Luiz Fernando Vianna	Diretor Presidente	
DIRETORIA		
Alessandro Zimmer	Diretor de Desenvolvimento Tecnológico	
Lauro Elias Neto	Diretor de Operações Tecnológicas	
Luiz Fernando Vianna	Diretor Administrativo-Financeiro	
DEPARTAMENTOS		
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS CIVIS		
Luiz Alkimin de Lacerda	Gerente do Departamento de Estrutura Cívica	http://lattes.cnpq.br/0043721710279191
DEPARTAMENTO DE RECURSOS AMBIENTAIS		
Tania Lucia Graf de Miranda	Gerente do Departamento de Recursos Ambientais	http://lattes.cnpq.br/1121417252853145
COORDENAÇÃO TÉCNICA		
Leonardo Pussieldi Bastos	MSc., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/5329663591015036
GESTÃO E ACOMPANHAMENTO		
Franciele Dãobroski	Esp., Eng. Eletricista	http://lattes.cnpq.br/7297801978779218
Guilherme de Poli	Administrador de Empresas	http://lattes.cnpq.br/5037459782326201
Jefferson Arndt	Esp., Analista de Sistemas	http://lattes.cnpq.br/2235028013916918
Leandro Zem	Gerente Escritório de Projetos	http://lattes.cnpq.br/2357615179502522
MEIO FÍSICO		
GEOPROCESSAMENTO		
Ana Paula Zampieri da Silva	Téc. em Geoprocessamento	http://lattes.cnpq.br/7147163601134808
Cesar João Andreazza	MSc., Analista de Sistemas	http://lattes.cnpq.br/5387403645633748
Danielle Drago	MSc. Engenheira Cartógrafa	http://lattes.cnpq.br/5640462622387315
Edson Haruo Yoshizumi	Téc. em Geoprocessamento	http://lattes.cnpq.br/9032121183333722
Fabiano Scheer Hainosz	Gerente da Divisão de Geossoluções	http://lattes.cnpq.br/4182830081560022
Lázaro Filipe de Souza	Geógrafo	http://lattes.cnpq.br/6531432009823859
Maricler Toigo	Esp., Analista de Sistemas	http://lattes.cnpq.br/4705344015597145
Yuri Arnold Gruber	Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/0119998808279360

GEOLOGIA E GEOTECNIA		
Amanda Jarek	Dra., Engenheira Civil	http://lattes.cnpq.br/1505490272203990
Betina Lepretti Medeiros	Gerente da Divisão de Pesquisa em Estruturas Cíveis	http://lattes.cnpq.br/1756315291615130
Bruno Endo Ribeiro	Téc. Em Construção Civil	http://lattes.cnpq.br/4603691886693999
Eduardo Alberto Garotti Orlowski	Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/7796199656235610
Ernesto Goldfarb Figueira	MSc., Geólogo	http://lattes.cnpq.br/4401942500945463
Isabella Françoso Rebutini Figueira	Dra., Geóloga	http://lattes.cnpq.br/2157580235609038
Joubert Weigert Favaro	Engenheiro Ambiental	http://lattes.cnpq.br/9803440730131162
José Henrique Ferronato Pretto	MSc., Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/0011830871815627
Kleber Franke Portella	Dr., Químico	http://lattes.cnpq.br/3831923854387307
Marcelo Buras	MSc., Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/6794337770630385
Mariana D'Orey Gaivão Portella Bragança	Dra., Engenheira Ambiental	http://lattes.cnpq.br/0715737214891999
Mário Sérgio Mandu Kleina	Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/6538424098662887
Rodrigo Moraes da Silveira	Dr. Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/0100630696334012
Rodrigo Soares Ferreira	Gerente da Divisão de Química	http://lattes.cnpq.br/2988740732783866
SOLOS		
Bernardo Lipski	MSc., Engenheiro Agrônomo	http://lattes.cnpq.br/6729588963615658
HIDROLOGIA		
João Paulo J. Saboia	MSc., Engenheiro Ambiental	http://lattes.cnpq.br/1148076312542763
Julio Werner Yoshioka Bernardo	MSc., Engenheiro Ambiental	http://lattes.cnpq.br/9289720469347369
Rosana de Fátima Colaço Gibertoni	MSc. Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/0468168157068042
Rubem Luiz Daru	MSc., Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/5523700772597388
Tobias Bernward Bleninger	Dr., Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/5131189316971564
SEDIMENTOS		
Camila Ghilardi Cardoso Fontanella	MSc., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/6768888804239630
Gheysa do Rocio Morais Pires	MSc., Química Ambiental	http://lattes.cnpq.br/2618972397792943
Rosemary Aparecida Brogim	Dra., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/2848426979042715
ÁGUAS SUPERFICIAIS		
Alexandre Brandelli	MSc., Oceanólogo	http://lattes.cnpq.br/3313473380886724

Ana Carolina Wosiack	MSc., Ciências Biológicas	http://lattes.cnpq.br/1895187637306662
Kleber Franke Portella	Dr., Químico	http://lattes.cnpq.br/3831923854387307
Luciano Hermanns	Dr., Oceanólogo	http://lattes.cnpq.br/0771345308920546
Marianne Schaefer França Sieciechowicz	MSc., Engenharia Ambiental	http://lattes.cnpq.br/5577907738809542
Nicole Machuca Brassac de Arruda	Dra., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/2555202156228591
Patrícia Dammski Borges de Andrade	MSc., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/3040297416264303
Priscila Izabel Tremarin	Dra., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/3229087673435470
Susan da Silva	Tecnóloga em Gestão Ambiental	http://lattes.cnpq.br/6563092431055823
Tomaz Bohrer Brentano	Engenheiro Ambiental	http://lattes.cnpq.br/1685187955178243
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS		
André Virmond Lima Bittencourt	Dr., Engenheiro Químico	http://lattes.cnpq.br/2304114776847879
Ernesto Goldfarb Figueira	MSc., Geólogo	http://lattes.cnpq.br/4401942500945463
Gheysa do Rocio Morais Pires	MSc., Química Ambiental	http://lattes.cnpq.br/2618972397792943
MEIO BIÓTICO		
FLORA		
Fernando Camargo da Silva	Esp., Engenheiro Florestal	http://lattes.cnpq.br/8784632725243557
Flávio Fonseca do Carmo	Dr., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/3978893948218087
Juliano José da Silva Santos	MSc., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/2365223544076944
Luciana Hiromi Yoshino Kamino	Dra., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/9740020349411811
FAUNA SILVESTRE		
Robson Odeli Espíndola Hack	Esp., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/9746099348251654
CETÁCEOS		
Leonardo Liberali Wedekin	Dr., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/1896046647953008
Patrícia Dammski Borges de Andrade	MSc., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/3040297416264303
Robson Odeli Espínola Hack	Esp., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/9746099348251654
Samira Costa da Silva	MSc., Medica Veterinária	http://lattes.cnpq.br/0633669594672967
QUELÔNIOS		
Camila Ghilardi Cardoso Fontanella	MSc., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/6768888804239630
Fabrizio Locatelli Trein	Esp., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/9787718063873855
Letícia de Paulo Koproski	Dra., Medica Veterinária	http://lattes.cnpq.br/3556372314320095

Lucas Reinert Laufer Pereira Mendes	Biólogo	http://lattes.cnpq.br/8111616653190732
Matheus Ferreira de Souza	Médico Veterinário	http://lattes.cnpq.br/2616758728280165
ICTIOFAUNA		
Matheus Oliveira Freitas	Dr., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/5550609084808301
Maurício Belézia de Oliveira	Esp., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/6239819920450961
Vinícius Abilhoa	Dr., Biólogo	http://lattes.cnpq.br/0315094345358871
ECOTOXICOLOGIA		
Luciana Rodrigues de Souza Bastos	Dra., Bióloga	http://lattes.cnpq.br/5026609882283698
MEIO SOCIOAMBIENTAL		
BENS ARQUEOLÓGICOS E CULTURAIS		
Camila Azevedo de Moraes Wichers	Dra., Historiadora	http://lattes.cnpq.br/1268440854810735
Ellen Christine Prestes Ferronato	Esp., Engenheira Ambiental	http://lattes.cnpq.br/4095113991099031
Gabriela Ribeiro Faria	Arquiteta e Urbanista	
Glória Tega-Calippo	MSc., Jornalista	http://lattes.cnpq.br/5685354287267640
Lucas de Paula Souza Troncoso	MSc., Historiador	http://lattes.cnpq.br/6039279007350089
Luciana Bozzo Alves	MSc., Oceanógrafa	http://lattes.cnpq.br/8996132819081810
Luiz Antonio P. de Queiroz	MSc., Historiador	http://lattes.cnpq.br/5102530761530772
Paulo Eduardo Zanettini	Dr., Historiador	http://lattes.cnpq.br/7082884046494039
Rodrigo Silva	Historiador	
VALORAÇÃO ECONÔMICA DE DANOS AMBIENTAIS		
Gleiciane Fernanda de Carvalho Blanc	MSc., Engenheira Ambiental	http://lattes.cnpq.br/2504229052050442
EQUIPE DE APOIO		
Alika Solange Ferraro Pires	MSc., Engenheira Química	http://lattes.cnpq.br/3298740626944749
Cassio Paluch Menini	Engenheiro Químico	http://lattes.cnpq.br/3928241891571165
Fernando Ribas Terabe	MSc., Engenheiro Civil	http://lattes.cnpq.br/8779660471099331
Heloisa Nunes da Motta	Dra., Engenheira Química	http://lattes.cnpq.br/2397275311285980
Henrique Reisdorfer Leite	Geografo	http://lattes.cnpq.br/9699202060197015
Joseane Valente Gulmine	Dra., Química	http://lattes.cnpq.br/6342685330476104
Juliane de Melo Rodrigues	MSc., Engenheira Química	http://lattes.cnpq.br/0795738038871361
Juliano de Andrade	Dr., Engenheiro Química	http://lattes.cnpq.br/8262822300990775

Karime Dawidziak Piazzetta	MSc., Processos Ambientais	http://lattes.cnpq.br/8808958375177172
Kassia dos Santos Kanieski	MSc., Química	http://lattes.cnpq.br/2502706807690600
Kelly Jacqueline Campos Brambilla	MSc., Química	http://lattes.cnpq.br/5492151072187815
Luciane Tulio	MSc., Química	http://lattes.cnpq.br/4270356760335865
Luis Eduardo Soares Mayer	Geografo	http://lattes.cnpq.br/4640846227554410
Luiz Eduardo da Silva Santos	Engenheiro Químico	http://lattes.cnpq.br/2511544322329869
ESTAGIÁRIOS		
Alcides Conte Neto	Estatística	http://lattes.cnpq.br/6629850738248226
Ana Carolina Canossa Becker	Engenharia Civil	http://lattes.cnpq.br/6054762283835269
Angel Aparecida Maia	Geologia	http://lattes.cnpq.br/4055730889405891
Bruna Gomes Dias	Química	
Carolina Valério Leme	Engenharia Ambiental	http://lattes.cnpq.br/9673870579986011
Eduardo Miguel Zanette Correia	Ciências Biológicas	http://lattes.cnpq.br/9916816146000799
Gabriela Massame Ono	Engenharia Ambiental	http://lattes.cnpq.br/5402256742761917
Hauane da Silva Correa	Ciências Biológicas	http://lattes.cnpq.br/3654828416979927
Jaqueline Schmidt	Ciências Biológicas	http://lattes.cnpq.br/2113943688297300
Jéssica Cristina Lozovei	Geografia	http://lattes.cnpq.br/3151692305270284
Luiz Guilherme Tatsch Henriqui	Engenharia Ambiental	http://lattes.cnpq.br/3720037483658594
Mariana Simões Stuckert Fialho	Tecnologia em Processos Ambientais	http://lattes.cnpq.br/6990586044503074
Matheus de Andrade Machado	Engenharia Cartográfica	http://lattes.cnpq.br/1568039676134081
Murilo Radloff Barghouthi	Engenharia Florestal	http://lattes.cnpq.br/9618792830948893
Natalia Martins Azevedo	Engenharia Ambiental	http://lattes.cnpq.br/5770998043434746
Nilo Kruchelski	Engenharia Civil	http://lattes.cnpq.br/4021235461471453
Renan José Alberton Disner	Engenharia Ambiental	http://lattes.cnpq.br/3465652787199534
Vitor Mittelstaedt Alfaro	Engenharia Civil	http://lattes.cnpq.br/4050568861324374

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. CONTEXTUALIZAÇÃO	12
Linha-base	12
Aspectos Metodológicos	12
Área de Estudo	12
3. BASE DE DADOS GEOESPACIAL	19
Armazenamento dos dados geoespaciais e geração de metadados	19
Validação das ortoimagens orbitais	20
4. LINHA-BASE MEIO FÍSICO	22
CLIMA	22
Precipitação	23
GEOLOGIA E GEOTECNIA	24
Contexto Geológico Regional	24
Geologia Estrutural	26
Sismologia	27
Geomorfologia - Morfometria	32
Contexto Geoquímico Regional	34
Processos Minerários	34
Espeleologia	35
Geotecnia	36
Rejeitos de mineração	37
SOLOS	38
Tipos de solo	40
Uso do solo	40
Propriedades químicas do solo – Metais pesados	41
Propriedades físicas do solo	44
HIDROLOGIA	45
Análise fluviométrica	47
Análise hidrossedimentométrica	50
Análise do estágio de assoreamento dos reservatórios	52
Região costeira - aspectos hidrodinâmicos e batimétricos	52

SEDIMENTOS	55
Sedimentos Fluviais.....	57
Macroinvertebrados de água doce	69
Área Estuarina e Costeira.....	70
Bentos de fundos inconsolidados	72
ÁGUAS SUPERFICIAIS FLUVIAIS.....	73
Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água	75
Comunidade fitoplanctônica.....	77
Comunidade zooplanctônica.....	78
ÁGUAS SUPERFICIAIS ESTUARINAS E COSTEIRAS.....	79
Parâmetros físicos e químicos da água	80
Comunidade fitoplanctônica.....	81
Comunidade zooplanctônica.....	82
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	83
Contexto geoquímico.....	84
Contexto hidrogeológico.....	85
5. LINHA DE BASE MEIO BIÓTICO.....	93
ÁREAS DE CONSERVAÇÃO	93
Unidades de Conservação.....	94
Corredor Central da Mata Atlântica	98
Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade	98
Reservas da Biosfera	99
FLORA.....	100
FAUNA SILVESTRE.....	107
Ictiofauna	111
Entomofauna.....	113
Herpetofauna	117
Avifauna	129
Mastofauna	132
ECOTOXICOLOGIA	143
6. LINHA DE BASE BENS ARQUEOLÓGICOS E CULTURAIS.....	147
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	154

1. INTRODUÇÃO

O rompimento da barragem de Fundão, pertencente à Samarco Minerações S/A, ocorreu no dia 5 de novembro de 2015. Com o rompimento, houve a liberação de, aproximadamente, 55 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração (minérios de ferro, água e materiais utilizados na construção da barragem) sobre os rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce (SEDRU, 2016). O rejeito foi sendo transportado por cerca de 663,2 km, desde a cabeceira da bacia hidrográfica do rio Doce, subdistrito de Bento Rodrigues, município de Mariana, estado de Minas Gerais até o oceano Atlântico, município de Regência, estado do Espírito Santo, onde, ao longo de 17 dias, se depositou pelo caminho em diferentes volumes.

Este, que é o maior desastre socioambiental da história do Brasil afetou, de forma direta ou indireta, aproximadamente 1,4 milhão de pessoas de 40 municípios, sendo 36 no estado de Minas Gerais e 4 no Espírito Santo, causando inúmeros danos socioambientais, tais, como: morte e desaparecimento de pessoas; isolamento de áreas habitadas; deslocamento de comunidades; destruição de moradias e estruturas urbanas; fragmentação de *habitats*; destruição de áreas de preservação permanente e vegetação nativa; mortandade de animais de produção e impacto à produção rural; impacto no turismo; restrições à pesca; mortandade de animais domésticos; mortandade da fauna silvestre; mortandade de peixes; impacto na geração de energia elétrica pelas hidrelétricas atingidas; alteração da qualidade e quantidade de água; e impacto no abastecimento público e dessedentação de animais (IBAMA, 2015).

Devido à intensidade do desastre, este foi classificado pela Defesa Civil como desastre de nível IV, o qual corresponde a um “desastre de muito grande porte”, cujos danos são importantes e consideráveis. Estudos apontam que a ocorrência da perda da “memória ecológica” sob os rejeitos e o vasto período de permanência e ação dos metais pesados liberados pela tragédia sob os ecossistemas demandarão extenso tempo de recuperação, que poderá variar entre décadas a cerca de um século. Todavia, somente por meio de amplos estudos ambientais é que será possível conhecer, exatamente, a composição e os efeitos desses rejeitos sobre o ambiente, bem como fazer uma previsão sobre o tempo de depuração e recuperação das áreas atingidas (ESCOBAR, 2015; IBAMA, 2015; ORGANON, 2015; PINTO-COELHO, 2015; SILVA; FERREIRA; SCOTTI, 2015; ESPINDOLA et al., 2016; FERNANDES et al., 2016; FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016; LEONARDO et al., 2017).

Nesse contexto, cabe aos Institutos Lactec a realização do diagnóstico dos danos socioambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão, ao longo da bacia do rio Doce e da zona costeira adjacente, conforme previsto no item 1.8.1 do Termo de Ajustamento Preliminar firmado entre o Ministério Público Federal, Samarco Mineração S/A, Vale S/A e BHP Billiton Brasil Ltda. As atividades dos Institutos incluem assessoria técnica ao MPF-MG, além da realização de coletas, pesquisas e análise de dados de materiais da região, de modo a identificar as mudanças nos meios físico, biótico e de bens arqueológicos e culturais para obtenção de um quadro detalhado dos impactos ambientais provocados ou intensificados pelo desastre.

Os serviços iniciaram-se em março de 2017 e, para sua execução, foi criada uma equipe multidisciplinar composta por pesquisadores dos Institutos Lactec e consultores especialistas em várias áreas do conhecimento, como engenharia civil e ambiental, geologia, geofísica, química aplicada, geomática, espeleologia, hidráulica, hidrologia, oceanografia, agronomia, botânica, biologia, arqueologia, história, entre outras. O levantamento dos danos teve início com a caracterização do ambiente afetado previamente ao desastre. Essa caracterização, denominada linha-base, realizada para os meios físico, biótico e de bens arqueológicos e culturais para a região afetada pelo rompimento da barragem de Fundão, fornece os subsídios e métricas para mensuração dos impactos advindos do desastre. Além disso, permite identificar as áreas diretamente afetadas, delimitando a extensão dos danos. A linha-base remete, prioritariamente, a um cenário tendencial extrapolado a partir de dados prévios e históricos da área de estudo. Por tratar-se de um estudo multidisciplinar, apresenta informações baseadas nos fundamentos das áreas de conhecimento abrangidas, sendo concebido de forma a atingir um nível de objetividade e clareza conceitual que permita servir de base para o estabelecimento da magnitude dos danos ambientais advindos do desastre.

O presente relatório de linha-base é dividido em capítulos, os quais foram subdivididos em itens, ou tópicos e complementados/ilustrados por figuras, gráficos, quadros e tabelas, e referências bibliográficas. Este trabalho inicia-se com a contextualização do trabalho, conceituação da linha-base, a descrição dos aspectos metodológicos e da área de estudo. Em seguida, dar-se-á a apresentação da linha-base do meio físico, abrangendo os temas: clima, geologia e geotecnia, solos, hidrologia, sedimentos, águas superficiais fluviais, estuarinas e costeiras e subterrâneas. Na sequência, apresenta-se a linha-base do meio biótico, com os temas: áreas de conservação, flora, fauna silvestre e ecotoxicologia e, por fim, bens arqueológicos e culturais. Cabe ressaltar que o presente relatório será continuamente atualizado, visto que a obtenção de informações pretéritas ao desastre será constante, ao longo de todo o trabalho, até a consolidação do diagnóstico dos danos socioambientais.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

LINHA-BASE

A adequada mensuração dos impactos advindos de um desastre ambiental é realizado com base em uma situação preexistente do ambiente, denominada de linha-base, a qual traz informações relativas ao estado do ambiente da forma mais atualizada possível. A linha-base é estabelecida por meio da coleta de dados, classificação e descrição das condições ambientais da área em questão. Existem dois tipos principais de dado de linha-base: os determinados e os indeterminados. Os dados determinados são todos os dados intimamente relacionados com o desastre, já os indeterminados são aqueles que, apesar de não estarem diretamente relacionados com o desastre podem ocorrer (ASARECA, 2010). Os dados de linha-base permitem dimensionar a escala de danos do desastre em relação à degradação ambiental existente antes do desastre. Permitem, ainda, o entendimento sobre as potencialidades de afetar os sistemas sociais e ambientais, levando em consideração as vulnerabilidades e capacidade de resiliência desse sistema, focando-se nos componentes-chave ambientais identificados durante o exercício de levantamento de informações (ECLAC, 2003; OECD, 2006; EUROPEAN UNION, 2008; THERIVEL, 2004 apud SANTOS et al., 2010).

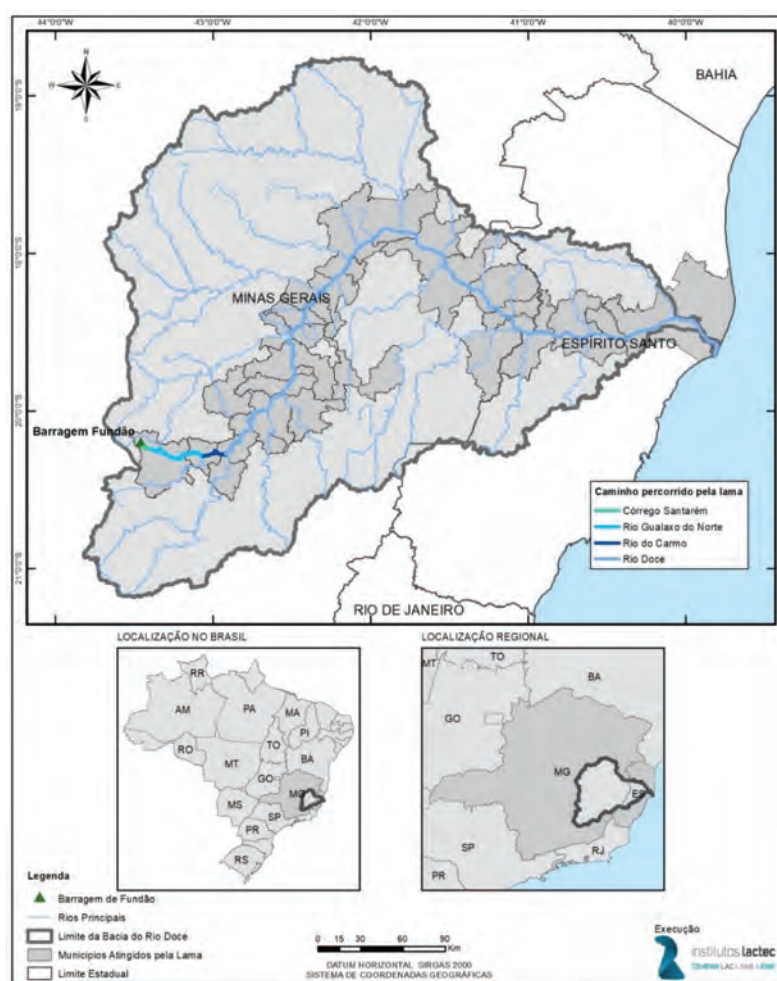
ASPECTOS METODOLÓGICOS

O estudo de linha-base iniciou-se com o levantamento bibliográfico sobre a região potencialmente afetada pelo desastre, por meio de bases cartográficas, de informações georreferenciadas primárias e secundárias, bem como de estudos previamente desenvolvidos na área. A obtenção de dados cartográficos de fontes confiáveis torna-se fundamental para subsidiar o trabalho multidisciplinar. Ademais, a busca pela legislação ambiental aplicável em cada tema nas esferas federal, estadual e municipal forneceu subsídios para caracterização da condição ambiental antes do desastre. Realizou-se, ainda, um extenso levantamento bibliográfico em trabalhos publicados (artigos científicos, dissertações, teses, capítulos de livros, livros, resumos de congressos), Estudos de Impacto Ambiental (EIAs), relatórios técnicos, dados de monitoramentos e documentos em geral, os quais tivessem relação aos temas de estudo na bacia do rio Doce. Adicionalmente, houve busca de informações em órgãos oficiais, universidades, instituições de pesquisa e demais entidades, bem como trabalhos de campo para complementação, validação ou refinamento dos dados secundários encontrados.

ÁREA DE ESTUDO

A realização do diagnóstico socioambiental teve início com a definição da área de estudo, a qual foi delimitada considerando um amplo nível de abrangência, além de uma escala e dados de referência compatíveis, para uma análise uniforme e conjunta das informações disponíveis da região impactada de acordo com os diferentes temas. Assim, a área de abrangência deste estudo engloba a bacia hidrográfica do rio Doce, desde suas nascentes, em Minas Gerais, até sua foz e região costeira no litoral do Espírito Santo, onde o rio deságua no oceano Atlântico (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área de estudo.



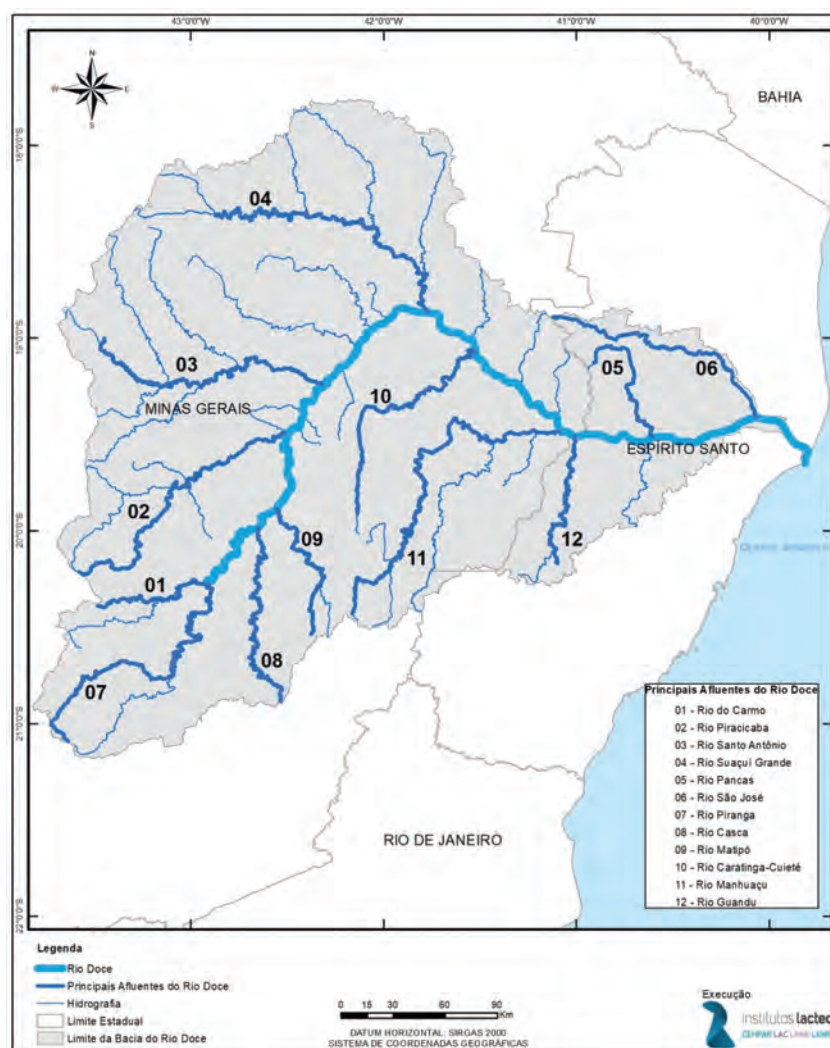
Visando também à análise em uma escala mais específica, adotou-se a definição de área afetada, a qual contempla a área em que o rejeito oriundo do rompimento da barragem atingiu diretamente os cursos de água e seus afluentes, desde o local do rompimento no município de Mariana (MG) até a sua foz em Regência (ES). Essa área foi delimitada a partir da análise temporal de imagens satelitais disponibilizadas, criando-se um limite físico da área atingida pela lama de rejeitos.

É importante ressaltar que essas definições adotadas para a linha-base são uma primeira referência para o desenvolvimento dos estudos e, portanto, têm caráter preliminar, podendo sofrer revisão ao longo do desenvolvimento do diagnóstico ambiental, à medida que novas informações serão colhidas e passíveis de análise mais detalhada. Além disso, dentro de cada temática estudada, outra escala de abordagem e grau de detalhamento poderão ser definidos conforme a necessidade e, caso sejam elencados, serão comentados em seus respectivos itens no presente relatório.

A bacia hidrográfica do rio Doce é considerada a quinta maior bacia hidrográfica brasileira, com uma área de drenagem de 83.400 km², a qual atravessa o território de dois estados da região Sudeste do Brasil, Minas Gerais e Espírito Santo. O estado de Minas Gerais detém 86% da área de drenagem dessa bacia, enquanto no estado do Espírito Santo, a área de drenagem representa 14%. A mesma delimita-se ao sul com a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e bacias do litoral sul do Espírito Santo, a sudoeste com a bacia hidrográfica do rio Grande, a oeste com a bacia hidrográfica do rio São Francisco, ao norte e noroeste com a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha e a nordeste com as bacias do litoral norte do Espírito Santo. Dentro do estado de Minas Gerais, a bacia hidrográfica do rio Doce é subdividida em seis Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRHs), as quais correspondem às seguintes sub-bacias e seus respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs): rio Piranga (DO1), rio Piracicaba (DO2), rio Santo Antônio (DO3), rio Suaçuí (DO4), rio Caratinga (DO5) e rio Manhuaçu (DO6). No Espírito Santo, não há subdivisões administrativas, mas sim CBHs, a saber: dos rios Santa Maria do Doce, Guandu e Pontões e lagoas do rio Doce (e.g., CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; CBH-DOCE, 2014; ANA, 2016a).

O rio Doce, especificamente, tem suas nascentes no planalto do estado de Minas Gerais, nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço, com altitudes superiores a 1.100 metros, e é subdividido em: Alto curso – desde as cabeceiras na Serra da Trapizonga até a foz do rio Matipó; Médio curso – desde a confluência do rio Matipó até a divisa de MG/ES – foz do rio Manhuaçu, na cidade de Aimorés; Baixo curso – da divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo até a foz do rio Doce. O rio nasce exatamente na confluência dos rios Piranga e do Carmo, na região denominada de Alto rio Doce. A extensão territorial percorrida pelas águas desse rio é de cerca de 880 km até que atinja o oceano Atlântico, na região de Regência, no Estado do Espírito Santo. Seus principais afluentes pela margem esquerda são os rios: Piracicaba, Santo Antônio e Suaçuí Grande, em Minas Gerais, Pancas e São José, no Espírito Santo; pela margem direita são os rios: Casca, Matipó, Caratinga-Cuieté e Manhuaçu, em Minas Gerais, e Guandu, no Espírito Santo (Figura 2 – Localização e principais rios formadores da bacia hidrográfica do rio Doce.) (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; CBH-DOCE, 2014; ANA, 2016a).

Figura 2 – Localização e principais rios formadores da bacia hidrográfica do rio Doce.



Fonte: Consórcio Ecoplan-Lume (2010), validado por Institutos Lactec.

A região da foz do rio Doce encontra-se no município de Linhares, Espírito Santo, onde o rio Doce deságua no oceano Atlântico. A região costeira do Espírito Santo localiza-se no chamado Litoral Oriental, o qual se estende de Salvador (BA) a Cabo Frio (RJ), e apresenta uma transição entre os litorais norte e sul, apresentando características de ambos (MUEHE; SEQUEIRA GARCEZ, 2005; TESSLER; GOYA, 2005). A plataforma continental desse litoral varia de 30 a 200 km de extensão, sendo a maior delas na área de influência de Abrolhos (TESSLER; GOYA, 2005). A corrente oceânica de maior influência na região é a Corrente do Brasil (CB), a qual está associada ao Giro Subtropical do Atlântico Sul. A região da CB é formada pelo empilhamento das seguintes massas de água: Água Tropical (AT) – águas quentes e salinas, com temperaturas maiores do que 20 °C e salinidade acima de 36 ups; Água Central do Atlântico Sul (ACAS) – temperaturas entre 6 e 20 °C, e salinidade entre 34,6 e 36 ups; Água Intermediária Antártica (AIA) – águas com temperatura entre 3 e 6 °C e salinidade 34,2 e 34,6 ups; Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) – temperaturas entre 3 e 4 °C e salinidade entre 34,6 e 35 ups (SILVEIRA et al., 2000).

De modo geral, as rochas encontradas a oeste da área de estudo, no alto curso do rio Doce, nas proximidades da barragem de Fundão, são pertencentes à histórica província geológica do Quadrilátero Ferrífero (QF), descrita por Dorr et al. (1959) como uma clássica geoprovinha auríferá de idade pré-cambriana. Nessa região encontram-se as mais importantes jazidas de ferro de Minas Gerais. Na sequência, sentido leste, na porção centro-oeste da área estudada, ocorre ampla variação de rochas alcalinas, graníticas, migmatíticas, gnáissicas e vulcano-sedimentares, de idades que vão do Paleoproterozoico ao Neoproterozoico. Por fim, a leste, as sequências proterozoicas dão lugar a domínios de rochas cenozoicas, formadas por sedimentos inconsolidados a semiconsolidados resultantes dos processos intempéricos atuantes sobre essas sequências ao longo do tempo geológico. Em toda a extensão da bacia do rio Doce são encontradas 15 classes de solos, sendo que a maioria é do tipo latossolo vermelho-amarelo, argissolo vermelho e latossolo vermelho, com 50, 14 e 13% de representatividade da área da bacia do rio Doce, respectivamente (EMBRAPA, 1978; FEAM, 2010).

Noventa e oito por cento da área da bacia hidrográfica do rio Doce se encontra no bioma Mata Atlântica, um dos mais importantes e ameaçados do mundo (atualmente reduzido a menos de 7% da sua área original), os 2% restantes estão inseridos no bioma Cerrado (CBH-DOCE, 2014; ANA 2016a; SOS MATA ATLÂNTICA, 2017). Esses biomas apresentam elevada riqueza de espécies, com altos índices de ocorrência de espécies endêmicas (ou seja, com distribuição geográfica restrita à região), das quais muitas encontram-se ameaçadas de extinção (BRASIL, 2000a; BRASIL, 2003; MACHADO; DRUMMOND; PAGLIA, 2008).

Duzentos e vinte e cinco municípios compõem a bacia hidrográfica do rio Doce, sendo eles total ou parcialmente inseridos na área de abrangência da bacia, onde 200 deles localizam-se em território mineiro e 25 em território capixaba, os quais totalizam cerca de 3,6 milhões de habitantes (ANA, 2016a; ESPINDOLA et al., 2016; LEONARDO et al., 2017). Os recursos hídricos dessa bacia são essenciais para a população de toda a área por ela drenada, uma vez que sua água é destinada a diferentes usos, tais como: doméstico, industrial, agropecuário e geração de energia (ANA, 2016a; ESPINDOLA et al., 2016). Dos 225 municípios, 209 dependem exclusivamente da captação de águas superficiais, sendo que oito destes retiram água diretamente do rio Doce.

Conforme descrito pela Agência Nacional de Águas (ANA 2016a), a bacia apresenta um quadro de grande supressão da cobertura vegetal, estando os remanescentes florestais restritos às áreas mais declivosas do terreno. As pastagens encontram-se bastante degradadas, com baixa cobertura do solo, intenso pisoteio e compactação, o que proporciona uma superfície suscetível à erosão do solo, formando volumes expressivos de sedimentos que são carregados aos cursos d'água. O assoreamento tem sido apontado em diversos estudos como um dos sérios problemas dessa bacia, especialmente na região do Baixo rio Doce, o qual recebe elevada carga de sedimentos provenientes de diferentes atividades antropogênicas das áreas a montante do rio, especialmente do Médio rio Doce, entre o estado de Minas Gerais e o Espírito Santo (e.g., CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; ANA, 2016a).

Os rios, córregos e várzeas da região refletem os prejuízos causados pela quase inexistência de sistema de tratamento de esgotos, pelos despejos inadequados advindos da mineração e demais indústrias da região, pelo uso indiscriminado de agrotóxicos nas lavouras etc. A bacia está sujeita à ocorrência de inundações ocasionadas pela ocupação irregular, condicionada pelo relevo da planície de inundação onde algumas cidades da região estão localizadas e são, durante os períodos de chuva mais severos, castigadas pelo alagamento parcial resultando em graves prejuízos à região (e.g., CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; CBH-DOCE, 2014; ANA, 2016a).

Durante os séculos XVI e XVII, as principais atividades econômicas da área eram o plantio de cana-de-açúcar e a extração de ouro. No século XIX, a produção cafeeira teve sua ascensão seguida pela descoberta do QF no início do século XX (ALMEIDA et al., 2004; LIMA, 2016). Atualmente, as atividades na região são bastante diversificadas, tais como: agropecuária (cultura de café, cana-de-açúcar, criação de gado de corte e leiteiro, suinocultura), agroindústria (produção de açúcar e álcool), atividade madeireira (indústrias de celulose, reflorestadoras), comércio e serviços voltados aos complexos industriais e geração de energia elétrica. Encontram-se, atualmente, em operação nessa bacia 10 Usinas Hidrelétricas (UHEs), sendo 4 delas localizadas no rio Doce e 6 em seus afluentes (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; ANA, 2016a).

O maior complexo siderúrgico da América Latina, com diversas empresas do ramo de siderurgia, e as maiores empresas de mineração (para extração de ferro, ouro, bauxita, manganês, pedras preciosas e outros) fica localizado na região abrangida pela bacia, compondo os chamados Vale do Aço e QF. Estas, que representam atividades econômicas muito importantes para a arrecadação do estado de Minas Gerais e Espírito Santo, são, também, as maiores responsáveis pela pressão sobre os recursos naturais da bacia, especialmente nas cabeceiras dos rios Piracicaba e Carmo, onde se concentram o maior número de lavras.

De acordo com a Codesa (2014) e com o *site* do governo do estado do Espírito Santo (2017), no litoral capixaba, região que inclui a foz do rio Doce, existem 18 portos, por onde são escoados os produtos das diferentes indústrias da região. Destes, somente o Porto de Vitória transportou cerca de 3,4 milhões de toneladas de minérios em 2014. As principais vias de acesso terrestre aos portos, ou, ainda, dos portos às capitais estaduais e demais regiões populosas e potenciais beneficiários desses produtos, são as rodovias federais inseridas no entorno da bacia do rio Doce. Além das rodovias, existe a linha férrea, especificamente a Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), que liga o município de Belo Horizonte a Vitória numa extensão de 898 km passando pelo Vale do Aço. Essa ferrovia foi incorporada pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) em 1940 e é utilizada, principalmente, para o transporte de produtos oriundos da região (minério de ferro, carvão mineral, calcário, ferro, aço, produtos agrícolas etc.), além de ser uma das poucas ferrovias que realizam o transporte de passageiros (BRASIL, 2006; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

Embora o baixo rio Doce seja a porção mais conservada de toda a bacia, esta passou por intenso processo de ocupação, transformação e interferências diretas no canal principal, como, por exemplo, a transposição do rio Doce, junto à sua foz, para o abastecimento de uma indústria de papel e celulose, alterando as características naturais do rio nessa região (BRASIL, 2006; TEIXEIRA, 2010). Além disso, essa porção da bacia já apresenta claros sinais dos impactos causados pelas atividades antropogênicas, onde o mais marcante desses impactos é o assoreamento, mas, também, apresenta uma extensa área alterada por atividades de mineração, extração de areia, agricultura, construção de canais para drenagem de água e reflorestamento (FIGUEIREDO et al., 2014; APRILE; LORANDI; SIQUEIRA, 2016; LEONARDO et al., 2017). É válido ressaltar, ainda, que o maior adensamento populacional ocorre nos municípios de Ipatinga (região metropolitana do Vale do Aço), Governador Valadares, Aimorés, Colatina e Linhares, e que mais de 100 dos municípios possuem população rural, que sobrevive da exploração agropecuária, em proporções superiores à urbana (ALMEIDA et al., 2004; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

3. BASE DE DADOS GEOESPACIAL

Armazenamento dos dados geoespaciais e geração de metadados

Tendo em vista trabalhar com uma base de dados cartográficos única e devidamente validada para a elaboração da linha-base, criou-se um ambiente virtual repositório para todos os dados geoespaciais utilizados no âmbito do diagnóstico ambiental. Além disso, também foram estabelecidos procedimentos para o armazenamento desses dados no ambiente repositório. De modo geral, os procedimentos estabelecidos asseguram a integridade das informações de origem e a qualidade dos produtos finais cartográficos.

O sistema repositório e procedimentos estabelecidos visam atender aos seguintes objetivos:

- gerar uma central de dados de origem, onde estes possam ser compartilhados e utilizados para as demandas de produção cartográfica quando necessário;
- criar um mecanismo para identificar qual dado ou camada de informação cartográfica existe, a sua qualidade, como acessá-lo e como utilizá-lo;
- obter dados cartográficos de fontes confiáveis e que atendam aos objetivos e escopo do projeto;
- manter a integridade dos dados de origem;
- identificar, coletar e gerar os metadados para diversas camadas de informações, oriundas de variadas fontes, as quais eventualmente sejam utilizadas no desenvolvimento do projeto;
- gerar informações para os novos dados cartográficos produzidos no decorrer do projeto, com o intuito de descrever o conteúdo, a condição, o histórico, a localização, a abrangência e as limitações dos dados geoespaciais;
- estruturar os dados cartográficos de forma a serem compreendidos pelos programas e computadores conectados à internet.

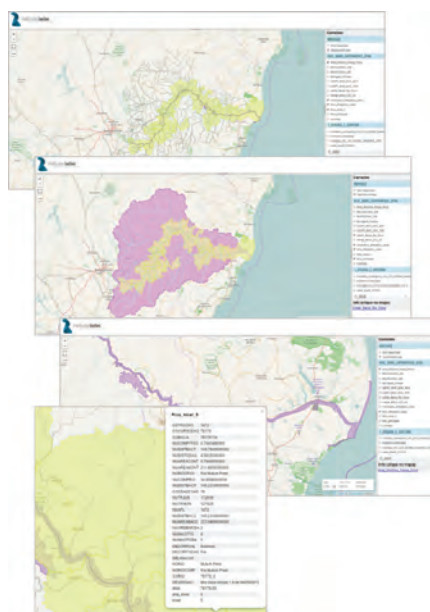
Inicialmente, todos os dados geoespaciais identificados como passíveis de uso ao diagnóstico tiveram seus metadados incluídos, nos quais estão descritos os respectivos métodos de produção, conteúdo, fonte de criação, sistema de referência entre outros dados. Essas informações foram obtidas a partir dos sites de origem (ANA, MMA, etc.) ou mesmo nos catálogos oficiais do IBGE e da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). Em seguida, estes foram inseridos em um ambiente de servidor virtual.

Posteriormente, os dados geoespaciais foram avaliados quanto aos critérios de origem/fonte, completude, escala e sistema de referência, destacando-se que alguns arquivos foram convertidos para o Datum SIRGAS2000, com objetivo de atender à Resolução R.PR – nº 1, de 25 de fevereiro de 2005, do IBGE. A referida resolução estabelece como novo sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional

(SCN), o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS 2000). Após a validação os dados geoespaciais, foram liberados para o uso de todas as áreas envolvidas no projeto.

De modo a compartilhar os dados geoespaciais disponíveis com todos os setores envolvidos, foi também desenvolvido um visualizador de dados geoespaciais em ambiente web, usando tecnologias de código aberto: sistema operacional Ubuntu, Apache WebServer, MapServer e linguagens de programação PHP e *framework* JavaScript Leafletjs. Essa ferramenta tem por finalidade tornar amigável o acompanhamento da evolução da carga de dados e sem necessitar do uso de programas específicos (Figura 3).

Figura 3 – Ferramenta desenvolvida para a visualização dos dados geoespaciais em ambiente web.



Validação das ortoimagens orbitais

Subsidiando o trabalho desenvolvido pelas equipes multidisciplinares, a análise temporal através de imagens orbitais das áreas atingidas pela lama permite estudar as condições do ambiente anteriores ao desastre em questão, fornecendo elementos para a linha-base e, posterior ao desastre, fornecendo elementos para o diagnóstico ambiental e avaliação de danos.

As imagens orbitais disponibilizadas foram divididas em três grupos T0, T1 e T2 para a análise temporal, conforme descrição abaixo:

- T0: imagens pré-desastre, relativas ao período de 21/01/2015 a 05/11/2015;
- T1: imagens pós-desastre, relativas ao período de 06/11/2015 a 08/01/2016;
- T2: imagens pós-desastre, relativas ao período de 05/02/2016 a 10/03/2016.

As ortoimagens orbitais relativas aos períodos pré e pós-desastre (T0, T1 e T2), passaram por uma avaliação quanto à precisão e acurácia, a fim de se determinar a escala dos produtos cartográficos a serem obtidos a partir dessas imagens. Conclui-se que todos os produtos cartográficos gerados por meio desses insumos disponibilizados deverão se limitar à escala 1:20.000. Com base na classificação do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) e da escala definida (1:20.000), os produtos cartográficos apresentarão Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), classe A.

4. LINHA-BASE MEIO FÍSICO

Neste capítulo é apresentada a descrição e análise da área de estudo por meio de levantamentos de componentes e processos do meio ambiente físico e de suas interações, fornecendo um retrato da situação pré-desastre.

CLIMA

O clima de determinado local é definido pela média das condições do tempo ao longo de um período relativamente extenso (CAVALCANTI et al., 2009). Os elementos constitutivos do clima são três: a temperatura, a umidade e a pressão atmosférica, que interagem na formação dos diferentes climas da Terra. Todavia, esses elementos, em suas diferentes manifestações, variam no espaço e no tempo pela influência dos fatores geográficos do clima, quais sejam: latitude, altitude, maritimidade, continentalidade, vegetação e atividades humanas (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O macroclima de Minas Gerais se caracteriza por uma sazonalidade responsável por duas estações distintas e bem definidas, um verão úmido e quente e um inverno seco e ameno, bem como outras duas de transição, o outono e a primavera (CUPOLILLO, 2008).

Por ser uma região montanhosa, a bacia do rio Doce apresenta um clima condicionado pela topografia, a qual interfere nas variações de temperaturas fazendo com que estas variem de muito baixas a elevadas ao longo do ano ou, ainda, sejam quase nulas nas áreas sob influência de maresia. Além disso, pela região estar relativamente perto do Atlântico, as massas de ar originadas no oceano têm forte influência no clima, como as massas de ar: Tropical Atlântica (MTA) e Polar Atlântica (MPA), além da Equatorial Continental (MEC), caracterizada pelas correntes de oeste. A MEC atua na primavera e no verão causando altas temperaturas médias anuais (CUPOLILLO et al., 2008).

Desse modo, segundo a classificação climática de Köppen, identificam-se basicamente três tipos climáticos na região: tropical de altitude com verões frescos e chuvosos, presente nas vertentes das serras da Mantiqueira e do Espinhaço e nas nascentes do rio Doce; tropical de altitude com verões quentes e chuvosos, presente nas nascentes de seus afluentes; e clima quente com chuvas de verão presente nos trechos médio e baixo do rio Doce e de seus afluentes. De modo geral, as temperaturas são elevadas a maior parte do tempo na bacia, com exceção das regiões altas. As temperaturas médias da região variam entre 18 e 24,6 °C (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; CBH-DOCE, 2014).

O regime pluviométrico, ou de chuvas, se caracteriza por dois acentuados períodos distintos: o período chuvoso, que se estende de outubro a março, com índices pluviométricos maiores em dezembro; e o período seco, que vai de abril a setembro, com estiagem mais acentuada de junho a agosto. Durante o período chuvoso as médias pluviométricas variam entre 800 e 1.300 mm. No período seco, essa variação fica entre 150 e 250 mm. Observa-se que a área do Médio rio Doce é a mais afetada por estiagem ao longo do ano, enquanto que a parte litorânea no estado do Espírito Santo é a porção mais chuvosa (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; CBH-DOCE, 2014).

O regime fluvial do rio Doce é permanente e, de modo geral, acompanha a quantidade de chuva da bacia, sendo este o foco do estudo de clima para a linha-base.

Precipitação

A precipitação corresponde à quantidade de água resultante da condensação do vapor de água na atmosfera, que cai na superfície na forma líquida (dando origem à chuva) ou na forma sólida (dando origem à neve ou ao granizo). Exerce um papel importante no ciclo hidrológico onde a água retorna à atmosfera após a evaporação.

A medição da precipitação é realizada por aparelhos chamados de pluviômetros e pluviógrafos. Ela pode também ser medida por meio de radares meteorológicos ou imagens de satélites. Nesse caso, não é uma medição propriamente dita e sim uma estimativa da precipitação através de medição de outros parâmetros que estão correlacionados com a precipitação (SANTOS et al., 2001).

A precipitação sobre uma bacia hidrográfica é estimada através das leituras de uma rede de estações pluviométricas (onde se tem pluviômetros), e, por meio de técnicas de interpolação, se obtêm valores de precipitação para qualquer local da bacia. Através de método que calcule uma média ponderada, se obtêm o valor para a bacia com um todo.

A Figura 4 apresenta a rede de monitoramento de 69 estações pluviométricas selecionadas para o presente estudo. O mapa de precipitação foi gerado a partir da média dos totais anuais de cada estação para a bacia do rio Doce (Figura 5). Pelo mapa é possível notar que a barragem de Fundão está localizada na região de maior pluviosidade da bacia do rio Doce (sudoeste da bacia).

Figura 4 – Rede de monitoramento selecionada para as análises pluviométricas.

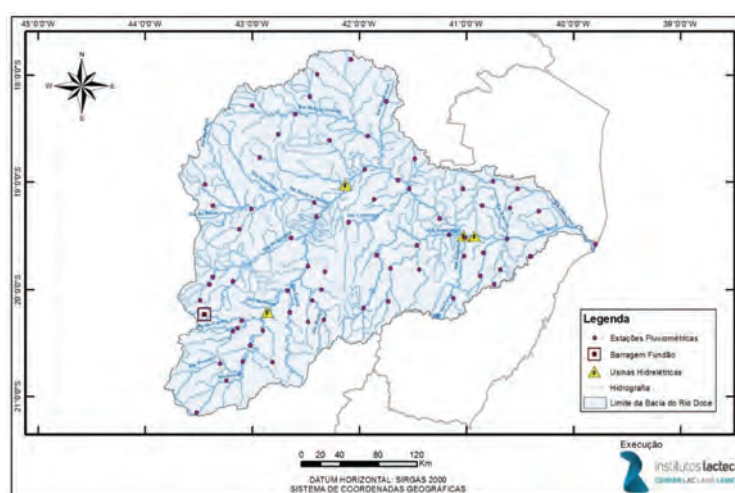
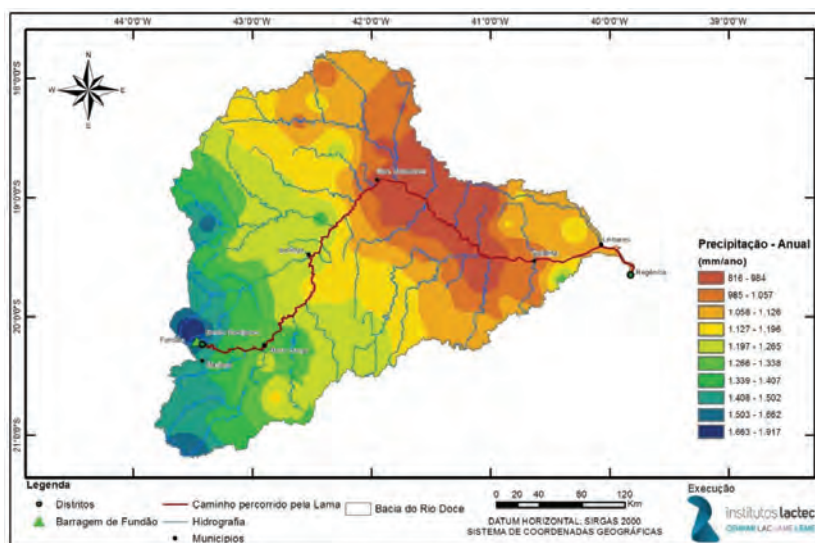


Figura 5 – Totais anuais de precipitação para a bacia do rio Doce.



GEOLOGIA E GEOTECNIA

Para a descrição de linha-base, é necessário resgatar o conhecimento geológico-geotécnico da área de estudo, considerando que a geologia está intrinsecamente relacionada aos diversos aspectos do meio físico, entre os quais destacam-se o relevo, a geomorfologia, as drenagens superficiais e subterrâneas, os solos e os sedimentos e, sobretudo, os recursos minerais. Seu entendimento e caracterização, são de fundamental importância para a compreensão dos diversos processos naturais atuantes na área de estudo e, conseqüentemente, servem de base para a avaliação dos impactos ambientais causados pelo rompimento da barragem de rejeitos.

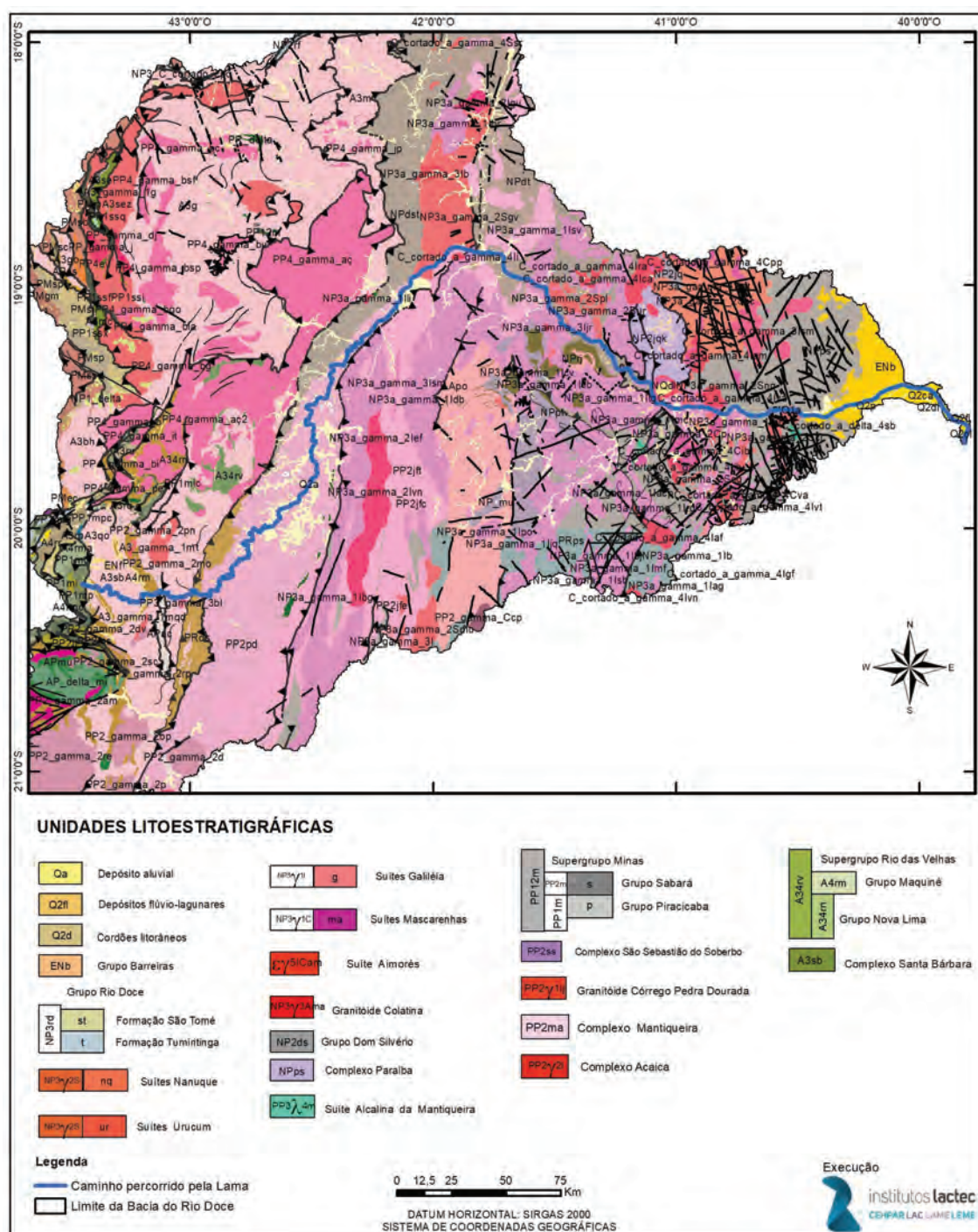
Além de informações sobre o contexto geológico regional e local, nesta seção estão abordadas, também, as considerações sobre a geologia estrutural, a geomorfologia, a geoquímica, os processos minerários, as mineralizações associadas e as informações do acervo espeleológico.

Contexto Geológico Regional

Devido à grande extensão da área que compreende a bacia hidrográfica do rio Doce, ocorrem diversos tipos de rocha. De acordo com o mapa geológico da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), na área afloram rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, cujas idades vão desde o Arqueano (2,6 Ga) até o Cenozoico (presente).

De modo geral as rochas que ocorrem no alto curso do rio Doce são pertencentes ao QF, uma geoprovíncia auríferífera do período pré-cambriano. Nessa região encontram-se as jazidas de ferro de Minas Gerais, com depósitos de Itabirito (*banded iron formation* - BIF), conhecidos como Formação Cauê. Na sequência, no médio curso do rio Doce, ocorrem essencialmente rochas graníticas e gnáissicas. No baixo curso do rio Doce, encontram-se os domínios de rochas cenozoicas, formadas por sedimentos inconsolidados a semiconsolidados da Formação Barreiras (DORR et al., 1959). Na Figura 6, é apresentada uma imagem do mapa geológico que engloba a bacia do rio Doce contendo cada uma dessas unidades litoestratigráficas.

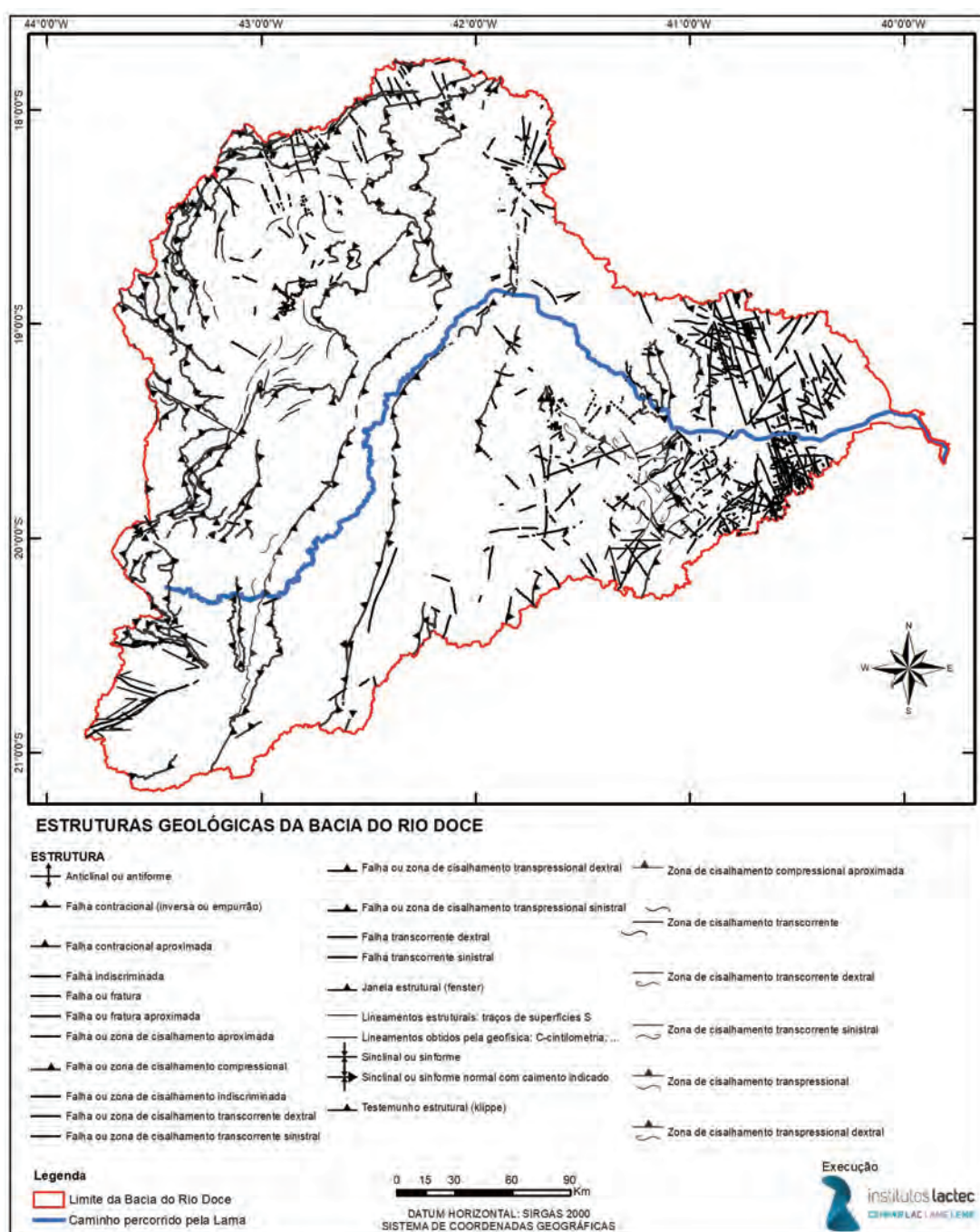
Figura 6 – Imagem do Mapa Geológico que engloba a bacia do rio Doce. Modificado de Mapa Brasil ao Milionésimo SF 23 – Rio de Janeiro, SE 23 – Belo Horizonte, SF 24 – Vitória e SE 24 – Rio Doce da CPRM, mapeamento realizado na escala 1:1.000.000.



Geologia Estrutural

Considerando que as estruturas geológicas podem condicionar e controlar o fluxo de água superficial e, sobretudo, o fluxo de água subterrânea, seu entendimento é de fundamental importância para os estudos hidrogeológicos relacionados às análises ambientais, conforme apresentado na Figura 7. O entendimento das estruturas geológicas auxilia nos estudos geomorfológicos e hidrogeológicos voltados às análises ambientais e eventuais degradações/contaminações dos aquíferos.

Figura 7 – Mapa estrutural da Bacia do rio Doce. Modificado de Mapa Brasil ao Milionésimo SF 23 – Rio de Janeiro, SE 23 – Belo Horizonte, SF 24 – Vitória e SE 24 – Rio Doce da CPRM, (2004), mapeamento realizado na escala 1:1.000.000.



A região do QF apresenta dois grupos de famílias de estruturas geradas em dois períodos orogenéticos principais: o período Transamazônico, que foi responsável pela geração de megadobras da região; e o período Brasileiro, que foi responsável pelos redobramentos, falhamentos e cavalgamentos, ambos sob condição de metamorfismo regional (MARSHAK; ALKMIM 1989; CHEMALE JR.; ROSIÈRE, ENDO 1992).

Sismologia

Embora o Brasil esteja situado na margem passiva da Placa Sul-Americana, com frequência ocorrem pequenos tremores, associados principalmente aos chamados esforços intraplacas, resultantes, sobretudo, da acomodação de estruturas geológicas, como as falhas e as fraturas.

Eventualmente, na região Sul e Sudeste do país, são registrados também sismos em pequena escala, magnitudes aproximadas de até 4,0 na escala Richter, reflexos de atividades tectônicas que ocorrem na cordilheira andina, cujo epicentro, nesses casos, normalmente situa-se a milhares de quilômetros do território nacional.

Veloso (2016) afirma que tremores no Brasil sempre ocorreram e, no passado, estes aconteceram na mesma frequência dos dias atuais. O autor relatou que pequenos tremores são registrados com frequências diárias por estações sismográficas de alta sensibilidade.

As estações sismológicas localizadas em diversos países coletam informações sobre os sismos em sismógrafos. Em 1931, havia, aproximadamente, um total de 350 estações que operavam no mundo. O aumento do número das estações e a rápida transmissão de dados permitem aos centros de sismologia localizar um maior número de eventos, os quais não poderiam ser detectados em épocas passadas. O Instituto Nacional de Sismologia dos EUA (National Earthquake Information Center - NEIC,) registra, aproximadamente, 20.000 sismos por ano, ou seja, mais de 50 sismos por dia. Com o desenvolvimento nas comunicações, aumentou também o interesse da população em obter informação sobre os desastres naturais (BLANDÓN, 2003). Na Tabela 1, está listada a frequência média de sismos registrados anualmente no mundo (BLANDÓN, 2003).

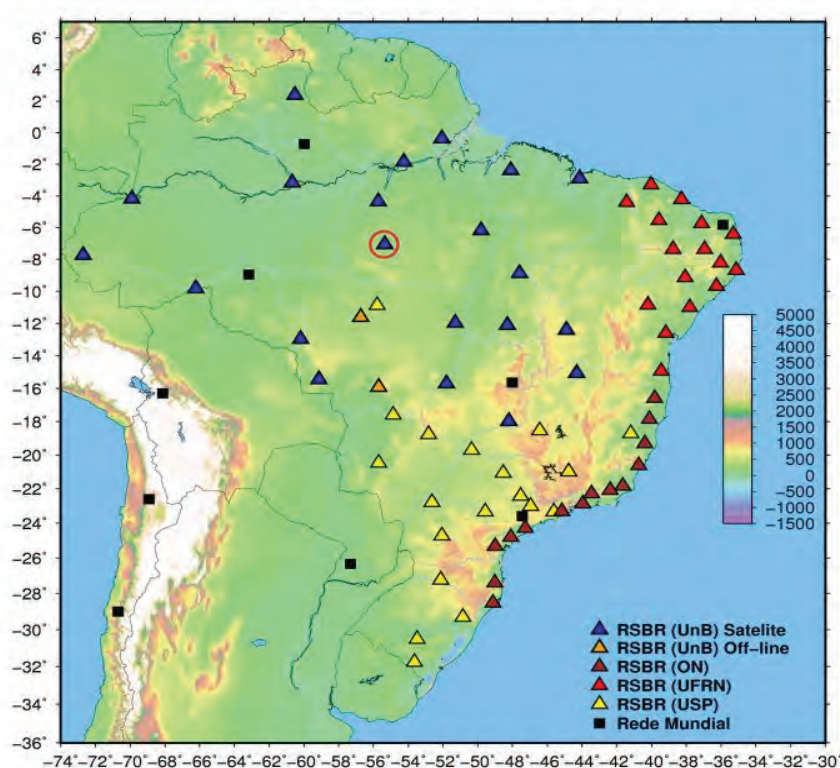
Tabela 1 – Frequência média anual de terremotos no planeta.

Magnitude (escala Richter)	Frequência média de ocorrência por ano
8 - maior	1
7 - 7,9	18
6 - 6,9	120
5 - 5,9	800
4 - 4,9	6.200
3 - 3,9	49.000
< 3	3.240.000

Fonte: Modificado de Blandón (2003).

Os sismos no Brasil são monitorados pela agência governamental vinculada ao Ministério de Ciência e Tecnologia (MCTI), denominada Rede Sismográfica Brasileira (RSBR), conforme apresenta a Figura 8. A aquisição dos dados é realizada em tempo real a partir de uma ampla rede de sismógrafos distribuídos ao longo do território brasileiro. Entre as instituições participantes da RSBR destacam-se, pela sua relevância e atuação, o Observatório Sismológico (OBSIS), vinculado à Universidade de Brasília (UnB), e o Centro de Sismologia da USP, vinculado ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG).

Figura 8 – Configuração da Rede Sismográfica Brasileira – março de 2015.



Fonte: Rocha et al., 2015.

Para França (2016), a RSBR faz o mapeamento de toda a atividade sísmica brasileira e executa a atividade de monitoramento com cobertura em quase todo o território nacional, por meio de estações de banda larga e da transmissão em tempo real, o que é importante no auxílio às atividades de riscos da Defesa Civil.

Os sismos, quando associados a reativações de estruturas geológicas, podem favorecer a circulação do fluxo de água subterrânea e, conseqüentemente, conduzir também eventuais fluidos com poluentes e/ou contaminantes associados aos rejeitos da barragem. Barbosa (1980),

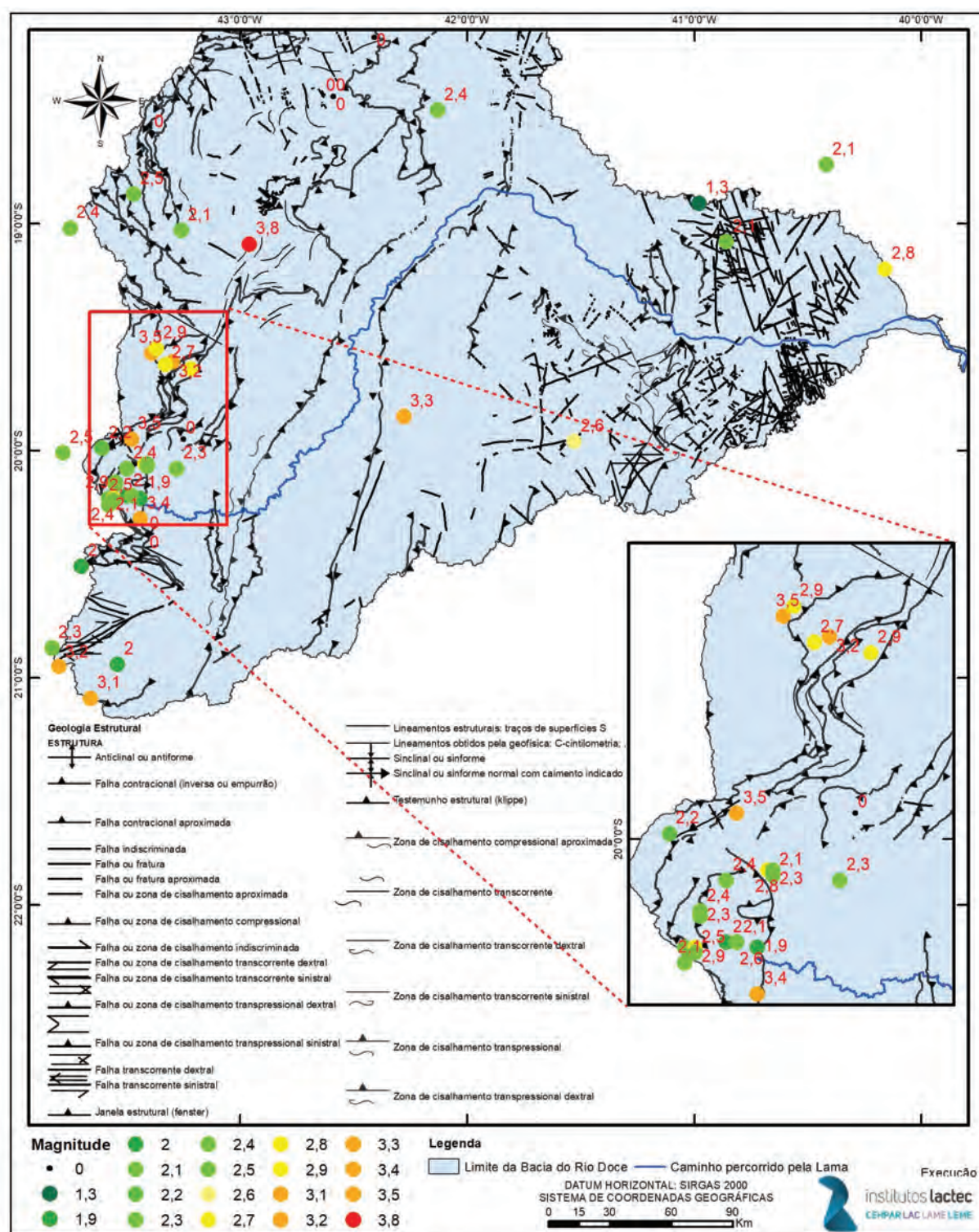
realizando estudos na Serra do Caraça, mencionou as reativações de falhas de empurrão do Ciclo Brasileiro no Mesozoico/Cenozoico, responsáveis pelo controle de superfícies de aplainamento. Igualmente, Almeida (1977) referiu-se a uma reativação tectônica que teria se iniciado no Jurássico Superior e que pode ser a mesma que atingiu a Serra do Caraça. Aparentemente, essa reativação, em parte, aproveitou antigos planos de falhas de empurrão, provavelmente do Ciclo Brasileiro, e apresentavam uma extensão muito menor que os das superfícies cimeiras (1.886-1.879 m).

Os boletins sísmicos publicados pelo Centro de Sismologia da USP/IAG e, também, pela RSBR apresentam um histórico dos eventos sísmicos registrados no Brasil de 1720 a 2016, com um total de 3.038 registros. Embora não estejam atualizados até a presente data, desses 3.038 registros, 538 registros foram realizados no estado de Minas Gerais e 13 no Espírito Santo. Para cada registro foram fornecidos dados das coordenadas geográficas, a profundidade estimada quando possível, a Magnitude regional (M_r), a localidade e os comentários gerais.

Assim, a partir desse levantamento, foram selecionados apenas os registros localizados na bacia do rio Doce, que totalizam 47 dados, conforme apresentado espacialmente no mapa da Figura 9.

Na Figura 10, está apresentada a localização dos registros de atividades sísmicas na bacia do rio Doce, juntamente com as principais estruturas geológicas. Ainda, nessa figura, pode-se observar um detalhe da área oeste, que representa a região do QF. Nessa área, verificou-se uma concordância do registro de sismos com as falhas de cisalhamentos compressionais e dobras anticlinais. Porém, essa associação entre as atividades sísmicas e a presença de estruturas geológicas não é uma regra. Berrocal (2016) inferiu que a grande maioria dos sismos que ocorrem no Brasil está associada a algum tipo de falha geológica que é ativada, ou reativada, pela liberação de energia acumulada por algum processo tectônico.

Figura 10 – Informações de ocorrências de sismos na bacia do rio Doce e dados estruturais.



Fonte: Mapa Brasil ao Milionésimo SF 23 – Rio de Janeiro, SE 23 – Belo Horizonte, SF 24 – Vitória e SE 24 – Rio Doce da CPRM, (2004), mapeamento realizado na escala 1:1.000.000 e Boletim Sísmico – (IAG, 2017).

Para Bezerra, Ferreira e Nascimento (2016), é crescente o número de estudos que identificam falhas ativas em regiões intraplaca. Estudos neotectônicos e paleossismológicos têm sido empregados para estender o registro instrumental e histórico de sismos no tempo geológico.

Sand (2016) inferiu que a sismicidade está ligada à tectônica de placas, porém que algumas eventuais tensões podem ser induzidas por influência do homem, como no caso de tremores registrados desencadeados por reservatórios de acumulação e de atividades de exploração mineral e petróleo.

Para Barros et al. (2016), o enchimento de grandes reservatórios, a exploração de minas subterrâneas, a injeção de fluidos sob alta pressão em poços profundos, a remoção de fluidos na exploração de petróleo, entre outros, podem provocar uma categoria especial de terremotos denominada terremotos induzidos ou terremotos desencadeados. Para esses autores, dois fatores principais podem contribuir para o surgimento ou a ausência de sismicidade pós-enchimento de um reservatório. O crescimento das tensões verticais, devido à carga do reservatório e uma redução nas tensões efetivas, devido ao aumento da poropressão, podem modificar o estado de tensões na região do reservatório. Se os gradientes de tensões serão suficientes ou não para mobilizar estruturas sismogênicas, ou seja, aquelas que originam terremotos, na área, isso vai depender de uma complexa interação entre os esforços induzidos com as tensões preexistentes (próximos ao reservatório) e das condições geológicas e hidrogeológicas na área do reservatório.

Mesmo que o peso da água em reservatórios seja insuficiente para fraturar as rochas do embasamento, a coluna d'água exercerá uma pressão hidrostática, empurrando o líquido através dos poros das rochas e de fraturas preexistentes. O efeito desse acréscimo de pressão pode levar meses ou mesmo anos para alcançar distâncias não muito longas, dependendo da permeabilidade do solo e das condições de fraturamento das rochas. Quando a água alcança zonas mais fraturadas, o esforço tectônico efetivo é reduzido facilitando o deslocamento de blocos falhados (BARROS et al., 2016).

Geomorfologia - Morfometria

O entendimento do relevo é uma das premissas fundamentais para compreensão do meio físico, uma vez que ele reflete as interações ocorridas ao longo do tempo, envolvendo, sobretudo, o clima, a geologia e os processos tectônicos impostos. O estudo das condicionantes geomorfológicas tem justamente a intenção de compreender essas combinações e interferências que o relevo mantém com os demais componentes da natureza, com relevante interesse à proposição do estabelecimento das vulnerabilidades e fragilidades ambientais.

A caracterização morfométrica do traçado original do rio (T0) consistiu em vetorizar os limites de margens (considerando áreas de planícies de inundação), dos rios afetados pelos rejeitos da barragem de Fundão, com base em imagens orbitais referentes ao período que antecedeu o desastre. Para tanto, foi gerado o traçado T0, a partir de 169 imagens fornecidas pela Fundação Renova/Samarco, as quais foram obtidas entre 21/01/2015 e 22/10/2015, conforme apresentado na Figura 11 e Figura 12. Os registros que compõem o T0 servirão de base para quantificação do volume de rejeitos depositados a jusante da barragem de Fundão.

Figura 11 - Delimitação do canal do rio como linha-base, na região da barragem de Fundão. Imagem World View2 (T0) de 21/07/2015. Seta amarela indica o sentido do rio.

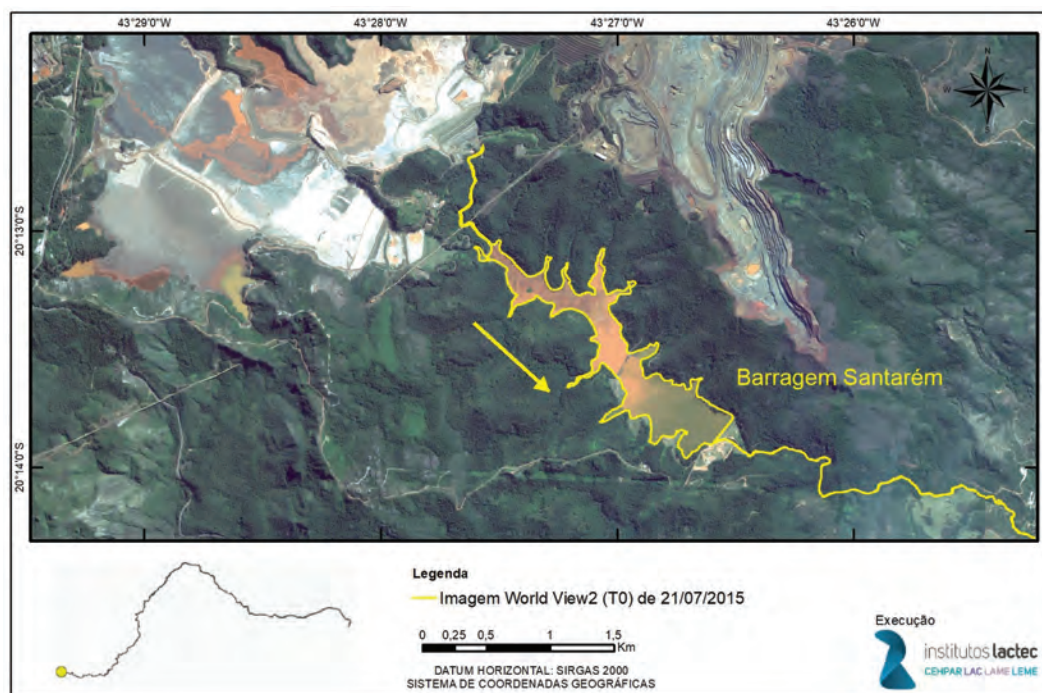
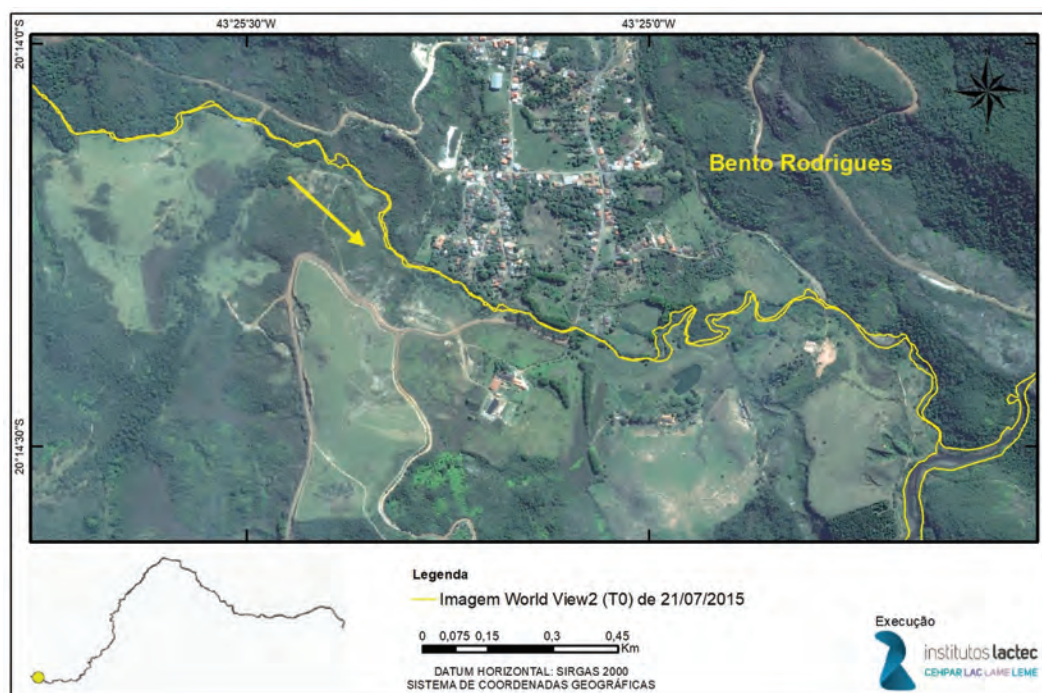


Figura 12 - Delimitação do canal do rio como linha-base, na região de Bento Rodrigues. Imagem World View2 (T0) de 21/07/2015. Seta amarela indica o sentido do rio.



Contexto Geoquímico Regional

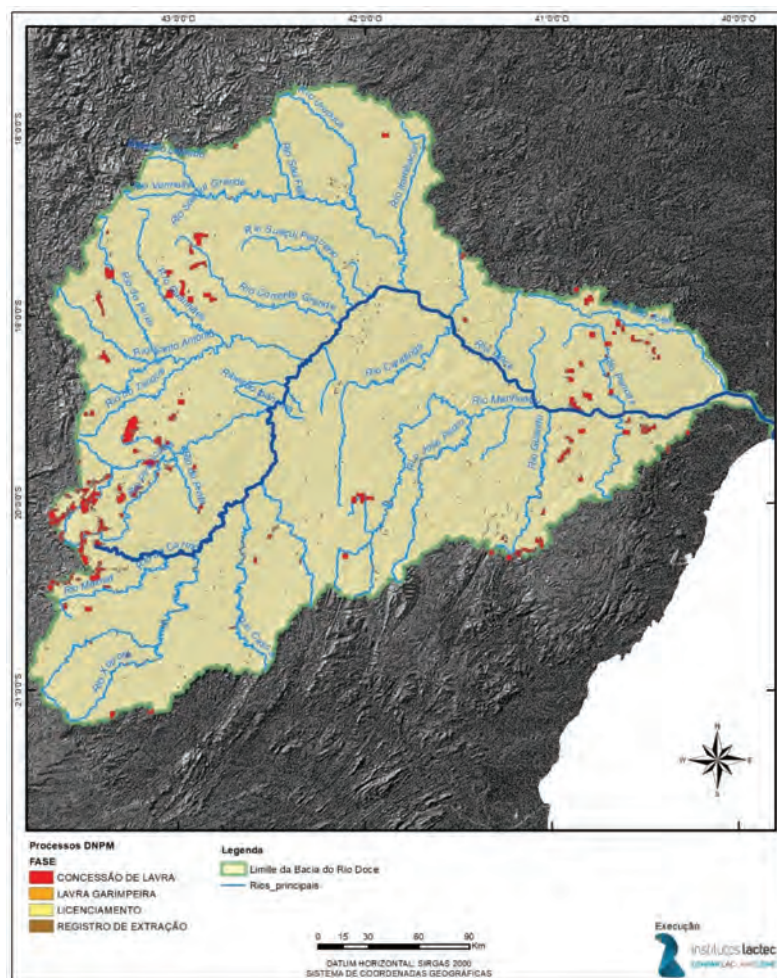
Estudos geoquímicos realizados ao longo do rio Doce (CPRM, 2015) indicaram que, apesar de localmente elevados, os valores de *background* de alguns metais pesados estiveram muito próximos aos limites de detecção dos equipamentos analíticos.

Alkmim (2014) menciona que os itabiritos da Formação Cauê possuem um aumento natural nos teores de alguns elementos: alumínio, titânio, magnésio, ferro, escândio, níquel, cobre, gálio, rubídio, estrôncio, zircônio, nióbio, cério, bário, háfnio, bismuto, tório, urânio e Elementos Terras Raras Leves (ETRL), que podem estar relacionados a proximidade desta área com esses litotipos.

Processos Minerários

Com o intuito de possibilitar a identificação de eventuais contaminações provenientes de outras minerações, procurou-se selecionar os processos minerários existentes na bacia hidrográfica do rio Doce, obtidos a partir do Departamento Nacional de Pesquisas Minerais (DNPM). Inicialmente, foram identificados aqueles processos que estão em atividade e que, portanto, podem ter influência na área de estudo (ver Figura 13), destes destacam-se os processos dos elementos metálicos, a saber: alumínio/bauxita (24 processos); hematita/magnetita/itabirito/ferro e minério de ferro (117 processos); cobre (1 processo); manganês (7 processos); e ouro (22 processos).

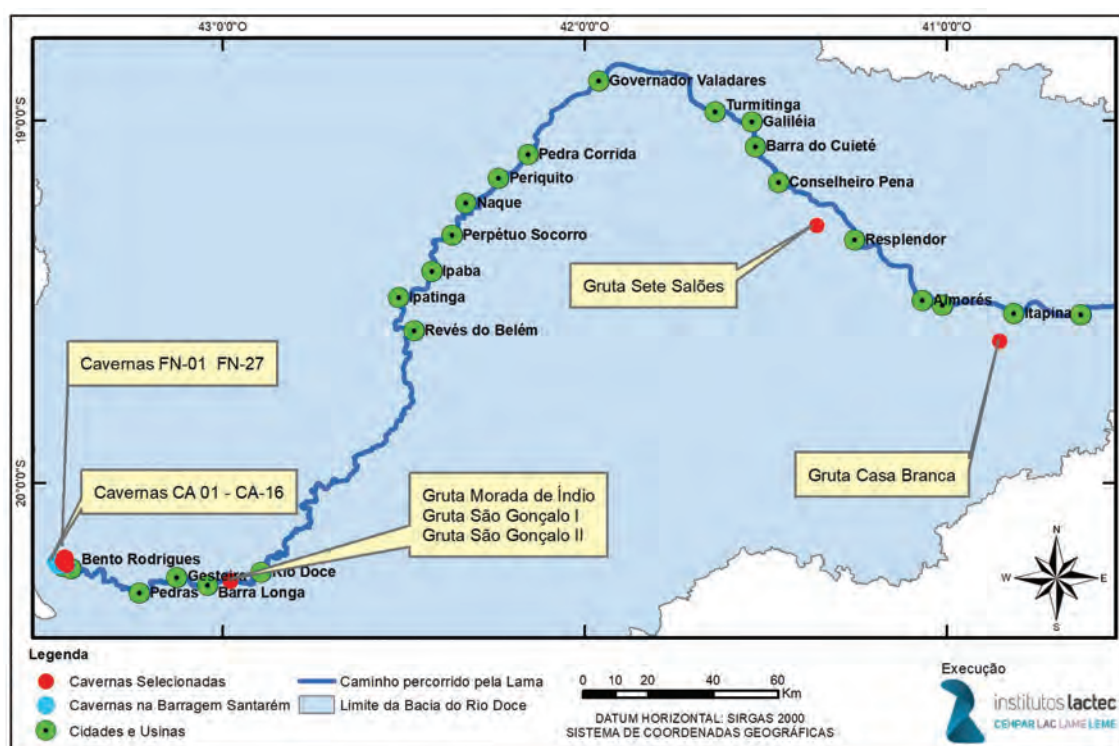
Figura 13 – Processos minerários obtidos a partir da base de dados do DNPM, filtrados conforme a fase, presentes na bacia do rio Doce sobre imagem SRTM 30 m.



Espeleologia

Considerando a alta sensibilidade ambiental que as cavernas apresentam, visando ao planejamento de etapas de campo subsequentes para identificação de eventuais impactos nesses ambientes, foram obtidos, junto ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), os dados referentes a essas cavidades (Figura 14).

Figura 14 - Localização das cavernas selecionadas para vistoria



Fonte: Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE). Responsável: CECAV e Coordenadoria das Promotorias de Justiça de Defesa do Patrimônio Cultural e Turístico.

Geotecnia

Quanto às propriedades físicas de materiais geotécnicos, três são fundamentais, citam-se a textura, a estrutura e a porosidade do solo. Além dessas características, é importante o conhecimento das propriedades associadas à mecânica do solo.

Entende-se que a busca por informações relativas ao solo deve estar focada nas suas propriedades físicas e mecânicas, que recobrem o embasamento rochoso e em função das características de resistência inerentes ao próprio maciço rochoso. Faz-se necessário, portanto, conhecer as características de todas as variações presentes em um maciço de solo.

As informações geotécnicas levantadas, oriundas de ensaios de campo e/ou ensaios de laboratório, com a intenção de conhecer o comportamento dos solos, são: resistência ao cisalhamento; deformabilidade; informações sobre expansão, colapsibilidade e erodibilidade; e hídricas – como a permeabilidade e a infiltração. Cabe citar ainda o reconhecimento geológico-geotécnico do subsolo da área em estudo a partir de sondagens a trado; sondagens a percussão; coleta de amostras; ensaios de caracterização; e estudo de estabilidade de taludes.

Após a análise da documentação disponibilizada pelo Ministério Público Federal, identificaram-se os parâmetros geotécnicos apresentados na Tabela 2, da área de influência direta apontada no EIA da Estrada de Ferro Vitória a Minas S.A. - EFVM, que poderão viabilizar projetos de recuperação ambiental, ou seja, são elementos que poderão ser comparados com sondagens

e levantamentos posteriores, assim como parâmetros geotécnicos, utilizados para a análise de estabilidade do aterro da EFVM (SETE, 2012).

Tabela 2 – Parâmetros de resistência e permeabilidade utilizados no projeto dos bueiros 1 e 2 sob a EFVM.

Material	Peso específico (kN/m ³)	Coesão efetiva (kPa)	Ângulo de atrito interno efetivo (°)	Coefficiente de permeabilidade (m/s)
Fundação	18,0	30	28	5×10^{-7}
Solo compactado (núcleo)	17,5	20	28	1×10^{-7}
Sedimentos	18,5	5	0	1×10^{-10}
Rejeito compactado	18,5	0	32	1×10^{-6}
Dreno - Enrocamento	19,0	0	45	1×10^{-2}

Fonte: (Geoestável, 2012 *apud* SETE, 2012).

Rejeitos de mineração

O rejeito de mineração de ferro é resultante de um processo de beneficiamento que envolve as etapas sucessivas de peneiramento, britagem, moagem, deslamagem e flotação em colunas, de modo a se obter o ferro na concentração desejada, eliminando-se as impurezas, principalmente, a sílica (ARAÚJO, 2006). No entanto, na etapa de concentração, não se obtém uma eficiência completa, apresentando, como um material residual, de forma geral, os minerais hematita (Fe_2O_3), a goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), o quartzo (SiO_2), a caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e a gibsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), em diferentes proporções (BATISTA et al., 2016; ARAÚJO, 2006; FRANCO et al., 2004). Morgenstern et al. (2016) não citaram a gibsita, porém, as proporções dos outros constituintes foram da ordem de 42,9%, 30,9%, 19,2% e 4,4%, respectivamente. Adicionalmente, os autores encontraram as fases minerais ilita-muscovita ($\text{KAl}_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, 1,4%); o plagioclásio ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, 1,1%); além de traços de calcopirita (CuFeS_2), em concentrações inferiores a 0,1%. No resíduo arenoso, a composição química obtida por fluorescência de raios X (FRX) foi definida como predominantemente formada por quartzo (SiO_2 , 88,68%) e hematita, (Fe_2O_3 , 9,46%), sendo, ainda, verificada a ocorrência de óxido de alumínio (Al_2O_3), em 0,34% e da perda ao fogo de 0,43% (GOLDER ASSOCIATES, 2016a). Em estudos específicos, os autores encontraram que os valores de referência (pela legislação de Minas Gerais para solos, Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011) foram excedidos para os metais antimônio (Sb), arsênio (As), bário (Ba), chumbo (Pb), cobalto (Co), cromo (Cr), mercúrio (Hg), molibdênio (Mo), níquel (Ni), prata (Ag) e zinco (Zn). Outras considerações efetuadas mostraram que os valores de prevenção foram excedidos para Sb, As, Ba e Cr, e para os critérios agrícolas, somente para o antimônio, Sb. Em estudo sobre as características geoquímicas do rejeito de Germano, analisados do ponto de vista do balanço ácido-base e do extrato lixiviado, encontraram além dos elementos citados, o Cu e o V, em menores concentrações (GOLDER ASSOCIATES, 2016b).

Estudos experimentais preliminares em amostras coletadas de rejeitos pelos Institutos Lactec, em agosto de 2017, corroboraram seus resultados com os dados da literatura citados neste item (MORGENSTERN et al., 2016; PEREIRA, 2005; PIRES et al., 2003; WOLFF, 2009; e ENVIRONMENTAL RESOURCES MANAGEMENT, 2017; GOLDER ASSOCIATES, 2016a) com relação à presença de hematita, de goethita e do quartzo, sendo a última predominante na amostra de rejeito “arenoso” de Germano, Fundão e Santarém. Esses ensaios foram realizados com a única intenção de se obter a comparação de resultados citada no presente parágrafo.

Após a moagem em moinho de alta energia, no entanto, destacou-se a desagregação dos cristais de goethita e a ocorrência de traços de cromo, cobre e tálio, nas amostras de rejeito de Germano cobre e cromo; nas de Fundão, cromo e cobre e de Santarém, tálio. De acordo com Pires et al. (2003) e Muniz e Oliveira-Filho (2004), esse argilomineral (goethita) tem a capacidade de retenção de metais pesados, em especial o cromo. A ocorrência da maioria destes metais-traço foi destacada, também, nos trabalhos da Golder Associates (2016a e 2016b) e da Fundação COPPETEC (2016). Por cromatografia gasosa com detector de massa (GC/MS), foi possível avaliar e quantificar a ocorrência de compostos orgânicos voláteis, principalmente em Germano (como o diclorometano em concentrações da ordem de 0,016 ppm, 0,007 ppm e 0,038 ppm) e de fenóis, nas concentrações de 0,01 ppm e 0,02 ppm, para todas as amostras coletadas, os quais foram citados por Batista et al. (2016), Franco et al. (2004) e Bastos (2013), como ocorrentes em alguns rejeitos de mineração de ferro (extrato solubilizado), em decorrência dos processos e reagentes utilizados para a floculação.

SOLOS

O solo possui um papel importante no meio ambiente, seja para o crescimento de plantas, para armazenamento de água, biodiversidade e ciclagem de nutrientes, podendo até mesmo atuar como filtro, seja para proteger a qualidade da água e do ar de elementos tóxicos ou filtrar elementos em excesso (LARSON; PIERCE, 1991; SEYBOLD et al., 1997; LIMA et al., 2007).

A qualidade do solo é a integração das propriedades químicas, físicas e biológicas, de forma que possibilita ao solo exercer suas funções integralmente (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). O solo possui uma capacidade de suporte das alterações do meio que dependendo da intensidade poderá resultar em instabilidades, refletindo no crescimento das plantas, diminuindo a capacidade de reter água, incrementando elementos tóxicos, aumentando os processos erosivos, diminuindo os teores de matéria orgânica e lixiviando os nutrientes no solo, ou seja, degradando áreas (DORAN & PARKIN, 1994; ARAUJO & MONTEIRO, 2007; VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

Conhecer os fatores físicos, químicos e biológicos do solo é de fundamental importância para caracterizar os solos de uma região e entender a relação entre diferentes fatores para, assim, garantir o bom desempenho das suas funções, seja em relação ao ponto de vista da conservação ambiental ou para produção agrícola (DORAN & PARKIN, 1994; ARAUJO & MONTEIRO, 2007; VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

Os fatores ou indicadores químicos do solo possuem funções relacionadas a ciclagem de nutrientes, relações com a água, principalmente com fluxo de solutos (nutrientes e agroquímicos) dissolvidos na água, elementos filtrantes de compostos tóxicos, além de afetar o crescimento de plantas. Os indicadores químicos podem fornecer informações sobre o equilíbrio entre a solução do solo (água do solo e nutrientes) e o locais de troca (partículas de argila, matéria orgânica), além da saúde da vegetação, teores de contaminantes do solo e sua disponibilidade para plantas e animais. Os indicadores são: pH, condutividade elétrica, nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) e metais pesados. O pH indica a disponibilidade de nutrientes e a atividade biológica. A condutividade elétrica está ligada ao crescimento vegetal e atividade microbiana. O conteúdo de N, P, K, por exemplo, está ligado a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Além disso, a presença de metais pesados em altos níveis pode ser tóxica para plantas e seres vivos (DORAN; PARKIN, 1994; ARAUJO ; MONTEIRO, 2007; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Os fatores físicos do solo fornecem informações sobre as características hidrológicas, entrada e retenção de água, que influenciam a disponibilidade para as plantas. Alguns indicadores estão relacionados com a disponibilidade de nutrientes devido a influência no crescimento de raízes e na aeração do solo e alguns dos fatores também indicam a erosão do solo. Os indicadores físicos são: estabilidade de agregados, capacidade de água disponível, densidade, infiltração, estrutura do solo, porosidade do solo, dentre outros (DORAN; PARKIN, 1994; ARAUJO; MONTEIRO, 2007; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Já os fatores biológicos podem apontar características sobre a cadeia de organismos existentes no solo, que são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes. As informações sobre quantidade de organismos e espécies podem indicar o quanto o solo está apto para se recuperar após um distúrbio (resistência e resiliência). Os indicadores são: minhocas, matéria orgânica particulada, biomassa microbiana, mineralização de nutrientes, respiração do solo, carbono orgânico total, dentre outros (DORAN; PARKIN, 1994; ARAUJO; MONTEIRO, 2007; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A matéria orgânica do solo interage concomitantemente com fatores químicos, físicos e biológicos, estando ligada a todas as funções do solo, afetando principalmente a estabilidade de agregados (física), disponibilidade de nutrientes (química) e ciclagem de nutrientes (biológica). Desta forma a matéria orgânica também é um indicador da qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994; ARAUJO; MONTEIRO, 2007; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Dessa forma é fundamental o conhecimento dos tipos de solo bem como dos teores de nutrientes (fertilidade), da sua estrutura, da física, da química e principalmente a (possível) existência natural de metais pesados. Qualquer alteração na estrutura do solo poderá causar uma desestabilização, acarretando um aumento dos processos erosivos e de transportes de sedimentos para os corpos hídricos, além de provocar uma possível contaminação ambiental prejudicando os cursos de água no entorno e a flora local. É de extrema importância conhecer a bacia como um todo até individualizar o problema, a fim de diferenciar as fontes de origens, sejam elas intervenções antrópicas ou naturais.

A metodologia para os estudos de solos está fundamentada nos dados secundários e disponíveis na literatura. Essa metodologia visa avaliar tanto a bacia do rio Doce quanto a área afetada pela lama, delimitada de forma preliminar, antes do rompimento da barragem de Fundão. Dessa forma foram obtidas informações sobre tipos de solo conforme o levantamento de solos existente para o estado de Minas Gerais (UFV et al., 2010) e para o estado do Espírito Santo (EMBRAPA, 1978), e analisados tanto para a bacia do rio Doce quanto para a área afetada. Para análise do uso do solo, foram obtidas informações conforme o levantamento realizado pela ANA (2016). Para a caracterização química do solo, incluindo a determinação dos teores de elementos traço ou metais pesados, foram obtidas informações conforme a publicação de Souza et al. (2015), que foi um trabalho complementar aos levantamentos e análises de solos preexistentes no estado de Minas Gerais, os quais serviram como base para determinação dos valores de referência de qualidade do solo (COPAM, 2011; FEAM, 2013). A caracterização física do solo foi obtida do banco de dados hidrofísicos de solos no Brasil (HYBRAS), o qual foi elaborado pela CPRM, conforme Ottoni et al. (2017).

A área afetada preliminar foi delimitada a partir da análise temporal das imagens disponíveis no *software* Google Earth Pro, comparando as áreas antes e depois do desastre, com abrangência desde a barragem de Fundão em Mariana até a foz do rio Doce, em Regência, no Espírito Santo. Foi traçado o eixo central do rio afetado, considerando todas as áreas marginais e foi aplicado um raio de 500 m ao longo de todo eixo do rio. Nas áreas próximas à barragem de Fundão foram traçadas linhas auxiliares para complementar esta área afetada. Cabe ressaltar que este limite é passível de ser revisado ao longo do desenvolvimento dos estudos.

Neste relatório será apresentado um resumo sobre as características de solo, como tipos, nutrientes, metais pesados, Valores de Qualidade de Referência (VRQs) conforme a normativa existente para o estado de Minas Gerais, além da análise de metais pesados. Serão apresentadas ainda as propriedades físicas do solo relativa à distribuição granulométrica, densidade do solo e condutividade hidráulica saturada.

Tipos de solo

Na extensão da bacia do rio Doce são encontradas 15 classes de solos (adaptado de UFV et al., 2010; EMBRAPA, 1978), sendo que a maioria é do tipo latossolo vermelho-amarelo, argissolo vermelho e latossolo vermelho, com respectivamente 50, 14 e 13% de representatividade da área da bacia do rio Doce.

Já na área afetada preliminar predominam os cambissolos háplicos, argissolos vermelho-amarelos com 33,5% e 13,5% de predominância, respectivamente, sendo que podem ocorrer outros solos com porcentagens inferiores a 10% (adaptado de UFV et al., 2010; EMBRAPA, 1978).

Uso do solo

O principal uso do solo da bacia do rio Doce (ANA, 2016) corresponde à pastagem, com 62% da área da bacia. A vegetação nativa ainda recobre 30% do território, as áreas de reflorestamento são inferiores a 3% e as áreas agrícolas são inferiores a 1% da bacia do rio Doce.

Na área afetada preliminar, 1.009,56 km², predominam o uso de pastagem em 44% de ocorrência. Há ocorrências de vegetação nativa em 16% da área afetada, sendo estas localizadas principalmente próximo ao distrito de Bento Rodrigues, ao Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e próximo ao estado do Espírito Santo (ANA, 2016).

Atualmente, a bacia apresenta um quadro de grande supressão da cobertura vegetal, estando os remanescentes florestais restritos às áreas mais declivosas do terreno. As pastagens encontram-se bastante degradadas, com baixa cobertura do solo, intenso pisoteio e compactação, o que proporciona uma superfície suscetível à erosão do solo, formando volumes expressivos de sedimentos que são carregados aos cursos d'água (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

Propriedades químicas do solo – Metais pesados

Elementos traço ou metais pesados ocorrem naturalmente na composição dos solos (MATOS, 2012), sendo até mesmo essenciais do ponto de vista biológico. Entretanto, sob condições específicas, podem ser altamente tóxicos ao meio ambiente, constituindo-se como contaminantes ou poluentes do solo (KABATA - PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Para garantir o controle da poluição e proteger a qualidade dos solos foram estabelecidos valores orientadores, ou seja, concentrações de substâncias químicas ideais para o solo (CETESB, 2001). O VRQ é a concentração de determinada substância no solo, que o define como limpo. Para o estado de Minas Gerais foi estabelecido o VRQ (COPAM, 2011) para cada um dos elementos a seguir, sendo estes expressos em mg/kg de solo seco: antimônio (0,5), arsênio (8), bário (93), boro (11,5), cádmio (<0,4), chumbo (19,5), cobalto (6), cobre (49), cromo (75), mercúrio (0,05), molibdênio (<0,9), níquel (21,5), prata (<0,45), selênio (0,5), vanádio (129) e zinco (46,5).

Como complemento a este trabalho realizado para gerar o VRQ do estado de Minas Gerais (COPAM, 2011), foi realizado um estudo de variabilidade espacial das concentrações naturais de metal, para todo o estado de Minas Gerais (SOUZA et al., 2015). Foram amostradas as camadas de solos de 0 a 20 cm, equivalentes ao horizonte A (superficial) para a maioria dos solos, para 697 amostras georreferenciadas (SOUZA et al., 2015). Com as amostras selecionadas, foram classificados 20 grupos de solo no estado de Minas Gerais. Para cada grupo de solos, foram realizadas análises de estatísticas descritivas incluindo a mediana e o Coeficiente de Variação (CV em porcentagem) tanto para a parte de caracterização química voltada à fertilidade do solo quanto a determinação de teores de metais pesados.

Analisando todos os tipos de solo existentes em Minas Gerais (total de 697 amostras), o pH (em água) do solo foi de 5,3, o que representa uma acidez média (RIBEIRO et al., 1999), havendo alguns tipos de solo como latossolo vermelho-amarelo com acidez elevada (pH de 4,1). O pH ácido do solo implica uma menor disponibilidade de nutrientes e, consequentemente, limita o crescimento das plantas. Já o teor de fósforo extraível (melich) para todos os tipos de solo de Minas Gerais é classificado como muito baixo (1,7 mg.dm⁻³) conforme o teor de argila de 34% (RIBEIRO et al., 1999), o qual também influencia o crescimento das plantas, sendo que é um elemento essencial.

Já a soma de bases indica a quantidade de cátions que o solo possui (RONQUIM, 2010) e para os solos de Minas Gerais ela é caracterizada como baixa ($1,1 \text{ cmol.kg}^{-1}$), conforme Ribeiro et al. (1999). A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) representa a quantidade total de cátions ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}$) retidos no solo (argila, húmus) em condições permutável. Geralmente, quanto maior a CTC do solo, melhor será sua fertilidade, pois ele adsorve íons positivos, como cálcio, magnésio e potássio, nutrientes essenciais para as plantas (RONQUIM, 2010). Para os solos de Minas Gerais a CTC é classificada como média ($7,9 \text{ cmol.kg}^{-1}$) conforme Ribeiro et al. (1999).

Dessa forma as amostras de solo do estado de Minas Gerais demonstraram uma predominância de pH ácido e valores médios de CTC, demonstrando um cenário de degradação em relação ao clima tropical e úmido. Os baixos valores de fósforo extraível (P), da soma das bases (SB) e da concentração de matéria orgânica (MO), indicaram baixa fertilidade natural dos solos (SOUZA et al., 2015).

As maiores concentrações medianas de metais pesados ocorreram nos solos do tipo nitossolo vermelho, cambissolo háplico e latossolo vermelho, sendo que as maiores variações do CV foram nas últimas duas classes. As menores concentrações de metal foram medidas nos neossolos quartzarênicos, gleissolos e luvisolos háplicos, com excessão dos luvisolos, foi verificada também uma menor variação no CV (SOUZA et al., 2015).

Os resultados apresentados por Souza et al. (2015) demonstraram que existe uma variabilidade espacial da concentração de metais e das propriedades dos solos ao longo de todo estado de Minas Gerais e que esta é influenciada pelo material de origem e outros fatores de formação do solo em diferentes níveis. Quanto maior o coeficiente de variação maior é sua variabilidade, ou seja, há variação espacial. Essa variação é atribuída tanto aos fatores de transformação da rocha em se transformar em solo (intemperismo) quanto à própria diversidade das rochas que possuem elementos diferenciados. Devido a tais fatores, esses autores sugeriram a realização de uma regionalização dos VRQs em vez de utiliza-los como valor único de cada um dos metais para todo o estado de Minas Gerais (SOUZA et al., 2015).

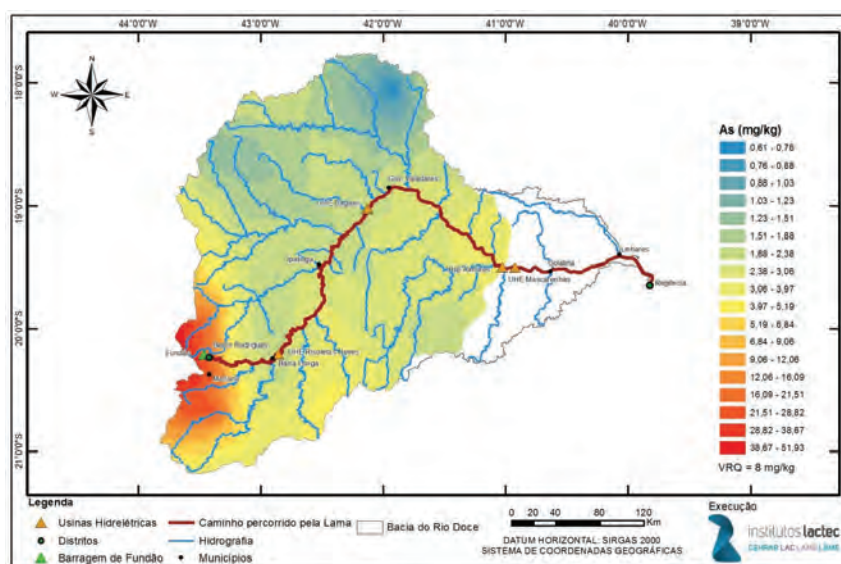
A partir dos mapas de metais pesados elaborados por Souza et al. (2015) e disponibilizados no site do Banco de Solos de Minas Gerais, estes foram recortados para a área da bacia do rio Doce. Foram elaborados os mapas dos teores naturais para os 17 elementos: arsênio (As), boro (B), bário (Ba), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), molibdnio (Mo), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), estrôncio (Sr), vanádio (V), alumínio (Al), ferro (Fe) e manganês (Mn). Excluindo os últimos três elementos, todos possuem VRQ para o estado de Minas Gerais, e foi realizada uma comparação da distribuição espacial em relação ao VRQ existente (COPAM, 2011) com objetivo de analisar a norma (VRQ) em relação aos teores naturais na bacia do rio Doce e a distribuição espacial dos elementos. Durante a elaboração desses mapas foram identificados alguns resultados interessantes e limitantes conforme os comentários a seguir.

De acordo com esses dados verificou-se que a distribuição de alguns teores de metais, como alumínio (Al), arsênio (As), boro (b), cromo (Cr), mercúrio (Hg) e manganês (Mn) ocorre

de forma mais elevada na região do QF devido, sobretudo, às formações ferríferas bandadas, naturalmente ricas nestes elementos.

Analisando, por exemplo, a distribuição de arsênio (Figura 15) na bacia do rio Doce, esta ocorreu de forma mais elevada na porção sudoeste, na região do QF e nas cabeceiras dos rios Piracicaba, Gualaxo do Norte e do Carmo, estando toda essa área acima do VRQ de 8 mg/kg definido para o estado de Minas Gerais. Na bacia ocorreram variações desde 0,61 a 51,93 mg/kg de solo, destacando-se a variação espacial existente desse elemento. Estas variações são devidas aos fatores de formação do solo e das características geológicas existentes ao longo da bacia como é possível de ser verificado na Figura 15 pelas próprias variações de cores dos teores de arsênio ao longo da bacia do rio Doce.

Figura 15 – Teores de arsênio (As) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



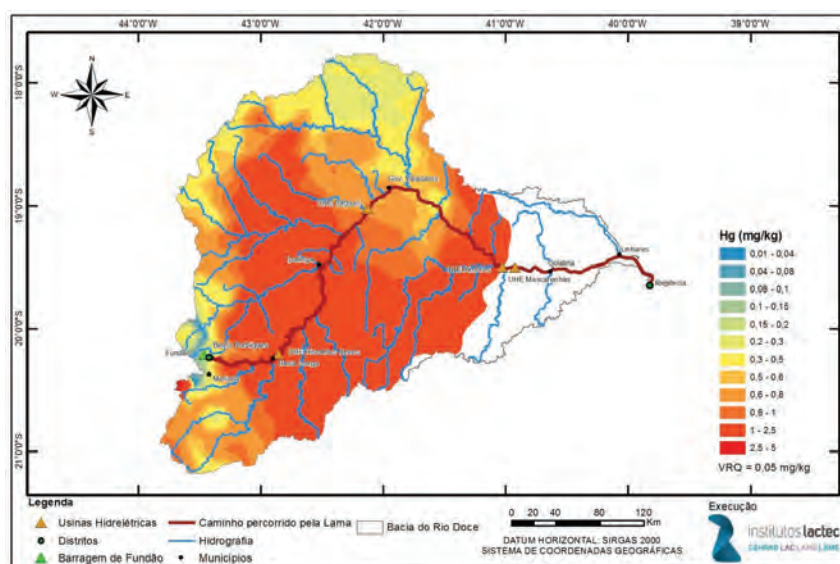
Fonte: Souza et al.(2015).

Analisando, por sua vez, os teores naturais de mercúrio (SOUZA et al., 2015) ocorreram variações entre 0,01 a 5 mg/kg, sendo que, ao comparar os valores obtidos da bacia com o VRQ para o estado de Minas Gerais praticamente toda a bacia do rio Doce estaria acima do valor de referência (Figura 16).

Para os demais elementos analisados (B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sr, V e Zn), ocorreram valores elevados em comparação com o VRQ existente para o estado de Minas Gerais (COPAM, 2011), como verificado nesse resumo para o arsênio e mercúrio. Esse comportamento foi mais evidente para mercúrio e cobalto que ficaram praticamente toda a área da bacia do rio Doce acima do VRQ de solo, indicando uma possível contaminação ambiental, fato que não é verdadeira, uma vez que todas as coletas foram realizadas em áreas não antropizadas e em áreas de vegetação nativa. Essas coletas foram idealizadas com o propósito de abranger toda a área do estado de Minas Gerais, de forma a balizar os valores existentes de metais pesados no solo e orientar um possível processo de contaminação ou poluição do solo, entretanto esses

levantamentos estão limitados a uma escala de trabalho. Essa escala, por sua vez, não é condizente com a bacia do rio Doce, conforme verificado nas figuras de distribuição espacial dos teores naturais de arsênio e mercúrio, que possui áreas naturalmente ricas em metais pesados e que, ao comparar com os VRQs para todo o estado de Minas Gerais não fazem muito sentido devido às características geológica e de tipos de solos específicos para cada região. Da mesma forma que, ao analisar os VRQ do estado de Minas Gerais para a área afetada preliminar haverá limitações de escala. Dessa forma, é necessária a determinação de VRQ condizentes com a área afetada pelo desastre.

Figura 16 – Teores de mercúrio (Hg) em solos não antropizados na bacia do rio Doce.



Fonte: Souza et al. (2015).

Ressalta-se ainda que os valores apresentados de metais pesados (COPAM, 2011; SOUZA et al., 2015) são teores totais e não necessariamente estariam totalmente disponíveis, necessitando por tanto avaliar para cada elemento a sua fração lábil e/ou disponível para o meio, seja para as plantas, água ou sedimento.

Todas as descrições da distribuição dos teores de metais pesados (SOUZA et al., 2015) referem-se apenas à área de abrangência do estado de Minas Gerais. Não foram encontradas informações sobre VRQs de solo para a área da bacia do rio Doce localizada na porção de domínio do estado do Espírito Santo. Os trabalhos existentes no Espírito Santo para determinar VRQs ou teores de metais pesados em solos naturais foram realizados em outras bacias, como a bacia Santa Maria da Vitória, Riacho e Reis Magos (PAYE, 2008; PAYE et al., 2010; COSTA; COSTA, 2015).

Propriedades físicas do solo

Em relação às propriedades físicas do solo, estas foram obtidas da CPRM, conforme Ottoni et al. (2017). Existem nesse banco de dados da CPRM um total de 1.075 amostras de solo, as quais abrangem 15 estados brasileiros das 26 unidades federativas. A maioria das amostras está localizada nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo e Rio de Janeiro. Essas amostras

abrangem predominantemente os solos do tipo latossolo (355 amostras), argissolos (209 amostras) e nitossolos (108 amostras).

Foram analisadas por Ottoni et al. (2017) a distribuição das amostras de solo de todo o Brasil para densidade aparente, teor de matéria orgânica, condutividade hidráulica saturada e as frações granulométricas do solo. Os resultados dessas análises indicaram que a densidade aparente dos solos analisados é de, aproximadamente, $1,44 \text{ g/cm}^3$, sendo que o teor encontrado de matéria orgânica no solo é de, aproximadamente, 1,8%, a condutividade hidráulica saturada do solo é, normalmente de 2,0 cm/dia e a predominância nas frações granulométricas de 43% de areia e 36% de argila. Demonstrando que valores superiores à densidade aparente do solo, dependendo do tipo de solo analisado, poderia indicar um processo de compactação. Os teores de matéria orgânica dos solos brasileiros demonstram ser baixos e muito próximos ao teor encontrado para o estado de Minas Gerais. Já a condutividade hidráulica saturada é considerada baixa, indicando que a água penetra no solo muito lentamente devido às características de granulometria e teor de matéria orgânica. Essas informações apresentadas, apesar de não serem da bacia do rio Doce, indicam uma variação amostral para todo o território brasileiro e, portanto contemplam uma extensa amplitude de valores passíveis de serem utilizados na bacia do rio Doce.

Os resultados apresentados e resumidos para composição da linha-base sobre solos são preliminares. Essas informações poderão ser complementadas devido à obtenção de novas informações bibliográficas e também em relação à realização das campanhas de campo para coleta e análise de solo para determinação de metais, nutrientes e análises físicas de densidade e permeabilidade para determinar o *background* natural do solo. Ressalta-se a importância na determinação de VRQs do solo compatível com a escala a ser analisada no contexto do desastre, com a determinação de pontos de amostragem que satisfaçam tanto o material de origem existente na área afetada quanto os diferentes tipos de solo existentes.

HIDROLOGIA

Após o rompimento da barragem de Fundão, entre as diversas áreas impactadas constam os cursos d'água por onde a lama ou fluxo dos rejeitos passou, incluindo os rios afetados pelo remanso da onda de inundação. Na passagem dessa onda, os sedimentos que representam esses rejeitos liberados foram sendo transportados via hídrica para jusante, percorrendo quase a totalidade do rio Doce e atingindo a área costeira, onde estando influenciados pelo conjunto dos processos hidrodinâmicos dominantes dessa região se deslocaram ao longo da costa em diversas direções. Ao longo desse trajeto, parte do material sólido se depositou, tanto em áreas de margens como no próprio leito do rio.

A avaliação apresentada neste capítulo focou na caracterização fluviométrica e hidrosedimentométrica, ou seja, relacionada aos aspectos de quantidade hídrica e de sedimentos dos recursos hídricos superficiais. As ferramentas para essa caracterização foram a obtenção de gráficos que relacionem os vários parâmetros, a saber: climatologia das variáveis, curvas de permanência de vazões, vazões médias de longo termo, de enchente e de estiagem e curvas-chave

de sedimentos; bem como mapas que apresentem a distribuição espacial desses parâmetros. Neste item foi também avaliado o estado de assoreamento dos reservatórios das UHEs Risoleta Neves (Candonga), Baguari, Aimorés e Mascarenhas, bem como apresentada a caracterização oceanográfica costeira (aspectos hidrodinâmicos e batimétricos).

A importância do conhecimento da hidrodinâmica e morfologia dos corpos hídricos e do volume e distribuição tempo-espacial dos sedimentos depositados nos reservatórios, leito dos rios, planícies de inundação, áreas estuarina e costeira, bem como, a dispersão da pluma formada, está diretamente relacionada aos seguintes aspectos:

- a pluma e o depósito de sedimentos interferem no meio ambiente causando prejuízo à beleza cênica, à qualidade ambiental e à biota aquática (morte por: asfixia, soterramento, contaminação por poluentes carreados, diminuição de fonte alimentar, etc.);
- a pluma e o depósito de sedimentos resultam na diminuição de luminosidade dentro do ambiente aquático e na redução da fotossíntese (em maior ou menor grau se estiverem ou não associados a poluentes);
- a camada laminar de sedimentos depositada sobre o fundo afeta diversas biotas, especialmente organismos bentônicos, zoo e fitoplâncton;
- a camada laminar de sedimentos depositada sobre o fundo causa o comprometimento de fonte energética para teias tróficas aquáticas através do soterramento de matéria orgânica proveniente das adjacências do corpo d'água, tal como folhas, a qual é processada no fundo dos rios (IBAMA, 2015);
- dispor da ordem de grandeza dos volumes sedimentados e da dispersão das plumas poderá auxiliar na extrapolação dos resultados amostrais das diversas áreas.

Conforme citado em IBAMA (2015), os efeitos sobre a biodiversidade aquática podem variar conforme o nível trófico e fisiologia dos organismos. E ainda, as consequências à comunidade aquática dependem da permanência dos sedimentos no ambiente, da resiliência dos produtores primários afetados e da importância dessa produção endógena na cadeia trófica aquática como um todo. Logo, é importante determinar, ainda que através de simulações de cenários futuros, como será a distribuição dos depósitos de sedimentos ao longo dos corpos hídricos e seu comportamento ao longo do tempo, visto que os processos de erosão e de assoreamento são de natureza dinâmica e variável ao longo do tempo e espaço.

Para realizar a caracterização proposta no presente tema, foram utilizados dados de estações de monitoramento disponibilizados no portal da Hidroweb, dados consistidos até 2014 disponibilizados diretamente pela ANA, informações obtidas do Atlas Digital das Águas de Minas e do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010), bem como, de diversos outros estudos realizados focando aspectos hidrológicos, hidráulicos e hidrogeomorfológicos da bacia.

A seleção das estações fluviométricas foi realizada com base na disponibilidade do período de dados (30 anos consecutivos até o ano de 2015) e cujo número de falhas não ultrapassasse 30% do total de dias do período selecionado. Além disso, foram selecionadas quaisquer estações

situadas nos rios Santarém e Gualaxo do Norte, mesmo que não atendendo aos critérios de seleção adotados. A ideia foi selecionar um grupo de estações cujas análises comparativas pudessem ser realizadas sem o prejuízo de considerar extensões ou períodos muito distintos.

Os dados foram analisados considerando a obtenção de curvas de permanência de vazões médias específicas (contribuição por unidade de área), vazões médias de longo termo do período considerado, vazões de longo termo mês a mês para os valores médios, máximos e mínimos e estudos de eventos extremos (cheias e estiagens). Todos os resultados citados consideraram apenas o período comum selecionado ou, no caso das estações dos rios Santarém e Gualaxo do Norte, para todo o período disponível.

As estações hidrossedimentométricas da bacia do rio Doce foram selecionadas com base na distribuição geográfica e representatividade do período de monitoramento. Assim, foram selecionadas as estações que possuem registros históricos recentes e com um período comum de monitoramento de, no mínimo, 15 anos.

As medições sólidas da bacia do rio Doce disponíveis na rede de monitoramento da ANA são constituídas da obtenção da concentração de sólidos totais em suspensão. Não são realizadas amostragens da carga sólida por arraste ou de fundo. Dada a ausência de mais informações para aplicação de outras fórmulas para determinação da descarga sólida total (transporte por fundo/arraste mais suspensão), foi utilizado o método de Colby nessa estimativa (CARVALHO, 2008).

Foram obtidas as curvas-chave sólidas ou de sedimentos para as diversas estações selecionadas. O transporte sólido médio específico de cada local foi determinado com base na aplicação das curvas-chave sólidas sobre as séries de vazões médias diárias para o período base comum (1998-2015), pois se verificou diferenças significativas nessa média ao se adotar períodos distintos. Os valores de transporte sólido médio específico foram utilizados na produção do mapa que representa este parâmetro sobre a bacia do rio Doce.

A análise de assoreamento dos reservatórios e a caracterização oceanográfica costeira, nessa etapa preliminar, foram realizadas com base nas informações encontradas na literatura. Foi possível também fazer uma caracterização do vento com base em dados locais.

Análise fluviométrica

A Figura 17 apresenta a rede de monitoramento selecionada, escolhidos segundo o critério de adotar, sempre que possível, um período base comum. Não foi possível adotar o mesmo período comum base – 01/01/1985 a 04/11/2015 – para todas as estações devido à disponibilidade de informações. Uma das estações foi extinta em 1965 e foi selecionada apenas por existir poucas estações no entorno da área do Complexo Germano.

A Figura 18 apresenta a distribuição espacial com a interpolação da vazão média específica de longo termo para a bacia do rio Doce, obtida em função das séries das estações da Figura 17 e considerando o período comum adotado.

Os resultados da análise fluviométrica relativos aos dados de vazões médias diárias ainda abordaram os seguintes tópicos: climatologia das vazões máximas, médias e mínimas de longo termo mês a mês, e curvas de permanência de vazões médias diárias específicas das estações. Esses resultados são apresentados no relatório do Diagnóstico de Linha-base.

A análise de frequência de vazões máximas considerou o critério da Eletrobras (1987), o qual recomenda a utilização da distribuição exponencial quando o coeficiente de assimetria é maior que 1,5, e o de Gumbel no caso contrário.

Foram obtidas as vazões máximas diárias e instantâneas pelo método de Sangal (SANGAL, 1983) para diferentes Tempos de Retorno - TR (variando entre 2 e 10.000 anos). O mapa da Figura 19 apresenta a distribuição espacial dos valores da vazão máxima diária para o TR de 10000 anos em termos específicos (por unidade de área), obtida através de interpolação.

Figura 17 – Rede de monitoramento selecionada para as análises fluviométricas

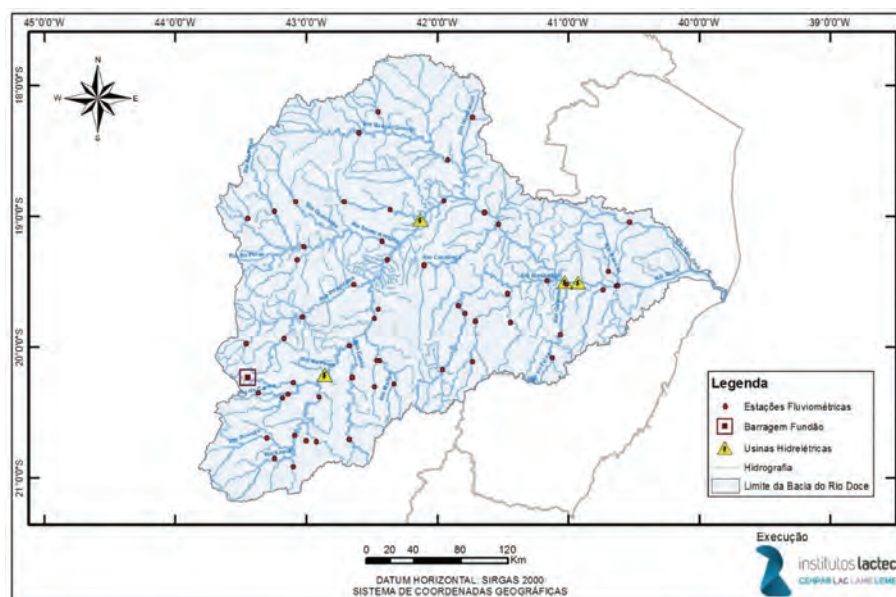


Figura 18 – Mapa com interpolação de vazões médias específicas de longo termo da bacia do rio Doce

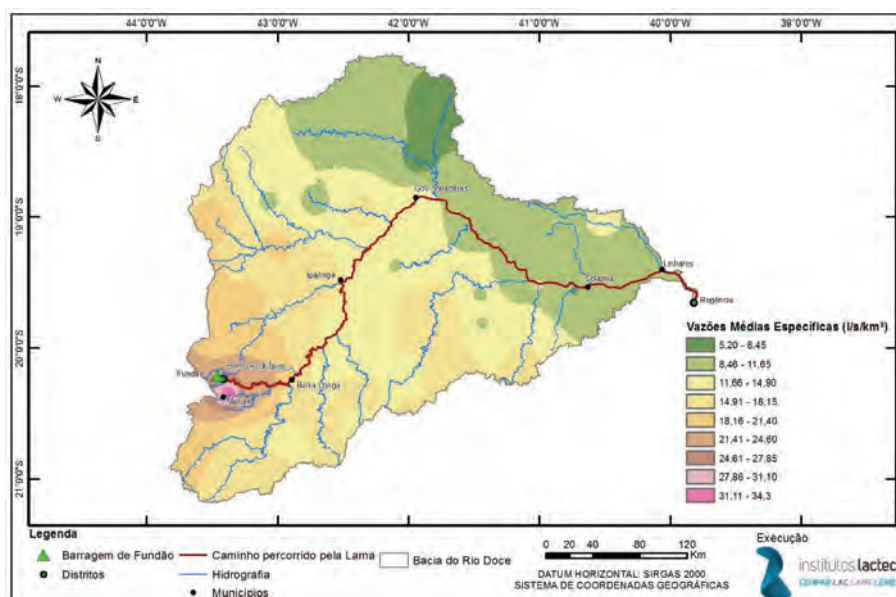
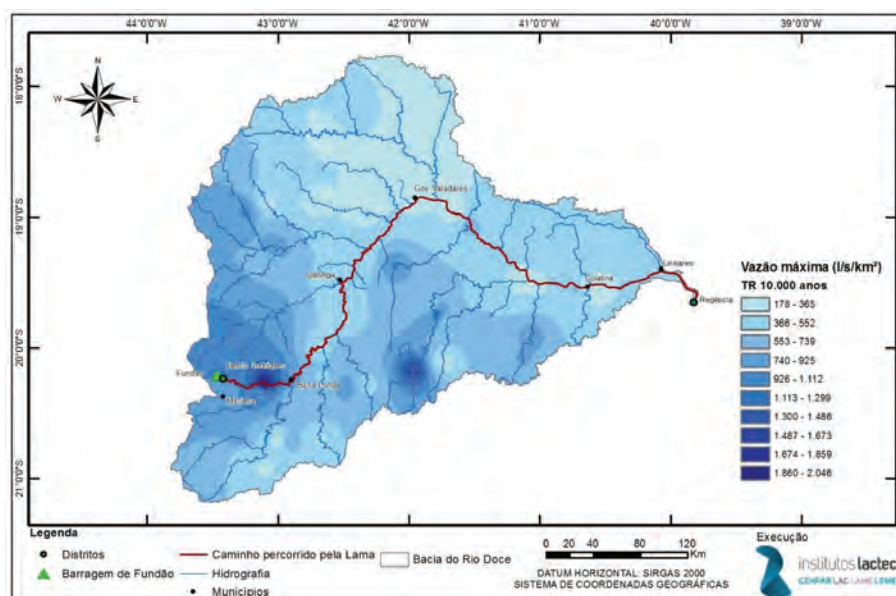


Figura 19 – Mapa com interpolação de vazões máximas diárias específicas de 10000 anos.

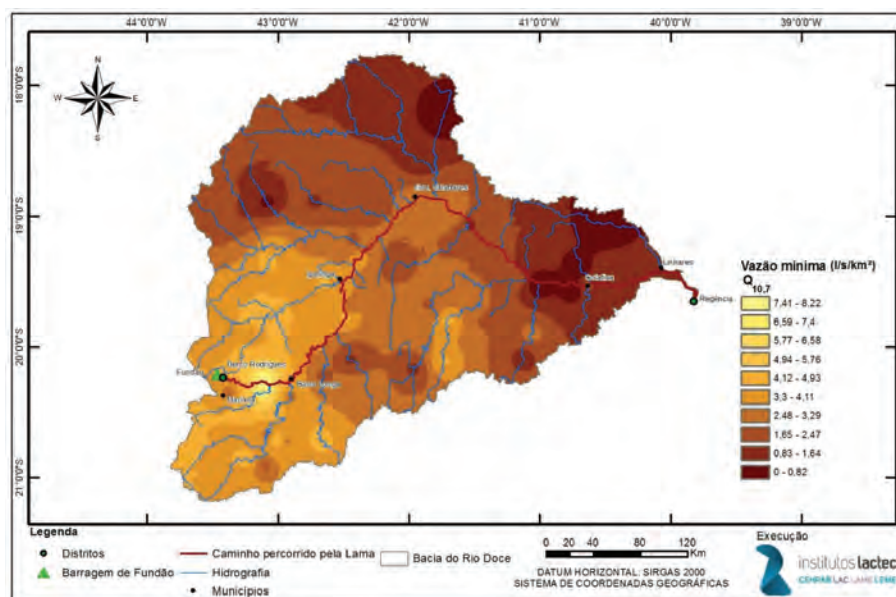


Observa-se pelo mapa que as maiores vazões máximas específicas se concentram na região sudoeste da bacia do rio Doce, seguindo a tendência do mapa de totais anuais de precipitação (Figura 5) e coincidindo com a região da localização da barragem de Fundão.

Para a estimativa das vazões de estiagem, foi utilizado o método de Weibull considerando diferentes tempos de duração (entre 7 e 180 dias) e também diferentes TRs (2 a 100 anos). O mapa da Figura 20 apresenta a distribuição espacial com a interpolação das vazões mínimas específicas $Q_{10,7}$ (vazão mínima para seca de 7 dias de duração e TR de 10 anos) na bacia do rio Doce, onde se observa que a região com secas mais severas (menores valores de $Q_{10,7}$) ocorre no norte e nordeste da bacia.

A análise de frequência completa das vazões extremas (cheias e estiagens) está apresentada no relatório do Diagnóstico de Linha-base.

Figura 20 – Mapa com interpolação de vazões mínimas específicas $Q_{10,7}$ da bacia do rio Doce.



Análise hidrossedimentométrica

A Figura 21 apresenta a rede de monitoramento selecionada para a análise hidrossedimentométrica, selecionados segundo o critério de adotar um período base comum - 1998 a 2015 (até a data do rompimento de Fundão). Para cinco estações entre as selecionadas, o período disponível inicia pouco depois de 1998 (1999 e 2001) ou finaliza pouco antes de 2015 (2012 e 2014). As estações foram utilizadas para determinar vazões sólidas em suspensão e totais.

O método utilizado para determinar as vazões sólidas totais foi o de Colby (único método possível frente aos dados disponíveis). A utilização desse método foi validada através de análise realizada nos estudos apresentados por Lactec (2001), Scapin et al. (2007), Rizzardi (2013) e Sobrinho et al. (2013), os quais avaliaram diferentes métodos para determinação da descarga sólida (a maioria comparou os métodos com medições em campo).

Para os locais indicados na Figura 21 foram obtidas as curvas-chave sólidas considerando a estimativa das descargas sólidas totais pelo método de Colby e das descargas sólidas em suspensão (baseadas apenas nos dados de concentração) para o período comum adotado. O relatório do Diagnóstico de Linha-base apresenta as curvas-chave sólidas das estações analisadas.

A Figura 22 apresenta a distribuição espacial das vazões sólidas específicas totais, onde se observa uma menor contribuição na porção superior da bacia em contraste com a inferior. Entretanto, mesmo com essa distinção, observa-se uma diferenciação nas características de produção sedimentológica entre bacias vizinhas.

Figura 21 – Rede de monitoramento selecionada para as análises hidrossedimentométricas

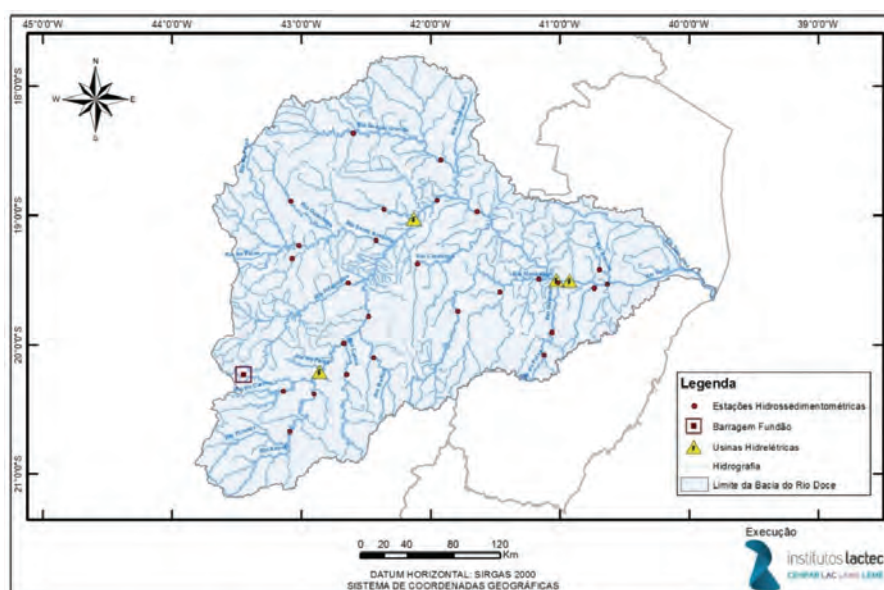
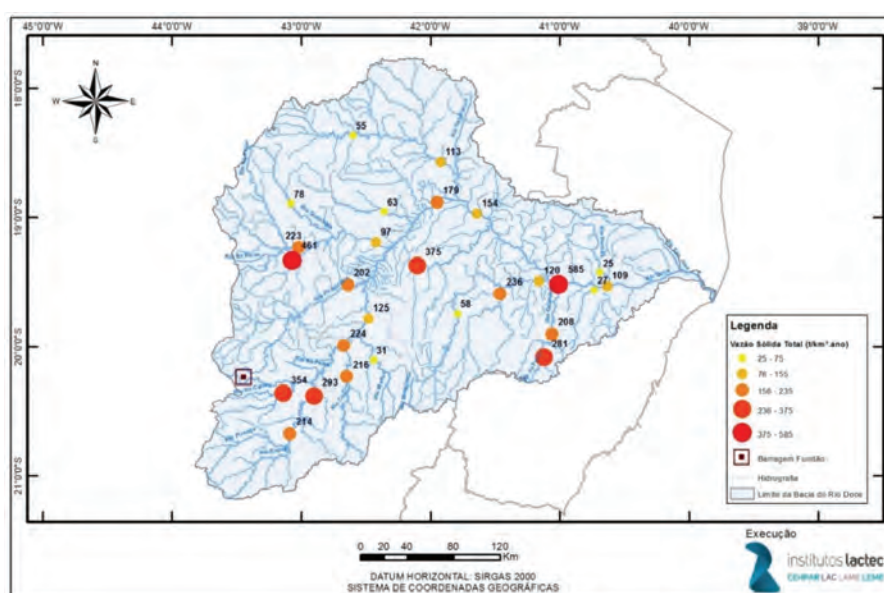


Figura 22 – Distribuição espacial das vazões sólidas totais médias específicas de longo termo.



As médias da produção sólida específica obtidas considerando o conjunto de estações avaliadas (ponderadas pelas áreas de contribuição) são iguais a 118 e 163 t/ano/km² para as vazões sólidas em suspensão e totais, respectivamente. Esses valores foram obtidos das séries de vazões diárias e das curvas-chave sólidas das estações selecionadas, utilizando o período comum adotado (1998 a 2015). Em termos de valores nacionais, essas produções sólidas podem ser consideradas de média a alta magnitude (ELETROBRAS/IPH, 1992; FAGUNDES et al., 2017).

Análise do estágio de assoreamento dos reservatórios

Em 1997 e 2001 foram realizados levantamentos batimétricos (caracterização do relevo da “seção molhada” ou parte submersa de uma seção transversal) do reservatório da UHE Mascarenhas, cujos resultados são apresentados em LACTEC (2001). Em 1997, a cota do fundo do leito junto à tomada de água da casa de força estava no entorno de um metro abaixo da cota da soleira e, em 2001, já tinha atingido essa cota, o que já caracterizaria o assoreamento total do reservatório. Junto ao vertedor, a cota do fundo se elevou em torno de 10 metros no período entre 1997 e 2001, atingindo 3 metros abaixo da cota da crista do vertedor.

Em relação à UHE Risoleta Neves, segundo SEMAD (2014), o levantamento batimétrico do reservatório realizado em 2014, portanto um ano antes do desastre do rompimento de Fundão, apontava para uma vida útil do reservatório de 180 anos, ou seja, com pouco volume assoreado.

Os estudos disponíveis para as outras usinas (Aimorés e Baguari) não permitiram avaliação do estágio de assoreamento dos seus reservatórios.

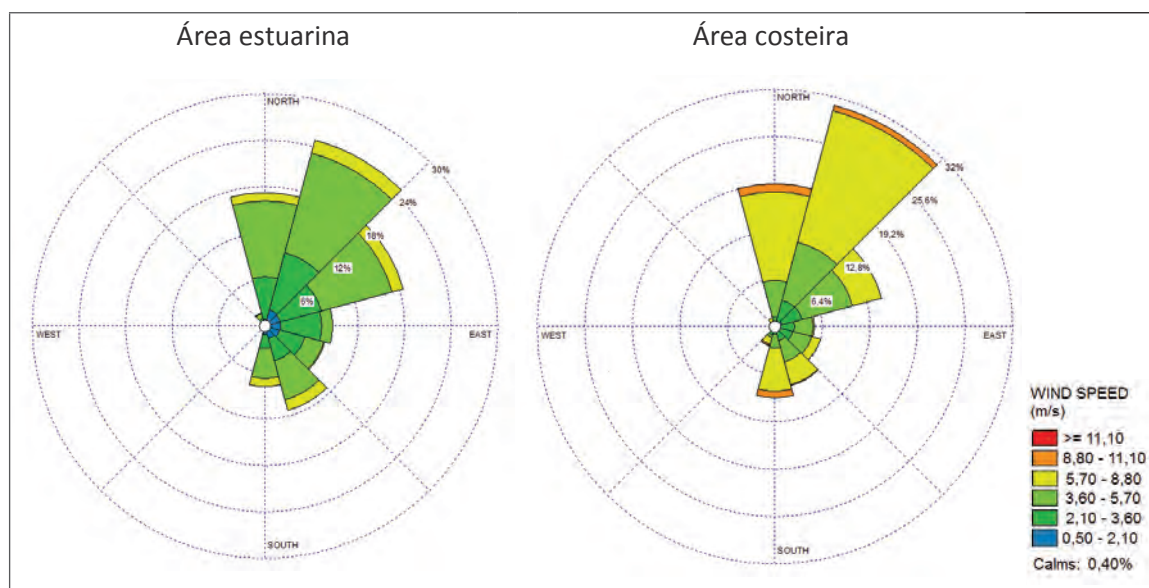
Região costeira - aspectos hidrodinâmicos e batimétricos

Em termos de correntes marítimas ou oceânicas, fluxos de água com características comuns que se deslocam ao longo dos oceanos, a costa do Brasil está sob a influência da Corrente do Brasil que segue a direção Norte-Sul (do Norte para o Sul). Além dessa corrente predominante, na plataforma continental (próximo à região litorânea do continente) outros fatores influenciam significativamente na configuração da corrente marítima, como por exemplo: profundidade do mar, ventos, marés, condições meteorológicas, entre outros. Segundo Tomczak (1998) *apud* IEMA (2014), os ventos e marés são os principais forçantes que influenciam a circulação nas zonas costeiras.

Para a área de estudo, a sequência de marés de sizígia (maior variação do nível de água) e quadratura (menor variação) são intercaladas a cada 14,6 dias conforme estudo da COPPE (2016). Esse estudo se baseou nos dados de junho de 2011 do marégrafo localizado no distrito de Regência na foz do rio. Estudos do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias – INPH (1980) *apud* IEMA (2014) concluíram que, para a região da grande Vitória, não há influência significativa das correntes de maré, permanecendo a estreita associação entre direção e intensidade das correntes com a direção e intensidade dos ventos.

Os ventos predominantes próximos à costa são de Norte (N) e Nordeste (NE), ou seja, vindo do Norte e Nordeste. Entretanto, durante a passagem de frentes frias no inverno, predominam os ventos de Sul (S). Portanto, as correntes marítimas junto à costa normalmente também seguem essa tendência.

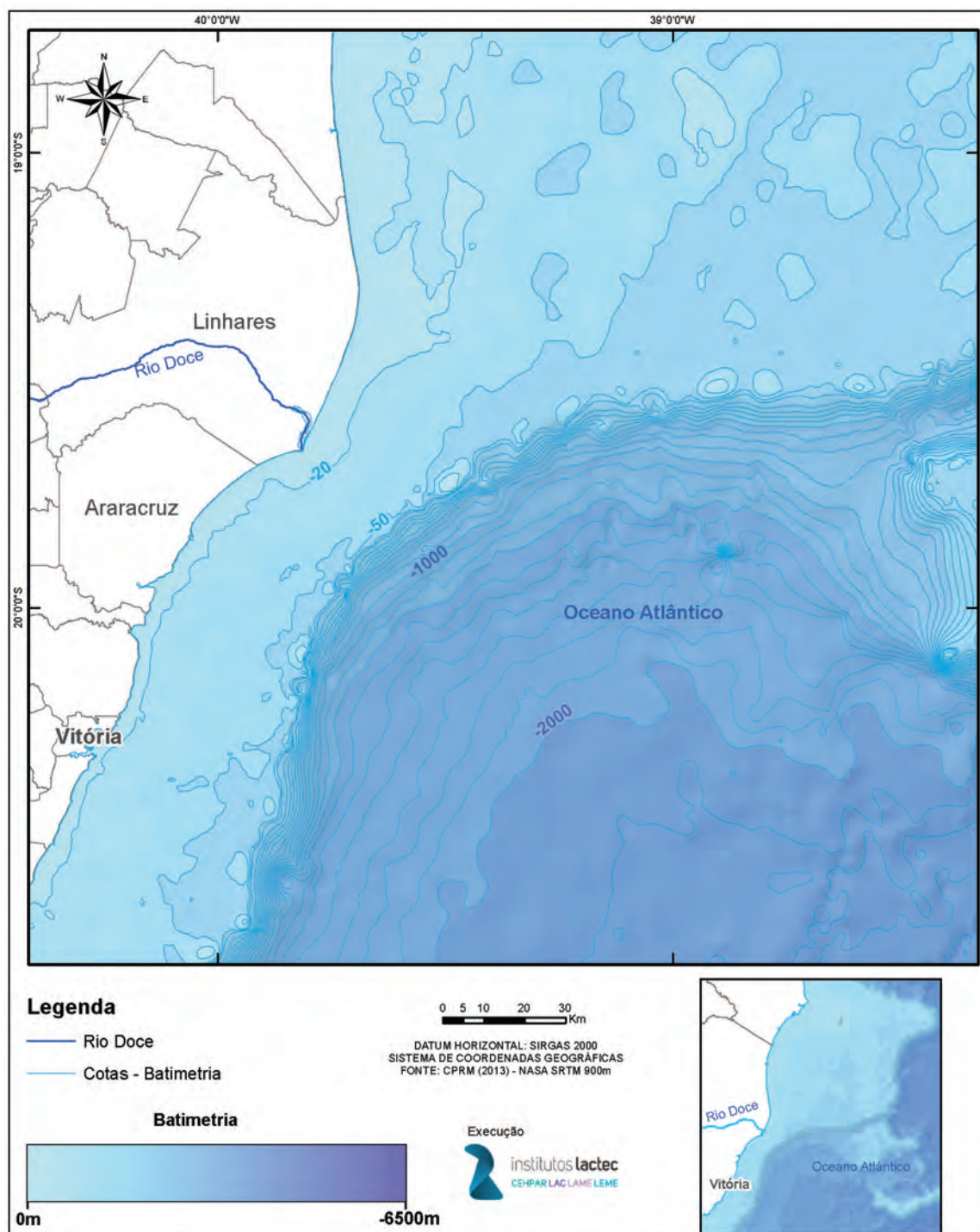
Para ilustrar o comportamento dos ventos a Figura 23 apresenta a rosa dos ventos (gráfico representativo da direção, velocidade e frequência dos ventos) para o ano de 2016 de um local situado na área estuarina (rio Doce acerca de 30 km a montante da foz no oceano) e outro localizado na área costeira (cerca de 30 km ao sul da foz do rio Doce). Esses dados de vento foram obtidos do modelo de reanálise ERA-INTERIM, disponibilizado pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

Figura 23 – Rosa dos ventos para dois locais da região a ser estudada.

Pode-se verificar em ambos os locais a predominância dos ventos de N e NE. A direção dos ventos basicamente não muda entre esses locais. Apenas observa-se que, para a área estuarina, como esperado, a intensidade dos ventos é menor que na área costeira.

A batimetria da área costeira está disponível em forma de cartas náuticas. O processamento dos dados das cartas náuticas, a ser realizado em etapa posterior, possibilitará a geração da batimetria em informação digitalizada. Para a presente fase, foi possível caracterizar tridimensionalmente o fundo da área costeira através do trabalho apresentado por CPRM/ANP (2013). O referido estudo apresenta as imagens da missão Shuttle Radar Topography Mission - SRTM realizada pela NASA no ano de 2000. As imagens de SRTM utilizadas nesse estudo têm uma resolução de 900 m x 900 m (30 arcos de segundo) para cada pixel. A Figura 24 apresenta a batimetria apresentada em CPRM/ANP (2013).

Figura 24 - Batimetria da área costeira obtida das imagens da missão SRTM.



São observadas diferenciações significativas em termos de disponibilidade hídrica ao longo da bacia. No entanto, verificou-se que as estações do rio Doce possuem um comportamento relativamente homogêneo e decrescente ao longo do curso d'água, diferenciando-se das estações das sub-bacias, as quais possuem comportamento bem variável.

A bacia hidrográfica do rio Doce é uma das mais prolíficas no país em termos de produção de sedimentos, dadas as condições climáticas da bacia, associadas às características de relevo/

solo proporcionarem maior velocidade de decomposição sofrida pelos minerais constituintes do material de origem.

Os processos de erosão são potencializados pelos usos do solo e inadequados manejos do solo (extensas áreas descobertas, ausência de mata ciliar, pisoteio do gado sobre solo desnudo). Foram também notificados locais com plantação de eucalipto, cuja produção em monocultura pode reduzir sensivelmente a disponibilidade da água de subsuperfície, secando inúmeros corpos d'água (COSTA, 2000 *apud* COELHO, 2007).

De forma similar ao comportamento fluviométrico, a distribuição do transporte de sedimentos se apresentou similar para as estações localizadas ao longo do rio Doce e bastante variável, para as estações das sub-bacias representadas pelos afluentes, as quais também possuem menores áreas de drenagem.

Na presente etapa foi possível apenas inferir com base em informações encontradas na literatura, uma análise preliminar do estágio de assoreamento dos reservatórios da UHE Mascarenhas (assoreamento avançado) e Candonga (assoreamento incipiente).

Em relação à morfologia do canal e planícies de inundação do rio Doce e da área oceânica afetada, terão suas respectivas informações de linha-base complementadas através de cenários simulados em modelagens hidrodinâmicas. Essas simulações, realizadas com modelos matemáticos, permitirão que, além da situação atual (aporte de rejeitos no rio Doce), seja também gerado o cenário que represente a hidrodinâmica e morfologia do rio sem o aporte desses rejeitos (sem rompimento). Além disso, as modelagens permitirão avaliar a ressuspensão dos sedimentos, deposição e dispersão de sua pluma considerando diversos ciclos hidrológicos futuros. Entretanto, dada a complexidade desse tipo de modelagem e a exigência de extenso conjunto de dados de entrada que ainda deverão ser coletados na área de estudo, esta análise está prevista para futuras etapas do projeto.

SEDIMENTOS

Sedimento é definido como todo material não consolidado, constituído por partículas de diferentes tamanhos, formas e composição química, transportadas por água, ar ou gelo, distribuído ao longo dos vales do sistema de drenagem e orientado a partir da interação constante dos processos de intemperismo e erosão (MOREIRA; BOAVENTURA, 2003 *apud* MARTINS, 2008). O sedimento se diferencia do solo pelo seu envolvimento íntimo com a água, salgada ou doce. Normalmente, os sedimentos são constituídos por três componentes principais: matéria orgânica em vários estados de decomposição, partículas minerais e uma componente inorgânica de origem biogênica, como certas formas de carbonato de cálcio.

Quanto aos tipos de sedimento, estes podem ser classificados basicamente em sedimentos em suspensão e sedimentos de fundo ou sedimentos de corrente. Neste item serão avaliados os sedimentos de fundo.

Existem diversos parâmetros que auxiliam na avaliação da qualidade dos sedimentos. Neste estudo foram analisadas as variáveis mais importantes para a compreensão da contaminação com resíduos provenientes de atividades de mineração. Entre esses parâmetros, a

granulometria é o parâmetro que define o tamanho dos grãos do sedimento e a capacidade de absorção ou dessorção de substâncias. Quanto menor a partícula, maior será a capacidade de adsorção de substâncias, e quanto maior a partícula, maior será a tendência das mesmas ficarem em suspensão ou serem dissolvidas.

Para este trabalho, a análise da concentração dos metais no sedimento é de suma importância, uma vez que estes fazem parte da composição do rejeito das atividades minerárias. Neste item são analisados os resultados dos metais considerados tóxicos, com níveis estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012:

- **Nível 1** - limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota;
- **Nível 2** - limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

Além desses parâmetros físico-químicos, também são utilizados indicadores biológicos, como a comunidade de macroinvertebrados bentônicos de água doce e de bentos de fundos inconsolidados dos ambientes estuarinos e costeiros. Essas comunidades também são boas ferramentas para o entendimento da qualidade dos sedimentos.

Os sedimentos apresentam uma grande interação com o meio aquático, solubilizando ou estocando substâncias. A enorme capacidade de adsorção de espécies orgânicas e inorgânicas por superfícies minerais faz com que os sedimentos possam funcionar tanto como fonte quanto como destino final de substâncias poluentes (BASÍLIO, 2005). Variações no pH podem fazer com que metais sejam liberados do sedimento por dissolução de fases minerais (redução de pH), ou por formação de complexos solúveis com complexantes presentes na fase aquosa, no caso de aumento do pH.

A comunidade dos macroinvertebrados bentônicos são sensíveis aos impactos antrópicos, mas apresentam espécies resistentes, tornando o grupo excelente indicador de qualidade ambiental (CETESB, 2012).

Foram utilizados dados de documentos produzidos em estudos acadêmicos, bem como relatórios de monitoramento sedimentométrico e EIAs. Em geral, os estudos sobre a qualidade dos sedimentos são mais abundantes na região do QF e no estado de Minas Gerais para a bacia do rio Doce.

As variáveis que continham os melhores dados e que eram mais representativas por estarem presentes na geologia do local de mineração da Samarco e, dessa forma, poderem estar presentes na lama e no rejeito, foram agrupadas e avaliadas por trecho afetado, para a avaliação da distribuição espacial. Nesse sentido, os elementos analisados foram: Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). Para a avaliação, a área de estudo da região fluvial foi dividida em 8 trechos :

- Trecho 1 – Gualaxo do Norte, da sua nascente até a sua foz no rio do Carmo;
- Trecho 2 – rio do Carmo, até a confluência com o rio Gualaxo do Norte em Barra Longa;
- Trecho 3 – rio Doce, do final do trecho 2 até a barragem da UHE Candonga;
- Trecho 4 – rio Piracicaba, da nascente até a sua foz no rio Doce;

- Trecho 5 – rio Doce, da jusante da barragem da UHE Candonga até a confluência com o rio Piracicaba em Ipatinga;
- Trecho 6 – rio Doce, do final do trecho 5 até a ilha dos Araújo em Governador Valadares;
- Trecho 7 – rio Doce, do final do trecho 6 até o limite do estado de Minas Gerais;
- Trecho 8 – Do limite do Estado de Minas Gerais a costa do Espírito Santo.

As variáveis foram representadas em gráficos de setores, construídos usando como base as proporções observadas nos níveis estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012, sendo definidas três classes: “abaixo do Nível 1”, “acima do Nível 1” e “acima do Nível 2”.

Os resultados dos sedimentos estuarinos e costeiros também foram comparados com os níveis estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012, específicos para águas salobras e salinas. Não foi realizada análise de distribuição espacial pelo número reduzido de dados comparáveis entre si.

Sedimentos Fluviais

Da Figura 25 à Figura 30 estão apresentadas as concentrações dos elementos arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio e níquel distribuídas por trecho. O arsênio apresentou mais valores acima do Nível 2 no trecho 3. O trecho 1 e o trecho 2 apresentaram porcentagens acima de 69% de valores acima do Nível 2. A tendência é de diminuição da concentração desse elemento ao longo da área estudada. O cádmio apresentou mais valores acima do Nível 2 no trecho 2. No trecho 1, houve a predominância de resultados abaixo do Nível 1, e nos demais trechos predominaram os resultados acima desse nível.

O chumbo e o zinco apresentaram predominância dos resultados abaixo do Nível 1 em todos os trechos analisados. O cobre também apresentou predominância dos resultados abaixo do Nível 1 na maioria dos trechos analisados, com exceção dos trechos 2 e 5.

O cromo apresentou maior frequência de valores acima do Nível 2 nos trechos 4, 5 e 6. Nos demais trechos, a predominância varia entre “abaixo do Nível 1” e “acima do Nível 1”.

Mercúrio apresentou mais valores acima do Nível 1 nos trechos 1 e 2. Apenas no trecho 1 foram observados poucos valores acima do Nível 2 (4,35% dos dados).

Valores acima do Nível 2 do níquel foram predominantes nos trechos 2, 3, 5 e 6. Em geral, nos demais trechos, são observados valores acima do Nível 1.

Da Figura 31 à Figura 33 estão apresentados os resultados dos elementos alumínio, ferro e manganês. Esses elementos não apresentam limites ou níveis definidos na Resolução CONAMA nº 454/2012. Foram criados intervalos de porcentagem para cada um deles, de acordo com os resultados obtidos. Não foram encontrados dados para o trecho 8. Os valores de alumínio e de ferro representam a porcentagem desses elementos em 1 kg de massa seca de amostra. Os valores mais elevados de alumínio foram observados nos trechos 5, 6 e 7. Nos demais trechos predominaram as concentrações de até 5% deste metal nas amostras. O ferro apresentou as maiores concentrações no trecho 1. Os trechos 2 e 4 também apresentaram concentrações elevadas de ferro nas amostras (acima de 20% da massa seca da amostra). O manganês foi avaliado conforme a sua concentração em mg/kg. As maiores concentrações foram observadas nos trechos 2 e 7. A concentração de manganês foi superior a 1.000 mg/kg na maioria das amostras analisadas.

A distribuição espacial dos dados de granulometria dos sedimentos fluviais está apresentada na Figura 34.

Figura 25 – Distribuição dos resultados de Arsênio por trecho.

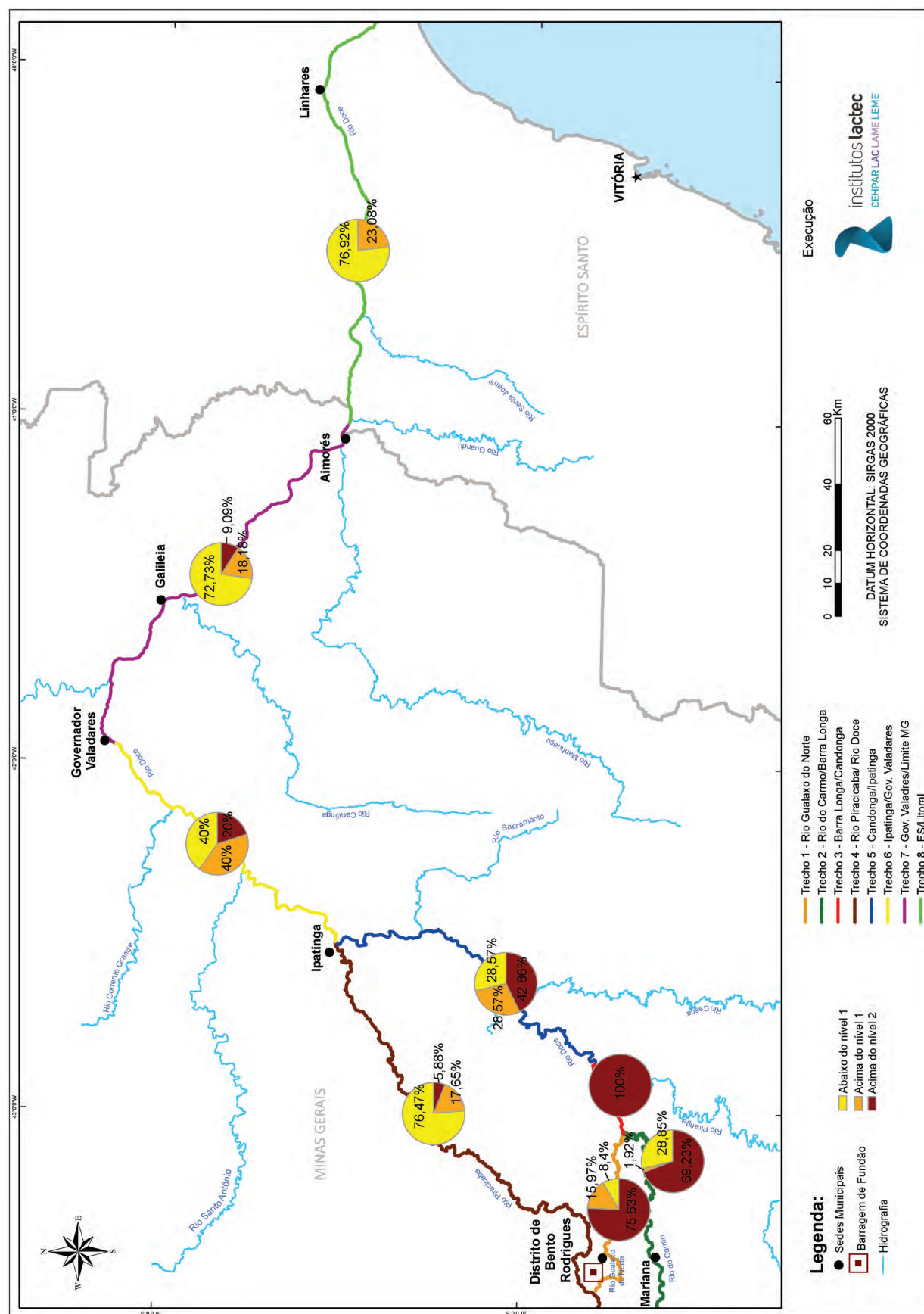


Figura 26 – Distribuição dos resultados de Chumbo por trecho.

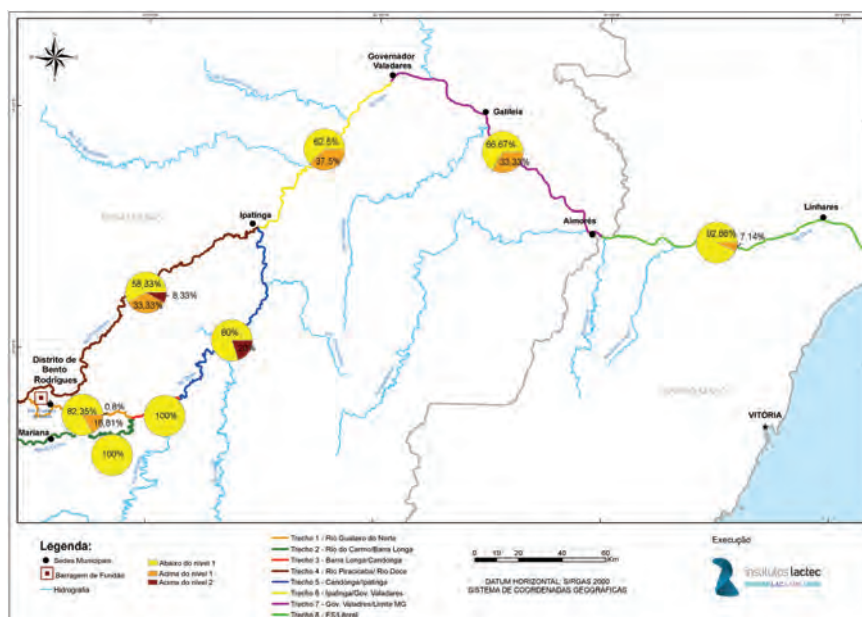


Figura 27 – Distribuição dos resultados de Cobre por trecho.

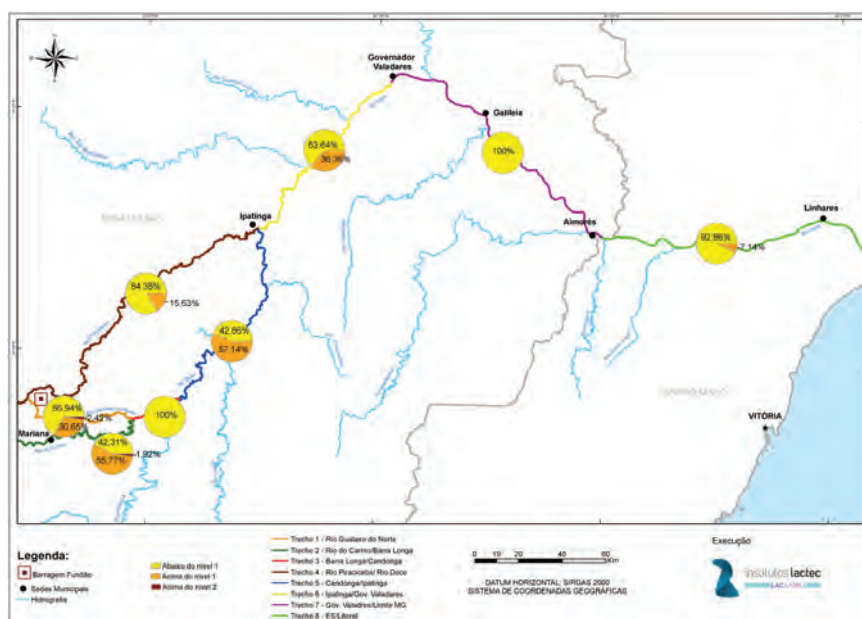


Figura 28 – Distribuição dos resultados de Cromo por trecho.

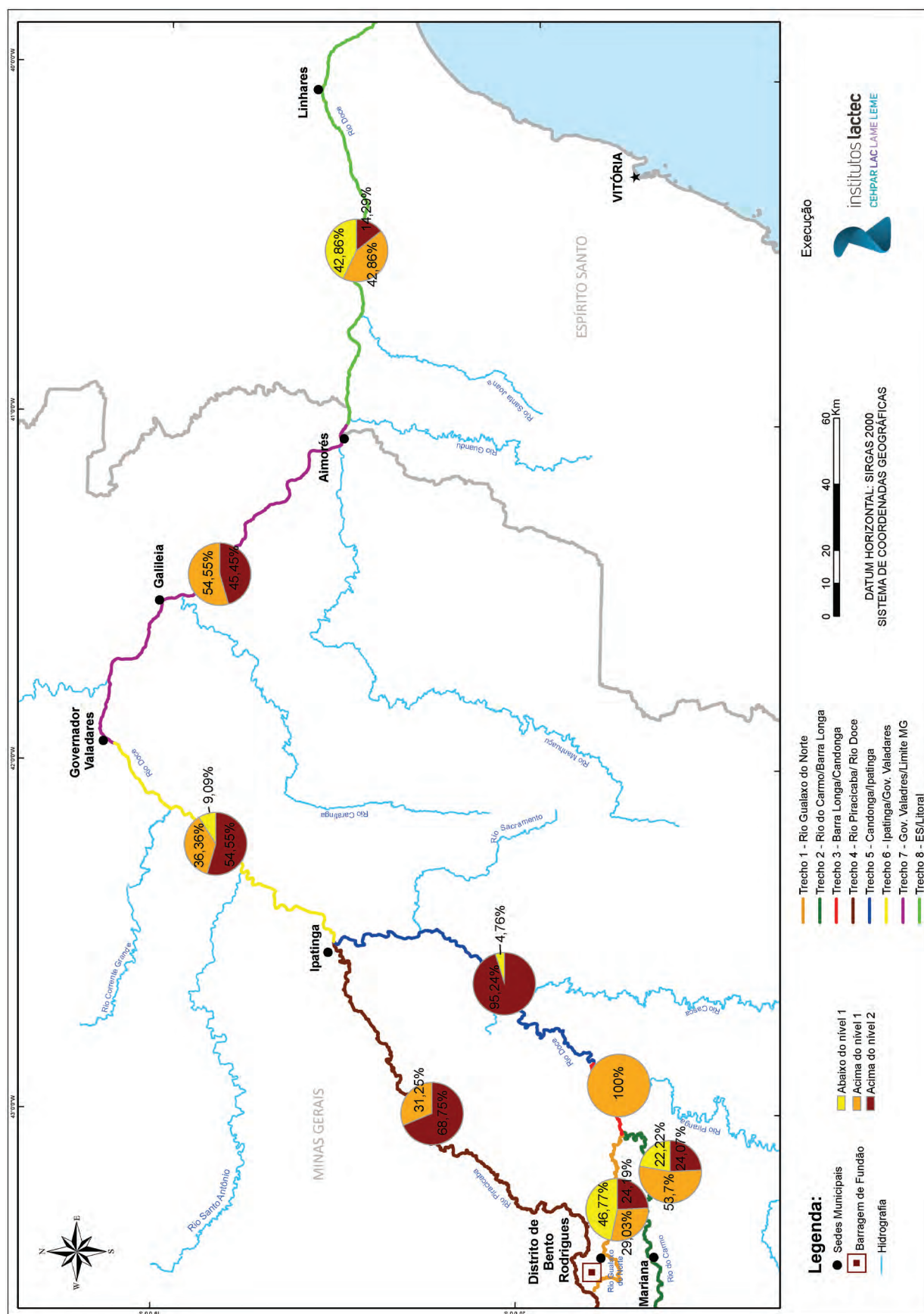


Figura 29 – Distribuição dos resultados de Mercúrio por trecho.

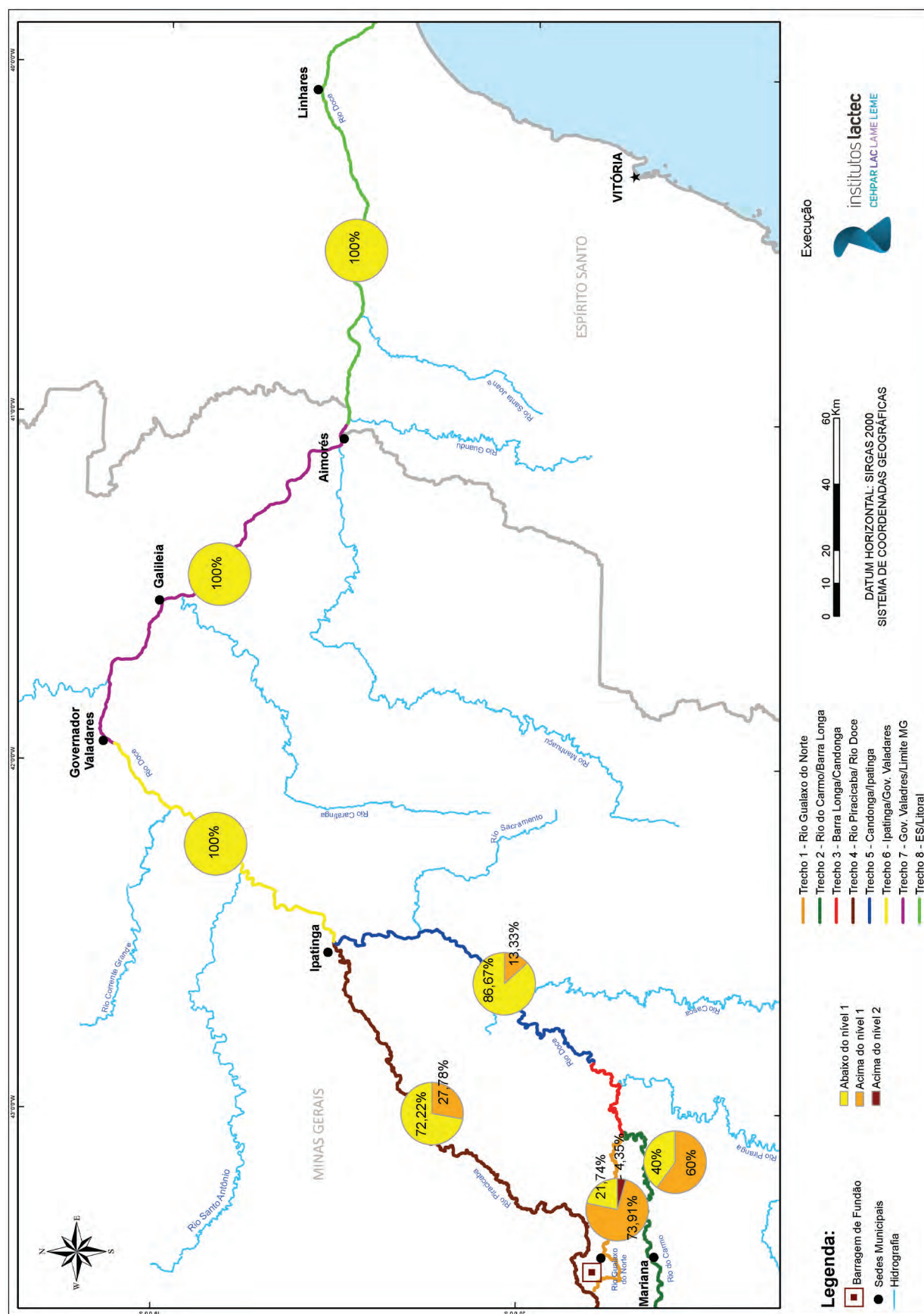


Figura 30 – Distribuição dos resultados de Níquel por trecho.

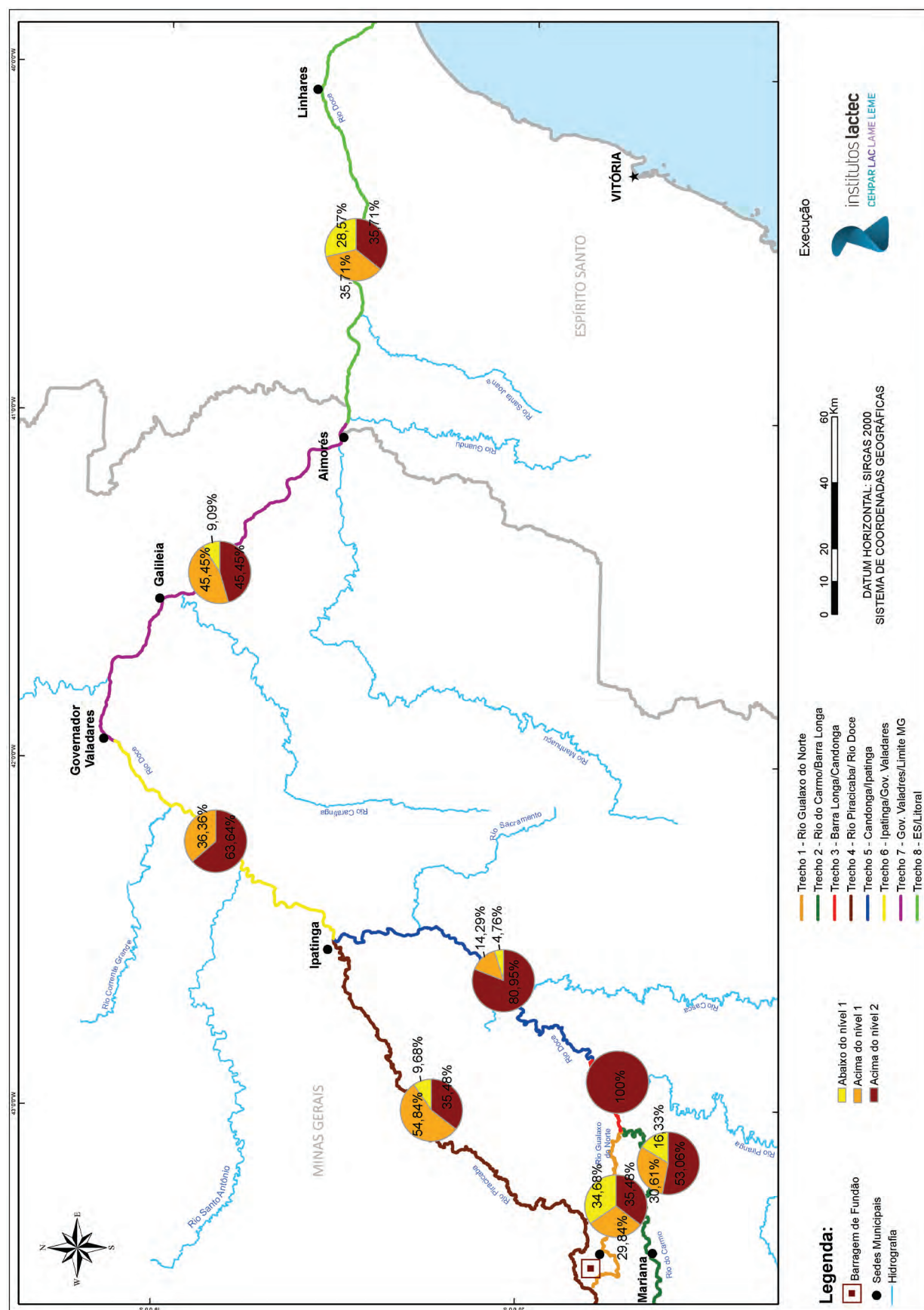


Figura 31 – Distribuição dos resultados de Alumínio por trecho.

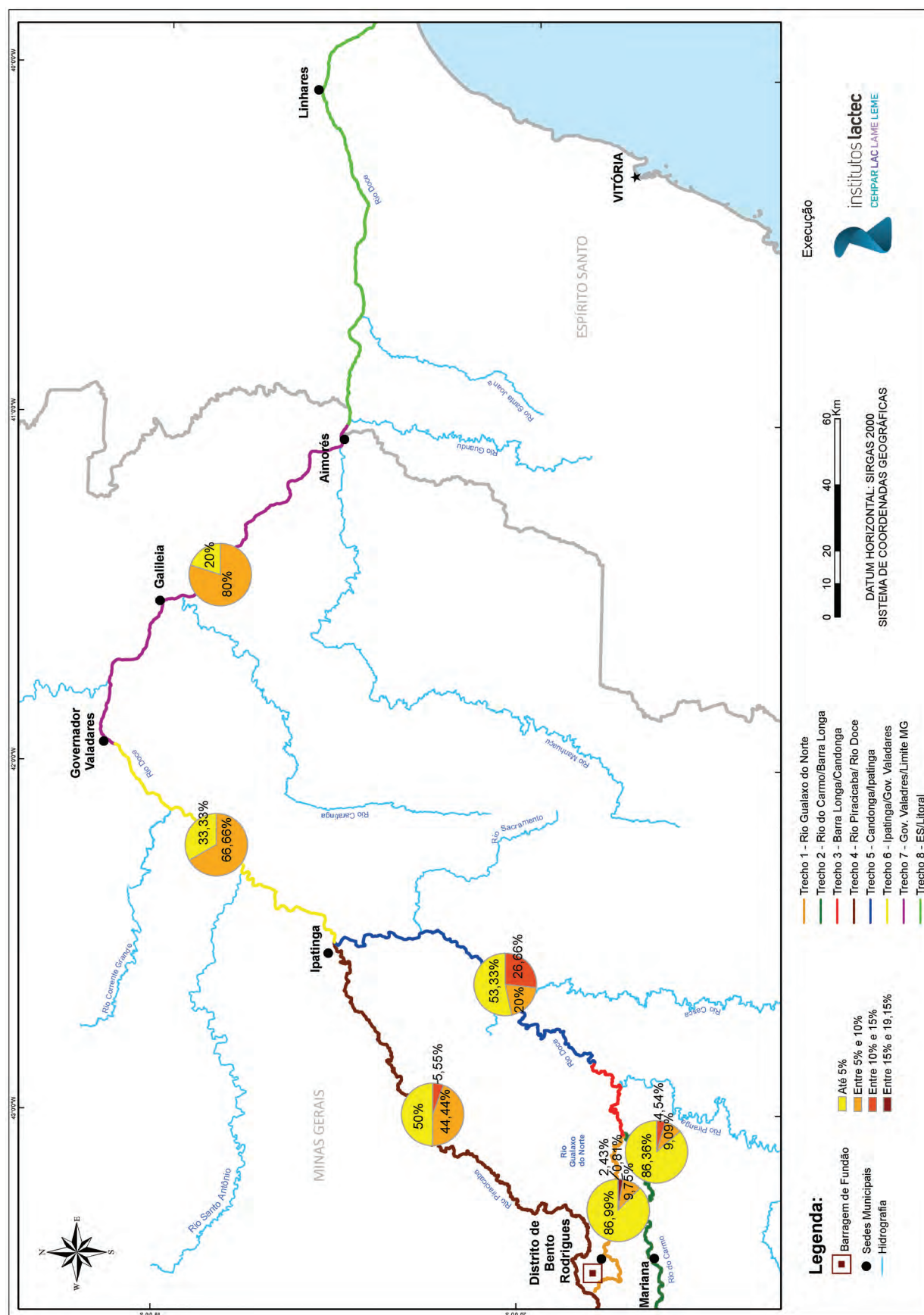


Figura 32 – Distribuição dos resultados de Ferro por trecho.

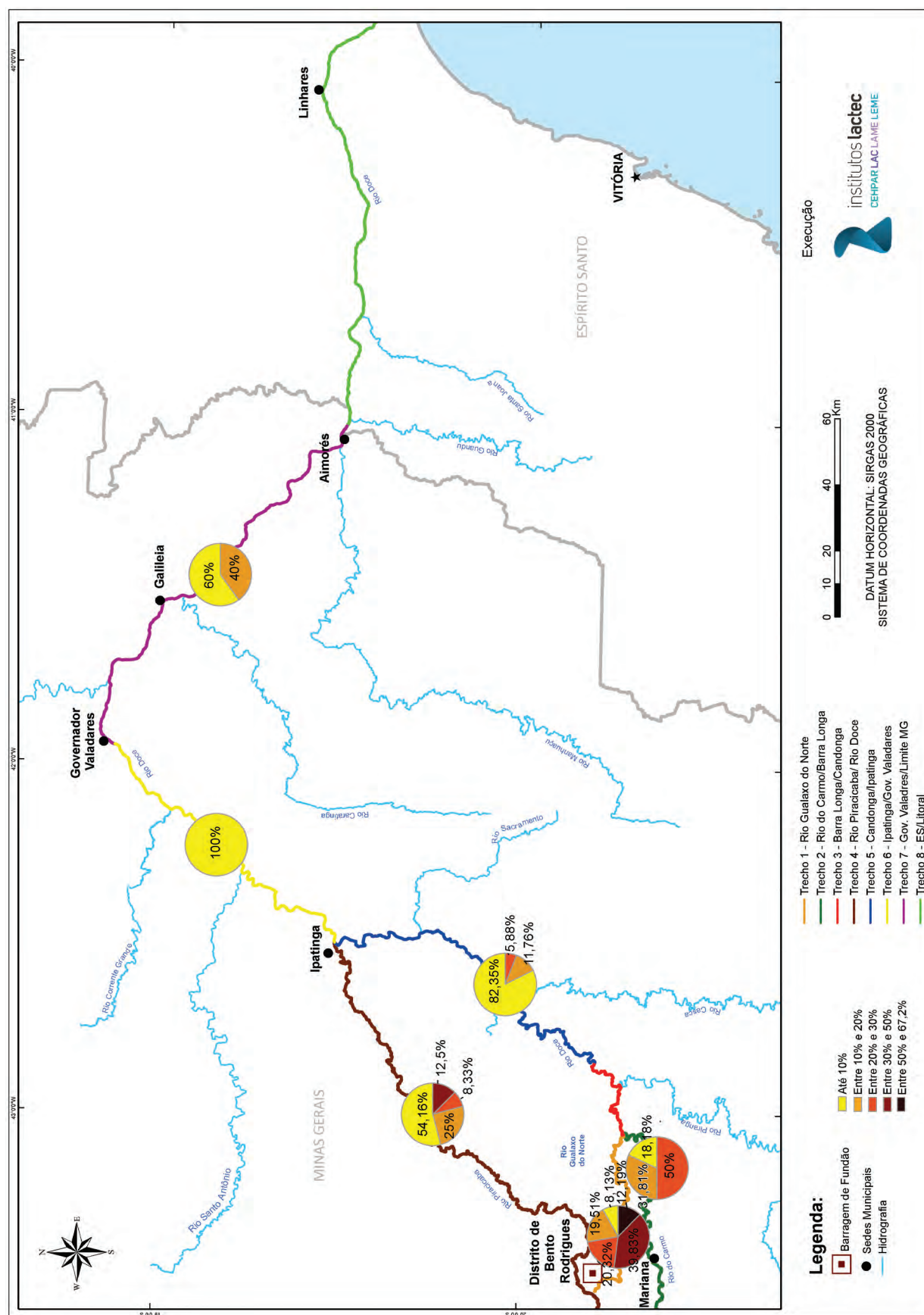


Figura 33 – Distribuição dos resultados de Manganês por trecho.

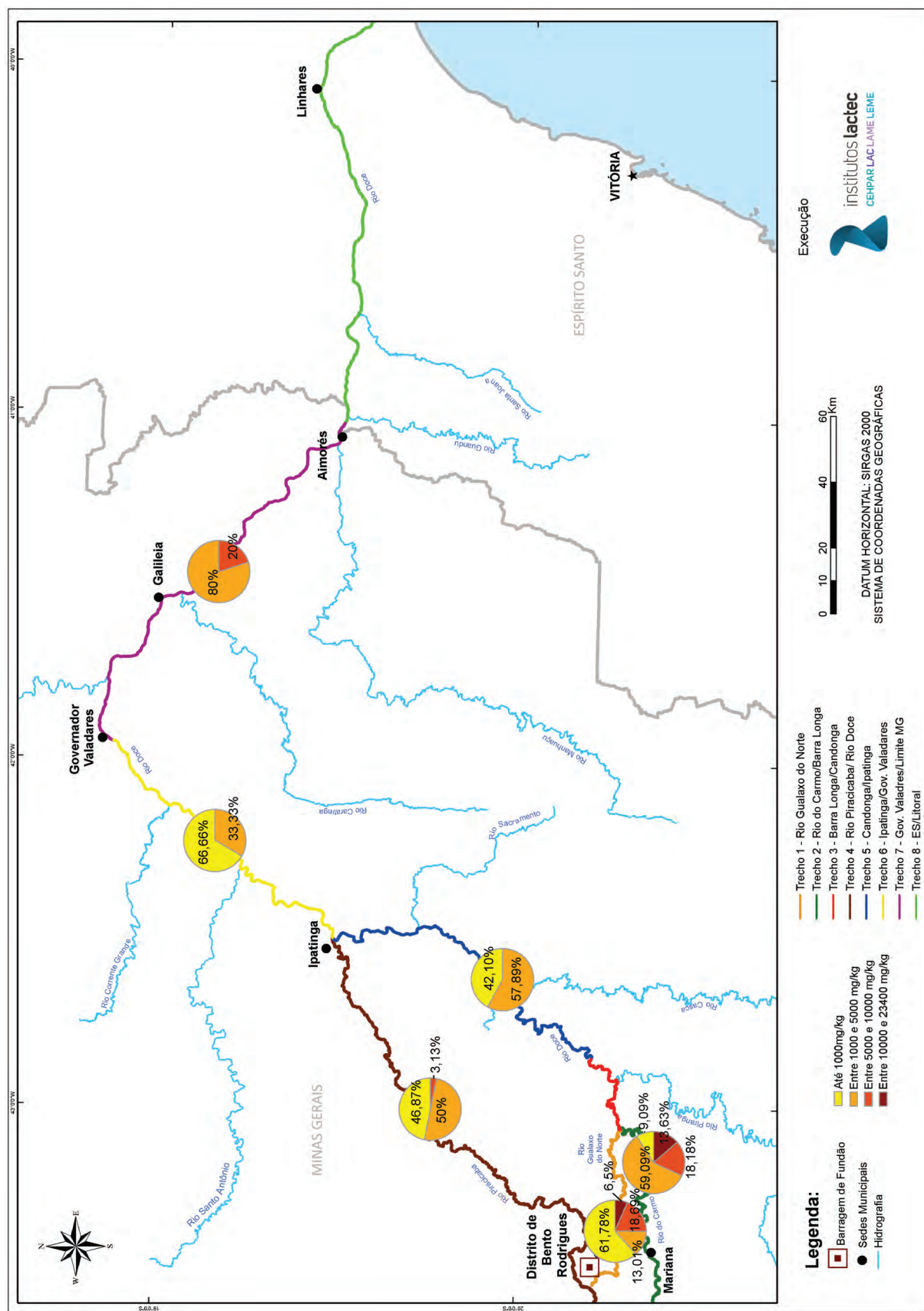
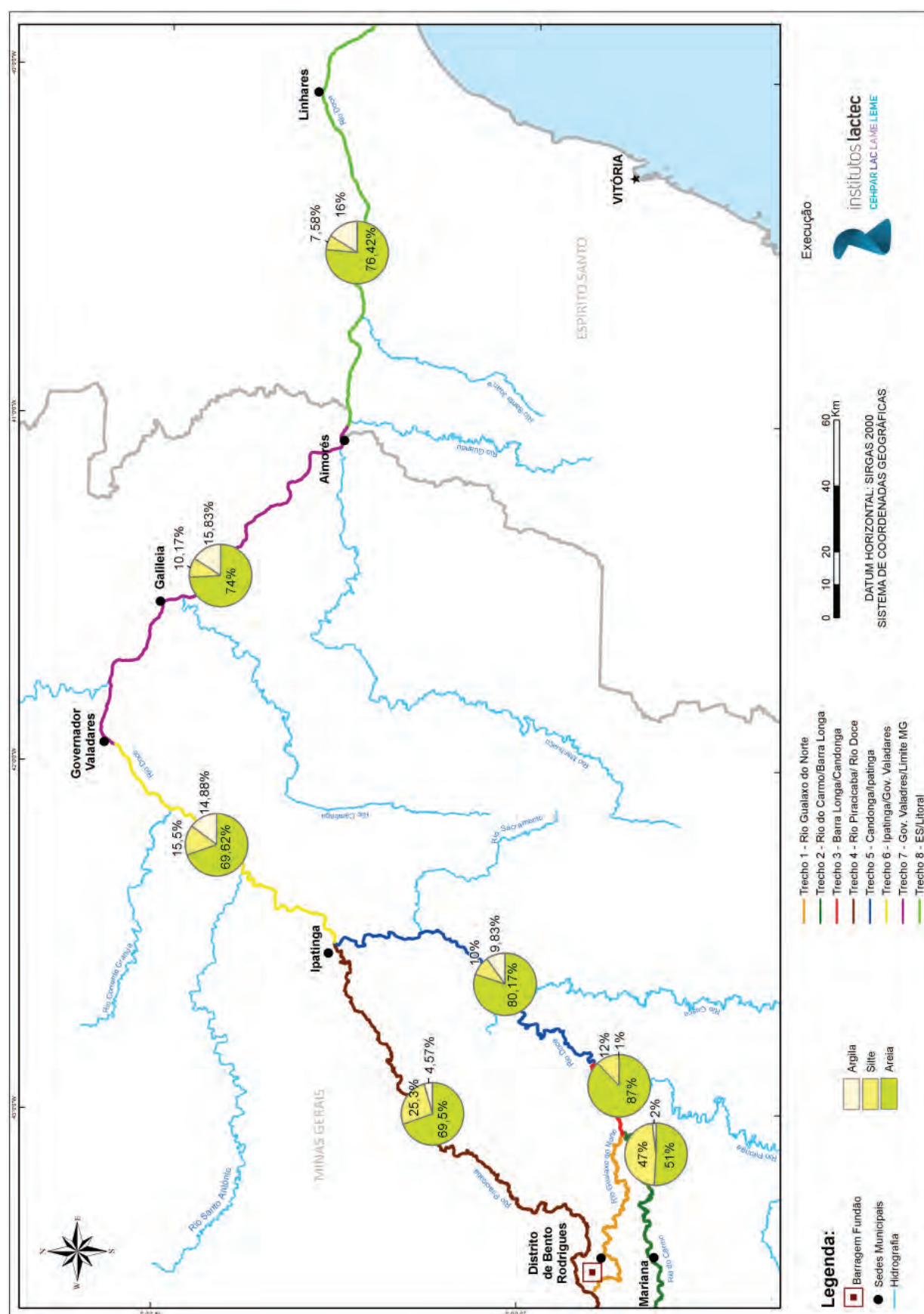


Figura 34 – Distribuição espacial dos dados granulométricos.



A fração areia é predominante na grande maioria dos trechos analisados. No trecho 1 não foram encontrados dados. No trecho 2, a fração de silte é bastante significativa (47%). Durante a vistoria de campo foi possível observar, de forma visual e superficial, que, em geral, os tamanhos das partículas do solo são menores nas regiões do rio Gualaxo do Norte, rio do Carmo, rio Piracicaba e rio Doce até o município de Ipatinga. À medida que o rio avança para leste, os tamanhos das partículas do solo tendem a aumentar e apresentar característica de areia mais grossa. A seguir, as figuras apresentam fotografias dos sedimentos ao longo do rio Doce (Figura 35 a Figura 37).

Figura 35 - Sedimento depositado próximo à margem do rio Doce em São Domingos da Prata.



Figura 36 - Sedimento de margem próximo à balsa do Naque, em Belo Oriente.



Figura 37 - Sedimento da praia de Regência, na foz do rio Doce.



Macroinvertebrados de água doce

Foram encontrados registros de 333 macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Doce, os insetos foram mais representativos. Larvas de mosquitos (Chironomidae) e vermes segmentados (Oligochaeta) apresentam ampla distribuição em toda a bacia. Entre os estudos no corpo principal do rio Doce, as larvas de libélulas (Gomphidae), os bivalves e os caramujos (Thiaridae) também apresentaram ampla distribuição. As larvas de besouros (Elmidae) e larvas de efêmera (Baetidae) foram comuns. Os mosquitos da família Chironomidae e vermes segmentados da classe Oligochaeta se destacaram também por apresentarem grandes densidades em alguns estudos, assim como os moluscos invasores Bivalve (*Corbicula*) e o caracol asiático (*Melanoides tuberculata*) (Tabela 3).

Tabela 3 - Grupos com ampla distribuição, comuns e com alta densidade no rio Doce.

<i>Nome popular</i>	<i>Grupo</i>	<i>Foto</i>
Larva de mosquito	Chironomidae (Diptera)	A larva de mosquito (Chironomidae) é mostrada em uma fotografia, apresentando um corpo alongado, curvado e de cor avermelhada.
Verme segmentado	Oligochaeta (Annelida)	A imagem mostra um verme segmentado (Oligochaeta) em um fundo amarelo, com uma escala de 200 µm indicada na parte inferior esquerda.
Larva de libélula	Gomphidae (Odonata)	A larva de libélula (Gomphidae) é mostrada em uma fotografia, apresentando um corpo robusto, achatado e de cor marrom.
Larva de besouros	Elmidae (Coleoptera)	A larva de besouros (Elmidae) é mostrada em uma fotografia, apresentando um corpo alongado, achatado e de cor marrom.
Larvas de efêmera	Baetidae (Ephemeroptera)	A larva de efêmera (Baetidae) é mostrada em uma fotografia, apresentando um corpo alongado, achatado e de cor marrom.
Bivalves	<i>Corbicula</i> (Bivalvia)	A imagem mostra dois bivalves (Corbicula) em uma fotografia, apresentando conchas arredondadas e de cor marrom.
Caramujo	<i>Melanoides tuberculata</i> (Thiaridae)	A imagem mostra dois caramujos (Melanoides tuberculata) em uma fotografia, apresentando conchas conônicas e de cor marrom.

Fonte fotos – Oligochaeta: Soto, Caballero e Quiroga (2015); *Chironomidae*, Gomphidae, Elmidae: Hamada, Nessimian e Querino (2014); Baetidae: Souza, Salles e Nessimian (2011); Thiaridae: Souto, Brito e Rosa (2011); Bivalvia: Jose Lietor Gallego.

Área Estuarina e Costeira

A Figura 38 apresenta a localização dos pontos de amostragem dos estudos de sedimentos em área estuarina e costeira selecionados.

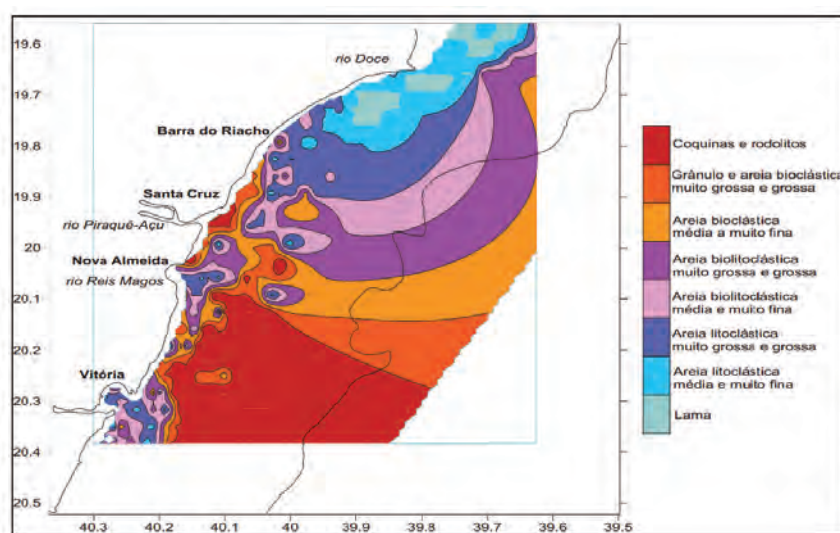
Figura 38 – Localização dos locais de amostragem dos estudos selecionados.



Os sedimentos carbonáticos, com teores de CaCO_3 superiores a 75%, são predominantes na plataforma continental na região de estudo (ALGADERMIS, 2011). A região é rica em bioclastos, que são caracterizados como fragmentos esqueléticos de natureza biomineral (DAMAZIO, 2004 apud DAMAZIO, 2006). Outro tipo de sedimento presente nessa região é o litoclasto: fragmento de rocha carbonática (REJEIERS; HSÜ, 1986).

A Figura 39 apresenta o mapa faciológico (granulometria dos sedimentos) na região adjacente à foz do rio Doce. Na região mais próxima à foz do Rio Doce, predominam depósitos areia litoclástica média e muito fina intercalados por lama.

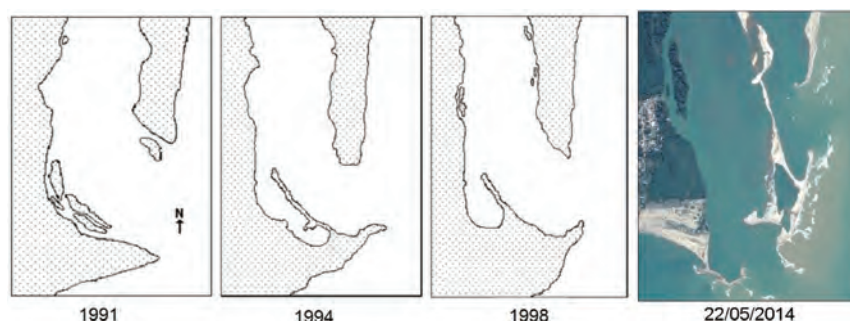
Figura 39 - Mapa faciológico da região dos estudos.



Fonte: Albino (2003) apud Portocel (2008).

A foz do rio Doce é uma região bastante dinâmica do aspecto geomorfológico. Predominam sedimentos e solos arenosos, principalmente areia grossa e muito grossa. Na Figura 40 é possível observar a modificação da foz do rio Doce de 1991 a 2014.

Figura 40 – Alterações na geomorfologia da foz do rio Doce entre 1991 e 2014 (Aprile et al., 2004; imagem do satélite SPOT, modificado por Institutos Lactec, 2017).



Quanto aos metais, Aguiar et al (2014) compararam a concentração destes no sedimento marinho na costa dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Espírito Santo. Embora todas as concentrações encontradas tenham sido menores aos valores orientadores da Resolução CONAMA nº 454/2012, observou-se que as concentrações de todos os metais encontradas no Espírito Santo são muito mais elevadas do que as concentrações encontradas no Ceará e no Rio Grande do Norte, destacando-se as concentrações de ferro, magnésio e alumínio. O estudo realizado por CEPENAR (2006) também apresentaram concentrações abaixo dos Níveis 1 e 2.

O EIA do Estaleiro Jurong Aracruz (CTA, 2009) apresentou valores acima do Nível 1 para o arsênio e o mercúrio, sendo 5% e 12,5% dos valores, respectivamente. Na média das campanhas realizadas por CPMAIS (2015), 75% das amostras apresentaram concentração de arsênio acima do Nível 1 e 16,66% acima do Nível 2. No relatório elaborado por Portocel e CEPENAR (2008) também foram detectadas concentrações de arsênio acima do Nível 1.

No EIA do Mineroduto Morro do Pilar (ECOLOGY BRASIL; ECOCONSERVATION, 2013) foram observados valores de arsênio acima do Nível 1 na maioria dos pontos amostrados. O elemento cobre ultrapassou o Nível 1 em apenas uma amostra.

Mirlean et al (2012) encontraram valores de arsênio acima do Nível 1 e acima do Nível 2 ao longo da costa da região de Barra do Riacho (Aracruz, ES) em 2008.

No EIA para o Gasoduto Sul Norte Capixaba (PETROBRAS, 2011), foram observadas altas concentrações de ferro e alumínio. Foram observadas concentrações de cádmio, cromo e mercúrio acima do Nível 1 na região costeira Norte, além de valores de níquel acima do Nível 2.

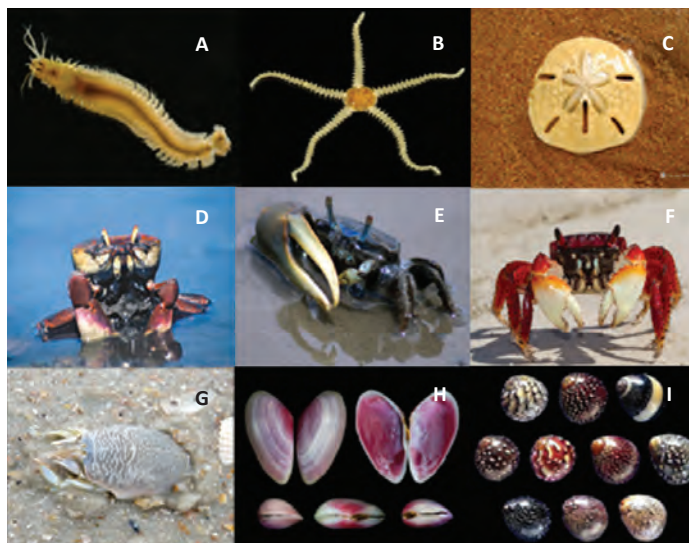
No Relatório de Controle Ambiental da Dragagem de Manutenção do Terminal da Barra do Riacho (PORTOCEL, 2011), para os valores de arsênio, foi verificado que 75% das amostras apresentavam concentrações acima do Nível 1 e nas áreas de bota-fora também foram observadas concentrações acima do Nível 2. O elemento níquel apresentou 15% das amostras com concentração acima do Nível 1. O cromo apresentou concentrações acima do Nível 1 na área de bota-fora.

Bentos de fundos inconsolidados

Por meio desse levantamento foi possível evidenciar que a maioria dos estudos foram realizados em áreas próximas da capital, principalmente aqueles relacionados com os ambientes de manguezais e praia. Os estudos realizados em praias, estuários, manguezais e infralitoral são restritos a áreas específicas, e, portanto, ainda insuficientes para uma estimativa confiável das densidades populacionais ou mesmo para uma avaliação detalhada da real biodiversidade ao longo da costa do Espírito Santo. A plataforma recebeu maior enfoque apresentando estudos que cobrem maior extensão como é o caso do estudo realizado no programa ReviZEE, que possibilitou um bom levantamento da biodiversidade de águas profundas.

De maneira geral as espécies com maior interesse econômico, como as ostras, mexilhões e crustáceos, foram mais estudadas. A Figura 41 apresenta exemplos de invertebrados de fundos moles típicos da região litorânea.

Figura 41 - Exemplos de invertebrados de fundos moles típicos da região litorânea. Polychaeta (A); Echinodermata- (B) Lírio-do-mar, (C) Bolacha-da-praia; Crustacea – (D) Caranguejo-uçá, (E) Caranguejo-chama-maré, (F) Maria-mulata, (G) Tatuíra; Mollusca – (H) Bivalve-de-praia, (I) Nerita-manchada.



Fontes: (A) <http://nathistoc.bio.uci.edu>, (B) <http://www.discoverlife.org>, (C) <http://www.biofaces.com>, (D) <https://jacarenema.wordpress.com>, (E) <https://fineartamerica.com>, (F) <http://www.fotofauna.org>, (G) <http://www.jaxshells.org>, (H) <https://commons.wikimedia.org>, (I) <http://aquasnail.blogspot.com.br>.

A área de estudo afetada pelo rompimento da barragem de Fundão já apresentava concentrações elevadas de metais traço há vários anos antes do desastre. Em geral, os trechos com as maiores concentrações são os localizados no rio Gualaxo do Norte e Rio do Carmo. Outros trechos também apresentam concentrações mais elevadas de determinados metais, como é o caso do cromo, no rio Piracicaba e no rio Doce no trecho entre Barra Longa e Aimorés. Em geral, a concentração de metais é maior nos rios mais próximos às minas de Alegria e Timbopeba, decrescendo ao longo do rio Doce. As menores concentrações são encontradas no estado do Espírito Santo, onde também é encontrado o menor número de dados disponíveis.

Quanto aos sedimentos das áreas estuarinas e costeiras, o arsênio foi o elemento que mais se destacou, com concentrações acima do Nível 1 na maioria das amostras. Outros elementos que apresentaram concentrações acima do Nível 1 em algumas poucas amostras pontuais foram: mercúrio, cobre, níquel e cromo.

Os macroinvertebrados bentônicos não eram monitorados regularmente como bioindicadores na bacia do rio Doce. Entre os estudos realizados, diversos corpos de água foram considerados com baixa qualidade ambiental relacionada a atividades antrópicas, com fauna de macroinvertebrados composta por grupos tolerantes e baixa variedade de espécies.

ÁGUAS SUPERFICIAIS FLUVIAIS

Águas superficiais fluviais, ou rios, são cursos naturais de água doce, que migram em direção a um oceano, lago ou outro rio. No presente item, o enfoque dado às águas superficiais fluviais foi relativo ao seu aspecto qualitativo. Desse modo, foram avaliadas as condições da

qualidade da água do rio Doce e seus afluentes no período anterior ao desastre de Mariana (MG), além das comunidades fitoplanctônica e zooplanctônica inerentes a esses ambientes, com base em dados secundários e informações obtidas da literatura.

A água é indispensável para a manutenção da vida, sendo um elemento insubstituível em diversas atividades. Para que a água possa ser empregada em diferentes usos é necessário que se apresente não somente em quantidade, mas também em qualidade adequada. Assim, caso a água não seja empregada de modo sustentável ou se torne poluída, sua disponibilidade poderá ser comprometida afetando seus usuários, bem como os organismos que nela vivem.

Tanto a comunidade fitoplanctônica, quanto a comunidade zooplanctônica são considerados bioindicadores de qualidade de água, uma vez que seu ciclo de vida se desenvolve completamente nesse ecossistema, podendo sofrer alterações caso a qualidade de água também se altere. Dessa forma, a ocorrência de determinadas espécies e/ou grupos pode indicar alguns aspectos da qualidade da água.

O fitoplâncton é composto por organismos fotossintetizantes microscópicos que passam todo o seu ciclo de vida suspensos na coluna d'água (ESTEVES; SUZUKI, 2011). Nesse grupo, estão incluídas algas e cianobactérias que são responsáveis pela produção primária dos ecossistemas e constituem a base da cadeia alimentar nos ambientes aquáticos. O desenvolvimento desses organismos é influenciado, principalmente, pelo suprimento adequado de energia luminosa e nutrientes inorgânicos dissolvidos. Eventualmente, algumas espécies de microalgas podem ocorrer em elevada densidade (floração) e causar impactos econômicos, ambientais e à saúde humana. O zooplâncton é considerado o principal grupo que liga os produtores (fitoplâncton) aos consumidores primários (peixes, etc.), pois se alimentam principalmente do fitoplâncton (ALCARAZ; CALBET, 2003; TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Para a avaliação das condições de qualidade de água que o rio Doce e seus afluentes apresentavam antes do rompimento da barragem de rejeitos minerários de Fundão, foram utilizadas as séries de dados históricos do Instituto Mineiro da Gestão das Águas – IGAM (MG) e do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA (ES). Consideraram-se dados até a data anterior ao dia 5 novembro de 2015. Em relação ao período avaliado, esses institutos possuíam ao longo da bacia do rio Doce diversos pontos de monitoramento da qualidade da água, sendo que para o presente estudo foram estudados no total 30 estações de monitoramento. Desse total, 17 estavam localizadas no rio Doce e o restante distribuído em afluentes.

A caracterização da qualidade da água do rio Doce e seus afluentes foi realizada a partir da análise de resultados de inúmeros parâmetros físicos, químicos e microbiológico, os quais foram avaliados por anos, em 30 estações de monitoramento. É importante destacar, no entanto, que a base de dados do IEMA (ES) se apresentou inferior à base do IGAM (MG), tanto em número de parâmetros de qualidade de água quanto em número de eventos monitorados.

Os dados gerados do monitoramento das estações supracitadas foram comparados com os limites máximos permitidos para rios de Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e os padrões de lançamento de efluentes, e dá outras

providências. Foram, então, calculados os percentuais de desacordos em relação à referida resolução para cada um dos parâmetros estudados, considerando o número total de eventos monitorados em cada uma das 30 estações. Para parâmetros de qualidade de água não contemplados por essa resolução, calcularam-se diferentes medidas estatísticas que serão utilizadas posteriormente como valor de referência em relação aos dados gerados após o desastre.

Além disso, foram investigados também quais parâmetros foram influenciados pela sazonalidade entre os períodos seco, registrado entre abril e setembro, e chuvoso, que ocorre entre os meses de outubro e março. Ou seja, aqueles parâmetros de qualidade de água que apresentaram aumento no percentual de não conformidades no período destacado.

Em relação à avaliação das comunidades fitoplanctônica e zooplanctônica, foi realizada extensa pesquisa bibliográfica visando a busca de informações sobre a presença dessas comunidades na região de estudo. Para o fitoplâncton, em especial, foram avaliados ainda dados quantitativos e qualitativos referentes ao monitoramento trimestral ocorrido nas estações do IGAM/MG, entre janeiro/2010 e outubro/2015.

Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água

A Tabela 4 e a Tabela 5 apresentam os percentuais mínimos e máximos de desacordos observados para os parâmetros de qualidade de água em relação aos limites da Resolução CONAMA nº 357/2005 entre as estações de monitoramento avaliadas. Em Minas Gerais, foram avaliadas 23 estações de monitoramento, e no Espírito Santo, foram avaliadas sete estações. Parâmetros de qualidade de água que apresentaram desacordos, em no mínimo 20% dos eventos monitorados, foram considerados mais relevantes, visto que se apresentaram não conformes com maior frequência.

Tabela 4 – Percentual de desacordos dos parâmetros de qualidade de água em relação aos limites legislados para o estado de Minas Gerais.

Não apresentaram desacordos	Apresentaram desacordos em algum momento, porém menos significativos (<20%)	Desacordos significativos (≥20%), em algum momento
Boro total: 0%	DBO: 0 a 3%	Alumínio dissolvido: 3 a 24%
Cloreto total: 0%	pH: 0 a 10%	Chumbo total: 3 a 26%
Nitrato: 0%	OD: 0 a 2%	Coliformes termotolerantes: 32 a 97%
Nitrito: 0%	Fenóis totais: 0 a 14%	Cor verdadeira: 7 a 31%
Nitrogênio amoniacal total: 0%	Bário total: 0 a 3%	Fósforo total: 2 a 41%
Nitrogênio total: 0%	Cádmio total: 0 a 3%	Manganês total: 5 a 100%
Selênio: 0%	Cobre dissolvido: 0 a 7%	Sólidos em suspensão totais: 4 a 32%
Sólidos dissolvidos totais: 0%	Cromo total: 0 a 11%	Turbidez: 6 a 25%
Sulfato total: 0%	Mercúrio total: 0 a 7%	Ferro dissolvido: 0 a 36%
	Níquel total: 0 a 9%	Arsênio total: 0 a 78%
	Zinco total: 0 a 8%	

De acordo com a Tabela 4, oito parâmetros apresentaram desacordos em todas as 23 estações avaliadas no trecho mineiro: coliformes termotolerantes, fósforo total, cor verdadeira, sólidos em suspensão totais, turbidez, alumínio dissolvido, chumbo total e manganês total. Outros parâmetros que não apresentaram desacordos em todas as estações, mas se mostraram relevantes na presente avaliação, foram o ferro dissolvido e o arsênio total.

Em relação à avaliação da série histórica de dados do IEMA/ES (Tabela 5), quatro parâmetros apresentaram desacordos nas sete estações avaliadas: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, fósforo total e turbidez. Para a DBO, entretanto, os percentuais de desacordos não foram tão significativos quanto aqueles observados para as demais variáveis.

Tabela 5 – Percentual de desacordos dos parâmetros de qualidade de água em relação aos limites legislados para o estado do Espírito Santo.

Não apresentaram desacordos	Apresentaram desacordos em algum momento, porém menos significativos (<20%)	Desacordos significativos (≥20%), em algum momento
Nitrogênio total: 0%	DBO: 11 a 19%	Coliformes termotolerantes: 41 a 100%
	pH: 0 a 8%	Fósforo total: 24 a 41%
	OD: 0 a 8%	Turbidez: 15 a 41%

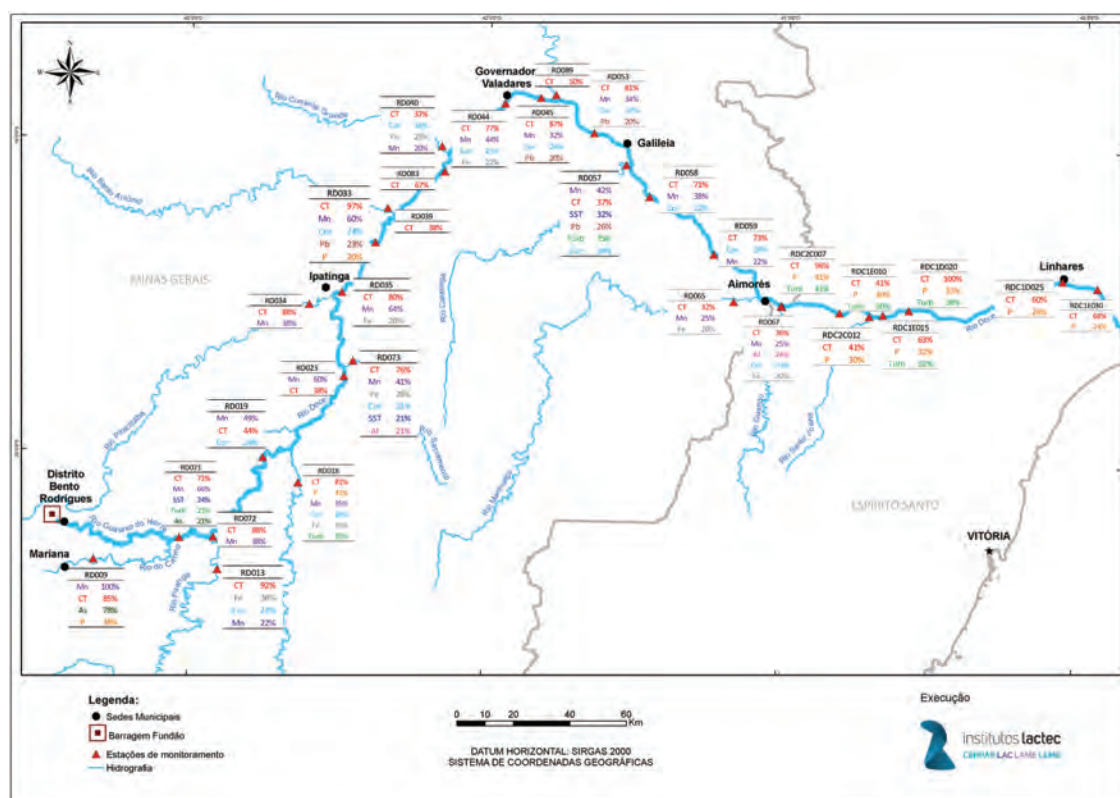
Em relação à influência do período chuvoso, observou-se aumento dos percentuais de não conformidade para os seguintes parâmetros: cor verdadeira, sólidos totais, sólidos em suspensão totais, turbidez, fósforo total, nitrogênio orgânico, alumínio total e dissolvido, chumbo total, cobre total, ferro dissolvido e manganês total.

A Figura 42 mostra, para cada uma das estações de monitoramento, os parâmetros de qualidade de água que apresentaram percentuais de desacordos em pelo menos 20% dos eventos avaliados. Os parâmetros de qualidade de água resultantes desta análise foram: coliformes termotolerantes (CT), manganês total (Mn), cor verdadeira (Cor), ferro dissolvido (Fe), chumbo total (Pb), fósforo total (P), alumínio dissolvido (Al), arsênio total (As), sólidos em suspensão totais (SST) e turbidez (Turb).

Para os coliformes termotolerantes, foram observados desacordos relevantes ao longo de todo o rio Doce e afluentes. Desacordos mais significativos de fósforo e turbidez foram observados principalmente no trecho capixaba. Sólidos em suspensão totais tiveram percentuais de não conformidades superiores a 20% em três afluentes: rio do Carmo, ribeirão Sacramento e rio Caratinga. Para a cor verdadeira, observaram-se desacordos mais relevantes em diversos pontos do trecho mineiro. Para o manganês total, desacordos mais significativos ocorreram em praticamente todo o trecho mineiro. Quanto ao arsênio total, percentuais de não conformidades mais expressivos concentraram-se no rio do Carmo. Desacordos relevantes de ferro dissolvido concentraram-se, principalmente, no trecho médio do rio Doce, assim como observado para o chumbo total. Para o alumínio dissolvido, percentuais mais significativos foram observados no

ribeirão Sacramento e no município de Aimorés (MG). Ressalta-se, contudo, que nem todos os parâmetros avaliados em Minas Gerais apresentaram dados disponíveis no estado do Espírito Santo, o que pode ser observado quando comparadas a Tabela 4 e a Tabela 5.

Figura 42 - Parâmetros de qualidade de água com percentuais de não conformidade mais expressivos ao longo da região de estudo.



Comunidade fitoplanctônica

Poucos estudos foram realizados nos ambientes reófilos da bacia do rio Doce. A maior parte dos estudos apresentou enfoque ecológico, sendo poucos os que apresentaram a relação das espécies encontradas. Informações mais substanciais foram obtidas a partir das análises qualitativas e quantitativas realizadas pelo IGAM/MG. Com base nos dados coletados trimestralmente, durante janeiro/2010 a outubro/2015, a comunidade fitoplanctônica do rio Doce e nove de seus afluentes foi composta por 404 espécies. Cianobactérias, algas verdes (classe Chlorophyceae) e diatomáceas (classe Bacillariophyceae) foram os principais constituintes da comunidade. Entre as 59 espécies de cianobactérias registradas nas análises do IGAM/MG, 27 são consideradas potenciais produtoras de toxinas. Eventos de floração (≥ 50.000 cél./mL) de cianobactérias toxigênicas ocorreram no rio Doce em outubro/2012 (RD053: 69.022 cél./mL; RD058: 153.198 cél./mL; RD059: 61.323 cél./mL) e outubro/2015 (RD023: 85.354 cél./mL), e no afluente rio Casca em outubro/2015 (RD018: 1.746.678 cél./mL).

Comunidade zooplanctônica

A grande maioria dos dados encontrados para o zooplâncton foi referente às lagoas marginais do PERD e seu entorno. Dos corpos hídricos avaliados, foram obtidos dados para o trecho médio do rio Doce e para os rios do Carmo e Piracicaba. A partir da avaliação dos trabalhos encontrados, foram registradas 307 espécies, sendo duas delas exóticas (PEIXOTO et al., 2010; MAIA-BARBOSA et al., 2014). Para os trechos de rio, o Médio rio Doce e o rio Piracicaba apresentaram riqueza de espécies elevada, segundo autores, assim como o observado nas lagoas marginais. Já no rio do Carmo foi encontrada baixa riqueza, ausência de cladóceros (espécies sensíveis) e ocorrência de espécies típicas de ambientes poluídos (SILVA, 2013).

Em resumo, da avaliação dos parâmetros de qualidade de água legislados, dez resultaram como os mais relevantes na região de estudo no período anterior ao rompimento da barragem de Fundão em relação a não conformidades: coliformes termotolerantes, fósforo total, cor verdadeira, sólidos suspensos totais, turbidez, alumínio dissolvido, chumbo total, manganês total, ferro dissolvido e arsênio.

O destaque para o parâmetro coliformes termotolerantes refletiu a problemática do esgotamento sanitário em toda a região de estudo. A relevância dos sólidos em suspensão totais e da turbidez está intimamente ligada à erosão do solo na bacia. Os metais ferro, manganês e alumínio podem ter sua significância relacionada aos teores mais elevados desses metais encontrados naturalmente no solo, além disso, são elementos abundantes na crosta terrestre. Para o arsênio, há de se destacar seu atrelamento ao processo de extração de ouro na sub-bacia do rio do Carmo.

Quanto à influência da sazonalidade, os parâmetros cor verdadeira, sólidos totais, sólidos em suspensão totais, turbidez, fósforo total, nitrogênio orgânico, alumínio total e dissolvido, chumbo total, cobre total, ferro dissolvido e manganês total apresentaram aumento de desacordos em relação aos limites legislados no período chuvoso.

Com base na pesquisa realizada, pode-se concluir que a comunidade fitoplanctônica dos rios da bacia ainda é pouco conhecida. De acordo com os resultados obtidos, os rios da região já apresentavam indicativos de degradação ambiental, inclusive com a ocorrência de cianobactérias em elevado número celular. Muitas espécies desse grupo apresentam potencial para produção de toxinas que, quando ingeridas, ocasionam lesões hepáticas ou neurológicas e podem levar a mortandade de organismos.

No que concerne à comunidade zooplanctônica, encontrou-se grande variação na riqueza e na densidade de espécies entre os ambientes estudados. Para o rio do Carmo, constatou-se baixa riqueza de espécies e organismos típicos de ambientes poluídos e resistentes a variações ambientais. Já para os demais trechos avaliados, a riqueza de espécies foi mais elevada, indicando ambientes relativamente mais preservados.

ÁGUAS SUPERFICIAIS ESTUARINAS E COSTEIRAS

Os estuários são locais onde o fluxo de água doce, a partir dos rios, se encontra com a água do mar. Em relação às águas costeiras, estas constituem uma faixa das águas marítimas, próxima ao continente. Resultados referentes à avaliação das comunidades fitoplanctônica e zooplanctônica que habitam esses ambientes também constam neste documento, ressaltando que estas comunidades podem ser utilizadas como bioindicadores da qualidade destas águas, visto que realizam seu ciclo de vida completo no ecossistema aquático.

Os aportes de água doce, sedimentos, matéria orgânica e substâncias dissolvidas trazidos pelos rios estão entre os principais fertilizantes e promotores da produtividade primária no oceano, fazendo com que os estuários e as águas costeiras atuem como as áreas de maior produtividade biológica dos oceanos.

Esses ambientes apresentam grande variabilidade espacial e temporal, em escalas interanual e sazonal, assim, a qualidade das águas também apresenta uma variação considerável. A manutenção da qualidade da água e dos regimes de variações desta é vital para a vida aquática dos oceanos e rios do planeta, além de sustentar os múltiplos usos que essas áreas oferecem à população, como pesca esportiva e artesanal, lazer, navegação, entre outros.

Além dos aspectos físicos e químicos das águas costeiras e estuarinas, também as comunidades do fitoplâncton e do zooplâncton contribuem para o entendimento da dinâmica do ecossistema, uma vez que esses organismos passam todo o seu ciclo de vida inseridos no ambiente aquático. No caso do fitoplâncton marinho, este é composto por organismos fotossintetizantes, unicelulares e microscópicos, que ocorrem em maior abundância nas áreas costeiras. As microalgas desempenham importante papel na ecologia e no funcionamento dos ecossistemas, contribuindo com quase a metade da produção primária mundial e servindo de recurso alimentar para uma enorme variedade de organismos aquáticos.

O zooplâncton marinho é um grupo de organismos encontrados na coluna da água, bastante heterogêneo, possuindo representantes de quase todos os filos animais. Os crustáceos estão entre os organismos mais representativos no zooplâncton marinho devido à sua abundância e importante papel na cadeia trófica. Entre eles, os copépodes são considerados os metazoários mais abundantes do planeta, além de poderem servir como bioindicadores.

A metodologia para avaliação da qualidade da água do ambiente marinho adjacente à foz do rio Doce foi baseada em pesquisas bibliográficas sistematizadas. Esta pesquisa envolveu diversos passos e a aplicação de filtros para a seleção dos estudos que apresentassem dados confiáveis e relevantes para a discussão dos temas abordados neste capítulo: qualidade das águas estuarinas e costeiras, bem como as comunidades fitoplanctônica e zooplanctônica desses ambientes.

Devido ao regime de ventos e correntes, a dispersão das plumas de material em suspensão dos rios dessa região tem potencial de deslocamento tanto para norte quanto para sul. Visto isso, a abrangência espacial da pesquisa bibliográfica em relação às características físicas e químicas da água, considerou toda a zona costeira do estado do Espírito Santo e de parte do sul

do estado da Bahia, dada a possibilidade de alterações na qualidade das águas, tanto na região costeira localizada a norte, quanto a sul da foz do rio Doce, decorrentes do desastre em estudo.

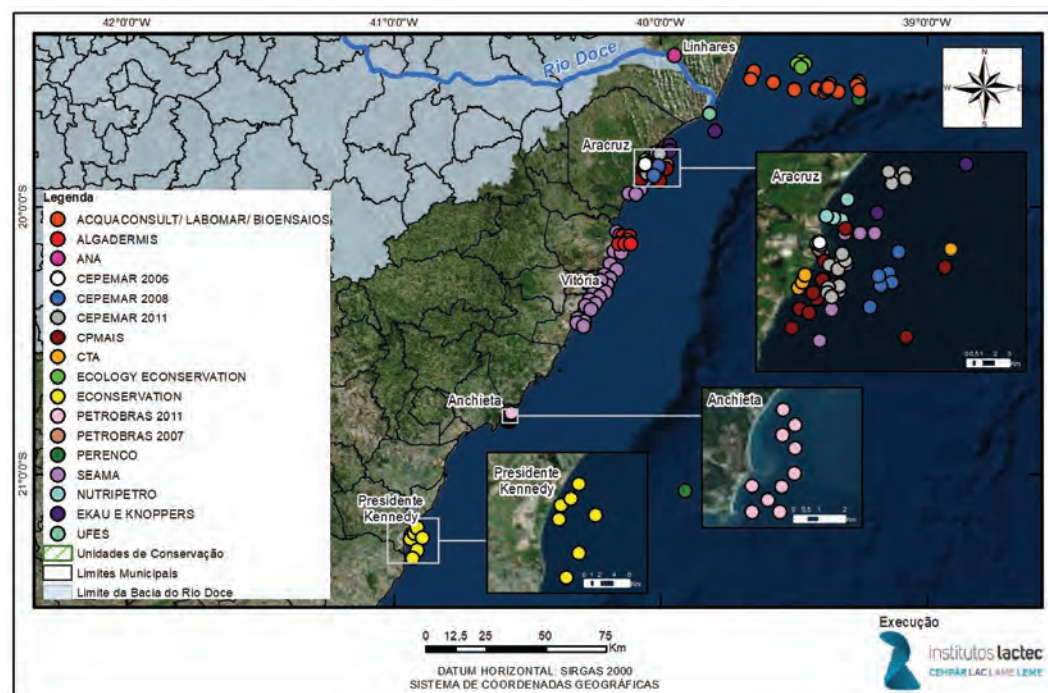
Na caracterização das condições ambientais da zona costeira do estado do Espírito Santo, os estudos levantados foram separados em grupos, de acordo com o município costeiro onde cada estudo foi realizado, bem como em resultados referentes a amostras em rios e mais distantes da costa, na porção média e exterior da plataforma. Com vistas à avaliação da influência da sazonalidade, os conjuntos de dados foram divididos em “período seco”, que ocorre entre outubro e março, e “período chuvoso”, que ocorre entre abril e setembro. Paralelamente a essa abordagem, foi avaliado o comportamento de cada parâmetro em relação às diferentes massas d’água encontradas no ambiente marinho.

Parâmetros físicos e químicos da água

A localização geográfica e abrangência espacial dos dados de qualidade das águas estuárias e costeiras utilizados para caracterização desses ambientes pode ser verificada na Figura 43.

A caracterização das massas d’água da região costeira do estado do Espírito Santo, realizada a partir dos valores de temperatura e salinidade, indicou para o predomínio na região da Água Tropical (AT) e Água de Mistura (AM), águas mais quentes e de maiores salinidades. Também foi verificada a ocorrência em regiões próximas às desembocaduras de rios da Água Costeira (AC), caracterizada por menores salinidades, e também de intrusões da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), com menores valores de temperatura, em amostras localizadas em maiores profundidades. Com exceção de quatro pontos, localizados em Barra do Riacho (Aracruz) e na desembocadura do rio Jucu (Vila Velha), onde os valores de salinidade obtidos caracterizaram as amostras como águas salobras de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, todos os demais resultados obtidos foram classificados como águas salinas (salinidade superior a 30).

Figura 43 – Localização dos dados de qualidade da água resultantes da busca bibliográfica.



Os resultados de pH obtidos indicaram variações relacionadas à influência do aporte continental, sendo observados menores valores em pontos do rio Doce e também na região costeira e oceânica, principalmente, durante o período chuvoso.

Para o Oxigênio Dissolvido (OD), salvo raras exceções, todas as demais regiões apresentaram resultados predominantemente superiores a 6 mg/L, valor este considerado adequado para manutenção da vida aquática.

Os resultados obtidos para Sólidos Suspensos Totais (SSTs) e turbidez mostraram-se influenciados pelo aporte continental, com valores mais elevados no rio Doce e menores na região oceânica, mais distante da influência continental. De uma forma geral, os maiores valores de SSTs e turbidez foram registrados no período chuvoso, reforçando, assim, a influência da descarga dos rios.

De modo geral, as concentrações de nutrientes foram predominantemente baixas na região, tanto no ambiente marinho quanto no rio Doce. Contudo, concentrações pontualmente mais elevadas foram registradas em algum momento para os parâmetros: nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo e Carbono Orgânico Total (COT).

Os valores de metais no ambiente marinho foram em geral baixos, em decorrência do aumento da salinidade entre o ambiente continental e oceânico. Foram verificadas para o ambiente marinho concentrações superiores ao estabelecido para águas salinas e salobras de Classe 1 da Resolução CONAMA nº 357/2005 para um resultado de cobre dissolvido (1,75% do total de resultados obtidos), três resultados de manganês total (1,83%), oito resultados de zinco total (4,88%), três resultados de chumbo total (2,86%), três resultados de mercúrio total (1,8%) e um resultado de cádmio total, arsênio total e cromo total (0,61%), sendo estes três últimos resultados, além do único valor acima da Classe 1 de cobre dissolvido, verificados na região da foz do rio Doce, 12 dias antes da chegada da pluma de rejeitos.

Comunidade fitoplanctônica

Dados sobre o fitoplâncton estuarino do rio Doce não foram encontrados. Entretanto, para a região costeira do estado do Espírito Santo foram registrados 477 táxons infragenéricos de microalgas marinhas. Com base nos dados de caracterização ambiental obtidos no inverno de 2013 e no outono de 2014 em ponto em frente à foz do rio Doce, tem-se que os valores de densidade fitoplanctônica eram baixos (<189 ind/L na superfície e 130 ind/L no fundo) e que os valores de clorofila-a estavam abaixo de 1 µg/L (UFES, 2017). A região próxima à foz do rio Doce apresentou águas oligotróficas, pobres em biomassa. Entretanto, em certos períodos pode ter havido aumento da produção primária pela influência da água doce dos rios e eventos de ressurgência que promovem elevadas concentrações de nutrientes na costa e possibilitam o desenvolvimento das microalgas. A ressurgência ocorre quando a camada mais superficial do mar é deslocada para o oceano, possibilitando o afloramento de águas mais profundas, ricas em nutrientes. Em resposta a certas condições de luz e nutrientes, algumas espécies do fitoplâncton podem ocorrer em elevado número celular (floração) e causar impactos econômicos, ambientais e à saúde humana. Além disso, algumas espécies podem produzir toxinas que causam problemas

gastrointestinais, respiratórios, neurológicos, e a morte de organismos dependendo da quantidade ingerida.

Comunidade zooplânctônica

A compilação de todas as informações sobre o zooplâncton da região litorânea do Espírito Santo resultou em 451 táxons, sendo que o menor nível taxonômico disponível foi considerado. Copepoda foi o grupo mais abundante na região, chegando a representar mais de 90% do total. A espécie *Arcatia lilljeborgi* apareceu como predominante em diferentes ambientes, e pode ser utilizada como bioindicadora (DIAS, 1999). Houve ocorrência de pelo menos uma espécie exótica invasora, o copépode *Temora turbinata*, com registro de grandes densidades (CUNHA, 2008). Houve predomínio do holoplâncton (todo o ciclo de vida ocorre no plâncton), porém com grande contribuição do meroplâncton (apenas parte do ciclo de vida ocorre no plâncton) no período chuvoso (NUNES, 2010).

Os resultados encontrados em relatórios técnicos e publicações científicas sobre a qualidade da água costeira, anteriormente ao rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, representa uma fonte de referência comparativa para trabalhos futuros que visem avaliar a influência do aporte da lama de rejeitos através do rio Doce na qualidade da água costeira daquela região.

Quanto à caracterização da qualidade das águas da zona estuarina do rio Doce, não foram obtidos dados suficientes para a caracterização das águas dessa zona. Foram encontrados dados de qualidade obtidos pela Universidade Federal do Espírito Santo antes da chegada da onda de cheia à foz do rio Doce, entretanto, uma coleta em específico não se mostrou suficiente para o estabelecimento de concentrações de referência para a comparação com dados gerados pós-desastre.

Vale ainda ressaltar que a variabilidade espacial e temporal das amostras avaliadas é limitante para definições mais assertivas quanto ao comportamento natural da qualidade das águas costeiras próximas à foz do rio Doce. Entretanto, a similaridade entre as águas costeiras dos estuários avaliados neste estudo indica a possibilidade de avaliação comparativa do monitoramento da qualidade da água na região costeira do Espírito Santo.

Quanto à diversidade e densidade do fitoplâncton de áreas estuarinas e marinhas próximas à desembocadura do rio Doce, bem como do estado do Espírito Santo, estas são pouco conhecidas. A maior parte das pesquisas desenvolvidas com microalgas marinhas apresenta enfoque ecológico e poucas apresentam a relação das espécies encontradas.

No tocante à comunidade zooplânctônica, Copepoda foi o grupo mais abundante. Esta é uma característica do zooplâncton marinho, no qual os crustáceos são os organismos mais representativos. A espécie exótica *Temora turbinata* é amplamente distribuída e considerada uma das espécies mais abundantes nos estuários e na plataforma continental do Sul e Sudeste do Brasil. A composição de espécies do zooplâncton marinho na região apresenta grande variação de acordo com o gradiente latitudinal e longitudinal, devido à ocorrência de diferentes habitats e influência de diferentes massas de água.

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O maior reservatório de água doce disponível sob a forma líquida na Terra é o que corresponde à água subterrânea. Esse compartimento do ciclo hidrológico é ocupado pela água que se infiltra no solo e único responsável pelo fornecimento natural significativo de água aos rios, nos períodos em que não está chovendo.

A água interage com a atmosfera, com a biosfera e com as rochas formando o solo. Ela se desloca para baixo, pelos espaços vazios interconectados dentro das rochas até atingir um nível inferior ao qual todos os vazios estão cheios de água. Esse “reservatório de água”, não confinado é denominado nível freático, ou simplesmente freático, que pode ser acessado por poços rasos e, quando aflora à superfície, forma nascentes, rios ou lagos.

Uma rocha que possui vazios ocupados por água, que pode ser extraída economicamente, é chamada de aquífero. Os aquíferos rasos e livres, ou seja, aqueles limitados pelo nível freático são mananciais importantes para atender demandas muito pequenas e localizadas.

A água é um componente quimicamente ativo, um poderoso solvente que interage com gases e sólidos, modificando estes e formando uma solução que, quando diluída, é denominada água doce e quando possui muito material dissolvido é chamada de água salobra, salgada ou salmoura. Dependendo das rochas com as quais ela tem contato, do tempo de contato, do clima que estabelece os volumes disponíveis, da ação de organismos e de fontes de poluição humana, a água pode apresentar composições variadas. Dependendo de sua composição, seu uso, seja pelo homem ou por outros organismos, pode ser benéfico ou prejudicial.

A interação da água com as rochas ou material sólido particulado resulta em uma rocha ou material sólido modificado e uma água também modificada. Esse processo, denominado intemperismo, resulta na formação de solo, quando ocorre na superfície e conduz à geração de uma solução aquosa mais rica em material dissolvido. Como a água subterrânea permanece mais tempo em contato com as rochas, normalmente possui componentes dissolvidos em maior concentração do que a água superficial (Figura 44).

Figura 44 - Interação entre a água e rocha.

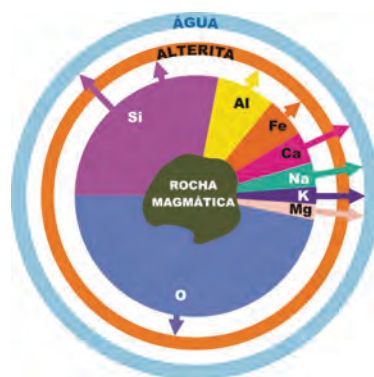


Fonte: Bittencourt; Tubbs (2007)

Uma rocha, ao se alterar pelo intemperismo, distribui seus componentes químicos originais entre a água, que os incorpora em solução, e uma fase sólida que integra o regolito ou alterita. Essa rocha alterada, pela ação dos microrganismos forma o solo propriamente dito.

Alguns elementos tendem a serem fixados na fase sólida, como é o caso do ferro e do alumínio, que, apesar de presentes nas rochas e solo, estão em pequenas proporções dissolvidos na água subterrânea. Com comportamento diverso estão o cálcio, magnésio, sódio e potássio, que se incorporam maciçamente à água. Esse processo está ilustrado na Figura 45, que representa o comportamento geral mais provável dos elementos comuns sob intemperismo em ambiente dito eluvial, ou seja, não saturado de água.

Figura 45- Distribuição dos elementos químicos majoritários presentes nas rochas durante o intemperismo.



Obs.: Dados da composição média da crosta continental (MASON, 1958).
Fonte: Bittencourt; Tubbs (2008).

Contexto geoquímico

No complexo minero industrial da Samarco em Mariana, o minério de ferro é extraído e beneficiado na própria bacia do rio Doce, principalmente por processos de extração, moagem e concentração. A concentração por flotação emprega poucos produtos químicos, sendo estes de rápido decaimento natural. O minério concentrado e o rejeito gerado no processo, não diferem quimicamente e quanto aos minerais presentes, de rochas da bacia. Nessas condições, não há um impacto pela adição de ingredientes estranhos ao ambiente natural da região.

É importante se levar em conta que o ferro, presente no minério e também no rejeito, é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre e, conseqüentemente, muito presente e distribuído naturalmente também nas rochas e solos da bacia do rio Doce (Figura 45). Com o alumínio, componente fundamental da estrutura das argilas, acontece a mesma coisa, ele é o terceiro elemento mais abundante da crosta.

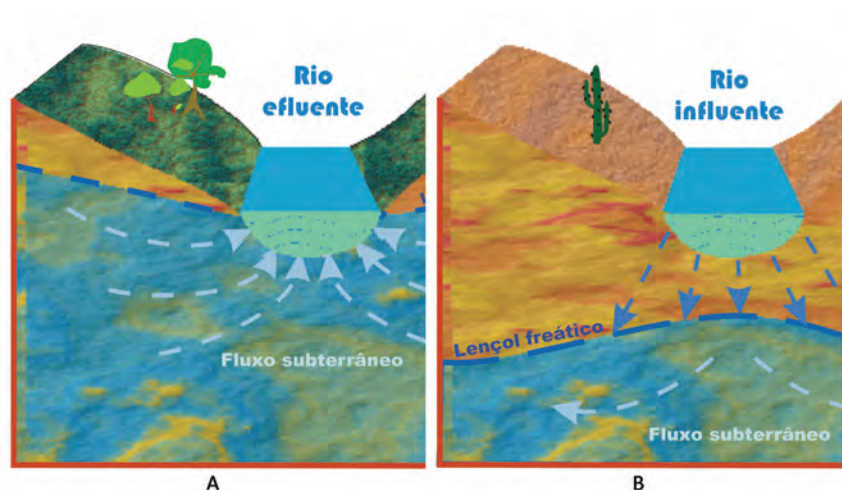
Tanto o ferro quanto o alumínio e também o manganês podem ser absorvidos por estes, porém eles são muito pouco solúveis nas condições físico-químicas normais encontradas nas águas superficiais e subterrâneas. Eles podem estar presentes em grande quantidade na água, porém só serão absorvidos pelos organismos se estiverem em solução.

A água superficial conduz material tanto em solução quanto sob a forma de partículas, porém a água subterrânea normalmente veicula quase só material em solução, pois o fluxo é muito lento para transportar partículas sólidas.

Contexto hidrogeológico

Uma característica muito significativa do rio Doce é seu caráter efluente, que ocorre quando o rio é alimentado pelos aquíferos, ou seja: o rio está na área de descarga do aquífero (Figura 46A). Nessas condições, a água do rio não pode influenciar significativamente os aquíferos da bacia hidrográfica, a não ser nos aquíferos estabelecidos a pequenas distâncias das margens do rio, por ocasião de grandes enchentes, ou em zonas de muito baixa declividade, como é o caso do rio Doce no Espírito Santo, próximo à sua desembocadura no oceano. Quando o rio alimenta os aquíferos ele é denominado influente, caráter comum em regiões sob clima árido (Figura 46B).

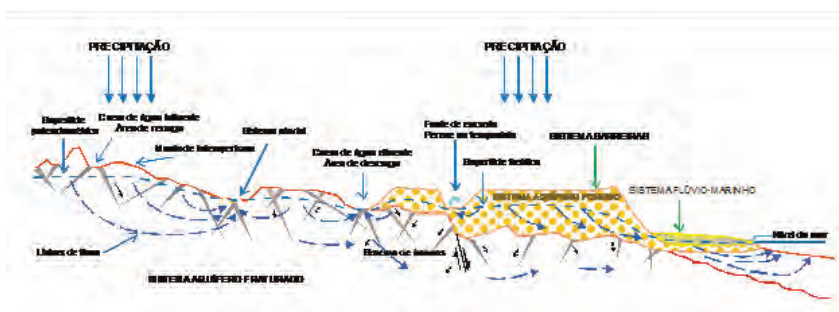
Figura 46 - Seção transversal de um curso de água efluente e de um curso de água influente.



Fonte: Modificado de Fetter (1994).

A bacia do rio Doce está imposta em sua porção superior e média, sobre rochas metamórficas e magmáticas duras, onde a água subterrânea está em vazios formados por fraturas e fissuras dessas rochas. Trata-se de um domínio de aquíferos ditos fissurais. Na porção inferior da bacia, sobre as rochas sedimentares granulares, da Formação Barreiras e na planície costeira onde ocorre a Formação Linhares, os aquíferos são do domínio poroso. Pequenos corpos sedimentares arenosos e siltico-arenosos recentes, formando aluviões próximos às margens do rio Doce e afluentes, também integram o domínio poroso (Figura 47).

Figura 47- Perfil hidrogeológico regional.

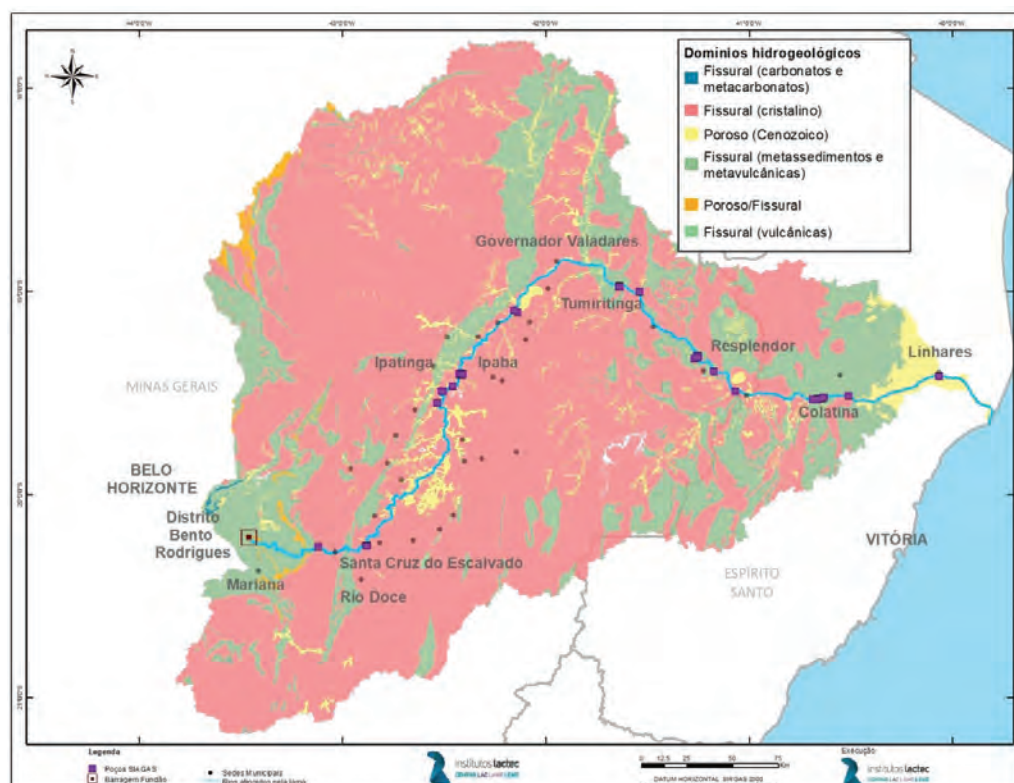


Fonte: Modificado de Consórcio Ecoplan-Lume (2010) e IGAM (2008).

Os poços perfurados no domínio fissural, normalmente, apresentam baixas vazões, ao passo que no domínio poroso as vazões obtidas, via de regra, são maiores.

A distribuição geral dos grandes domínios hidrogeológicos em toda a bacia do rio Doce pode ser observada na Figura 48.

Figura 48 - Distribuição dos domínios hidrogeológicos na bacia do rio Doce. Poços profundos registrados no SIAGAS contendo perfis litológicos e algum dado de qualidade de água, situados em uma faixa de 1.500 m ao longo do curso do rio Doce. Fonte dos dados: CPRM, CODEMIG e ANA.



Uma gestão ambiental minimamente adequada dos recursos naturais, seja visando à proteção da própria natureza ou para melhorar a qualidade de vida do homem, necessita a identificação das características e comportamento da água nos diversos segmentos do ciclo

hidrológico. Esse fato, por si só, evidencia a importância de implementar o conhecimento da água subterrânea no âmbito da bacia do rio Doce.

O desastre ambiental de Mariana afetou diretamente o meio hídrico, influenciando principalmente no ambiente superficial, porém com reflexos diretos ou indiretos em todos os ambientes, incluindo o subterrâneo.

Também o meio biológico, aquático ou terrestre, interfere e é influenciado diretamente pela qualidade da água superficial estabelecida em grande parte durante seu ciclo subterrâneo.

Um efeito indireto do distúrbio provocado pelo fluxo de lama pelo rio Doce, envolvendo a água subterrânea e que também justifica seu estudo, se refere ao abastecimento de propriedades e núcleos urbanos. Com a inviabilização temporária de captações de água superficial devido à deterioração da sua qualidade, recorreu-se emergencialmente ao manancial subterrâneo. Poços foram perfurados, talvez prescindindo de estudos locais e operacionais melhores desenvolvidos, com projetos de execução e proteção à contaminação inconvenientes.

A verificação se um determinado parâmetro está indicando um valor normal ou aponta para uma anomalia, requer um valor de referência, uma linha-base. Esse valor, via de regra, deve ser estabelecido a partir da avaliação estatística do histórico de medidas da variável considerada, obtido no ambiente que se está analisando.

O ambiente para o qual se quer estabelecer uma linha-base, deve possuir um mínimo de homogeneidade em termos dos fatores que controlam as variáveis que se quer tomar como parâmetros. A água subterrânea tem suas características estabelecidas pela composição químico-mineralógica das rochas onde ela está alojada, pelas estruturas geológicas que estabelecem a dinâmica do fluxo da água em seu interior e também por fatores climáticos, tais como temperatura, clima e pluviosidade.

O fator principal empregado como delineador do ambiente subterrâneo é, sem dúvida, a geologia, ou seja, o compartimento geológico no qual ocorre a água sob consideração e para o qual se quer estabelecer uma referência para variáveis físico-químicas.

A bacia do rio Doce não pode ser tomada como unidade homogênea para fins de estabelecimento de uma linha-base, pois comporta no mínimo dois domínios hidrogeológicos significativos, o domínio fraturado e o domínio poroso. Além do mais, o domínio fraturado apresenta uma litologia diversa com características diferentes, sobretudo, em termos de constituintes químicos minoritários.

A fonte mais importante e abrangente de dados hidrogeológicos na região tem sido o banco de dados do SIAGAS, gerido pelo Serviço Geológico – CPRM, todavia esse sistema depende de que os dados dos poços sejam ali disponibilizados.

Partindo-se desses pressupostos, foi feita uma busca de dados das características da água subterrânea no âmbito da bacia, sem perder de vista que o objetivo precípua deste diagnóstico é avaliar possíveis impactos do desastre promovido pelo rompimento da barragem de Fundão na água de subsuperfície. Visto isso, a primeira fase deste trabalho foi verificar as fontes de informações disponíveis sobre a composição química da água, sobretudo em uma faixa de 1.500 metros ao longo do curso do rio Doce. Esse limite de 1.500 metros foi arbitrado a fim de se poder selecionar um número mínimo de pontos de avaliação de água subterrânea. Para esses pontos de avaliação, foram selecionados em uma primeira instância, poços tubulares, com algum dado hidrogeológico e hidroquímico disponível. Esses poços representariam a água subterrânea que é descarregada na calha do rio Doce ao longo de seu percurso.

Devido à insuficiência de dados históricos homogêneos, para um tratamento estatístico minimamente significativo, o estabelecimento de uma linha-base propriamente dita fica inviabilizado. A necessidade de uma referência, todavia, permanece. Assim sendo, uma alternativa seria tomar como referência dispositivos legais e normativos, onde são estabelecidos valores limitantes para determinadas variáveis, estabelecidos como parâmetros para usos da água, tais como a potabilidade para o ser humano.

Para qualquer que seja a abordagem visando estabelecer uma linha-base, é necessária uma apreciação do ambiente hidrogeoquímico de um modo mais amplo, considerando os materiais geológicos da região e sua interação com os sistemas naturais e antrópicos estabelecidos, à luz do conhecimento científico disponível. É sob essa ótica que se abordou o balizamento daquilo que seria normal ou anômalo para as concentrações de elementos químicos e valores de variáveis físico-químicas da água subterrânea na bacia do rio Doce.

A movimentação de massa líquida e sólida originada na represa de Fundão, e que se deslocou ao longo da calha fluvial do rio Doce e afluentes até atingir o oceano, se incorporou ao sistema de fluxos hídricos e de matéria sólida que atua na bacia, seja por processos naturais ou incrementados pela ação humana. A Figura 49 procura apresentar simplificada os fluxos julgados mais significativos, sendo também indicados alguns processos que desencadeiam movimentos de matéria. Na cor azul estão representados os fluxos em solução e, em marrom, os fluxos de material insolúvel ou sob a forma de partículas sólidas. Na realidade, o sistema de fluxos dentro da bacia hidrográfica é muito mais complexo do que o representado na figura. Ocorrem fluxos em pequena escala, no seio dos solos pela troca de íons entre a solução e as partículas sólidas, fluxos promovidos pela biosfera, envolvendo a atmosfera, mistura de fluxos de soluções com composição diferente, processos de difusão de elementos no seio dos líquidos e na atmosfera e muitos outros.

Figura 49 - Fluxos de matéria em solução e particulada na bacia hidrográfica do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão.



A composição da água subterrânea na bacia do rio Doce tem sido estudada em alguns casos específicos, principalmente relacionados a zonas diretamente afetadas pela mineração de ouro. Nesses trabalhos acadêmicos, foram enfatizadas as concentrações de elementos com potencial tóxico.

Borba et al. (2004) avaliaram, principalmente, o comportamento do arsênio em água na área de antigas minas de ouro em Mariana e Ouro Preto. Constataram que esse elemento se apresenta em concentrações variáveis na água subterrânea, atingindo níveis muito superiores a dez microgramas por litro, que é o máximo aceitável pela legislação brasileira para potabilidade (Resolução CONAMA nº 396). Foi também observado que o arsênio se incorpora com facilidade a minerais de ferro oxidado, que podem ser transportados sob a forma de partículas pelas águas superficiais. Todavia, na água subterrânea sua presença, via de regra, é bem inferior ao limite de potabilidade.

O ferro e o manganês são os únicos elementos que constam com maior frequência no banco de dados do SIAGAS, do qual a Copasa é a colaboradora mais significativa no estado de Minas Gerais. Na faixa de 1.500m da calha fluvial por onde fluiu a lama da barragem de Fundão os valores para o ferro em 12 poços e para o manganês em 5 poços, onde foram analisados, sempre estiveram conformes com a legislação. Por outro lado, informações fornecidas verbalmente por operadores de estações de tratamento de água da região relatam a constatação frequente de altos teores de ferro em algumas unidades próximas ao rio Doce, desde muito tempo antes da passagem do fluxo de lama.

Uma linha-base para referenciar alguns parâmetros de água subterrânea, poderá ser obtida após o acesso a dados analíticos realizados sistematicamente pelas empresas distribuidoras de água, principalmente a Copasa, antes do desastre de Fundão. Esses dados serão comparados com novas amostragens e análises sistemáticas que serão realizadas em uma rede de poços distribuídos em uma faixa ao longo do curso do rio Doce, no âmbito do presente diagnóstico.

Foi observado que alguns poços tubulares usados para o abastecimento de comunidades urbanas estão em locais atualmente inadequados e vulneráveis a processos de contaminação (Figura 50), enquanto outros aparentemente estão instalados em locais mais adequados e propícios à proteção (Figura 51).

Figura 50 - Poço tubular profundo perfurado ao lado de captação de água do rio Doce em Tumiritinga, MG.



Obs.: Foto em 20 de julho de 2017.

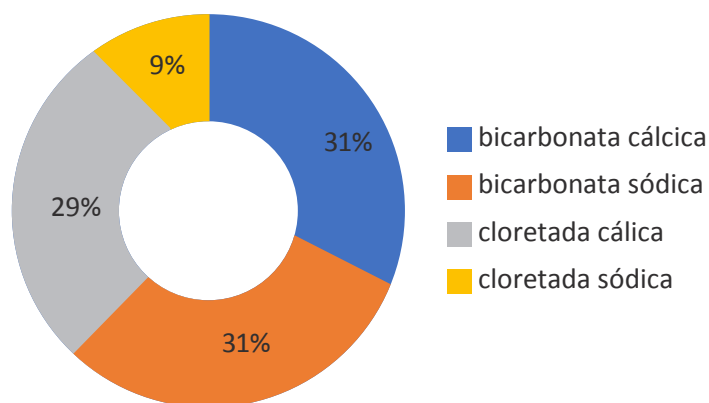
Figura 51 - Poço tubular profundo instalado pela Copasa e ainda não ligado à rede de abastecimento de Ipaba, MG.



Obs.: Foto em 20 de julho de 2017.

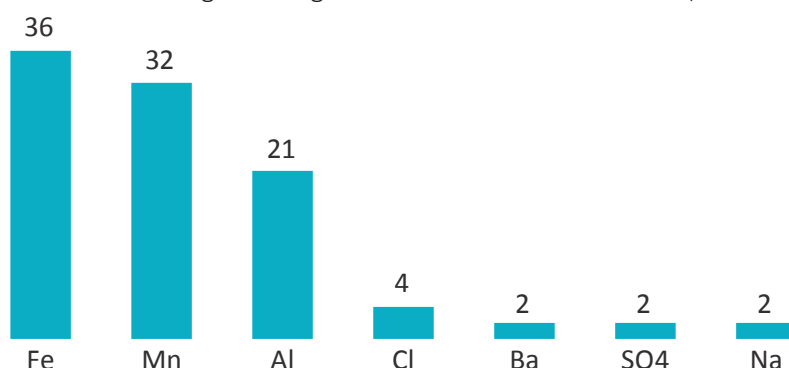
Recentemente, no estado do Espírito Santo foi desenvolvido um trabalho visando avaliar a possível influência do fluxo de lama de Fundão na água subterrânea da região de Linhares (MDGEO, 2016). Foram feitas determinações do nível do freático para avaliação de direções de fluxo no aquífero livre. Foram determinadas variáveis físico-químicas e químicas obtidas em 35 pontos selecionados de um conjunto de 95 poços cadastrados, distribuídos em uma faixa ao longo do baixo curso do rio Doce. Em campo foram analisados o pH, temperatura, potencial de oxidação, condutividade e turbidez. Em laboratório foram feitas determinações de constituintes majoritários e minoritários, que foram submetidas a testes de consistência. Conforme a classificação hidroquímica, 11 amostras se enquadraram como bicarbonatadas cálcicas, 11 como bicarbonatadas sódicas, 10 como cloretadas sódicas e três como cloretadas cálcicas (Figura 52). Se cotejadas com os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 396, no conjunto das 35 amostras, foram detectadas 17 não conformidades para o ferro, 15 para o manganês, 10 para o alumínio, duas para o cloreto, e uma para o bário, sulfato e sódio (Figura 53). As não conformidades são atribuídas pelos autores a fatores locais, não apresentando aparente relação com a lama de rejeito. Em alguns pontos há evidências de influência marinha.

Figura 52 - Caráter hidroquímico determinado em 35 amostras de água na região de Linhares.



Fonte: MDGEO, 2016.

Figura 53 - Percentual com valores superiores ao VMP para cada componente químico em 35 amostras de água da região de Linhares. Fonte: MDGEO, 2016.



O estudo da MDGEO apontou para a área estudada, a predominância de direções de fluxo subterrâneo tendendo para o rio Doce, à exceção do segmento muito próximo ao oceano, para onde linhas de fluxo também se dirigem.

Na interpretação dos resultados de concentrações de elementos como o ferro, alumínio, manganês e outros, deve ser levado em conta que se considera em solução os valores obtidos em amostras filtradas em membrana de 0,45 microns. Este é um valor arbitrário, pois esses elementos podem estar compondo partículas com dimensões inferiores a esse valor. Isso pode explicar, em parte, a identificação de concentrações elevadas na água desses elementos, sem que eles estejam disponíveis para assimilação por organismos.

Em resumo conclui-se que:

- Os estudos e levantamentos disponíveis sobre as características hidrogeológicas da bacia hidrográfica do rio Doce, indicam um rio efluente situado na área de descarga dos aquíferos regionais, o que dificultou a contaminação direta dos mananciais subterrâneos pelos rejeitos de Fundão.
- Muitos poços foram construídos muito próximo ao rio Doce, podendo, no caso de uma extração inadequada, provocar localmente mudanças na direção do fluxo subterrâneo, atraindo água veiculada pelo rio.
- Nos trabalhos de campo foi observado que alguns poços, instalados e operantes descontinua ou continuamente, estão situados em condições de vulnerabilidade quanto a contaminações pelo uso do solo em sua área de recarga.
- Elementos ou parâmetros hidroquímicos determinados em poços de abastecimento de água da bacia do rio Doce, que foram identificados com valores acima dos valores máximos permissíveis para usos preponderantes, devem ter sua origem investigada, independentemente de sua relação com o desastre de Mariana.
- O ferro, alumínio, manganês e arsênio, que têm apresentado valores relativamente elevados em determinados corpos de água, são, absolutamente ou relativamente, abundantes em rochas e solos da bacia.

5. LINHA DE BASE MEIO BIÓTICO

Neste capítulo é apresentada a descrição e análise da área de estudo por meio de levantamentos de componentes e processos do meio biótico e de suas interações, fornecendo um retrato da situação pré-desastre.

ÁREAS DE CONSERVAÇÃO

Esta área temática abrange as informações obtidas através de levantamento de dados secundários voltados à conservação da biodiversidade dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, visando descrever Unidades de Conservação (UCs), Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade (APs), Corredores Ecológicos e Reservas da Biosfera (RBs) existentes na região estudada.

Com o objetivo de diagnosticar as UCs existentes na bacia hidrográfica do rio Doce e potencialmente afetadas pelo rompimento da barragem de rejeitos de Fundão em Mariana (MG), foi utilizado o critério de distância de dez quilômetros das margens do rio. Essa distância foi adotada com base no art. 27 do Decreto Federal nº 99.274/1990, que dispõe que nas áreas circundantes das UCs, num raio de dez quilômetros, qualquer atividade que possa afetar a biota fica subordinada às normas editadas pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Para o diagnóstico das UCs marinhas e costeiras foi utilizado como base o mapa da pluma do desastre elaborado pelo ICMBio (2017b).

Para identificação e caracterização das UCs foram consultadas as bases de dados georreferenciados do Ministério do Meio Ambiente (MMA), da Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais (IEDE), do Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF), do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA), do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e do Instituto Prístino.

De acordo com o mesmo critério e distância adotados para o diagnóstico das UCs, também foram feitas análises quanto aos Corredores Ecológicos. E, para sua descrição, foram consultadas informações disponíveis em Galindo-Leal e Câmara (2005) e IBAMA (2003).

Quanto ao diagnóstico das APs, para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade, foi utilizada como área de estudo a área da bacia hidrográfica do rio Doce como um todo. Os mapas foram gerados, dessa forma, usando a base de dados geoespaciais do Ministério de Meio Ambiente referente à primeira atualização para o bioma Mata Atlântica (BRASIL, 2007).

Para diagnosticar as RBs inseridas na área de estudo, foram utilizados dados georreferenciados do sítio eletrônico do Instituto Prístino. O critério adotado para esse diagnóstico foi utilizar toda a área da bacia hidrográfica do rio Doce. Foram, então, sintetizadas as informações gerais das reservas com informações da Fundação Biodiversitas para a Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (RBSE) e o sítio eletrônico oficial da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA).

Unidades de Conservação

Com a Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, foi instituído o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) o qual dividiu as UCS em unidades de proteção integral ou de uso sustentável.

Foram identificadas 17 UCs de proteção integral, divididas em parques nacionais, parques estaduais, parques naturais municipais, monumentos naturais, reservas biológicas e refúgio da vida silvestre. E 39 UCs de uso sustentável foram encontradas, entre Áreas de Proteção Ambiental (APAs), florestas nacionais, florestas estaduais, área de relevante interesse ecológico, reservas extrativistas, reserva de desenvolvimento sustentável e reservas particulares do patrimônio natural. Além dessas categorias de manejo, foi diagnosticada também na região a categoria Área de Proteção Especial (APE), a qual foi enquadrada como outra categoria de manejo distinta das definidas pelo SNUC.

Foi diagnosticado um total de 59 UCs, sendo 36 terrestres e 23 costeiras/marinhas, ilustradas suas localizações entre a Figura 54 e Figura 57.

As esferas dos órgãos responsáveis pelas UCs podem ser federal, estadual ou municipal. Sendo o órgão federal o ICMBio, responsável por 10 UCs, os órgãos estaduais IEF, Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA), Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA) e o IEMA que, juntos, somam 19 UCs, e os órgãos municipais que variam de acordo com cada município, responsáveis por 26 UCs.

Figura 54 - Unidades de conservação terrestres diagnosticadas a 10 km das margens do rio Doce.

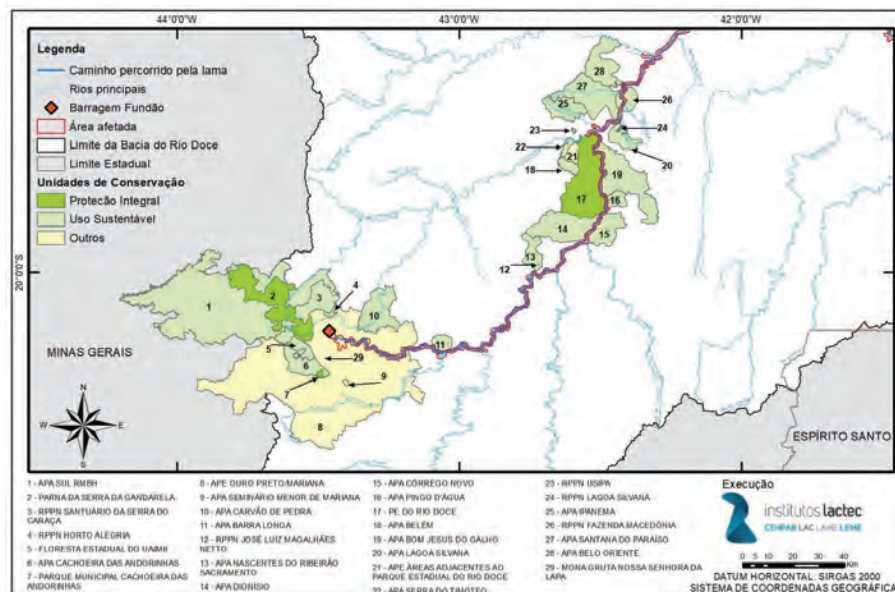


Figura 55 - Unidades de conservação terrestres diagnosticadas a 10 km das margens do rio Doce (continuação).

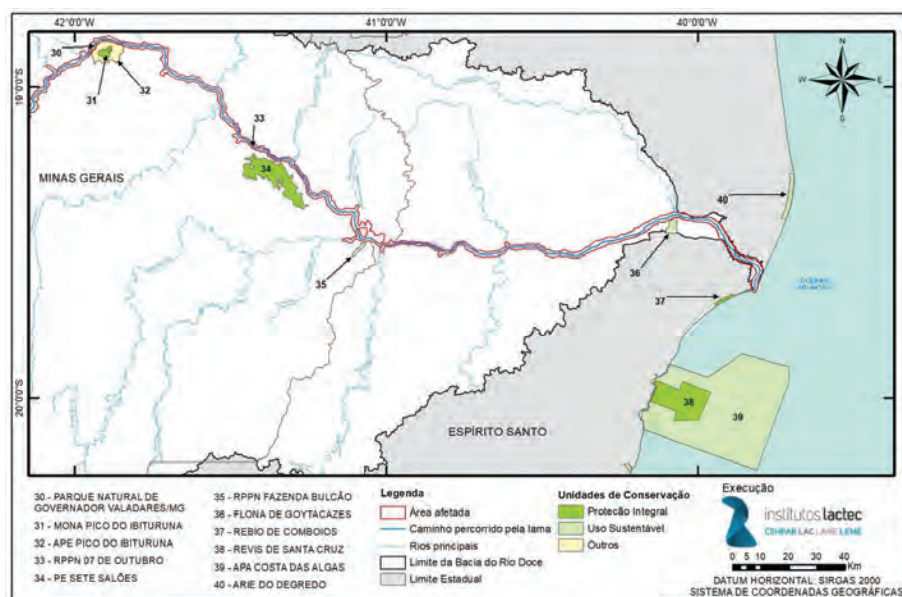


Figura 56 - Unidades de conservação costeira (terrestre e marinha) diagnosticadas de acordo com a pluma, elaborada pelo ICMBio, de maior e menor concentração, ao sul da foz do rio Doce.

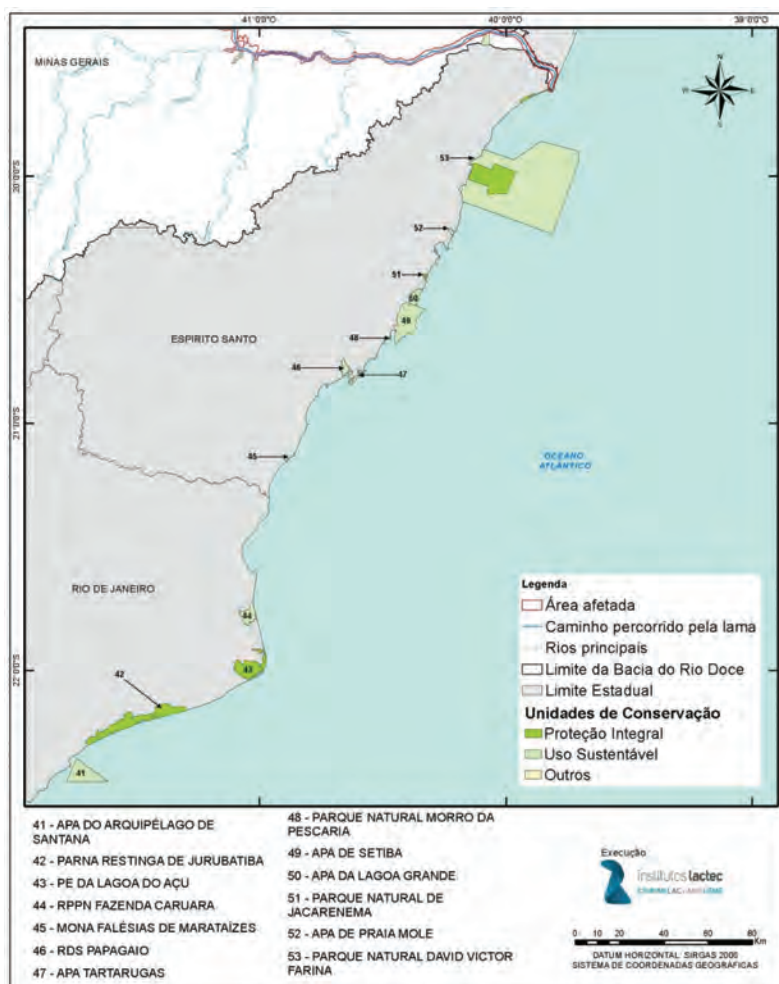
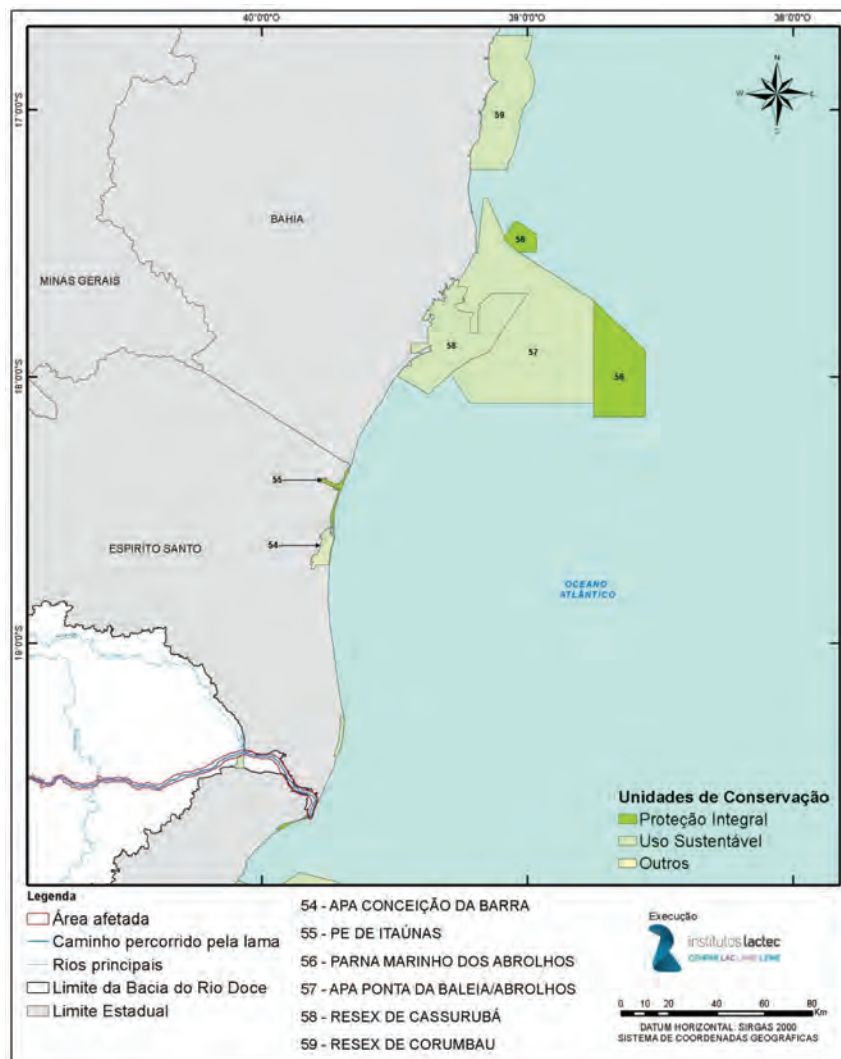


Figura 57 - Unidades de conservação costeira (terrestre e marinha) diagnosticadas de acordo com a pluma, elaborada pelo ICMBio, de maior e menor concentração, ao norte da foz do rio Doce.



Devido à proximidade dos seus limites com o rio Doce, destacam-se algumas UCs, como: o PERD, Parque Estadual Sete Salões, Floresta Nacional de Goytacazes, Reserva Biológica de Comboios e o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos.

Parque Estadual Sete Salões

O Parque Estadual Sete Salões (PE Sete Salões) é do grupo de uso de proteção integral e de jurisdição legal da Mata Atlântica. Foi criado com 12.520,90 hectares, pelo Decreto nº 39.908, de 22 de setembro de 1998, com o objetivo de proteger a fauna e a flora regionais, as nascentes dos rios e córregos da região, além de criar condições ao desenvolvimento de pesquisas e estudos científicos e alternativas de uso racional dos recursos naturais, como o ecoturismo (MINAS GERAIS, 1998).

O IEF é instância estadual responsável pelo parque. Localizado nos municípios de Conselheiro Pena, Itueta, Resplendor e Santa Rita do Itueto, na região do Médio rio Doce, o Parque Estadual Sete Salões é um importante remanescente de Mata Atlântica associada a

formações de campos rupestres e florestas de candeias. É essencial na recarga hídrica, pois nele nascem 20 córregos que abastecem a região (IEF, 2013).

Parque Estadual do Rio Doce

O Parque Estadual do Rio Doce (PERD) é do grupo de uso de proteção integral e de jurisdição legal da Mata Atlântica. Foi criado com 35.970 hectares, pela Lei nº 1.119, de 14 de julho de 1944, com o objetivo de conservar curiosidades naturais, impedir a modificação de aspectos paisagísticos interessantes, proteger e manter a fauna e a flora peculiares às várias regiões do estado, preservar e regular as fontes mananciais (MINAS GERAIS, 1944).

O IEF/MG é a instância estadual responsável pelo parque estadual. Essa UC está situada na porção sudoeste do estado, a 248 km de Belo Horizonte, na região do Vale do Aço, inserido nos municípios de Marliéria, Dionísio e Timóteo. Ela abriga a maior floresta tropical de Minas Gerais e é a primeira UC estadual criada no estado (IEF, 2017a).

Floresta Nacional de Goytacazes

A Flona de Goytacazes é do grupo de uso sustentável e de jurisdição legal da Mata Atlântica. Foi criado com 1.423,96 hectares, pelo Decreto sem número, de 28 de novembro de 2002, e ampliado pelo Decreto sem número, de 5 de junho de 2012, sendo o objetivo geral o manejo de uso múltiplo sustentável dos recursos naturais, a educação ambiental e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas, proteção dos recursos hídricos e a recuperação de áreas degradadas (BRASIL, 2012).

O ICMBio é a instância federal responsável pela Flona. A Flona está inserida no distrito de Bebedouro, localizado na porção centro-sul do município de Linhares e ao sul do rio Doce (ICMBio, 2013a).

Reserva Biológica de Comboios

A Reserva Biológica de Comboios (REBIO Comboios) é do grupo de uso de proteção integral e de jurisdição legal marinho costeiro. Foi criada com 833,23 hectares, pelo Decreto nº 90.222, de 25 de setembro de 1984, com o objetivo de conservar ecossistemas próprios de restinga e praia oceânica, servindo como habitat da tartaruga gigante marinha, que aí desova e faz o seu pouso, nas migrações que empreende entre o continente brasileiro e as Ilhas de Trindade e Ascensão (BRASIL, 1984).

O ICMBio é a instância federal responsável pela reserva. As áreas de influência marinha dessa reserva são restingas, que são um conjunto de ecossistemas que mantém estreita relação com o oceano, tanto na sua origem, quanto nos processos nele atuantes (IBAMA, 1997).

Parque Nacional Marinho dos Abrolhos

O Parque Nacional Marinho dos Abrolhos é do grupo de uso de proteção integral e de jurisdição legal marinho costeiro. Foi criado com 91.300 hectares, com o objetivo de proteger a região com a maior biodiversidade marinha no Atlântico Sul, pelo Decreto nº 88.218, de 6 de abril de 1983. O ICMBio é a instância federal responsável pelo parque (BRASIL, 2017c).

O parque possui dois polígonos: um que protege o arco de recifes costeiros localizados em frente ao município de Alcobaça na Bahia, e outro a 70 km da costa englobando o parcel dos Abrolhos e o arquipélago de Abrolhos (ICMBio, 2017b).

Outras áreas que não são UCs, mas que possuem papel fundamental na manutenção da conservação da natureza são as terras indígenas. Na distância de 5 km do rio Doce, foi encontrada a Terra Indígena (TI) Krenak, na região de Resplendor, em Minas Gerais, e as Terras Indígenas de Comboios e Tupiniquim, na região de Aracruz, no Espírito Santo.

Corredor Central da Mata Atlântica

Dentro de um raio de 10 km do rio Doce encontra-se o Corredor Central da Mata Atlântica, cuja função é assegurar a proteção e incrementar a conexão da cobertura florestal, principalmente através dos remanescentes florestais (BRASIL, 2015). Segundo Galindo-Leal e Câmara (2005), o Corredor Central da Mata Atlântica tem uma área aproximada de 8.600.000 hectares, sendo considerado de grande importância biológica. Nesse sentido, o Corredor abriga muitas espécies de distribuição restrita, incluindo alguns grupos ameaçados. As plantas destacam a biodiversidade do Corredor Central, onde se registra um total de 454 espécies de árvores por hectare.

Da mesma forma, a grande riqueza de mamíferos não voadores de 62 espécies no Corredor ultrapassa a de outras áreas da Mata Atlântica. Altos níveis de diversidade de endemismo de anfíbios e répteis também ocorrem nessa região, esta qual é denotada pela recente descrição de pelo menos 12 novas espécies de sapos e rãs. Além disso, o Corredor representa 50% das espécies de aves endêmicas conhecidas da Mata Atlântica. Não restrito ao ambiente terrestre, o Corredor também é importante por assegurar a biodiversidade dos recifes de corais e outros ecossistemas marinhos na região do Parque Nacional Marinho de Abrolhos, o mais rico dos recifes de corais marinho do Atlântico Sul.

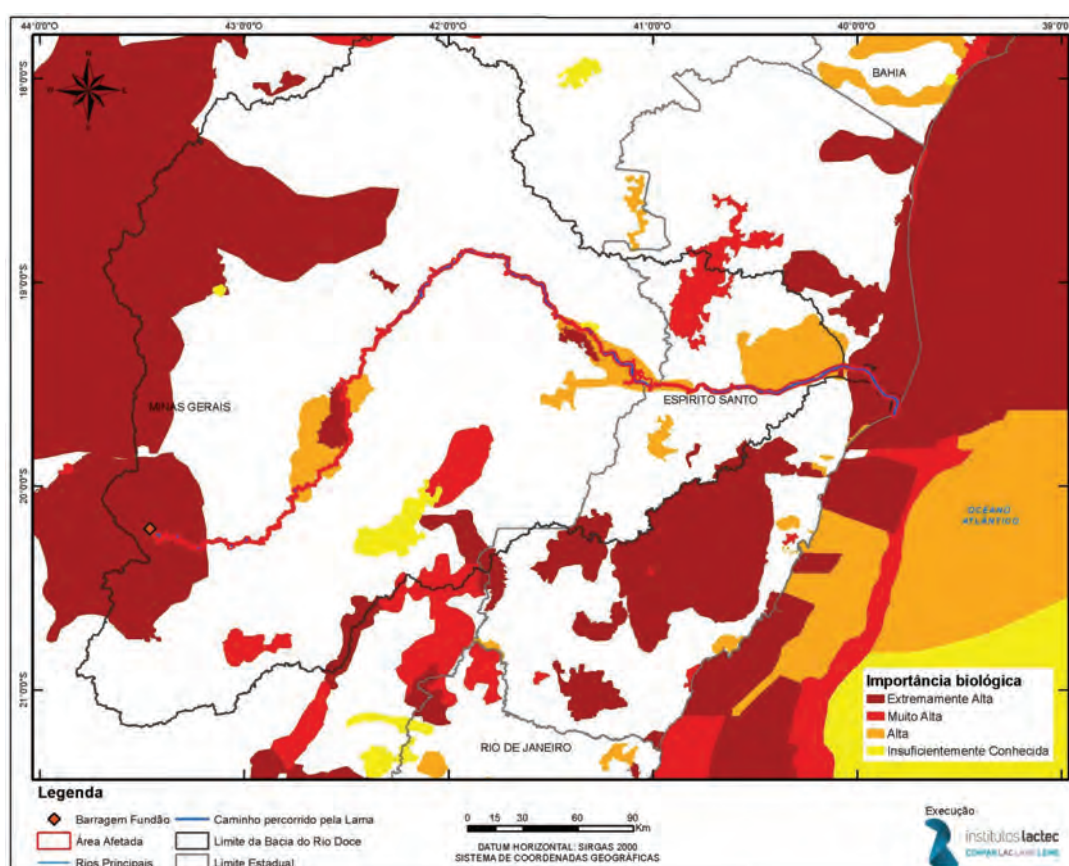
Outros dois corredores importantes na área de estudo são o Corredor SOCOMGO (Sooretama – Comboios – Goytacazes) é o maior do Espírito Santo, visando à conexão dos remanescentes da Reserva Biológica de Sooretama e Reserva Florestal de Linhares à Floresta Nacional de Goytacazes e esta, à Reserva Biológica de Comboios, já na foz do rio Doce (IBAMA, 2003). E o Corredor Sossego–Caratinga que foi criado em 2014, com uma área de 66.424,56 hectares formados por um eixo de ligação entre as Reservas Particulares do Patrimônio Natural Mata do Sossego – em Simonésia, e Feliciano Miguel Abdala - em Caratinga (BIODIVERSITAS, 2017).

Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade

Com base no banco de dados do MMA, foram descritas 12 APs para conservação da biodiversidade localizadas em um raio de 5 km da área de estudo.

Entre as áreas diagnosticadas estão o PE do rio Doce, PE Sete Salões, Flona de Goytacazes, REBIO de Comboios que além de serem UCs, também são APs. Outra a AP importante já citada anteriormente e que está na área de estudo é a TI Krenak.

Figura 58 - Áreas prioritárias para conservação



Reservas da Biosfera

Criadas pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) em 1972, as Reservas da Biosfera (RBs) são um instrumento de conservação que favorecem a descoberta de soluções para problemas como o desmatamento das florestas tropicais, a desertificação, a poluição atmosférica, o efeito estufa, entre outros (BRASIL, 2017b).

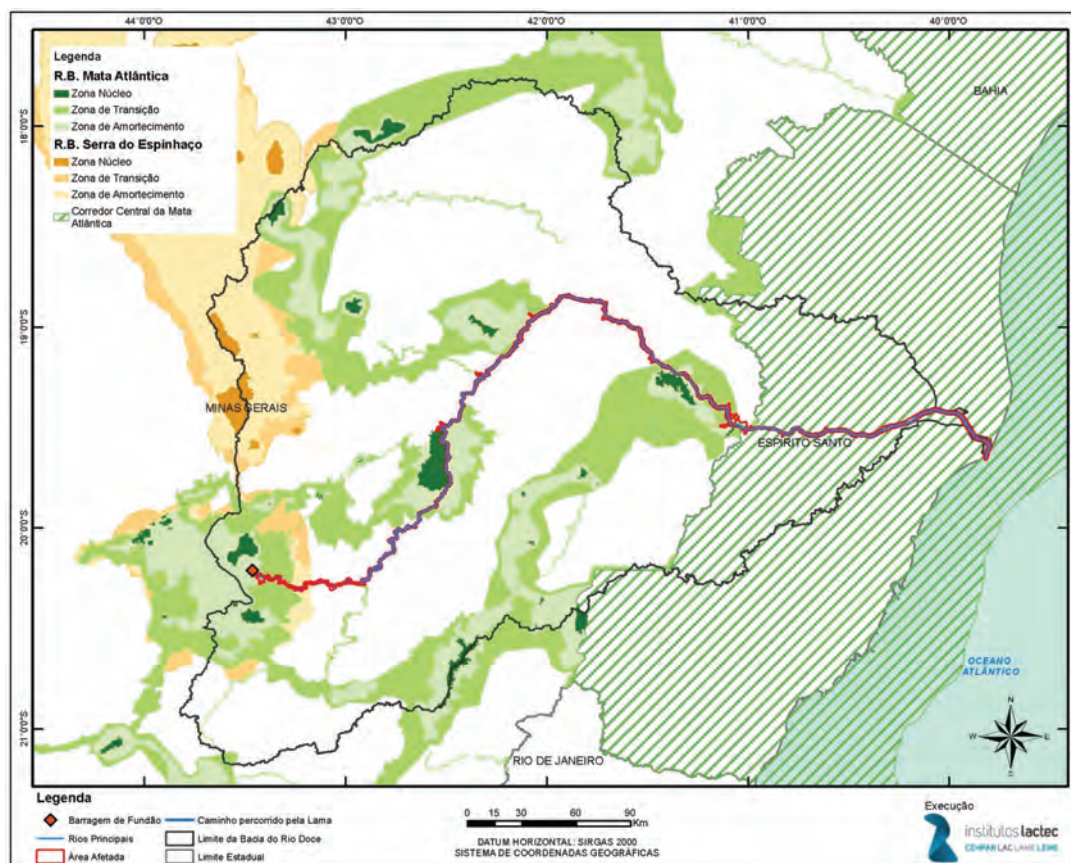
A RB é um centro de monitoramento, pesquisas, educação ambiental e gerenciamento de ecossistemas, bem como centro de informação e desenvolvimento profissional dos técnicos em seu manejo. Seu gerenciamento é o trabalho conjunto de instituições governamentais, não governamentais e centros de pesquisa. As duas importantes RBs que estão na área de estudo são a Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (RBSE) e a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA).

A proposta de criação da RBSE foi aprovada no dia 26 de junho de 2005 pela UNESCO. Em sua primeira fase de criação, completamente inserida em Minas Gerais, a RBSE possui uma área de 3.070.000 hectares, habitada por 642.000 pessoas (BIODIVERSITAS, 2017). Dentro do raio de 5 km da calha do rio Doce, estão 40.000 hectares de área da RBSE e as zonas que estão dentro desse raio são Zonas de Amortecimento e Transição.

A RBMA é a maior RB em área florestada do planeta, com cerca de 78.000.000 hectares, sendo 62.000.000 em áreas terrestres e 16.000.000 em áreas marinhas, nos 17 estados

brasileiros onde ocorre a Mata Atlântica, o que permite sua atuação na escala de todo o bioma. Foi criada em seis fases sucessivas que duraram de 1991 a 2008, pela UNESCO (RBMA, 2017). Apesar de possuir grandes proporções, a área da RBMA dentro dos 5 km no entorno da calha do rio Doce é de 207.200 hectares, e as zonas que estão dentro desse raio são Zonas de Núcleo, Amortecimento e Transição (Figura 59).

Figura 59- Reservas da Biosfera e Corredor Central da Mata Atlântica.



FLORA

A flora de uma região é considerada como a lista de espécies ocorrentes naquele local, enquanto o termo vegetação inclui também a distribuição e arranjo das espécies no espaço, bem como a interação entre estas. Este item tem como objetivo reconhecer as fitofisionomias e caracterizar a cobertura vegetal presente ao longo do rio Doce anteriormente ao dia 5 de novembro de 2015.

A bacia do rio Doce compreende uma área de aproximadamente 87.000 km², e está coberta por formações florestais e campestres da Mata Atlântica (Figura 60). O regime pluviométrico na região é caracterizado por dois períodos distintos, chuvoso (de outubro a março) e seco (de abril a setembro). Essas características ambientais, entre outras, como temperatura e solos, explicam a riqueza biológica desses locais, bem como a distribuição das espécies arbóreas ao longo da bacia.

Figura 60 – A área de estudo (em vermelho) está sob o Domínio Fitogeográfico da Mata Atlântica (em verde). Legenda: Bacia Hidrográfica do Rio Doce (Limite azul) e seus principais cursos d'água (em azul); e o Domínio Fitogeográfico Cerrado (marrom).

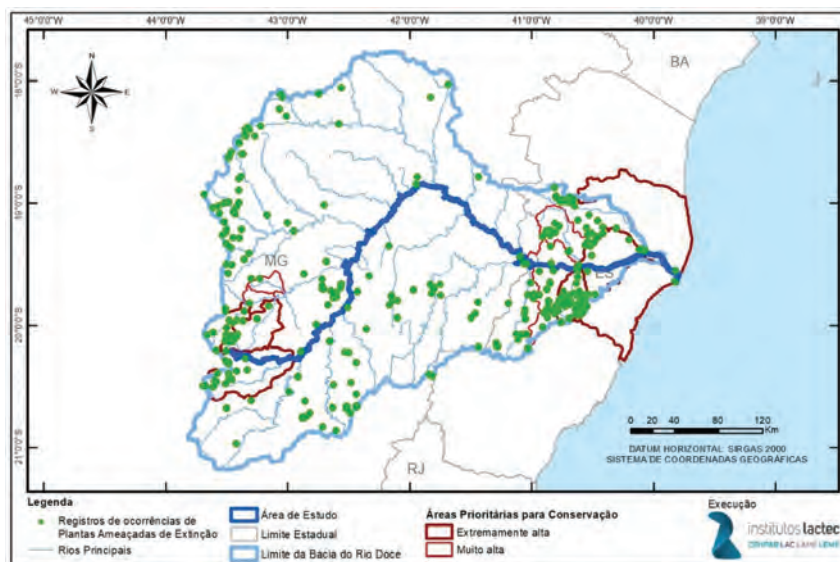


A Mata Atlântica é considerada uma zona quente de biodiversidade, ou seja, um bioma criticamente ameaçado e com necessidade de ações prioritárias de conservação. Apesar de seus remanescentes serem considerados pequenos em relação ao tamanho e de estar inserida em áreas com predominância de agricultura, silvicultura e pecuária, a Mata Atlântica possui uma imensa riqueza de espécies de plantas, sendo que aproximadamente metade delas é considerada endêmica, sendo encontradas restritamente naquela região.

A vegetação atual na região do rio Doce é reflexo de diversos ciclos de exploração que se iniciaram em meados do século XVIII, sendo os principais a mineração de ouro, monocultura de café, cultivo de cana de açúcar e criação de gado. Ao longo desses ciclos o desmatamento sempre se mostrou intenso, fosse para auxiliar o desenvolvimento e ceder novos locais para a agropecuária ou mesmo para a produção de madeira. É importante ressaltar também que essa exploração diversas vezes foi acentuada por políticas públicas que incentivaram a prática dessas atividades. Em função disso, os fragmentos remanescentes ficaram isolados em UCs ou em locais de pouco interesse agropecuário, como nas regiões de serra.

A área afetada pelo rompimento da barragem está inserida em áreas e microbacias consideradas prioritárias para conservação e uso sustentável dos recursos e benefícios da biodiversidade, segundo estudos apresentados pelo MMA e pelo Centro Nacional de Conservação da Flora, entre outros autores e instituições. Além disso, segundo estudo realizado por Loyola et al. (2014), na bacia do rio Doce ocorrem diversos registros de plantas ameaçadas de extinção (Figura 61).

Figura 61 - Registros de ocorrências de plantas ameaçadas de extinção na bacia do rio doce, com destaque para as que ocorrem nas áreas prioritárias para conservação e uso sustentável da flora brasileira ameaçada de extinção



Fonte: Loyola et al., 2014.

A caracterização da vegetação foi feita utilizando-se de recursos como mapeamentos, imagens aéreas, publicações em periódicos, teses, dissertações, planos de manejo, artigos e resumos. Também foram consultadas plataformas online, sendo elas o zoneamento ecológico e econômico do estado de Minas Gerais, dados da ANA, I3GEO – IEMA, dados de cobertura vegetal da Fundação SOS Mata Atlântica e o Atlas Digital Geoambiental do Instituto Prístino para os municípios de Minas Gerais. Além disso foram feitas duas etapas de conferência de dados de campo, realizando observações a fim de confirmar as informações previamente geradas.

De acordo com o IBGE, as principais formações florestais ocorrentes na bacia do rio Doce são classificadas como floresta ombrófila densa, Floresta Estacional Semidecidual, áreas de formações pioneiras e refúgios vegetacionais, variando conforme a precipitação, altitude e temperatura.

Floresta ombrófila densa – Caracterizada por elevadas temperaturas e alta precipitação, bem distribuída ao longo do ano, vegetação exuberante e grande número de espécies endêmicas.

Floresta de tabuleiro – Vegetação intermediária entre a floresta ombrófila e a floresta estacional, e é assim chamada devido à sua posição geomorfológica. Sua flora é rica e diversificada, apresentando diversas espécies arbóreas endêmicas.

Floresta estacional semidecidual (Figura 62) – afetada principalmente pelo clima estacional, que influencia a semideciduidade das folhas da cobertura vegetal e determina repouso fisiológico e queda parcial das folhas.

Refúgios vegetacionais – são vegetações que apresentam diferenciação nos aspectos florísticos, fisionômicos e ecológicos em relação à vegetação predominante na região. São altamente sensíveis a qualquer tipo de intervenção.

Áreas de *ocupação pioneira* – são áreas com influência marinha, fluvial ou aluvial, que ocorrem ao longo do litoral, em planícies ou mesmo ao redor de lagos e pântanos. Ocupam terrenos afetados pela dinâmica da areia marinha ou dos solos ribeirinhos.

Figura 62 - Floresta Estacional Semidecidual no Parque Estadual do Rio Doce.



Diversos estudos já foram realizados com a finalidade de analisar a flora e a vegetação na região, bem como a relação destas com fatores edáficos e climáticos, apresentando resultados fundamentais para a compreensão da importância ecológica dessas áreas.

- Em um estudo de briófitas feito em 2003 por Costa e Silva foram encontradas 55 espécies, 39 gêneros e 21 famílias, sendo 12 novas ocorrências para o estado do Espírito Santo. Yano também realizou um levantamento relacionado a essas plantas em 2005, na Reserva Natural do Vale do Rio Doce. Foram encontradas 136 espécies, distribuídas em 60 gêneros e 27 famílias, sendo 41 delas de ocorrência nova para o Espírito Santo e 3 de ocorrência nova para o Brasil.
- Rolim et al. (2006) realizaram um levantamento da flora de espécies arbóreas e palmeiras da floresta estacional aluvial do vale do Rio Doce, registrando 408 espécies, 214 gêneros e 59 famílias. Um dos gêneros é recém descrito e foi coletado apenas em dois locais às margens do rio Doce. Uma das espécies encontradas era considerada extinta no estado do Espírito Santo de acordo com a lista de 2004, e provavelmente é uma espécie endêmica.
- Simonelli et al. (2008) executaram um inventário florestal com o objetivo de conhecer a composição florística e a estrutura do estrato arbóreo em uma reserva florestal no município de Linhares, estado do Espírito Santo. Foram encontradas 79 espécies arbóreas de 29 famílias, com uma densidade total de 1.643 indivíduos por hectare.
- Magnago desenvolveu uma pesquisa em 2013 na qual estudou os efeitos das mudanças no meio abiótico (microclima e atributos do solo) na biomassa florestal acima do solo; os impactos da fragmentação na riqueza, estrutura da comunidade e diversidade funcional de espécies arbóreas; e a existência de cobenefícios entre biodiversidade e estoque de carbono para aplicação de mecanismos de conservação por meio do mercado de carbono em uma floresta de tabuleiro. Observou-se que as mudanças no microclima e solo,

oriundas da fragmentação, promoveram impacto negativo sobre a biomassa de espécies arbóreas e aumento na biomassa de lianas.

- Um estudo realizado por Meira-Neto et al. (1997) em uma área de apenas 0,22 ha no município de Ponte Nova encontrou 89 espécies arbóreas distribuídas em 31 famílias, entre elas espécies de grande importância ecológica e econômica como *Grapia* (*Apuleia leiocarpa*).
- Graçano, Prado e Azevedo (1998) elaboraram um estudo de pteridófitas entre 1995 e 1996 ao longo das trilhas e estradas do PERD encontrando 15 famílias, 27 gêneros e 57 espécies.
- Bortoluzzi realizou um levantamento florístico de Papilionoideae (Fabaceae) no ano 2000 no Parque Estadual do Rio Doce e analisou a similaridade entre algumas trilhas do local. Foram encontradas 40 espécies de 21 gêneros. A similaridade provou-se baixa, indicando heterogeneidade nas trilhas e alta riqueza de espécies.
- Também no ano de 2000, Lombardi e Gonçalves realizaram um estudo de revisão nas exsicatas depositadas no herbário do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Minas Gerais (Herbário BHCB) coletadas na Estação Biológica de Caratinga (EBC) e no PERD. Foram encontradas 1.048 espécies pertencentes a 538 gêneros e 123 famílias. O estudo mostrou que 513 espécies que ocorrem na EBC não ocorrem no PERD, enquanto neste existem 242 espécies não encontradas na EBC. Existem 293 espécies ocorrentes em ambas as áreas, e 20 espécies estão na lista das espécies ameaçadas de extinção do estado de Minas Gerais. Além disso, também foram encontrados nos dois locais, espécies com poucas coletas registradas ou mesmo recentemente descobertas e em processo de descrição.
- Bovini et al. desenvolveram um estudo florístico da família Malvaceae em 2001 no PERD. Foram encontradas 19 espécies distribuídas em 9 gêneros, sendo uma delas nova citação para o estado de Minas Gerais.
- Uma análise da vegetação nativa primária e secundária na região do PERD feita em 2001 por Solá, concluiu que os remanescentes de vegetação primária correspondem a apenas 0,9% da área total, enquanto a vegetação secundária corresponde a 15,4%. Nas áreas de preservação permanente apenas 12% estavam cobertas com vegetação nativa.
- Bosquetti (2004) fez um levantamento florístico da subfamília Caesalpinidae (família Fabaceae) no PERD. Foram identificadas 28 espécies nativas distribuídas em 15 gêneros, sendo que duas delas tiveram sua primeira citação para o estado de Minas Gerais.
- Um levantamento florístico feito por Temponi et al (2006) a respeito da família Araceae no PERD encontrou 13 espécies de 8 gêneros, sendo que 4 dessas espécies são novos registros para Minas Gerais.
- Nunes et al. (2007) fizeram um levantamento arbóreo da subfamília botânica Mimosoideae (família Fabaceae) no PERD. Foram encontradas 26 espécies, analisadas quanto aos limites de distribuição geográfica e avaliados como indicadores das relações florísticas

entre o PERD e outras áreas de Floresta Atlântica do Sudeste brasileiro, sendo que 27% das espécies foram identificadas como especialistas da Mata Atlântica. Os resultados mostraram maior similaridade entre o PERD e trechos de floresta situados em baixas elevações.

- Souza estudou, no ano 2000, a estrutura florística e fitossociológica da vegetação arbórea de floresta estacional semidecidual submontana no PERD. Foram identificadas 135 espécies pertencentes a 92 gêneros e 37 famílias. Foi relatada a existência de uma espécie rara e de 13 espécies listadas como vulneráveis, ameaçadas de extinção e baixo risco de extinção global. O estudo também delimitou quatro faixas de análise fitossociológica, sendo elas alta encosta, topo, rampa baixa e baixa encosta côncava. Foi constatado que áreas planas e com menos erosão mostram maiores índices de diversidade e maiores números de espécies raras.
- Bastos desenvolveu um estudo no ano de 2010 dentro da Reserva Fazenda Bulcão em Aimorés (ES) e teve como objetivos: caracterizar a composição florística e a densidade de espécies germinadas no banco de sementes do solo; caracterizar a composição florística e fitossociológica do estrato da regeneração; identificar as categorias sucessionais e as síndromes de dispersão das espécies amostradas na regeneração natural e no banco de sementes; avaliar o potencial do banco de sementes do solo de cada ambiente para a regeneração natural; bem como o potencial da regeneração natural nas áreas restauradas. O resultado encontrado para o banco de sementes considerando todas as áreas avaliadas foi de 3.113 indivíduos germinados, distribuídos em 26 famílias, 57 gêneros e 96 espécies. Quanto à regeneração natural, foram amostrados 346 indivíduos, pertencentes a 18 famílias, 32 gêneros e 52 espécies.
- Lemes (2009) realizou um estudo florístico e fitossociológico associado a características do solo em quatro regiões de afloramentos rochosos e platôs. Foram encontradas 298 espécies de plantas vasculares. As análises de similaridade apresentaram bastante distinção entre as quatro comunidades, demonstrando grande riqueza e diversidade de espécies, além de alta heterogeneidade de formas de vida.
- O EIA/RIMA da NutriPetro, realizado em 2013, registrou o levantamento florístico primário e secundário no município de Aracruz (ES), apontando 20 espécies endêmicas.
- Pivari et al. desenvolveram um inventário de vegetação aquática na Lagoa da Silvana, localizada no vale do rio Doce. Esse trabalho revelou a existência de 56 espécies de plantas aquáticas na região, dentro de 46 gêneros e 35 famílias. O estudo conclui que os dados levantados sugerem um nível sucessional avançado da vegetação aquática.
- Ferreira et al. (2011) analisaram a diferença na cobertura vegetal de três lagoas do PERD, pesquisando a ocorrência de sucessão de espécies na cobertura vegetal e a distribuição das formas de vida e das espécies em cada lagoa de acordo com a profundidade, sendo registrado um total de 37 espécies. Através da comparação das medições desses banha-dos (principalmente profundidade), análise da distribuição de espécies e distribuição de

formas de vida foi possível concluir que cada lagoa constitui uma “ilha” em termos de diversidade, uma vez que muitas espécies ocorreram em apenas uma lagoa.

- Pivari et al. (2010) estudaram a composição e ocorrência de espécies aquáticas em APAs e áreas não protegidas no conjunto de lagos do vale do rio Doce (Figura 63). As informações foram levantadas a partir de publicações, material depositado em herbários e coletas botânicas entre os anos de 2007 e 2010, em ambientes aquáticos localizados no PERD e zona de amortecimento. Foram registradas 184 espécies pertencentes a distintos grupos taxonômicos, hábitos e formas biológicas. A pesquisa contribuiu com 152 novas citações para o vale do rio Doce em Minas Gerais, com dois primeiros registros nesse estado e com a descrição de uma espécie inédita para a ciência.

A região afetada pelo deslocamento de rejeitos devido ao rompimento da barragem de Fundão está localizada no domínio da Mata Atlântica, cuja paisagem possui um longo histórico de exploração e degradação. Devido à sua relevância ecológica, os fragmentos de vegetação nativa remanescentes ao longo da bacia do Rio Doce devem ser considerados como áreas chave para a aplicação de políticas de conservação ambiental a fim de manter a diversidade biológica e a perpetuidade dos recursos naturais e serviços ambientais gerados por esse bioma (manutenção das condições do corpo hídrico).

Figura 63 - Aspecto da vegetação nas lagoas próximas ao rio Doce



A importância da conservação deve-se também à diversidade de ambientes presentes ao longo da bacia, sendo elas: floresta ombrófila densa, floresta estacional semidecidual, refúgios vegetacionais, florestas de tabuleiro e formações pioneiras de influência fluvial marinha e lacustre. Esta variedade resulta em um expressivo número de espécies raras, ameaçadas ou endêmicas, elevando a sensibilidade dessa vegetação a acontecimentos de ordem natural ou antrópica e consequentemente aumentando o risco de perda na biodiversidade e serviços ambientais.

FAUNA SILVESTRE

A caracterização dos grupos taxonômicos da fauna silvestre da bacia hidrográfica do rio Doce e região costeira adjacente foram realizadas através de uma compilação das informações ecológicas de interesse para os diferentes grupos taxonômicos: ictiofauna (peixes), entomofauna (insetos), herpetofauna (anfíbios e répteis, incluindo os quelônios – cágados, jabutis e tartarugas), avifauna (aves) e mastofauna (mamíferos, incluindo os quirópteros – morcegos – e os cetáceos – mamíferos estuarinos e costeiros). Os levantamentos dos dados secundários realizados neste estudo permitiram estabelecer uma linha-base sobre o conhecimento da fauna da região em período pretérito ao desastre, com especial enfoque para as áreas afetadas nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

A área de abrangência do desastre objeto deste estudo engloba o domínio fitogeográfico da Mata Atlântica com influência em determinadas regiões do bioma Cerrado, que devido às suas características de elevada riqueza de espécies, e ocorrência de espécies endêmicas e altos níveis de ameaças antrópicas, são consideradas como *hotspots* (áreas importantes) para a conservação da biodiversidade mundial (MYERS et al. 2000).

Segundo Klink e Machado (2005), a biodiversidade do Cerrado é alta, sendo que para o grupo da avifauna a riqueza é superior a 830 espécies, embora o nível de endemismo seja menor que 3,4%. A diversidade de organismos endêmicos de répteis e anfíbios é superior ao da avifauna. A ocorrência de espécies de mamíferos está associada principalmente, às matas de galeria e aos fragmentos florestais. Para o grupo dos invertebrados, Dias (1992) estimou uma riqueza aproximada de 90.000 espécies. Corroborando essa informação, Cavalcanti e Joly (2002) sugerem a presença de 13% das borboletas, 35% das abelhas e 23% dos cupins da região neotropical. Em porcentagem de espécies endêmicas do grupo de vertebrados que ocorrem nesse bioma, têm-se as seguintes estimativas: 9,5% de espécies de mamíferos, 3,4% para aves, 17% para répteis, 28% para anfíbios (KLINK e MACHADO, 2005).

A Mata Atlântica é a segunda maior floresta pluvial tropical do continente americano e possui a maior biodiversidade do planeta, abrigando uma elevada quantidade de espécies endêmicas. Baseado em Mittermeier et al. (1999) e Brasil (2000a), existem aproximadamente 261 espécies de mamíferos, 1.020 espécies de aves, 200 espécies de répteis, 340 espécies de anfíbios e 501 espécies de peixes registradas para o bioma. É um dos ecossistemas mais destruídos e extremamente ameaçados do planeta (GALINDO-LEAL e CÂMARA, 2005), cujas estimativas recentes apontam que restam menos de 7% de sua vegetação original (SOS MATA ATLÂNTICA, 2017).

A área de estudo que abrange a região costeira apresenta grande biodiversidade marinha, sendo o banco dos Abrolhos um dos maiores bancos recifais e de algas calcárias do oceano Atlântico Sul (DUTRA et al. 2006). A riqueza de recifes do banco dos Abrolhos advém de a região ser um alargamento da plataforma continental que se estende por mais de 200 km de distância da costa. A sudeste do banco dos Abrolhos está a cordilheira submarina Vitória-Trindade, com quase 1.000 km de extensão no sentido leste-oeste.

O banco dos Abrolhos e a cordilheira submarina Vitória-Trindade formam uma barreira para a Corrente do Brasil, com águas quentes que correm do Norte para o Sul (EKAU e KNOPPERS, 1999). Frequentemente forma-se um vórtice ciclônico que cria a ressurgência das Águas Centrais do Atlântico Sul (ACAS) num fenômeno chamado de Giro de Vitória, a leste da foz do rio Doce. Esta ressurgência, em conjunto com o aporte de água doce do rio Doce, torna o ambiente marinho da região extremamente produtivo (EKAU e KNOPPERS, 1999).

Em virtude da riqueza e importância biológica, a região em questão abrange áreas de alta prioridade para a conservação da biodiversidade marinha, incluindo áreas prioritárias para a conservação de recifes de coral, quelônios marinhos, mamíferos marinhos, áreas úmidas costeiras, estuários, entre outros grupos temáticos (BRASIL, 2007). Diversas áreas foram protegidas por UCs de diferentes graus de proteção e em diferentes esferas. Nesse mosaico de UCs, destaca-se o Parque dos Abrolhos (PARNA Abrolhos).

Na costa ao sul da foz do rio Doce existe a Rebio de Comboios, visando proteger a importante região de desova da tartaruga-de-couro. Além destas, a Reserva Extrativista Marinha do Cassurubá protege um importante complexo estuarino e de manguezais no rio Caravelas. Outras UCs que cabem mencionar na região de estudo são: APA da Ponta da Baleia / Abrolhos; Refúgio de Vida Silvestre de Santa Cruz; APA da Costa das Algas.

Quanto aos grupos taxonômicos aqui estudados, que merecem destaque quanto à sua importância ecológica e que são considerados indicadores biológicos ou bioindicadores de qualidade ambiental, apresenta-se a seguir algumas informações. Os invertebrados respondem às diferenças de habitat e intensidade de impacto, sendo considerados como indicadores ambientais (LEWINSOHN; FREITAS; PRADO, 2005). Como um exemplo dessa afirmação, o grupo dos artrópodes está sendo cada vez mais utilizados na avaliação da qualidade de habitat ou fitofisionomia e também na análise de respostas de diferentes tipos de perturbações antrópicas. As borboletas, formigas, vespas, abelhas, cupins e besouros rola-bostas têm sido estudados para elucidar os efeitos da fragmentação de habitats em florestas e cerrado (MACHADO e LOPES, 2004).

Os peixes são considerados excelentes ferramentas para o monitoramento de ambientes aquáticos (Karr, 1981; Ramelow et al. 1989; Schulz; Martins-Junior, 2001), por refletirem os efeitos de várias perturbações da integridade biótica do ambiente aquático (Fausch et al. 1990). Além da importância dentro das comunidades aquáticas e das cadeias tróficas dos ecossistemas, são recursos alimentares e econômicos para muitas comunidades tradicionais (PAULY et al. 2002).

Segundo o estudo desenvolvido por Stuart et al. (2004), os anfíbios estão muito mais ameaçados que o grupo de aves e mamíferos. Isso se deve especialmente a algumas características específicas deste grupo taxonômico, como ciclo de vida, aspectos morfológicos e comportamento (TOLEDO, 2009). Os répteis apresentam alta especificidade de habitat e pouca capacidade de deslocamento, exceto as tartarugas marinhas que realizam grandes deslocamentos nos oceanos (GREENE, 1997; PIANKA; VITT, 2003; POUGH et al. 2001; ZUG et al. 2001). As espécies são sensíveis às alterações ambientais, principalmente de fontes antrópicas (GREENE,

1997; GIBBONS et al. 2000; PIANKA; VITT, 2003), e são bons bioindicadores de qualidade ambiental (FARIA et al. 2007).

Os quelônios desempenham importantes papéis nas cadeias alimentares nos ambientes em que habitam, podendo ser consumidores primários, no caso de espécies que se alimentam de vegetais, ou consumidores de níveis tróficos superiores, predando invertebrados, peixes, anfíbios, répteis e até mesmo filhotes de mamíferos e aves, atuando, assim, parcialmente no controle de populações de tais grupos. Há, ainda, espécies que se alimentam de animais mortos participando da ciclagem de nutrientes nos ambientes (POUGH; HEISER; JANIS, 2008). Em função de todos esses tipos de hábito, podem acumular toxinas provenientes dos componentes de sua dieta em seus tecidos, fornecendo informações sobre a qualidade ambiental.

Os mamíferos terrestres voadores e não voadores de pequeno, médio e grande porte possuem diferentes importâncias ecológicas, onde se destacam: dispersão de sementes, predação e controle de pragas, regulação de presas, contribuindo para a manutenção do equilíbrio dos ambientes onde ocorrem. Como exemplo, algumas espécies de morcegos possuem o hábito alimentar específico em frutas e insetos, desta forma, sendo considerados excelentes dispersores de sementes e controladores de insetos, quais podem transformar-se em pragas que atacam plantações (REIS et al. 2006).

Quanto às espécies de cetáceos, muitas são predadoras de topo de cadeia e influenciam a estrutura e a dinâmica dos ecossistemas, uma vez que são animais de tamanho grande e consumidores de quase todos os níveis tróficos, retirando dos ambientes grandes quantidades de presas (BOWEN, 1997; PAULY et al. 1998). Por esse motivo, as grandes baleias também possuem um importante papel nos ecossistemas, pois a biomassa ingerida é reciclada e disponibilizada como nutriente na superfície do oceano por excreção para outros seres da base da cadeia trófica. Por conta da sua característica de animais de vida longa e bioacumuladores, com as fêmeas transmitindo contaminantes para sua prole pela amamentação, os cetáceos são considerados “sentinelas” dos ecossistemas marinhos em que vivem (WELLS et al., 2004), ou seja, sua saúde reflete a dos ecossistemas em que vivem.

O conhecimento gerado em época pretérita ao desastre ambiental aqui estudado sobre a diversidade, riqueza, parâmetros populacionais, espécies ameaçadas de extinção, endêmicas, exóticas e/ou invasoras dos grupos taxonômicos abordados nesta área temática é de suma importância na avaliação do impacto ambiental e diagnóstico a ser realizado.

O estudo da linha-base desta área temática foi realizado em duas fases: a primeira tratou-se de um extensivo levantamento bibliográfico dos diferentes tipos de pesquisas desenvolvidas na área de abrangência deste estudo e a segunda foi a descrição destes estudos visando à caracterização da fauna silvestre no período pretérito ao desastre, abordando especialmente riqueza, espécies endêmicas, ameaçadas de extinção e exóticas.

A pesquisa bibliográfica foi conduzida em toda a área de abrangência do estudo, compreendendo a bacia hidrográfica do rio Doce nos trechos do Alto, Médio e Baixo rio Doce até a desembocadura desse mesmo rio no oceano Atlântico, com enfoque especial nas áreas afetadas pelo desastre. Na região costeira foi definida inicialmente a região litorânea do Espírito Santo e extremo sul da Bahia, com limites: ao norte no limite norte do banco dos Abrolhos, Estado da Bahia; e ao sul a divisa entre os estados de Espírito Santo e Rio de Janeiro. Esse extenso levantamento bibliográfico foi realizado através de consultas em plataformas de periódicos nacionais e internacionais utilizando o software bibliométrico *Publish or Perish*[®], em coleções museológicas pelo sistema integrado de dados primários de coleções científicas conhecido como *SpeciesLink*, bases de dados de bibliotecas de universidades da região, *FishBase*, livros, periódicos, teses, dissertações, resumos de congressos e trabalhos técnicos desenvolvidos na região de estudo.

Além disso, também foram consultados estudos de impactos ambientais de empreendimentos da região, bem como os estudos desenvolvidos nas UCs existentes na bacia hidrográfica do rio Doce. Quanto às informações ecológicas (nomenclatura, nomes populares, habitats, status de ocorrência, endemismo, dieta, locomoção, entre outros) presentes nas listas de espécies de cada grupo faunístico abordado nesta área temática, apresentado em detalhe no Relatório de Linha-base, foram utilizadas referências bibliográficas consagradas, tais como: Segalla et al. (2016), Haddad et al. (2008), Piacentini et al. (2015), Brooks et al. (1999), Paglia et al. (2012). O estado de ameaça nos diferentes âmbitos abordados (estadual, nacional, mundial) foi baseado nas listas vermelhas de fauna ameaçada elaboradas por Passamani e Mendes (2007) – Espírito Santo, COPAM (2010) – Minas Gerais, Portaria nº 444 (BRASIL, 2014), Mundial (IUCN, 2017).

De forma geral para todos os grupos taxonômicos abordados neste estudo, foram encontrados vários tipos de pesquisas com objetivos e metodologias específicas, quais não tiveram necessariamente a finalidade de levantar a riqueza, ocorrência de espécies ameaçadas de extinção, endêmicas e exóticas de uma determinada região, e sim abordar aspectos e processos ecológicos (ex. ecologia de dieta e forrageamento, ecologia de comunidades, comportamento de predação, influência de efeito de borda, efeito de estrutura de habitat, interação planta-animal, entre outros), onde foram extraídas informações relevantes desses estudos para compor a caracterização faunística aqui realizada.

Os estudos aqui descritos, em sua maioria, estão relacionados à composição e diversidade de espécies e foram desenvolvidos de forma aleatória na bacia hidrográfica do rio Doce e imediações. Em alguns estudos citados, os objetivos foram analisar a composição de um mesmo grupo taxonômico em uma mesma área, foram utilizados métodos e esforços amostrais distintos, assim obtiveram taxas de riqueza diferentes, não sendo consideradas como a totalidade de espécies registradas para a área de estudo e sim as espécies de ocorrência comprovada no período do estudo, sendo possível a existência de outras espécies. Na sequência segue a descrição sumarizada dos resultados obtidos em cada grupo taxonômico.

Ictiofauna

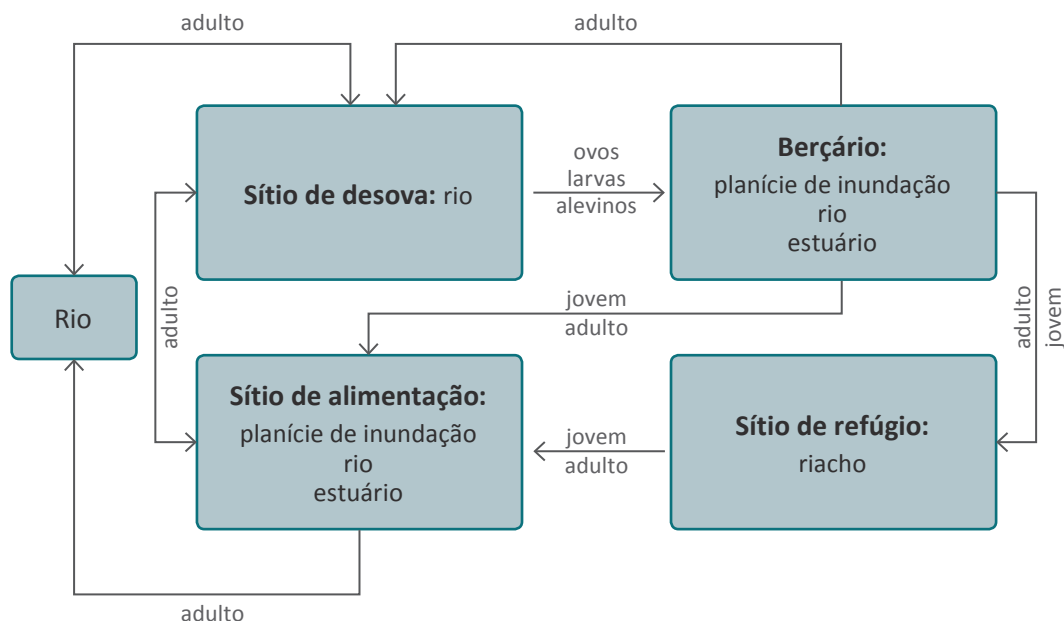
A ictiologia é a porção da zoologia que estuda os peixes e suas relações com o meio. As espécies de peixes são consideradas excelentes ferramentas para o monitoramento de ambientes aquáticos (KARR, 1981; RAMELOW et al., 1989; SCHULZ e MARTINS-JUNIOR, 2001) seja por representarem um grupo de vertebrados bastante diversificado (LOWE-McCONNELL, 1999) e diverso (NELSON, 2006), com cerca de 30 mil espécies (FROESE e PAULY, 2017), seja por refletirem os efeitos de vários estressores da integridade biótica do ambiente aquático (FAUSCH et al., 1990). As espécies de peixes são bioindicadores, pois suas funções biológicas são relacionadas com os fatores ambientais do local no qual residem. O monitoramento dos padrões ecológicos e biológicos das espécies é uma ferramenta importante para a identificação de impactos ambientais e proporcionar medidas corretivas. Além da importância dentro das comunidades aquáticas e das cadeias tróficas dos ecossistemas, os peixes são recursos alimentares e econômicos para muitas comunidades tradicionais (PAULY et al., 2002).

O levantamento de dados pretéritos ao desastre demonstrou que a bacia hidrográfica do rio Doce e ambiente marinho adjacente apresenta 501 espécies de peixes de pequeno, médio e grande portes. O grupo com maior representatividade foi o das pescadas, robalo, garoupas e vermelhos com 48,3% das espécies encontradas, seguidos dos grupos dos bagres e cascudos com 8,6% e o dos lambaris e traíras com 7,9%.

Para melhor detalhamento da composição da ictiofauna existente na bacia e no ambiente marinho adjacente a área de estudo foi dividida em: ictiofauna de água doce, ictiofauna estuarina, ictiofauna das zonas de arrebentação (praias) e ictiofauna dos ambientes recifais. Para água doce foi levantada a existência de 102 espécies de peixes, o que representa em torno de 40% das espécies encontradas em toda Mata Atlântica (ABILHOA et al., 2011).

De forma geral as espécies encontradas no rio Doce são de médio e grande portes na calha principal e nos grandes afluentes. Nos riachos da bacia há predominância de espécies de pequeno porte. Grande parte das espécies são migradoras, ou seja, utilizam a calha do rio para deslocamentos reprodutivos, alimentares e desenvolvimento (Figura 64).

Figura 64- Modelo geral de migração de peixes de água doce do Brasil.



Fonte: Godinho e Kynard (2008).

A ictiofauna da foz do rio Doce é composta por uma combinação de espécies estuarino-residentes (ou residentes), as quais completam seu ciclo de vida no estuário, estuarino-transientes (ou marinhas dependentes), que reproduzem na plataforma continental, porém os indivíduos juvenis usam o estuário como berçário, e as espécies visitantes-ocasionais (ou marinhas visitantes), geralmente adultas, que entram no estuário para se alimentar.

No ambiente estuarino e marinho composto pelas zonas de arrebentação e ambientes recifais da área de estudo identificaram-se pelo menos 399 espécies. Esse número representa 30,8% de todas as espécies de peixes marinhos encontrados no Brasil segundo estudo de Menezes et al. (2003).

Foram identificadas 38 espécies ameaçadas de extinção nas listas de espécies ameaçadas de extinção de Minas Gerais (COPAM, 2008) e lista oficial do Espírito Santo (PASSAMANI e MENDES, 2007). Entre elas destacam-se os meros (*Epinephelus itajara* - Figura 65), garoupas (*Epinephelus marginatus* - Figura 66) e o surubim do rio Doce (*Steindachneridion doceanum* - Figura 67).

Figura 65 - Mero (*Epinephelus itajara*)



Fonte: <http://biogeodb.stri.si.edu/caribbean/en/thefishes/species/4760>

Figura 66 - Garoupa (*Epinephelus marginatus*)

Fonte: <https://alchetron.com/Epinephelus-marginatus-2536237-W>

Figura 67 - Surubim do rio Doce (*Steindachneridion doceanum*)

Fonte: Museu de Zoologia (USP)

Também foram encontradas 25 espécies exóticas na área de estudo, destacando as seguintes: carpas, tilápias, dourado, bagre-africano, dentre outras.

Entomofauna

A abordagem da entomofauna na realização deste relatório focou nos grupos taxonômicos das formigas, abelhas e vespas (Ordem Hymenoptera), os besouros (Ordem Coleoptera), as borboletas e mariposas (Ordem Lepidoptera), além dos mosquitos da família Culicidae (Ordem Diptera), os flebotomíneos (Ordem Diptera) e as efêmeras (Ordem Ephemeroptera).

A região da Cadeia do Espinhaço é caracterizada pela presença de diversos centros de biodiversidade e endemismo no Brasil, sendo uma importante formação montanhosa da região do Alto do rio Doce e divisor de diversas bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais (COSTA et al., 2015). O conhecimento sobre a riqueza de espécies de formigas nesse local é caracterizado pela ocorrência de 288 espécies e 53 gêneros. No Parque Estadual do Itacolomi (PEI) foram registradas 68 espécies de formigas em um estudo, e em um estudo seguinte, foram registradas 155 morfoespécies (ESPÍRITO SANTO, 2008). Ademais, uma revisão sobre a ocorrência de formigas em campos rupestres mostrou que o PEI possui 25% de suas espécies exclusivas (COSTA et al. 2015).

A ocorrência da formiga-argentina (*Linepithema humile*) foi registrada em altas densidades na região do PEI (ESPÍRITO SANTO e RIBEIRO, 2010). Essa espécie de formiga é considerada como exótica e invasora e é considerada uma ameaça para a conservação das espécies nativas, pois, devido ao seu padrão de comportamento social, ela possui capacidade de colonizar novos locais e impedir que outras espécies sejam possíveis de utilizarem os mesmos recursos. A ocorrência dessa espécie no PEI é preocupante, pois em outras regiões do Sudeste do Brasil ela não foi levantada ou foi encontrada em baixas densidades, e nas árvores em que essas formigas se associam não foram encontradas outras espécies de formigas nativas dominantes e altamente

frequentes. Essas informações convergem na possibilidade de a formiga-argentina estar deslocando espécies nativas do PEI, acarretando em alterações na assembleia de formigas e outros artrópodes da região.

A Cadeia do Espinhaço possui uma riqueza estimada em pelo menos 600 espécies de abelhas, muitas delas raras ou naturalmente pouco abundantes. Nessa região, a sobrevivência das abelhas nativas é ameaçada principalmente pela mineração, as queimadas, a expansão imobiliária, a agropecuária, apicultura comercial, turismo desordenado e os reflorestamentos (AZEVEDO et al., 2008). No PEI, entretanto, a fauna de abelhas é relativamente baixa, com 54 espécies registradas (SABINO et al., 2011). Esse padrão de baixa riqueza da apifauna no PEI é curioso, dado que os campos rupestres do QF somam a ocorrência de 107 espécies (MARTINS et al., 2012). Entretanto, grande parte dessa riqueza é atribuída a Serra do Rola Moça, distante da área de abrangência aqui estudada. De qualquer maneira, a área urbana de Ouro Preto possui 46 espécies de abelhas registradas, com cerca de quatro espécies exclusivas.

O estudo de Martins et al. (2012) destaca a região pela grande proporção de espécies raras e/ou restritas aos ambientes de campos ferruginosos, as quais aumentam a importância desses ecossistemas para a conservação da fauna de abelhas.

Foi realizado um estudo voltado para os Ichneumonidae, uma família de himenópteros (Ordem Hymenoptera), que registrou uma riqueza de 39 espécies na região da Unidade Ambiental de Peti (MG) (TANQUE, 2009). Outro estudo que representa a diversidade de espécies da região foi realizado na Estação Ecológica do Tripuí (EET), onde foram registradas 176 espécies de besouros (Coleoptera) (ALMEIDA et al., 2011).

Outra importante região abordada e que possui conhecimento sobre a diversidade de espécies da entomofauna é o PERD. Como exemplo disso, Castro et al. (2010) registraram em seu estudo 196 morfoespécies de formigas somente nessa UC, entre diversas delas raras e três novas para a ciência. Comparando com o PEI, registra-se quase o dobro das espécies.

Ainda no contexto do PERD, as efêmeras (Ordem Ephemeroptera) são importantes indicadores de interferências antrópicas que alteram o ambiente aquático e, portanto, a qualidade ambiental. O grupo destaca-se por sua riqueza de 50 espécies, sendo que a zona de amortecimento da UC foi caracterizada quanto à ocorrência de uma família de efêmeras (Baetidae) com 19 espécies. Destaca-se como espécie ameaçada de extinção no PERD, o registro da efêmera *Camelobaetidius spinosus*, avaliada como vulnerável em nível nacional.

Alguns estudos pontuais de outras ordens de invertebrados foram abordados no PERD e na região do entorno, a exemplificar: Lepidoptera, com 83 espécies registradas para a UC, sendo quatro delas raras (SILVA, 2010); os Phlebotominae, conhecidos como “mosquitos-palha”, vetores de leishmanioses, com 17 espécies registradas no município de Timóteo (área adjacente ao PERD); 38 espécies de vespas sociais registradas recentemente por Souza et al. (2012), com 10 novos registros para o estado de Minas Gerais e uma nova espécie descrita. Para o último grupo,

destaca-se que a diversidade registrada nessa região foi maior que em outros locais dos estados de São Paulo e Bahia, fator atribuído ao elevado grau de conservação e menor antropização da UC. Assim sendo, qualquer interferência em remanescentes florestais desse bioma pode afetar e diminuir a sua diversidade, demonstrando a importância do PERD para a manutenção da diversidade de vespas sociais do estado.

Outra UC abordada neste estudo, é a Reserva Particular de Patrimônio Natural Feliciano Miguel Abadala (RPPN FMA) situada no município de Caratinga (MG). Nessa UC as abelhas-orquídeas (Euglossini, Hymenoptera) são representadas por vinte espécies (NEMÉSIO e SILVEIRA, 2006). Outros estudos avaliaram a abundância nos diferentes estratos vegetacionais e ambientes, não fornecendo informação de riqueza taxonômica, ou seja, de composição de espécies, mas sim um acesso às abundâncias e sazonalidades de cada grupo.

Na divisa entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, algumas áreas também possuem informações importantes quanto à fauna de invertebrados. Uma dessas áreas a ser destacada, é a cidade de Linhares (ES), situada à margem do rio Doce e próximo à Floresta Nacional de Goytacazes (Flona Goytacazes). Nesse município, 38 espécies de Ephemeroptera foram registradas. Para o estado do Espírito Santo, têm-se registradas 76 espécies de efêmeras. Através desses estudos foram descritas 17 novas espécies de efêmeras, como *Adebrotus lugoi* Sales 2010, *Baetodes capixaba* Souza, Salles & Nessimian 2011, *Baetodes iuaquita* Souza, Salles e Nessimian, 2011, *Camelobaetidius spinosus* Boldrini & Salles 2012 e *Hermanella nigra* Nascimento e Salles 2013, todas citadas como vulneráveis em nível nacional.

Outro grupo estudado no município de Linhares foram as populares moscas-da-fruta (Tephritidae). Nesse caso, foi registrada a diversidade dessas moscas em pomares comerciais de papaia e em áreas remanescentes de Mata Atlântica. As localidades da Mata Atlântica amostradas foram a Reserva Natural Vale (RNV) e a Flona Goytacazes. Assim, os remanescentes do bioma foram representados por 27 espécies, sendo cinco espécies novas para a ciência (URAMOTO, 2007). Em um estudo realizado no entorno da Flona Goytacazes com algumas espécies de mosquitos de interesse para a saúde pública, foram registradas seis espécies, com destaque para *Culex nigripalpus*, *C. pleuristriatus*, *Haemagogus leucocelaenus* e *Limatus durhami*, sendo a maioria proveniente do ambiente florestal. Neste estudo registrou-se *H. leucocelaenus*, espécie que não era relatada há mais de 40 anos no estado do Espírito Santo (REZENDE et al., 2011).

Situada na região norte do Espírito Santo, a Reserva Biológica de Sooretama (Rebio Sooretama) teve sua assembleia de borboletas frugívoras caracterizada em 32 espécies, das quais cinco não haviam sido registradas para o Estado do Espírito Santo. Dessas espécies registradas, quatro espécies são raras e indicadoras de ambientes especialmente ricos e apontados como prioritários para conservação na Mata Atlântica (BROWN e FREITAS, 2000): *Morpho menelaus coeruleus*; *Taygetis acuta*, *Godartiana byses* e *Caligo idomeneu sariphron*. Apesar de ser uma riqueza relativamente baixa quando comparada à riqueza do município de Santa Teresa,

também no estado, com 321 espécies de borboletas das quais 185 são frugívoras, ainda assim se trata de uma riqueza significativa, pois Santa Teresa é um epicentro de diversidade não apenas para borboletas, mas também para outros grupos (NOGUEIRA, 2012).

Por fim, na desembocadura do rio Doce no oceano Atlântico, as restingas e as matas de tabuleiro presentes no delta do rio, em conjunto com extensas áreas de brejos sob influência de várias lagoas do sistema de várzeas do Vale do Suruaca, proporcionou o registro de 23 espécies de escarabeídeos pertencentes a 13 gêneros e a seis tribos (SCHIFFLER et al., 2003).

A riqueza de entomofauna abordada neste relatório pode ser sintetizada com a Tabela 6. Como citado anteriormente, estudos de amostragem da riqueza dependem do esforço amostral e da distribuição desse esforço nas épocas do ano, para as análises de efeito da sazonalidade na ocorrência de espécies. Muitos dos estudos citados podem, assim, estar subestimando a riqueza real das áreas citadas.

Tabela 6 – Riqueza de espécies/morfoespécies levantadas para cada região de acordo com dados secundários.

Táxon	Espécies/ Morfoespécies	Local/Região
Formigas	288	Cadeia do Espinhaço
Abelhas	600	Cadeia do Espinhaço, campos rupestres
Escarabeídeos	23	delta do rio Doce
Coleoptera	176	EET (Tripuí)
Abelhas	54	PEI
Formigas	68	PEI
Formigas	155	PEI
Abelhas	107	Quadrilátero Ferrífero, campos rupestres
Abelhas	65	Serra do Ouro Branco
Abelhas	45	Ouro Preto
Ephemeroptera	50	PERD
Formigas	196	PERD
Lepidoptera	83	PERD
Vespas sociais	38	PERD
Ichneumonidae (Hymenoptera)	39	PETI
Ephemeroptera	76	Estado do Espírito Santo
Culicidae	6	Flona Goytacazes
Moscas-das-frutas (Tephritidae)	27	Linhares
Borboletas frugívoras (Nymphalidae)	32	Rebio Sooretama
Borboletas frugívoras	185	Santa Teresa
Lepidoptera	321	Santa Teresa
Phlebotomine (Diptera)	17	Timóteo MG

Herpetofauna

No estado de Minas Gerais, a fauna de anfíbios é de, aproximadamente, 200 espécies (DRUMMOND et al., 2005), compreendendo anuros (sapos, rãs e pererecas) e cobras-cegas (anfíbios sem pernas), o que representa quase 1/5 das mais de 1.000 espécies existentes no Brasil (SEGALLA et al., 2016).

Poucas áreas foram alvos de estudo de composição de anfíbios na bacia hidrográfica do rio Doce. Apesar dos endemismos gerados pelos complexos serranos (Mantiqueira, Caparaó e Brigadeiro), que são considerados de alta prioridade para a conservação, grandes fragmentos florestais da Mata Atlântica como o presente no PERD, também são relevantes para a conservação de anfíbios. Outra região de grande importância para as espécies de anfíbios é a porção sul da Serra do Espinhaço, entre Mariana e Ouro Preto, ecótono de Mata Atlântica-Cerrado, que além de possuir elevada riqueza de espécies e presença de espécies endêmicas, possui espécies associadas a cada um dos biomas.

A representação dos répteis como bioindicadores, no entanto, não é bem consolidada devido à existência de poucos lagartos de boa bioindicação e outros que não fornecem uma bioindicação precoce de mudanças no ambiente (BERTOLUCI et al. 2009). A riqueza da fauna de répteis do Estado de Minas Gerais se destaca com cerca de 221 espécies (DRUMMOND et al. 2009), ou seja, mais de 28% dos répteis presentes no território brasileiro (COSTA; BÉRNILS, 2015).

Na Mata Atlântica, os estudos predominantes envolvendo a herpetofauna abordam, no geral, aspectos de distribuição espacial e temporal e das estações reprodutivas de anuros e da comunidade de serpentes (BERTOLUCI et al., 2009). Os lagartos compõem o grupo de amniotas mais diversos, com cerca de 6.263 espécies descritas das quais 272 ocorrem no Brasil, de acordo com Uetz e Hosek (2017) e Costa e Bérnils (2015). Pouco mais de um quarto das espécies brasileiras ocorrem no estado de Minas Gerais (DRUMMOND et al. 2009; COSTA; BÉRNILS, 2015).

Por apresentarem grande diversidade de espécies, elevado número de endemismos e espécies ameaçadas de extinção, algumas áreas da bacia do rio Doce foram apontadas como prioritárias para a conservação de anfíbios e répteis (EPE, 2007). Essas áreas compõem a porção sul da serra do Espinhaço (Ouro Preto e Mariana), o PERD, região de Conselheiro Pena e PESS, região de Caratinga, RPPN Mata do Sossego e região do Parque Nacional do Caparaó (Parna Caparaó) no estado de Minas Gerais e, ainda, as regiões de Santa Teresa e de Linhares no estado do Espírito Santo.

De acordo com a literatura acessada, apenas o grupo dos anuros foram relativamente bem amostrados. Para exemplificar a riqueza de anuros encontrada no Alto rio Doce, cinco localidades da região registram uma riqueza que varia de 29 a 57 espécies. Essas localidades são a RPPN Santuário do Caraça (RPPN SC) com 57 espécies (SANTUÁRIO DO CARAÇA, 2013), a região de Ouro Preto e Mariana com 44 espécies (EPE, 2007), a Unidade Ambiental Peti com 29 espécies (BERTOLUCI et al., 2009), a Floresta Nacional de Uiamí (Flona Uiamí) com 36 espécies (PIRANI et al., 2013) e a Serra do Ouro Branco (SOB) com 47 espécies (SÃO PEDRO e FEIO, 2011).

A RPPN SC, a região de Ouro Preto e Mariana e a SOB representam, respectivamente, 79,2%, 61,1% e 65,3% da fauna de anfíbios do QF, a qual por sua vez é composta por 72 espécies (LEITE et al., 2008 *apud* LEITE et al., 2013). Apenas a riqueza de anuros da RPPN Santuário do Caraça representa cerca de 28,5% da fauna de anfíbios do estado de Minas Gerais.

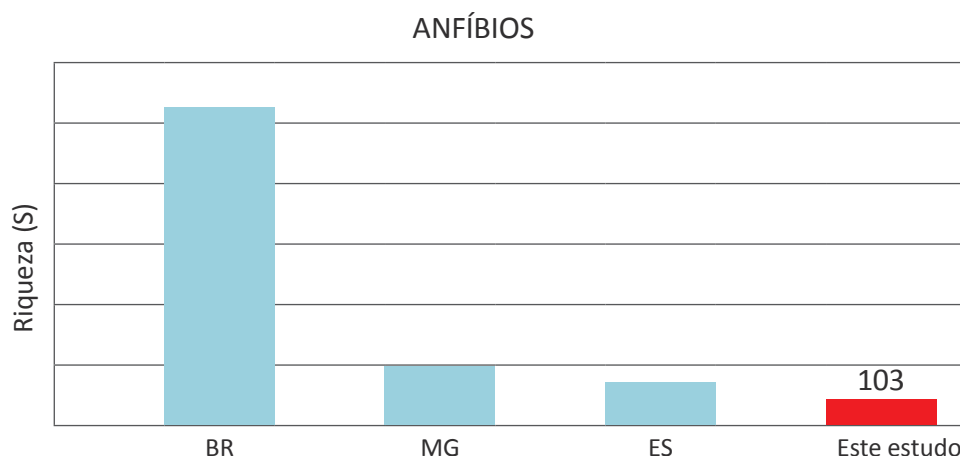
As regiões de Ouro Preto e Mariana (limite sul da Serra do Espinhaço) têm sua ocorrência de anfíbios contabilizada em 44 espécies concentradas no PEI e na EET (EPE, 2007). Quanto às espécies endêmicas presentes na região, têm-se: *Physalaemus erythrus*, *Scinax curicica*, *Bokermanohyla saxicola* e *Physalaemus evangelistai*. Em Ouro Preto registrou-se *Physalaemus maximus*, espécie conhecida anteriormente apenas para a Serra do Brigadeiro em Minas Gerais e endêmica da bacia hidrográfica do rio Doce. Uma espécie de gimnofiona conhecida para poucas localidades da Mata Atlântica, *Luetkenotyphlus brasiliensis*, foi registrada em Ouro Preto e não é conhecida para demais localidades em Minas Gerais, sendo que uma avaliação de seu status de ameaça de extinção é necessária, pois a espécie é atualmente deficiente em dados (IUCN, 2017).

Ainda que bem representativa, a riqueza de anfíbios parece ser relativamente menor no Médio rio Doce, mas maior ou igual no Baixo rio Doce. No PERD registram-se 38 espécies de anuros (IEF, 2001), enquanto na RPPN Mata do Sossego (RPPN MS), registram-se 24 (FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS, 2014). Na RPPN FMA, 11 das 38 espécies registradas são endêmicas da Mata Atlântica, entre elas duas pererecas do gênero *Phyllomedusa* (*P. burmeisteri* e *P. rohdei*), a rã pimenta (*Leptodactylus latrans*) e o sapo-de-chifre (*Proceratophrys boiei*) (PRESERVE MURIQUI, 2014).

No Baixo rio Doce, as regiões da APA Goiapaba-Açu, Flona Goytacazes, e Aracruz mostram uma fauna de 41, 44 e 53 anfíbios respectivamente (ICMBIO, 2013; RAMOS e GASPARINI, 2004; NUTRIPETRO, 2013), sendo essa riqueza similar, em termos absolutos, à encontrada no Alto rio Doce. Entretanto, a região de Santa Teresa, também conhecida por sua riqueza de borboletas, registra 92 espécies, sendo um dos locais mais ricos em anuros ao redor do mundo (ICMBIO, 2013).

Alguns estudos acessaram também a sazonalidade e período reprodutivo dos anuros. Por exemplo, na RPPN SC, a atividade de reprodução dos anuros foi fortemente correlacionada com a precipitação mensal média, com até 80% das espécies sendo exclusivas ou predominantes do período chuvoso (CANELAS e BERTOLUCI, 2007), sendo este um padrão geral para esse grupo da fauna. Por sua vez, os dados de riqueza por localidade e os respectivos habitats das espécies foram compilados conforme a revisão dos levantamentos citados. Separando os anuros em habitats preferenciais (HADDAD et al., 2008), estes foram diferenciados como ocupantes de Áreas Abertas (AAs) e ocupantes de Áreas Florestadas (AFs). Observa-se que 13 espécies de anuros da bacia hidrográfica do rio Doce habitam AAs, 21 espécies habitam AFs e seis espécies habitam ambos, sendo essas últimas espécies consideradas generalistas. A análise da riqueza (Figura 68), mostra que 103 espécies são compiladas para a bacia hidrográfica do rio Doce, representando cerca de 70% da fauna de anfíbios do estado do Espírito Santo, 52% de Minas Gerais e quase 10% do Brasil. Ainda que existam espécies exclusivas de cada estado, esse comparativo é importante para se ter ideia da riqueza representada pela bacia como um todo.

Figura 68 – Riqueza comparada de anfíbios em níveis nacional, estadual e a obtida neste estudo.



Em relação aos répteis, a maioria dos estudos aborda de maneira geral os grupos das serpentes, lagartos, quelônios, jacarés e evidenciam a grande riqueza da região do rio Doce. No trecho do Alto rio Doce, na Unidade Ambiental Peti foi diagnosticada uma riqueza de 29 espécies de répteis (BERTOLUCI et al., 2009). Essa riqueza é mediana comparada a outros locais da bacia hidrográfica. Especificamente para as serpentes, por exemplo, nos municípios de Mariana e Ouro Preto, 50 espécies de serpentes (maioria do bioma Cerrado) são registradas, representando uma das maiores riquezas conhecidas em todo o Brasil (EPE, 2007).

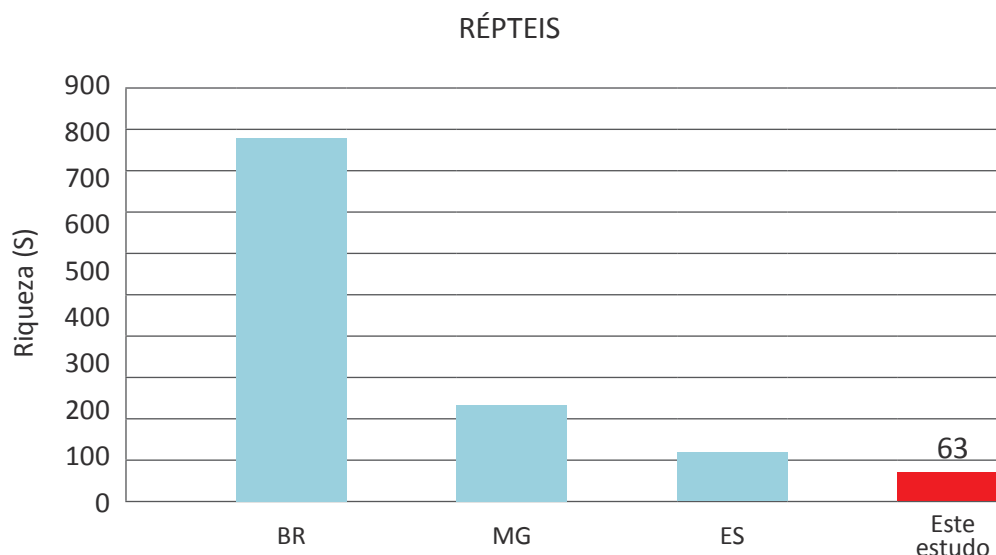
Os registros de *Echinanthera melanostigma*, *E. cephalostriata*, *Dipsas albifrons* são os únicos para o estado de Minas Gerais, e *Drymoluber dichrous* e *Atractus zebrinus* são conhecidas apenas para mais uma localidade no estado mineiro. Essas cinco espécies são típicas da floresta litorânea e seu registro na região de Ouro Preto e Mariana indicam certa similaridade entre a fauna de répteis dessas duas formações e ressalta a importância das matas interioranas para a manutenção da biodiversidade da Mata Atlântica mineira. Também foi registrada *Tantilla boipiranga*, que só era conhecida para sua localidade-tipo na Serra do Cipó, consolidando-a como uma espécie endêmica da porção sul da Serra do Espinhaço (EPE, 2007). Outro estudo posterior, realizado somente em Ouro Preto, registrou 51 espécies de serpentes (SILVEIRA et al., 2004 *apud* SÃO PEDRO e PIRES, 2009). Essa riqueza representa 36,7% da fauna de serpentes do estado de Minas Gerais e 13% do Brasil. Adjacente à região, também se registra 28 espécies de serpentes para Ouro Branco (SÃO PEDRO e PIRES, 2009). E, na mesma localidade, 15 espécies de lagartos são conhecidas (CRUZ et al., 2014), representando 26,3% e 5,6% da fauna de lagartos do estado de Minas Gerais e do Brasil, respectivamente.

O trecho Médio do rio Doce foi aqui caracterizado quanto à ocorrência de répteis principalmente no PERD e na RPPN FMA. Dezesesseis espécies de répteis são registradas para a primeira área (SOUZA et al. 2009), enquanto 44 espécies são citadas para a segunda (CASSIMIRO e BERTOLUCI, 2002 *apud* EPE, 2007). A riqueza da RPPN FMA, representa 19,9% dos répteis do estado de Minas Gerais e 5,7% do Brasil.

Já no território do estado do Espírito Santo, três locais são caracterizados quanto à ocorrência de répteis: a Rebio Sooretama com 35 espécies; a RNV com 43 espécies e por fim, a região de Aracruz, situada no litoral do estado capixaba, com uma riqueza de 57 espécies de répteis (EPE, 2007). Aracruz se destaca, nesse sentido, por possuir 50,9% e 7,4% da riqueza correspondente ao estado e ao país, respectivamente.

Como pode ser observado na Figura 69, neste relatório está compilada a ocorrência de 63 espécies de répteis na bacia hidrográfica do rio Doce. Essa quantia representa 20,5% da riqueza de espécies de Minas Gerais, 56,25% do Espírito Santo e 8,15% do Brasil.

Figura 69- Riqueza comparada de répteis em níveis nacional, estadual e a obtida neste estudo.



Assim como para os anuros e para os próximos grupos a serem abordados, existem espécies exclusivas de cada estado, sendo esse comparativo entre fauna presente em cada unidade federativa e a registrada na bacia hidrográfica do rio Doce tido como de extrema importância para se ter conhecimento da riqueza existente nas regiões, e também demonstrar a importância da bacia hidrográfica do rio Doce para a conservação e manutenção da biodiversidade regional.

QUELÔNIOS

Os quelônios, popularmente conhecidos como cágados, jabutis e tartarugas, são répteis pertencentes à Ordem taxonômica Testudines. Uma de suas principais características morfológicas é o corpo revestido por uma carapaça dorsal e um escudo ventral (plastrão).

Os quelônios são animais que ocupam os ambientes terrestre e aquático, sendo que, entre as espécies de hábitos aquáticos, existem aquelas que habitam ambientes continentais de água doce e aquelas que habitam o ambiente marinho, eventualmente utilizando o ambiente salobro dos estuários como áreas de alimentação. As espécies dulcícolas costumam alternar com frequência o uso do ambiente terrestre e aquático, enquanto que as espécies marinhas passam a vida inteira na água após seu nascimento, com exceção das fêmeas adultas que retornam ao ambiente terrestre para depositar seus ovos, geralmente na mesma praia em que nasceram.

No geral, as espécies de quelônios de água doce são residentes (i.e., passam toda a vida em uma mesma região, no máximo apresentando deslocamentos entre sítios próximos no intuito de obterem alimentos ou para atividades reprodutivas), enquanto os marinhos são migratórios, percorrendo grandes distâncias nos oceanos ao longo da vida.

Os quelônios desempenham importantes papéis nas cadeias alimentares nos ambientes em que habitam, podendo atuar como consumidores primários, no caso de espécies que se alimentam de vegetais, até serem consumidoras de níveis tróficos superiores, predando invertebrados, peixes, anfíbios, répteis e até mesmo filhotes de mamíferos e de aves, atuando assim parcialmente no controle de populações de tais grupos. Há, ainda, espécies que se alimentam de animais mortos, participando, assim, da ciclagem de nutrientes nos ambientes. Em função de todos esses tipos de hábitos, os quelônios podem acumular toxinas provenientes dos componentes de sua dieta em seus tecidos, fornecendo informações sobre a qualidade ambiental. Também são importantes presas para diversas espécies, tanto no meio terrestre quanto aquático, geralmente como forma de alimento às espécies topo de cadeia alimentares.

Há muito tempo os humanos de diversas culturas vêm fazendo uso de quelônios como fonte de proteínas, alimentando-se da carne do próprio animal ou de seus ovos. No caso das tartarugas marinhas, estas também sofreram essa pressão predatória, tendo seus ovos coletados nas areias das praias de desova e sendo capturadas e abatidas para o consumo humano, além da captura acidental em redes de pesca.

Outro grande impacto que afeta os quelônios marinhos consiste na presença de lixo em seu habitat. Em consequência da ingestão acidental de resíduos sólidos como sacolas plásticas, que são confundidas como o alimento por algumas espécies (e.g., medusas, lulas e inclusive peixes) e/ou de resíduos e material plástico ou metal particulado que se mescla a bancos de algas.

Há algumas décadas, alguns projetos de sucesso vêm sendo desenvolvidos no Brasil para auxiliar na preservação de algumas espécies de quelônios, como o Projeto Tamar, criado em 1980 e que atua na proteção das tartarugas marinhas em diversos pontos da costa brasileira.

QUELÔNIOS CONTINENTAIS

A partir do banco de dados do ICMBio (VOGT et al., 2015) e de estudos que apresentam a distribuição ampla de quelônios no continente sul-americano, um total de 13 espécies de quelônios continentais (sendo 11 aquáticas e duas terrestres) são registradas para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo (Tabela 7). Entretanto, parte dessas espécies, embora contemplem distribuições próximas à bacia do rio Doce, ocorrem em ecossistemas bastante distintos, possivelmente não se fazendo representar na região ora em estudo. De qualquer forma, tais espécies são citadas para fins de referência.

A despeito de sua grande importância regional, não são conhecidos trabalhos publicados que contemplem inventários de quelônios ou sequer de répteis ao longo da bacia do rio Doce como um todo. Os poucos estudos que contemplam levantamentos de espécies continentais do grupo foram desenvolvidos em alguns locais específicos no contexto da bacia, a exemplo de Linhares (ES), onde inventários herpetofaunísticos foram realizados nas reservas locais da Vale. Tais estudos revelam a ocorrência de algumas espécies de quelônios em localidades específicas da bacia.

Tabela 7 – Espécies de quelônios continentais registrados nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo e sua ocorrência na bacia do rio Doce.

Família/Espécie	Nome popular	MG	ES	RD
Kinosternidae				
<i>Kinosternon scorpiodes</i> (Linnaeus, 1766)	muçua	X		
Geoemydidae				
<i>Rhinoclemmys</i> sp.	aperema		X	X
Testudinidae				
<i>Chelonoidis carbonarius</i> (Spix, 1824)	jabuti-vermelho	X	X	X
<i>Chelonoidis denticulatus</i> (Linnaeus, 1766)	jabuti-amarelo	X	X	X
Chelidae				
<i>Acanthochelys radiolata</i> (Mikan, 1820)	cágado-amarelo	X	X	X
<i>Acanthochelys spixii</i> (Duméril e Bibron, 1835)	cágado-preto	X		
<i>Mesoclemmys hoge</i> (Mertens, 1967)	cágado-de-Hoge	X	X	
<i>Mesoclemmys tuberculata</i> (Lüderwaldt, 1926)	cágado-do-nordeste	X		
<i>Mesoclemmys vanderhaegei</i> (Bour, 1973)	cágado-cabeçudo	X		
<i>Phrynops geoffroanus</i> (Schweigger, 1812)	cágado-de-barbicha	X	X	X
<i>Hydromedusa maximiliani</i> (Mikan, 1825)	cágado-da-serra	X	X	X
<i>Hydromedusa tectifera</i> Cope, 1870	cágado-da-serra	X		
Emydidae				
<i>Trachemys scripta</i> (Thunberg in Schoepff, 1792)*	tartaruga-de-orelha-vermelha	?	?	?

*Legenda: Espécie exótica com possível ocorrência na região do estudo.

Além dos estudos acima, informações sobre quelônios continentais para a bacia do rio Doce são provenientes de alguns registros esporádicos presentes na literatura e referentes a ampliações de distribuição, revisões taxonômicas e/ou observações sobre hábitos alimentares e/ou outros aspectos da ecologia das espécies.

A partir da análise dos estudos acima, é comprovada a presença de quatro espécies dulcícolas e das duas espécies terrícolas de jabutis na bacia hidrográfica do rio Doce, a saber, o cágado-da-serra (*Hydromedusa maximiliani*), o cágado-amarelo (*Acanthochelys radiolata*; Figura 70), o cágado-de-barbicha (*Phrynops geoffroanus*; Figura 71), os jabutis (*Chelonoidis denticulatus* e *Chelonoidis carbonarius*; Figura 72 e Figura 73, respectivamente) e uma espécie ainda não descrita do gênero *Rhinoclemmys*, registrada para a região de Linhares (ES). A Tabela 8 sumariza o estado de conservação das espécies continentais consideradas como ameaçadas e registradas para a bacia.

Tabela 8 - Lista de espécies de quelônios continentais ameaçadas de extinção em algum nível, segundo lista de espécies ameaçadas mundial, nacional ou estaduais (MG e ES), segundo IUCN (2017); ICMBio (2016); Passamani e Mendes (2007); COPAM (2010).

Família/Espécie	Nome popular	Listas de espécies ameaçadas			
		Mundial	Nacional	ES	MG
Testudinidae					
<i>Chelonoidis denticulatus</i> (Linnaeus, 1766)	jabuti-amarelo	VU			
Chelidae					
<i>Acanthochelys radiolata</i> (Mikan, 1820)*	cágado-amarelo	NT			
<i>Hydromedusa maximiliani</i> (Mikan, 1825)*	cágado-da-serra	VU		VU	VU

Legenda: DD – dados deficientes, VU – vulnerável, EN – em risco, NT – quase ameaçada, CR – criticamente ameaçada. * Espécies registradas na bacia do rio Doce.

Figura 70 - *Acanthochelys radiolata*, espécie ocorrente na bacia do rio Doce



Foto: Sérgio A.A. Morato.

Figura 71- *Phrynops geoffroanus*, espécie ocorrente no leito principal do rio Doce e de seus maiores afluentes.



Foto: Sérgio A.A. Morato.

Figura 72- Jabuti (*Chelonoidis carbonarius*), espécie ocorrente na bacia do rio Doce.



Foto: Sérgio A.A. Morato.

Figura 73 - Jabuti (*C. denticulatus*), espécie ocorrente na bacia do Rio Doce



Foto: Sérgio A.A. Morato.

QUELÔNIOS MARINHOS

Diferentemente dos quelônios continentais, informações sobre tartarugas marinhas para o estado do Espírito Santo são bem representadas na literatura. O estado, inclusive, representa a principal área de desova da tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriacea*), sendo a praia de Comboios o principal local de nidificação, além de alguns pontos mais esporádicos ao norte

desta. A população que desova no Brasil é geneticamente distinta das outras populações que desovam no oceano Atlântico.

Foram elencados dados da espécie coletados pelo Projeto TAMAR entre as temporadas de desova de 1988-1989 a 2003-2004 no ES. O número de ninhos no período estudado pelos autores variou de 6 a 92, com tendência de aumento (de 20% por ano) a partir da temporada de 1995-1996. O principal período de desova da espécie ocorreu entre os meses de outubro e janeiro, com pico de desova entre os meses de novembro e dezembro. Cada ninho teve em média 87,7 ovos viáveis e 22,1 ovos sem gema (19,6% dos ovos nos ninhos foram de ovos sem gema), considerado comum para a espécie. Entre os ovos viáveis o sucesso de incubação variou em média entre 53,3% e 78% e o período de incubação variou entre 61,5 a 78 dias, dependendo da temporada de desova.

O litoral do Espírito Santo é também utilizado para desova pelas demais espécies de tartarugas marinhas brasileiras. A tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*; Figura 74), espécie de tartaruga marinha com desova mais comum no litoral brasileiro, tem áreas regulares de desovas no ES, BA, SE e RJ. A população da espécie com desova no Brasil é uma das maiores do mundo, sendo que o litoral norte do ES compreende a segunda mais importante região de desova para a espécie, após o litoral da BA. Estudos genéticos revelaram a existência de duas populações distintas, uma no ES e RJ e uma na BA e SE, ressaltando a importância ecológica das diferentes áreas de desova para a conservação das populações.

A tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata*; Figura 75) apresenta desova eventual no litoral do ES, com áreas de desova regulares na BA e SE. Existem registros de juvenis da espécie no sul e sudeste do Brasil, entretanto são mais comuns no norte e nordeste.

Quanto à tartaruga-oliva (*Lepidochelys olivacea*; Figura 76), embora a área prioritária de desova esteja localizada entre os estados da BA e AL, desovas da espécie em menor densidade ocorrem no litoral do ES. Além disso existem registro de ocorrência e deslocamento da espécie no estado.

A tartaruga-verde (*Chelonia mydas*; Figura 77), por fim, apresenta raros registros de desova no litoral continental do ES. Entretanto, a Ilha da Trindade é uma área regular de desova importante no Brasil. O litoral costeiro do ES é área de alimentação para os juvenis da espécie, assim como o restante do litoral costeiro brasileiro.

Figura 74 - Tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*), espécie com reprodução registrada no litoral do Espírito Santo



Foto: Sérgio A.A. Morato.

Figura 75 - Tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata*), espécie registrada no litoral do Espírito Santo



Foto: Sérgio A.A. Morato.

Figura 76 - Tartaruga oliva (*Lepidochelys olivacea*), espécie registrada no litoral do Espírito Santo



Foto: Sérgio A.A. Morato.

Figura 77 - Tartaruga-verde (*Chelonia mydas*), espécie registrada no litoral do Espírito Santo



Foto: Sérgio A.A. Morato.

Todas as cinco espécies de tartarugas marinhas brasileiras encontram-se sob algum grau de ameaça (Tabela 9). Em nível internacional (IUCN, 2017), a tartaruga-oliva (*Lepidochelys olivacea*), a tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*) e a tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriacea*) estão classificadas como vulneráveis, enquanto a tartaruga-verde (*Chelonia mydas*) encontra-se Em Perigo de extinção. A tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata*) é classificada como Criticamente Ameaçada. Já em nível nacional, a tartaruga-verde (*Chelonia mydas*) tem o status vulnerável, a tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*) e a tartaruga-oliva (*Lepidochelys olivacea*) são categorizadas como em perigo; a tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata*) e a tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriacea*) são criticamente ameaçadas (BRASIL, 2014).

Por fim, em relação ao estado do Espírito Santo, a tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriacea*) é tida como criticamente ameaçada (segundo o preconizado na lista nacional); a tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata*) e a tartaruga-oliva (*Lepidochelys olivacea*) são tidas como em perigo e a tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*) e tartaruga-verde (*Chelonia mydas*) como vulneráveis. As diferenças conceituais entre o previsto para o Brasil e o estado do Espírito Santo devem-se especialmente aos critérios adotados para avaliação (frequência de registros, área de ocorrência), os quais seguem IUCN (2017).

Tabela 9 - Lista de espécies das tartarugas marinhas presentes no litoral do Espírito Santos e situação na lista de espécies ameaçadas mundial, nacional ou estadual (ES), segundo IUCN (2017); ICMBio (2016); Passamani e Mendes (2007).

Família/Espécie	Nome popular	Listas de espécies ameaçadas		
		Mundial	Nacional	ES
Cheloniidae				
<i>Caretta caretta</i> (Linnaeus, 1758)	tartaruga-cabeçuda	VU	EN	VU
<i>Eretmochelys imbricata</i> (Linnaeus, 1766)	tartaruga-de-pente	CR	CR	EN
<i>Lepidochelys olivacea</i> (Eschscholtz, 1829)	tartaruga-oliva	EN	EN	EN
<i>Chelonia mydas</i> (Linnaeus, 1758)	tartaruga-verde	EN	VU	VU
Dermochelyidae				
<i>Dermochelys coriacea</i> (Vandelli, 1761)	tartaruga-de-couro	VU	CR	CR

Legenda: VU – vulnerável, EN – em risco, CR – criticamente ameaçada.

Existe a tendência da tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriacea*) evitar a região próxima à foz do rio Doce para desova, relacionando a grande descarga de sedimento vindo da foz desse curso d'água, embora os autores ressaltem que a seleção do local de desova para as tartarugas marinhas não é conhecida. Por sua vez, o Termo de Referência para estudos da fauna marinha na foz do rio Doce informa que a região do estuário estabelece uma área de grande importância para as espécies, sendo inclusive um local relevante para alimentação dos animais. Essa condição, portanto, carece ainda de confirmação, especialmente no tocante à importância do

estuário para a alimentação dos quelônios. De qualquer forma, todos os autores são unânimes em afirmarem que o litoral do Espírito Santo a norte da foz do rio Doce consiste em uma área de grande importância para a reprodução de todas as espécies, com destaque a tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriácea*) e a tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*).

Avifauna

O levantamento bibliográfico que tange este grupo taxonômico permitiu um acesso à riqueza de áreas distribuídas ao longo da bacia hidrográfica do rio Doce e suas imediações, como a porção sul da Serra do Espinhaço, o PERD, a RPPN FMA a RPPN MS, além da Reserva Biológica Augusto Ruschi (REBio AR), a Flona Goytacazes, na margem direita do rio Doce, a Rebio Comboios e o litoral do Estado do Espírito Santo, em Aracruz.

Dividindo bacias hidrográficas, a área da RPPN SC é inserida na Serra de mesmo nome, a qual se localiza na porção sul da Cadeia do Espinhaço e no QF. Nessa localidade concentram-se grande parte dos registros avifaunísticos do Alto rio Doce, com cerca de 386 espécies de aves (SANTUÁRIO DO CARAÇA et al., 2013). O QF é considerado uma área prioritária para a conservação da biodiversidade em Minas Gerais, em categoria de alta importância biológica devido à alta riqueza de vertebrados, com destaque às aves. A RPPN SC também integra a área destinada às RBSE e RBMA, reconhecidas pela UNESCO em 2005 e a APA ao Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA Sul – RMBH) (VASCONCELOS, s.d., RPPN Avifauna).

Alguns registros da região da RPPN SC são categorizados como de provável ocorrência (14), o que diminui a riqueza real da RPPN SC para 372 espécies, um valor ainda expressivo e representante de metade (50,1%) da avifauna do estado de Minas Gerais (DRUMMOND et al. 2009) e quase 20% da avifauna brasileira (PIACENTINI et al. 2015). Dessa riqueza registrada para a área, 74 espécies são endêmicas da Mata Atlântica, além de três endêmicas do Cerrado e quatro endêmicas dos topos de montanha do leste do Brasil, sendo essa região o limite de distribuição de muitas dessas espécies. A RPPN SC abriga algumas espécies ameaçadas em diversos níveis, das quais vale destacar o pixoxó (*Sporophila frontalis*) e cigarra-verdadeira (*Sporophila falcirostris*), ambas na categoria vulnerável de ameaça de extinção em nível mundial e nacional e em perigo no estado de Minas Gerais; a águia cinzenta (*Urubitinga coronata*) em perigo nos níveis mundial, nacional e estadual, o do macuquinho-da-várzea (*Scytalopus iraiensis*), em perigo no nível mundial e nacional (BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2017; ICMBio, 2014; COPAM, 2010). Também se destacam conforme os níveis de ameaça de Minas Gerais (COPAM, 2010), a tesourinha-da-mata (*Phibalura flavirostris*) e chibante (*Laniisoma elegans*) na categoria de vulnerável; o uru (*Odontophorus capueira*), o gavião-pegamacaco (*Spizaetus tyrannus*), o gavião-de-penacho (*Spizaetus ornatus*) e a maria-pequena (*Phylloscartes sylviolus*) em perigo; e por fim o falcão-de-peito-laranja (*Falco deiroleucus*) e o gavião-pombo-grande (*Leucopternis polionotus*), criticamente ameaçados.

Outras localidades que tiveram sua avifauna amostrada no Alto rio Doce são a Estação Ecológica de Tripuí (EET) e o Parque Estadual Serra do Ouro Branco (PESOB). A EET e o PESOB representam 142 e 79 espécies de aves ou 18,4% e 10,3% da avifauna do estado mineiro,

respectivamente (FEAM, 1995; IEF, 2017c). Entretanto, vale destacar que a EET é uma UC inserida em Ouro Preto. Nela, registra-se a tesourinha-da-mata (*Phibalura flavirostris*) quase ameaçada mundialmente (BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2017) e vulnerável no Estado de Minas Gerais (COPAM, 2010), além de *Augastes scutatus*, atualmente considerada quase ameaçada mundialmente. Por sua vez, o PESOB tem uma riqueza estimada em cerca de 104 espécies (apesar de sua riqueza conhecida ser de 79 espécies).

Devido às suas grandes extensões de campo rupestre, as quais abrigam uma menor diversidade da avifauna quando comparado com outras formações vegetais como as florestais, o PESOB é um local com baixa riqueza de aves. No entanto, a sua importância na conservação da avifauna do estado mineiro é significativa, onde das 79 espécies registradas, sete são endêmicas da Mata Atlântica: o tangarazinho (*Ilicura militaris*), o tachuri-campainha (*Hemitriccus nidipendulus*), a maria-preta-de-garganta-vermelha (*Knipolegus nigerrimus*), o pula-pula-asso-biador (*Myiothlypis leucoblephara*), a saíra-douradinha (*Tangara cyanoventris*), a saíra-ferrugem (*Hemithraupis ruficapilla*) e a cigarra-bambu (*Haplospiza unicolor*). Também se registra duas espécies endêmicas dos topos de morro do leste do Brasil: o rabo-mole-da-serra (*Embernagra longicauda*) e o papa-moscas-de-costas-cinzentas (*Polystictus superciliaris*). O registro do beija-flor-de-gravata-verde (*Augastes scutatus*), espécie quase ameaçada mundialmente se soma ao registro do tico-tico-de-máscara-negra (*Coryphospiza melanotis*), vulnerável mundialmente. Vale destacar que *A. scutatus* é uma espécie ausente na lista de espécies da fauna ameaçadas de extinção no estado de Minas Gerais (COPAM, 2010), o que destaca a identificação de espécies sensíveis e endêmicas para a conservação, pois estas podem entrar facilmente em ameaça de extinção.

No trecho do Médio rio Doce, há uma representação da avifauna tão grande quanto o Alto rio Doce, sendo a riqueza amostrada principalmente nas UCs. Assim, o PERD, RPPN FMA e RPPN MS, os principais remanescentes florestais da região, representam uma riqueza considerável: 325, 216 e 104 espécies, respectivamente (IEF, 2001; PRESERVE MURIQUI, 2014; FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS, 2014). A riqueza do PERD, entretanto, exclui 49 espécies com um único registro na região, sendo estas consideradas de possível ocorrência (IEF, 2001). Se levado em conta apenas as 325 espécies confirmadas, o PERD abriga 42,2% da riqueza de avifauna do estado de Minas Gerais, uma riqueza similar à da RPPN SC em termos numéricos. Na época de amostragem da avifauna do PERD, essa riqueza também correspondia a 82% das aves registradas para o vale do rio Doce de Minas Gerais (MACHADO, 1995) e 47% das aves registradas para o bioma da Mata Atlântica (STOTZ et. al., 1996), contando com 13 espécies ameaçadas de extinção ao nível mundial, 20 espécies ameaçadas no Brasil e 25 em Minas Gerais, das quais se destacam o inambu-anhangá (*Crypturellus variegatus*) e o uru (*Odontophorus capueira*), na categoria em perigo, além da juriti-vermelha (*Geotrygon violacea*) e o curió (*Sporophila angolensis*), vulnerável e criticamente ameaçado, respectivamente, no Estado de Minas Gerais.

Também é citado o mutum-de-bico-vermelho (*Crax blumenbachii*), uma das três espécies de cracídeos mais ameaçadas do Brasil, extinta na maior parte dos locais em que habitava originalmente. A RPPN FMA e a RPPN MS são importantes fragmentos que abrigam espécies

ameaçadas e endêmicas, tendo seu papel na manutenção das espécies da região reconhecida desde os anos 2000.

Na atual situação do Médio rio Doce, onde não são encontrados fragmentos florestais de grande porte em bom estado de conservação fora de UCs, essas áreas abrigam a maior parte da diversidade avifaunística de Minas Gerais, o que sugere alta restrição e dependência das espécies de avifauna por esses locais, sendo consideradas como áreas insubstituíveis para muitas espécies ameaçadas de extinção e endêmicas. Um dos mais importantes remanescentes florestais, neste cenário, é o PERD. De forma geral, para as aves mais sensíveis à perturbação ambiental e dependentes de maiores extensões de florestas, o PERD é um dos poucos remanescentes no Médio rio Doce capaz de sustentar populações viáveis de espécies raras e ameaçadas, tendo papel essencial como fonte dispersora para outros remanescentes da região, fruto da dinâmica de metapopulações (IEF, 2001). Conforme o levantamento deste relatório, poucas áreas da região mantêm tal diversidade de avifauna: por exemplo, na RPPN FMA se registra pouco mais que a metade (216) dos táxons registrados no PERD.

Já no território do estado do Espírito Santo, a região do Baixo rio Doce engloba poucos fragmentos florestais de grande porte e em bom estado de conservação, com exceção dos presentes em UCs. Esses fragmentos representam elevada importância para a biodiversidade e fazem parte do Corredor Central da Mata Atlântica (ICMBIO, 2013). A Rebio Comboios e a Flona Goytacazes possuem uma riqueza de 44 e 204 espécies de aves registradas, respectivamente (IBAMA, 1997; ICMBIO, 2013).

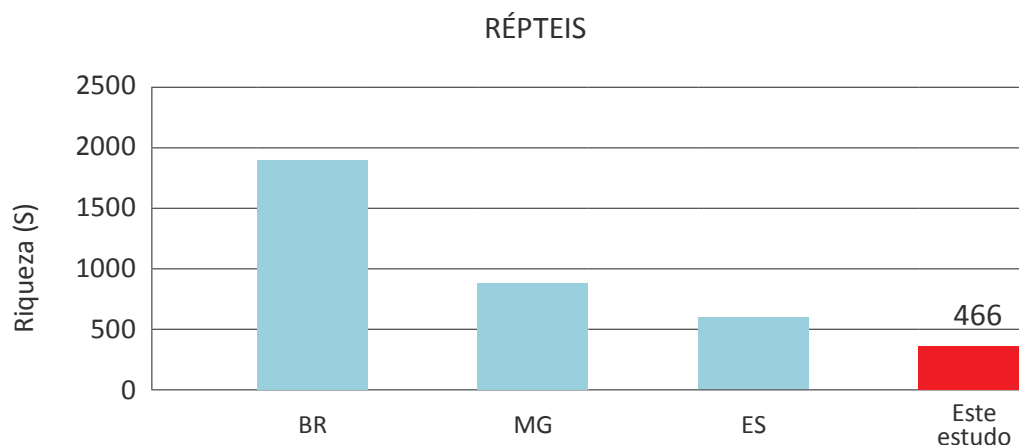
Situada na margem direita do rio Doce, a Flona Goytacazes representa 31,2% da fauna de aves do estado do Espírito Santo e 10,6% do Brasil (SIMON, 2009; PIACENTINI et al. 2016). Quanto à distribuição das espécies nos ambientes, há maior riqueza em ambientes dulcícolas (74), seguida de vegetação antrópica (63), matas de cabruca e aluvião (49 cada). Há também 14 espécies ameaçadas de extinção (cinco em nível nacional, 12 em nível regional e três em nível nacional/regional), 90 espécies dependentes do ambiente florestal, 16 espécies endêmicas da Mata Atlântica, 12 espécies sob pressão de caça e 26 de captura no estado do Espírito Santo, o que soma notável relevância para a conservação ambiental da área. Também foram constatadas 10 espécies não nativas do território capixaba, dentre a garça-vaqueira (*Bubulcus ibis*), a seriema (*Cariama cristata*), a noivinha-branca (*Xolmis velatus*) e a lavadeira-mascarada (*Fluvicola nengeta*).

Destaca-se a diversidade elevada de espécies da margem e da foz do rio Doce principalmente pela já citada riqueza da Flona Goytacazes (204 espécies) e pelo município de Aracruz, qual inclui áreas de restinga. Nessa última localidade (NUTRIPETRO, 2013), registra-se 321 espécies (registros confirmados e potenciais ocorrências) das quais 14 são endêmicas da Mata Atlântica, e algumas espécies são ameaçadas: a maracanã-verdadeira (*Primolius maracana*), tiriba-grande (*Pyrrhura cruentata*) e chauá (*Amazona rhodocorytha*), sabiá-da-praia (*Mimus gilvus*) e o trinta-réis-real (*Thalasseus maximus*), sendo o primeiro na categoria de ameaça em perigo no Espírito Santo (PASSAMANI & MENDES, 2007) e o segundo vulnerável em nível nacional (BRASIL, 2014). Outras 19 espécies com potencial ocorrência também são identificadas como ameaçadas. Por

fim, a Rebio Augusto Ruschi tem sua diversidade avifaunística diagnosticada em 270 espécies (IBAMA, 1995).

Dessa maneira, destaca-se a região de Aracruz (ES) com quase 50% da avifauna do estado do Espírito Santo, seguida da Rebio Augusto Ruschi com 41,3% e a Flona de Goytacazes com 31,2%. Para o estado capixaba são registradas a ocorrência de 654 espécies (SIMON, 2009). O estudo aqui elaborado apresenta para a bacia do rio Doce o registro de 466 espécies de aves, representando quase 25% da avifauna brasileira (Figura 78).

Figura 78 - Riqueza comparada de aves em níveis nacional, estadual e a obtida neste estudo



Mastofauna

MAMÍFEROS TERRESTRES VOADORES E NÃO-VOADORES

Somente na região da bacia hidrográfica do rio Doce foram documentadas pelo menos 148 espécies de mamíferos (FONSECA, 1997), o que corresponde acerca de 60% das espécies registradas para todo o estado de Minas Gerais (DRUMMOND et al., 2009). No geral, os levantamentos das três regiões da bacia hidrográfica do rio Doce (Alto, Médio e Baixo) mostraram uma riqueza similar. Em termos quantitativos ao menos um local em cada região atingiu 70 espécies de mamíferos. No Alto e Médio rio Doce, que contempla o estado de Minas Gerais, este número de 70 espécies corresponde acerca de 24% da fauna de mamíferos do estado (DRUMMOND et al., 2009), e na região do Baixo, a mesma quantidade de espécies correspondem à metade da mastofauna do Estado do Espírito Santo (MOREIRA et al., 2008).

Das três UCs com levantamentos mastofaunísticos da região do Alto rio Doce, a RPPN SC se destaca com a maior riqueza da região, seguida pela Unidade Ambiental Peti, com 70 e 64 espécies de mamíferos, respectivamente (PAGLIA et al., 2005; TALAMONI et al., 2014). A outra UC do Alto rio Doce que teve sua mastofauna acessada é o PEI, com uma riqueza de 43 espécies (MELO et al., 2009). Essas UCs são englobadas em partes pelo QF, local com riqueza elevada de espécies devido aos diferentes habitats e ecossistemas associados, especialmente, ao ecótono entre Floresta Atlântica e Cerrado, sendo considerada como prioritária a conservação da sua biodiversidade.

A RPPN SC fica localizada nos municípios mineiros de Catas Altas e Santa Bárbara, vizinhos do município de Mariana. Entre as espécies registradas como ameaçadas nessa UC, seis foram enquadradas em dados deficientes (DD) e duas em quase ameaçada (NT) (TALAMONI et al., 2014). A ordem Carnivora foi representada por quatro espécies ameaçadas, sendo o lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*) e a onça-parda (*Puma concolor*) vulneráveis no nível estadual e nacional, a jaguatirica (*Leopardus pardalis*) vulnerável em nível estadual e o gato-maracajá (*Leopardus wiedii*), em perigo em nível estadual e vulnerável nacionalmente (COPAM, 2010; BRASIL, 2014). Apenas uma espécie de pequeno mamífero encontra-se ameaçada de extinção, o rato-do-mato (*Trinomys moojeni*), a qual possui distribuição geográfica restrita, possuindo poucos registros para o estado mineiro. A amostragem mastofaunística da Unidade Ambiental de PETI, localizada no município de São Gonçalo do Rio Abaixo, culminou no registro de 64 espécies, incluindo o tamanduá-de-colete (*Tamandua tetradactyla*), o sagui-de-cara-branca (*Callithrix geoffroyi*) e o guigó (*Callicebus nigrifrons*) (PAGLIA et al., 2005).

O PEI, outra UC importante da região localizada entre os municípios de Ouro Preto e Mariana, na bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Sul, situa-se em área de ecótono entre Cerrado e Floresta Atlântica, sendo sua área composta, aproximadamente, por 60% de campos rupestres e o restante por florestas remanescentes da Mata Atlântica mineira. Nessa localidade, registra-se a ocorrência de 14 espécies de pequenos mamíferos não voadores e 29 espécies de mamíferos de médio e grande porte (riqueza de 43 espécies) (MELO et al., 2009). Dessas, oito espécies são consideradas ameaçadas ou quase ameaçada de extinção e nove espécies são endêmicas da Mata Atlântica, totalizando 17 espécies consideradas de interesse para a conservação. Em um levantamento posterior na mesma região (PEI), foi registrada a ocorrência de 33 espécies (BIASIZZO et al., 2011). Dessa riqueza registrada, dez espécies descritas encontram-se em alguma categoria de ameaça nos âmbitos estadual, nacional ou mundial, como lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*), gato-maracajá (*Leopardus wiedii*), onça-pintada (*Panthera onca*), onça-parda (*Puma concolor*), lontra, anta e muriqui-do-norte (*Brachyteles hypoxanthus*).

Conforme abordado em Melo et al. (2009), a região do PEI e do QF, por possuir uma riqueza elevada de espécies e ampla diversidade de ecossistemas, foram consideradas como áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade de mamíferos no estado de Minas Gerais (DRUMMOND et al., 2005). Entre as principais ações recomendadas a serem realizadas, estão os inventários biológicos, visando aumentar o conhecimento sobre a diversidade de mamíferos da região.

Na região do Médio rio Doce, são encontradas UCs com registros mastofaunísticos. Uma dessas UCs em destaque é o PERD, o qual constitui o maior remanescente florestal de Mata Atlântica em Minas Gerais. Além dessa UC, destacam-se os estudos realizados na RPPN FMA, RPPN MS e a RPPN Macedônia.

Quanto ao conhecimento das espécies de mamíferos encontradas no PERD, recentemente Keesen et al. (2016) atualizaram essa informação e registraram 89 espécies. Essa riqueza corresponde acerca de 38% dos mamíferos do estado, 60% dos mamíferos da bacia hidrográfica do rio Doce e 12,7% do Brasil (FONSECA, 1997; DRUMMOND et al., 2009; PAGLIA et al., 2012), os

quais são distribuídos em 10 ordens, 28 famílias e 77 gêneros. Assim, o PERD é a UC de maior diversidade de mamíferos no estado, seguido pela RPPN Santuário do Caraça com 75 espécies, situado no Alto rio Doce e a RPPN FMA no Médio rio Doce com 63 espécies.

A lista atualizada do PERD inclui 14 espécies ameaçadas em alguma categoria estadual, 11 endêmicas do bioma, sendo o primeiro estudo a registrar o tatu-canastra (*Priodontes maximus*), o lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*) e a lontra (*Lontra longicaudis*). Também são registradas as espécies: cangambá (*Conepatus semistriatus*), onça-pintada (*Panthera onca*), jaguarundi (*Puma yagouaroundi*), gato-do-mato-pequeno (*Leopardus guttulus*), anta (*Tapirus terrestris*), caititu (*Pecari tajacu*), veado-mateiro (*Mazama americana*), e o tamanduá-colete (*Tamandua tetradactyla*). Destaca-se também o PERD, como o remanescente de maior riqueza de primatas na bacia hidrográfica do rio Doce, com sete espécies, com destaque para o muriqui-do-norte (*Brachyteles hypoxanthus*), considerado o maior primata das Américas. Assim, reafirma-se a sumária importância do PERD por contar com 30% dos mamíferos da Mata Atlântica e por incluir espécies endêmicas e ameaçadas, além de ser uma importante área para a conservação e manutenção da biodiversidade da região.

Além do PERD, a RPPN FMA, situada no município de Caratinga, integra em conjunto com a RPPN MS, o Corredor Ecológico Caratinga/Simonésia, região considerada de importância biológica “muito alta” para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica por abrigar uma alta riqueza de espécies. Com 63 espécies presentes (PRESERVE MURIQUI, 2014), a RPPN FMA se destaca por ter um antigo histórico de conservação da fauna desde a década de 80, sendo o muriqui-do-norte (*Brachyteles hypoxanthus*) como espécie-chave. Das 63 espécies registradas, nove são endêmicas da Mata Atlântica. Não isentas das extinções locais e das pressões antrópicas sofridas no passado (corte seletivo, desmatamento para formação de pastagem e cultivos e incêndios florestais), a RPPN FMA preserva a mais densa população de primatas conhecida para o estado de Minas Gerais, com a ocorrência de quatro espécies da Mata Atlântica: *Brachyteles hypoxanthus* (muriqui-do-norte), *Alouatta clamitans* (bugio), *Sapajus nigritus* (macaco-prego) e *Callithrix flaviceps* (sagui-da-serra) (PRESERVE MURIQUI, 2014).

Na RPPN Mata do Sossego, adjacente à RPPN FMA, cinco primatas são registrados: o muriqui-do-norte, o sagui-da-serra, o bugio-ruivo, além do sauá e o macaco-prego, todos em algum nível de ameaça de extinção (FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS, 2014). Ao todo, são registradas 27 espécies de mamíferos, incluídas *Equus caballus*, *Bos taurus* e *Canis lupus familiaris*, espécies domesticadas e/ou exóticas. Das espécies silvestres, destaca-se a presença de três tatus (*Dasypus novemcinctus*, *Cabassous tatouay* e *Euphractus sexcinctus*); o tamanduá-de-colete (*Tamandua tetradactyla*); o cachorro-do-mato (*Cerdocyon thous*); a irara (*Eira barbara*) e a lontra (*Lontra longicaudis*), além de quatro felinos e o veado-catingueiro (*Mazama gouazoubira*) (FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS, 2014).

Ainda, a região da UHE Aimorés, situada no trecho final do Médio rio Doce, a jusante do Parque Estadual Sete Salões, foi registrada a ocorrência aproximada de 22 espécies de mamíferos (AIMORÉS, 2012). Esses registros se distribuem nos municípios de abrangência da usina: Baixo Guandu (ES), Aimorés, Itueta e Resplendor (MG). Apesar de ser uma riqueza relativamente

baixa, o guigó (*Callicebus personatus*) e o bugio-ruivo (*Alouatta clamitans*) são citados como espécies ameaçadas na região e representam importantes registros para a fauna pouco conhecida da região.

O estado do Espírito Santo é reconhecido como uma das regiões mais ricas em termos de diversidade de espécies de mamíferos terrestres, incluindo espécies ameaçadas e endêmicas da Mata Atlântica, além de duas típicas do bioma Cerrado. Adentrando o Baixo rio Doce, torna-se importante a representação de mamíferos de região. Das 138 espécies de mamíferos que ocorrem no estado do Espírito Santo (MOREIRA et al., 2008), a região correspondente ao Baixo rio Doce representa 31% da fauna do Estado em uma única UC (Flona Goytacazes) (PERACCHI et al., 2011).

A Flona de Goytacazes encontra-se localizada no município de Linhares (ES). Registram-se 43 espécies nessa localidade, destacando a presença da irara (*Eira barbara*) e a lontra (*Lontra longicaudis*), a preguiça-de-coleira (*Bradypus torquatus*), três espécies de tatu (*Cabassous unicinctus*, *Dasypus novemcinctus*, e *Euphactus sexcinctus*), quatro felinos (gato-maracajá, gato-do-mato-pequeno, jaguatirica e jaguarundi); o veado-mateiro e o veado catingueiro, além do ouriço-cacheiro, a paca e a capivara, e três primatas: macaco-prego, bugio-ruivo e o sagui-de-cara-branca. Quanto aos pequenos mamíferos voadores (morcegos), 16 espécies são registradas, sendo *Tonatia saurophila* uma espécie rara, constituindo o segundo registro para o estado do Espírito Santo (ICMBIO, 2013).

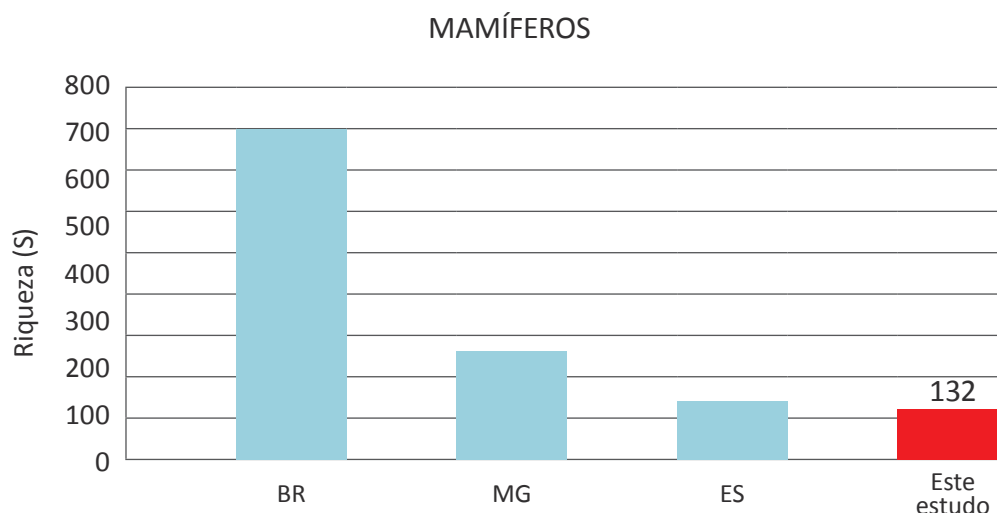
A RNV é uma UC interligada com a Rebio Sooretama, constituindo em conjunto as principais e maiores UCs da região. Assim, exemplifica-se a importância regional da diversidade de mamíferos pelo registro de 50 espécies de morcegos na RNV, sendo considerada como a UC mais rica em quirópteros da Mata Atlântica.

Entre outros levantamentos, destaca-se o estudo realizado por Moreira e Mendes (2010), qual registraram a ocorrência de 68 espécies ou 50% da fauna de mamíferos terrestres na zona litorânea do estado do Espírito Santo. Essa quantia representa 46% dos mamíferos da bacia hidrográfica do rio Doce e 10% da fauna de mamíferos do Brasil. Alguns levantamentos mais direcionados, como o município de Aracruz e a praia de Povoação realizados pelos mesmos autores, também registram uma riqueza considerável: 20 e 12 espécies de mamíferos, respectivamente. Outro levantamento realizado em Aracruz aponta a ocorrência de 28 espécies de mamíferos, sendo oito endêmicas da Mata Atlântica (NUTRIPETRO, 2013).

Na Figura 79 concentram-se as informações relativas a riqueza de mamíferos descrita neste estudo, qual registrou um total de 132 espécies. De forma comparativa, são abordados na mesma figura os dados de riqueza registrados para o Estado de Minas Gerais e Espírito Santo e também para o país.

A diversidade de espécies de mamíferos existentes na bacia hidrográfica do rio Doce corresponde a uma riqueza de mamíferos numericamente similar ao estado do Espírito Santo e cerca de 56% do estado de Minas Gerais. As 132 espécies registradas correspondem a 19% das 701 espécies de mamíferos do Brasil.

Figura 79 - Riqueza comparada de mamíferos em níveis nacional, estadual e a obtida neste estudo



MAMÍFEROS ESTUARINOS E COSTEIROS - CETÁCEOS

Os cetáceos são mamíferos adaptados ao meio aquático, e compreendem os animais popularmente conhecidos por golfinhos, botos e baleias. Os cetáceos apresentam grande importância ecológica. Muitas espécies são predadoras de topo de cadeia e influenciam a estrutura e a dinâmica dos ecossistemas, uma vez que são animais de tamanho grande e consumidores de uma grande variedade e quantidade de organismos.

Os recursos consumidos pelos cetáceos são reciclados e disponibilizados como nutrientes na superfície do oceano por excreção para outros seres da base da cadeia trófica, gerando produtividade biológica. Os cetáceos também funcionam como hospedeiros para diversas espécies, como parasitas, sendo muitas vezes uma relação obrigatória para essas espécies. Quando os cetáceos morrem, sua carcaça constitui uma fonte de recurso para diversas espécies que podem se suceder até a decomposição total da carcaça.

Os cetáceos também têm grande importância para o homem, fazendo parte do imaginário popular, de lendas e folclores desde a Grécia antiga. Estão presentes na cultura popular, literatura e nas artes exercendo grande fascínio ao público. O turismo de observação de cetáceos na natureza movimenta no mundo bilhões de dólares anualmente e atrai milhões de pessoas, se encontrando em franco crescimento no Brasil e no mundo.

Por outro lado, os cetáceos sofrem diversas ameaças causadas por atividades humanas: capturas incidentais ou intencionais; interação com a pesca (como a sobrepesca); atividades de prospecção e exploração de óleo e gás; tráfego de embarcações (colisões e poluição sonora); poluição química; degradação ambiental e perda de habitat; mudanças climáticas. Os cetáceos são vulneráveis a ameaças humanas, pois as espécies apresentam crescimento lento e taxa reprodutiva baixa, além de geralmente necessitarem de grandes áreas para realizar suas atividades vitais. Além da vulnerabilidade inerente desse grupo, outro agravante é que geralmente os cetáceos são afetados ao mesmo tempo por diferentes impactos, que atuam conjuntamente oferecendo riscos maiores às populações.

Outra característica importante é que os cetáceos podem acumular contaminantes em seus tecidos, afetando diversos aspectos da saúde destes animais. As fêmeas transmitem contaminantes para seus filhotes através da amamentação. Por acumularem contaminantes e terem vida longa, os cetáceos são considerados “sentinelas” dos ecossistemas marinhos onde vivem. Ou seja, a saúde dos cetáceos reflete a saúde dos ecossistemas que vivem. As respostas que os cetáceos têm aos impactos humanos se dão de diferentes formas, como mortalidade, diminuição da sobrevivência e natalidade, injúrias, doenças, respostas fisiológicas relacionadas ao estresse, mudanças de distribuição e mudanças comportamentais de variados tipos. Assim, monitorar diferentes parâmetros de certas populações de cetáceos fornece importantes informações sobre os impactos de atividades humanas.

Diversos estudos sobre a biologia dos cetáceos foram realizados previamente ao desastre de Mariana (MG). Grande parte dos registros de cetáceos do Espírito Santo vem de animais encalhados junto à costa. Outros estudos recentes realizaram avistamentos de animais vivos através de embarcações ou sobrevoos. Com base nesses estudos e na distribuição das espécies, foram registradas pelo menos 32 espécies de cetáceos na área de estudo, o que corresponde a aproximadamente 71% da riqueza de cetáceos da costa brasileira. Cerca de 22% das espécies registradas para a região estão listadas com algum grau de ameaça de conservação.

Existem pelo menos três grupos de espécies que podem ser agrupadas pelo seu comportamento de uso de habitat: (1) cetáceos exclusivamente costeiros, concentrando-se em regiões rasas; (2) cetáceos costeiro-oceânicos, que podem usar desde regiões rasas até regiões profundas; e (3) cetáceos exclusivamente oceânicos usam somente regiões mais profundas. No contexto do desastre de Mariana, alguns cetáceos exclusivamente costeiros ou costeiro-oceânicos merecem atenção especial por usarem preferencialmente regiões próximas da costa e/ou rasas como habitats críticos. Geralmente, populações costeiras de golfinhos tendem a apresentar níveis mais elevados de contaminantes do que populações oceânicas.

Desses cetáceos costeiros, destacam-se pelo menos seis espécies que já foram observadas na área estudada e nas adjacências da foz do rio Doce, região que foi diretamente afetada pela pluma de sedimentos oriundos do rompimento da barragem de Fundão. Essas espécies e seu status de conservação estão resumidos na Tabela 10. As três espécies mais representativas e vulneráveis, tanto pela sua ocorrência na área quanto pelo grau de ameaça que sofrem, serão descritas em mais detalhes abaixo: o boto-cinza (*Sotalia guianensis*), toninha (*Pontoporia blainvillei*) e baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*).

Tabela 10 – Espécies de cetáceos de ocorrência costeira no litoral do Espírito Santo. Status de conservação de acordo com a IUCN ou Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção de 2016.

Nome popular	Espécie	Status de conservação*
Baleia-franca-austral	<i>Eubalaena australis</i>	EN
Baleia-jubarte	<i>Megaptera novaeangliae</i>	VU
Boto-cinza	<i>Sotalia guianensis</i>	VU
Golfinho-de-dentes-rugosos	<i>Steno bredanensis</i>	LC
Golfinho-nariz-de-garrafa	<i>Tursiops truncatus</i>	LC
Toninha	<i>Pontoporia blainvillei</i>	CR

*CR = criticamente ameaçada; EN = ameaçada; VU = vulnerável; LC = pouco preocupante.
Boto-cinza - *Sotalia guianensis* (Van Bénédén, 1864)

Figura 80- Grupo de botos-cinza (*Sotalia guianensis*)

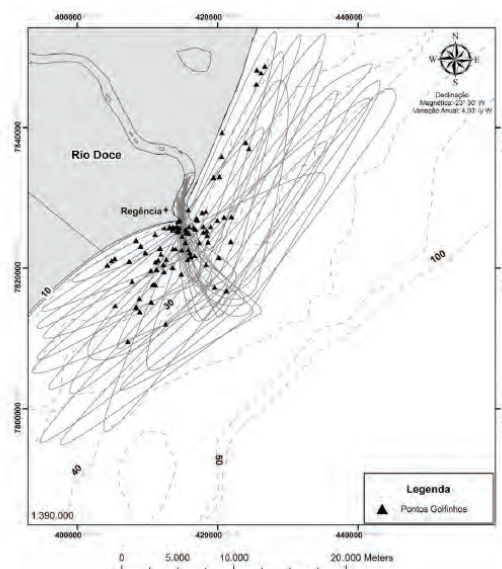


Fonte: Instituto Boto-cinza

O boto-cinza é um pequeno cetáceo odontoceto da família Delphinidae. Ocorre na costa Atlântica ocidental da América do Sul e Central, desde o sul do Brasil até Honduras, normalmente em regiões próximas à costa e estuarinas, em pequenos grupos. A espécie já foi observada em diferentes localidades do estado do Espírito Santo, demonstrando residência e fidelidade ao uso de algumas áreas, como baías e desembocadura de rios.

Diferentes estudos indicam que a foz do rio Doce concentra uma população de botos-cinza, que usa regiões próximas à costa (Figura 81) e forma desde grupos pequenos, de até oito animais, podendo se agregar em grupos maiores de até 100 indivíduos. Alguns animais foram observados em diferentes ocasiões na foz do rio Doce, indicando que existia fidelidade dos animais em usar a região, previamente ao desastre de Mariana.

Figura 81 – Área de ocorrência do boto-cinza na foz do rio Doce, no qual as linhas correspondem às rotas percorridas pela embarcação.



Fonte: Pinheiro (2017).

Toninha - *Pontoporia blainvillei* (Gervais e d'Orbigny, 1844)

Figura 82- Toninha (*Pontoporia blainvillei*)

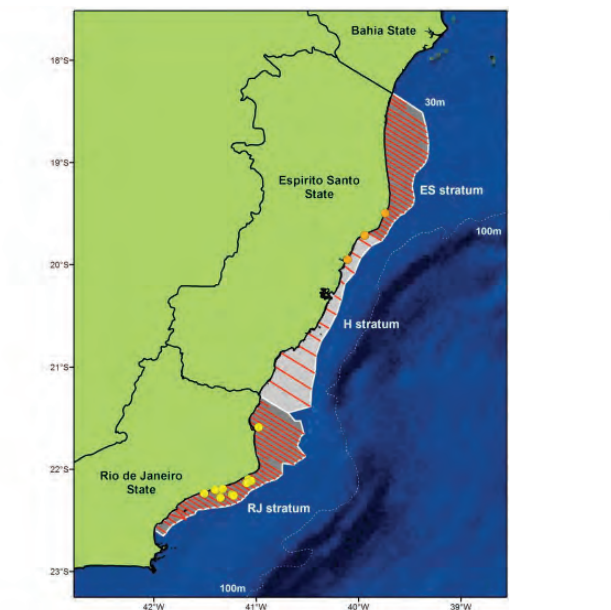


Fonte: Projeto Toninhas.

A toninha, ou franciscana, é um cetáceo odontoceto, único representante da família Pontoporiidae. Sua distribuição é restrita à América do Sul e vai desde Itaúnas (ES), até a Argentina. A população de toninhas do Espírito Santo está no limite norte de distribuição da espécie e está isolada das populações mais austrais.

O avistamento da espécie na área de estudo não é comum, sendo realizados poucos registros somente através de levantamentos aéreos (Figura 83), o que confirma a difícil visualização dessa espécie através de coletas embarcadas. Os principais registros de ocorrência são através de animais capturados acidentalmente ou carcaças encontradas na praia (e.g. FREITAS NETTO; BARBOSA, 2003). A população do Espírito Santo foi observada em densidade muito baixa, estando provavelmente seriamente ameaçada de extinção.

Figura 83- Avistamentos da toninha no Espírito Santo durante um levantamento aéreo 2011/2012.



Legenda: Círculos laranjas: avistamentos fora do esforço amostral; círculos amarelos: avistamentos dentro do esforço; linhas vermelhas: rotas percorridas.

Fonte: Danilewicz et al.(2012).

Baleia-jubarte - *Megaptera novaeangliae* (Borowski, 1781)

Figura 84- Baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*)

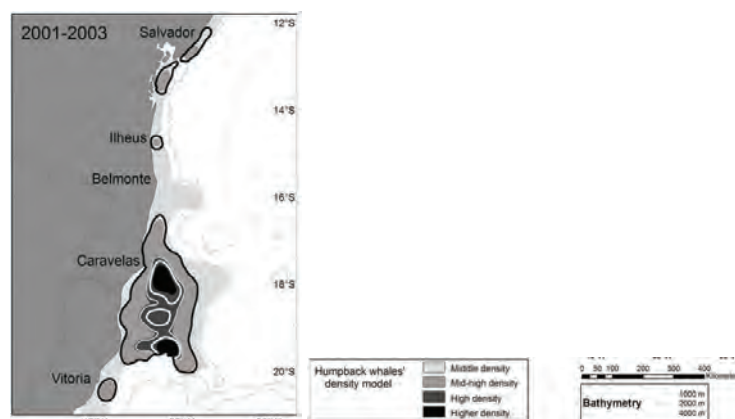


Fonte: Instituto Baleia Jubarte

A baleia-jubarte é um cetáceo da ordem Mysticeti. São animais de grande porte que podem atingir até 16 metros de comprimento, e ocorrem em todos os oceanos. No Atlântico Sul Ocidental, a espécie utiliza a costa brasileira como habitat para reprodução, onde permanece de julho a novembro sem se alimentar, concentrando-se no banco dos Abrolhos (MARTINS et al., 2013). Diversos trabalhos estimaram a abundância da baleia-jubarte na costa brasileira e demonstram que essa população vem crescendo ao longo dos últimos anos.

Segundo os estudos de Bezamat, Wedekin e Simões-Lopes (2015), a espécie ocorre em todo o banco dos Abrolhos, mas ocorre em menor frequência na costa sul do banco dos Abrolhos, especialmente nas regiões próximas à foz do rio Doce. Esse menor número de avistagens da baleia-jubarte na região da desembocadura do rio Doce provavelmente tem relação com a alta turbidez gerada pelas águas do rio, que são condições evitadas pela espécie.

Figura 85- Distribuição da baleia-jubarte na costa do Espírito Santo e Bahia



Fonte: Martins et al. (2013)

Impactos antropogênicos

O estudo de causa de morte em cetáceos encalhados na região mostra que uma das principais causas de ameaça antropogênica é a pesca, que geralmente causa a morte por afogamento dos animais. Também há relatos de obstrução do trato gastrointestinal por resíduos plásticos e presença de contaminantes em tecidos. Outro problema emergente são os casos de colisão com embarcações, especialmente de grandes baleias.

Existem coletas de tecidos de cetáceos realizadas na região por diferentes instituições previamente ao desastre de Mariana (e.g. SCITECH, 2017), mas ainda não se sabe se essas amostras poderão ser avaliadas quanto aos contaminantes presentes e suas concentrações.

Diversos estudos revelaram altas concentrações de contaminantes orgânicos (e.g. organoclorados e organobromados) usados como pesticidas na agricultura, em processos industriais, compostos antichamas ou como tinta anti-incrustante de embarcações (DORNELES et al., 2013). Entretanto, dados referentes às concentrações de outros componentes tóxicos em cetáceos, especialmente os metais pesados (e.g. ferro, chumbo, arsênio), são escassos para a área de estudo.

Referente às contaminações, pouco se conhece sobre efeitos tóxicos em cetáceos decorrentes de contaminantes já existentes anteriormente ao desastre em Mariana que possam ser relacionados no futuro para o diagnóstico de impacto do desastre. Porém, existem alguns estudos pretéritos sobre a saúde dos cetáceos da região que poderão auxiliar o andamento das investigações.

Existem estudos realizados na região investigando anormalidades do esqueleto ou na pele da baleia-jubarte e do boto-cinza. Destaca-se um estudo que descreve um caso de boto-cinza

infectado por morbilívirus em Guriri (ES). Morbilívirus está associado a encalhes em massa em outras espécies de cetáceos no mundo e pode ter relação com degradação ambiental.

Através da análise dos dados apresentados neste relatório, pôde-se perceber o conhecimento sobre a biodiversidade faunística existente na área do estudo e suas imediações. De uma forma geral para os grupos faunísticos aqui abordados, em especial para a entomofauna, herpetofauna, avifauna e mastofauna, os estudos aqui descritos demonstram que o conhecimento é distribuído de forma desigual na área do estudo, sendo a grande maioria das pesquisas desenvolvida em UC ou reservas ambientais existentes na região.

A bacia do rio Doce apresenta uma grande riqueza de espécies de peixes importantes para a manutenção da estrutura trófica dos ecossistemas e para as comunidades que dependem da pesca para obter recursos de subsistência e econômicos. Há uma divisão desigual dos estudos existentes sobre a ictiologia da bacia do rio Doce. Os estudos estão concentrados principalmente na porção do Médio rio Doce, localizado nas proximidades do PERD. Nas porções do Alto e Baixo rio Doce há uma escassez de estudos. No ambiente estuarino e marinho há mais estudos devido à atividade pesqueira existente na região.

Foi registrada a ocorrência de 103 espécies de anfíbios para a bacia hidrográfica do rio Doce, representando cerca de 70% da fauna desse grupo para o Espírito Santo, 52% de Minas Gerais e quase 10% do Brasil. Para os répteis foi compilada a ocorrência de 63 espécies. Essa quantidade representa 20,5% da riqueza de espécies de Minas Gerais, 56,25% do Espírito Santo e 8,15% do Brasil.

Para o grupo da avifauna, neste estudo compilou-se a ocorrência de 466 espécies de aves, representando quase 25% da avifauna brasileira. Quanto aos mamíferos, foram descritas a existência de 132 espécies. A diversidade de espécies de mamíferos existentes na bacia hidrográfica do rio Doce corresponde a uma riqueza de mamíferos numericamente similares ao Espírito Santo, corresponde a 56% de Minas Gerais e 19% das espécies de mamíferos do Brasil. Além dessa riqueza sumarizada, há ainda a ocorrência de inúmeras espécies endêmicas e ameaçadas de extinção na área de estudo, reforçando a importância da manutenção dos habitats disponíveis na região para a sobrevivência das espécies nos estados mineiro e capixaba.

É possível afirmar que o conhecimento acerca dos quelônios é incipiente na área de estudo, principalmente em relação aos quelônios continentais na bacia hidrográfica do rio Doce. Apesar da existência de alguns estudos já desenvolvidos na região, ainda existem diversas lacunas a serem preenchidas, tais como a confirmação da ocorrência de algumas espécies e as respectivas distribuições geográficas no âmbito da bacia, tamanho das populações, hábitos correlacionados ao ecossistema em questão e as ameaças a que estão expostas essas espécies. Em relação às tartarugas marinhas, a maior parte dos estudos disponíveis se refere à tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriacea*) e a tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*), espécies que utilizam regularmente a região litorânea de estudo como sítio de desova. As demais espécies são abordadas em menor frequência em pesquisas, confirmando desovas eventuais e a presença de áreas de alimentação na costa do Espírito Santo. É importante ressaltar que são parques

os estudos referentes à toxicidade e metais pesados presentes nos organismos dos quelônios eventualmente capturados nas pesquisas pretéritas levantadas.

Os cetáceos têm grande importância ecológica, além de uma grande importância para o homem, que contrasta com as ameaças à sua conservação. Das 32 espécies já registradas na costa do estado do Espírito Santo, três espécies são mais vulneráveis por usarem regiões costeiras da área de estudo com frequência e estarem ameaçadas de extinção, sendo elas: o boto-cinza (*Sotalia guianensis*), a toninha (*Pontoporia blainvillei*) e a baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*).

O boto-cinza é a espécie mais interessante do ponto de vista de um monitoramento e avaliação de impacto, pois utiliza a região o ano todo, com populações residentes ao longo da costa e observações pretéritas de uso da região da foz do rio Doce e adjacências. Essa espécie possui informações importantes que compõem sua linha de base e será uma espécie importante no diagnóstico a ser realizado sobre o desastre de Mariana. Do ponto de vista toxicológico, dados referentes a concentrações de componentes tóxicos como metais pesados nos cetáceos da região de interesse são escassos. Porém, existem alguns estudos pretéritos sobre a saúde dos cetáceos da região que poderão auxiliar o andamento das investigações.

ECOTOXICOLOGIA

A ecotoxicologia é a ciência que estuda os efeitos tóxicos, tanto de forma qualitativa quanto quantitativa e, de modo integrado, de substâncias naturais ou sintéticas sobre organismos vivos animais ou vegetais, aquáticos ou terrestres, incluindo suas interações com o ambiente (TRUHAUT, 1975).

Essa ciência tem sido muito utilizada nos últimos anos para avaliação ambiental, devido ao aumento da poluição, sobretudo no ambiente aquático. Essa contaminação aquática, proveniente da deposição de poluentes tanto direta quanto indiretamente, e que tem sido potencializada pelas atividades humanas, tem causado a redução da qualidade da água e, consequentemente, alteração nas condições adequadas de vida para os organismos aquáticos, em especial peixes.

Os peixes são organismos que apresentam ampla importância ecológica interagem em diferentes níveis da cadeia alimentar, se alimentando dos mais diferentes organismos e servindo de alimento para vários outros. Além disso, ocorrem em vários ambientes (de água doce, salobra e salgada), são muito abundantes, diversos, de grande importância econômica, e muito já se conhece sobre as respostas destes animais diante das alterações ambientais. Assim, esses organismos têm sido cada vez mais utilizados como indicadores biológicos (ou bioindicadores) de estudos de qualidade ambiental dos ambientes aquáticos.

Bioindicadores são organismos que reagem às alterações ambientais através da modificação de suas funções vitais normais por meio, por exemplo, de modificações em seu comportamento, funcionamento fisiológico ou composição estrutural. Essas modificações são chamadas de biomarcadores e podem ser quantificadas no organismo todo ou em tecidos ou fluidos corpóreos deste, fornecendo informações tanto sobre a saúde do animal quanto sobre prejuízos entre a interação deste com o ambiente e demais organismos. Sendo assim, e, em conjunto com

a avaliação química da qualidade da água, são considerados indispensáveis para avaliação da poluição em ambientes aquáticos, para entendimento da dinâmica do sistema e para escolhas de medidas de manejo e recuperação em um determinado ecossistema.

A caracterização da área quanto aos estudos ecotoxicológicos foi realizada com base em dados secundários obtidos por meio de diferentes plataformas científicas nacionais e internacionais (Science Direct, Web of Science, Scientific Electronic Library Online - SciELO, Portal periódicos Capes, Google Acadêmico). Foram considerados, para levantamentos bibliográficos quanto ao ambiente aquático de água, os limites de toda a extensão da bacia hidrográfica do rio Doce, e, de toda a área do delta do rio Doce, com extrapolação ao norte – Parque Nacional Marinho de Abrolhos, e ao sul – Vitória, capital do estado do Espírito Santo, para levantamentos bibliográficos referentes aos ambientes aquáticos marinho e estuarino.

A bacia hidrográfica do rio Doce é historicamente e reconhecidamente impactada por diferentes fontes de contaminação devido às diversas ações antrópicas realizadas em sua área de drenagem como, por exemplo, atividade extrativo mineral, ocupação e uso irregular do solo, atividade industrial, descartes de resíduos industriais, domésticos e agrícolas, entre outros. Entre os principais contaminantes encontrados nessa bacia hidrográfica estão os metais, resultantes do processo de mineração e os hidrocarbonetos de petróleo, provenientes de diferentes processos industriais. Os rios da área de abrangência funcionam como canais receptores e transportadores de rejeitos e efluentes, o que faz com que a qualidade da água da bacia seja considerada bastante precária em toda sua cobertura geográfica. Apesar disso, existem poucas informações sobre os problemas relacionados ao uso das águas dessa bacia e dos impactos causados pelas ações humanas sobre a biota aquática.

Para o ambiente de água doce abrangido pela bacia, existem apenas dez estudos realizados com o intuito de relacionar as diferentes fontes de contaminação existente e o impacto sobre os organismos aquáticos, são eles: Jordão et al. (1996); Palmieri e Leonel (2000); Andrade (2003), Ramos (2005); Palmieri (2006); Queiroz (2006); Veado et al. (2008); Arantes et al. (2009); Morais (2009); e Andrade et al. (2010). Todos os estudos encontrados buscaram quantificar o acúmulo de metais em amostras de água, sedimentos e tecidos de organismos aquáticos, especialmente de peixes. A maior parte desses estudos foi realizada no rio Piracicaba, um dos principais formadores do rio Doce e que contém o maior número de indústrias em suas margens. Essas pesquisas utilizaram, principalmente, a espécie de peixe *Geophagus brasiliensis* (ou acará), que corre maior risco de acumular metais em seu organismo, devido ao seu hábito sedentário e alimentação omnívora (variada, generalista). Estudos com avaliações ecotoxicológicas, ou seja, que avaliem a condição de saúde dos organismos e as implicações que essa contaminação possa exercer sobre o comportamento, funcionamento orgânico e sobrevivência destes são inexistentes.

Somente dois dos estudos encontrados (ANDRADE, 2003; MORAIS, 2009) determinaram algum tipo de efeito decorrente da presença de metais sobre os peixes e, ainda assim, apenas através de avaliações histopatológicas, as quais indicaram comprometimento de brânquias, fígado e gônadas dos peixes avaliados. É válido ressaltar que houve um estudo (PALMIERI, 2006) que avaliou o acúmulo de metais em peixes e em anfíbios, e identificou que mesmo os organismos

capturados em uma região de controle (Estação Ecológica de Tripuí), longe da influência direta da extração mineral, apresentavam elevadas concentrações de metilmercúrio, corroborando o impacto antrópico de diferentes ecossistemas na área de drenagem da bacia e, também, a necessidade de avaliações ecotoxicológicas no local.

No que diz respeito à foz do rio Doce, esta foi considerada como degradada e prioritária para a conservação da biodiversidade, uma vez que sofre a influência de diferentes fontes de contaminação, especialmente metais provenientes de diferentes fontes e, principalmente, da porção média do rio Doce. No entanto, não foram encontrados estudos ecotoxicológicos para o local até o acometimento da região pelo rejeito proveniente do desastre, embora seja uma região sensível e que abrigue uma área estuarina de grande importância ecológica, social e econômica. Os estudos ecotoxicológicos realizados (JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; CAGNIN, 2013; SOUZA et al., 2013; NIENCHESKI et al., 2014) concentraram-se na região de Vitória e buscaram avaliar tanto a presença quanto a concentração e efeitos de metais em invertebrados e vertebrados (peixes). Entre os estudos, a espécie mais utilizada foi a *Centropomus parallelus* (robalo), por ser uma espécie residente de regiões estuarinas e que ocorre em todo o litoral do Espírito Santo. Além disso, esta apresenta elevada importância econômica para a população da região e hábito alimentar carnívoro, o que justifica o interesse em estudos de bioacumulação. Assim, embora os estudos não caracterizem os impactos na área de influência direta da foz do rio Doce, o uso dessa espécie permite identificar efeitos de metais sobre ela, bem como sobre toda a biota, além de inferir sobre bioacumulação e biomagnificação.

Na região do baixo rio Doce ocorrem, ainda, inúmeras lagoas naturais que também são econômica e ecologicamente importantes e, assim como os demais ambientes aquáticos, refletem as diferentes pressões antrópicas sofridas por suas bacias de drenagem. Porém, os únicos estudos encontrados para esse tipo de ecossistema foram realizados nas lagoas Jacuném e Mãe-Bá, localizadas no litoral sul do estado do Espírito Santo. O único estudo encontrado para a lagoa Jacuném (DUARTE et al., 2012) aponta que esta se encontra em estágio avançado de degradação, e que a água dessa lagoa apresenta elevada capacidade genotóxica e mutagênica. Isso se deve ao fato de a lagoa receber diferentes tipos de poluente, especialmente metais, provenientes de efluentes domésticos e industriais despejados direta ou indiretamente nela. Os três estudos realizados na lagoa Mãe-Bá (PEREIRA et al., 2008, 2010 e 2012), por sua vez, determinaram a ocorrência, concentração, biodisponibilidade e acúmulo de metais tóxicos em invertebrados e vertebrados (peixes) presentes nessa lagoa e revelaram elevada contaminação por diferentes metais, bem como a acumulação desses elementos pelos animais, no entanto, ainda em concentrações toleradas pela legislação. Embora esses resultados não estejam relacionados diretamente à bacia hidrográfica do rio Doce, estes serão muito relevantes para a interpretação e correlação com os dados que serão obtidos pelo diagnóstico, uma vez que esta apresenta, como uma das principais fontes poluidoras, resíduos da barragem norte, unidade pelletizadora da Samarco, com características muito similares aos do rejeito da barragem de Fundão.

Em síntese, raros são os estudos ecotoxicológicos ao longo de toda a extensão da bacia hidrográfica do rio Doce. Entre os encontrados, a maior parte realizou apenas uma caracterização química dos elementos presentes em amostras teciduais de peixes em comparação com amostras de água e/ou sedimentos obtidos de forma pontual e em pontos específicos da bacia. Para a porção marinha estuarina, os estudos são focados na região de Vitória e em apenas duas das diversas lagoas costeiras existentes na região. Embora escassas, as informações levantadas confirmam a contaminação da bacia por diferentes fontes de poluição, bem como acúmulo de diferentes metais e semimetais na biota.

6. LINHA DE BASE BENS ARQUEOLÓGICOS E CULTURAIS

Para o levantamento do patrimônio cultural presente na região de interesse, partiu-se de um conceito ampliado de patrimônio cultural que abarca tanto os bens arqueológicos e bens tombados, registrados e valorados, quanto referências culturais não acauteladas. Visando à organização das informações, optou-se metodologicamente em tratar separadamente o patrimônio arqueológico (sobretudo, aquele relacionado cronologicamente ao período pré-colonial) dos demais patrimônios culturais evidenciados, reconhecidos ou não do ponto de vista oficial, relacionados primordialmente ao período dito histórico (pós 1500). Não obstante, ao nos referirmos ao patrimônio cultural, lidamos com esse amplo repertório de bens e referências.

Para além da devastação sem precedentes ocorrida em alguns dos distritos de Mariana e municípios próximos, tomados de surpresa pela torrente de lama, de alguma forma, os demais municípios posicionados ao longo das margens do rio Doce até sua foz vivenciaram – e continuam sofrendo – os efeitos do desastre em seus patrimônios culturais. Nesse sentido, foram considerados para a construção da linha-base os seguintes municípios: Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Ponte Nova, Santa Cruz do Escalvado, Sem-Peixe, Rio Casca, São Domingos do Prata, São José do Goiabal, São Pedro dos Ferros, Dionísio, Raul Soares, Córrego Novo, Marliéria, Pingo-d'Água, Bom Jesus do Galho, Timóteo, Caratinga, Ipatinga, Santana do Paraíso, Ipaba, Belo Oriente, Bugre, Iapu, Naque, Periquito, Sobralia, Fernandes Tourinho, Governador Valadares, Alpercata, Tumiritinga, Galileia, Conselheiro Pena, Resplendor, Itueta e Aimorés em Minas Gerais; e Baixo Guandu, Colatina, Marilândia e Linhares, no Espírito Santo.

O patrimônio cultural, composto por bens de natureza material (tangível) e imaterial (intangível), está associado à identidade e à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira. Essa compreensão encontra-se expressa na Constituição Brasileira de 1988. Contudo, para além dos bens oficialmente reconhecidos pelo Estado e intermediados pelo conhecimento dos especialistas, o patrimônio também é composto por elementos considerados importantes pelas pessoas de um determinado território, aqui denominados de referências culturais, conforme exposto no Inventário Nacional de Referências Culturais (INRC). O desafio do presente estudo reside justamente em congregar os bens acautelados e as referências culturais, traçando um cenário imediatamente anterior ao desastre.

Esses bens patrimoniais e referências culturais são elementos constituintes do cotidiano dos grupos humanos, enquanto lugares, saberes, ritos e festas vinculados às sociabilidades e subjetividades. Dessa feita, traçar um panorama desses elementos antes do rompimento da barragem coloca-se como ponto de partida para compreender como esse desastre traumático afetou esses componentes da memória social, trazendo à baila informações que auxiliem na compreensão de como o desastre afetou os direitos culturais desses cidadãos e cidadãs.

Uma definição de desastre bastante utilizada nas ciências sociais é aquela que sugere que o desastre é um acontecimento que desorganiza a ordem social, cultural, econômica e política de uma coletividade, a ponto de que esta não seja capaz de reorganizar-se de forma espontânea e autônoma. Para Batteau (2000, apud DA SILVA, 2004), a situação de desastre se caracteriza

fundamentalmente pela capacidade que um evento tem de gerar o colapso da ordem cultural, abalando, algumas vezes de forma irreversível, o sentido de comunidade. Nessa definição, encontramos elementos que apontam que um desastre acarreta, enquanto evento crítico, necessariamente, impactos ao patrimônio cultural de uma comunidade.

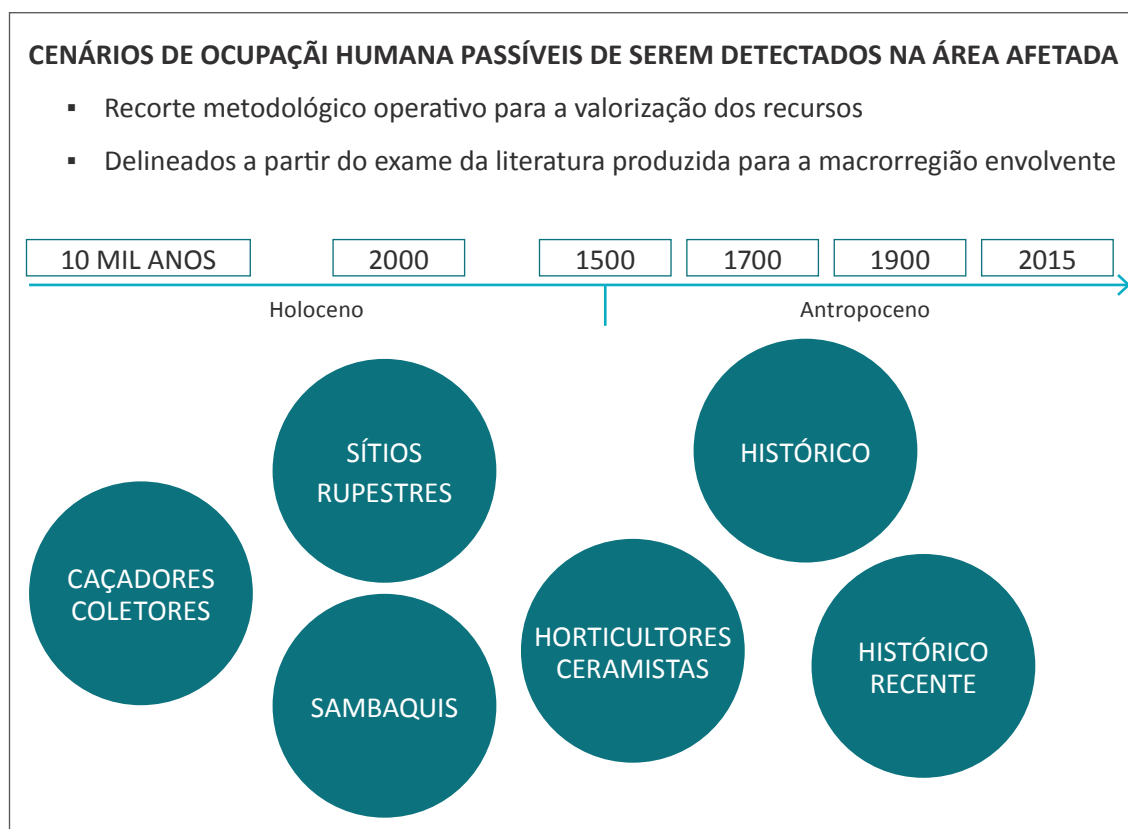
Evidenciamos três pontos considerados na análise da relação entre o conceito antropológico de desastre e o campo patrimonial.

- Primeiro, é que o desastre não é um evento isolado no tempo e no espaço, mas sim um processo que se desdobra ao longo do tempo, e que, em geral, afeta coletividades humanas e não humanas em uma dimensão espacial muito maior do que o local específico do evento crítico que o originou. Na realidade, há décadas, as ciências sociais vêm compreendendo o desastre como um fenômeno em processo. Destarte, o desastre do rompimento da barragem de Fundão continua em curso, demandando estratégias diversificadas e continuadas de monitoramento. Um exemplo pode ser dado: a atividade da pesca, tão cara a diversas comunidades ao longo do rio Doce, mesmo após quase dois anos, continua sendo afetada pelo desastre, impactando os modos de fazer – compreendidos aqui como patrimônio cultural - e o cotidiano dessas populações.
- O segundo ponto é que não há desastre que não tenha, concomitantemente, componentes ecossistêmicos e componentes tecnológicos e, em razão disso, a diferenciação entre desastres naturais e tecnológicos é apenas o destaque, para fins operacionais ou jurídicos, do fator preponderante em cada caso. Um desastre tecnológico é aquele atribuído em parte ou em todo a uma intenção humana, erro ou negligência, ou falha em um sistema humano (ZHOURI et al., 2016).
- O terceiro ponto reside no fato de que a compreensão de um desastre deve considerar as condições de vulnerabilidade em que as comunidades se encontram em razão de circunstâncias socioculturais, históricas, políticas e econômicas. Nesse sentido, uma análise dos impactos aos patrimônios culturais também deve considerar as condições de vulnerabilidade dos bens impactados. Referências culturais não acauteladas, associadas a comunidades vulneráveis em virtude de particularidades relativas à classe social, atividade profissional, religião, relações de gênero, faixa etária, grupo étnico e nacionalidade entre outros, serão certamente mais impactadas ao longo do tempo do que bens acautelados, uma vez que são pouco “visíveis”. Dessa forma, discussões sobre os patrimônios culturais “esquecidos”, “selecionados”, “apropriados” ou “ressignificados” se fazem necessárias.

O *start* do processo envolveu reuniões periódicas (presenciais e/ou a distância) para tomada de conhecimento a respeito do desastre, sendo ainda realizados encontros com profissionais do MPF, em Minas Gerais, objetivando a aquisição e intercâmbio de informações em torno do desastre, procedendo-se concomitantemente ao exame da documentação disponibilizada e demais órgãos intervenientes a respeito, abarcando laudos, relatórios técnicos, pareceres e relatórios.

A partir do cotejo da literatura foram delineados cenários de ocupação humana passíveis de serem detectados na área alvo de estudo, dentro de uma perspectiva de longa duração, abrangendo um *continuum* temporal de mais de 10 mil anos (Figura 86).

Figura 86- Representação esquemática dos cenários de ocupação humana delineados a partir da bibliografia disponível para a região



Num segundo momento, deu-se o aprofundamento das pesquisas sendo os esforços concentrados no exame da documentação disponível nos arquivos dos seguintes órgãos e instituições de preservação do patrimônio cultural:

- DEPAM/CNEPAM/CNA/IPHAN (Brasília);
- Superintendência Regional do IPHAN Minas Gerais;
- Superintendência Regional do IPHAN Espírito Santo; e
- Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico, IEPHA (SEC/MG).

Da mesma forma, foram consultadas diferentes mídias, a fim de mapear informações veiculadas acerca do patrimônio cultural (jornais, televisão e páginas da internet), no intuito de rastrear dados com relação às referências e bens patrimoniais, antes e depois do desastre.

Uma vez reunidos os dados a respeito de bens e referências culturais presentes na área de interesse, passou-se, em gabinete, à consistência de informações, visando à criação de um banco de dados unificado e construção de cartas temáticas a respeito dos fenômenos para fins de análise e construção da linha-base, sendo considerados os seguintes elementos:

- a) bens acautelados (arqueológicos, tombados, registrados e valorados) pelo órgão federal responsável (IPHAN);
- b) bens acautelados (arqueológicos, tombados, registrados e valorados) pelos órgãos estaduais responsáveis, nas duas unidades da federação afetadas pelo desastre: Minas Gerais (IEPHA) e Espírito Santo (Gerência de Memória e Patrimônio da Secretaria de Cultura do Estado do Espírito Santo);
- c) bens acautelados (arqueológicos, tombados, registrados e valorados) pelos municípios observados nesta pesquisa;
- d) bens indicados para inventário ou já inventariados pelos municípios observados nesta pesquisa.
- e) referências a respeito de territórios tradicionais reconhecidos pela FUNAI para o caso das terras indígenas e pela Fundação Palmares para o caso dos quilombos;
- f) comunidades tradicionais localizadas na área afetada pelo desastre (comunidades caiçaras e ribeirinhas);
- g) e, por fim, áreas dotadas de potencial, delineadas a partir do cotejo da bibliografia (para as quais se conta com referências a marcos históricos, arqueológicos, paisagísticos, artísticos, urbanísticos, etc.), diante do histórico de ocupação das regiões afetadas pelo desastre. Particularmente úteis no estabelecimento dessas zonas de interesse, tem-se a cartografia histórica selecionada a respeito da região.

O conjunto de informações obtidas e consistidas permite delinear um quadro suficientemente amplo e rico a respeito do patrimônio cultural presente na região de interesse, num momento imediatamente anterior ao evento de rompimento da barragem de Fundão, em 2015.

Conta-se com um total de **4.478 bens e referências culturais**, sendo **325 sítios arqueológicos** cadastrados no CNSA/IPHAN e **outros 4.153 itens** (acauteladas ou não) relacionados às demais categorias, morfologias e esferas de proteção estabelecidas para o patrimônio cultural, em consonância com a literatura, legislação brasileira e cartas patrimoniais internacionais as quais o Brasil é signatário (Tabela 11).

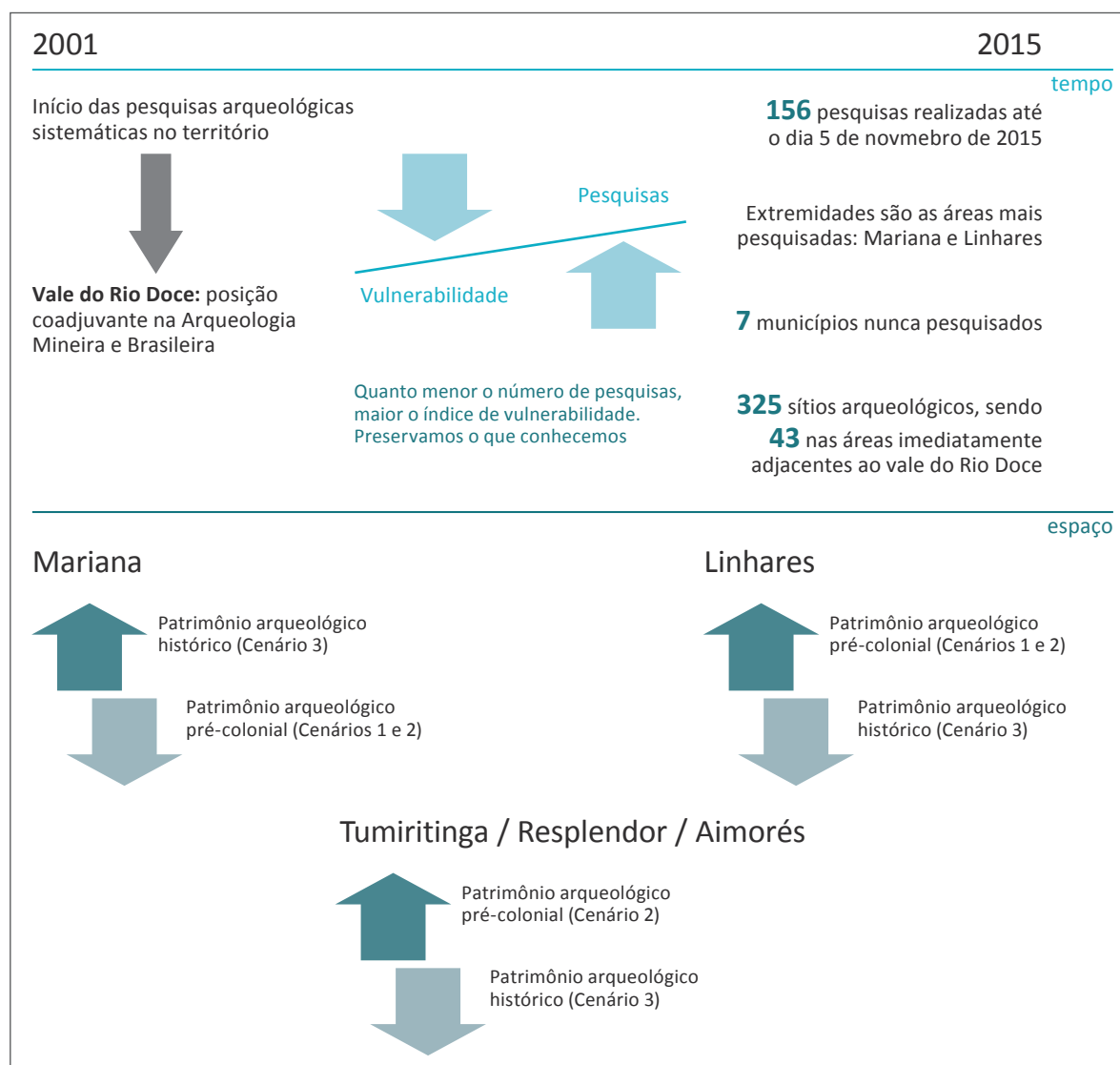
Tabela 11 - Evidências por estados (sítios arqueológicos, bens e referências culturais)

Patrimônio cultural evidenciado	Minas gerais	Espírito santo
Sítios arqueológicos	163	162
Bens tombados, registrados, valorados e referências culturais não acauteladas	4045	108
Totais	4208	270

Em linhas gerais, o conjunto de sítios arqueológicos remete aos três grandes cenários de ocupação estabelecidos como recorte metodológico a partir do cotejo da literatura produzida a respeito da região do vale do rio Doce e seu entorno, abarcando evidências relacionadas a caçadores-coletores-pescadores antigos (sítios oficina, sambaquis, acampamentos conchíferos, sinalações rupestres, etc); aldeias associadas à instalação na região de indígenas horticultores

ceramistas afiliados a diversos grupos linguísticos, e, por fim, um cenário histórico (envolvendo testemunhos materiais relacionados a unidades habitacionais isoladas e núcleos urbanos, sedes rurais, áreas de mineração, edificações de caráter religioso e assim por diante), abarcando um espectro temporal de mais de 10 mil anos. Entre o total dos sítios evidenciados, ao menos 43 sítios, devido estes guardarem grande proximidade do rio, irão demandar especial atenção daqui em diante (Figura 87).

Figura 87 - Quadro comparativo a respeito do patrimônio arqueológico



No que tange aos demais bens culturais acautelados (bens materiais, lugares, celebrações, formas de fazer, etc.) e referências não protegidas, se circunscrevem, fundamentalmente, ao cenário dito histórico, abarcando cronologicamente desde os primeiros contatos e início do processo de colonização a partir do século XVI até o momento presente, incluso o processo de industrialização vivenciado ao longo do médio vale do rio Doce. Conforme se observa na *Tabela 11*, acima, no que tange à sua distribuição espacial, têm-se 4.203 bens e referências circunscritas para o estado de Minas Gerais e 277 itens localizados no Espírito Santo.

A par da expressão numérica, multiplicidade e diversidade de manifestações presentes na área de interesse, chama a atenção a existência de um grupo de municípios que não apresenta registros acerca de bens culturais como Bugre, Pingo-D'Água, Naque e Sobrália, todos no estado de Minas Gerais, mesmo diante da evidente eficácia das políticas públicas colocadas em prática pelo estado nas últimas décadas.

A discrepância observada entre os números obtidos para ambos os estados (4.040 itens para MG e 113 para ES) também aponta para a fragilidade das ações desencadeadas pelas administrações capixabas a respeito, não se contando no Espírito Santo até o presente com uma política pública específica e consolidada de incentivo à identificação e inventariação do patrimônio cultural.

Com relação à espacialização dos bens e referências culturais, as fontes identificadas e consistidas não permitem, devido às características que apresentam, que se processe o georreferenciamento requerido, o que irá demandar a formulação de estratégias específicas visando à verificação e aferição de dados nas etapas subsequentes do estudo que ora se inicia.

Desse universo de 4.478 bens culturais identificados, 206 são protegidos pela figura do tombamento, sendo 25 bens tombados em nível federal; 29 bens em âmbito estadual e 152 bens em âmbito municipal (alguns estão submetidos a tombamento em mais de uma instância), estando predominantemente localizados em áreas urbanizadas.

Quanto à sua categorização, predominam no conjunto bens identificados (2.520 itens, representando 58,35% do total), seguido pelos bens móveis (666 itens, representando 15,29% do total), lugares (528 itens, representando 12,71% do total), arquivos (96, representando 2,31% do total), patrimônio ferroviário (40 bens, representando 0,96% do total), bens e coleções arqueológicas registradas em âmbito municipal (12 referências, representando 0,28% do total), tornando expressas as marcas da tradição e trajetória dos estudos e trabalhos relacionados ao patrimônio cultural no Brasil, amplamente lastreados na materialidade (apenas 10,1% dos bens e referências identificadas é composto por formas de saber, celebrações, ofícios e outras formas do patrimônio imaterial ou intangível).

Esse viés do tratamento dado ao patrimônio cultural no Brasil cria igualmente uma grande vulnerabilidade para bens intangíveis, localizados em áreas rurais, desde sua identificação até a devida proteção.

Desse modo, o conjunto de informações obtidas e consistidas permite delinear um quadro suficientemente amplo e rico a respeito do patrimônio cultural presente na região de interesse, num momento imediatamente anterior ao evento de rompimento da barragem de Fundão. Convém ressaltar que o patrimônio cultural abarca tanto os bens arqueológicos e bens tombados, registrados e valorados, quanto referências culturais não acauteladas. Importante salientar que as informações da Linha-base conhecerão daqui em diante sucessivos aprofundamentos e atualizações, de modo a balizar de forma consistente o diagnóstico, prognósticos e valoração dos danos imputados aos patrimônios culturais, e, por conseguinte, proposições para a compensação, criando a ambiência para sua salvaguarda e promoção no bojo de um novo desenho de futuro para a região afetada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABILHOA, V.; BRAGA, R. R.; BORNATOWSKI, H.; VITULE, J. R. S. Fishes of the atlantic rain forest streams: ecological patterns and conservation. In: Grillo, O.; Venora, G. (Ed.). **Changing diversity in changing environment**. Croácia: InTech, 2011. p. 259-282.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Mapa de uso e ocupação do solo em moderada resolução espacial (10m) da Bacia do Rio Doce**. Brasília, DF: ANA, 2016a.
- _____. **Encarte especial sobre a bacia do rio Doce: rompimento da barragem em Mariana/MG**. Brasília, DF: ANA, 2016b.
- _____. **Bacias hidrográficas do Atlântico Sul – trecho Leste**: sinopse de informações do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia e Sergipe. Brasília, DF: ANA, 2001.
- _____. **HidroWeb**: sistemas de informações hidrológicas. Estação. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 15 maio 2017.
- _____. **Relatório técnico**. Ocorrência de cianobactérias na bacia hidrográfica do rio Doce. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.cbhsuacui.org.br/wp-content/uploads/2014/01/Relat%C3%B3rio-Cianobact%C3%A9rias.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2017.
- AIMORÉS. **ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL/RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL DA UNIDADE HIDRELÉTRICA AIMORÉS**. 2012. Disponível em: <http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/Aimores/>. Acesso em 04 de Março de 2017.
- ALCARAZ, M.; CALBET, A. Zooplankton ecology. In: DUARTE, C.; HELGUERAS, A. L. (Ed.). **Marine ecology**. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) UNESCO. Oxford, UK: Eolss Publishers, 2003. p. 295-318.
- ALGADERMIS. **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para atividade de extração de sedimento biodetrítico marinho em jazidas da Algadermis – litoral do Espírito Santo**. Relatório técnico. Vitória, 2010.
- ALKMIM, A. R. **Investigação geoquímica e estratigráfica da Formação Ferrífera Cauê na porção centro-oriental do Quadrilátero Ferrífero, MG**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.
- ALMEIDA, N. L.; RODRIGUES, L. C. R.; CAMPOS, J. C. F.; AMODEO, N. B. P. Diagnóstico socioeconômico e ambiental do leste mineiro como subsídio para políticas públicas de planejamento e desenvolvimento regional. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2., 2004, Santa Cruz do Sul. **Anais...** Santa Cruz do Sul, 2004. Disponível em: <www.unisc.br/site/sidr/2004/planejamento/15.pdf>. Acesso em: 3 maio 2017.
- ALMEIDA, S.; LOUZADA, J. N. C.; RIBEIRO, S. P. Comunidades de besouros de serapilheira e a sucessão natural em uma floresta estacional semidecídua. **MG.BIOTA**, v. 3, n. 6, p. 32-48, 2011.
- ANDRADE, C. A. **Estudo ecotoxicológico no trecho médio da Bacia do Rio Doce – MG**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- ANDRADE, M. T.; VEADOR, M. A. R. V.; MENEZES, M. A. B. C.; ALÍPIO, V. C. Análise da concentração de metais pesados no rio Piracicaba, Minas Gerais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2010. p. 1-15. Disponível em: <www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STO_113_739_16250.pdf>. Acesso em: 3 maio 2017.
- APRILE, F.; LORANDI, R.; SIQUEIRA, G. W. Influence of natural and anthropogenic processes in the coastline evolution at the Doce river mouth (Espírito Santo, Brazil). **British Journal of Environment and Climate Change**, v. 6, n. 1, p. 18-27, 2016.

- AQUACONSULT. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Congoá, bacia do Espírito Santo: 1ª campanha de monitoramento.** Relatório Técnico Ambiental. Aquaconsult, 2003.
- ARANTES, I. A.; PINTO, M. T. C.; MANGABEIRA, P. A.; GRENIER-LOUSTALOT, M. F.; VEADO, M. A. R. V.; OLIVEIRA, A. H. Mercury concentration in fish from Piracicaba River (Minas Gerais, Brazil). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 156, p. 119-130, 2009.
- ARAUJO, C. B. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro.** 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- ARRUDA, M. B.; SÁ, L. F. S. N. (Orgs.). **Corredores ecológicos: uma abordagem integradora de ecossistemas no Brasil.** Brasília, DF: Edições Ibama, 2003. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/corredoresecologicosdigital.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2017.
- ASSOCIATION FOR STRENGTHENING AGRICULTURAL RESEARCH IN EASTERN AND CENTRAL AFRICA (ASARECA). **Monitoring and evaluation series.** Guidelines for Project Baseline studies. Uganda: ASARECA: 2010. Disponível em: <<http://usaidprojectstarter.org/sites/default/files/resources/pdfs/Guidelines-for-Project-Baseline-studies.pdf>> Acesso em: 16 ago. 2017.
- AZEVEDO, A. A.; SILVEIRA, F. A. O.; AGUIAR, C. M. L.; PEREIRA, V. S. Fauna de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) nos Campos Rupestres da cadeia do Espinhaço e biogeografia de espécies endêmicas em Formações Campestres altimontanas do Centro-Leste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 4, n. 1-2, p. 126-157, 2008.
- BASTOS, L. **Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro como matéria prima para infraestrutura rodoviária.** 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.
- BASTOS, S. **Aplicações de indicadores de avaliação e monitoramento em um projeto de restauração florestal, Reserva particular do Patrimônio Natural – RPNN Fazenda Bulcão, Aimorés, MG.** 2010. Dissertação (Pós-Graduação em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- BATISTA, J. O.; COSTA, E. C. P.; DOS SANTOS, D. H.; DE SANT'ANA FILHO, J. N.; BASTOS, L. A. C.; FONTES, W. C.; MENDES, J. C.; PEIXOTO, R. F. **Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro na construção civil.** Relatório Técnico. Ouro Preto-MG, 2016.
- BERTOLUCI, J.; CANELAS, M. A. S.; EISEMBERG, C. C.; PALMUTI, C. F. D. S.; MONTINGELLI, G. G. Herpetofauna da Estação Ambiental de Peti, um fragmento de Mata Atlântica do estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 1, p. 147-155, 2009.
- BEZAMAT, C.; WEDEKIN, L. L.; SIMÕES-LOPES, P. C. Potential ship strikes and density of humpback whales in the Abrolhos Bank breeding ground, Brazil. **Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst**, v. 25, p. 712-725, 2015.
- BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Org.) **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: SSSA, 1994. p. 3-21.
- BIASIZZO, R. T.; MORCATTY, T. Q.; CARNEIRO, H. C. S.; EL BIZRI, H. R.; ROCHA, P. C.; DUTRA, D. B. O.; SILVA, E. S.; RODRIGUES, F. H. G. Parque Estadual do Itacolomi: levantamento da mastofauna de médio e grande porte e atualização da lista de mamíferos. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 10., 2011, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço, 2011.
- BIODIVERSITAS. **Corredor Ecológico Sossego Caratinga.** 2017a. Disponível em: <<http://www.biodiversitas.org.br/corredorecologico/inicial.asp#noticia1>> Acesso em: 05/09/2017.
- _____. Fundação Biodiversitas. **Complexo Serra do Espinhaço.** 2017b. Disponível em: <<http://www.biodiversitas.org.br/rbse/>> Acesso em: 08/08/2017.
- BIOENSAIOS. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Congoá, bacia do Espírito Santo: 5ª campanha de monitoramento.** Relatório técnico ambiental. Bioensaios, 2010.

- _____. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Congoá, bacia do Espírito Santo: 6ª campanha de monitoramento.** Relatório técnico ambiental. Bioensaio, 2011.
- _____. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Congoá, bacia do Espírito Santo: 7ª campanha de monitoramento.** Relatório técnico ambiental. Bioensaio, 2013.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL. **Handbook of the birds of the world and BirdLife International digital checklist of the birds of the world.** Version 9.1, 2017. Disponível em: <http://datazone.birdlife.org/userfiles/file/Species/Taxonomy/BirdLife_Checklist_Version_91.zip>. Acesso em: 7 ago. 2017.
- BITTENCOURT, A. V. L.; TUBBS, F. D. Hidrogeoquímica e aplicações em prospecção geoquímica. In: LICHT, O. A. B.; MELO, C. S. B.; SILVA, C. R. (Ed.). **Prospecção geoquímica: depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás.** Rio de Janeiro: Ed. SBGq, 2007. p. 307-332.
- BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. A influência das condições geoquímicas na oxidação da arsenopirita e na mobilidade do arsênio em ambientes superficiais tropicais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 4, p. 489-500, 2004.
- BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B.; CAVALCANTI, J. A. Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). **Rev. Esc. Minas**, v. 57, n. 1, p. 45-51, 2004.
- BORTOLUZZI, R. L. C. et al. Leguminosae, Papilionoideae no Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. II: árvores e arbustos escandentes. **Acta Bot. Bras.**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 49-71, mar. 2004.
- BOSQUETTI, L. **Caesalpinioideae (Leguminosae) no Parque Estadual Rio Doce, Minas Gerais, Brasil.** 2004. Tese (Pós-Doutorado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- BOVINI, M. G.; CARVALHO-OKANO, R. M.; VIEIRA, M. F. Malvaceae A. Juss. no Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 81, p. 17-47, 2001.
- BOWEN, E. D. Role of marine mammals in aquatic ecosystems. **Marine Ecology Progress Series**, v. 158, p. 267-274, 1997.
- BRASIL. **Dados.** Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 17 jul. 2017a.
- _____. Decreto de 5 de junho de 2012. Dispõe sobre a criação e ampliação dos limites da Floresta Nacional de Goytacazes, no Município de Linhares, no Estado do Espírito Santo, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 6 jun. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Dsn/Dsn13322.htm>. Acesso em: 25 jul. 2017.
- _____. Decreto nº 90.222, de 25 de setembro de 1984. Cria, no Estado do Espírito Santo, a Reserva Biológica de Comboios, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 set. 1984. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-90222-25-setembro-1984-440496-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 26 jul. 2017.
- _____. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 jul. 2000b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=322>>. Acesso em: 21 jul. 2017.
- _____. **Lista nacional das espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção.** Brasília, DF: MMA, 2003. Disponível em: <www.meioambiente.es.gov.br/NovaListaFaunaAmeacaMMA2003.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2017.
- _____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos.** Brasília, DF: Conservation

- International do Brasil/Fundação SOS Mata Atlântica/Fundação Biodiversitas/Instituto de Pesquisas Ecológicas/Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo SEMAD/Instituto Estadual de Florestas-MG, 2000a.
- _____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira: atualização – Portaria MMA nº 09, de 23 de janeiro de 2007. Brasília, DF: MMA, 2007.
- _____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. (Eds.). 1. ed. Brasília, DF: MMA (Biodiversidade 19), 2 volumes, 2008.
- _____. Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014. **Diário Oficial da União**, Seção 1, n. 245, p. 121-130, 18 dez. 2014.
- _____. **Reserva da Biosfera**. 2017b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga/reserva-da-biosfera>>. Acesso em: 8 ago. 2017.
- _____. Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da região hidrográfica atlântico sudeste**. Brasília, DF: MMA, 2006.
- _____. **Série Corredores Ecológicos**: 12 anos de trabalho pela conservação da biodiversidade nacional. Brasília, DF: MMA, 2015.
- BROOKS, T.; TOBIAS, J.; BALFORD, A. **Deforestation and Bird Extinction in the Atlantic Forest**. Animal Conservation, v. 2, p. 211–222, 1999.
- BROWN JR, K. S.; FREITAS, A. V. L. Diversidade de Lepidoptera em Santa Teresa, Espírito Santo. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**, v. 11/12, p. 71-118, 2000.
- CAGNIN, R. C. **Efeitos da exposição ao arsênio sobre juvenis de robalo-peva, *Centropomus parallelus* (Teleostei: Centropomidae) em diferentes salinidades**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Oceanografia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.
- CANELAS, M. A. S.; BERTOLUCI, J. Anurans of the Serra do Caraça, southeastern Brazil: species composition and phenological patterns of calling activity. Iheringia. **Série Zoologia**, v. 97, n. 1, p. 21-26, 2007.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- CASARINI, D. C. P.; DIAS, C. L.; LEMOS, M. M. G. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001.
- CASSIMIRO, J.; BERTOLUCI, J. Anfíbios da Estação Biológica de Caratinga: um fragmento de Mata Atlântica do estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 24., 2002, Itajaí. **Anais...** Itajaí, 2002b.
- CASTRO, F. S. DE; GONTIJO, A. B.; DA ROCHA, W. D.; RIBEIRO, S. P. As comunidades de formigas de serapilheira nas florestas semidecíduas do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais. **MG.BIOTA**, v. 3, n. 5, p. 5-24, 2010/2011.
- CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- CAVALCANTI, R.; JOLY, C. The conservation of the Cerrados. In: OLIVEIRA, P. S; MARQUIS, R. J. (Eds.). **The Cerrado of Brazil**. Ecology and natural history of a neotropical savanna. New York: Columbia University Press, 2002. p. 351-367.
- CEPEMAR. **Monitoramento do efluente líquido da Fibria no ecossistema marinho**. Relatório Técnico CPM RT 289/11. [S.l.], 2011.
- _____. **Projeto de expansão do terminal especializado de Barra do Riacho - Portocel**. Vitória: CEPEMAR, 2006.

- _____. **Relatório de monitoramento da dragagem da Portocel:** campanha pré-operacional. Relatório técnico COM RT 358/08. Vitória: CEPEMAR, 2008.
- CHEMALE JR., F.; ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero: um modelo. **Pesquisas**, v. 18, n. 2, p. 104-127, 1992.
- COELHO, A. L. N. **Alterações hidrogeomorfológicas no médio-baixo rio Doce/ES**. 2007. Tese (Doutorado) –Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.
- COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (CBH-DOCE). **A bacia**. Governador Valadares: CBH-DOCE, 2014. Disponível em <<http://www.cbhdoce.org.br/a-bacia>>. Acesso em: 3 maio 2017.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Monitoramento especial do rio Doce:** relatório II. Belo Horizonte: CPRM, 2015. Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/Doce/CPRM/relatorios/RT_02_2015_MONIT_ESP_BACIA_RIO_DOCE_v4_5.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2004-2006**. São Paulo: CETESB, 2007.
- _____. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- COMPANHIA DOCAS DO ESPÍRITO SANTOS (CODESA). Movimentação de cargas no Porto de Vitória aumenta 22,5%. **Secretaria Nacional de Portos**, 17 set. 2014. Disponível em: <<http://www.portosdobrasil.gov.br/home-1/noticias/movimentacao-de-cargas-no-porto-de-vitoria-aumenta-22-5>>. Acessado em: 11 jul. 2017.
- CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce:** relatório final. Consórcio Ecoplan-Lume, 2010. 1 v. Disponível em: <www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PIRH_Doce_Volume_I.pdf>. Acesso em: 2 maio 2017.
- COPPETEC FUNDAÇÃO (COPPE). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. **Avaliação da Zona Estuarina do Rio Doce e Zona Costeira Adjacente (Capítulo 4)**. In: COPPE. Avaliação dos impactos da ruptura da barragem de rejeitos de Fundão em Mariana nove meses após o desastre. Rio de Janeiro: UFRJ, 2016. 57 p.
- _____. **Avaliação dos impactos da ruptura da barragem de rejeitos de Fundão em Mariana, nove meses após o desastre**. Rio de Janeiro: COPPE, 2017. Disponível em: <http://www.lima.coppe.ufrj.br/images/documentos/projetos/relatorio-vale/1-Cap_1_-_COPPE.20275.Cap1.Infraestrutura.Relat%C3%B3rio.Final.04.01.2017.pdf>. Acesso em: 3 maio 2017.
- COSTA, A. de F. da & COSTA, A.N. da. Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo. Vitória, ES : **Incaper**, 152p, 2015.
- COSTA, A. T. **Geoquímica das águas e dos sedimentos da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, leste –Sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG):** estudo de uma área afetada por atividade de extração mineral. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2001.
- COSTA, D.; SILVA, A. Briófitas da Reserva Natural do Vale do Rio Doce, Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**, v. 16, p. 21-23, 2003.
- COSTA, F. V.; MELLO, R.; LANA, T. C.; NEVES, F. D. S. Ant Fauna in megadiverse mountains: a checklist for the rocky grasslands. **Sociobiology**, v. 62, n. 2, p. 228-245, 2015.
- COSTA, H. C.; BÉRNILS, R. S. Répteis brasileiros: lista de espécies 2015. **Herpetologia Brasileira**, v. 4, n. 3, 2015.
- CP+. **12ª Campanha de monitoramento marinho do Estaleiro Jurong Aracruz – EJA**. Relatório Técnico CP+ RT 022/15. Vitória, 2015.

- CPRM/ANP – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS / AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Relatório de conclusão do projeto batimetria**. Ministério de Minas e Energia. 2013.
- CRUZ, A. J. R.; DE OLIVEIRA DRUMMOND, L.; LUCENA, V. D. et al. Lizard fauna (Squamata, Sauria) from Serra do Ouro Branco, southern Espinhaço Range, Minas Gerais, Brazil. **Checklist**, v. 10, n. 6, p. 1290-1299, 2014.
- CTA. **Estudo de impacto ambiental**: Estaleiro Jurong Aracruz. Vitória: CTA, 2009.
- CUNHA, D. R. **Estudo comparativo dos copépodes *Temora stylifera* e *T. turbinata* na plataforma continental sudeste do Brasil no verão e inverno de 2002**. 2008. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- CUPOLILLO, F. **Diagnóstico hidroclimatológico da bacia do rio Doce**. 2008. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L.; VIANELLO, R. L. Climatologia da bacia do rio Doce e sua relação com a topografia local. **Geografias**, v. 4, n. 1, p. 45-60, 2008.
- DA SILVA, T. C. Desastre como processo: saberes, vulnerabilidade e sofrimento social no caso de Goiânia. In: LEIBING, A. (Org.). **Tecnologias do corpo**: uma antropologia das medicinas no Brasil. Rio de Janeiro: NAU, 2004. 1 v., p. 201-225.
- DANILEWICZ, D.; ZERBINI, A. N.; ANDRIOLO, A.; SECCHI, E. R.; SUCUNZA, F.; FERREIRA, E.; DENUNCIO, P.; FLORES, P. A. C. Abundance and distribution of an isolated population of franciscana dolphins (*Pontoporia blainvillei*) in southeastern Brazil: red alert for FMA I? In: Annual report of the International Whaling Commission, 2012.
- DERBY, O. A. On the manganese deposits of the Queluz (Conselheiro Lafayette) district, Minas Gerais, Brazil. **Am. Jour. Sci.**, v. 4, n. 12, p. 18-32, 1901.
- DEUTSCH, W. J. **Groundwater geochemistry**: fundamentals and applications do contamination. Washington: CRC Press, 1997.
- DIAS, B. F. S. **Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados**: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis. Brasília, DF: UnB, Ibama, Funatura, 1992.
- DIAS, C. O. Morphological abnormalities of *Acartia lilljeborgi* (Copepoda, Crustacea) in the Espírito Santo Bay (E.S. Brazil). **Hydrobiologia**, v. 394, p. 249–251, 1999.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; DORNELES, P. R.; SANZ, P.; EPPE, G.; AZEVEDO, A. F.; BERTOZZI, C. P.; MARTÍNEZ, M. A.; SECCHI, E. R.; BARBOSA, L. A.; CREMER, M.; ALONSO, M. B.; TORRES, J. P. M.; LAILSON-BRITO, J.; MALMA, O.; ELJARRAT, E.; BARCELÓ, D.; DAS, K. High accumulation of PCDD, PCDF, and PCB congeners in marine mammals from Brazil: A serious PCB problem. **Science of the Total Environment**, v. 463-464, p. 309-318, 2013.
- DORR, J. V. N.; HERZ, N.; BARBOSA, A. L. M.; SIMMONS, G. C. **Esboço geológico do quadrilátero ferífero de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: DNPM, 1959.
- DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; GRECO, M. B.; VIEIRA, F. (Eds). **Biota Minas**: diagnóstico do conhecimento sobre a biodiversidade no estado de Minas Gerais – subsídio ao Programa Biota Minas/Minas Biota. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2009.
- DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B. M.; SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y. **Biodiversidade em Minas Gerais**: um atlas para sua conservação. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005.
- DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MENDONÇA, M. P. **Revisão das listas das espécies da flora e da fauna ameaçadas de extinção do estado de Minas Gerais**. Fundação Biodiversitas: Belo Horizonte, 2007.
- DUARTE, I. D.; DIAS, M. C.; DAVID, J. A. O.; MATSUMOTO, S. T. A qualidade da água da Lagoa Jacuném (Espírito Santo, Brasil) em relação a aspectos genotóxicos e mutagênicos,

- mensurados respectivamente pelo ensaio do cometa e teste do micronúcleo em peixes da espécie *Oreochromis niloticus*. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 10, n. 2, p. 211-219, 2012.
- ECOLOGY BRASIL. ECONSERVATION. **EIA – Estudo de Impacto Ambiental do Mineroduto Morro do Pilar/MG a Linhares/ES e Porto Norte Capixaba**. Relatório técnico – RT-ECV-002/12. Revisão 01. Rio de Janeiro: Ecology Brasil, out. 2013.
- ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN (ECLAC). **Handbook for estimating the socio-economic and environmental effects of disasters**. ECLAC: 2003.
- ECONSERVATION. **EIA do Porto Central de Presidente Kennedy/ES**. Relatório técnico. Vitória: Econservation, 2013.
- EKAU, W.; KNOPPERS, B. **JOPS-II**. Cruise report and first results. Sedimentation processes and productivity in the continental Shelf waters off East and Northeast Brazil. Bremen: Center for Tropical Marine Ecology, 1996.
- ELETROBRAS. **Guia para cálculo de cheia de projeto de vertedores**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 1987.
- _____. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH). **Diagnóstico das condições sedimentológicas dos principais rios brasileiros**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 1992.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1978.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Avaliação Ambiental Integrada (AAI) dos aproveitamentos hidrelétricos da bacia do rio Doce**. Relatório Final, 2007.
- ENVIRONMENTAL RESOURCES MANAGEMENT (ERM). **Relatório Consolidado de informações técnicas sobre a investigação e resposta ao rompimento da barragem de Fundão**. São Paulo: ERM, 2017.
- ESCOBAR, H. Mud tsunami wreaks ecological havoc in Brazil. **Science**, v. 350, n. 6265, p. 1138-1139, 2015.
- ESPINDOLA, H. S.; CAMPOS, R. B. F.; LAMOUNIER, K. C. C.; SILVA, R. S. Desastre da Samarco no Brasil: desafios para a conservação da biodiversidade. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 5, n. 3, p. 74-100, 2016.
- ESPÍRITO SANTO (Estado). **Portos**. Disponível em: <<https://es.gov.br/portos-2>>. Acessado em: 11 jul. 2017.
- ESPÍRITO SANTO, N. B. de. **Assembléia de formigas do Parque Estadual do Itacolomi (MG) e relações intra e interespecíficas entre espécies dominantes**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, 2008.
- ESTEVES, F. A.; SUZUKI, M. S. Comunidade fitoplanctônica. In: ESTEVES, F. A. (Coord.). **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. p. 375-446.
- EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FILHO, R. F. F.; OLIVEIRA, E. P. Atualização dos estudos hidrológicos na bacia hidrográfica do rio Doce. **Atlas digital das águas de Minas**, 2010. <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/doce/resumo_doce.html>. Acesso em: 4 maio 2017.
- EUROPEAN UNION. The European Parliament. **Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment**. 2008.
- FAGUNDES, H. O.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C. Simulação hidrossedimentológica preliminar na bacia do rio Doce com o modelo MGB-SED. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSSEDIMENTOLOGIA, 2., 2017, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2017.

- FAUSCH, K. D.; LYONS, J.; KARR, J. R.; ANGERMEIER, P. L. Fish communities as indicators of environmental degradation. In: ADAMS, S.M. (Ed.). **Biological indicators of stress in fish**. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 1990, p. 123-124.
- FERNANDES, G. W.; GOULART, F. F.; RANIERI, B. D.; COELHO, M. S.; DALES, K.; BOESCHE, N.; BUSTAMANTE, M.; CARVALHO, F. A.; CARVALHO, D.C.; DIRZO, R.; FERNANDES, S.; GALETTI JR, P. M.; MILLAN, V. E. G.; MIELKE, C.; RAMIREZ, J. L.; NEVES, A.; ROGASS, C.; RIBEIRO, S. P.; SCARIOT, A.; SOARES-FILHO, B. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35-45, 2016.
- FERREIRA, F.; MORMUL, R.; PEDRALLI, G.; POTT, V.; POTT, A. Estrutura da comunidade de macrófitas aquáticas em três lagoas do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Revista Hoehnea**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 43-52, 2010.
- FETTER, C. W. **Applied hydrology**. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 1994.
- FIGUEIREDO, J. A.; NORIEGA, C. D.; OLIVEIRA, E. M. C.; NETO, R. R.; BARROSO, G. F.; FILHO, M. A. Avaliação biogeoquímica de águas fluviiais com ênfase no comportamento dos compostos de nitrogênio e fósforo total para diagnoses provenientes do sistema aquático bacia do rio Doce, no Espírito Santo. **Geochimica Brasiliensis**, v. 28, n. 2, p. 215-226, 2014.
- FONSECA, G. A. B. da. Impactos antrôpicos e biodiversidade terrestre . In: **Biodiversidade, população e economia: uma região de mata atlântica**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, p.455-468, 1997.
- FONSECA, G.A.B.; CAVALCANTI, R.B.; RYLANDS, A.B.; PAGLIA, A.P. Cerrado, p.93-97. In: Mittermeier, R.A.; Robles-Gil, P.; Hoffmann, M.; Pilgrim, J.D.; Brooks, T.M.; Mittermeier, C.G.; Fonseca, G.A.B. (org.). **Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecosystems**. CEMEX, Agrupación Serra Madre, S.C., México, 2004.
- FRANCO, L. C.; DOS SANTOS, D. H.; ROSA, P. P. G.; SILVA, G. J. B.; PEIXOTO, R. F. Aplicação de rejeito de mineração como agregado para a produção de concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 56., 2014, Natal. **Anais...** Natal, 2014.
- FREITAS NETTO, R.; BARBOSA, L. A. Cetaceans and fishery interactions along the Espírito Santo State, southeastern Brazil during 1994-2001. **The Latin American Journal of Aquatic Mammals**, v. 2 n. 1, p. 57-60, 2003.
- FREITAS, C. M.; SILVA, M. A.; MENEZES, F. C. O desastre na barragem de mineração da Samarco: Fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, 25-30, 2016.
- FROESE, R.; PAULY, D. (Ed.). **FishBase**. WorldWide web eletronic publication. Version (06/2017). Disponível em: <www.fishbase.org>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS. **Plano de Manejo da Reserva Particular do Patrimônio Natural Mata do Sossego**: RPPN Mata do Sossego. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2014. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/rppn_mata_sossego_pm.pdf>. Acessado em: 17 jul. 2017.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Manual de procedimentos analíticos para determinação de VRQ de elementos-traço em solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2013.
- _____. **Mapa de solos do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte. Belo Horizonte: FEAM, 2010. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>> Acesso em: 22 maio 2017.
- _____. **Plano de manejo da estação ecológica do Tripuí - Ouro Preto - MG**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 1995. 1 v.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**: período 2015-2016. Relatório Técnico. São Paulo, 2017.

- GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica - Belo Horizonte: Conservação Internacional, 2005.
- GODINHO, A. L. & KYNARD, B. 2008. Migratory fishes of Brazil: life history and fish passage needs. *River. Res. Applic.* DOI: 10.1002/rra.1180
- GOLDER ASSOCIATES BRASIL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA. **Memorando técnico MT-023_159-515-2282_01-B**. Rompimento da barragem de Fundão – caracterização geoquímica de rejeitos de fonte e de rejeitos depositados (base de dados secundária). Belo Horizonte: Golder Associates, 2016.
- _____. **Relatório técnico RT-023_159-515-2282_00-J**. Avaliação dos impactos no meio físico resultantes do rompimento da barragem de Fundão. Belo Horizonte: Golder Associates, 2016.
- GRAÇANO, D.; PRADO J.; AZEVEDO A. Levantamento preliminar de Pteridophyta do Parque Estadual do Rio Doce (MG). **Acta Botânica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 12, n. 2, p. 165-181, 1998.
- GROCH, K. R; COLOSIO, A. C.; MARCONDES, M. C. C.; ZUCCA, D.; DÍAS-DELGADO, J.; NIEMEYER, C.; MARIGO, J.; BRANDÃO, P. E.; FERNANDÉZ, A.; CATÃO-DIAS, J. L. A novel morbilivírus in Guiana-dolphin, Brazil. **Emerging Infectious Diseases**, v. 20, n. 3, p. 511-513, 2014.
- HADDAD, C. F. B.; TOLEDO, L. F.; PRADO, C. P. A. **Anfíbios da Mata Atlântica: guia dos anfíbios anuros da Mata Atlântica**. São Paulo: Editora Neotropica, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Plano de Manejo da Reserva Biológica de Comboios**: fase 1. Ibama, 1997. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/rebio_comboios.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2017.
- _____. **Laudo técnico preliminar impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. Brasília, DF: DIPRO/CGEMA, 2015.
- IEDE. Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.iga.mg.gov.br/IEDE/Catalogo.html>> Acesso em: 21/07/2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Plumas de Sedimentos na Foz do rio Doce**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/Rio_Doce/ibama_mapa_consolicao_plumas_foz_rio_doce_10022017.jpg>. Acesso em: 6 set. 2017a.
- _____. **Parque Nacional Marinho de Abrolhos**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/parnaabrolhos/guia-do-visitante.html>>. Acesso em: 31 ago. 2017b.
- _____. **Plano de Manejo da Floresta Nacional de Goytacazes**. Resumo Executivo. Vitória: ICMBio, 2013. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/resumo_executivo-_jan2013_final.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2017.
- INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS (IEF). **Atlas da fauna em unidades de conservação do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: IEF, 2011. 1 v.
- _____. **Parque Estadual do Rio Doce**. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/component/content/195?task=view>>. Acesso em: 17 jul. 2017a.
- _____. **Banco de Dados de Unidades de Conservação Estaduais**. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/areas-protegidas/banco-de-dados-de-unidades-de-conservacao-estaduais>>. Acesso em: 20 jul. 2017b.
- _____. **Parque Estadual Serra do Ouro Branco: plano de manejo**. Encarte 1. Diagnóstico. Belo Horizonte: IEF, 2017c.

- _____. **Conselho Consultivo Parque Estadual Sete Salões**. IEF, 2013. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/conselhoconsultivo/divulgacao-conselho-saloes.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2017.
- _____. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Rio Doce**. Unidade de conservação e Zona de amortecimento. Encarte 4. Belo Horizonte: IEF, 2001.
- INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IEMA). **Plano de Manejo da APA de Conceição da Barra**. Belo Horizonte: IEMA, 2014. 2 v.
- INSTITUTOS LACTEC (LACTEC). **Monitoramento do processo de assoreamento do reservatório da UHE Mascarenhas**. Relatório Técnico. Projeto HG-161. Curitiba: Lactec, 2001.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Parecer técnico**: processo 3524/2008. Belo Horizonte: IGAM, 2008. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/cerh/ctig/3524-2008-parecer-tecnico.pdf>>. Acesso em: 4 ago. 2017.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN). **The IUCN Red List of Threatened Species**. Version 2017-1. IUCN, 2017. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org>>. Acesso em: 7 de ago. 2017.
- JORDÃO, C. P.; PEREIRA, J. C.; BRUNE, W.; PEREIRA, J. L.; BRAATHEN, P. C. Heavy metal dispersion from industrial wastes in the Vale do Aço, Minas Gerais, Brazil. **Environmental Technology**, v. 17, p. 489-500, 1996.
- JOYEUX, J. C.; CAMPANHA FILHO, E. A.; JESUS, H. C. Trace metal contamination in estuarine fishes from Vitória Bay, ES, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 5, p. 765-774, 2004.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001.
- KARR, J. R. Assessment of biotic integrity using fish communities. **Fisheries**, v. 6, p. 21-27, 1981.
- KEESEN, F.; NUNES, A. V.; SCOSS, L. M. Updated list of mammals of Rio Doce State Park, Minas Gerais, Brazil. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**, v. 38, n. 2, p. 139-162, 2016.
- KLINK, C. A. & MACHADO, R. B. Conservation of the brazilian cerrado. **Conservation Biology**, v.19, n.3, p.707-713, 2005.
- LABOMAR. **Monitoramento ambiental do sistema de produção e escoamento de gás natural dos Campos de Peroá e Congoá, bacia do Espírito Santo**: 2ª campanha de monitoramento. Relatório técnico ambiental. Matinhos, PR: Labomar, 2008a.
- LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. **Conservation and enhancement of soil quality**. Evaluation of Sustainable Land Management in the Developing World, International Board for Soil Research and Management, Bangkok, Thailand. 1991.
- LEITE, F. S. F.; JUNCÁ, F. A.; ETEROVICK, P. C. Status do conhecimento, endemismo e conservação de anfíbios anuros da Serra do Espinhaço, Brasil. **Megadiv**, v. 4, n. 1-2, p. 158-176, 2008.
- LEMES, A. **Relações florísticas, fitossociológicas e aspectos edáficos de comunidades de campos rupestres da Serra do Itacolomi e Serra do Ouro Branco, Minas Gerais**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- LEONARDO, F.; IZOTON, J.; VALIM, H.; CREADO, E.; TRIGUEIRO, A.; SILVA, B.; DUARTE, L.; SANTANA, N. Rompimento da barragem de Fundão (SAMARCO/VALE/BHP BILLITON) e os efeitos do desastre na foz do Rio Doce, distritos de Regência e Povoação, Linhares (ES). **Relatório de Pesquisa**. Vitória: GEPPEDS. 2017. 114 p.
- LIMA E SILVA, C.; COSTA, A. T.; LANDA, G. G.; FONSECA, H. F. C.; SILVEIRA, A. Evaluation of sediment contamination by trace elements and the zooplankton community analysis in area affected by gold exploration in Southeast (SE) of the Iron Quadrangle, Alto Rio Doce, (MG) Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 25, n. 2, p. 150-157, 2013.

- LIMA, H. S. **Qualidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia do Rio Doce e sua relação com aspectos socioambientais**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.
- LIMA, V. C., de LIMA, M. R., MELO, V. de F. **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 130p, 2007.
- LODI, L.; BOROBIA, M. **Baleias, botos e golfinhos do Brasil: guia de identificação**. Rio de Janeiro: Editora Technical Books, 2013.
- LOMBARDI, J.; GONÇALVES M. Composição florística de dois remanescentes de Mata Atlântica do sudeste de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 255-282, set. 2000.
- LOWE-McCONNELL, R. H.. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. São Paulo: EDUSP, 1999.
- LOYOLA, R. et al. Áreas prioritárias para conservação e uso sustentável da flora brasileira ameaçada de extinção. 2014. Disponível em: <<http://dspace.jbrj.gov.br/jspui/handle/doc/28>>. Acesso em: 15 ago. 2017.
- MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília, DF: MMA, 2008.
- MACHADO, R. B. **Padrão de fragmentação da Mata Atlântica em três municípios da bacia do rio Doce (Minas Gerais) e suas conseqüências para a avifauna**. 1995. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1995.
- MAGNAGO, L. **Forest fragmentation on tree communities, functional diversity and carbon storage in a Brazilian Atlantic rain forest**. Tese (Pós-Graduação em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.
- MAIA-BARBOSA, P. M.; MENENDEZ, R. M.; PUJONI, D. G. F.; BRITO, S. L.; AOKI, A.; BARBOSA, F. R. Zooplankton (Copepoda, Rotifera, Cladocera and Protozoa: Amoeba Testacea) from natural lakes of the middle rio Doce basin, Minas Gerais, Brazil. **Biota Neotrop.**, v. 14, n. 1, p. 1-20, 2014.
- MARSHAK, S.; ALKMIM, F. F. Proterozoic contraction/extension tectonics of the Southern São Francisco Region, Minas Gerais, Brazil. **Tectonics**, v. 8, n. 3, p. 555-571, 1989.
- MARTINS, C. C. A.; ANDRIOLO, A.; ENGEL, M. H.; KINAS, P. G.; SAITO, C. H. Identifying priority areas for humpback whale conservation at Eastern Brazilian Coast. **Ocean and Coastal Management**, v. 75, p. 63-71, 2013.
- MARTINS, C.; SILVEIRA, R. A.; NASCIMENTO, N. de. O.; ANTONINI, Y. Fauna de abelhas de campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **MG.BIOTA**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 21-34, 2012.
- MATOS, A. T. de. **Qualidade do meio físico ambiental: práticas de laboratório**. Viçosa: Ed. UFV, 2012.
- MDGEO. **Estudo Hidrogeológico: mapa potenciométrico da região de Linhares/ES**. Proj. MDGEO - contrato Fund. RENOVA nº 4500170624, nov. 2016.
- MEIRA-NETO, J. A. A. et al. Estrutura de uma floresta estacional semidecidual submontana em área de influência da Usina Hidrelétrica de Pilar, Ponte Nova, Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 21, n. 3, p. 337-344, 1997.
- MELO, F. R.; OLIVEIRA, Á. F.; SOUZA, S. M.; FERRAZ, D. S. A fauna de mamíferos e o plano de manejo do Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto, Minas Gerais. **MG.BIOTA**, Belo Horizonte, v. 1, n. 6, 2009.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

- MENEZES, N. A.; BUCKUP, P. A.; FIGUEIREDO, J. L.; MOURA, R. L. **Catálogo das espécies de peixes marinhos do Brasil**. São Paulo: Museu de Zoologia da USP, 2003.
- MESTRINHO, S. S. P. Fundamentos da classificação da qualidade das águas subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 17., 2012. **Anais...** Bonito, ABAS 2012.
- MINAS GERAIS. Decreto nº 39.908, de 22 de setembro de 1998. Cria o Parque Estadual de Sete Salões e dá outras providências. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 23 set. 1998. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=1557>>. Acesso em: 25 jul. 2017.
- _____. Deliberação COPAM nº 366, de 15 de dezembro de 2008. Aprova a Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 18 dez. 2008.
- _____. Deliberação Normativa COPAM nº 147, de 30 de abril de 2010. Aprova a lista de espécies ameaçadas de extinção da fauna do Estado de Minas Gerais. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 4 maio 2010.
- _____. Lei nº 1.119, de 14 de julho de 1944. Dispõe sobre parques florestais. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 1944. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/riodoce/decreto1119.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2017.
- _____. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 26 jul. 2011.
- _____. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). **Parecer único SUPRAM Zona da Mata nº 0615618/2014**. Indexado ao processo de Licenciamento Ambiental (2ª Revalidação da Licença de Operação). Superintendência Regional de Regularização Ambiental da Zona da Mata. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 2014.
- MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (MPMG). Coordenadoria das Promotorias de Justiça de Defesa do Patrimônio Cultural e Turístico Patrimônio Histórico Cultural. **Patrimônio Histórico Cultural**, jun. 2017. Disponível em <http://patrimoniocultural.blog.br/wp-content/uploads/2017/03/Patrimonio-historico-cultural-e-arqueologico-atingidos-diretamente-pelo-rejeito-da-Barragem-Fundao_Comarca-de-Mariana.png>. Acesso em: 2 jun. 2017.
- MITTERMEIER, R. A.; ROBLES-GIL, P.; MITTERMEIER, C. G. **Hotspots: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. Mexico City: CEMEX/Agrupación Seirra Madre, 1999.
- MORAIS, A. C. T. **Concentração de metais pesados em peixes teleósteos do Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Biologia Animal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- MOREIRA, D. O.; COUTINHO, B. R.; MENDES, S. L. O status do conhecimento sobre a fauna de mamíferos do Espírito Santo baseado em registros de museus e literatura científica. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 2, p. 163-173, 2008.
- MOREIRA, D. O.; MENDES, S. L. Diversidade de mamíferos em ecossistemas costeiros do estado do Espírito Santo. In: PESSÔA, L. M.; TAVARES, W. C.; SICILIANO, S. (Eds.). **Mamíferos de restingas e manguezais do Brasil**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Mastozoologia, 2010. p. 59-74.
- MORGENSTERN, N. R.; VICK, S. G.; VIOTTI, C. B.; WATTS, B. D. **The Fundão tailings dam review panel: report on the immediate causes of the failure of the Fundão Dam**. Agosto de 2016.
- MUEHE, D.; SEQUEIRA GARCEZ, D. A plataforma continental brasileira e sua relação com a zona costeira e a pesca. Mercator - **Revista de Geografia da UFC**, v. 4, n. 8, p. 69-88, 2005.

- MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n. 1-2, p. 83-100, 2006.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.
- NELSON, J. S. **Fishes of the world**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2006.
- NEMÉSIO, A.; SILVEIRA, F. A. Edge effects on the orchid-bee fauna (Hymenoptera: Apidae) at a large remnant of Atlantic Rain Forest in southeastern Brazil. **Neotropical entomology**, v. 35, n. 3, p. 313-323, 2006.
- NIENCHESKI, L. F.; MACHADO, E. C.; SILVEIRA, I. M. O.; FLORES MONTES, M. J. Metais traço em peixes e filtradores em quatro estuários da costa brasileira. **Tropical Oceanography**, v. 42, n. 1, p. 94-106, 2014.
- NOGUEIRA, T. A. **Análise da diversidade e efeito de borda na assembléia de borboletas frugívoras da Reserva Biológica de Sooretama – ES**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2012.
- NUNES, R. A. **Composição e estrutura da comunidade zooplanctônica de um estuário tropical (Espírito Santo, Brasil)**. 2010. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.
- NUNES, S.; GARCIA, F.; LIMA, H.; OKANO, R. Mimosoideae (Leguminosae) arbóreas do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil: distribuição geográfica e similaridade florística na floresta atlântica no sudeste do Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 403-421, 2007.
- NUTRIPETRO. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA**. Terminal Portuário de Uso Múltiplo da NutriPetro. São Paulo: NutriPetro, 2013.
- O’LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **GSA Bulletin**, v. 87, p. 1463-1469, 1976.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Applying strategic environmental assessment: good practice guidance for development co-operation**. OECD, 2006.
- ORGANON, Núcleo de Estudo, Pesquisa e Extensão em Mobilizações Sociais. **Impactos socioambientais no Espírito Santo da ruptura da barragem de rejeitos da Samarco**. Relatório preliminar, nov./dez. 2015.
- OTTONI, M.; OTTONI FILHO, T.; SCHAAP, M.; LOPES-ASSAD, M. L.; ROTUNNO FILHO, O. Hydrophysical database for brazilian soils (HYBRAS) and its use in validating brazilian and temperate pedotransfer functions for water retention. **Vadose Zone Journal**, 2017 (submetido).
- PAGLIA, A. P.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; HERRMANN, G.; AGUIAR, L. M. S.; CHIARELLO, A. G.; LEITE, Y. L. R.; COSTA, L. P.; SICILIANO, S.; KIERULFF, M. C. M.; MENDES, S. L.; TAVARES, V.; MITTERMEIER, R. A.; PATTON, J. L. Lista anotada dos mamíferos do Brasil. 2. ed. **Occasional Papers in Conversation Biology**, Arlington, VA, n. 6, 2012.
- PAGLIA, A. P.; LOPES, M. O. G.; PERINI, F. A.; CUNHA, H. M. Mammals of the Estação de Preservação e Desenvolvimento Ambiental de Peti (EPDA-Peti), São Gonçalo do Rio Abaixo, Minas Gerais, Brazil. **Lundiana**, v. 6, p. 89-96, 2005.
- PALMIERI, H. E. L. **Distribuição, especiação e transferência de Hg e As para a biota em áreas do sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG**. 2006. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

- PALMIERI, H. E. L.; LEONEL, L. V. Determination of methylmercury in fish tissue by gas chromatography with microwave-induced plasma atomic emission spectrometry after derivatization with sodium tetraphenylborate. **Fresenius Journal of Analytical Chemistry**, v. 366, p. 466-469, 2000.
- PASSAMANI, M.; MENDES, S. L. **Espécies da fauna ameaçadas de extinção no estado do Espírito Santo**. Vitória: Instituto de Pesquisas da Mata Altântica, 2007.
- Pauly, D.; Christensen, V.; Guénette, S.; Pitcher, T.; Sumaila, U.; Walters, C.; Watson, R.; Zeller, D. Towards sustainability in world fisheries. **Nature**, v. 418, p. 689-695, 2002.
- PAULY, D.; TRITES, A. W.; CAPULI, E.; CHRISTENSEN, V. Diet composition and trophic levels of marine mammals. **ICES Journal of Marine Science**, v. 55, p. 467-481. 1998.
- PAYE, H. de S. **Valores de Referência de Qualidade para metais pesados em solo no Estado do Espírito Santo**. Viçosa, Minas Gerais, 2008. (Dissertação de Mestrado)
- PAYE, H. de S.; MELLO, J.W.V de; ABRAHÃO, W.A.P.; FILHO, E.I.F.; DIAS, L.C.P.; CASTRO, M.L.O.; MELO, S.B. de; FRANÇA, M.M. Valores de Referência De Qualidade para Metais Pesados Em Solos No Estado Do Espírito Santo. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, 34:2041-2051, 2010.
- PEIXOTO, R. S.; BRANDÃO, L. P. M.; VALADARES, C. F.; BARBOSA, P. M. M. Occurrence of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) and *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro, 1957 in lakes of the Middle River Doce, MG, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 22, n. 3, p. 356-360, 2010.
- PERACCHI, A. L.; NOGUEIRA, M. R.; LIMA, I. P. Novos achegos à lista dos quirópteros do município de Linhares, estado do Espírito Santo, sudeste do Brasil (Mammalia, Chiroptera). **Chiroptera Neotropical**, v. 17, n. 1, 2011.
- PEREIRA, A. A.; VAN HATTUM, B.; BROUWER, A.; VAN BODEGOM, P. M.; REZENDE, C. E.; SALOMONS, W. Effects of iron-ore mining and processing on metal bioavailability in a tropical coastal lagoon. **Journal of Soils and Sediments**, v. 8, p. 239-252, 2008.
- PEREIRA, A. A.; VAN HATTUM, B.; DE BOER, J.; VAN BODEGOM, P. M.; REZENDE, C. E.; SALOMONS, W. Trace elements and carbon and nitrogen stable isotopes in organisms from a Tropical Coastal Lagoon. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 59, p. 464-477, 2010.
- PEREIRA, A. A.; VAN HATTUM, B.; BROUWER, A. Hepatic retinoid levels in seven fish species (teleosts) from a tropical Coastal lagoon receiving effluents from iron-ore mining and processing. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 31, p. 408-416, 2012.
- PEREIRA, E. L. **Estudo do potencial de liquefação de rejeitos de minério de ferro sob carregamento estático**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.
- PERENCO. **EIA – atividade de perfuração marítima dos blocos BM-ES-37, 38, 39, 40 e 41**. Bacia do Espírito Santo. Perenco, dez., 2009.
- PETROBRAS. **EIA – Estudo de Impacto Ambiental para o Gasoduto Sul Norte Capixaba**. COM RT 086/10. Espírito Santo: Petrobras, 2011.
- _____. **EIA – Estudo de Impacto Ambiental**. Gasoduto Cacimbas – CATU. Revisão da Diretriz do EIA. Tomo I/IV. Espírito Santo: Petrobras, mar. 2006.
- PIACENTINI, V. Q.; ALEIXO, A.; AGNE, C. E.; MAURICIO, G. N.; PACHECO, J. F.; BRAVO, G. A.; BRITO, G. R. R.; NAKA, L. N.; OLMOS, F.; POSSO, S.; SILVEIRA, L. F.; BETINI, G. S.; CARRANO, E.; FRANZ, I.; LEES, A.C.; LIMA, L. M.; PIOLI, D.; SCHUNCK, F.; AMARAL, F. R.; BENCKE, G. A.; COHN-HAFT, M.; FIGUEIREDO, L. F. A.; STRAUBE, F. C.; CESARI, E. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee / Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 23, n. 2, p. 91-298, 2015.

- PINHEIRO, F. C. F. **Padrões de uso de habitat do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) na região da foz do rio Doce, costa norte do Espírito Santo, Sudeste do Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.
- PINTO-COELHO, R. M. Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso: O rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG). **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico UFMG**, v. 24, n. 1, p. 16-43, 2015.
- PIRANI, R. M.; NASCIMENTO, L. B.; FEIO, R. N. Anurans in a forest remnant in the transition zone between cerrado and atlantic rain forest domains in southeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 3, p. 1093-1104, 2013.
- PIRES, J. M. M.; LENA, J. C.; MACHADO, C. C.; PEREIRA, R. S. Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco Mineração: estudo de caso da barragem de Germano. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 393-397, 2003.
- PIVARI, M.; OLIVEIRA, V.; COSTA, F.; FERREIRA R.; SALINO, A. Macrófitas aquáticas do sistema lacustre do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 4, p. 759-770, 2011.
- PIVARI, M.; SALIMENA F.; POTT, V.; POTT, A. Macrófitas aquáticas da lagoa Silvana, Vale do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **IHERINGIA**, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 63, n. 2, p. 321-327, jul./dez. 2008.
- POLIZEL, S. P.; ROSSETTI, D. F. Caracterização morfológica do delta do rio Doce (ES) com base em análise multissensor. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, p. 311-326, 2014.
- PRESERVE MURIQUI. **Plano de Manejo da RPPN Feliciano Miguel Abdala**. Preserve Muriqui, 2014.
- QUEIROZ, M. T. A.; SABARÁ, M. G.; QUEIROZ, C. A.; LEÃO, M. M. D.; AMORIM, C. C.; LIMA, L. R. P. Estudo sobre os teores de tório, urânio e potássio nas águas superficiais e sedimento marginal do rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 371-380, 2017.
- RAMELOW, G. J.; WEBRE, C. L.; MUELLER, C. L.; BECK, J. N.; YOUNG, J. C.; LANGLEY, M. P. Variations of heavy metals and arsenic in fish and other organisms from the Calcasieu River and Lake, Louisiana. **Archives of Environmental Contamination Toxicology**, v. 18, p. 804-818, 1989.
- RAMOS, A. D.; GASPARINI, J. L. **Anfíbios do Goiapaba-Açu, Fundão, estado do Espírito Santo**. Vitória: Gráfica Santo Antônio, 2004.
- RAMOS, W. E. S. **Contaminação por mercúrio e arsênio em Ribeirões do Quadrilátero Ferrífero – MG, em área de mineração e atividades garimpeiras**. 2005. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA (RBMA). **Texto Síntese**. Disponível em: <http://www.rbma.org.br/rbma/rbma_1_textosintese.asp>. Acesso em: 8 ago. 2017b.
- REZENDE, H. R.; VIRGENS, T. M. DAS.; LIBERATO, M. A.; VALENTE, F. I.; FERNANDES, A.; URBINATTI, P. R. Aspectos ecológicos de culicídeos imaturos em larvitampas de floresta e ambiente antrópico adjacente no município de Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 385-391, 2011.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. Recomendações Para O Uso De Corretivos E Fertilizantes Em Minas Gerais 5ª Aproximação. **Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais**, Viçosa, MG, 359p, 1999.
- RIZZARDI, A. S. **Avaliação e caracterização dos sedimentos transportados no rio Vacaraí Mirim**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- ROLIM, S.; IVANAUSKAS, N.; RODRIGUES, R.; NASCIMENTO, M.; GOMES, J.; FOLLI, D.; COUTO, H. Composição florística do estrato arbóreo da floresta estacional semidecidual na planície

- aluvial do rio Doce, Linhares, ES, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 20, n. 3, p. 549-561, 2006.
- RONQUIM, C.C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: **Embrapa Monitoramento por Satélite**, 26p, 2010. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8)
- RYLANDS, A. B.; FONSECA, G. A. B.; LEITE, Y. L.; MITTERMEIER, R. A. Primates of the Atlantic forest, origin, distributions, endemism, and communities. In: NORCONK, P. (Ed.). **Adaptive radiations of neotropical primates**. New York: Plenum Press, 1996. p. 21-51.
- SABINO, W. O.; FERREIRA, R. de P.; ANTONINI, Y. A apifauna do Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto, Minas Gerais. **MG.BIOTA**, v. 3, n. 6, p. 19-25, 2011.
- SADLER, B. A. Framework approach to strategic environmental assessment: aims, principles and elements of good practice. In: DUSIK, J. (Ed.). **Proceedings of international workshop on public participation and health aspects in strategic environmental assessment**. Szentendre, Hungary: The Regional Environmental Center, 2001.
- SALLES, F. F.; NASCIMENTO, J. M. C. DO; MASSARIOL, F. C. et al. Primeiro levantamento da fauna de Ephemeroptera (Insecta) do Espírito Santo, Sudeste do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 1, p. 293-307, 2010.
- SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2008.
- SANGAL, B. P. Practical methods of estimating peak flow. **Journal of Hydraulic Eng.**, v. 109, n. 4, p. 549-563, 1983.
- SANTO, N. B. E.; RIBEIRO, S. P. Invasões biológicas de dossel: *Linepithema humile* Mayr 1868 (Hymenoptera, Formicidae): um desastre silencioso. **MG.BIOTA**, Belo Horizonte, v. 3, n. 5, 2010/2011.
- SANTOS, S. M.; MOLINA, N. S.; CETRULO, T. B.; GOMES, P. R.; MALHEIROS, T. F. O escopo da avaliação ambiental estratégica. **INGEPRO**, v. 2, n. 6, p. 101-112, jul. 2010.
- SANTUÁRIO DO CARAÇA. Província Brasileira da Congregação da Missão. Associação de RPPN e Reservas Privadas de Minas Gerais. **Plano de Manejo da RPPN "Santuário do Caraça"**. Santa Bárbara: Santuário da Caraça, 2013.
- SÃO PEDRO, V. A.; FEIO, R. N. Distribuição espacial e sazonal de anuros em três ambientes na Serra do Ouro Branco, extremo sul da Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais, Brasil. **Biotemas**, v. 23, n. 1, p. 143-154, 2010.
- SÃO PEDRO, V. A.; PIRES, M. R. S. As serpentes da região de Ouro Branco, extremo sul da Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 56, n. 2, p. 166-171, 2009.
- SCAPIN, J.; PAIVA, J. B. D.; BELING, F. A. Avaliação de métodos de cálculo do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano. **ABRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12 n. 4, p. 5-21, 2007.
- SCHIFFLER, G.; SCHIFFLER, G.; VAZ-DE-MELLO, F. Z. et al. Scarabaeidae s.str. (Coleoptera) do Delta do Rio Doce e Vale do Suruaca no Município de Linhares, Estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoociências**, v. 5, n. 2, p. 205-211, 2003.
- SCHULZ, U. H.; MARTINS-JUNIOR, H. *Astyanax fasciatus* as bioindicator of water pollution of Rio dos Sinos, RS, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 61, n. 4, p. 615-622, 2001.
- SCITECH. **6º Relatório Anual**. Processo administrativo nº 02022.001407/2010. CGPEG/DILIC/IBAMA. Relatório Técnico elaborado para a PETROBRAS. Rio de Janeiro: Scitech, 2017.
- SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL DE POLÍTICA URBANA E GESTÃO METROPOLITANA DO GOVERNO DE MINAS GERAIS (SEDRU). **Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG**. Responsável: Grupo da Força-Tarefa. Belo Horizonte, 2016. 287p.

- SECRETARIA DE ESTADO PARA ASSUNTOS DO MEIO AMBIENTE (SEAMA). **Projeto monitoramento da qualidade das águas costeiras no estado do Espírito Santo**: campanha de campo. Relatório técnico. Belo Horizonte: SEAMA, dez. 1992.
- SEGALLA, M. V.; CARAMASCHI, U.; CRUZ, C. A. G.; GRANT, T.; HADDAD, C. F. B.; GARCIA, P. C. A.; BERNECK, B. V. M.; LANGONE, J. Brazilian amphibians: list of species. **Herpetologia Brasileira**, v. 5, n. 2, p. 34-46, 2016.
- SETE SOLUÇÕES E TECNOLOGIA AMBIENTAL (SETE). **Estudo de impacto ambiental**: otimização da barragem de rejeitos do Fundão. v.01, 844 p. Responsável pelo empreendimento: Samarco Mineração S.A. Responsável pelo relatório: Sete Soluções e Tecnologia Ambiental, 2012.
- SEYBOLD, C.A., MAUSBACH, M.J.; KARLEN, D.L.; ROGERS, H.H. **Quantification of soil quality**. In R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett and B.A. Stewart, eds. *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press. Washington, D.C., USA, 1997.
- SIGRIST, T. **Guia de Campo Avis Brasilis – Avifauna Brasileira**: Pranchas e Mapas. São Paulo: Avis Brasilis, v. 1, 480p, 2009.
- SILVA, A. R. M.; GUIMARÃES, M. P. M.; VITALINO, R. F.; BAGNI, Â. S.; MARTINS, Y. E.; CORDEIRO, A. M.; DE OLIVEIRA, E. V. Borboletas frugívoras do Parque Estadual do Rio Doce/MG. **MG.BIOTA**, v. 3, n. 4, p. 5-21, 2010.
- SILVA, C. L. **Estudo da qualidade da água na sub-bacia do ribeirão do Carmo (MG), com ênfase na geoquímica e na comunidade zooplânctônica**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.
- SILVA, D. L.; FERREIRA, M. C.; SCOTTI, M. R. O maior desastre ambiental brasileiro: de Mariana (MG) a Regência (ES). **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico UFMG**, v. 24, n. 1, 136-158, 2015.
- SILVA, J. Geoprocessamento e análise ambiental. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 54, n. 3, p. 47-61, 1992.
- SILVEIRA, A. L.; PIRES, M. R. S.; COTTA, G. A. **Composição faunística de Serpentes da região de Ouro Preto, Mariana e Itabirito**, Minas Gerais, Brasil. In: XXV Congresso Brasileiro de Zoologia, Brasília. Resumos, UnB. p. 389, 2004.
- SILVEIRA, I. C. A.; SCHIMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S.; IKEDA, Y. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira, **Rev. bras. Oceanogr.**, v. 48, n. 2, p. 171-183, 2000.
- SIMON, J. E. A lista das aves do estado do Espírito Santo. In: SIMON, J. E.; RAPOSO, M. A.; STOPIGLIA, R.; PERES, J. (Orgs.). **Livro de resumos do XVII Congresso Brasileiro de Ornitologia**. TEC ART. Editora: São Paulo, 2009. p. LV-LXXXVIII.
- SIMONELLI, M.; SOUZA, A.; PEIXOTO, A.; SILVA, A. Floristic Composition and Structure of the Tree Component of a Muçununga Forest in the Linhares Forest Reserve, Espírito Santo, Brazil. In: THOMAZ, W. W. (Ed.). **The Atlantic Coastal Forest of Northeastern Brazil**. New York: Botanical Garden Press, 2008. p. 345-364.
- SOBRINHO, T. A.; SONE, J. S.; ANACHE, J. A. A.; ALMEIDA, I. K.; SOUZA, J. S.; CARVALHO, G. A.; GODOY, M. T. R.; POMPEU, R. M.; COUTO, C. B. Avaliação de métodos para a estimativa da descarga sólida total em rios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2013.
- SOLÁ, M. **Análise de Remanescentes de Mata Atlântica em função das classes de declividade do terreno na região do Parque Estadual do Rio Doce, MG**. 2001. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.
- SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**. Período 2015-2016. Relatório Técnico. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/link/Atlas_Mata_Atlantica_2015-2016_relatorio_tecnico_2017.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2017.

- SOUZA, A. M.; CONDÉ, R.; ORSINI, V. Levantamento da herpetofauna em área antropizada situada na zona de amortecimento do Parque Estadual do Rio Doce, MG. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 9., 2009, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço, 2009.
- SOUZA, I. C.; DUARTE, I. D.; PIMENTEL, N. Q.; ROCHA, L. D.; MOROZESK, M.; BONOMO, M. M.; AZEVEDO, V. C.; PEREIRA, C. D. S.; MONFERRÁN, M. V.; MILANEZ, C. R. D.; MATSUMOTO, S. T.; WUNDERLIN, D. A.; FERNANDES, M. N. Matching metal pollution with bioavailability, bioaccumulation and biomarkers response in fish (*Centropomus parallelus*) resident in neotropical estuaries. **Environmental Pollution**, v. 180, p. 136-144, 2013.
- SOUZA, J. J. L. et al. Geochemistry and spatial variability of metal(loid) concentrations in soils of the state of Minas Gerais, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 505, p. 338-349, 2015.
- SOUZA, M. M. de; PIRES, E. P.; FERREIRA, M.; LADEIRA, T. E.; PEREIRA, M.; ELPINO-CAMPOS, Á.; ZANUNCIO, J. C. Biodiversidade de vespas sociais (Hymenoptera: Vespidae) do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **MG.BIOTA**, v. 5, n. 1, p. 4-19, 2012.
- SOUZA, P. **Diversidade florística e atributos pedológicos ao longo de uma encosta com floresta estacional semidecidual submontana, zona de amortecimento do Parque Estadual do Rio Doce, MG**. 2008. Tese (Pós-Graduação em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- STOTZ, D. F.; FITZPATRICK, J. W.; PARKER III, T. A.; MOSKOVITS, D. K. **Neotropical birds: ecology and conservation**. University of Chicago Press, Chicago, 1996.
- TALAMONI, S. A.; AMARO, B. D.; CORDEIRO-JÚNIOR, D. A.; CARLOS EDUARDO, M.; MACIEL, A. Mammals of Reserva Particular do Patrimônio natural Santuário do Caraça, state of Minas Gerais, Brazil. **Checklist**, v. 10, n. 5, p. 1005-1013, 2014.
- TEIXEIRA, C. C. A **(Re)Organização da beira-mar: diferentes modos de uso e ocupação no Norte do Espírito Santo**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.
- TEMPONI, L.; GARCIA, F.; SAKURAGUI, C.; OKANO. Araceae do Parque Estadual do Rio Doce, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 20, n. 1, p. 87-103, 2006.
- TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 11-23, 2005.
- TORRES, J. P. M.; SOUZA, J.; PADILHA, J.; OLIVEIRA, G.; PAIVA, T. **Contaminação por metais pesados na água utilizada por agricultores familiares na Região do Rio Doce**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2017. Disponível em: <www.greenpeace.org.br/hubfs/Campanhas/Agua_Para_Quem/documentos/greenpeace_estudo_agua_riodoce%20.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- TRUHAUT, R. Ecotoxicology – a new branch of toxicology: a general survey of its aims, methods and prospects. In: NATO, C. R. (Ed.). **Environmental Science Research Series**, New York: Ecological Toxicology Research, 7. 1975. p. 3-23.
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.
- UETZ, P.; HOŠEK, J. (Eds.). **The Reptile Database**. 2016. Disponível em: <<http://www.reptile-database.org>>. Acessado em: 22 jun. 2017.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO (UFES). **Monitoramento da influência da pluma do rio Doce após o rompimento da barragem de rejeitos em Mariana/MG – novembro de 2015: processamento, interpretação e consolidação de dados**. Vitória: UFES, 2017. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/Rio_Doce/relatorio_consolidado_ufes_rio_doce.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2017.
- _____. **Resultados parciais das análises realizadas em amostras coletadas na plataforma adjacente a foz do Rio Doce, APA Costa das Algas e Plataforma de Abrolhos**: Embarque Solocy Moura. Relatório técnico parcial. Vitória: UFES, 2016.

- URAMOTO, K. **Diversidade de moscas-das-frutas (Diptera, Tephritidae) em pomares comerciais de papaia em áreas remanescentes da Mata Atlântica e suas plantas hospedeiras nativas, no município de Linhares, Espírito Santo**. 2007. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.
- VASCONCELOS, M. F. de. **RPPN – Avifauna**. Santa Bárbara: Santuário da Caraça, 2017. Disponível em: <<http://www.santuariodocaraca.com.br/rppn-o-que-e/rppn-avifauna>>. Acesso em: 25 ago. 2017.
- VEADO, M. A. R. V.; MENEZES, M. A. B. C.; QUEIROZ, M. A. T.; COSTA, A. A.; LOPES, G. F.; OLIVEIRA, A. H. Nuclear Application in Studies of Environmental Pollution in Brazil. In: PACIFIC BASIN NUCLEAR CONFERENCE, 16., 2008, Aomori, Japan. **Proceedings...** Aomori, Japan, 2008. Disponível em: <https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:41018080>. Acesso em: 19 jun. 2017.
- VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. Uma Visão Sobre Qualidade Do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:743-755, 2009.
- Vogt, R. C.; Fagundes, C. K.; Bataus, Y. S. L.; Balestra, R. A. M.; Batista, F. R. W.; Uhlig, V. M.; Silveira, A. L.; Bager, A.; Batistella, A. M.; Souza, F. L.; Drummond, G. M.; Reis, I. J.; Bernhard, R.; Mendonça, S. h. S. T.; Luz, V. L. F. **Avaliação do risco de extinção dos quelônios continentais no Brasil**. Processo de avaliação do risco de extinção da fauna brasileira. Brasília, DF: ICMBio, 2015. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/estado-de-conservacao/2791-repteis-quelonios-continentais>>. Acesso em: 25 maio 2017.
- WATERGEO. **Caracterização hidrogeológica da área da Nova Bento Rodrigues com vista à avaliação do abastecimento público de água**. Relatório técnico emitido por Watergeo Solutions. rev. 01. 2016.
- WELLS, R. S.; RHINEHART, H. L.; HANSEN, L. J.; SWEENEY, J. C.; TOWNSEND, F. I.; STONE, R.; CASPER, D. R.; SCOTT, M. D.; HOHN, A. A.; ROWLES, T. K. Bottlenose dolphins as marine ecosystem sentinels: developing a health monitoring system. **EcoHealth**, p. 1, p. 246-254, 2004.
- WOLFF, A. P. **Caracterização de rejeitos de minério de ferro de minas da Vale**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- ZHOURI, A.; VALENCIO, N.; OLIVEIRA, R.; ZUCARELLI, M.; LASCHEFSKI, K.; SANTOS, A. F. O desastre da Samarco e a política das afetações: classificações e ações que produzem o sofrimento social. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, jul./set. 2016.