

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

Atualização Linha-Base Contextualização

Institutos Lactec
Curitiba – Paraná – Brasil
Junho/2019



Documento:	Atualização Linha-Base – Contextualização
Considerações Gerais:	Este documento refere-se à atualização do relatório de linha-base até outubro de 2018, quanto a parte introdutória e de contextualização, parte integrante do Diagnóstico Socioambiental dos Danos Decorrentes do Rompimento da Barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce e Região Costeira Adjacente, o qual apresenta a caracterização dos ambientes antes do desastre.
Contrato:	4500173758 – Samarco/Lactec
Solicitante:	Empresa: Ministério Público Federal Procuradoria da República em Minas Gerais
	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 Meio Ambiente
	Aprovado por: _____ Tânia Lucia Graf de Miranda, D. Sc. Engenheira Agrônoma / CREA RS 069105/D Gerente de Serviços Tecnológicos e Inovação
	_____ Luiz Alkimin de Lacerda, D. Sc. Engenheiro Civil / CREA PR 155674/D Gerente de Pesquisa e Inovação

PRESIDÊNCIA		
Luiz Fernando Vianna	Diretor Presidente	
DIRETORIA		
Lauro Elias Neto	Diretor de Operações Tecnológicas	
Hélio Padilha	Diretor de Desenvolvimento Tecnológico	
Luiz Fernando Vianna	Diretor Administrativo-Financeiro	
GERÊNCIA DE SEGMENTO		
André Ricardo Capra	MSc., Engenheiro Mecânico	Ensaio e Análises Laboratoriais
Luiz Alkimin de Lacerda	DSc., Engenheiro Civil	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
Tania Lucia Graf de Miranda	DSc., Engenheira Agrônoma	Serviços Tecnológicos e Inovação
GERÊNCIA DE ÁREA		
Betina Lepretti Medeiros	MSc., Engenheira Civil	Estruturas Cíveis
Fabiano Scheer Hainosz	MSc. Engenheiro Cartógrafo	Geossoluções
Guilherme Cunha da Silva	DSc., Engenheiro Eletricista	Materiais
Leandro Zem	Administrador de Empresas	Escritório de Projetos
Jefferson Arndt	Esp., Analista de Sistemas	Inteligência de Negócios
Rodrigo Soares Ferreira	MSc., Químico	Análises Químicas
Rosana de Fátima Colaço Gibertoni	MSc., Engenheira Civil	Meio Ambiente
EQUIPE TÉCNICA		
COORDENAÇÃO DO PROJETO		
Leonardo Pussieldi Bastos	MSc., Biólogo	Coordenação Geral
Luiz Alkimin de Lacerda	DSc., Engenheiro Civil	Coordenação Técnica
Tania Lucia Graf de Miranda	DSc., Engenheira Agrônoma	Coordenação Técnica
Gleiciane Fernanda de Carvalho Blanc	MSc., Engenheira Ambiental	Coordenação Executiva
GESTÃO E ACOMPANHAMENTO		
Franciele Dãobroski	Esp., Eng. Eletricista	Analista de Projeto
Guilherme de Poli	Administrador de Empresas	Analista de Projeto
EQUIPE EXECUTORA		
Ana Paula Zampieri da Silva	Téc. em Geoprocessamento	Geoprocessamento
Cesar João Andreazza	Analista de Sistemas	Geoprocessamento
Danielle Drago	Engenheira Cartógrafa	Geoprocessamento
Edson Haruo Yoshizumi	Téc. em Geoprocessamento	Geoprocessamento
Lázaro Filipe de Souza	Geógrafo	Geoprocessamento
Maricler Toigo	Esp., Analista de Sistemas	Geoprocessamento
Peterson da Silva Beherend	Técnico em Geoprocessamento	Geoprocessamento
Yuri Arnold Gruber	Engenheiro Civil	Geoprocessamento
Karime Dawidziak Piazzetta	MSc., Processos Ambientais	Qualidade do Ar
Luis Eduardo Soares Mayer	Geógrafo	Qualidade do Ar
Alika Solange Ferraro Pires	MSc., Engenheira Química	Saneamento
Bruna Pereira de Souza	MSc., Engenheira Ambiental	Saneamento e Fontes de Poluição
Ellen Christine Prestes Ferronato	Esp., Engenheira Ambiental	Saneamento

Thiago Carvalho de Mello	MSc., Engenheiro Químico	Fontes de Poluição
Betina Lepretti Medeiros	MSc., Engenheira Civil	Caracterização do rejeito
Bruno Endo Ribeiro	Engenheiro Civil	Caracterização do rejeito
Kleber Franke Portella	Dr., Químico	Caracterização do rejeito
Mariana D'Orey Gaivão Portella Bragança	Dra., Engenheira Ambiental	Caracterização do rejeito
Joubert Weigert Favaro	Engenheiro Ambiental	Geotecnia e Caracterização do Rejeito
José Henrique Ferronato Pretto	M.Sc., Engenheiro Civil	Geotecnia e Caracterização do Rejeito
Marcelo Buras	M.Sc., Engenheiro Civil	Geotecnia e Caracterização do Rejeito
Rodrigo Moraes da Silveira	Dr., Engenheiro Civil	Geotecnia e Caracterização do Rejeito
Antônio Carlos Vargas Motta	Dr., Engenheiro Agrônomo	Solos
Araína Hulmann Batista	Dra., Engenheira Agrônoma	Solos
Bernardo Lipski	MSc., Engenheiro Agrônomo	Solos
Letícia de Pierri	Dra., Engenheira Agrônoma	Solos
Fernando Mainardi Fan	Dr., Engenheiro Ambiental	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Hugo de Oliveira Fagundes	M.Sc., Engenheiro Ambiental	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Irani dos Santos	Dr., Geógrafo	Hidrologia e Hidrossedimentologia
João Batista Dias de Paiva	Dr., Engenheiro Civil	Hidrologia e Hidrossedimentologia
João Paulo Jankowski Saboia	M.Sc., Engenheiro Ambiental	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Julio Werner Yoshioka Bernardo	M.Sc., Engenheiro Ambiental	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Rodrigo Cauduro Dias de Paiva	Dr., Engenheiro Civil	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Rosana de Fátima Colaço Gibertoni	M.Sc., Engenheira Civil	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Rubem Luiz Daru	D.Sc., Engenheiro Civil	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Tobias Bernward Bleninger	Dr., Engenheiro Civil	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Gheysa do Rocio Moraes Pires	M.Sc., Química Ambiental	Qualidade dos Sedimentos
Isabella Françoso Rebutini Figueira	Dra., Geóloga	Geologia, Qualidade dos Sedimentos e Caracterização do Rejeito
Ernesto Goldfarb Figueira	MSc., Geólogo	Águas subterrâneas, geologia, Espeleologia, Qualidade dos Sedimentos, Solos e Caracterização do Rejeito.
Leoardo Evangelista Lagoeiro	Dr., Geólogo	Geologia e Caracterização do Rejeito
André Virmond Lima Bittencourt	Dr., Engenheiro Químico	Águas Subterrâneas
Ana Carolina Canossa Becker	Engenheira Civil	Águas Superficiais Fluviais
Ana Carolina Wosiack	MSc., Bióloga	Águas Superficiais Fluviais
Marianne Schaefer França Sieciechowicz	MSc., Engenheira Ambiental	Águas Superficiais Fluviais
Nicole Machuca Brassac de Arruda	Dra., Bióloga	Águas Superficiais Fluviais
Alexandre Brandelli	MSc., Oceanógrafo	Águas Superficiais Estuarinas e Costeiras
Emilio Marcelo Dolichney	BSc., Oceanógrafo	Águas Superficiais Estuarinas e Costeiras
Fernando Luiz Diehl	MSc., Oceanógrafo	Águas Superficiais Estuarinas e Costeiras
Josiane Rovedder	MSc., Bióloga	Águas Superficiais Estuarinas e Costeiras

Luciano Hermanns	Dr., Oceanógrafo	Águas Superficiais Estuarinas e Costeiras
Ludmilla Dias Vincula Veado	Msc., Oceanógrafa	Águas Superficiais Estuarinas e Costeiras e Zooplâncton
Rafaela Michels da Silveira	MSc., Oceanógrafa	Águas Superficiais Estuarinas e Costeiras
Susan da Silva	Tecnóloga em Gestão Ambiental	Águas Superficiais Estuarinas e Costeiras
Tomaz Bohrer Brentano	Engenheiro Ambiental	Águas Superficiais Estuarinas e Costeiras
Priscila Izabel Tremarin	Dra., Bióloga	Fitoplâncton, Águas Superficiais Fluviais, Estuarinas e Costeiras
Patrícia Dammski Borges de Andrade	MSc., Bióloga	Águas Superficiais Fluviais, Zooplâncton e Cetáceos
Camila Ghilardi Cardoso Fontanella	M.Sc., Bióloga	Macroinvertebrados Aquáticos e Quelônios
Rosemary Aparecida Brogim	Dra., Bióloga	Bentos de Fundo Inconsolidados
Fernando Camargo da Silva	Esp., Engenheiro Florestal	Flora
Juliano José da Silva Santos	MSc., Biólogo	Flora e Espeleologia
Marcelo Alejandro Villegas Vallejos	MSc., Biólogo	Fauna Silvestre
Robson Odeli Espíndola Hack	Esp., Biólogo	Fauna Silvestre e Áreas de Conservação
Luiz Eduardo Macedo Reis	Dr., Biólogo	Entomofauna
Rafael Lucchesi Balestrin	Dr., Biólogo	Herpetofauna Terrestre
Fabrizio Locatelli Trein	Esp., Biólogo	Quelônios
Letícia de Paulo Koproski	Dra., Médica Veterinária	Quelônios
Lucas Reinert Laufer Pereira Mendes	Biólogo	Quelônios
Matheus Ferreira de Souza	Médico Veterinário	Quelônios
Raphael Eduardo Fernandes Santos	Esp., Biólogo	Avifauna
Andressa Gatti	Dra., Bióloga	Mastofauna Terrestre
Daniel da Silva Ferraz	Dr., Biólogo	Mastofauna Terrestre
João Eduardo Cavalcanti Brito	MSc., Biólogo	Mastofauna Terrestre
Michel Barros Faria	Dr., Biólogo	Mastofauna Terrestre
Paulo Rogerio Mangini	Dr., Médico Veterinário	Mastofauna Terrestre
Matheus Oliveira Freitas	Dr., Biólogo	Ictiofauna e Pesca
Maurício Belézia de Oliveira	Esp., Biólogo	Ictiofauna e Pesca
Vinícius Abilhoa	Dr., Biólogo	Ictiofauna e Pesca, Bentos de Fundo Consolidados
Leonardo Liberali Wedekin	Dr., Biólogo	Cetáceos
Samira Costa da Silva	MSc., Médica Veterinária	Cetáceos
Luciana Rodrigues de Souza Bastos	Dra., Bióloga	Ecotoxicologia
ESTAGIÁRIOS		
Nayara Caroline Majewski Ulbrich	Agronomia	Solos
Alcides Conte Neto	Estatística	Solos, Águas Superficiais Fluviais, Qualidade de Água e Qualidade de Sedimentos

Angel Aparecida Maia	Geologia	Qualidade dos Sedimentos
Jéssica Cristina Lozovei	Geografia	Qualidade dos Sedimentos
Andressa Muraro	Engenharia Cartográfica	Geoprocessamento
Eliana Vieira de Freitas	Engenharia Cartográfica	Geoprocessamento
Matheus de Andrade Machado	Engenharia Cartográfica	Geoprocessamento
Nilo Kruschelski	Engenharia Civil	Hidrologia e Hidrossedimentologia
João Marcos Carvalho	Engenharia Civil	Hidrologia e Hidrossedimentologia
Luiz Guilherme Tatsch Henriqui	Engenharia Ambiental	Ecotoxicologia
Priscila Brum de Camargo	Engenharia Sanitária e Ambiental	Águas Superficiais Estuarinas e Costeiras
Camila da Silva Moreira	Engenharia Química	Saneamento
Karin Thays Ferreira Gomes	Engenharia Química	Saneamento
Esther Dyck	Engenharia Civil	Geotecnia
Natália Nadolny Ungaratti	Engenharia Ambiental	Águas Superficiais Fluviais
Eduardo Miguel Zanette Correia	Ciências Biológicas	Cetáceos
Jaqueline Schmidt	Ciências Biológicas	Zooplâncton
Isabela Martins Hoff Grando	Ciências Biológicas	Zooplâncton
Karina Macagnam	Engenharia Química	Indústrias
Renan José Alberton Disner	Engenharia Ambiental	Indústrias

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Divisão dos ambientes apresentada na atualização do relatório de linha-base.....	22
Figura 2 – Ferramenta desenvolvida para a visualização dos dados geoespaciais em ambiente <i>web</i> ..	24
Figura 3 – Distribuição dos Pontos utilizados na validação das ortoimagens orbitais.	25
Figura 4 – Discrepâncias dos pontos avaliados, relativos as ortoimagens orbitais referentes ao período pré-desastre (T0).	26
Figura 5 – Discrepâncias dos pontos avaliados, relativos as ortoimagens orbitais referentes ao período pós-desastre (T1).	26
Figura 6 – Discrepâncias dos pontos avaliados, relativos as ortoimagens orbitais referentes ao período pós-desastre (T2).	27
Figura 7 – Mapa de localização da área de estudo.	28
Figura 8 – Localização e principais rios formadores da bacia hidrográfica do rio Doce.....	30
Figura 9 - Divisão das Sub-bacias do Rio Doce	37
Figura 10 – CBH Barra Seca e Foz do Rio Doce.....	38
Figura 11 – CBH Pontões e Lagoas do Rio Doce	38
Figura 12 - Pontos de Lançamento de Efluentes Industriais na Bacia do Rio Doce.....	39
Figura 13 - Situação do Lançamento de Efluentes Industriais na Bacia do Rio Doce	40
Figura 14 - Número de Declarações de Carga Poluidora recebidas pela FEAM em 2014, na bacia do Rio Doce, em MG.	41
Figura 15 - Delimitação da UPGRH Piranga e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Piranga.....	44
Figura 16 - Número de Declarações por Código de Tipologia na Bacia do Rio Piranga.....	45
Figura 17 - Localização dos Pontos de Lançamento de Efluente Industrial na Bacia do Rio Piranga. ...	45
Figura 18 - Delimitação da UPGRH Piracicaba e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba.....	46
Figura 19 - Número de Declarações por Código de Tipologia na Bacia do Rio Piracicaba.	47
Figura 20 - Localização dos Pontos de Lançamento de Efluente Industrial na Bacia do Rio Piracicaba.....	47
Figura 21 - Delimitação da UPGRH Santo Antônio e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio	48
Figura 22 - Localização dos Pontos de Lançamento de Efluente Industrial na Bacia do Rio Santo Antônio.	49
Figura 23 - Delimitação da UPGRH Suaçuí e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Suaçuí Grande....	50
Figura 24 - Número de Declarações por Código de Tipologia na Bacia do Rio Suaçuí Grande.	50

Figura 25 - Localização dos Pontos de Lançamento de Efluente Industrial na Bacia do Rio Suaçuí Grande.	51
Figura 26 - Delimitação da UPGRH Caratinga e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Caratinga ...	52
Figura 27 - Número de Declarações por Código de Tipologia na Bacia do Rio Caratinga.	53
Figura 28 - Localização dos Pontos de Lançamento de Efluente Industrial na Bacia do Rio Caratinga. ...	53
Figura 29 - Delimitação da UPGRH Manhuaçu e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu ...	54
Figura 30 - Localização dos Pontos de Lançamento de Efluente Industrial na Bacia do Rio Manhuaçu.	55
Figura 31 - Localização dos Pontos de Lançamento de Efluente Industrial nas Bacias do Rio Doce no Estado do Espírito Santo.	56
Figura 32 – Número de Outorgas de Lançamento por Atividade no Estado do Espírito Santo.....	56
Figura 33 - Distribuição do volume outorgado para lançamento por ramo de atividade.	57
Figura 34 – Subdivisão fisiográfica da costa do Espírito Santo	58
Figura 35 – Localização das indústrias avaliadas na área da costa do Espírito Santo	59
Figura 36 - Fluxograma típico do processo de Pelotização	61
Figura 37 - Estações do monitoramento da qualidade da água (IGAM) e processos minerários da Bacia do Rio Doce.....	63
Figura 38 - Estações do monitoramento da qualidade da água (IGAM) e processos minerários da Sub-bacia do Rio Piranga.....	64
Figura 39 -- Dados de não-conformidades das estações de monitoramento da qualidade da água da Sub-bacia do Rio Piranga	64
Figura 40 - Estações do monitoramento da qualidade da água (IGAM) e processos minerários da Sub-bacia do Rio Piracicaba.	65
Figura 41 - Dados de não-conformidades das estações de monitoramento da qualidade da água da Sub-bacia do Rio Piracicaba	66
Figura 42 - Localização dos municípios atingidos pela passagem de rejeitos oriundos do rompimento da barragem, com indicação das unidades de planejamento da bacia hidrográfica do rio Doce	71
Figura 43 - Divisão de um sistema de abastecimento de água.	73
Figura 44 – Localização das outorgas destinadas ao abastecimento público e consumo humano nos municípios em análise.	75
Figura 45 - Localização das captações superficiais e subterrâneas para os SAAs dos municípios atingidos pela passagem de rejeitos oriundos do rompimento da barragem.....	84
Figura 46 – Localização das estações de tratamento de efluente doméstico nos municípios pertencentes à Bacia do rio Doce com destaque para os municípios atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão.	92

Figura 47 - Evolução da quantidade de RSS coletada no estado de Minas Gerais.	109
Figura 48 - Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SUPRAM).	115
Figura 49 - Comparativo das atividades desenvolvidas no Leste Mineiro.....	118
Figura 50 - Comparativo das atividades desenvolvidas na Zona da Mata.....	118
Figura 51 - Comparativo das atividades desenvolvidas na SUPRAM Central.	119
Figura 52 - Principais formas de disposição final dos RSI.	123
Figura 53 - Principais formas de destinações de resíduos como destino externo.	131
Figura 54 - Principais formas de destinações de resíduos como destino dentro da mineração.	131
Figura 55 - Principais formas de destinação de estéril dentro da mineração.	132
Figura 56 - Principais formas de destinação de estéril como destinação externa.	132
Figura 57 - Principais formas destinação de rejeito dentro da mineração.....	133
Figura 58 - Principais formas de destinação de rejeitos com destino externo.....	133
Figura 59 - Evolução da quantidade de RSS coletada no estado do Espírito Santo.	143
Figura 60 - Localização dos aterros sanitários, aterros controlados, lixões e UTC's nos municípios ..	147
Figura 61 - Localização dos aterros, lixões e UTC's no trecho compreendido entre a barragem de Fundão e a UHE Risoleta Neves.	149
Figura 62 – Imagem representativa de um espécime de <i>Geophagus brasiliensis</i>	167
Figura 63 – Imagem representativa de lesão histopatológica em brânquia de <i>Rhamdia quelen</i> coletado no rio Doce.	169
Figura 64 – Número de células de cloreto (CC) e mucosas (CM) na região interlamelar (RI) ou na lamela secundária (L) de <i>Rhamdia quelen</i> coletados no rio Doce.....	169
Figura 65 – Concentração média de Pb, Zn, Al e Mn em brânquias de espécimes de <i>A. bimaculatus</i> (A) e <i>G. brasiliensis</i> (B) obtidos em pontos do rio Piracicaba.	174
Figura 66 - Concentração média de Pb, Zn, Al e Mn em fígado de espécimes de <i>A. bimaculatus</i> (A) e <i>G. brasiliensis</i> (B) obtidos em pontos do rio Piracicaba.	175
Figura 67 - Concentração média de Pb, Zn, Al e Mn em testículos de espécimes de <i>A. bimaculatus</i> (A) e <i>G. brasiliensis</i> (B) obtidos em pontos do rio Piracicaba	175
Figura 68 – Prancha de imagens representativas das brânquias de <i>A. bimaculatus</i> e <i>G. brasiliensis</i> em condições normais (A e B, respectivamente) e com alterações histopatológicas (C, E e D, F, respectivamente).	176
Figura 69 - Prancha de imagens representativas de fígado de <i>A. bimaculatus</i> e <i>G. brasiliensis</i> em condições normais (A e B, respectivamente) e com alterações histopatológicas (C, E e D, F, respectivamente).	177

- Figura 70** – Prancha de imagens representativas de testículos de *A. bimaculatus* e *G. brasiliensis* em condições normais (A e B, respectivamente) e com alterações histopatológicas (C, E e D, F, respectivamente). 178
- Figura 71** - Imagem representativa de um espécime de *Centropomus parallelus*.186
- Figura 72** – Prancha de resultados de determinação de concentração de cádmio (A), cromo (B), cobre (C), chumbo (D), ferro (E) e manganês (F) em amostras de água ($\mu\text{g/L}$) coletadas na região da foz do rio Doce antes (20/11/2015) e após (28/01/2016 e 24/04/2016) a chegada (22/11/2015) da lama oriunda do rompimento da barragem de Fundão. 197
- Figura 73** – Prancha de resultados de determinação de concentração de cádmio (A), cromo (B), cobre (C), chumbo (D), ferro (E) e manganês (F) em amostras de pescado ($\mu\text{g/kg}$ de peso úmido) coletadas na região da foz do rio Doce antes (outubro/2015) e após (28/01/2016 e 24/04/2016) a chegada (22/11/2015) da lama oriunda do rompimento da barragem de Fundão.198
- Figura 74** - Prancha de resultados de determinação de concentração de cádmio (A), cromo (B), cobre (C), chumbo (D), ferro (E) e manganês (F) em amostras fígado (coluna cinza) e músculo (coluna preta) de pescado ($\mu\text{g/kg}$ de peso úmido) coletadas na região da foz do rio Doce após a chegada (22/11/2015) da lama oriunda do rompimento da barragem de Fundão.199

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado da precisão e acurácia das ortoimagens orbitais.	26
Tabela 2 - Atividades presentes na área de estudo em 2014 na categoria B	41
Tabela 3 - Atividades presentes na área de estudo em 2014 na categoria C.	42
Tabela 4 - Atividades presentes na área de estudo em 2014 na categoria D.	43
Tabela 5 - Atividades presentes na área de estudo em 2014 na categoria E.	43
Tabela 6 - Atividades presentes na área de estudo em 2014 na categoria E.	43
Tabela 7 – Total de retirada de água nas operações de manejo florestal na Unidade de Aracruz	60
Tabela 8 - Municípios cujos limites territoriais foram atingidos pela passagem de rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Fundão.	71
Tabela 9 - Informações dos pontos de captação de água existentes e características das estações de tratamento de água, nas sedes dos municípios em análise.	76
Tabela 10 - Distritos com captação no rio Doce.....	83
Tabela 11 - Informações selecionadas dos sistemas de produção nos municípios em estudo	85
Tabela 12 - Municípios ao longo do rio Doce, populações referentes aos anos de 2013 (urbana) e 2018 e porcentagem de atendimento dos respectivos serviços de esgotamento sanitário em relação ao ano de 2013.	89
Tabela 13 - Informações sobre os municípios atingidos no rompimento da barragem de Fundão que possuem sistemas de tratamento de esgoto sanitário.	93
Tabela 14 - Massa de RSS coletada per capita por municípios, conforme Declaração Anual de RSS – ano base 2015.	110
Tabela 15 - Responsáveis pelos RCC nos municípios.....	112
Tabela 16 - Usos e disposições dos RCC.	113
Tabela 17 -Municípios cujos PMSB afirmam não possuir indústrias.	114
Tabela 18 - Municípios cujos PMSB citam a responsabilidade do gerador.....	114
Tabela 19 - Municípios e respectivas SUPRAM's.....	115
Tabela 20 - Municípios que preencheram o inventário de resíduos industriais no ano de 2015.....	116
Tabela 21 - Número de empresas cadastradas por municípios.	117
Tabela 22 - Tipologias passíveis de apresentar Inventário de Resíduos Sólidos Industriais.....	117
Tabela 23 - Resíduos mais gerados na tipologia B-01.	119
Tabela 24 - Resíduos mais gerados na tipologia B-05.	120
Tabela 25 - Resíduos mais gerados na tipologia B-09.	120
Tabela 26 - Resíduos mais gerados na tipologia B-10.....	120
Tabela 27 - Resíduos mais gerados na tipologia C-04.	121
Tabela 28 - Resíduos mais gerados na tipologia F-05.....	121
Tabela 29 - Resumo da quantidade de resíduos de cada tipologia.	121

Tabela 30 – Quantidade de resíduos Classe I e II nas SUPRAM's.	122
Tabela 31 - Resíduos perigosos mais gerados nas indústrias.	122
Tabela 32 - Municípios que preencheram o inventário de resíduos da mineração no ano de 2015...124	124
Tabela 33 - Número de empresas cadastradas por município.	124
Tabela 34 - Tipologias passíveis de apresentar Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração.	124
Tabela 35 - Quantidade de empresas por tipologia.	125
Tabela 36 - Número de empresas por tipologia e SUPRAM.....	125
Tabela 37 - Resíduos mais gerados na tipologia A-01.	126
Tabela 38 - Resíduos mais gerados na tipologia A-02.	126
Tabela 39 - Resíduos mais gerados na tipologia A-03.	127
Tabela 40 - Resíduos mais gerados na tipologia A-04.....	127
Tabela 41 - Resíduos mais gerados na tipologia A-05.	127
Tabela 42 - Resumo da quantidade de resíduos de cada tipologia.	128
Tabela 43 - Quantidade de resíduos Classes I e II nas SUPRAM's.....	128
Tabela 44 - Resíduos perigosos mais gerados.	129
Tabela 45 - Quantidade de estéril gerado por SUPRAM.	129
Tabela 46 - Quantidade de rejeito gerado por SUPRAM.....	130
Tabela 47 - Formas de disposição dos resíduos, estéril e rejeitos de mineração.	130
Tabela 48 - Situação das pilhas e baterias em Minas Gerais.	134
Tabela 49 - Situação das lâmpadas fluorescentes em Minas Gerais.....	135
Tabela 50 - Situação dos pneus em Minas Gerais.	136
Tabela 51 - Situação das embalagens de agrotóxico em Minas Gerais.	138
Tabela 52 - Situação dos produtos eletrônicos em Minas Gerais.	139
Tabela 53 - Coordenada das formas de disposição final dos resíduos nos municípios afetados.	146
Tabela 54 - Distâncias estimadas em relação à área de passagem e deposição da lama, a partir das coordenadas de localização.....	147
Tabela 55 - Concentração de metal (mg. kg ⁻¹ peso úmido) em tecido muscular de <i>Astyanax sp</i> coletados no rio Piracicaba.	168
Tabela 56 - Concentração média de metais (mg.kg ⁻¹) determinada no tecido muscular de diferentes espécies de peixes coletadas especificamente no rio Doce nas estações de verão e inverno .	169
Tabela 57 – Média da concentração de metais determinadas em peixes das espécies <i>Astyanax scabripinnis</i> e <i>Geophagus brasiliensis</i> obtidos no Quadrilátero Ferrífero, MG.	170
Tabela 58 – Média das concentrações de As, Cr, Hg e Zn determinadas em <i>G. brasiliensis</i> obtidos em quatro pontos ao longo do rio Piracicaba	172
Tabela 59 – Média da concentração de metais determinadas em brânquias, fígado, músculo, testículo, e ovários de peixes teleósteos coletados no rio Piracicaba.	174

Tabela 60 – Média das concentrações de As, Cr e Hg em <i>G. brasiliensis</i> amostrados em quatro pontos do rio Piracicaba.....	179
Tabela 61 – Concentração de metais (mg.kg ⁻¹ peso seco) determinada em invertebrados obtidos nas lagoas Mãe-Bá (ML – A a ML – G e dados combinados entre pontos ML – A, B, D), Icaraí (IL) e Guanabara (GL).....	181
Tabela 62 – Concentrações mínimas e máximas de metais (µg.g ⁻¹ peso seco) determinadas em sedimentos, invertebrados e peixes coletados na Lagoa Mãe-Bá (pontos ML – A a ML – G). .	182
Tabela 63 – Média das frequências de micronúcleos (MN, %) e de anormalidades nucleares (AN, %) e dos índices de danos de DNA (IDua) determinados em eritrócitos de <i>O. niloticus</i> obtidos de três pontos da Lagoa Jacuném e de pontos controle negativo (CON) e controle positivo (CON+) em duas campanhas.....	184
Tabela 64 – Concentração média de metais (µg.g ⁻¹) determinados em amostras de ostras juvenis e adultas obtidas do estuário de Piraquê-Mirim, Aracruz.	188
Tabela 65 – Concentração média (± erro padrão) de metais determinados em amostras de sedimento (µg.g ⁻¹) coletadas em manguezais de três estuários no Espírito Santo: Piraquê-Açu e Piraquê-Mirin (PAPM) em Aracruz, Perocão (PER) em Guarapari e Baía de Vitória (BV) nas estações de verão (1) e inverno (2).	189
Tabela 66 – Concentração média (± erro padrão) de metais determinados em amostras de ostras (µg.g ⁻¹ – peso úmido) coletadas em manguezais de três estuários no Espírito Santo: Piraquê-Açu e Piraquê-Mirin (PAPM) em Aracruz, Perocão (PER) em Guarapari e Baía de Vitória (BV) nas estações de verão (1) e inverno (2).	189
Tabela 67 – Média ± erro padrão das concentrações de metais e semimetais obtida de amostras de água salina (mg.l ⁻¹) coletadas em três pontos de amostragem na grande Vitória (ES): Praia de Jardim Camburi (JC), na Ilha Galheta de Dentro – Ilha do Boi (IB) e na Ilha Pituã (IP) nas estações de verão e inverno.	190
Tabela 68 – Média ± erro padrão das concentrações de metais e semimetais obtida de amostras de mexilhões (<i>P. perna</i>) e esponjas do mar (<i>A. viridis</i>) (µg.g ⁻¹) coletadas em três pontos de amostragem na grande Vitória (ES): Praia de Jardim Camburi (JC), na Ilha Galheta de Dentro – Ilha do Boi (IB) e na Ilha Pituã (IP), nas estações de verão e inverno.	191
Tabela 69 – Concentração média (± desvio padrão) de metais determinada em amostras de água (H ₂ O) superficial e intersticial (µg. L ⁻¹), sedimento (µg. g ⁻¹ – peso seco) e tecido muscular de <i>C. parallelus</i> (µg. g ⁻¹ – peso seco) obtidas das baías de Santa Cruz e Vitória	193
Tabela 70 – Concentração média de metais (µg.g ⁻¹) determinadas em tecidos de <i>Lutjanus synagris</i> (fígado e músculo) e <i>Crassostrea rhizophorae</i> (partes moles) coletados nos estuários dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim no distrito de Santa Cruz, município de Aracruz, em local referência (REF) e contaminado (CONT) nos meses de agosto de 2003 e fevereiro de 2004. ...	195
Tabela 71 – Concentração média de arsênio (As - mg/kg PU) em amostras de moluscos coletados entre a foz do rio Benevente em Anchieta e a região marinha adjacente ao terminal portuário de Portocel em Aracruz.de acordo com dados compilados ao longo dos anos de 2007 a 2015.	200
Tabela 72 - Concentração média de arsênio (As - mg/kg PU) em amostras de músculo de peixes coletados entre a foz do rio Benevente em Anchieta e a região marinha adjacente ao terminal portuário de Portocel em Aracruz.de acordo com dados compilados ao longo dos anos de 2012 a 2015.....	201

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Referências.....	19
2 CONTEXTUALIZAÇÃO	20
2.1 Linha-Base	20
2.2 Aspectos Metodológicos.....	21
2.2.1 Abordagem ecossistêmica	21
2.2.2 Base de dados geoespacial.....	23
2.2.2.1 Armazenamento dos dados geoespaciais e geração de metadados.....	23
2.2.2.2 Validação das ortoimagens orbitais	25
2.3 Área de Estudo.....	27
2.3.1 Caracterização da área de estudo.....	29
2.4 Referências.....	32
3 FONTES DE POLUIÇÃO NA BACIA DO RIO DOCE	35
3.1 Indústrias.....	36
3.1.1 Metodologia	39
3.1.2 Avaliação do Lançamento de Efluentes Industriais para o Estado de Minas Gerais.....	40
3.1.2.1 Bacia do Rio Piranga.....	44
3.1.2.2 Bacia do Rio Piracicaba	46
3.1.2.3 Bacia do Rio Santo Antônio.....	47
3.1.2.4 Bacia do Rio Suaçuí Grande.....	49
3.1.2.5 Bacia do Rio Caratinga	51
3.1.2.6 Bacia do Rio Manhuaçu.....	54
3.1.3 Avaliação do Lançamento de Efluentes Industriais para o Estado do Espírito Santo	55
3.1.3.1 Parte Fluvial.....	55
3.1.3.2 Parte Costeira	57
3.2 Mineração	62
3.2.1 Metodologia.....	62
3.2.2 Avaliação do Lançamento de Efluentes dos Processos Minerários.....	63
3.2.2.1 Bacia do Rio Piranga.....	63
3.2.2.2 Bacia do Rio Piracicaba	65
3.3 Referências Bibliográficas	66

4 SANEAMENTO	68
4.1 Abastecimento Urbano de Água	69
4.1.1 Metodologia.....	70
4.1.1.1 Área de Estudo	70
4.1.1.2 Sistema de Abastecimento de Água.....	72
4.1.2 Resultados.....	74
4.2 Esgotamento Sanitário.....	88
4.2.1 Metodologia.....	88
4.2.2 Resultados.....	89
4.3 Resíduos Sólidos.....	96
4.3.1 Metodologia.....	97
4.3.2 Resultados obtidos para Minas Gerais.....	98
4.3.2.1 Resíduos Sólidos Urbanos	100
4.3.2.2 Resíduos de Serviços de Saúde	108
4.3.2.3 Resíduos de Construção Civil	111
4.3.2.4 Resíduos Sólidos Industriais	113
4.3.2.5 Resíduos Sólidos de Mineração	123
4.3.2.6 Resíduos Sólidos Especiais	133
4.3.3 Resultados obtidos para o estado do Espírito Santo	140
4.3.3.1 Resíduos Sólidos Urbanos	141
4.3.3.2 Resíduos de Serviço de Saúde	142
4.3.3.3 Resíduos de Construção Civil	144
4.3.3.4 Resíduos Sólidos Industriais	144
4.3.3.5 Resíduos Sólidos de Mineração	145
4.3.3.6 Resíduos Sólidos Especiais	145
4.3.4 Localização geográfica das formas de disposição	146
4.4 Referências Bibliográficas	149
5 ECOTOXICOLOGIA.....	159
5.1 Metais e hidrocarbonetos de petróleo – os poluentes estudados pela ecotoxicologia na bacia hidrográfica do rio Doce	160
5.2 Metodologia.....	163
5.2.1 Área de abrangência do estudo de linha-base.....	163
5.2.2 Revisão bibliográfica	163
5.3 Resultados da linha-base	163
5.3.1 Ambiente Aquático Fluvial	164

5.3.1.1 Lagoas costeiras	179
5.3.2 Ambiente Aquático Marinho.....	184
5.4 Considerações finais.....	201
5.5 Referências.....	203
APÊNDICES	210
APÊNDICE A – Outorgas da base de dados do IGAM e IEMA – Captação com finalidade de Abastecimento Público nos municípios em estudo.....	210
APÊNDICE B – Outorgas da base de dados da ANA – Captação com finalidade de Abastecimento Público nos municípios em estudo.....	214
APÊNDICE C – Coordenadas geográficas dos pontos de captação de água existentes nas sedes dos municípios em estudo, conforme IBIO (2018), ANA (2010)	217
APÊNDICE D – Referencial teórico em resíduos sólidos	224

1 INTRODUÇÃO

No dia 5 de novembro de 2015, ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos minerários de Fundão, pertencente à Samarco Minerações S.A. situada em uma região de cabeceira da bacia hidrográfica do rio Doce, subdistrito de Bento Rodrigues, município de Mariana, estado de Minas Gerais. O rompimento resultou na liberação de um volume estimado de 55 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração (minério de ferro), água e materiais utilizados em sua construção sobre os rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce (SEDRU, 2016).

Este volume foi transportado pelo rio por, aproximadamente, 663,2 km, desde a barragem de Fundão em Minas Gerais até o oceano Atlântico no estado do Espírito Santo, onde, ao longo de 17 dias, se depositou pelo caminho em diferentes concentrações (PINTO-COELHO, 2015; FERNANDES et al., 2016). Este, que é o maior desastre socioambiental da história do Brasil (ESCOBAR, 2015; SILVA; FERREIRA; SCOTTI, 2015; ESPINDOLA et al., 2016; FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016; LEONARDO et al., 2017) 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 (IBAMA, 2015; ORGANON, 2015; PINTO-COELHO, 2015; SILVA; FERREIRA; SCOTTI, 2015; ESPINDOLA et al., 2016; FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016).

Conforme Laudo Técnico do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2015), alguns dos danos ambientais e sociais diretos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão que podem ser citados são: morte e desaparecimento de pessoas; isolamento de áreas habitadas; desalojamento 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.

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 (IBAMA, 2015; PINTO-COELHO, 2015; ESPINDOLA et al., 2016; FERNANDES et al., 2016; FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016). 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 (PINTO-COELHO, 2015; FERNANDES et al., 2016; FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016; LEONARDO et al., 2017). 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.

Desse modo, 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 de danos passa inicialmente pela caracterização do ambiente afetado imediatamente antes do desastre. Essa caracterização, denominada linha-base, fornece os subsídios e métricas para mensuração dos impactos advindos do evento. Além disso, permite identificar as áreas afetadas, delimitando a extensão dos danos. A linha-base remete prioritariamente um cenário tendencial extrapolado a partir de dados prévios e históricos da área de estudo.

O presente relatório apresenta a atualização do relatório de linha-base, entregue em outubro de 2017. Essa atualização foi necessária para a adoção da abordagem ecossistêmica que complementará os trabalhos de diagnóstico dos danos do desastre. A atualização também oportunizou a abordagem de novostemas incluindo qualidade do ar, fontes de poluição existentes na bacia, saneamento e o banco cora-líneo de Abrolhos. Este relatório, portanto, reapresenta um levantamento de dados e compilação de estudos existentes antes do desastre, até novembro de 2015, que servirão de subsídio para a definição da linha-base.

Cabe ressaltar que a linha-base final a ser utilizada para mensuração dos danos será apresentada em conjunto com o diagnóstico, visto que a obtenção de informações pretéritas ao desastre é constante, ao longo de todo o trabalho, até a consolidação do diagnóstico dos danos socioambientais.

O relatório está organizado em quatro volumes, sendo este documento denominado “Contextualização”, contendo os aspectos introdutórios e metodológicos do trabalho, além dos temas fontes de poluição na bacia, saneamento e ecotoxicologia, transversais aos ambientes potencialmente afetados. Os demais volumes foram divididos conforme os ambientes aos quais se referem, intitulados “Ambientes Aquáticos Continentais”, “Ambientes Costeiros” e “Ambientes Terrestres”, cada qual contendo diferentes temas, abrangendo as partes física e biológica referentes a cada ambiente.

Cada volume é constituído por capítulos com numeração sequencial, e estão subdivididos em itens, ou tópicos, para a estruturação hierárquica dos textos por assuntos lógicos. Os textos são complementados e ilustrados por figuras, gráficos, quadros e tabelas, com numeração sequencial. Ao final de cada capítulo são apresentadas suas respectivas referências bibliográficas.

Ressalta-se que o levantamento de dados para a linha-base de bens arqueológicos e culturais foi tema de relatório específico denominado “Relatório Consolidado Bens Arqueológicos e Culturais”, de maio de 2018. Portanto o tema não será tratado nessa revisão do relatório de linha-base.

1.1 REFERÊNCIAS

- 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.
- 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.
- 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.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Laudo técnico preliminar dos impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. 2015. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2016.
- 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: GEPEDES. 2017. 114 p.
- 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.
- 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.
- 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.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Neste capítulo, são apresentadas a conceituação da linha-base, a descrição da área de estudo adotada para a linha-base, aspectos metodológicos e a forma de construção da base de dados geoespacial utilizada no trabalho, parte fundamental das pesquisas da linha-base e de definição dos trabalhos futuros para a elaboração do diagnóstico socioambiental de danos.

2.1 LINHA-BASE

Para mensurar adequadamente os impactos advindos de um desastre ambiental, deve ser analisada a situação preexistente do ambiente. Essa etapa consiste na coleta, classificação e descrição das condições ambientais envolvidas (recursos, sistemas naturais ou artificiais) específicas da área em questão. Esse processo contribui para a análise da possível relação entre a escala de danos do desastre e a degradação ambiental existente antes do evento. Essa análise indica o papel do ambiente na mitigação ou intensificação do dano (ECLAC, 2003).

A linha-base é tipicamente uma descrição ou caracterização do meio que pode ter sido afetado, com informações relativas ao estado atual do ambiente, o que implica que tais informações devam estar as mais atualizadas possível (OECD, 2006; EUROPEAN UNION, 2008). Além disso, as informações contidas na linha-base devem se basear no entendimento das 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 (OECD, 2006; THERIVEL, 2004 apud SANTOS et al., 2010).

Para Sadler (2001), a linha-base pode ser especificada perante legislações ou procedimentos, que podem determinar, *a priori*, conteúdos mínimos de informação necessária a ser utilizada. A profundidade e detalhamento dessas informações são determinados durante o processo de levantamento de informações, assim como a capacidade e modo como essas informações serão trabalhadas e analisadas. Para não serem levantadas e exauridas informações desnecessárias, a linha-base deve ser elaborada de forma estratégica, juntamente com o levantamento das questões-chave e sabendo qual a profundidade em que elas serão tratadas. O caminho inverso também é válido, em que o primeiro deve se ter uma noção do sistema ambiental em questão para se conseguir definir quais são realmente as questões-chave. Esse caminho fica mais fácil de entender quando se considera a capacidade de suporte e resiliência do sistema (um impacto pode ser facilmente absorvido pelo ambiente), o que pode tornar potenciais impactos significativos em não significativos (ECLAC, 2003; SANTOS et al., 2010).

Existem dois tipos principais de dados de linha-base: os determinados e os indeterminados. Os dados de linha-base determinados são todos os dados intimamente relacionados com o desastre, já os indeterminados são aqueles que não estão diretamente relacionados com o desastre (ASARECA, 2010). Salienta-se, entretanto, que a condição inicial e primordial para avaliação do ambiente prévio ao desastre é ter acesso a informação útil, suficiente e confiável (ECLAC, 2003).

2.2 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. Um extenso levantamento bibliográfico foi realizado em trabalhos publicados (artigos científicos, dissertações, teses, capítulos de livros, livros, resumos de congressos), estudos de impacto ambiental, relatórios técnicos, dados de monitoramentos e documentos em geral, os quais tivessem relação aos temas de estudo na bacia do rio Doce. As informações também foram obtidas nos órgãos oficiais, universidades, instituições de pesquisa e demais entidades, e complementadas com trabalhos de campo para validação ou refinamento desses dados ou informações.

A metodologia empregada para coleta de informações primárias e secundárias para cada tema abordado é descrita nas respectivas seções, sendo que uma base de dados geoespacial comum foi utilizada para a caracterização do ambiente de estudo, identificando as formas de relevo, corpos hídricos, agrupamentos humanos, entre outros, além de delimitar a área de interesse.

2.2.1 ABORDAGEM ECOSISTÊMICA

A abordagem tradicional de avaliação de danos visa à identificação e mensuração de todos os danos advindos do desastre, no espaço e no tempo. Entretanto, quando se considera um cenário de danos com grandes dimensões espaciais e onde não há coleta sistematizada de dados ao longo do tempo, a abordagem ecossistêmica pode ser aplicada como uma forma de complementar a análise dos danos, integrando as informações para identificar danos nos ecossistemas afetados como um todo.

Independente da metodologia utilizada por cada área do conhecimento para a identificação e mensuração do dano ambiental, é necessário, considerando a extensão territorial do desastre, avaliar o potencial dano aos serviços ecossistêmicos que os ambientes afetados proporcionavam. Isso requer o conhecimento do estado do meio ambiente antes da degradação e quais os serviços ecossistêmicos que cada ambiente lesado proporcionava (BRASIL, 2014).

A aplicação da abordagem ecossistêmica em um caso de diagnóstico de danos de um desastre ambiental é necessária na tentativa de análise integrada das consequências do desastre ao meio ambiente, aos serviços ecossistêmicos providos pelos ambientes afetados e, conseqüentemente, à qualidade de vida da população. Essa integração ocorre devido a característica do próprio conceito de serviços ecossistêmicos, que é baseado em uma explícita relação entre o meio ambiente e a qualidade de vida humana (ROSA, 2014).

Os serviços ecossistêmicos se referem aos benefícios fornecidos às sociedades humanas pelos ecossistemas naturais a partir de serviços de provisão (produção de alimentos, madeira, fibras e energia), de regulação (da água, do clima, proteção contra secas, inundações, tempestades, disseminação de doenças e pragas, erosão dos solos, purificação de contaminantes), de suporte (estrutura e fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes, provisão de água, biodiversidade genética, ciclos hidrológicos, formação do solo) e culturais (estéticos, históricos, de educação e recreação) (MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2003; NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 2013; WRI, 2013; ROSA, 2014;).

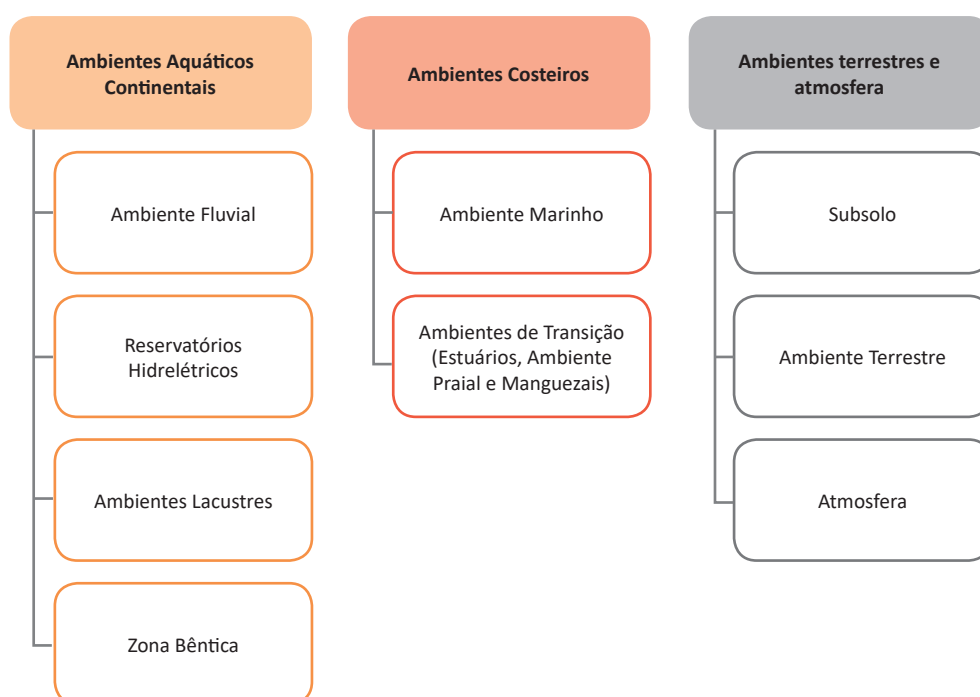
A abordagem ecossistêmica é aplicada quando a escala do evento e dos recursos potencialmente afetados torna impraticável a avaliação tradicional de danos. Foca não só na restauração dos recursos que sofreram danos advindos dos eventos, mas também no reestabelecimento do valor desses recursos ao público. Nessa abordagem, a avaliação dos danos é baseada em um conjunto representativo de habitats, comunidades e espécies, além de seus processos e relações ecológicas. A avaliação é conduzida em várias escalas da organização biológica, incluindo os níveis celular, individual, espécie, comunidade e habitat. Inclui os procedimentos tradicionais, como campanhas de campo e ensaios em laboratório, assim como se baseia nas relações empíricas descritas na literatura ou modelagem computacional ecossistêmica (JONGE *et al.*, 2012; NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 2013).

Tanto na abordagem tradicional quanto na abordagem ecossistêmica, a maior dificuldade reside no estabelecimento da linha-base. A falta de dados anteriores ao evento em análise dificulta, ou pode até impossibilitar, a mensuração de danos. Dessa feita, nesse relatório são explorados os estudos e levantamentos de dados que poderão subsidiar o estabelecimento da linha-base já em uma visão sistematizada por ambiente potencialmente afetado.

Apesar de intrinsicamente relacionados, os ambientes aquáticos de água doce e salina e salobra foram divididos em volumes separados devido às diferenças em seus ecossistemas e processos biofísicos. A divisão de ambientes em cada um dos volumes é apresentada na Figura 1.

Dentro das divisões adotadas, cada área temática apresenta o levantamento de dados e estudos obtidos prévios ao desastre, de forma extensiva e detalhada. Ao final de cada ambiente é apresentada uma análise resumida dos dados obtidos, caracterizando-se como uma aproximação inicial da integração dos estudos multidisciplinares nos ambientes potencialmente afetados.

Figura 1 – Divisão dos ambientes apresentada na atualização do relatório de linha-base.



2.2.2 BASE DE DADOS GEOESPACIAL

A elaboração do diagnóstico do dano ambiental do rio Doce contempla a atuação de profissionais de diferentes áreas, os quais, em sua grande maioria, requerem informações cartográficas e georreferenciadas para elaboração de diversos estudos e análises. A obtenção de dados cartográficos de fontes confiáveis torna-se fundamental para subsidiar o trabalho multidisciplinar. Dessa forma, visando ao atendimento dos objetivos do projeto foi elaborada uma base de dados cartográficos única e devidamente validada, com acesso através de um ambiente virtual, e as atividades envolvidas nesse processo são descritas a seguir.

2.2.2.1 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, em que 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, onde 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 Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

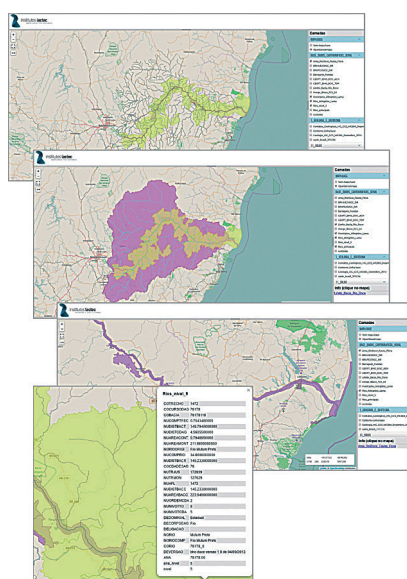
Em seguida, estes foram inseridos em um ambiente de servidor virtual, que contém outras 14 subpastas estruturadas para todas as áreas do conhecimento do projeto (Geologia e Geotecnia; Fauna Silvestre; Cetáceos; Quelônios; Ictiofauna; Ecotoxicologia; Águas Subterrâneas; Águas Superficiais;

Hidrologia; Sedimentos; Solos; Flora; Valoração Econômica e Arqueologia) e uma subpasta para os dados gerais e comuns a essas áreas, tais como: Bacia Hidrográfica, Hidrografia, Limites Municipais, Limites Estaduais, Imagens Aéreas, Imagens Orbitais, SRTM, entre outros.

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 RPR nº 1/2005 de 25/02/2005 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 (SIRGAS2000). 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 o uso de programas específicos, bastando o acesso à internet pelo navegador Google Chrome no endereço <http://mapas-riodoce> (Figura 2).

Figura 2 – Ferramenta desenvolvida para a visualização dos dados geoespaciais em ambiente *web*.



É importante destacar que todos os dados geoespaciais são consultados somente por profissionais envolvidos no projeto por meio de *login* contendo usuário e senha, e a partir dos endereços de IPs de seus computadores pessoais e dispositivos móveis (*tablets* e *smartphones*) que foram cadastrados pelo setor de TI dos Institutos Lactec, tornando a segurança da informação um requisito primordial para o acesso a esses arquivos.

Além dos dados coletados das fontes oficiais, foram disponibilizados pela Fundação Renova, por meio de solicitação ao Ministério Público Federal, um conjunto de materiais cartográficos e ortoimagens

orbitais (Satélites GeoEye-1, WorldView-2, WorldView-3, Kompsat-3, SPOT-6 e SPOT-7) produzidos após o desastre ambiental e que conferem um grande volume de dados geoespaciais para validação.

2.2.2.2 Validação das ortoimagens orbitais

Subsidiando o trabalho desenvolvido pelas equipes multidisciplinares, a análise temporal por meio de imagens orbitais das áreas atingidas pela lama permite estudar as condições do ambiente anteriores ao evento em questão, fornecendo elementos para a linha-base e, posterior ao evento, 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 a descrição abaixo:

T0: imagens pré-desastre, relativas ao período de 21/01/2015 a 05/11/2015;

T1: imagens pós-desastre, no 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.

Para a avaliação das ortoimagens orbitais, foram escolhidos e avaliados 70 pontos nas imagens do período pré-desastre (T0), 69 nas imagens do período pós-desastre (T1) e 67 nas imagens do período pós-desastre (T2). Esses pontos são fotointerpretabilidade, homólogos e foram distribuídos geometricamente ao longo de todo o trecho, desde a barragem de Fundão até a foz do rio Doce, conforme a Figura 3. Os resultados de precisão e acurácia das ortoimagens orbitais são apresentados na Tabela 1 e na Figura 4, Figura 5 e Figura 6.

Figura 3 – Distribuição dos Pontos utilizados na validação das ortoimagens orbitais.

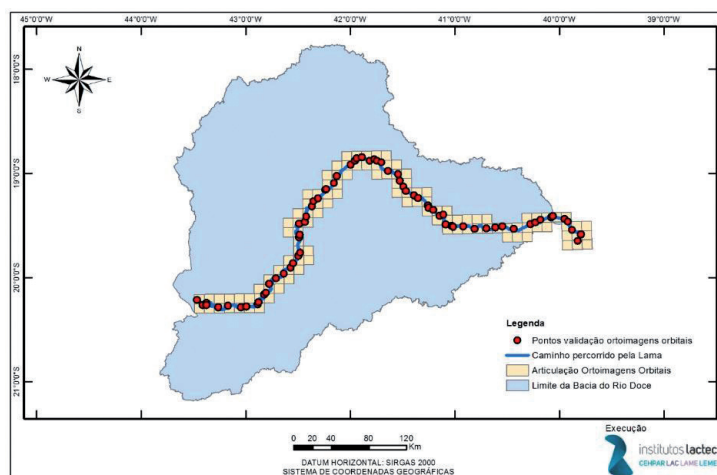


Tabela 1 – Resultado da precisão e acurácia das ortoimagens orbitais.

	Ortoimagens Orbitais Período Pré-Desastre (T0)			Ortoimagens Orbitais Período Pós-Desastre (T1)			Ortoimagens Orbitais Período Pós-Desastre (T2)		
	ΔE (m)	ΔN (m)	Discrepância	ΔE (m)	ΔN (m)	Discrepância	ΔE (m)	ΔN (m)	Discrepância
MÉDIA	1.13	1.23	4.48	0.20	-2.02	5.91	-0.40	0.11	2.84
DESVIO PADRÃO	3.53	3.51	2.68	5.47	4.54	4.40	4.16	2.45	3.92
REMQ	3.68	3.69	5.21	5.44	4.94	7.35	4.15	2.43	4.81
	TOTAL DE AMOSTRAS		70	TOTAL DE AMOSTRAS		68	TOTAL DE AMOSTRAS		67
	QUANT. AMOSTRAS EXTRAPOLAM LIMITE		3	QUANT. AMOSTRAS EXTRAPOLAM LIMITE		7	QUANT. AMOSTRAS EXTRAPOLAM LIMITE		2
	% DE AMOSTRAS OK (ESCALA 1:20.000)		96%	% DE AMOSTRAS OK (ESCALA 1:20.000)		90%	% DE AMOSTRAS OK (ESCALA 1:20.000)		97%

Figura 4 – Discrepâncias dos pontos avaliados, relativos as ortoimagens orbitais referentes ao período pré-desastre (T0).

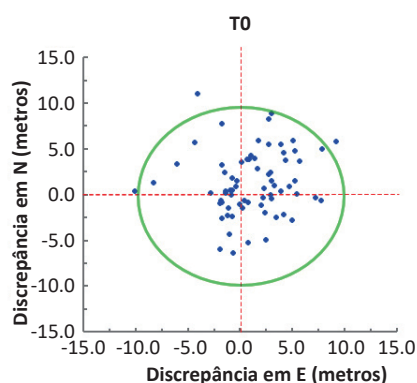


Figura 5 – Discrepâncias dos pontos avaliados, relativos as ortoimagens orbitais referentes ao período pós-desastre (T1).

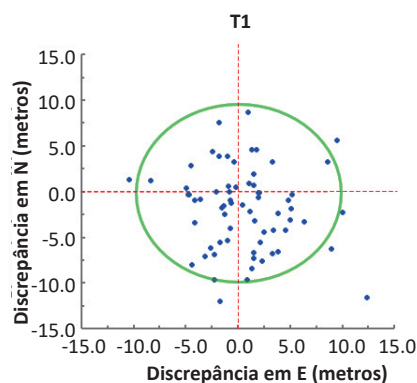
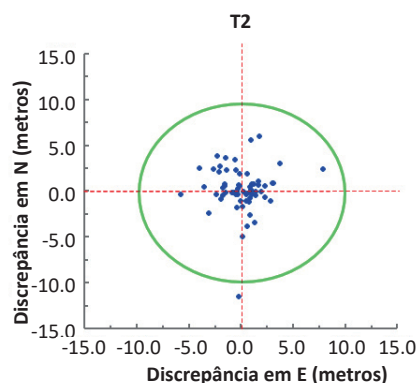


Figura 6 – Discrepâncias dos pontos avaliados, relativos as ortoimagens orbitais referentes ao período pós-desastre (T2).



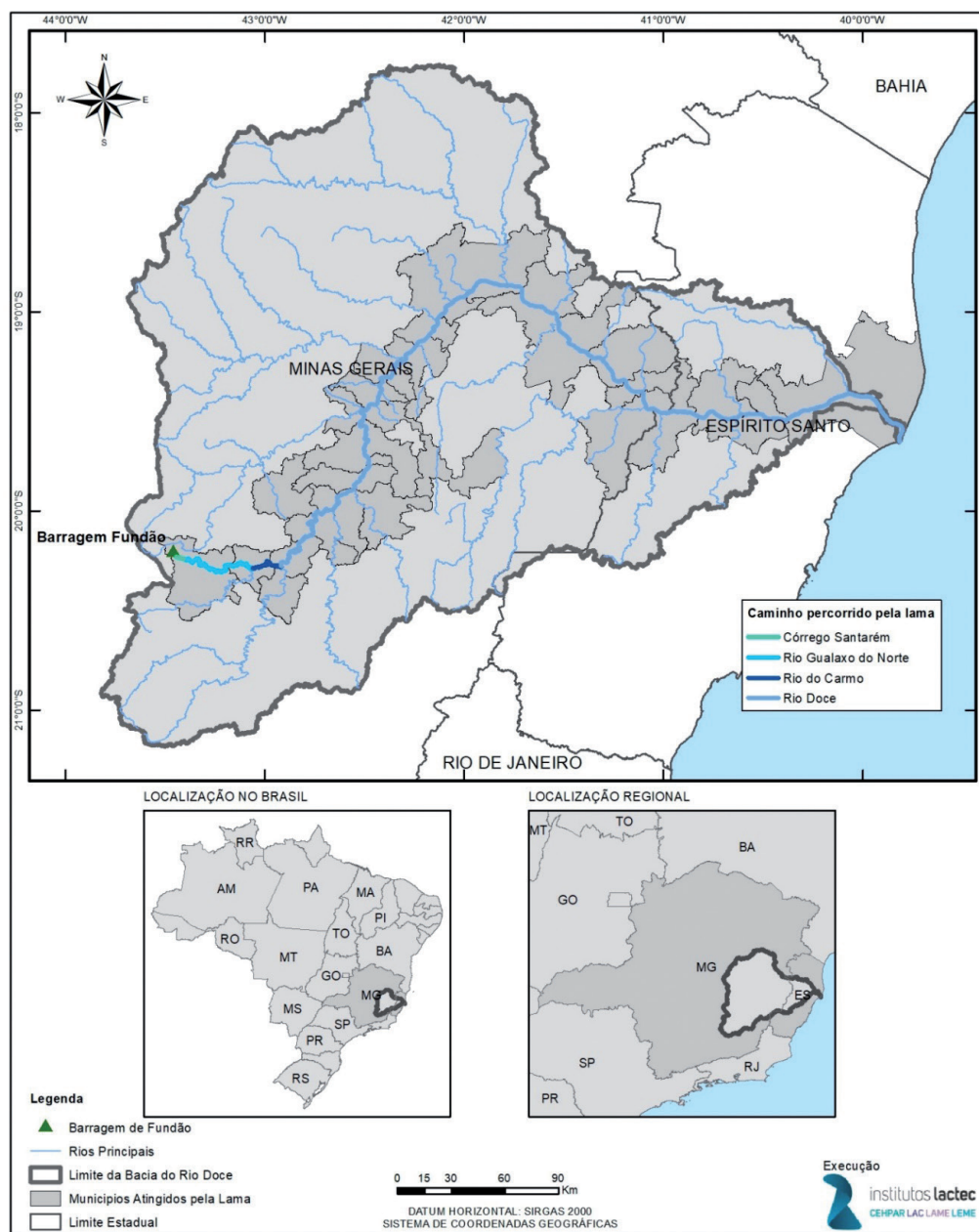
2.3 ÁREA DE ESTUDO

A realização do diagnóstico socioambiental inicia-se com a definição da área de estudo, ou seja, a delimitação do local que será objeto do levantamento de dados. A área de estudo poderá variar em função do tipo de levantamento a ser realizado, e o grau de detalhe de um tipo de levantamento especializado poderá ser diferente de um levantamento temático (SÁNCHEZ, 2008).

Para os trabalhos de linha-base aqui desenvolvidos, a área de estudo foi definida 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 potencialmente 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 7).

Figura 7 – Mapa de localização da área de estudo.



Uma vez que a definição da área afetada pelo desastre é um dos produtos advindos do diagnóstico de danos, adotou-se a definição de área de passagem e deposição da lama (APDL). A delimitação dessa área, realizada pelo Lactec, foi através de fotointerpretação de imagens de satélite, sendo este produto compatível com a escala 1:20.000. A APDL 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). Ressalta-se que essa área é preliminar e ainda passará por refinamentos de modo a incorporar áreas afetadas porém não visíveis em ortoimagens orbitais, 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, outras escalas de abordagem poderão ser definidas conforme a necessidade e, caso sejam elencadas, serão comentadas em seus respectivos itens no presente relatório.

2.3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A seguir é apresentada uma caracterização geral da bacia hidrográfica do rio Doce, abordando alguns aspectos que serão mais detalhados na descrição da linha-base para os ambientes potencialmente afetados.

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% (ANDRADE, 2003; MORAIS, 2009; EUCLYDES et al., 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010, CBH-DOCE, 2014; ESPINDOLA et al., 2016; ANA, 2016a; LIMA, 2016; LEONARDO et al., 2017). A bacia do rio Doce 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 (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

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 (EUCLYDES et al., 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; CBH-DOCE, 2014; LIMA, 2016).

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 (ALMEIDA et al., 2004; ANA, 2012). 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 (EUCLYDES et al., 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; CBH-DOCE, 2014; ANA, 2016a; LIMA, 2016; LEONARDO et al., 2017). 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 8) (EUCLYDES, et al. 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; LIMA, 2016).

[illegible]

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, descrita por Dorr et al. (1959) como uma clássica geoprovinça auríferfera 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.

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 (MORAIS, 2009; CBH-DOCE, 2014; ANA 2016a; ESPINDOLA et al., 2016; 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 a região), das quais muitas encontram-se ameaçadas de extinção (BRASIL, 2000; MYERS et al., 2000; BRASIL, 2003; MACHADO; DRUMMOND; PAGLIA, 2008).

É válido ressaltar que 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 a 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 (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; POLIZEL; ROSSETTI, 2014; ANA, 2016a; APRILE; LORANDI; SIQUEIRA, 2016).

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. (ANDRADE, 2003; ALMEIDA et al., 2004; MORAIS, 2009; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; LIMA E SILVA et al., 2013; CBH-DOCE, 2014; ANA, 2016a; LIMA 2016).

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 (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; ANA, 2016a, b).

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 Quadrilátero Ferrífero 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) ficam localizadas na região abrangida pela bacia, compondo os chamados “Vale do Aço” e Quadrilátero Ferrífero. 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 (CODESA, 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 Ferroviária 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; LEONARDO et al., 2017). 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).

2.4 REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório técnico:** ocorrência de cianobactérias na bacia hidrográfica do rio Doce. Brasília, DF: ANA, 2012.
- _____. **Mapa de uso e ocupação do solo em moderada resolução espacial (10m) da bacia do rio Doce.** Brasília, DF: ANA, 2016a. Disponível em: <metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=49a3aa22-fff4-4527-a17b-64b6ad31d8cb>. Acesso em: 3 maio 2017.
- _____. **Encarte especial sobre a bacia do rio Doce:** rompimento da barragem em Mariana/MG. Brasília, DF: ANA, 2016b.
- 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. **II Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional**. 2004. Disponível em: <www.unisc.br/site/sidr/2004/planejamento/15.pdf>. Acesso em: 3 maio 2017.
- 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 da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- 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.
- 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.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **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, 2000.
- _____. **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.
- _____. Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da região hidrográfica atlântico sudeste**. Brasília, DF: MMA, 2006.
- _____. Ministério Público Federal. 4ª Câmara de Coordenação e Revisão. **Valoração de danos em matéria de meio ambiente e patrimônio cultural – Roteiros para vistoria expedita e perícia multidisciplinar em procedimentos do Ministério Público Federal**. Brasília: MPF, 2014. 96 p. (Série Manuais de atuação da 4ª Câmara de Coordenação e Revisão, 2)
- 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 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 e planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce**: relatório final. Consórcio Ecomplan-Lume, 2010.
- DORR, J. V. N.; HERZ, N.; BARBOSA, A. L. M.; SIMMONS, G. C. **Esboço geológico do quadrilátero ferrífero de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: DNPM, 1959.
- ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN (ECLAC). **Handbook for estimating the socio-economic and environmental effects of disasters**. ECLAC: 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1978.
- 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.
- 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.
- FIGUEIREDO, J. A.; NORIEGA, C. D.; OLIVEIRA, E. M. C.; NETO, R. R.; BARROSO, G. F.; FILHO, M. A. Avaliação biogeoquímica de águas fluviais 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.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **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.
- JONGE, V. N.; PINTO, R.; TURNER, R. K. Integrating ecological, economic and social aspects to generate useful management information under the EU Directives' 'ecosystem approach'. **Ocean and Coastal Management**, v. 68, p. 169-188, 2012.

- 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. GEPPEDS, 2017.
- 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 Limnológica 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.
- MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília, DF: MMA, 2008.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment**. Washington, DC: Island Press, 2003.
- MORAIS, A. C. T. **Concentração de metais pesados em peixes teleósteos do Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- 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.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Committee on the effects of the Deepwater Horizon Mississippi Canyon-252 oil spill on ecosystem services in the Gulf of Mexico; Ocean Studies Board; Division on Earth and Life Studies; national Research Council. **An Ecosystem Services Approach to Assessing the Impacts of the Deepwater Horizon oil spill in the Gulf of Mexico**. Washington, DC: National Academies Press, 2013.
- 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.
- 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.
- ROSA, J. C. S. **Avaliação de impactos Ambientais de um projeto de mineração: um teste metodológico baseado em serviços ecossistêmicos**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- 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.
- SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2008.
- 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.
- 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.
- 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.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). **Weaving Ecosystem Services into Impact Assessment**. Version 1.0. Washington, DC: WRI, 2013.

3 FONTES DE POLUIÇÃO NA BACIA DO RIO DOCE

A bacia do rio Doce pertence a uma área de grande desenvolvimento econômico no Brasil e, conseqüentemente, possui intensa intervenção antrópica nos ambientes naturais. As atividades econômicas locais são bastante diversificadas entre agropecuária (eucalipto, culturas de café e cana-de-açúcar, criação de gado e suinocultura), agroindústria, mineração, comércio e geração de energia elétrica (IGAM, 2010). Assim, a qualidade da água dos recursos hídricos varia conforme o nível e as formas de poluição verificado, os quais são condicionados pelas práticas econômicas e a ocupação do solo urbano e rural (ÁVILA e MONTE-MÓR, 2007).

Visto os diversos poluentes que podem ser encontrados nos corpos d'água da bacia do rio Doce, principalmente após o rompimento da barragem de Fundão, torna-se interessante investigar a procedência dessas substâncias para possíveis inferências. Estudos apontam que devido à crescente ocupação urbana local, os corpos d'água foram altamente afetados pela produção e lançamento de efluentes (SANTOLIN, 2015; LIMA, 2016). Ávila e Monte-Mór (2007) apresentaram que onze municípios localizados no curso do médio rio Doce declararam a existência de alguma forma de poluição que impacte os recursos hídricos, variando de acordo com as características de cada região. Sabe-se que municípios mais industrializados, apesar de gerarem maiores cargas de poluentes, possuem melhor infraestrutura urbana, o que reduz os impactos aos recursos hídricos. Por outro lado, cidades com pior infraestrutura tendem a lançar mais poluentes aos corpos d'água de forma descontrolada (ÁVILA e MONTE-MÓR, 2007).

O Decreto de 25 de janeiro de 2002 Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CBH) com o objetivo de a qualidade e a quantidade da água da bacia, frente ao crescimento acelerado da demanda por recursos hídricos. No Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (PIRH), publicado em 2010, havia seis comitês em Minas Gerais e três no Espírito Santo (Figura 9). Entretanto, segundo dados de 2018 do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e da Agência Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo (AGERH), há 10 comitês instalados na Bacia do Rio Doce, sendo 6 deles no Estado de Minas Gerais e 4 no Espírito Santo (COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE, 2014). No estado de Minas Gerais a bacia do rio Doce é dividida em seis Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRHs), com Comitês de Bacia estruturados conforme disposto abaixo:

- Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Piranga (DO1);
- Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba (DO2);
- Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Santo Antônio (DO3);
- Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Suaçuí (DO4);
- Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Caratinga (DO5);
- Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Manhuaçu (DO6).

No Estado do Espírito Santo não há a divisão em UPGRHs, porém, têm-se os Comitês das Bacias Hidrográficas do rio Santa Maria do Doce, do rio Guandu e do rio São José, criados pelos Decretos nº 883-S (25/04/2005), 1901-R (13/08/2007) e 1934-R (10/10/2007), respectivamente, bem como o Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Barra Seca e da Foz do Rio Doce (CBH Barra Seca e Foz do Rio

Doce) instituídos por meio do Decreto nº 3792-R, de 20 de março de 2015 (Figura 10). Este último não possui plano de recursos hídricos elaborado e, no caso do CBH Pontões e Lagoas do Rio Doce (Figura 11), a área de abrangência do plano é apenas a bacia do rio São José, diferentemente da área de atuação do Comitê, que foi ampliada em 2015 agregando todos os afluentes da margem esquerda do rio Doce no Espírito Santo (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010a).

3.1 INDÚSTRIAS

Normalmente, efluentes domésticos e industriais são chamados de fontes pontuais, uma vez que são coletados por redes canalizadas e lançados por um único ponto de descarte nas águas receptoras. Por outro lado, efluentes do escoamento urbano e de agricultura são considerados fontes difusas de poluição, visto que não são transportados por um único caminho e geralmente escoam para corpos d'água pela ação da água de chuva (DAVIS e CORNWELL, 1999). Nesse relatório serão abordadas apenas as fontes de pontuais de origem de atividades industriais, das quais é conhecida a sua origem. Portanto, será realizada uma caracterização de algumas fontes de poluição das águas superficiais do rio Doce, a qual será dividida em duas partes: poluição por efluentes industriais diversos e por atividades mineradoras, de forma a subsidiar outros estudos relacionados às possíveis substâncias presentes nas águas do rio Doce.

Figura 9 - Divisão das Sub-bacias do Rio Doce

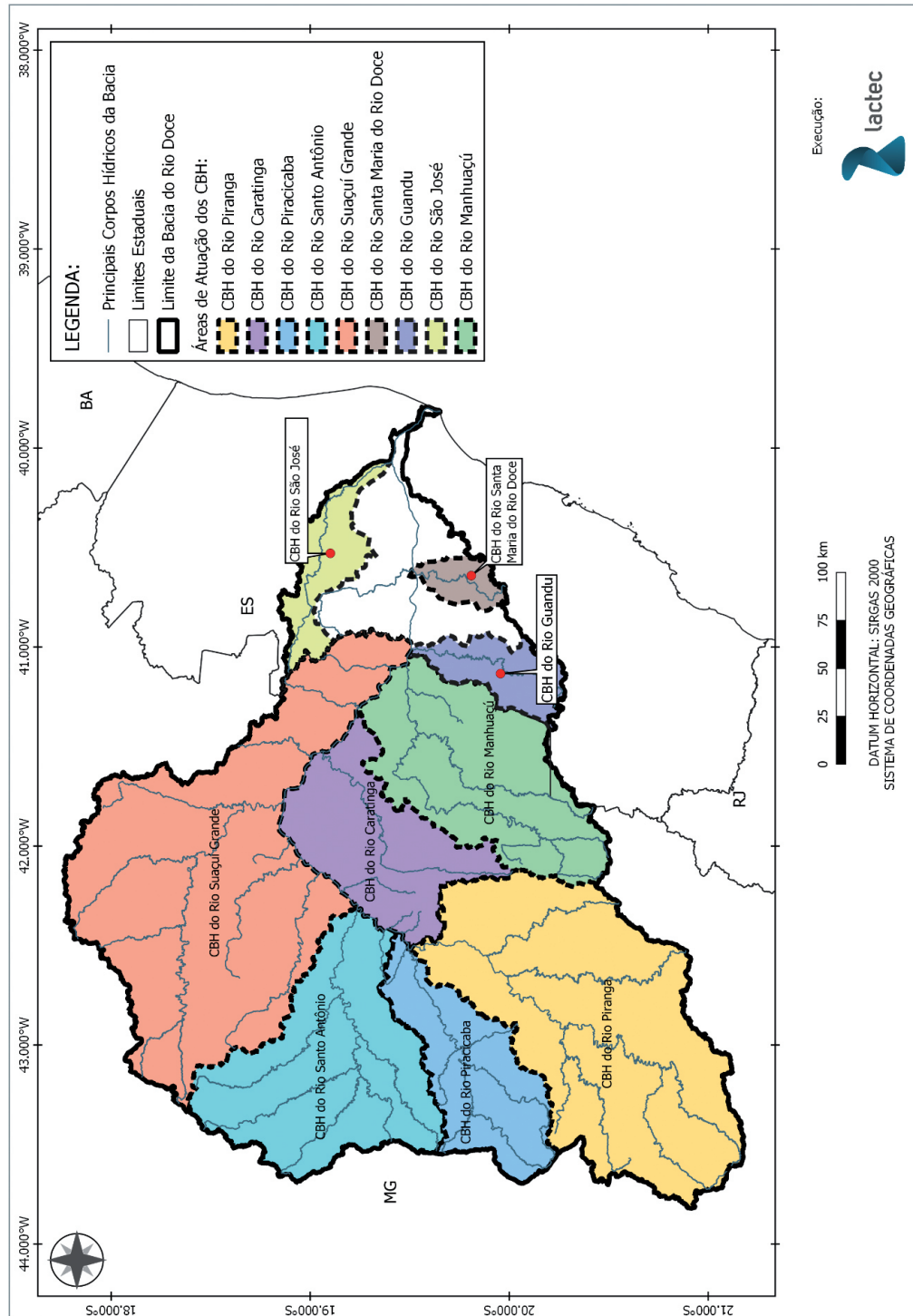
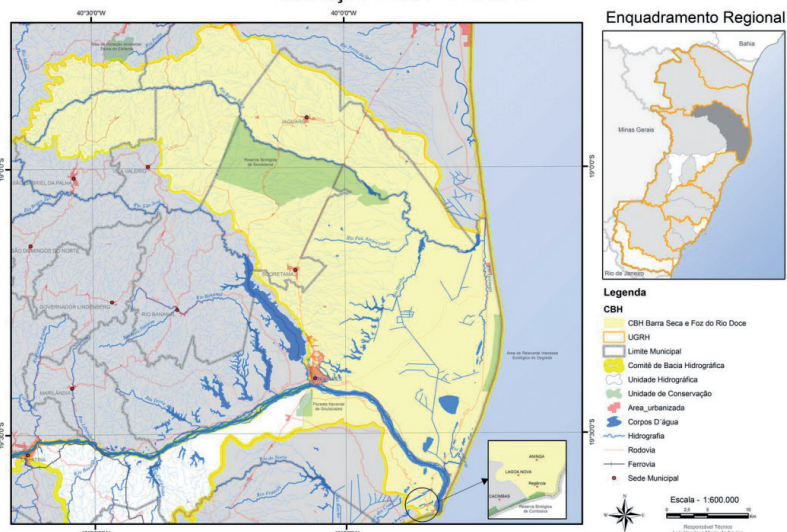


Figura 10 – CBH Barra Seca e Foz do Rio Doce

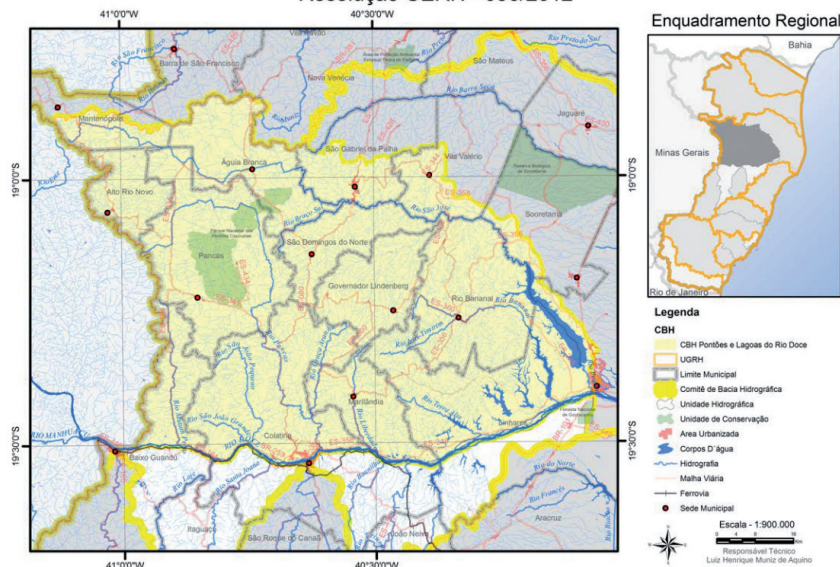
Comitê de Bacia Hidrográfica Barra Seca e Foz do Rio Doce
Resolução CERH - 036/2012



Fonte: Adaptado de AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (2014)

Figura 11 – CBH Pontões e Lagoas do Rio Doce

Comitê de Bacia Hidrográfica Pontões e Lagoas do Rio Doce
Resolução CERH - 036/2012



Fonte: Adaptado de AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (2014)

Neste capítulo serão expostas informações relacionadas ao lançamento de efluentes provenientes das indústrias¹ presentes na Bacia do Rio Doce até a data de novembro de 2015, com o intuito de montar um cenário mais acurado das consequências do desastre nas variações dos parâmetros de qualidade da água na bacia do Rio Doce. Segundo o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce, a porção mineira do Rio Doce tem Índice de Qualidade de Água (IQA) predominantemente na

¹ Exceto atividades mineradoras. Estas atividades estão descritas no próximo capítulo.

faixa Médio, enquanto que no Estado do Espírito Santo, há uma predominância de IQA na faixa Bom, exceto para a Sub-bacia do Rio Guandu, na qual há a predominância do nível Médio. Desta forma, as informações de lançamentos de efluentes industriais, bem como os dados referentes ao tratamento de esgotos domésticos, são fundamentais para a compreensão da contribuição da poluição de origem industrial nos índices de qualidade dos corpos hídricos presentes na Bacia do Rio Doce.

3.1.1 METODOLOGIA

Para realizar a caracterização proposta no presente tema, foram utilizados dados de outorgas de uso de água do Estado do Espírito Santo emitidas pela Agência Nacional de Águas (ANA), disponíveis no seu próprio endereço eletrônico (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018). A seleção dos dados foi realizada pela lista de municípios que compõe a bacia do Rio Doce e de acordo com aquelas que possuíam outorga vigente durante a ocorrência do rompimento da Barragem de Fundão (05/11/2015). Para o Estado de Minas Gerais, a fim de aumentar a abrangência da caracterização dos efluentes lançados no rio Doce, foram obtidas as Declarações de Carga Poluidora (DCP) dos empreendimentos presentes na bacia do rio Doce, no site da Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM). Estes dados estão disponíveis em intervalo de 2012 até 2014. Desta forma, para este estudo, foram utilizados apenas os dados referentes ao ano de 2014.

A Figura 12 mostra as coordenadas dos lançamentos industriais pertencentes à Bacia do Rio Doce no estado de Minas Gerais (conforme dados da FEAM) e Espírito Santo (conforme dados da ANA).

Figura 12 - Pontos de Lançamento de Efluentes Industriais na Bacia do Rio Doce

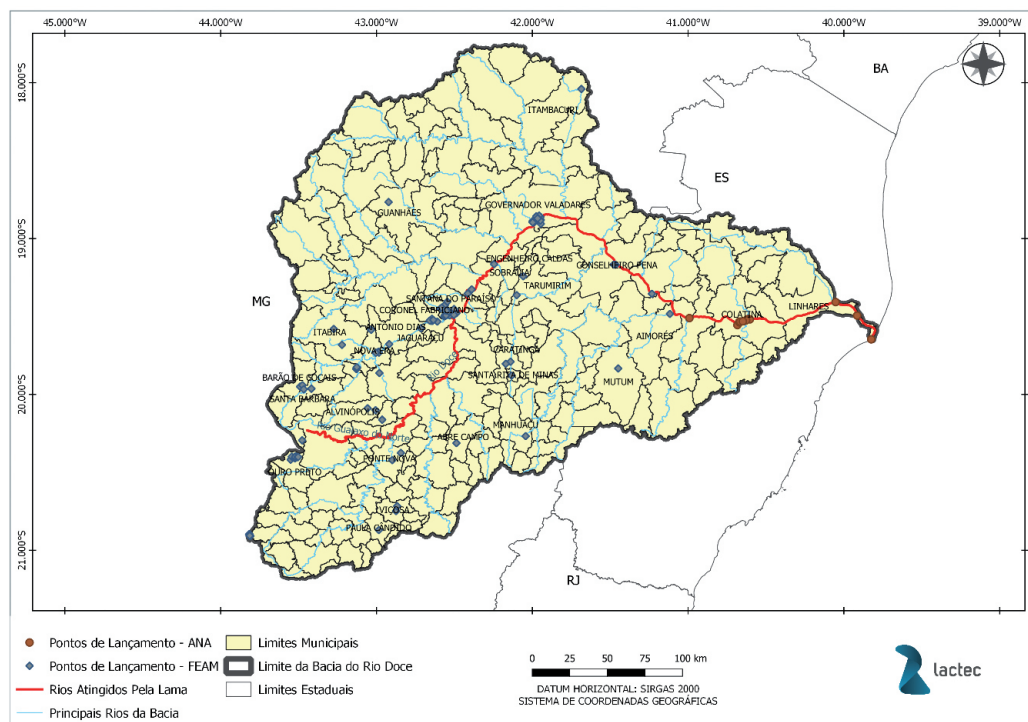
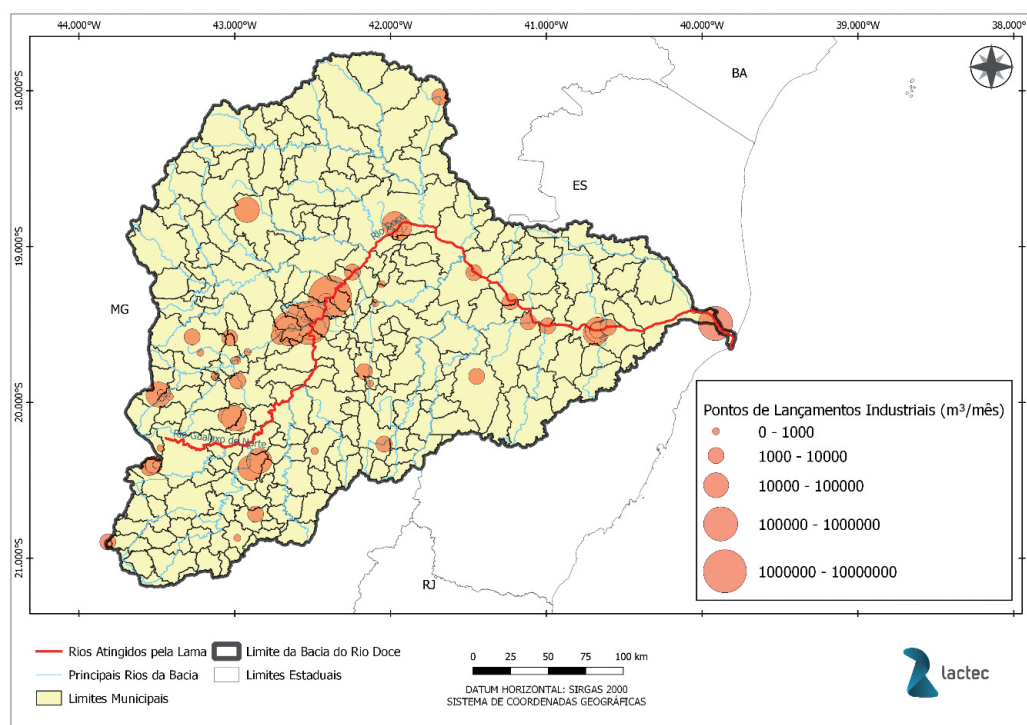


Figura 13 - Situação do Lançamento de Efluentes Industriais na Bacia do Rio Doce



É possível observar de acordo com a Figura 13, a grande concentração de pontos de lançamento em municípios como Governador Valadares, Ipatinga e Timóteo, integrantes do Vale do Aço na Sub-bacia do Rio Suaçuí Grande. Também há maior densidade de lançamentos nos municípios de Ouro Preto, Carandaí, João Monlevade e Caratinga, estes pertencentes as Sub-bacias do Rio Piracicaba e Rio Caratinga. Em relação ao estado do Espírito Santo, há uma grande concentração de lançamentos no Rio Doce na região próxima à Sub-bacia do Rio Santa Maria do Doce.

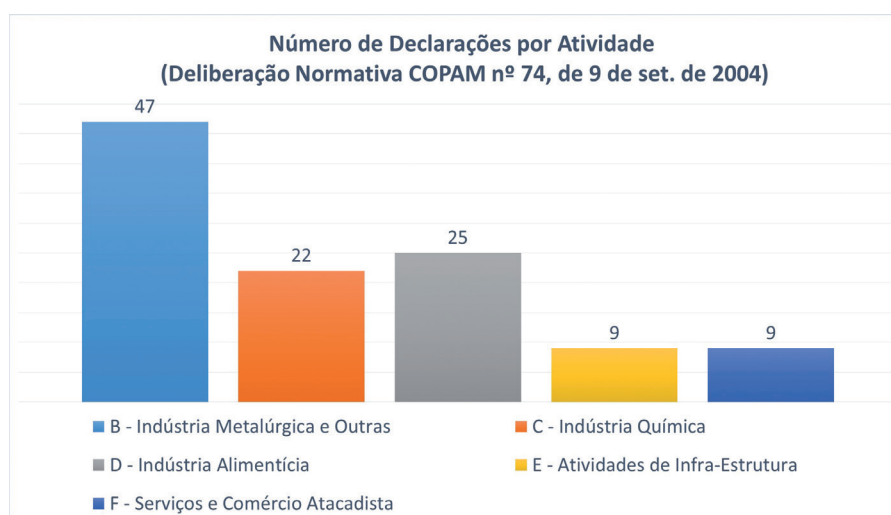
3.1.2 AVALIAÇÃO DO LANÇAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS

Segundo a Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004, os empreendimentos no estado de Minas Gerais são classificados de 1 a 6, de acordo com seu potencial poluidor. Por definição da FEAM, os empreendimentos com classificação igual ou maior do que 3 devem apresentar anualmente as Declarações de Carga Poluidora (DCP), com as características do efluente lançado conforme o § 1º do artigo 39 da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n.º 1, de 14 de abril de 2008. As informações referentes às declarações recebidas em 2015 encontram-se indisponíveis no endereço eletrônico da instituição devido às inconsistências no sistema de recebimento das DCP. Por este motivo, foram utilizadas as declarações do ano de 2014 para a composição deste relatório.

Além da classificação por potencial poluidor, os empreendimentos no estado de Minas Gerais são classificados também quanto à tipologia da atividade exercida de acordo com a referida normativa. Na área de estudo, no ano de 2014, os números de Declarações de Carga Poluidora recebidas por atividade estão ilustrados na Figura 14. Nota-se a exclusão, para efeito de análise neste item, das atividades

com código iniciado em A, visto que essas se referem a atividades mineradoras e serão exploradas em um tópico específico deste relatório.

Figura 14 - Número de Declarações de Carga Poluidora recebidas pela FEAM em 2014, na bacia do Rio Doce, em MG.



As atividades são classificadas por códigos alfanuméricos compostos de uma letra (referente à categoria mais abrangente) e cinco números (conforme as subcategorias de cada atividade). Dentro das categorias mais abrangentes (classificadas entre as letras A e F), as atividades se dividem em diversas subcategorias. Nas Tabelas 1 a 5, encontram-se a descrição das subcategorias encontradas nas DCP em 2014.

Tabela 2 - Atividades presentes na área de estudo em 2014 na categoria B

B – INDÚSTRIA METALÚRGICA E OUTRAS	
Código	Descrição da Tipologia
B-01-04-1	Fabricação de material cerâmico
B-01-05-8	Fabricação de cimento
B-01-09-0	Aparelhamento, beneficiamento, preparação e transformação de minerais não metálicos, não associados à extração
B-02-01-1	Siderurgia e elaboração de produtos siderúrgicos com redução de minérios, inclusive ferro-gusa.
B-03-04-2	Produção de ligas metálicas (ferro ligas)
B-04-01-4	Metalurgia dos metais não-ferrosos em formas primárias, inclusive metais preciosos
B-05-03-7	Fabricação de estruturas metálicas e artefatos de trefilados de ferro, aço e de metais não-ferrosos, com tratamento químico superficial, exclusive móveis.
B-05-04-5	Fabricação de estruturas metálicas e artefatos de trefilados de ferro, aço e de metais não-ferrosos, sem tratamento químico superficial, exclusive móveis.
B-06-02-5	Serviço galvanotécnico.
B-08-02-8	Fabricação de pilhas, baterias e acumuladores
B-10-03-0	Fabricação de móveis estofados ou de colchões, com fabricação de espuma.

Tabela 3 - Atividades presentes na área de estudo em 2014 na categoria C.

C – INDÚSTRIA QUÍMICA	
Código	Descrição da Tipologia
C-01-01-5	Fabricação de celulose
C-01-03-1	Fabricação de papel, cartolina, cartão e polpa moldada, utilizando celulose e/ou papel reciclado como matéria-prima.
C-02-03-8	Recauchutagem de pneumáticos
C-02-04-6	Fabricação de laminados e fios de borracha
C-02-06-2	Fabricação de artefatos de borracha tais como peças e acessórios para veículos, máquinas e aparelhos, correias, canos, tubos, artigos para uso doméstico, galochas e botas, etc., inclusive artigos de vestuário e equipamentos de segurança.
C-03-02-6	Fabricação de couro por processo completo, a partir de peles até o couro acabado, com curtimento ao cromo, seus derivados ou tanino sintético.
C-04-01-4	Produção de substâncias químicas e de produtos químicos inorgânicos, orgânicos, organo-inorgânicos, exclusive produtos derivados do processamento do petróleo, de rochas oleígenas, do carvão-de-pedra e da madeira.
C-04-15-4	Fabricação de tintas, esmaltes, lacas, vernizes, impermeabilizantes, solventes e secantes.
C-05-01-0	Fabricação de produtos para diagnósticos com sangue e hemoderivados, farmoquímicos (matéria-prima e princípios ativos), vacinas, produtos biológicos e /ou aqueles provenientes de organismos geneticamente modificados.
C-06-01-7	Fabricação de produtos de perfumaria e cosméticos
C-07-01-3	Moldagem de termoplástico não organoclorado, sem a utilização de matéria-prima reciclada ou com a utilização de matéria-prima reciclada a seco, sem utilização de tinta para gravação.
C-08-07-9	Fiação e tecelagem plana e tubular com fibras naturais e sintéticas, sem acabamento, exclusive tricô e crochê
C-08-08-7	Fiação e tecelagem plana e tubular com fibras naturais e sintéticas, com acabamento
C-09-01-6	Facção e confecção de roupas, peças de vestuário e artefatos diversos de tecidos com lavagem, tingimento e outros acabamentos.
C-10-01-4	Usinas de produção de concreto comum
C-10-02-2	Usinas de produção de concreto asfáltico

Tabela 4 - Atividades presentes na área de estudo em 2014 na categoria D.

D – INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA	
Código	Descrição da Tipologia
D-01-02-3	Abate de animais de pequeno porte (aves, coelhos, rãs, etc.)
D-01-03-1	Abate de animais de médio e grande porte (suínos, ovinos, caprinos, bovinos, equinos, bubalinos, muares, etc.)
D-01-04-1	Industrialização da carne, inclusive desossa, charqueada e preparação de conservas
D-01-05-8	Processamento de subprodutos de origem animal para produção de sebo, óleos e farinha.
D-01-06-6	Preparação do leite e fabricação de produtos de laticínios.
D-01-14-7	Fabricação de produtos alimentares, não especificados ou não classificados

Tabela 5 - Atividades presentes na área de estudo em 2014 na categoria E.

E – ATIVIDADES DE INFRAESTRUTURA	
Código	Descrição da Tipologia
E-01-04-1	Ferrovias
E-02-01-1	Barragens de geração de energia - Hidrelétricas
E-03-06-9	Tratamento de esgoto sanitário
E-03-07-7	Tratamento e/ou disposição final de resíduos sólidos urbanos

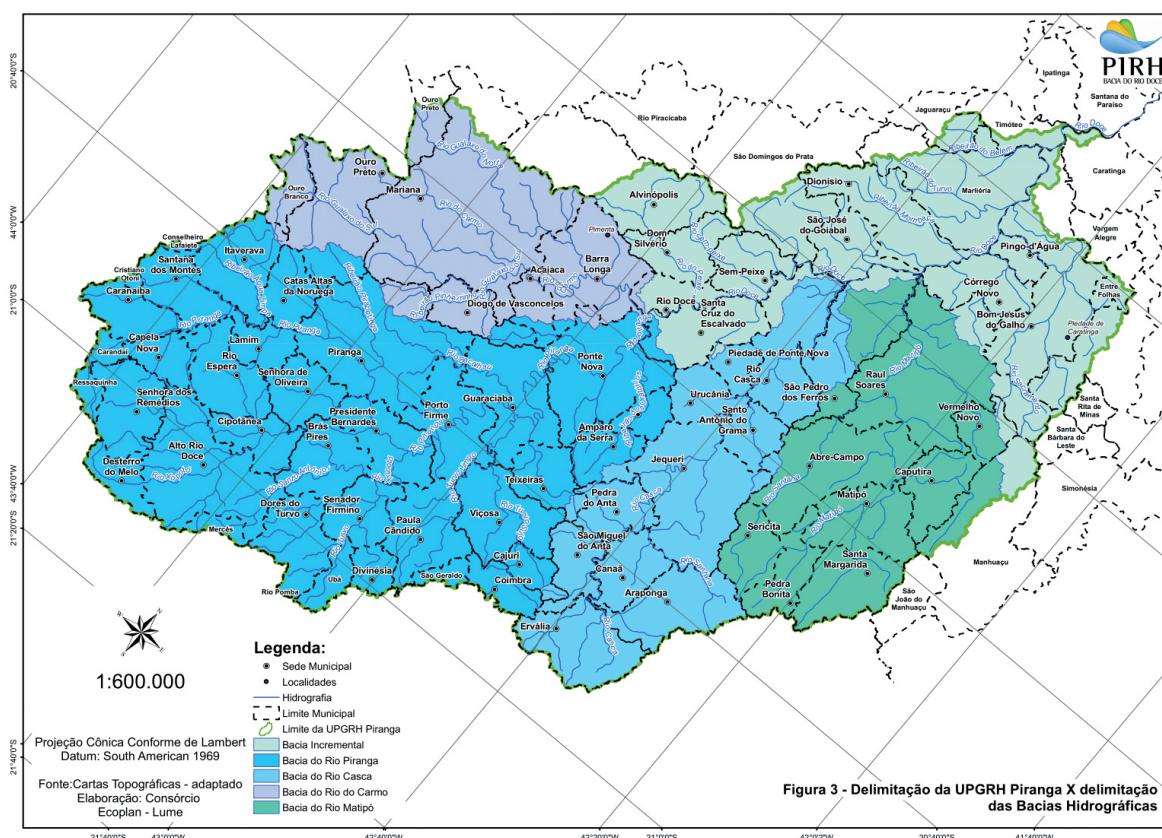
Tabela 6 - Atividades presentes na área de estudo em 2014 na categoria E.

F – SERVIÇOS E COMÉRCIO ATACADISTA	
Código	Descrição da Tipologia
F-03-03-4	Centros de pesquisas científicas e tecnológicas, não classificadas ou especificadas, exclusive de pesquisa nuclear.
F-05-07-1	Reciclagem ou regeneração de outros resíduos classe 2 (não perigosos) não especificados.
F-05-08-8	Reciclagem ou regeneração de produtos químicos.
F-06-01-7	Postos revendedores, postos ou pontos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas, postos flutuantes de combustíveis e postos revendedores de combustíveis de aviação.
F-06-02-5	Lavanderias industriais com tingimento, amaciamento e outros acabamentos em roupas, peças do vestuário e artefatos diversos de tecidos.

3.1.2.1 Bacia do Rio Piranga

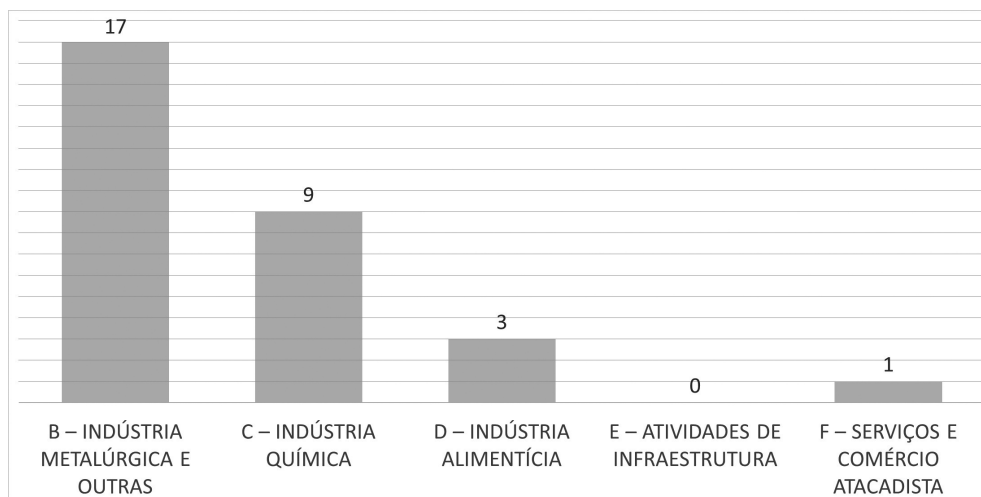
A Sub-bacia do Rio Piranga, ou a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do Rio Piranga (Figura 15) está inserida totalmente no Estado de Minas Gerais e estende-se desde as nascentes do rio Piranga até as proximidades do Parque Estadual do Rio Doce (PAQE). É composta pelas bacias hidrográficas do rio Piranga propriamente dita, que ocupa uma área de 6.606 km², pela bacia hidrográfica do rio do Carmo, com área de 2.278 km², pela bacia do rio Casca, com área de 2.510 km² e pela bacia hidrográfica do rio Matipó, com 2.550 km² (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010b).

Figura 15 - Delimitação da UPGRH Piranga e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Piranga

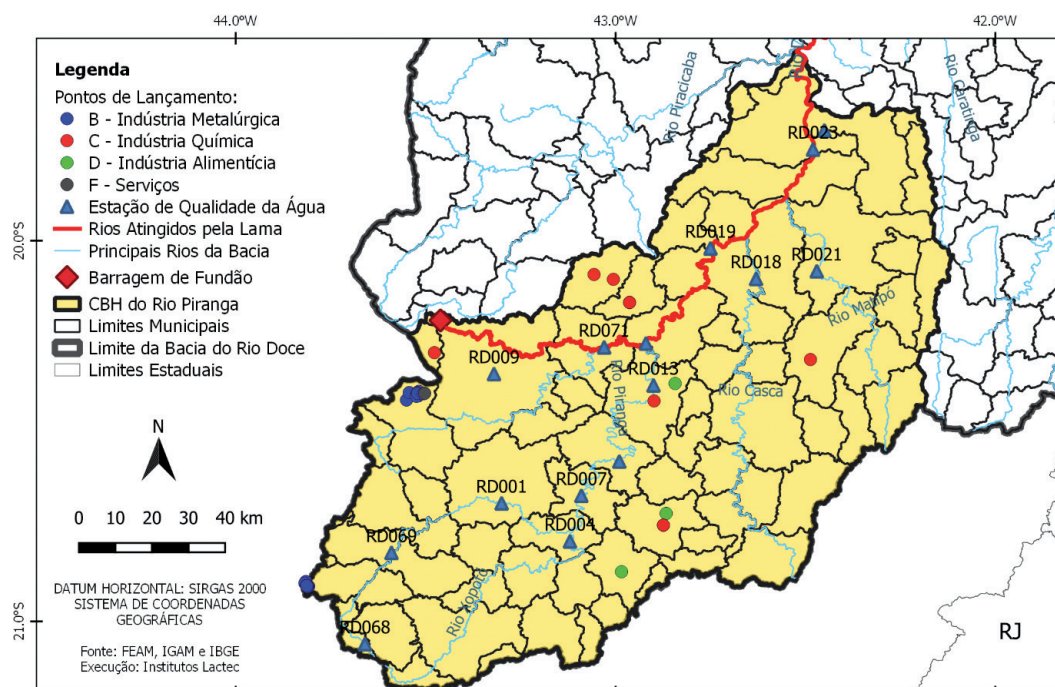


Fonte: CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, (2010b)

A Figura 16 mostra o número de pontos de lançamento conforme as Declarações de Carga Poluidora recebidos pela FEAM no ano de 2014 para os municípios da Bacia do Rio Piranga.

Figura 16 - Número de Declarações por Código de Tipologia na Bacia do Rio Piranga

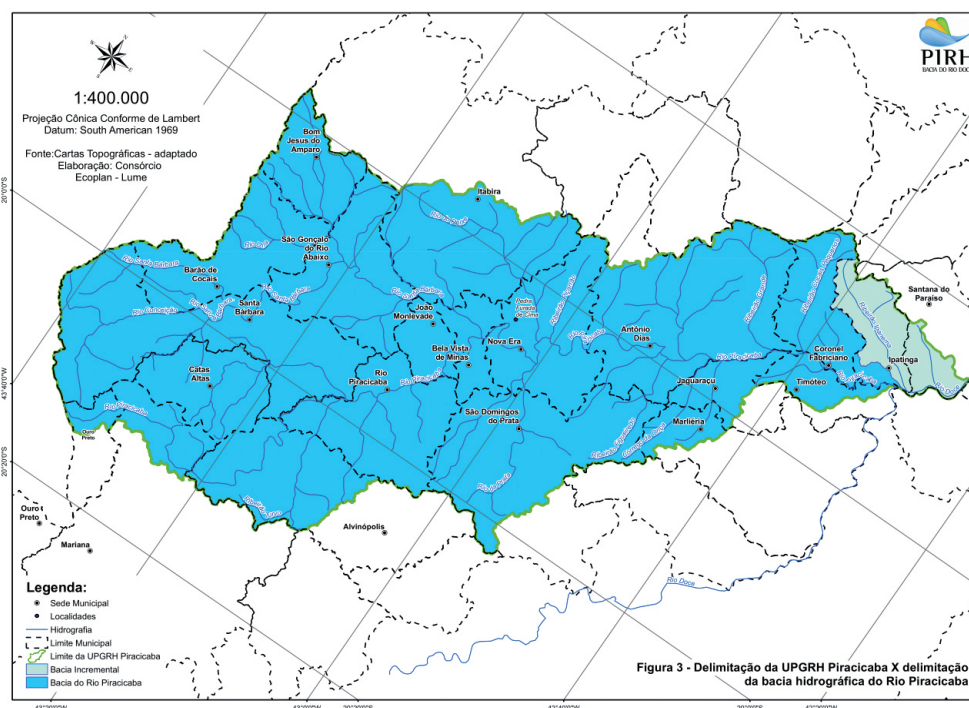
Conforme pode ser observado, entre as 17 declarações recebidas na categoria B, houveram nove DCP para o código B-01-05-8 referentes a atividades de fabricação de cimento. Todas as nove DCP recebidas foram pela mesma indústria de cimento que se encontra no município de Caranaíba. Houveram também sete DCP de empreendimentos de código B-04-01-4, que se referem todas a pontos de lançamento de efluentes de metalurgia de metais não-ferrosos no município de Ouro Preto. O código C-06-01-7 refere-se à fabricação de produtos de perfumaria e cosméticos, com duas DCP registradas em Dom Silvério, e uma localizada em Alvinópolis. A Figura 17 mostra todos os pontos de lançamento para as subcategorias de lançamento na Bacia do Rio Piranga.

Figura 17 - Localização dos Pontos de Lançamento de Efluente Industrial na Bacia do Rio Piranga.

3.1.2.2 Bacia do Rio Piracicaba

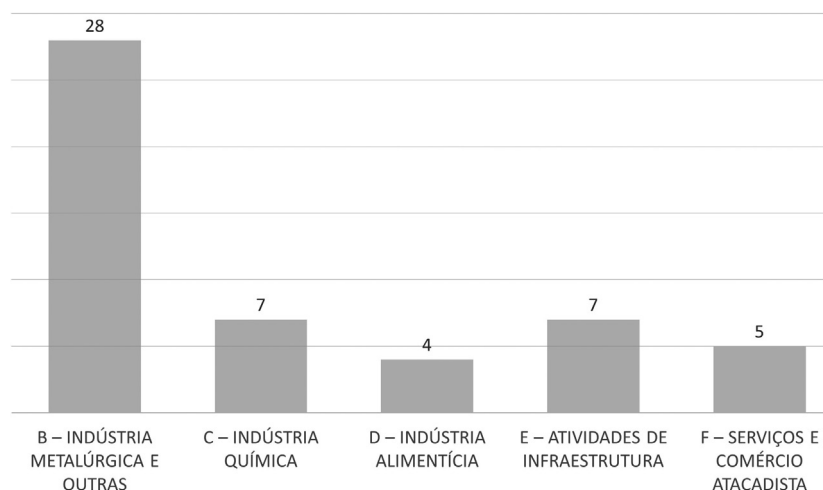
A Sub-bacia do Rio Piracicaba ou a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio Piracicaba (Figura 18) é composta pela bacia do rio Piracicaba e por uma área incremental a jusante da foz deste rio. O rio Piracicaba é afluente da margem esquerda do rio Doce e estende-se por cerca de 241 km. A sua bacia hidrográfica ocupa uma área de 5.465,38 km². A pequena área incremental a jusante da confluência do rio Piracicaba com o rio Doce, incluindo um trecho deste, tem uma superfície de 216,13 km², sendo o principal curso d'água o ribeirão Ipanema. O rio Piracicaba é o principal curso d'água da região. Suas nascentes localizam-se no município de Ouro Preto, a 1.680m de altitude. O rio Piracicaba percorre 241 km até encontrar o rio Doce, na divisa dos municípios de Ipatinga e Timóteo. Ao longo deste percurso, passa por cidades como Rio Piracicaba, Nova Era, Antônio Dias e pela Região Metropolitana do Vale do Aço, formada por Coronel Fabriciano e Ipatinga, na margem esquerda e Timóteo, na margem direita. (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010c).

Figura 18 - Delimitação da UPGRH Piracicaba e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba

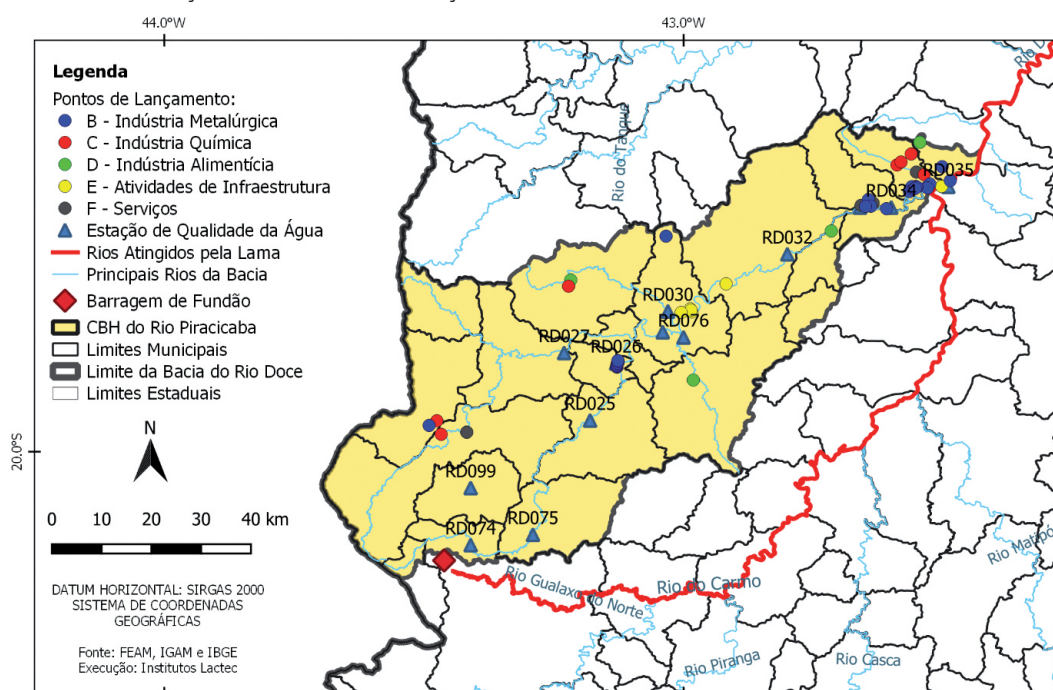


Fonte: CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, (2010b)

É possível observar na Figura 19 a grande quantidade de Declarações de Carga Poluidora para atividades de tipologia B, mais especificamente para a classificação B-02-01-1 (16 declarações), que corresponde a siderurgia e elaboração de produtos siderúrgicos com redução de minérios, inclusive ferro-gusa. Destas, dez das dezesseis declarações recebidas vêm da Arcelormittal Brasil S.A., que tem pontos de lançamento em Timóteo e João Monlevade. As outras seis declarações para a tipologia foram enviadas pela Usiminas, com todos os pontos de lançamento dentro dos limites do município de Ipatinga. Estas duas empresas, se somadas, correspondem a cerca de 79,5% de todo lançamento realizado nesta bacia. A segunda tipologia mais presente (seis DCP) é referente à serviço galvanométrico (B-06-02-5) presente na cidade de Ipatinga.

Figura 19 - Número de Declarações por Código de Tipologia na Bacia do Rio Piracicaba.

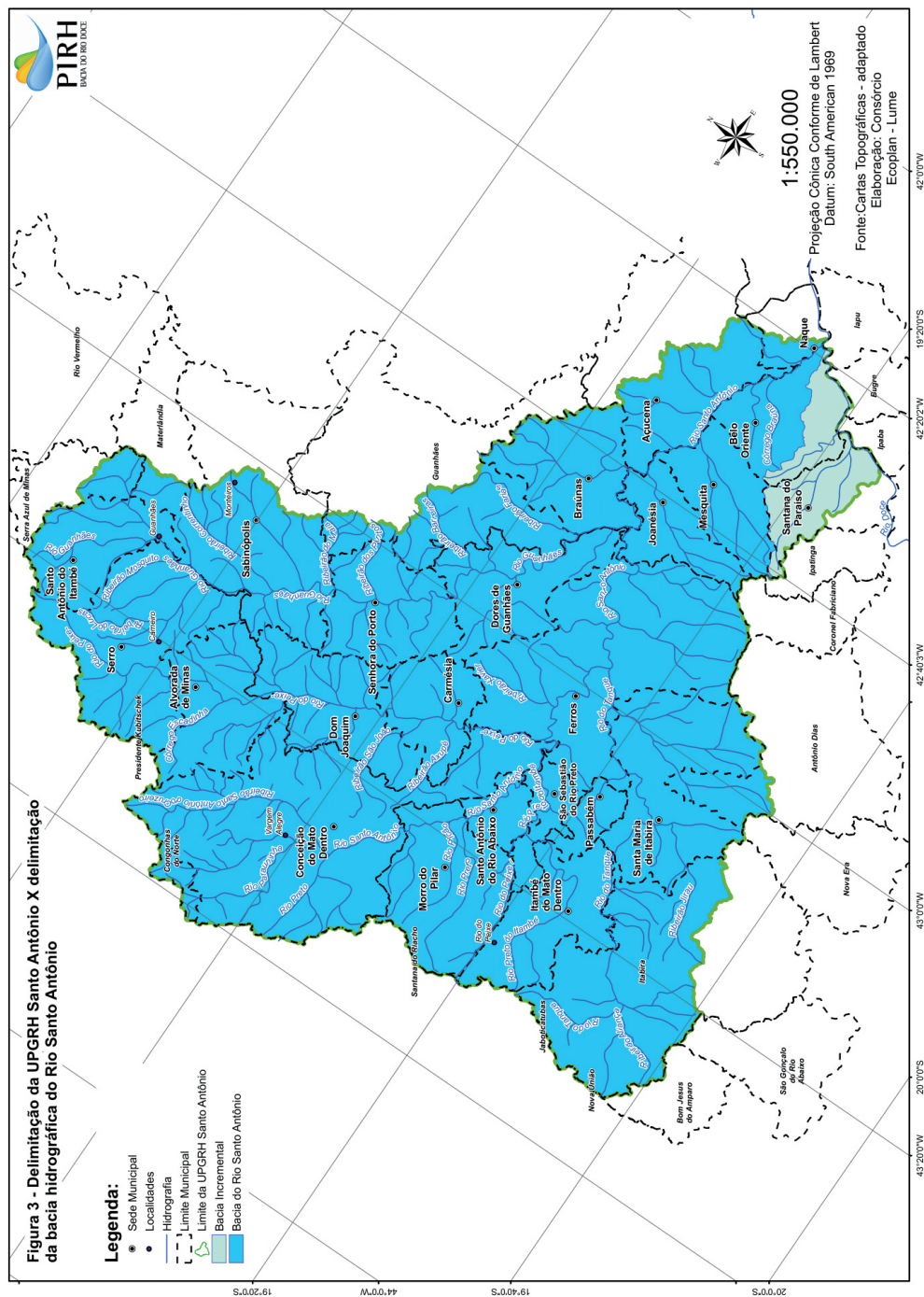
A Figura 20 mostra a distribuição dos pontos de lançamento dentro da bacia do Rio Piracicaba. Em relação ao volume de lançamentos nesta bacia, é importante ressaltar que 98% do total de efluente lançado corresponde à categoria B, desconsiderando-se o lançamento das Estações de Tratamento de Esgoto Doméstico presente nos municípios desta Sub-bacia.

Figura 20 - Localização dos Pontos de Lançamento de Efluente Industrial na Bacia do Rio Piracicaba.

3.1.2.3 Bacia do Rio Santo Antônio

A Sub-bacia do Rio Santo Antônio ou a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Santo Antônio (Figura 21) é composta pela bacia do rio Santo Antônio e por uma área incremental a montante da foz deste rio. A bacia hidrográfica do rio Santo Antônio ocupa uma área de 10.429,46 km². Os principais cursos d'água da bacia, além do rio Santo Antônio, são os rios Guanhões e do Peixe, seus afluentes pela margem esquerda, e rios do Tanque e Preto do Itambé, afluentes pela margem direita. A área incremental Santo Antônio inclui um trecho do rio Doce, com área de 327,43 km² e é composta por cursos d'água de pequeno porte, como o córrego Preto (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010d).

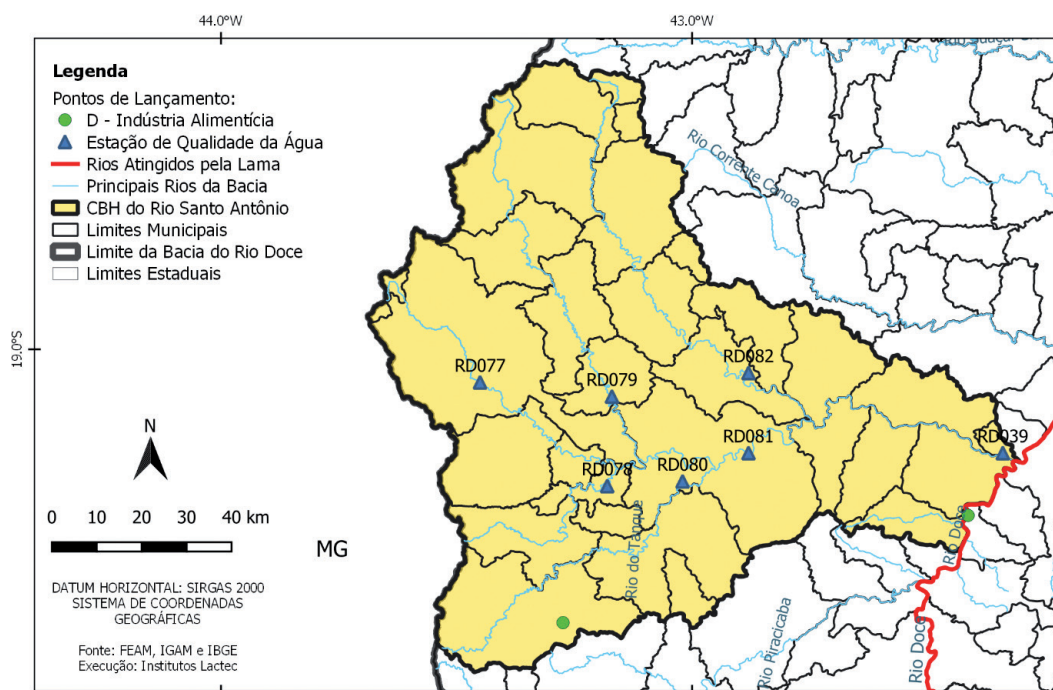
Figura 21 - Delimitação da UPGRH Santo Antônio e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio



Fonte: CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, (2010d)

No ano de 2014, a região da bacia do Rio Santo Antônio recebeu apenas duas DCP, ambas com tipologia **D-01-03-1**, referentes a abatedouros de animais de médio a grande porte. A Figura 22 mostra a localização de ambos pontos de lançamento, em Itabira e Santana do Paraíso, respectivamente.

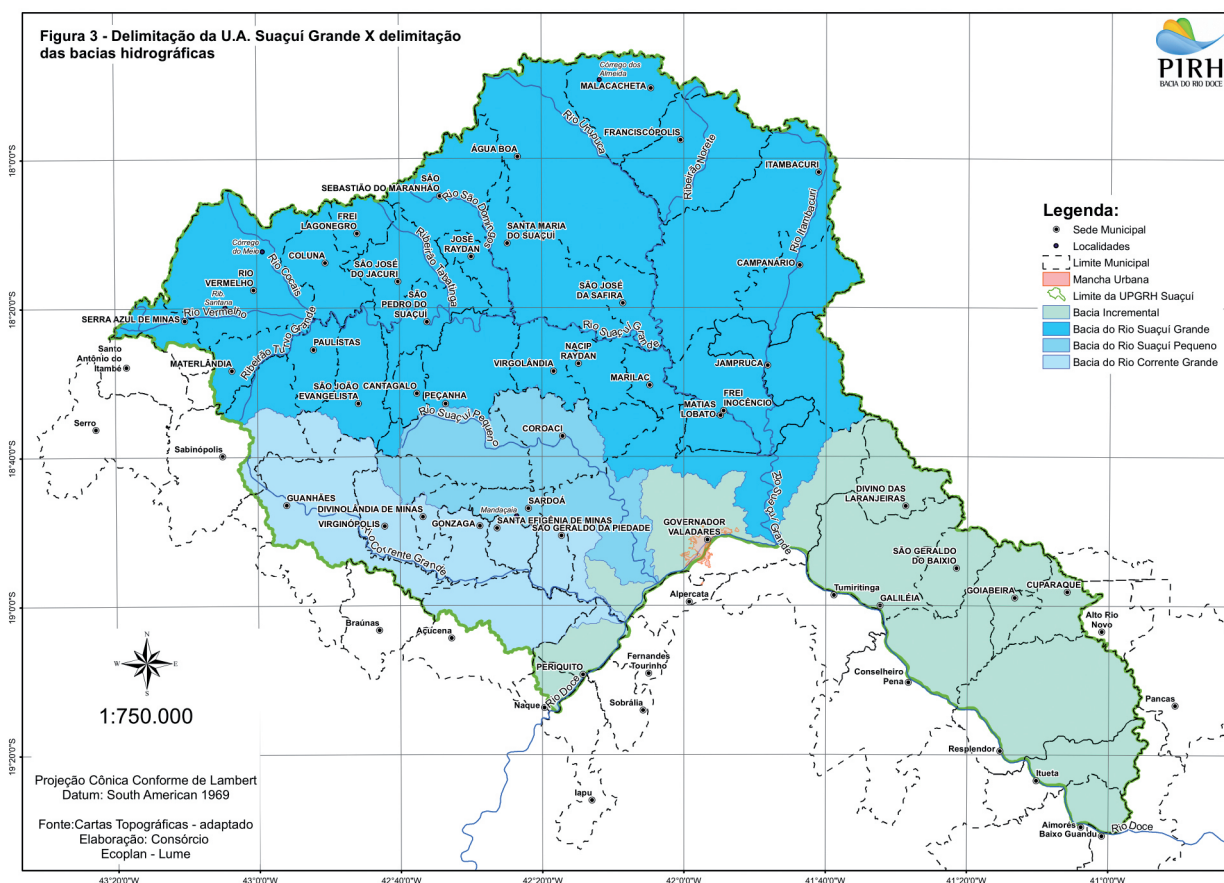
Figura 22 - Localização dos Pontos de Lançamento de Efluente Industrial na Bacia do Rio Santo Antônio.



3.1.2.4 Bacia do Rio Suaçuí Grande

A Sub-bacia do Rio Suaçuí Grande ou a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio Suaçuí Grande (Figura 23) é a maior em extensão territorial dentre as constituintes da macrobacia do Rio Doce, abrangendo área de 21.555km², sendo composta principalmente pela bacia hidrográfica do rio Suaçuí Grande, que ocupa uma área de 12.413 km², pela bacia hidrográfica do rio Suaçuí Pequeno, com área de 1.720 km², e pela bacia do rio Corrente Grande, com área de 2.478 km². O rio Suaçuí nasce no município de Serra Azul de Minas, no Parque Estadual do Pico do Itambé, no maciço rochoso da Serra do Espinhaço, com o nome de rio Vermelho. Encontrando-se com os rios Turvo Grande e Cocaís, no município de Paulistas, recebe o nome de rio Suaçuí Grande. Percorre um total de cerca de 300 km até desaguar no rio Doce, no município de Governador Valadares. (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010e).

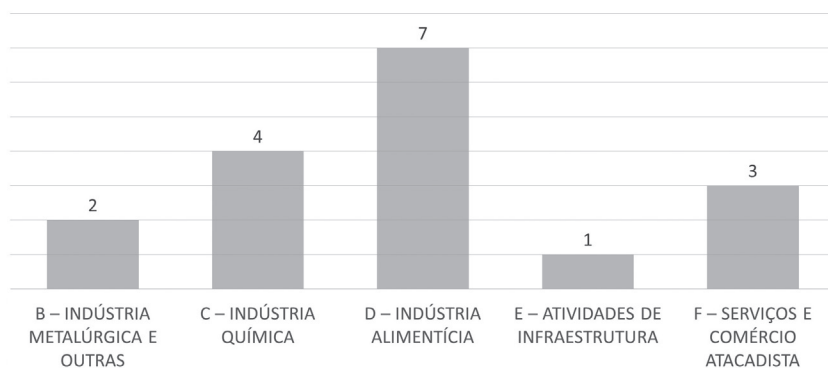
Figura 23 - Delimitação da UPGRH Suaçuí e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Suaçuí Grande



Fonte: CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, (2010e)

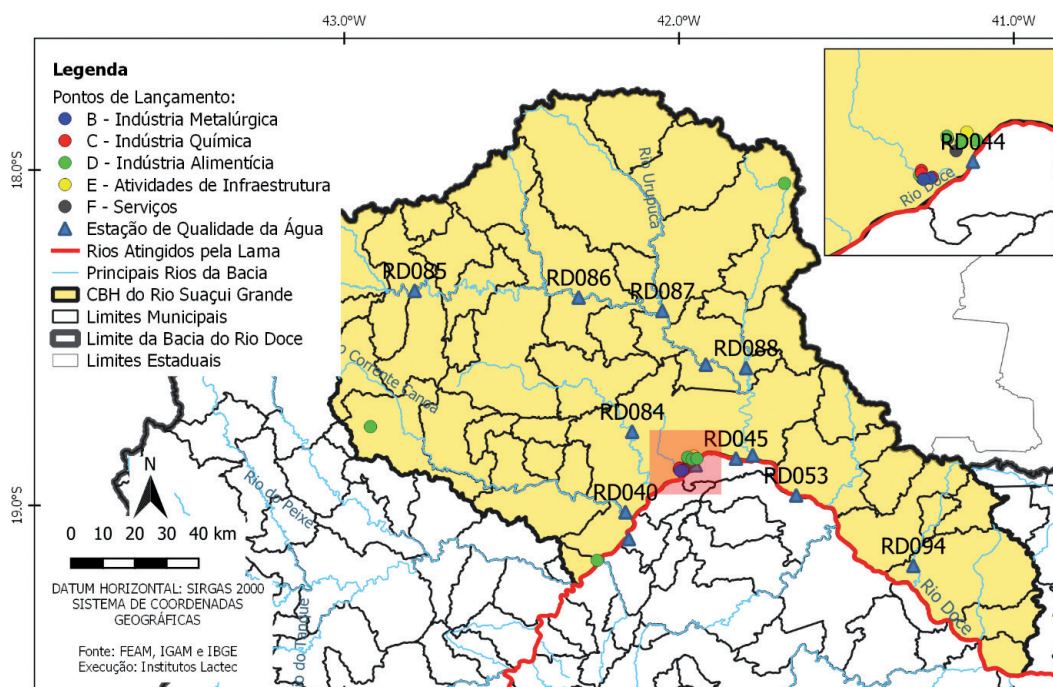
Conforme pode ser observado na Figura 24, a tipologia de atividade que mais recebeu Declarações de Carga Poluidora para a região da Bacia do Suaçuí Grande em 2014 é D-01-06-6, que descreve a preparação de leite e fabricação de produtos de laticínios. São quatro empresas distintas que também têm declarados os maiores volumes de lançamento de efluente tratado na região. Estas empresas, quando somadas, correspondem, em termos de volume, a cerca de 95% de todo o lançamento realizado na Sub-bacia.

Figura 24 - Número de Declarações por Código de Tipologia na Bacia do Rio Suaçuí Grande.



As outras três tipologias que mais receberam DCP são **B-08-02-8**, **C-02-06-2**, e **F-06-01-7**, descrevendo a fabricação de pilhas, baterias e acumuladores, fabricação de artefatos de borracha e postos revendedores ou de abastecimento, respectivamente. A Figura 25 mostra a concentração de empreendimentos no município de Governador Valadares. Das dezessete DCP recebidas em 2014, quatorze dizem respeito a empreendimentos localizados no município.

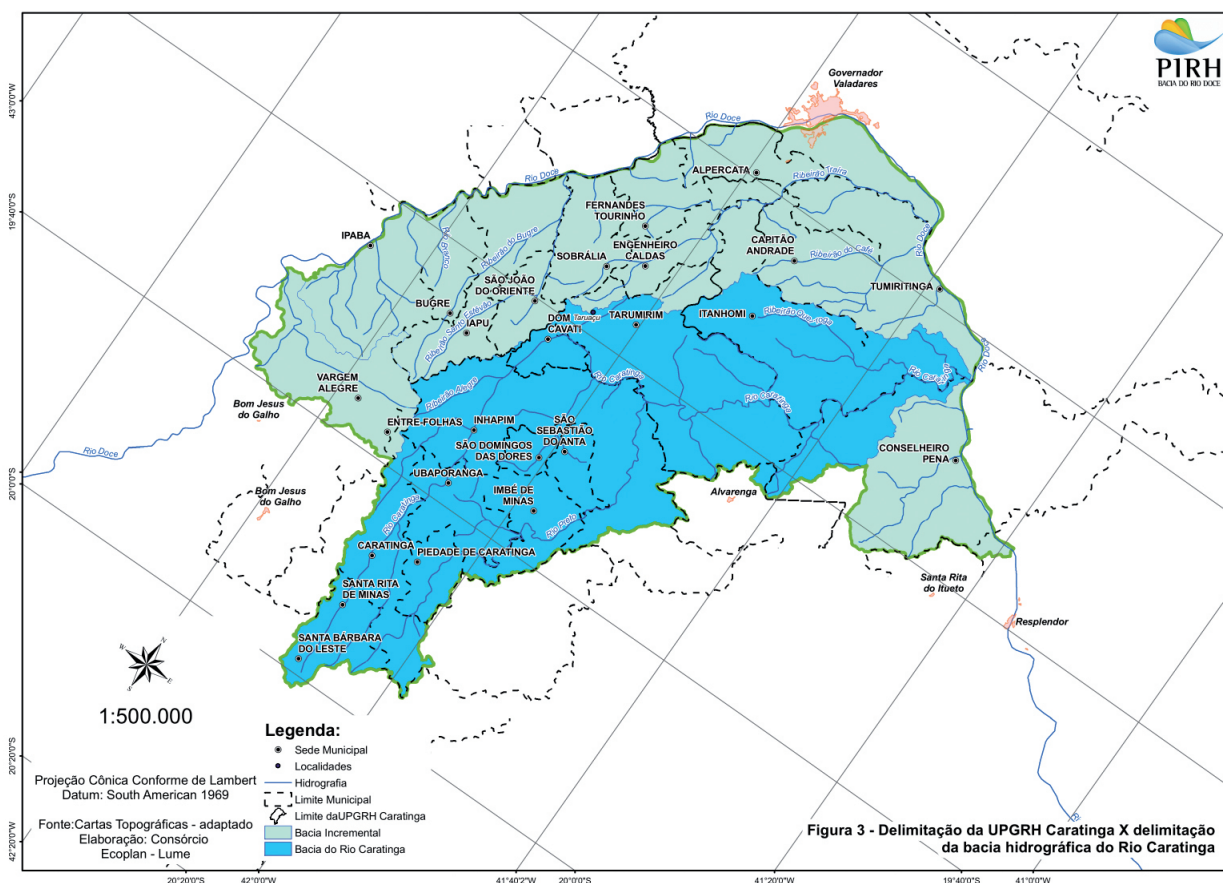
Figura 25 - Localização dos Pontos de Lançamento de Efluente Industrial na Bacia do Rio Suaçuí Grande.



3.1.2.5 Bacia do Rio Caratinga

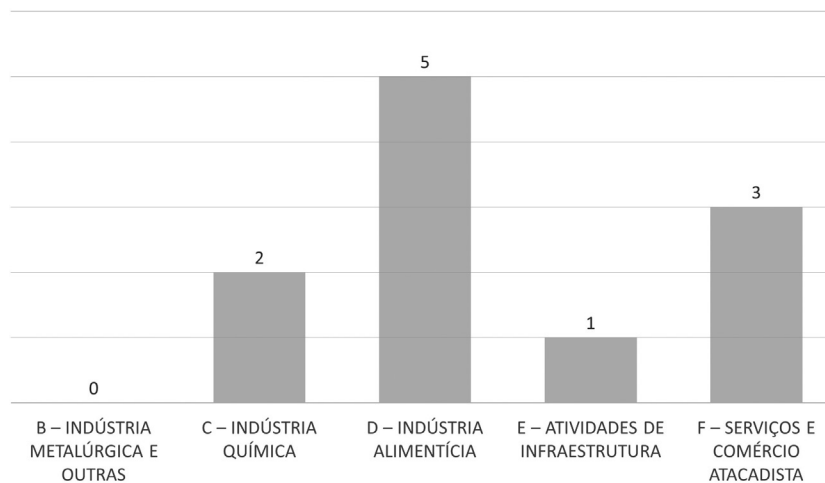
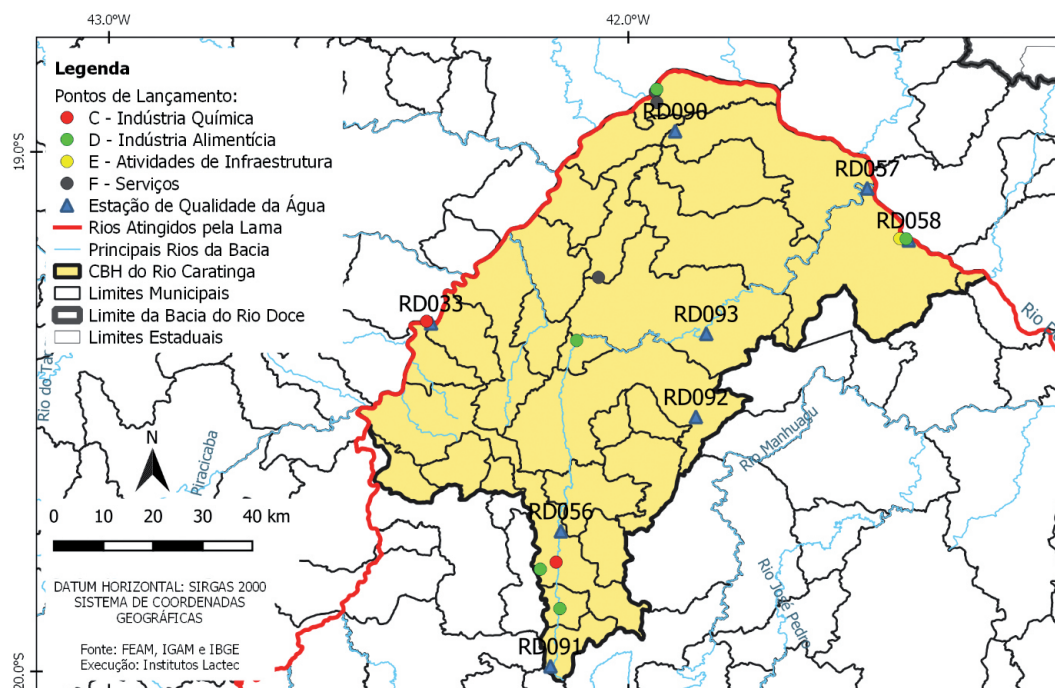
A Sub-bacia do Rio Caratinga ou a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Caratinga (Figura 26) envolve uma área de 6.677,62 km², sendo composta pela bacia do rio Caratinga e por uma área incremental a jusante da foz deste rio, cuja drenagem se dá diretamente para o rio Doce (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010f).

Figura 26 - Delimitação da UPGRH Caratinga e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Caratinga



Fonte: CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, (2010f)

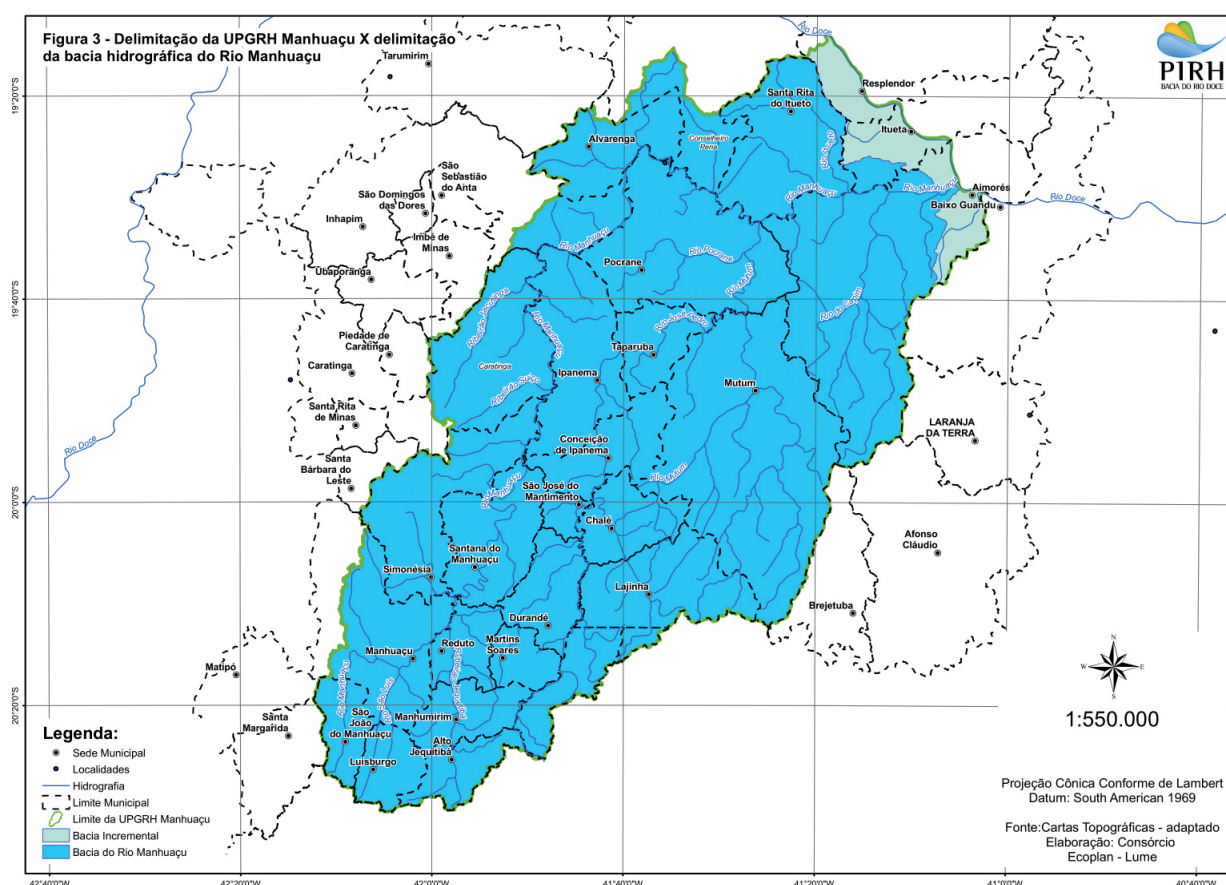
A Figura 27, que expõe o número de DCP recebidas em 2014 por tipologia de atividade, confirma a predominância do setor de serviços (categoria F) na região. O código F-06-01-7 refere-se a postos revendedores, postos ou pontos de atendimento, instalações de sistemas retalhistas, pontos flutuantes de combustíveis e postos revendedores de combustíveis de aviação. O código D-01-03-1 refere-se a atividades de abate de animais de médio e grande portes. É importante ressaltar a presença da Celulose Nipo-Brasileira S/A na região, com código C-01-01-5. Ela ocupa a posição de empreendimento que mais lança efluente na região (quase 99% de todo o efluente lançado), à frente dos empreendimentos de abate e de fabricação de produtos de laticínios (D-01-06-6). A Figura 28 mostra todos os pontos de lançamento para as subcategorias de lançamento na Bacia do Rio Caratinga.

Figura 27 - Número de Declarações por Código de Tipologia na Bacia do Rio Caratinga.**Figura 28** - Localização dos Pontos de Lançamento de Efluente Industrial na Bacia do Rio Caratinga.

3.1.2.6 Bacia do Rio Manhuaçu

Sub-bacia do Rio Manhuaçu ou a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio Manhuaçu (Figura 29) é composta pela bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, que ocupa uma área de 8.826,37 km², e por uma pequena área incremental (362,68 km²) que inclui um trecho com pequenos córregos (Barroso, Barrosinho, Sossego, Natividade, Santana, da Barata e Lorena), os quais drenam diretamente para o rio Doce (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010g).

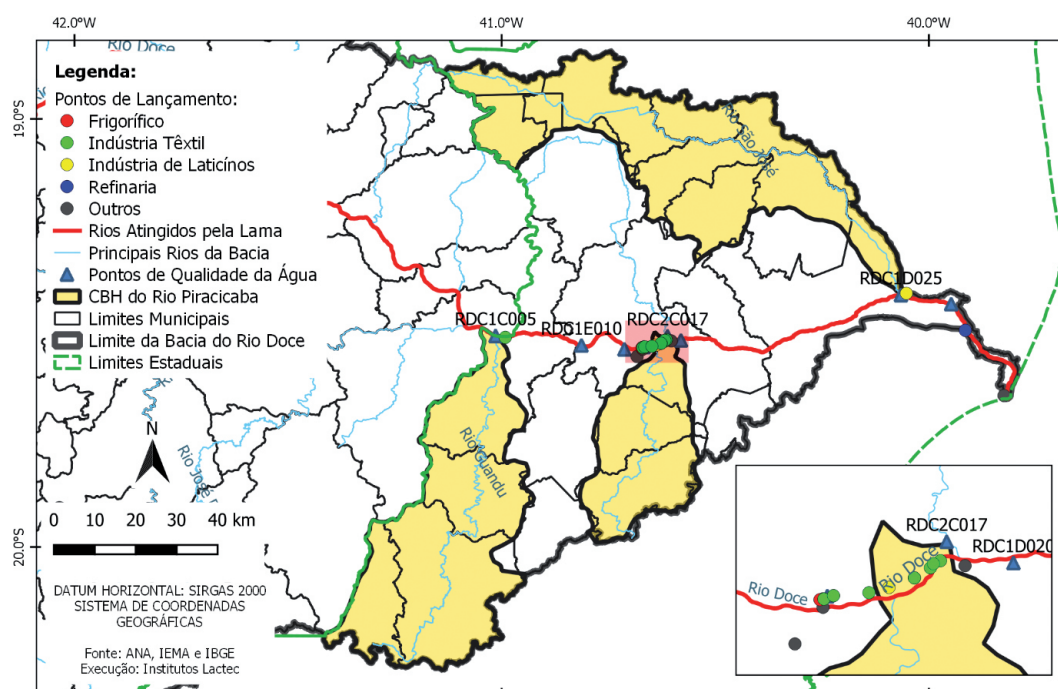
Figura 29 - Delimitação da UPGRH Manhuaçu e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu



Fonte: CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, (2010g)

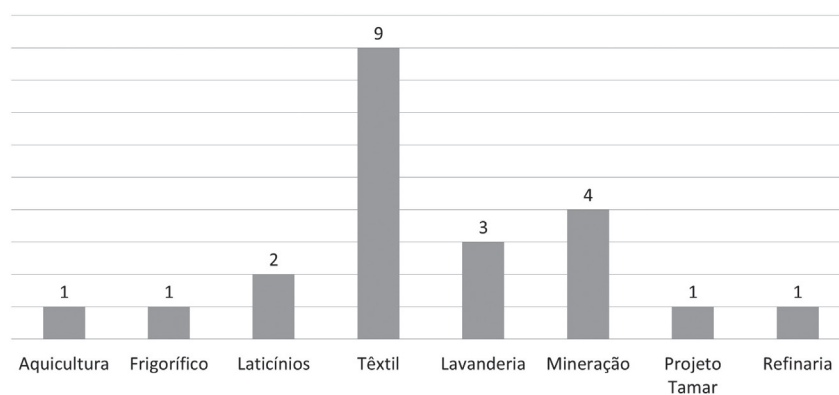
Durante o ano de 2014, a bacia possuía apenas empreendimentos referentes à Indústria Alimentícia (Código D). O código D-01-06-6 refere-se a atividades de preparação do leite e fabricação de produtos de laticínios, o código de tipologia D-01-03-1 diz respeito a abatedouros de animais de médio a grande porte, e o código D-01-14-7 diz respeito a fabricação de produtos alimentares. A Figura 30 mostra a distribuição dos quatro pontos de lançamento na área da bacia do Rio Manhuaçu.

Figura 31 - Localização dos Pontos de Lançamento de Efluente Industrial nas Bacias do Rio Doce no Estado do Espírito Santo.



Nota-se, pela Figura anterior, uma grande concentração de lançamentos próximos à Sub-bacia do Rio Santa Maria do Doce, mais especificadamente entre os municípios de Baixo Gandu e Colatina. A Figura 32 traz o número de outorgas para lançamento por ramo de atividade.

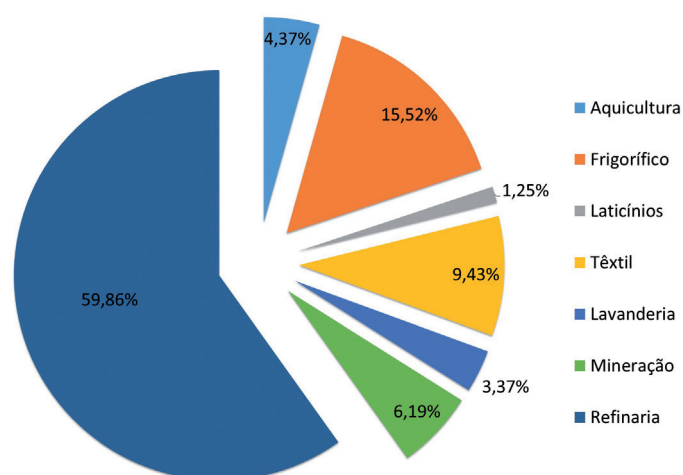
Figura 32 – Número de Outorgas de Lançamento por Atividade no Estado do Espírito Santo.



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2018)

A atividade têxtil é a que possui maior presença na região, seguida pelas atividades de mineração e de lavanderias. Entretanto, se considerarmos o volume outorgado por ano, a atividade de refinaria corresponde por 63,8% do volume outorgado, seguido pelos setores de frigorífico e têxtil. A distribuição do volume anual outorgado no trecho do Rio Doce no Espírito Santo pode ser visualizada na Figura 33.

Figura 33 - Distribuição do volume outorgado para lançamento por ramo de atividade.

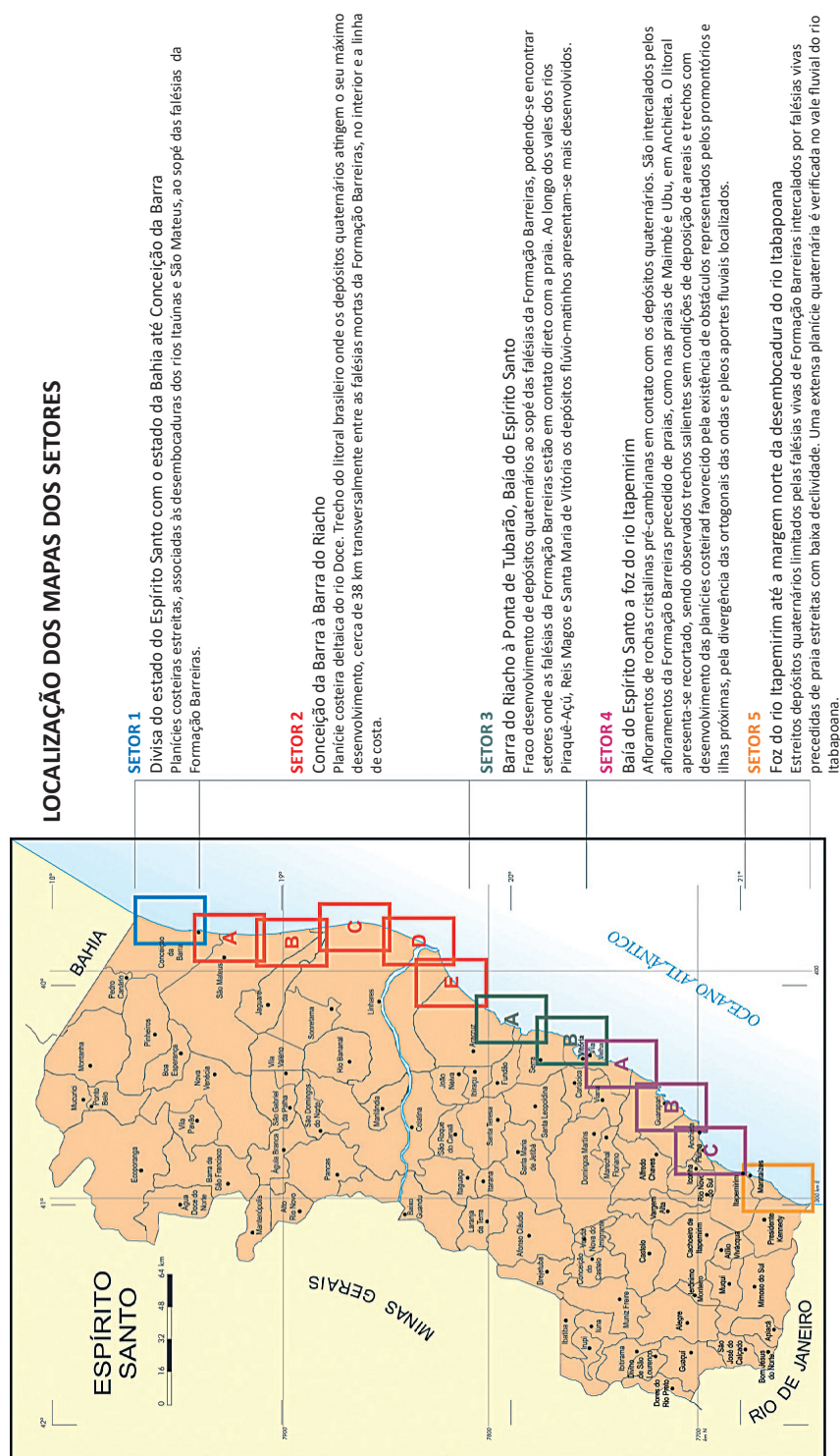


Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2018)

3.1.3.2 Parte Costeira

O litoral espírito-santense, de largura variável, possui 392 km de extensão da fronteira com a Bahia até o limite com o Rio de Janeiro. O litoral é rochoso ao sul, com falésias de arenito, e também na parte central, com grandes morros e afloramentos graníticos a beira mar, além de ser recortado com enseadas e baías. É arenoso ao norte, com praias longas de ar aberto e cobertas por uma vegetação rasteira. Destaque para as dunas de Itaúnas, no extremo norte capixaba (GOVERNO DO ESPÍRITO SANTO, 2016). A distribuição e o contato entre os depósitos da Formação Barreiras, os afloramentos cristalinos e as planícies costeiras permitiram realizar a subdivisão fisiográfica (Figura 34) da costa do Espírito Santo em cinco setores conforme proposto por MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2006, apud MARTIN et al., 1996).

Figura 34 – Subdivisão fisiográfica da costa do Espírito Santo

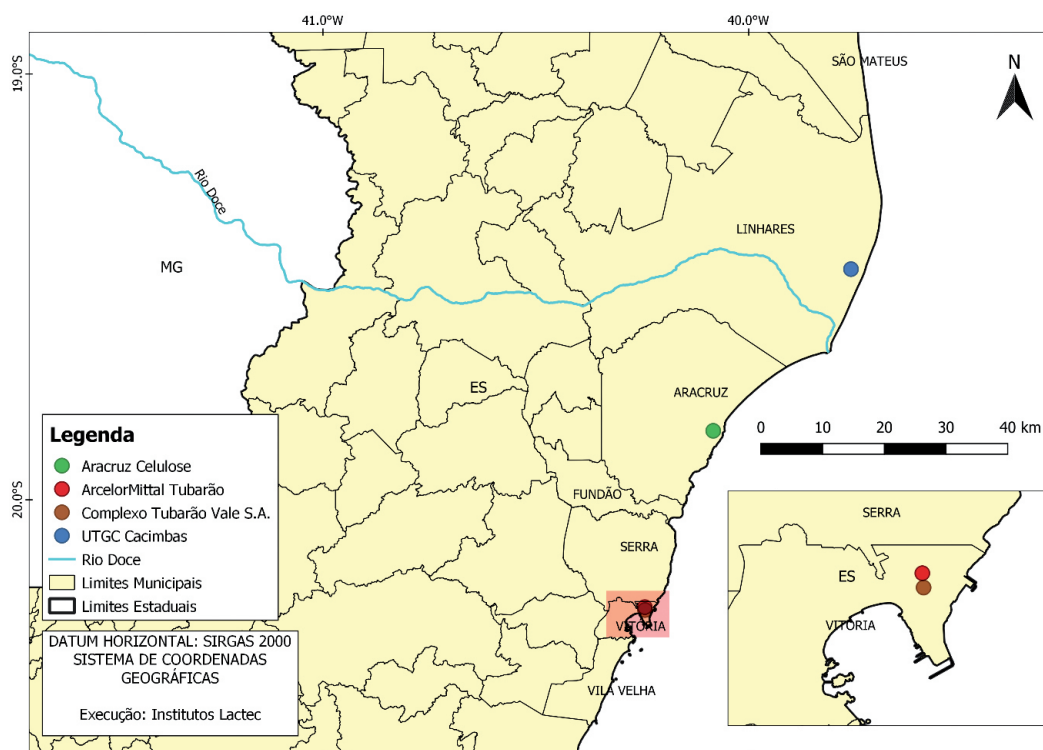


Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2006)

Para a avaliação das fontes poluidoras presentes no litoral capixaba que possam ter influência da pluma de rejeitos oriunda do rompimento da Barragem de Fundão, foi definida, de forma arbitrária englobar os municípios do setor 2 e 3, conforme Figura 34. Estes setores correspondem de Conceição da Barra, passando pela planície costeira deltaica do rio Doce, até a Baía do Espírito Santo, compreendendo os municípios costeiros de São Mateus, Linhares, Aracruz Fundão, Serra, Vitória e Vila Velha.

Diferentemente do que foi realizado para os corpos hídricos, não foi encontrado os dados de outorgas para lançamento de efluentes de origem industrial dos empreendimentos presentes próximos da costa. Desta forma, para a avaliação da poluição industrial no litoral do Espírito Santo, foram consultadas as prefeituras dos municípios, a Federação da Indústria do Estado do Espírito Santo (FINDES) e os estudos de CAÇADOR (2009) e FEITOSA (2015) que traçam um panorama do desenvolvimento econômico do estado do Espírito Santo. Assim, na Figura 35 e nos itens a seguir encontram-se um resumo deste panorama industrial considerado de grande porte encontrado no Litoral do Estado do Espírito Santo:

Figura 35 – Localização das indústrias avaliadas na área da costa do Espírito Santo



a) PETRÓLEO E GÁS

A extração de petróleo e gás é a principal atividade industrial do Espírito Santo, correspondendo a 28% do valor de transformação industrial (VTI) capixaba. Se em 2006 a produção de petróleo do estado representava 4% do total nacional, em 2016, essa participação subiu para 16%, com 144,2 milhões de barris de petróleo (FINDES, 2018).

A produção de óleo cru ou gás natural *onshore*, ou seja, em terra, no Espírito Santo está localizada no norte do estado, com 55 campos em produção e sob concessão, equivalente a 19% dos campos terrestres brasileiros. Além desses, três campos onshore estão em desenvolvimento

para definição de alternativas para a etapa de produção: Bem-Te-Vi, que já recebeu declaração de comercialidade, com previsão de produção para 2018; Curruira, em processo de desenvolvimento, e o de Lagoa do Doutor, campo maduro com descobertas conhecidas de petróleo.

E relação à produção offshore, o estado possui duas bacias produtoras de petróleo e gás: a bacia de Campos e a bacia do Espírito Santo, com 60 e 11 poços produtores, respectivamente. A primeira é uma extensão da bacia de Campos (Rio de Janeiro) até parte do Espírito Santo, onde se localiza o pré-sal capixaba. A segunda tem início em Vitória e termina no limite do litoral capixaba com a bacia de Mucuri, na Bahia.

Além da extração de óleo e gás, a Petrobrás também conta com a Unidade de Tratamento de Gás de Cacimbas (UTGC), localizada no município de Linhares. A UTGC é responsável pelo processamento do gás bruto resultante das operações do Campo de Golfinho (bacia localizada a aproximadamente 50 km da unidade industrial) nas seguintes frações petroquímicas: Gás Natural (GN), Gás Liquefeito do Petróleo (GLP) e Nafta Leve.

b) PAPEL E CELULOSE

Na área de papel e celulose destaca-se a Unidade Aracruz da Fibria Celulose S.A. localizada em Barra do Riacho, município de Aracruz. A unidade possui três linhas de produção com capacidade para produzir 2,3 milhões de toneladas anuais de celulose branqueada. Em sua fábrica, o processo de produção de celulose consome 5m³ de água para cada tonelada de celulose produzida e, conforme informações da empresa (FIBRIA, 2018) retorna 85% desta água captada para o corpo hídrico. A Tabela 7 mostra as fontes e volumes de captação de água pelo processo industrial.

Tabela 7 – Total de retirada de água nas operações de manejo florestal na Unidade de Aracruz

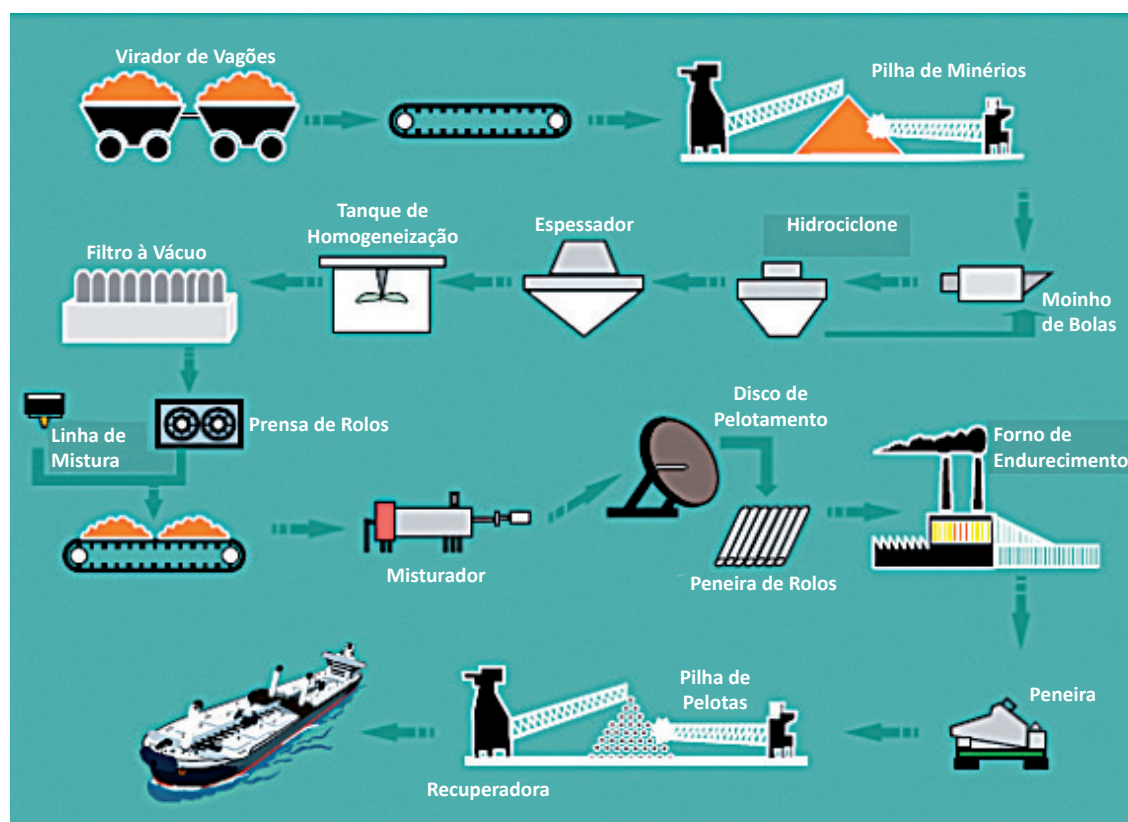
Tipo de Captação	2014	2015	2016
Água Superficial (m ³)	505.865	580.364	676.959
Água Subterrânea (m ³)	115.573	125.905	363.765
Água de Chuva (m ³)	7.909	2.618	2.470

Fonte: Adaptado de FIBRIA (2016)

c) MINERAÇÃO E METALURGIA

Em relação aos processos de beneficiamento de minérios, destaca-se no Espírito Santo o Complexo de Tubarão, de propriedade da Vale S.A., localizado no município de Vitória. A Usina foi inaugurada em 1969 com o objetivo de reaproveitamento dos rejeitos de minério e transformá-los em pelotas que, posteriormente, são utilizadas como matéria-prima na fabricação do aço. A capacidade de produção de pelotas do Complexo de Tubarão é de 25,3 milhões de toneladas por ano (VALE, 2016). O fluxograma básico do processo de pelletização pode ser visualizado na Figura 36.

Figura 36 - Fluxograma típico do processo de Pelotização



Fonte: Adaptado de VALE (2016)

Em conjunto com o Complexo de Tubarão da Vale, encontra-se a ArcelorMittal Tubarão, unidade de produção integrada de aços planos com capacidade de produção anual de 7,5 milhões de toneladas de aço, sendo o 3º maior produtor brasileiro de aços planos laminados. Do total da água utilizada na usina, 95,5% é captada no mar, sendo utilizada para resfriar os equipamentos e, depois, retorna ao mar com qualidade monitorada continuamente. Os outros 4,5% são de água doce, a maior parte fornecida pela Cesan e uma pequena parcela proveniente de captação de água subterrânea. Devido às particularidades do processo de produção de aço, a taxa de recirculação de água na usina é superior a 97% (ARCELORMITTAL, 2018).

3.2 MINERAÇÃO

Como já foi explorado anteriormente, sabe-se que a atividade mineradora na bacia do rio Doce é de grande importância para o desenvolvimento econômico da região e do Brasil. Entretanto, os impactos ambientais são nítidos visualmente pela desconfiguração da paisagem assim como pela supressão de vegetação e exposição dos solos a processos erosivos. A qualidade das águas dos rios próximos também pode ser alterada devido ao carreamento de sedimentos e outras substâncias, a turbidez provocada pelos sedimentos finos em suspensão e os efluentes produzidos nas áreas de mineração, como óleos, graxas e metais pesados. Além disso, os processos minerários normalmente são relacionados a poluição do ar devido aos particulados suspensos nas atividades de lavra, beneficiamento e transporte (MECHI e SANCHES, 2010). Visto o impacto de tal atividade à qualidade do ar, água e solo, consequentemente, os seres humanos e sua qualidade de vida são afetados, principalmente, com relação à saúde.

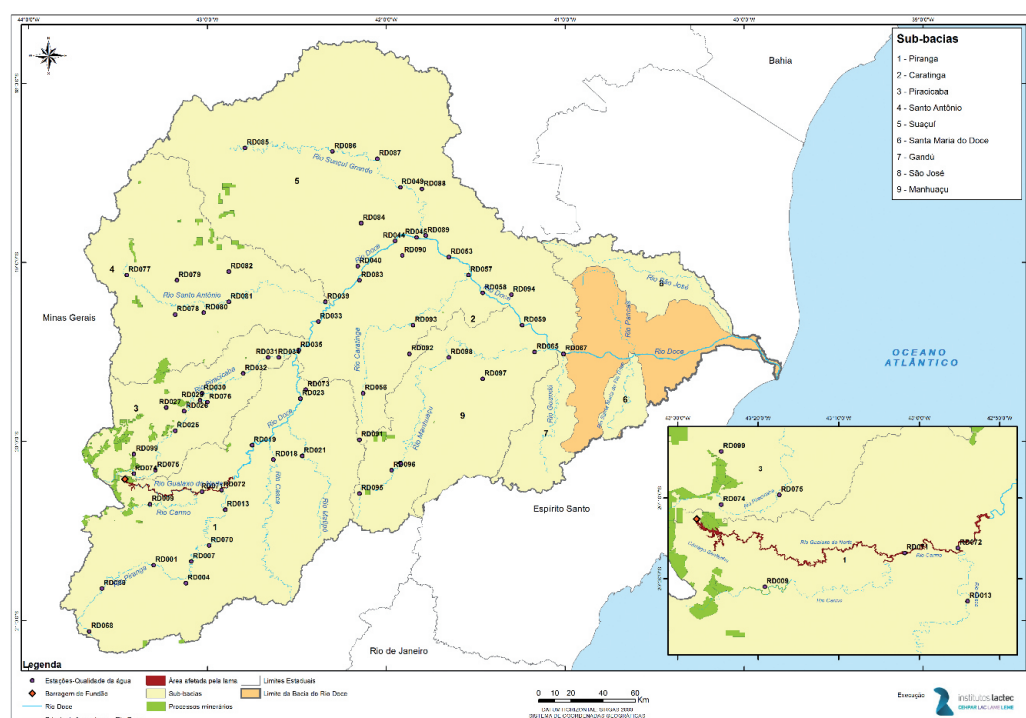
Os efluentes gerados pelos diversos processos da mineração podem ser de grande impacto ambiental, visto a variedade de substâncias que são resultantes e adicionadas (ANDRADE et al., 2017). Dessa maneira, nessa seção serão analisados os processos de mineração que ocorrem na bacia do rio Doce com relação às lavras presentes e de forma a comparar os resultados das possíveis substâncias liberadas com os resultados de campo levantados pelas equipes de qualidade em diversos pontos do rio Doce.

3.2.1 METODOLOGIA

No caso da caracterização das atividades de mineração na Bacia do Rio Doce, foram analisadas aquelas selecionadas no capítulo 3.1.5.1 do Diagnóstico Rio Doce – Relatório de Linha-Base (Instituto Lactec, 2017) que por sua vez consideraram apenas processos minerários cujos métodos exploratórios e bens minerais associados que contribuem no aporte de contaminantes para o rio Doce, excluindo-se os processos em fase de requerimento de pesquisa, requerimento de lavra, requerimento de lavra garimpeira, autorização de pesquisa, requerimento de licenciamento, requerimento de registro de extração. Com isso, foram selecionados 175 processos minerários referentes as seguintes substâncias: bauxita, cobre, ferro, ferro manganês, hematita, itabirito, magnetita, manganês, minério de alumínio, minério de cobre, minério de ferro, minério de ouro e ouro.

Para avaliar as fontes de poluição oriundas das atividades minerárias, serão analisadas informações referentes ao tipo da substância extraída, processos de extração e beneficiamento (com enfoque em produtos químicos), efluentes de mineração, licenças ambientais e possíveis relações com os parâmetros destacados na Qualidade de Água. Na Figura 37, encontram-se os pontos de monitoramento da qualidade da água do IGAM em conjunto com os 175 processos minerários selecionados da Bacia do Rio Doce.

Figura 37 - Estações do monitoramento da qualidade da água (IGAM) e processos minerários da Bacia do Rio Doce.

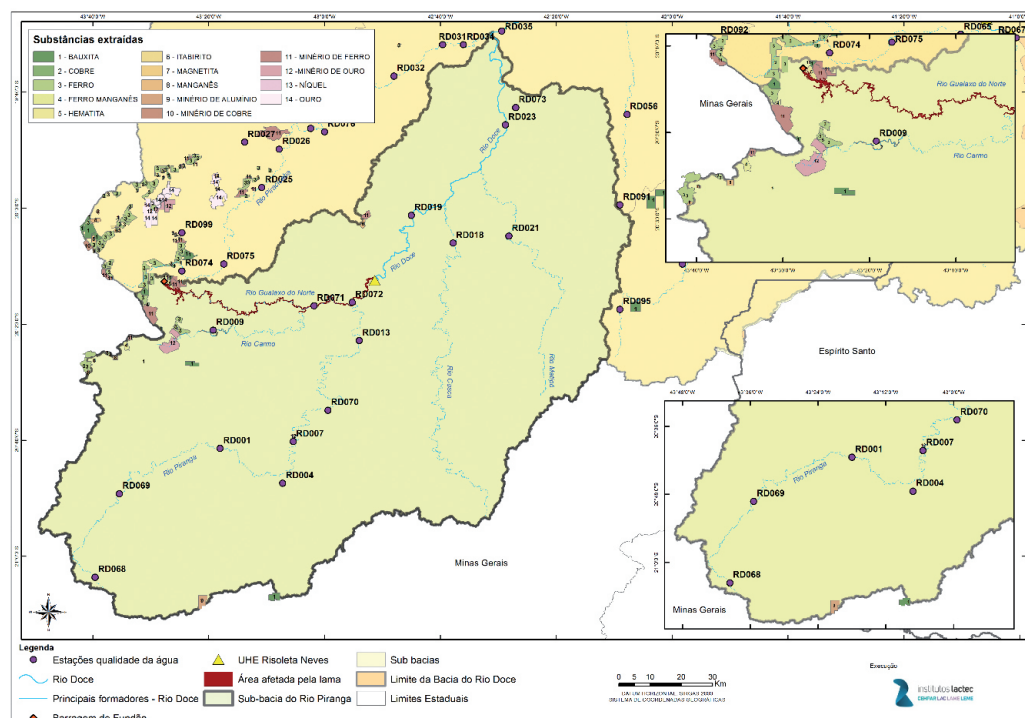


3.2.2 AVALIAÇÃO DO LANÇAMENTO DE EFLUENTES DOS PROCESSOS MINERÁRIOS

3.2.2.1 Bacia do Rio Piranga

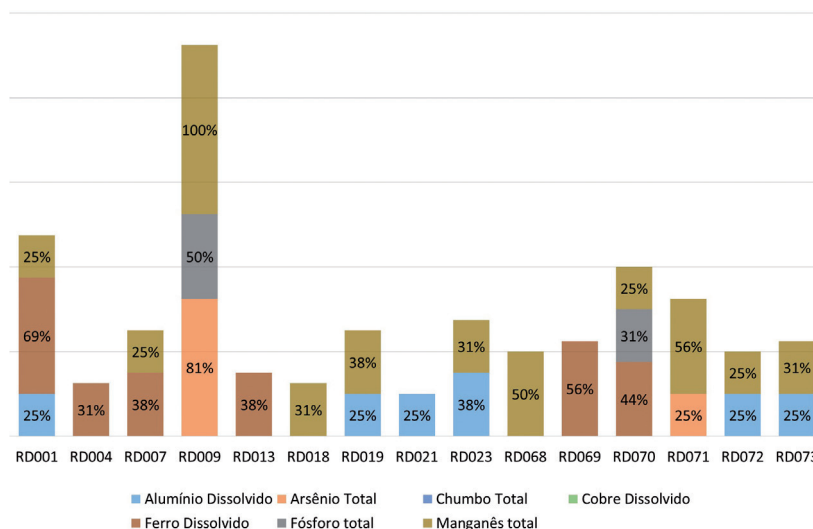
O desastre do rompimento da Barragem de Fundão em 2015 ocorreu dentro dos limites desta Sub-bacia. Nela tem predominância os processos minerários de Ferro e Minério de Ferro, principalmente na proximidade do Rio Gualaxo do Norte, sendo este um dos afluentes do Rio Doce. É importante ressaltar há uma grande concentração de processos minerários na divisa com a Sub-bacia do Rio Piracicaba, sendo que alguns extrapolam esta subdivisão, o que evidencia a importância do estudo destas áreas em conjunto para a avaliação dos pontos de lançamento de efluentes. Além disso, há outros processos minerários de bauxita e manganês concentrados próximos ao início do Rio do Carmo, outro afluente que formará o Rio Doce. Os processos minerários desta Sub-Bacia estão destacados na Figura 38.

Figura 38 - Estações do monitoramento da qualidade da água (IGAM) e processos minerários da Sub-bacia do Rio Piranga.



Durante o período entre 2012 e 2015, todas as estações de monitoramento desta Sub-bacia apresentaram ao menos uma não-conformidade para os ensaios físico-químicos realizados conforme visualizado na Figura 39. É interessante citar, que na estação nomeada RD009 é onde ocorrem o maior número de não-conformidades, em destaque para o manganês, que em todas as análises realizadas esteve acima do limite permitido. Além disso, o manganês, em conjunto com o ferro, são os elementos que mais aparecem fora do limite nesta Sub-bacia, sendo que apenas na estação RD021, presente no Rio Matipó, não há a presença de pelo menos um destes compostos dentre as não conformidades encontradas.

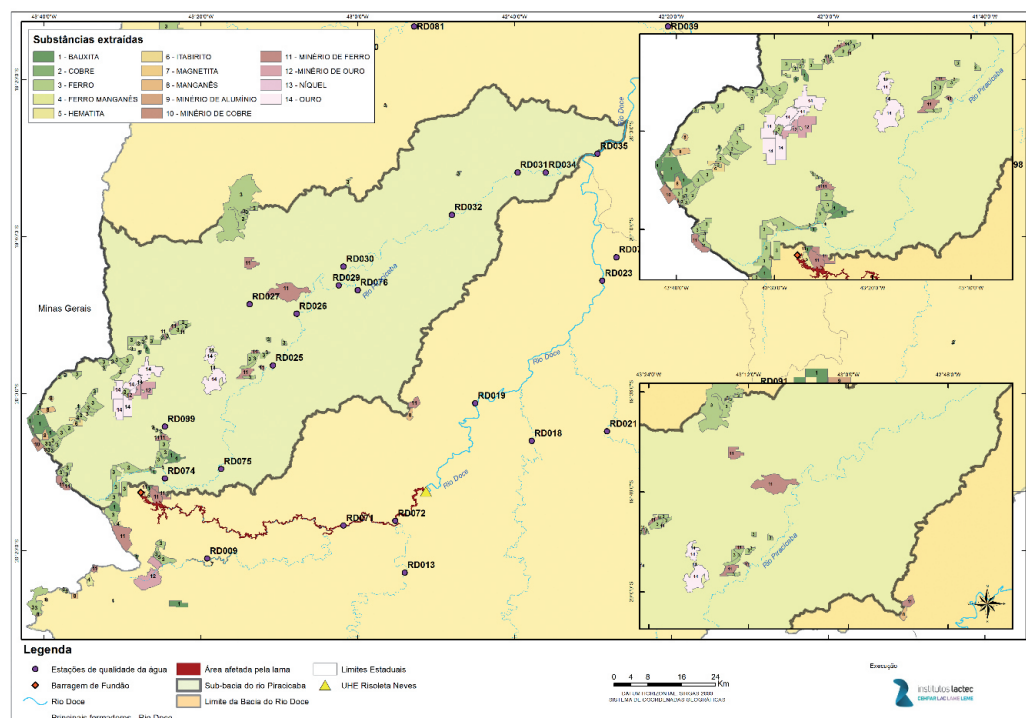
Figura 39 -- Dados de não-conformidades das estações de monitoramento da qualidade da água da Sub-bacia do Rio Piranga



3.2.2.2 Bacia do Rio Piracicaba

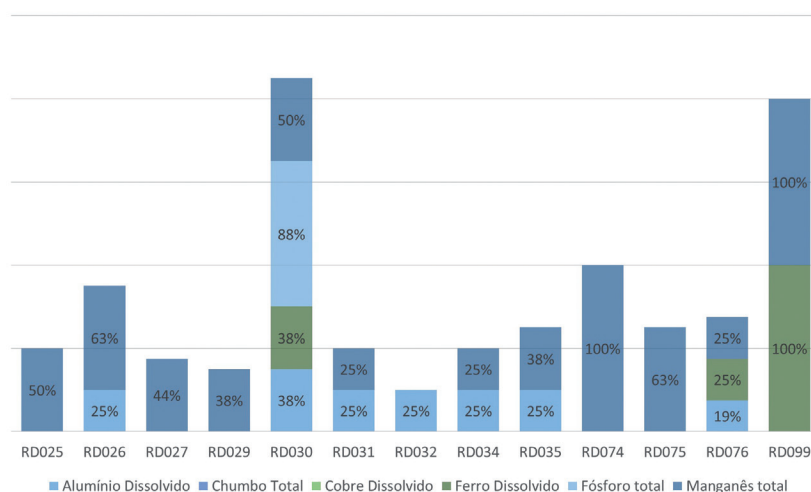
Esta Sub-bacia possui a maioria dos processos minerários da Bacia do Rio Doce (Figura 40), em destaque para as concentrações ferro e minério de ferro próximos aos municípios de João Monlevade e Itabira, e de minério de ouro e ouro próximo aos municípios de Cel. Fabriciano e Ipatinga.

Figura 40 - Estações do monitoramento da qualidade da água (IGAM) e processos minerários da Sub-bacia do Rio Piracicaba.



Em relação aos resultados históricos da qualidade da água desta Sub-bacia, todas as estações possuíram, em algum momento, alguma não conformidade em algum dos parâmetros analisados pelo CONAMA. Dentre as substâncias fora dos limites estabelecidos, o manganês e o ferro são os que estão mais presentes nos resultados da qualidade da água, isto, muito provavelmente, pela presença de processos minerários e indústrias de transformação destas substâncias muito próximas aos corpos hídricos avaliados. É interessante frisar as estações RD030, devido à alta presença de fósforo nos resultados e a RD099, em que todos os resultados avaliados foram acima dos limites permitidos para as substâncias cobre e manganês. Os resultados da avaliação da qualidade da água para as estações da Sub-bacia do Rio Piracicaba encontram na Figura 41.

Figura 41 - Dados de não-conformidades das estações de monitoramento da qualidade da água da Sub-bacia do Rio Piracicaba



3.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Encarte especial sobre a bacia do rio Doce: rompimento da barragem em Mariana/MG**. Brasília, DF: ANA, 2016.

_____. **Outorgas Emitidas**. Brasília, DF: ANA, 2018. Disponível em <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/regulacao/principais-servicos/outorgas-emitidas>> Acesso em: 16 abril 2018.

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (AGERH). **Comitês de Bacias Hidrográficas**. Vitória: AGERH, 2015. Disponível em <<https://agerh.es.gov.br/>>. Acesso em 19 agosto 2018.

ANDRADE, L.H., AGUIAR, A.O., PIRES, W.L., MIRANDA, G.A., TEIXEIRA, L.P.T., ALMEIDA, G.C.C., AMARAL, M.C.S. Nanofiltration and Reverse Osmosis applied to gold mining effluent treatment and reuse. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 34, n. 01, 2017.

ARCELORMITTAL. Relatório de Sustentabilidade 2017. 2018. Disponível em <<http://tubarao.arcelormittal.com/galeria-midia/relatorios-publicacoes/index.asp>>. Acesso em 12 setembro 2018.

ÁVILA, J.L., MONTE-MÓR, R. Urbanização e Impactos Ambientais: **Uma análise da relação entre as características dos espaços urbanos e a poluição hídrica na região do médio Rio Doce (MG)**. Anais do VII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Economia Ecológica (ECOECO), 2007.

CAÇADOR, S. B., GRASSI, R. A. **A Evolução Recente da Economia do Espírito Santo: Um Estado Desenvolvido e Periférico?** Anais do XXXVII Encontro Nacional de Economia. Foz Do Iguaçu: ANPEC, 2009.

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: 01 setembro 2018.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce e planos de ações para as unidades e planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce: relatório final**. Consórcio Ecoplan-Lume, 2010a.

_____. **Plano De Ação De Recursos Hídricos Da Unidade De Planejamento E Gestão Dos Recursos Hídricos Piranga**. Consórcio Ecoplan-Lume, 2010b.

_____. **Plano De Ação De Recursos Hídricos Da Unidade De Planejamento E Gestão Dos Recursos Hídricos Piracicaba**. Consórcio Ecoplan-Lume, 2010c.

- _____. **Plano De Ação De Recursos Hídricos Da Unidade De Planejamento E Gestão Dos Recursos Hídricos Santo Antônio.** Consórcio Ecoplan-Lume, 2010d.
- _____. **Plano De Ação De Recursos Hídricos Da Unidade De Planejamento E Gestão Dos Recursos Hídricos Suaçuí.** Consórcio Ecoplan-Lume, 2010e.
- _____. **Plano De Ação De Recursos Hídricos Da Unidade De Planejamento E Gestão Dos Recursos Hídricos Caratinga.** Consórcio Ecoplan-Lume, 2010f.
- _____. **Plano De Ação De Recursos Hídricos Da Unidade De Planejamento E Gestão Dos Recursos Hídricos Manhauçu.** Consórcio Ecoplan-Lume, 2010g.
- DAVIS, M.L., CORNWELL, D.A. **Introduction to Environmental Engineering.** McGraw-Hill Higher Education, 3ª ed., 919 p., 1999.
- FEITOSA, P. H. A. **Passado e futuro do desenvolvimento industrial capixaba: uma análise do papel dos polos empresariais.** Revista de Desenvolvimento Econômico. v. 17. p. 238-248, 2015.
- FIBRIA. Água. 2016. Disponível em: <<http://www.fibria.com.br/r2016/pt/agua.html>> Acesso em 11 setembro 2018.
- FIBRIA. **Sustentabilidade Ambiental.** 2018. Disponível em: <<http://fibria-institucional-qa.azurewebsites.net/sustentabilidade/ambiental/>> Acesso em 11 setembro 2018.
- FINDES. **Anuário da Indústria de Petróleo no Espírito Santo 2017.** Findes, 2018.
- GOVERNO DO ESPÍRITO SANTO. **Release sobre a Geografia do Espírito Santo.** Vitória, ES: SETUR, 2016. Disponível em < <https://setur.es.gov.br>>. Acesso em 11 setembro 2018.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **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 - Volume I. Belo Horizonte, 2010
- MECHI, A., SANCHES, D.L. Impactos Ambientais da Mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, 2010.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Erosão E Progradação Do Litoral Brasileiro - Espírito Santo.** Brasília, DF: mmA, 2006. Disponível em < <http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 10 setembro 2018.
- SANTOLIN, C.V.A. **Quantificação e Avaliação Ambiental da contaminação por metais e arsênio em sedimentos da Bacia do Rio Doce - MG.** 141 p. Tese (Doutorado em Ciências - Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.
- VALE. **A Vale no Espírito Santo 2015.** 2016. Disponível em: < http://www.vale.com/brasil/PT/initiatives/environmental-social/complexo-tubarao/Documents/Relatorio_ES_2015.pdf> Acesso em 12 setembro 2018.

4 SANEAMENTO

Saneamento básico é definido como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais que possuem o objetivo de atingir níveis adequados de salubridade ambiental e possibilitem a promoção e melhoria das condições de vida dos seres vivos (BRASIL, 2007). De forma geral, os sistemas de abastecimento público de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas são vistos como os componentes principais de uma infraestrutura de saneamento (BRASIL, 2007). Um eficiente sistema de saneamento básico pode ser associado tanto a melhorias e manutenção de boas condições da saúde humana quanto do meio ambiente.

A nível nacional, a situação do saneamento ainda é bastante inferior em comparação com padrões ideais. É observada preocupação com o acesso à água, onde 99,4% dos municípios brasileiros eram atendidos com rede geral de distribuição em 2008 (IBGE, 2008) e 83,3% da população brasileira com abastecimento público (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2018). Por outro lado, os serviços de coleta e tratamento de esgoto sanitário são carentes e deficitários (DANTAS et al., 2012). Apenas 55,2% dos municípios brasileiros possuíam rede coletora de esgoto e 28,5% faziam o tratamento em 2008. Esses valores são bastante abaixo em comparação com o manejo de resíduos sólidos (100%) e de águas pluviais (94,5%) (IBGE, 2008).

De forma semelhante, os municípios pertencentes à bacia do rio Doce enfrentam situações de dificuldades de gestão, rápido crescimento das cidades e insuficiência em disponibilidade de recursos, o que conduz a um maior investimento na construção de sistemas de abastecimento de água e coloca em segundo plano os serviços de esgotamento sanitário e resíduos sólidos (PIRH Doce, 2010). De acordo com o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce, os serviços de abastecimento de água possuem elevados índices de atendimento com cobertura de 94,06% nas unidades da bacia no estado de Minas Gerais e 89,6% nas unidades pertencentes ao estado do Espírito Santo. Entretanto, são devem ser considerados outros aspectos além da cobertura como o controle de perdas e manutenção dos sistemas de distribuição para uma avaliação completa dos sistemas (PIRH Doce, 2010).

O lançamento de esgoto sem tratamento nas águas da bacia do rio Doce é um dos principais problemas local (ANA, 2016). O efluente doméstico é o produto do uso da água pelo homem em função de seus hábitos higiênicos, necessidades fisiológicas e suas atividades diárias (BRAGA, 2002). Em 2013, dados da Agência Nacional de Águas (ANA) apresentavam que cidades localizadas próximas ao rio Doce e que produziam grandes volumes de efluentes domésticos, como por exemplo, Governador Valadares (11.980.820 m³/ano), não tratavam os esgotos domésticos gerados (ANA, 2016). Na mesma publicação, é apresentado que apenas 41 dos 209 municípios localizados na bacia do rio Doce possuíam serviço de coleta e tratamento de esgotos e deste universo, 28 realizam o tratamento de mais da metade do esgoto produzido (ANA, 2016).

Em relação à questão dos resíduos sólidos, o relatório executivo do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (ANA, 2010) apresenta que o tratamento dado aos resíduos sólidos na bacia é deficiente, citando que, em sua maioria, as cidades se utilizam de lixões como disposição final. Os indicadores de abastecimento de água, esgotamento sanitário ou coleta de resíduos sólidos se encontram abaixo da média estadual, com tendência de manutenção do quadro em médio prazo.

Dessa forma, serão exploradas as questões de saneamento, as quais envolvem neste relatório o abastecimento público, esgotamento sanitário e resíduos sólidos, nas regiões próximas ao rio Doce e atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão, com análise de dados anteriores ao desastre, de forma a criar um panorama geral sobre esse aspecto socioambiental.

4.1 ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA

O sistema de abastecimento de água (SAA) para consumo humano é um dos componentes do saneamento básico e consiste em um conjunto de infraestruturas, obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinado à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição (FUNASA, 2015).

Um sistema de abastecimento de água é composto tipicamente das seguintes unidades: manancial; captação; adução; tratamento; reservação; rede de distribuição; estações elevatórias; e ramal predial (FUNASA, 2015). Todo este conjunto é destinado a produzir e distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população, para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos.

A água para consumo humano deve seguir as exigências legais quanto ao controle de vigilância e padrão de potabilidade estabelecidas pelo Ministério da Saúde. A Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, era a normativa vigente no ano de 2015. Em 28 de setembro de 2017 esta portaria foi revogada através da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, que versa sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Embora revogada, o conteúdo da Portaria 2.914/2011 foi consolidado e está inserido dentro da nova Portaria.

Segundo o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010), as captações superficiais para abastecimento humano são predominantes em todas as unidades de planejamento analisadas, sendo que o abastecimento por poços subterrâneos é mais significativo nas unidades mineiras. Ainda conforme o documento, ao longo da bacia do rio Doce, as captações de nascentes ou surgências naturais são utilizadas, via de regra, na zona rural, servindo a uma família ou a um pequeno grupo de moradores de uma região.

A água potável limpa, segura e adequada é vital para a sobrevivência de todos os organismos vivos e para o funcionamento dos ecossistemas, comunidades e economias (ONU, 2010). Neste contexto, o rompimento da barragem de Fundão afetou a utilização deste recurso pela população dos municípios da bacia do rio Doce. É sabido que o desastre em tela provocou a interrupção do abastecimento de água de diversas localidades e das atividades econômicas com captações nos rios atingidos, em função das alterações de parâmetros de qualidade de água, notadamente turbidez e sedimentos. Além da impossibilidade de suas estações tratarem a água captada nestas condições, há ainda a questão de outras fontes de captação como lagoas e nascentes adjacentes ao leito dos rios terem sido soterrados, conforme indicado em IBAMA (2015).

Considerando este cenário, é importante conhecer os sistemas municipais de abastecimento de água existentes previamente ao desastre, a fim de se estabelecer a linha base e posteriormente evidenciar as localidades atingidas e os danos ocasionados aos sistemas, desde perturbações e interrupções no fornecimento de água à população, até as soluções emergenciais e alternativas de captação e tratamento encontradas.

4.1.1 METODOLOGIA

Para a identificação e caracterização dos sistemas de abastecimento de água nos municípios da bacia do rio Doce existentes até novembro de 2015, foram obtidas informações através de dados secundários em fontes de dados oficiais, pesquisa bibliográfica em diversos documentos e relatórios publicados pelos órgãos e agências do governo.

As fontes de consulta foram as seguintes: o Sistema Nacional de Informações em Saneamento - SNIS, da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental vinculada ao Ministério das Cidades; o Atlas Brasil – Abastecimento Urbano de Água da Agência Nacional de Águas (ANA, 2010); a atualização do Atlas Brasil – Abastecimento Urbano de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (IBIO, 2018); os Planos Municipais de Saneamento Básico – PMSB dos municípios da bacia quando disponíveis para consulta; o Plano Integrado de Recursos Hídricos - PIRH da Bacia do Rio Doce (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

As outorgas concedidas pelo poder público aos usuários da bacia foram consultadas na base de dados da ANA (outorgas federais) e do IGAM e IEMA (estaduais), listadas no APÊNDICE A e APÊNDICE B (SNIRH, 2018).

4.1.1.1 Área de Estudo

É importante destacar que a área de escopo do presente diagnóstico de sistemas de abastecimento de água abrange apenas os municípios que são banhados por cursos d'água que receberam o aporte de rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Fundão. O foco são os municípios cujas captações (superficiais e subterrâneas) são realizadas no rio Doce e tributários e que podem ter sofrido danos em seus sistemas de abastecimento. Desta forma, a análise se restringe a 40 municípios cujos limites territoriais foram atingidos pelos rejeitos, conforme apresentado na Figura 42 e Tabela 12.

Figura 42 - Localização dos municípios atingidos pela passagem de rejeitos oriundos do rompimento da barragem, com indicação das unidades de planejamento da bacia hidrográfica do rio Doce

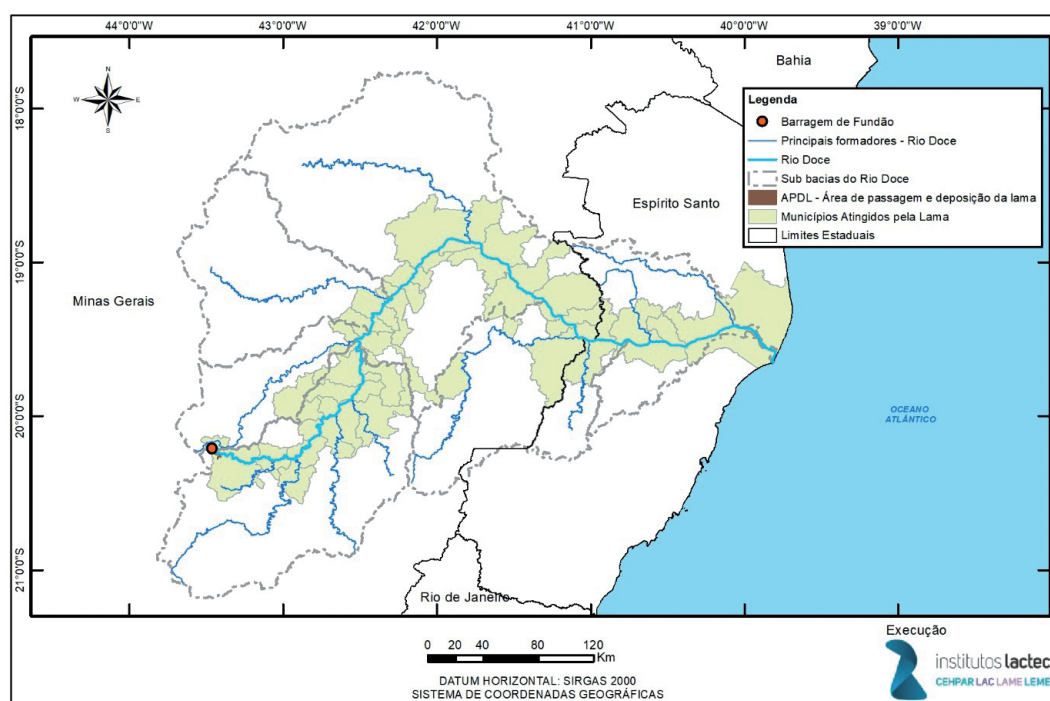


Tabela 8 - Municípios cujos limites territoriais foram atingidos pela passagem de rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Fundão.

	UF	Município	Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH)	População IBGE 2015 (hab.)
1	MG	Aimorés	Manhuaçu, Suaçuí, Guandu	25.694
2	MG	Alpercata	Caratinga, Suaçuí	7.478
3	MG	Barra Longa	Piranga, Piracicaba	5.799
4	MG	Belo Oriente	Santo Antônio, Caratinga	25.619
5	MG	Bom Jesus do Galho	Piranga, Caratinga	15.542
6	MG	Bugre	Caratinga, Santo Antônio	4.134
7	MG	Caratinga	Caratinga, Piranga, Piracicaba, Manhuaçu	90.782
8	MG	Conselheiro Pena	Caratinga, Suaçuí, Manhuaçu	23.141
9	MG	Córrego Novo	Piranga	3.032
10	MG	Dionísio	Piranga, Piracicaba	8.463
11	MG	Fernandes Tourinho	Caratinga, Suaçuí	3.304
12	MG	Galileia	Suaçuí, Caratinga	7.061
13	MG	Governador Valadares	Rio Suaçuí	278.363
14	MG	Iapu	Caratinga, Suaçuí, Santo Antônio	10.870
15	MG	Ipaba	Caratinga, Piracicaba, Santo Antônio	18.068
16	MG	Ipatinga	Piracicaba, Santo Antônio, Caratinga	257.345
17	MG	Itueta	Manhuaçu, Suaçuí	6.087
18	MG	Mariana	Piranga, Piracicaba	58.802
19	MG	Marliéria	Piracicaba, Piranga	4.127

	UF	Município	Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH)	População IBGE 2015 (hab.)
20	MG	Naque	Santo Antônio, Suaçuí, Caratinga	6.824
21	MG	Periquito	Suaçuí, Caratinga	7.103
22	MG	Pingo d'Água	Piranga	4.789
23	MG	Ponte Nova	Piranga	60.005
24	MG	Raul Soares	Piranga, Caratinga	24.394
25	MG	Resplendor	Manhuaçu, Suaçuí, Caratinga	17.675
26	MG	Rio Casca	Piranga	14.247
27	MG	Rio Doce	Piranga	2.600
28	MG	Santa Cruz do Escalvado	Piranga	5.003
29	MG	Santana do Paraíso	Santo Antônio, Caratinga	31.604
30	MG	São Domingos do Prata	Piracicaba, Piranga	17.798
31	MG	São José do Goiabal	Piranga	5.673
32	MG	São Pedro dos Ferros	Piranga	8.284
33	MG	Sem-Peixe	Piranga	2.814
34	MG	Sobralia	Caratinga, Suaçuí	5.842
35	MG	Timóteo	Piracicaba, Piranga, Caratinga	87.542
36	MG	Tumiritinga	Caratinga, Suaçuí	6.669
37	ES	Baixo Guandu	Guandu, Suaçuí, Manhuaçu	31.467
38	ES	Colatina	Santa Maria do Rio Doce, São José	122.646
39	ES	Linhares	São José	163.662
40	ES	Marilândia	São José	12.353

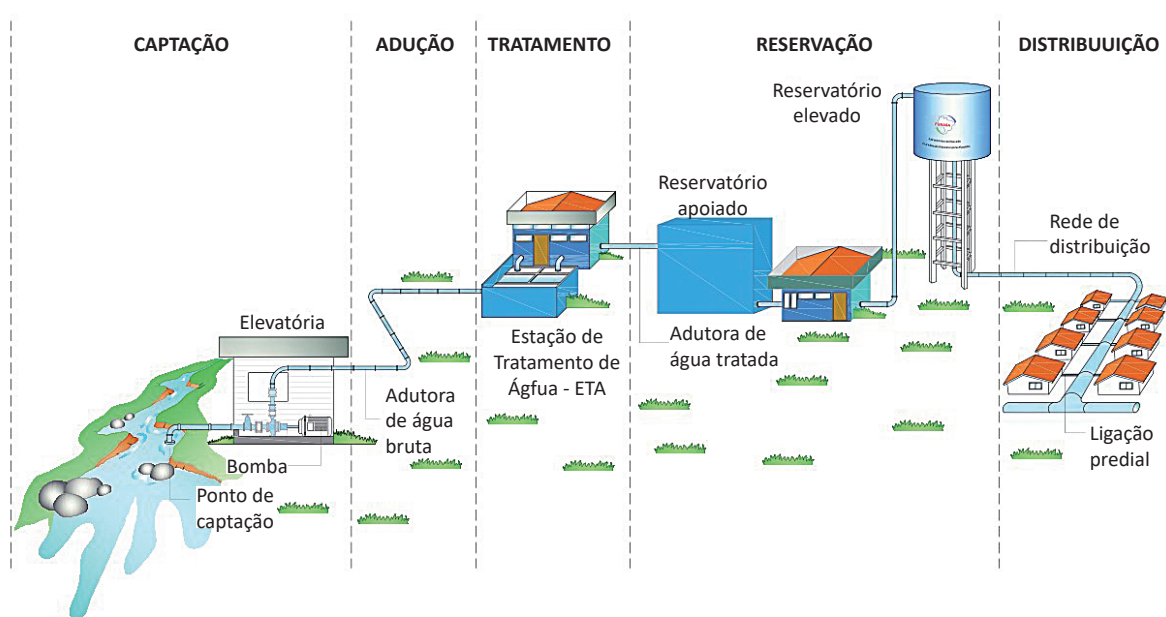
4.1.1.2 Sistema de Abastecimento de Água

O principal objetivo do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) é fornecer ao usuário uma água de boa qualidade, quantidade adequada e pressão suficiente. Um sistema convencional de abastecimento de água (Figura 43) é constituído das seguintes unidades: captação, adução, estação de tratamento, reservação, redes de distribuição e ligações domiciliares, as quais são brevemente descritas a seguir (TSUTIYA, 2006):

- **Manancial:** é o corpo de água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para abastecimento. Deve fornecer vazão suficiente para atender a demanda de água no período de projeto, e a qualidade dessa água deve ser adequada sob o ponto de vista sanitário.
- **Captação:** conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao sistema de abastecimento.
- **Estação Elevatória:** conjunto de obras e equipamentos destinados a recalcar a água para a unidade seguinte.
- **Adutora:** canalização que se destina conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição.
- **Estação de Tratamento de Água - ETA:** conjunto de unidades destinado a tratar a água de modo a adequar suas características aos padrões de potabilidade.

- Reservatório: é o elemento do sistema de distribuição de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição.
- Rede de Distribuição: parte do sistema de abastecimento de água formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendada.

Figura 43 - Divisão de um sistema de abastecimento de água.



Fonte: Adaptado de FUNASA (2015)

A prestadora de serviços deve realizar o controle rigoroso da água, em todas as etapas do sistema de abastecimento, de acordo com exigências legais estabelecidas pelo Ministério da Saúde. Em relação ao tratamento da água, uma ETA é composta das seguintes fases, conforme Funasa (2014), além do tratamento primário composto de gradeamento e caixa de areia:

- **Coagulação:** ao entrar na ETA a água bruta recebe uma quantidade de coagulante, geralmente sulfato de alumínio ou cloreto férrico, com a função de aglomerar partículas sólidas que se encontram na água, formando flocos. Essa etapa do processo ocorre sob agitação muito forte, chamada de mistura rápida.
- **Floculação:** nessa etapa, com a água ainda em movimento, mas em velocidade menor que a etapa anterior, as partículas sólidas se aglutinam em flocos maiores, ganhando peso, volume e consistência.
- **Decantação:** os flocos formados anteriormente sedimentam-se no fundo dos tanques decantadores, separando assim as impurezas inicialmente presentes na água.
- **Filtração:** após a decantação a água ainda contém impurezas que não foram sedimentadas. Por isso, ela precisa passar por filtros constituídos por camadas de areia ou areia e antracito, suportadas por cascalho de diversos diâmetros, que retêm a sujeira ainda restante.

- Desinfecção: objetiva-se através de um processo físico químico eliminar os microrganismos patogênicos presentes na fase líquida. São aplicadas substâncias – o cloro, ou em alguns casos, o ozônio, que além de desinfectante, funciona como um oxidante - com a função de eliminar microrganismos causadores de doenças, garantindo também a qualidade da água nas redes de distribuição e nos reservatórios.
- Correção de pH: para proteger as canalizações das redes e das casas contra corrosão ou incrustação, a água recebe uma dosagem de alcalinizante, normalmente cal, para corrigir seu pH.
- Fluoretação: finalmente a água é fluoretada, em atendimento à Portaria do Ministério da Saúde. Consiste na aplicação de uma dosagem de composto de flúor (ácido fluossilícico), que reduz a incidência da cárie dental.

A tecnologia de tratamento convencional (também denominado ciclo completo), segundo a Secretaria de Vigilância em Saúde (BRASIL, 2006), tem sido a mais extensivamente utilizada no país, principalmente em razão das variações sazonais das características da água bruta – por vezes em função da progressiva deterioração dos mananciais. Por tratamento convencional entende-se a instalação potabilizadora que apresenta unidades distintas responsáveis pelos processos e operações unitárias inerentes ao tratamento. Dessa forma, essa tecnologia contempla necessariamente as etapas de mistura rápida, floculação, decantação ou flotação, filtração e desinfecção.

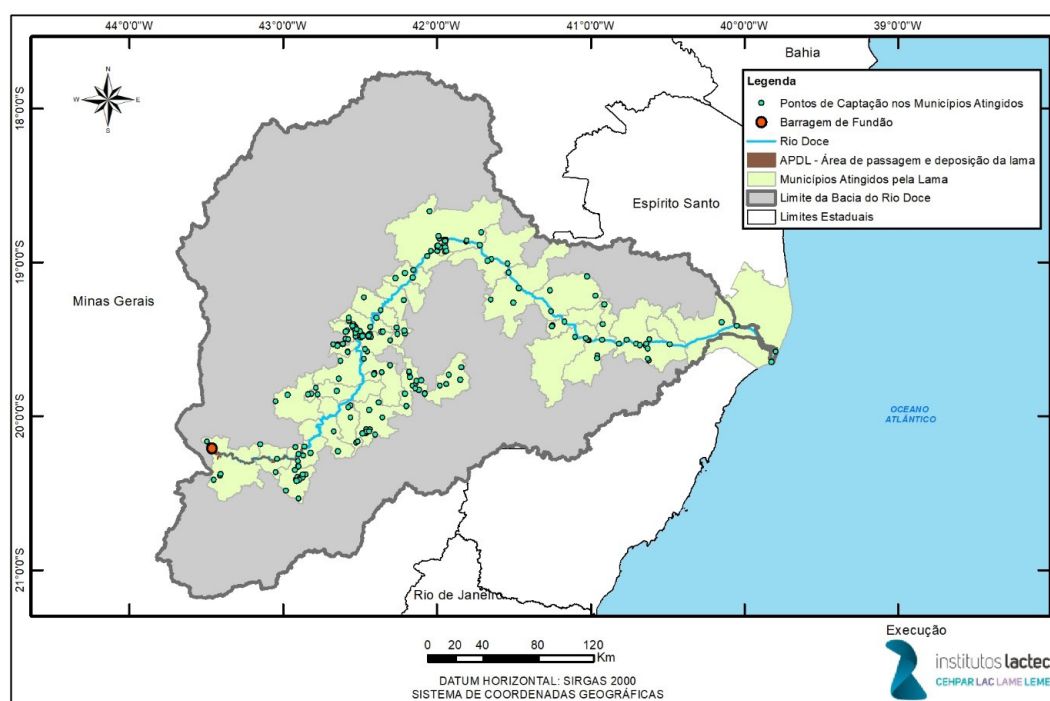
No presente documento, serão adotadas as terminologias do Atlas de Abastecimento Urbano da ANA, referentes à modalidade de tratamento dos sistemas produtores, da seguinte forma:

- Simples Desinfecção;
- Tratamento simplificado - quando não são considerados todos os processos de um tratamento completo convencional;
- Tratamento completo convencional - quando são considerados os processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

4.1.2 RESULTADOS

Para os 40 municípios em análise, a partir da base de dados das outorgas, as captações destinadas ao abastecimento público e consumo humano foram localizadas, e são apresentadas na Figura 44. Verifica-se um maior registro de outorgas nos municípios mineiros, com maior parcela de captações superficiais. Esta situação já era relatada no PIRH (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010), o qual informa que na bacia do rio Doce a demanda de água para abastecimento urbano no estado de Minas Gerais era de 32%, superior à observada no Espírito Santo (10%).

Figura 44– Localização das outorgas destinadas ao abastecimento público e consumo humano nos municípios em análise.



Diversos municípios pertencentes à bacia do rio Doce são dependentes inteiramente ou parcialmente de captação da água deste manancial para fins de abastecimento público (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010). Conforme os dados de outorgas, os municípios que possuíam outorga específica para este rio com a finalidade de abastecimento público são: Aimorés, Alpercata, Belo Oriente, Galileia, Governador Valadares, Itueta, Periquito, Resplendor, Tumiritinga, em Minas Gerais; Baixo Guandu, Colatina, Linhares, no Espírito Santo.

Em relação aos sistemas de abastecimento público, considerando as informações contidas nos Atlas de Abastecimento Urbano e nos Planos Municipais de Saneamento, a Tabela 9 e Apêndice C apresentam o panorama dos SAA das sedes dos 40 municípios em tela, atingidos pelo percurso dos rejeitos da barragem de Fundão. Na Tabela 9 são identificados o tipo de captação, manancial, nome do ponto de captação, nome do sistema, identificação da Estação de Tratamento de Água (ETA), capacidade nominal e tipo de tratamento.

De acordo com a Tabela 9, verifica-se que a captação exclusivamente do tipo superficial ocorre em 67,5% das sedes municipais em estudo. Esta predominância é observada na bacia do rio Doce, onde o abastecimento urbano de água provém exclusivamente de captações superficiais em 149 das 209 sedes municipais da bacia, e outras 32 cidades apresentam dependência parcial de captações superficiais em outros mananciais da bacia (IBIO, 2018). As captações do tipo subterrânea também são importantes, pois quantitativamente representam cerca de 52% das alternativas nas sedes municipais estudadas.

Tabela 9 - Informações dos pontos de captação de água existentes e características das estações de tratamento de água, nas sedes dos municípios em análise.

Município	UF	Tipo da Captação	Manancial	Nome Ponto de Captação	Nome do Sistema	Nomenclatura da ETA	ETA Cap. Nominal (L/s)	Tipo de Tratamento
Aimorés	MG	Superficial	Rio Manhuaçu	Rio Manhuaçu	Isolado Aimorés	ETA Central Água Branca	53,0	Tratamento Completo
Alpercata	MG	Superficial	Rio Doce	Rio Doce	Isolado Alpercata	ETA Alpercata	18,0	Tratamento Completo
Barra Longa	MG	Superficial	Ribeirão do Mato Dentro	Ribeirão do Mato Dentro	Isolado Barra Longa	ETA Barra Longa	8,0	Simples Desinfecção
Belo Oriente	MG	Superficial	Cachoeira do Severo	Cachoeira do Severo	Isolado Belo Oriente 1	ETA Belo Oriente	18,0	Tratamento Completo
		Superficial	Cachoeira do Ziza	Cachoeira do Ziza	Isolado Belo Oriente 1			
		Subterrânea	Aquífero	Poço - Parque Oriente	Isolado Belo Oriente 2			
		Subterrânea	Aquífero	Poço - Vila Jardim	Isolado Belo Oriente 3			
Bom Jesus do Galho	MG	Superficial	Ribeirão Sacramento	Ribeirão Sacramento	Isolado Bom Jesus do Galho	ETA Bom Jesus do Galho	30,8	Tratamento Completo
Bugre	MG	Subterrânea	Lençol Freático	Poço C-05	Isolado Bugre	Tratamento Simplificado Bugre	3,0	Simples Desinfecção
Caratinga	MG	Superficial	Córrego da Laje	Córrego da Laje	Isolado Caratinga	ETA Caratinga	210,0	Tratamento Completo
Conselheiro Pena	MG	Superficial	Córrego João Pinto	Córrego João Pinto	Isolado Conselheiro Pena	ETA Conselheiro Pena	70,0	Tratamento Completo
Córrego Novo	MG	Subterrânea	Lençol Freático	Poço C-03	Isolado Córrego Novo	Tratamento Simplificado Córrego Novo	9,0	Simples Desinfecção
				Poço C-05				
				Poço C-06				
Dionísio	MG	Superficial	Córrego Barrinha	Córrego Barrinha	Isolado Dionísio	ETA Dionísio	12,00	Tratamento Completo
			Córrego Laranjeiras	Córrego Laranjeiras				
			Córrego Boa Vista	Córrego Boa Vista				

<i>Município</i>	<i>UF</i>	<i>Tipo da Captação</i>	<i>Manancial</i>	<i>Nome Ponto de Captação</i>	<i>Nome do Sistema</i>	<i>Nomenclatura da ETA</i>	<i>ETA Cap. Nominal (L/s)</i>	<i>Tipo de Tratamento</i>
Fernandes Tourinho	MG	Subterrânea	Lençol Freático	Poço C-18	Isolado Fernandes Tourinho	Tratamento Simplificado Fernandes Tourinho	5,0	Simples Desinfecção
				Poço C-15				
				Poço C-16				
Galileia	MG	Superficial	Rio Doce	Rio Doce	Isolado Galileia	ETA Galileia	15,0	Tratamento Completo
Governador Valadares	MG	Superficial	Rio Doce	Rio Doce	Isolado Governador Valadares - ETA Central	ETA Central Governador Valadares	900,0	Tratamento Completo
			Rio da Onça	Rio da Onça	Isolado Governador Valadares - Penha	ETA Penha Governador Valadares	55,0	Tratamento Completo
Governador Valadares	MG	Superficial	Rio Doce	Rio Doce	Isolado Governador Valadares - Vila Isa	ETA Vila Isa Governador Valadares	216,0	Tratamento Completo
			Rio Doce	Rio Doce	Isolado Governador Valadares - Santa Rita	ETA Santa Rita Governador Valadares	36,0	Tratamento Completo
lapu	MG	Superficial	Córrego Santo Estevão	Córrego Santo Estevão	Isolado Governador Valadares - Recanto dos Sonhos	ETA Recanto dos Sonhos Governador Valadares	24,0	Tratamento Completo
Ipaba	MG	Superficial	Córrego Água Limpa	Córrego Água Limpa	Isolado Ipaba	ETA Ipaba	25,0	Tratamento Completo

Município	UF	Tipo da Captação	Manancial	Nome Ponto de Captação	Nome do Sistema	Nomenclatura da ETA	ETA Cap. Nominal (L/s)	Tipo de Tratamento
Ipatinga	MG	Subterrânea	Aquífero Aluvionar	Poço C-13 Poço C-14 Poço C-15 Poço C-16 Poço C-17 Poço C-18 Poço C-19 Poço C-22 Poço C-24 Poço C-27 Poço C-30 Poço C-31 Poço C-33 Poço C-35 Poço C-36 Poço C-37 Poço C-38 Poço C-39 Poço C-42 Poço C-43 Poço C-44 Poço C-45 Poço C-46 Poço C-47 Poço C-49 Poço C-49	Sistema Integrado do Vale do Aço	ETA Sistema Integrado do Vale do Aço – ETA Amaro Lanari	1150,0	Tratamento Completo
Itueta	MG	Superficial	Rio Doce	Rio Doce	Isolado Itueta	ETA Itueta	12,0	Tratamento Completo
				Córrego Cristal	Isolado Mariana - Cristal	Tratamento Simplificado Mariana 1	ND	Simplex Desinfecção
				Córrego Taquara Queimada	Isolado Mariana - Gogô/Rocinha	Tratamento Simplificado Mariana 2	ND	Simplex Desinfecção
				Córrego da Rocinha - Captação Rocinha	Isolado Mariana - Gogô/Rocinha	Tratamento Simplificado Mariana 3	ND	Simplex Desinfecção
				Córrego Seminário	Isolado Mariana Seminário - Mata do Seminário 2	ETA Seminário	18,0	Tratamento Completo
Mariana	MG	Superficial	Ribeirão Belchior	Ribeirão Belchior - Captação Serrinha 1	Isolado Mariana Cássia - Santa Rita de Cássia	ETA Santa Rita	24,0	Tratamento Completo

<i>Município</i>	<i>UF</i>	<i>Tipo da Captação</i>	<i>Manancial</i>	<i>Nome Ponto de Captação</i>	<i>Nome do Sistema</i>	<i>Nomenclatura da ETA</i>	<i>ETA Cap. Nominal (L/s)</i>	<i>Tipo de Tratamento</i>
Mariana	MG	Superficial	Córrego Banco do Rego	Córrego Banco do Rego – Captação Belém 1;	Isolado Mariana - ETA Sul	ETA Sul	70,0	Tratamento Completo
				Córrego Banco do Rego – Captação Belém 2;				
				Córrego Banco do Rego – Captação Belém 3;				
				Córrego Banco do Rego – Captação Belém 4;				
				Córrego Banco do Rego – Captação Belém 5;				
				Córrego Banco do Rego – Captação Belém 6				
		Superficial	Ribeirão Belchior	Ribeirão Belchior - Captação Serrinha 2	Isolado Mariana - ETA Sul	ETA Sul	70,0	Tratamento Completo
				Córrego Matadouro - Captação Matadouro 1;				
				Córrego Matadouro - Captação Matadouro 2				
				Córrego Cartuxa				
		Superficial	Córrego Dulico	Córrego Dulico	Isolado Mariana Dulico - Cartuxa/Serra Maquiné	Tratamento Simplificado Mariana 15	ND	Simples Desinfecção
				Córrego Maquiné				
				Córrego Del Rey				
		Superficial	Córrego Del Rey	Córrego Del Rey	Isolado Mariana - Del Rey	Tratamento Simplificado Mariana 18	ND	Simples Desinfecção
				Poço Jardim Santana				
		Subterrânea	Aquifero Fraturado	Poço Jardim Santana	Isolado Mariana - Jardim Santana	Tratamento Simplificado Mariana 19	ND	Simples Desinfecção

Município	UF	Tipo da Captação	Manancial	Nome Ponto de Captação	Nome do Sistema	Nomenclatura da ETA	ETA Cap. Nominal (L/s)	Tipo de Tratamento
Mariana	MG	Subterrânea	Aquífero Fraturado	Poço Bução	Isolado Mariana - Bução	Tratamento Simplificado Mariana 20	ND	Simplex Desinfecção
				Poço Maria Menina	Isolado Mariana - Maria Menina	Tratamento Simplificado Mariana 21	ND	Simplex Desinfecção
				Poço Liberdade	Isolado Mariana - Liberdade	Tratamento Simplificado Mariana 22	ND	Simplex Desinfecção
Marliéria	MG	Superficial	Córrego Jacroá	Córrego Jacroá	Isolado Marliéria 1	-	-	Sem Tratamento
			Córrego Jurumim	Córrego Jurumim	Isolado Marliéria 2	ETA Marliéria	5,0	Tratamento Completo
Naque	MG	Superficial	Rio Santo Antônio	Rio Santo Antônio	Isolado Naque	ETA Naque	24,00	Tratamento Completo
Periquito	MG	Superficial	Córrego Tavares	Córrego Tavares	Isolado Periquito	ETA Periquito	18,0	Tratamento Completo
Pingo-d'Água	MG	Superficial	Rio Sacramento	Rio Sacramento	Isolado Pingo-d'Água	ETA Pingo D'Água	12,0	Tratamento Completo
Ponte Nova	MG	Superficial	Rio Piranga	Rio Piranga	Isolado Ponte Nova	ETA Ponte Nova	200,0	Tratamento Completo
Raul Soares	MG	Superficial	Rio Matipó	Rio Matipó	Isolado Raul Soares	ETA Raul Soares	37,3	Tratamento Completo
Resplendor	MG	Superficial	Rio Doce	Rio Doce	Isolado Resplendor	ETA Resplendor	67,50	Tratamento Completo
		Subterrânea	Aquífero Fraturado	Poço C-02	Isolado Resplendor			
Rio Casca	MG	Superficial	Rio Casca	Rio Casca	Isolado Rio Casca	ETA Rio Casca 1 / ETA Rio Casca 2	27,0	Tratamento Completo
Rio Doce	MG	Superficial	Córrego das Lages	Córrego das Lages	Isolado Rio Doce	ETA Rio Doce	11,0	Tratamento Completo
Santa Cruz do Escalvado	MG	Subterrânea	Aquífero Fraturado e Poroso	Poço C-01 Poço C-03	Isolado Santa Cruz do Escalvado	ETA Santa Cruz do Escalvado	5,0	Tratamento Completo

<i>Município</i>	<i>UF</i>	<i>Tipo da Captação</i>	<i>Manancial</i>	<i>Nome Ponto de Captação</i>	<i>Nome do Sistema</i>	<i>Nomenclatura da ETA</i>	<i>ETA Cap. Nominal (L/s)</i>	<i>Tipo de Tratamento</i>
Santana do Paraíso	MG	Superficial	Córrego do Achado	Córrego do Achado	Isolado Santana do Paraíso 1	ETA Principal	49,0	Tratamento Completo
		Superficial	Córrego Soveno	Córrego Soveno	Isolado Santana do Paraíso 2	ETA Minas Caixa	10,0	Tratamento Completo
		Subterrânea	Aquífero Aluvionar	Poço AABBB Industrial - Parque Industrial	Isolado Santana do Paraíso 3	Tratamento Simplificado Santana do Paraíso 3	ND	Simples Desinfecção
		Subterrânea	Aquífero Aluvionar	Poço do Campo - Parque Industrial	Isolado Santana do Paraíso 4	Tratamento Simplificado Santana do Paraíso 4	ND	Simples Desinfecção
		Subterrânea	Aquífero Aluvionar	Poço Gentil - Parque Industrial	Isolado Santana do Paraíso 5	Tratamento Simplificado Santana do Paraíso 5	ND	Simples Desinfecção
		Subterrânea	Aquífero Aluvionar	Poço Glicério - Parque Industrial	Isolado Santana do Paraíso 6	Tratamento Simplificado Santana do Paraíso 6	ND	Simples Desinfecção
		Subterrânea	Aquífero Aluvionar	Poço C-01 - Parque Caravelas	Sistema Integrado do Vale do Aço	Tratamento Simplificado Santana do Paraíso 7	ND	Simples Desinfecção
		Subterrânea	Aquífero Aluvionar	Bateria de Poços de Ipatinga	Sistema Integrado do Vale do Aço	Tratamento Simplificado Santana do Paraíso 8	ND	Simples Desinfecção
São Domingos do Prata	MG	Superficial	Rio da Prata	Rio da Prata	Isolado São Domingos do Prata	ETA's de São Domingos do Prata	40,0	Tratamento Completo
São José do Goiabal	MG	Subterrânea	Aquífero	Poço C-05 Poço C-07 Poço C-11	Isolado São José do Goiabal	ETA São José do Goiabal	ND	Simples Desinfecção
São Pedro dos Ferros	MG	Superficial	Córrego Boa Vista	Córrego Boa Vista	Isolado São Pedro dos Ferros 1	ETA São Pedro dos Ferros	24,0	Tratamento Completo
		Subterrânea	Aquífero Fraturado e Poroso	Poço C-07 Poço C-06 Poço C-08	Isolado São Pedro dos Ferros 1			

<i>Município</i>	<i>UF</i>	<i>Tipo da Captação</i>	<i>Manancial</i>	<i>Nome Ponto de Captação</i>	<i>Nome do Sistema</i>	<i>Nomenclatura da ETA</i>	<i>ETA Cap. Nominal (L/s)</i>	<i>Tipo de Tratamento</i>
Sem-Peixe	MG	Superficial	Córrego Escuro	Córrego Escuro	Isolado Sem-Peixe	ETA Sem Peixe	ND	Tratamento Completo
Sobrália	MG	Superficial	Córrego das Pedras	Córrego das Pedras	Isolado Sobrália	ETA Sobrália	8,0	Tratamento Completo
Timóteo	MG	Subterrânea	Aquífero Aluvionar	Poço C-08 Poço C-10 Poço C-11 Poço C-12 Poço C-15	Isolado Timóteo	ETA Timóteo	240,0	Tratamento Completo
				Poço C-16 Poço C-17 Poço C-18 Poço C-21 Poço C-24 Poço C-25 Poço C-26				
Tumiritinga	MG	Superficial	Rio Doce	Rio Doce	Isolado Tumiritinga	ETA Tumiritinga	15,0	Tratamento Completo
Baixo Guandu	ES	Superficial	Rio Doce	Rio Doce	Isolado Baixo Guandu	ETA Baixo Guandu	100,0	Tratamento Completo
					Isolado Colatina 1	ETA Sistema I - Colatina	230,0	Tratamento Completo
					Isolado Colatina 2	ETA Sistema II - Colatina	320,0	Tratamento Completo
					Isolado Colatina 3	ETA Sistema IV - Colatina	23,0	Tratamento Completo
Linhares	ES	Superficial	Rio Pequeno	Rio Pequeno	Isolado Linhares	Conjunto de 3 ETAs de Linhares	390,0	Tratamento Completo
			Rio Pequeno	Rio Pequeno	Isolado Linhares			
Marilândia	ES	Superficial	Lagoa no Córrego São Pedro	Lagoa no Córrego São Pedro	Isolado Marilândia	ETA Marilândia	20,0	Tratamento Completo
			Barragem no Córrego São Pedro	Barragem no Córrego São Pedro	Isolado Marilândia	ETA Marilândia	24,0	Tratamento Completo

Fonte: adaptado de ANA (2010), IBIO (2018), e informações dos PMSB dos municípios.

O rio Doce é utilizado como manancial de captação em 08 sedes municipais, a saber: Alpercata, Governador Valadares, Tumiritinga, Galileia, Resplendor, Itueta, em Minas Gerais; Baixo Guandu e Colatina no Espírito Santo.

Ressalta-se que no município de Conselheiro Pena a captação no rio Doce com a finalidade de abastecimento era realizada até 2013, ano em que houve a inauguração de nova adutora para captação no Córrego João Pinto, próximo a cidade (FUNASA, 2013).

Em Linhares, com o objetivo de abastecer a cidade em meio à seca que estava diminuindo o volume da maioria dos rios da região sudeste, no final do ano de 2015 seria implantada uma nova alternativa de captação de água bruta à existente no rio Pequeno (que liga a Lagoa Juparanã ao rio Doce). O novo ponto de captação seria instalado diretamente no rio Doce (LINHARES, 2015).

É importante destacar que a Tabela 9 apresenta as informações dos SAAs para as sedes municipais. O atendimento aos distritos também é diversificado, realizado por captações superficiais em diferentes mananciais, destacando-se que as captações subterrâneas são muito utilizadas, bem como as de poços e nascentes de forma individual, que fazem o abastecimento de propriedades e pequenos núcleos habitacionais, conforme verificado nos Planos Municipais de Saneamento.

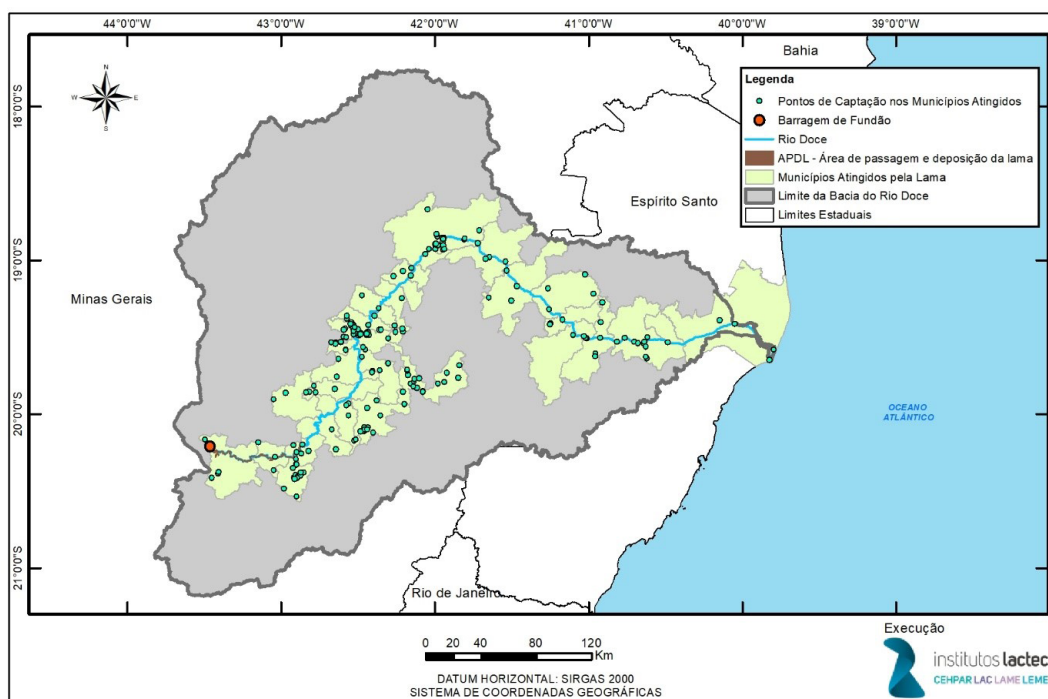
Além das sedes municipais, outros distritos também fazem uso do rio Doce para o abastecimento de água. Analisando os dados de outorgas e os PMSB, foi possível identificar as seguintes localidades, apresentadas na Tabela 10 a seguir: Santo Antônio do Rio Doce, Perpétuo Socorro, São Vitor, Quatituba, Pedra Corrida, São Tomé do Rio Doce, em Minas Gerais; Mascarenhas e Regência, no Espírito Santo.

Tabela 10 - Distritos com captação no rio Doce

Município	Distrito	UF	Captação	Detalhes
Aimorés	Santo Antônio do Rio Doce	MG	Rio Doce	Vazão da ETA de 6 L/s
Belo Oriente	Perpetuo Socorro (Cachoeira Escura)	MG	Rio Doce	ETA convencional. Capacidade média de tratamento de 35 L/s
Governador Valadares	São Vitor	MG	Rio Doce	ETA Convencional São Vitor. Capacidade de tratamento de 6,0 L/s
Itueta	Quatituba	MG	Rio Doce	ETA Itueta atende a sede e o distrito de Quatituba
Periquito	Pedra Corrida	MG	Rio Doce	ETA Pedra Corrida. Capacidade de tratamento de 10 L/s
Tumiritinga	São Tomé do Rio Doce	MG	Rio Doce	Sem tratamento
Linhares	Regência	ES	Rio Doce	ETA convencional. Vazão de 20 L/s.
Baixo Guandu	Mascarenhas	ES	Rio Doce	ETA convencional. Capacidade de tratamento de 6 L/s

Desta forma, a localização dos pontos de captação com base nas outorgas e Atlas de Abastecimento é apresentada na Figura 45.

Figura 45 - Localização das captações superficiais e subterrâneas para os SAAs dos municípios atingidos pela passagem de rejeitos oriundos do rompimento da barragem.



Conforme descrito anteriormente na Metodologia, as informações referentes à modalidade de tratamento dos sistemas produtores foram consideradas como Simples Desinfecção, Tratamento simplificado e Tratamento completo convencional. Desta forma, de acordo com a Tabela 9, o principal tipo de tratamento de água existente nas sedes municipais é o Tratamento convencional, observado em 47 sistemas analisados (65% do total).

No tocante aos prestadores de serviço, a Tabela 11 apresenta a relação das operadoras responsáveis pelos sistemas de abastecimento em cada município conforme dados do SNIS (2015), bem como os dados de população atendida com abastecimento de água, ligações e economias de água, volume de água produzido e índices de atendimento.

Uma grande parcela destes municípios apresenta seus sistemas de produção de água sob administração direta da COPASA (25 sedes municipais), e os demais são administrados por empresas municipais ou independentes.

O índice de atendimento total de água da população em 2015 com percentual maior que 90% foi observado nos municípios de Mariana, Governador Valadares, Marliéria, Ponte Nova, Rio Doce, Santana do Paraíso, Baixo Guandu, Colatina e Linhares. Em alguns municípios este valor é muito baixo, menor que 40%, como nas cidades de Bugre, Barra Longa e Santa Cruz do Escalvado, apesar de haver considerável atendimento de água para a população urbana. O índice médio de atendimento total de água nos municípios é de 72,2%.

Já o índice de atendimento urbano para as cidades analisadas sempre foi maior que 70%, com exceção de Dionísio e Marliéria, com índices de 52 e 44%, respectivamente. O índice médio de atendimento urbano de água é de 89,5%.

Tabela 11 - Informações selecionadas dos sistemas de produção nos municípios em estudo

Município	UF	Operadora	Pop. total atendida de água (hab.)	Pop. urbana atendida com abastecimento de água (hab.)	Ligações de Água Ativas (Ligações)	Economias de Água Ativas (Economias)	Vol. de Água Produzido (1.000 m ³ / ano)	Vol. de Água Macromedido (1.000 m ³ /ano)	Vol. de Água Micromedido (1.000 m ³ /ano)	Vol. de Água Consumido (1.000 m ³ /ano)	Índice de atendimento total de água (%)	Índice de atendimento urbano de água (%)	Consumo médio per Capita de água (l/ hab.dia)	Índice de perdas na distribuição (%)
Aimorés	MG	Serviço Municipal	19.821	19.821	8.216	8.501	1.541,73	1.517,27	1.316,44	1.517,27	77,14	97,74	209,72	0,00
Alpercata	MG	COPASA	4.648	4.648	2.173	2.255	380,89	380,89	242,81	242,81	62,16	78,77	126,30	35,93
Barra Longa	MG	COPASA	2.183	2.183	1.053	1.100	148,14	148,14	113,42	113,42	37,64	100,00	141,18	23,05
Belo Oriente	MG	Serviço Municipal	21.600	21.307	8.300	8.400	1.282,60	1.150,00	1.070,00	1.070,00	84,31	98,87	135,72	16,18
Bom Jesus do Galho	MG	COPASA	9.397	9.397	4.048	4.271	595,80	595,80	445,93	452,57	60,46	92,67	126,74	23,66
Bugre	MG	COPASA	1.242	1.242	520	527	76,62	63,50	50,08	50,08	30,04	78,36	97,14	34,31
Caratinga	MG	COPASA	66.352	66.352	23.809	29.642	4.260,55	4.227,80	3.186,04	3.186,19	73,09	88,40	123,89	24,84
Conselheiro Pena	MG	Serviço Municipal	18.312	18.312	8.332	9.484	1.866,24	0,00	1.067,77	1.067,89	79,13	100,00	159,95	42,20
Córrego Novo	MG	COPASA	1.976	1.976	885	923	128,16	128,16	99,39	99,39	65,17	100,00	137,04	22,06
Dionísio	MG	COPASA	3.610	3.610	1.583	1.651	246,31	245,86	171,24	171,24	42,66	52,02	100,30	30,13
Fernandes Tourinho	MG	COPASA	1.638	1.638	757	779	106,54	106,54	83,79	83,79	49,58	74,52	120,41	20,96
Galiélia	MG	Serviço Municipal	5.610	-	2.397	-	-	-	-	-	83,70	100,00	150,00	35,00
Governador Valadares	MG	Serviço Municipal	276.941	266.350	86.634	116.775	29.720,13	28.234,12	13.062,18	13.062,18	99,49	99,61	129,55	53,98
Iapu	MG	COPASA	6.460	6.460	2.815	2.961	428,35	428,35	300,48	300,50	59,43	85,57	117,82	29,49
Ipaba	MG	COPASA	13.922	13.922	4.822	5.192	758,45	758,45	643,42	643,42	77,05	85,67	117,43	14,74

Município	UF	Operadora	Pop. total atendida com abastecimento de água (hab.)	Pop. urbana atendida com abastecimento de água (hab.)	Ligações de Água Ativas (Ligações)	Economias de Água Ativas (Economias)	Vol. de Água Produzido (1.000 m³/ ano)	Vol. de Água Macromedido (1.000 m³/ano)	Vol. de Água Micromedido (1.000 m³/ano)	Vol. de Água Consumido (1.000 m³/ano)	Índice de atendimento total de água (%)	Índice de atendimento urbano de água (%)	Consumo médio per Capita de água (l/ hab.dia)	Índice de perdas na distribuição (%)
Ipatinga	MG	COPASA	218.447	218.447	67.532	87.439	19.439,48	19.439,48	10.214,85	10.215,65	84,88	85,78	118,83	47,18
Itueta	MG	COPASA	3.190	3.190	1.283	1.357	260,34	235,34	170,69	170,69	52,41	92,62	141,20	34,11
Mariana	MG	Serviço Municipal	58.802	51.669	17.855	19.665	6.052,65	3.290,10	167,46	6.052,65	100,00	100,00	283,38	0,00
Marliéria	MG	Serviço Municipal	4.121	1.290	1.250	1.250	473,05	473,05	0,00	473,05	99,85	44,09	314,34	0,00
Naque	MG	COPASA	5.827	5.827	2.266	2.328	351,79	351,79	277,35	277,35	85,39	90,83	124,69	20,76
Periquito	MG	COPASA	4.951	4.951	2.282	2.351	403,80	373,98	273,95	273,96	69,70	92,73	145,63	31,81
Pingo-d'Água	MG	COPASA	3.977	3.977	1.550	1.605	251,32	251,32	183,72	183,73	83,04	90,97	121,19	26,53
Ponte Nova	MG	Serviço Municipal	60.005	53.517	15.958	20.586	4.796,10	4.730,40	2.781,34	2.786,67	100,00	100,00	127,44	40,02
Raul Soares	MG	Serviço Municipal	20.531	15.858	6.472	6.741	1.236,82	0,00	847,26	847,26	84,16	100,00	115,09	30,11
Resplendor	MG	COPASA	10.897	10.897	5.729	6.135	909,76	844,96	677,19	696,09	61,65	82,11	157,92	23,10
Rio Casca	MG	COPASA	9.864	9.864	3.963	4.270	663,79	646,01	465,44	465,44	69,24	86,75	119,82	29,53
Rio Doce	MG	Serviço Municipal	2.588	1.744	590	610	160,00	160,00	0,00	160,00	99,54	100,00	169,81	0,00
Santa Cruz do Escalvado	MG	COPASA	1.283	1.283	585	643	100,04	96,15	66,50	66,50	25,64	73,99	121,50	33,19
Santana do Paraíso	MG	COPASA	29.269	29.269	9.947	12.791	2.091,93	1.840,89	1.399,87	1.399,97	92,61	100,00	132,43	32,74

<i>Município</i>	<i>UF</i>	<i>Operadora</i>	<i>Pop. total atendida com abastecimento de água (hab.)</i>	<i>Pop. urbana atendida com abastecimento de água (hab.)</i>	<i>Ligações de Água Ativas (Ligações)</i>	<i>Economias de Água Ativas (Economias)</i>	<i>Vol. de Água Produzido (1.000 m³/ano)</i>	<i>Vol. de Água Macromedido (1.000 m³/ano)</i>	<i>Vol. de Água Micromedido (1.000 m³/ano)</i>	<i>Vol. de Água Consumido (1.000 m³/ano)</i>	<i>Índice de atendimento total de água (%)</i>	<i>Índice de atendimento urbano de água (%)</i>	<i>Consumo médio per Capita de água (l/hab.dia)</i>	<i>Índice de perdas na distribuição (%)</i>
São Domingos do Prata	MG	COPASA	9.153	9.153	3.862	4.059	682,90	623,77	460,00	460,00	51,43	84,97	126,48	32,30
São José do Goiabal	MG	COPASA	3.587	3.587	1.552	1.605	236,05	232,32	181,76	181,76	63,23	96,61	136,15	22,61
São Pedro dos Ferros	MG	COPASA	5.343	5.343	2.178	2.309	386,95	386,95	246,88	246,88	64,50	79,45	111,69	35,88
Sem-Peixe	MG	Serviço Municipal	1.582	1.482	400	480	205,60	105,60	20,00	105,60	56,22	99,46	182,88	45,87
Sobralia	MG	COPASA	3.092	3.092	1.495	1.547	270,85	270,85	174,62	174,65	52,93	74,74	132,02	35,19
Timóteo	MG	COPASA	76.572	76.572	24.169	29.319	7.930,94	7.743,98	3.851,07	3.851,15	87,47	87,60	129,27	51,20
Tumiritinga	MG	COPASA	4.002	4.002	2.013	2.059	280,36	268,58	232,41	232,43	60,01	87,36	148,82	16,68
Baixo Guandu	ES	Serviço Municipal	31.467	24.359	8.704	9.329	2.500,10	0,00	1.958,79	2.390,69	100,00	100,00	208,71	4,38
Colatina	ES	Serviço Municipal	115.107	107.952	26.716	42.503	10.491,00	10.206,00	6.730,00	6.730,00	93,85	100,00	162,22	34,06
Linhares	ES	Serviço Municipal	163.662	140.750	33.454	54.534	11.574,04	0,00	7.446,41	7.446,41	100,00	99,96	133,88	35,66
Marilândia	ES	Serviço Municipal	8.650	6.250	1.433	2.320	458,00	0,00	396,00	420,00	70,02	99,49	133,41	8,30

Fonte: SNIS (2015).

4.2 ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Situações de esgotamento sanitário com lançamento de efluente doméstico sem tratamento ou com tratamento ineficiente promovem não só a perda de vida aquática, mas também têm efeitos diretos na saúde humana, como o desenvolvimento de diversas doenças (JORDÃO et al., 2005). Isso ocorre devido a composição dos esgotos consistir em altos teores de sólidos totais (carbono total, séries nitrogenadas, fósforo orgânico e inorgânico, sulfetos e cloretos), quantidades de contaminantes (metais, hidrocarbonetos, pesticidas e outras substâncias potencialmente tóxicas) e microorganismos (vírus, fungos, *Escherichia coli*) (FERNANDES, 1997; VON SPERLING, 2005 visto em WANDERLEI, 2015).

Teoricamente, o lançamento de efluentes em corpos d'água provenientes de qualquer fonte poluidora pode ocorrer somente quando estiver em conformidade com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011. Entretanto, notícias recentes e estudos científicos apresentam a precariedade do sistema de esgotamento sanitário na região da bacia do rio Doce (PARREIRAS, 2018), mesmo anteriormente ao desastre causado pelo rompimento da barragem de Fundão (ANA, 2016). Além disso, medições da qualidade da água realizadas pelo Instituto Mineiro da Gestão das Águas (IGAM) e pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) apresentam desconformidades em parâmetros característicos de esgotamento sanitário, como coliformes termotolerantes (IGAM, 2010b).

Na avaliação da qualidade de corpos hídricos, normalmente, os valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) são utilizados como parâmetro de caracterização do lançamento de efluentes nos corpos receptores devido às altas cargas orgânicas (ANA, 2016). Entretanto, dependendo da vazão, da quantidade de afluentes e subafluentes de um rio, apenas a DBO pode não indicar a realidade da qualidade de determinados pontos (ÁVILA e MONTE-MÓRE, 2007). Dessa maneira, é importante avaliar outros parâmetros de qualidade da água e que também estão relacionados ao lançamento de efluentes domésticos como turbidez, coliformes, fósforo, nitrato e oxigênio dissolvido.

Portanto, nesta seção será avaliada a situação do esgotamento sanitário em municípios próximos ao rio Doce, de forma a caracterizar o panorama desse aspecto socioambiental previamente ao desastre.

4.2.1 METODOLOGIA

No relatório de linha base é definida a área de passagem e deposição da lama a região onde o rejeito oriundo do rompimento da barragem de Fundão 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). Assim, o estudo sobre o saneamento nesta região será concentrado nos 40 municípios ao longo do rio Doce, entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, os quais foram atingidos diretamente pela passagem do rejeito.

Para a avaliação das fontes de poluição derivadas do esgotamento sanitário próximas ao rio Doce foram extraídos dados do Atlas Esgoto: Despoluição das Bacias Hidrográficas da Agência Nacional de Águas em conjunto com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (ANA, 2017). O Atlas Esgoto se trata de dados relacionados ao esgotamento sanitário de 5.570 municípios brasileiros coletados de diversas instituições nacionais, visitas técnicas e observações em campo, dependendo do tamanho dos municípios, para o ano de 2013 e com previsões para 2035. Estas informações são

disponibilizadas no endereço eletrônico da ANA, em planilhas Excel e em arquivos *shapefiles* na seção do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (ANA, 2017). Além disso, foram também consultados os Planos de Saneamento Básico dos municípios atingidos pela lama de forma a complementar os dados do Atlas Esgoto. Contudo, grande parte das avaliações dos planos de saneamento refere-se ao ano de 2015 e então algumas diferenças foram observadas entre as informações.

Esses dados foram explorados qualitativa e quantitativamente, e comparados aos resultados obtidos pela equipe técnica que avaliou os parâmetros de qualidade da água de estações de monitoramento ao longo do rio Doce.

4.2.2 RESULTADOS

De acordo com os dados divulgados no Atlas-Esgoto (ANA, 2017), dos 40 municípios diretamente atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão, apenas doze coletam o efluente doméstico gerado e realizam o tratamento nas estações de tratamento de esgoto (ETEs). Os municípios pertencentes a Minas Gerais são Aimorés, Conselheiro Pena, Ipatinga, Itueta, Resplendor, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado e São José do Goiabal; e ao Espírito Santo são Baixo Guandu, Colatina, Linhares e Marilândia. Por outro lado, 28 municípios possuem rede coletora, mas não realizam o tratamento e assim lançam o efluente doméstico *in natura* nos rios e solo. Na Tabela 12 são apresentados os municípios em análise, a respectiva população urbana e as porcentagens de atendimento dos sistemas de esgotamento sanitário com coleta e sem tratamento do efluente e com coleta e com tratamento em relação ao ano de 2013.

Tabela 12 - Municípios ao longo do rio Doce, populações referentes aos anos de 2013 (urbana) e 2018 e porcentagem de atendimento dos respectivos serviços de esgotamento sanitário em relação ao ano de 2013.

Municípios	UF	População Estimada - 2018	População Urbana – 2013	% com coleta e sem tratamento (2013)	% com coleta e com tratamento (2013)
Aimorés	MG	25.193	20.265	23,0	59,0
Alpercata	MG	7.411	5.869	87,6	0,0
Barra Longa	MG	5.250	2.256	94,5	0,0
Belo Oriente	MG	26.396	21.052	85,8	0,0
Bom Jesus do Galho	MG	15.010	10.200	79,7	0,0
Bugre	MG	4.074	1.581	4,8	0,0
Caratinga	MG	91.503	74.061	82,8	0,0
Conselheiro Pena	MG	22.892	18.226	87,4	7,6
Córrego Novo	MG	2.814	2.020	95,5	0,0
Dionísio	MG	7.852	7.098	88,3	0,0
Fernandes Tourinho	MG	3.394	2.150	95,9	0,0
Galiléia	MG	6.844	5.807	86,9	0,0
Governador Valadares	MG	278.685	264.711	95,4	0,0
Iapu	MG	10.867	7.479	84,1	0,0
Ipaba	MG	18.438	15.946	82,3	0,0
Ipatinga	MG	261.344	250.456	0,0	99,9

Municípios	UF	População Estimada - 2018	População Urbana – 2013	% com coleta e sem tratamento (2013)	% com coleta e com tratamento (2013)
Itueta	MG	6.039	3.424	0,0	95,7
Mariana	MG	60.142	50.647	83,1	0,0
Marliéria	MG	4.044	2.924	87,5	0,0
Naque	MG	6.939	6.306	83,7	0,0
Periquito	MG	6.847	5.375	73,5	0,0
Pingo d'água	MG	4.894	4.287	97,2	0,0
Ponte Nova	MG	59.605	53.169	93,3	0,0
Raul Soares	MG	23.814	15.877	82,2	0,0
Resplendor	MG	17.398	13.239	19,5	64,3
Rio Casca	MG	13.659	11.474	86,8	0,0
Rio Doce	MG	2.599	1.727	0,0	79,4
Santa Cruz do Escalvado	MG	4.793	1.750	54,3	24,1
Santana do Paraíso	MG	33.934	28.020	76,7	0,0
São Domingos do Prata	MG	17.393	10.780	86,7	0,0
São José do Goiabal	MG	5.454	3.742	0,0	97,2
São Pedro dos Ferros	MG	7.858	6.816	90,2	0,0
Sem-Peixe	MG	2.661	1.512	85,0	0,0
Sobralia	MG	5.594	4.176	80,1	0,0
Timóteo	MG	89.090	85.888	92,9	0,0
Tumiritinga	MG	6.698	4.529	40,3	0,0
Baixo Guandu	ES	30.862	24.095	80,8	4,3
Colatina	ES	121.580	106.219	95,1	2,9
Marilândia	ES	12.700	6.149	22,5	67,5
Linhares	ES	170.364	135.769	15,3	57,7

FONTE: Adaptado de Atlas Esgoto - ANA (2017) e IBGE (2017).

Para o ano de 2018 a população total estimada para os 40 municípios corresponde a 1.502.928 habitantes. Grande parte dos municípios possui população inferior a 10.000 habitantes, com média igual a 5.372 ± 1.749 hab., sendo estes pertencentes a Minas Gerais. Do total, 13 municípios possuem entre 10.000 e 50.000 habitantes, sendo a média populacional igual a 20.658 ± 7.159 hab., onde dois destes localizam-se no Espírito Santo. Além disso, apenas 4 municípios têm população entre 50.000 e 100.000 habitantes (75.085 ± 17.594 hab.) e 4 possuem população superior a 100.000 (207.993 hab. ± 74.670) (IBGE, 2017).

Considerando os dados do Atlas-Esgoto, os quais se referem a população urbana (1.297.071 hab.) dos 40 municípios em análise no ano de 2013, quatro municípios com menos de 10.000 habitantes realizam a coleta e tratamento do efluente doméstico, sendo estes Itueta (3.424 hab.) com atendimento de 95,7% da população, Rio Doce (1.727 hab.) com 79,4% de cobertura, Santa Cruz do Escalvado (1.750 hab.) com 24,1% e São José do Goiabal (3.742 hab.) com 97,2% de saneamento (ANA, 2017).

Os municípios de Caratinga (74.061 hab.), Mariana (50.647 hab.), Ponta Nova (53.169 hab.) e Timóteo (85.888 hab.) possuíam população entre 50.000 e 100.000 habitantes, mas nenhum apresentava índice de tratamento de esgoto. É possível perceber também que o saneamento de grandes e importantes municípios da região varia bastante, como por exemplo, Ipatinga - MG (250.456 hab.) possui 99,9% de coleta e tratamento, enquanto Linhares - ES (135.769 hab.) coleta 15,3% do efluente doméstico e trata 57,7% deste (ANA, 2017).

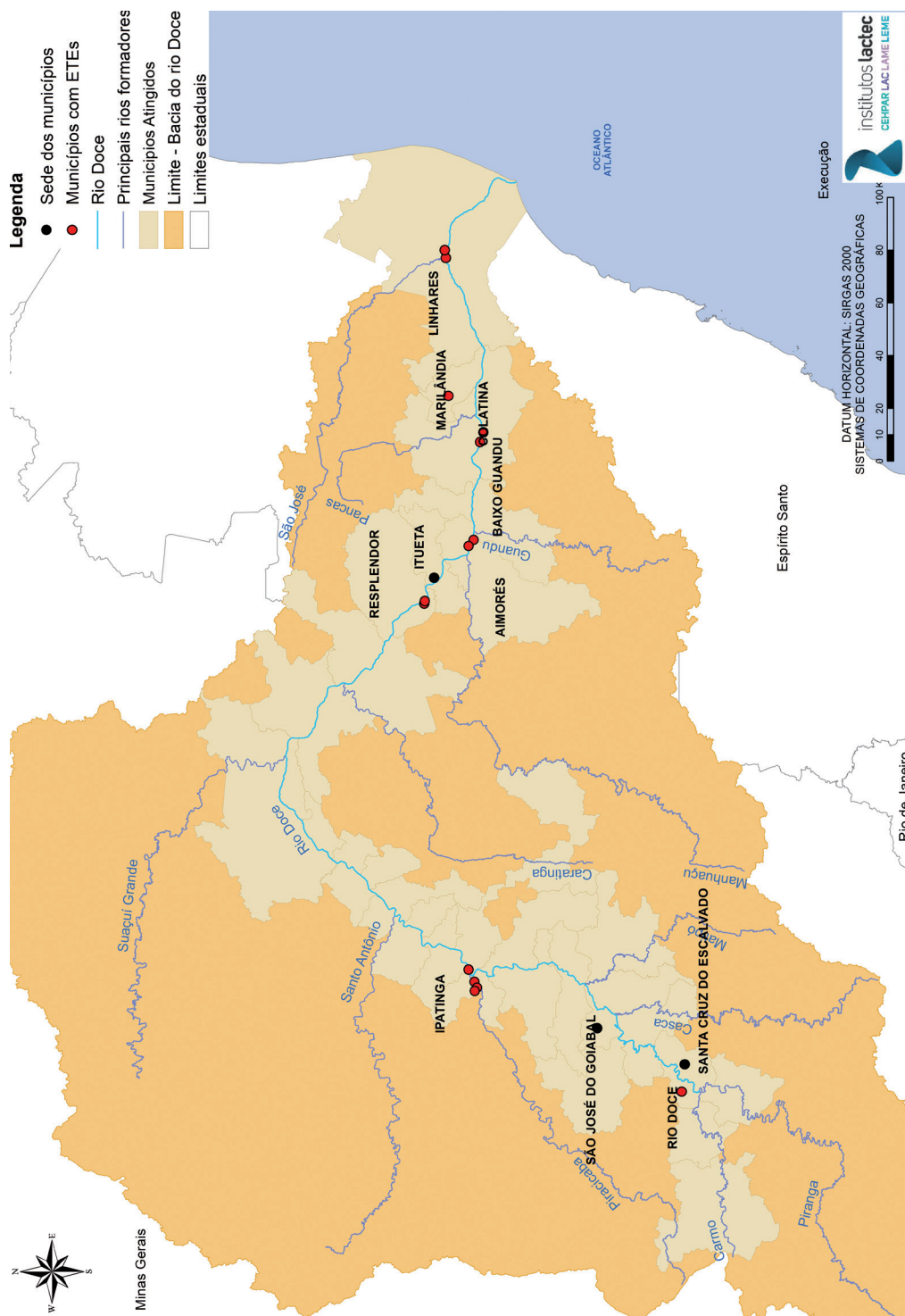
Na Tabela 12 também fica nítido que alguns municípios possuem vasta rede coletora de esgoto, porém pequena porcentagem de tratamento. Essa situação é observada, por exemplo, em Colatina - ES com coleta de 95,1% do esgoto e tratamento de apenas 2,9%. O município de Baixo Guandu - ES também apresentou coleta 80,8% dos efluentes domésticos da área urbana, porém tratamento para 4,3% deste. Ainda o município de Conselheiro Pena - MG atende com coleta 87,4% da população urbana, mas trata 7,6% desta.

O município de Governador Valadares, que é um dos maiores da região, com população estimada em 278.685 habitantes (IBGE, 2017), possui uma situação crítica em relação ao saneamento básico (Tabela 1). O sistema de esgotamento sanitário é administrado pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) o qual realiza a coleta dos efluentes, mas faz o lançamento diretamente no Rio Doce e/ou em outros córregos do distrito (GOVERNADOR VALADARES, 2018), ou seja, não há o tratamento. Dados do relatório Atlas - Esgoto apresentam que o município atendia 95,4% da população (252.534,29 habitantes) com coleta e sem tratamento em 2013 (ANA, 2017).

A partir destas informações, foram exploradas as condições de saneamento de onze municípios que possuem o sistema de saneamento completo com coleta e tratamento do efluente doméstico. Não foram encontradas informações sobre o sistema de tratamento do município de Conselheiro Pena - MG, por isso este não será abordado na apresentação dos resultados.

Na Figura 46 é mostrada a localização dos 40 municípios ao longo do rio Doce, onde foram destacados com pontos em vermelho aqueles que realizam o tratamento do esgoto e tem-se o conhecimento da localização geográfica das ETEs. Os municípios de Itueta, São José do Goiabal e Santa Cruz do Escalvado, pertencentes a Minas Gerais, possuem registros de presença de ETEs, porém não foram encontradas informações da posição geográfica. Por isso, foi destacada com pontos em preto a localização da sede municipal destes locais. Observa-se que nos onze municípios há 21 ETEs e 14 destas se concentram em Resplendor - MG com duas ETEs, Ipatinga - MG com quatro, Linhares - ES com seis e Colatina - ES com duas estações.

Figura 46 – Localização das estações de tratamento de efluente doméstico nos municípios pertencentes à Bacia do rio Doce com destaque para os municípios atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão.



Os detalhes dos sistemas de esgotamento sanitário dos onze municípios são apresentados na Tabela 13. Estas informações foram retiradas do Atlas Esgoto (ANA, 2017) e complementadas com dados disponibilizados nos Planos Municipais de Saneamento Básico, devido a algumas inconsistências encontradas entre as duas bases.

Tabela 13 - Informações sobre os municípios atingidos no rompimento da barragem de Fundão que possuem sistemas de tratamento de esgoto sanitário.

Municípios	UF	Nome da ETE	Companhia de Saneamento	População atendida - 2013 (%)	Tipo Tratamento	Eficiência de remoção de DBO (%)
Aimorés	MG	ETE Aimorés	SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto	59,04	Reator anaeróbio	86
Ipatinga	MG	ETE Areal - Ipatinga	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	99,9	Reator anaeróbio + Filtro biológico	72
		ETE Bela Vista - Ipatinga				78
		ETE Horto - Ipatinga				72
		ETE Ribeirão Ipanema - Ipatinga				73
Itueta	MG	ETE Itueta	Prefeitura Municipal de Itueta	95,7	Sem informação	60
Resplendor	MG	ETE Resplendor Margem Direita	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	64,32	Reator anaeróbio + Lodos ativados	69
		ETE Resplendor Margem Esquerda				76
Rio Doce	MG	ETE Rio Doce	Prefeitura Municipal de Rio Doce	79,44	Reator Anaeróbio + Filtro *	84
Santa Cruz do Escalvado	MG	ETE Santa Cruz do Escalvado	Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Escalvado	24,11	Reator anaeróbio + Filtro biológico	85
São José do Goiabal	MG	ETE São José do Goiabal	Prefeitura Municipal de São José do Goiabal	97,18	Sem informação	60
Baixo Guandu	ES	ETE Rosário 2	SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto	4,25	Fossa filtro/ Reator UASB+Filtro Aerado **	65
Colatina	ES	ETE Columbia	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental	2,94	Tanque/ Fossa séptica + Filtro Anaeróbio/ Filtro biológico	72
		ETE Acampamento				72

Municípios	UF	Nome da ETE	Companhia de Saneamento	População atendida - 2013 (%)	Tipo Tratamento	Eficiência de remoção de DBO (%)
Linhares	ES	ETE Aviso	SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto	57,67	Reator anaeróbio + Filtro aeróbio	96
		ETE Bebedouro				27
		ETE Canivete				46
		ETE Interlagos - Linhares				75
		ETE Movelar				93
		ETE Rio Quartel				92
Marilândia	ES	ETE Sede - Marilândia	SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto	67,5	Reator Uasb + Biofiltro aerado	10

* VALLENCE (2014)

** BAIXO GUANDU (2016)

FONTE: Adaptado de Atlas Esgoto - ANA (2017).

É possível perceber que a maioria dos municípios faz o tratamento do efluente doméstico coletivo por meio de reatores anaeróbios, sendo usado em alguns o tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), complementados por tratamentos secundários, como lodo ativado ou filtros biológicos. Em alguns municípios também são utilizadas fossas sépticas como em Baixo Guandu - MG e em Colatina - ES. Segundo Von Sperling (2005) o lodo ativado, entre os tratamentos empregados, possui maior eficiência em remoção de DBO variando entre 85 e 97%, e o reator UASB, seguido de um pós-tratamento, possui a segunda maior eficiência com remoção de DBO de 75 a 93%. A aplicação apenas do reator UASB imprime uma eficiência inferior aos outros tratamentos, entre 60 e 75%, e a utilização apenas de um tratamento primário também é pouco eficiente, com remoção de DBO entre 35 e 40%. Esses valores são teóricos e podem variar de acordo com a estrutura e situação de manutenção dos sistemas.

O município de Ipatinga, o qual é considerado bastante urbanizado, possui uma das melhores condições de saneamento da região. O sistema de esgotamento sanitário é operado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), com quatro ETEs (Ipanema, Horto, Areal e Bela Vista) e atende a 99,78% da população urbana (IBIO-ABG DOCE; CBEH-PIRACICABA - IPATINGA, 2015). Neste município, 100% do efluente doméstico coletado possui tratamento, sendo que 90% ocorrem na ETE Ipanema (IBIO-ABG DOCE; CBEH-PIRACICABA - IPATINGA, 2015). Esta estação recebe a maior parte do esgoto coletado do município, com vazão média de operação igual a 401 L/s, e o tratamento é realizado por dez reatores de Fluxo Ascendente (UASB) e dois Filtros Biológicos de Fluxo Ascendente. Assim, o efluente final é descartado no rio Doce. As outras três ETEs presentes no município possuem um sistema de tratamento similar com reatores UASB e Filtros Biológicos e eficiência de remoção de DBO igual a 85,5% para ETE Areal, 84,1% na ETE Bela Vista e 80,8% para a ETE Horto (COPASA, 2015 visto em IBIO-ABG DOCE; CBEH-PIRACICABA - IPATINGA, 2015). Em 2013, informações do Atlas Esgoto da ANA apresentavam eficiência de remoção de DBO para as mesmas ETEs igual a 72%, 78% e 72%, respectivamente. Para a ETE Ipanema estes dados mostravam que a eficiência era igual a 73% em 2013. Em comparação com outros municípios do Vale do Aço, Ipatinga é um dos únicos que realiza o tratamento do esgoto sanitário, onde apenas Montes Claros possui 96,6% de índice de tratamento.

Entretanto, no Plano Municipal de Saneamento Básico de Ipatinga é relatado que ocorrem algumas falhas nas ETEs como reatores UASB com problemas estruturais, filtros biológicos e o queimador de gás da ETE Ipanema desativado (IBIO-ABG DOCE; CBEH-PIRACICABA - IPATINGA, 2015).

O município de Resplendor - MG possui duas ETEs com o sistema de tratamento mais eficiente para remoção de DBO, segundo Von Sperling (2005), com reator anaeróbio e decantador secundário. As estações estão localizadas às margens do rio Doce, sendo uma à direita e outra à esquerda, com vazões afluentes iguais a 5,7 L/s e 6,1 L/s, respectivamente. Apesar disso, a eficiência de remoção de DBO das duas ETEs é considerada baixa, com 69% para a ETE da margem direita e 79% para a ETE da margem esquerda. Além disso, ainda há muitas ligações que fazem lançamento *in natura* (RESPLENDOR, 2016).

De acordo com o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Linhares - ES, na sede do município, há quatro ETEs com sistema de reator anaeróbio do tipo UASB e biofiltro aerado e seis ETEs com filtro biológico (SAAE LINHARES, 2018). Nos dados disponibilizados pelo Atlas Esgoto são mostradas apenas as ETEs com o primeiro tratamento, porém as eficiências de remoção de DBO para o lançamento nos corpos d'água variam bastante. Por exemplo, a ETE Aviso, com vazão afluente de 71,4 L/s, faz a remoção de 96% da DBO, mas a ETE Bebedouro possui eficiência de 27% para uma vazão afluente igual a 4,3 L/s (ANA, 2017). Não foram encontradas publicações que justifiquem tais diferenças, porém problemas estruturais e/ou falta de manutenção podem ocasionar a redução da eficiência dos sistemas.

Na Tabela 13 também é possível observar que Colatina - ES atende uma pequena parcela da população (2,94%) e o Plano Municipal de Saneamento Básico do município complementa que o sistema de esgotamento sanitário é simplificado com fossas sépticas e filtros anaeróbios, visto que até o momento não há outras soluções disponíveis (COLATINA, 2015). A ETE Columbia opera com vazão entre 8 e 9 L/s e a ETE Acampamento com 3 L/s. Esta última apresenta condições precárias de conservação e, conseqüentemente, o tratamento realizado é pouco efetivo. Em Colatina - ES ainda estão sendo implantadas mais duas estações, sendo a ETE XV de outubro com capacidade de 5,7 L/s e a ETE Barbados ainda sem definição do sistema (COLATINA, 2015).

Os dados do Atlas Esgoto mostram também que municípios menores como, por exemplo, Rio Doce, com 2.599 habitantes, atende a 79,44% da população urbana com coleta e tratamento (IBGE, 2017; ANA, 2017). Segundo informações contidas no Plano Municipal de Saneamento Básico deste município a cobertura de coleta é realizada para 100% da população (VALLENGE, 2014). A ETE local tem capacidade de tratamento de 5,79 L/s e possui eficiência de 84% de remoção de DBO com um sistema de reator anaeróbio e filtro (ANA, 2017; VALLENGE, 2014). Entretanto, é interessante avaliar que o número de habitantes é bastante reduzido em relação a outros municípios. Por outro lado, o município de Santa Cruz do Escalvado com 4.793 habitantes atendia com esgotamento sanitário apenas 24,11% da população. Assim, as condições de esgotamento sanitário de cada município dependem de diversas variáveis como a companhia que atende os locais, a infraestrutura urbana, as atividades econômicas prioritárias, entre outros.

A Resolução CONAMA 430/2011 estabelece que os tratamentos de esgoto sanitário devem ter eficiência mínima de 60% de remoção de DBO ou em 5 dias a 20°C a concentração deve ser igual a 5 mg/L para rios Classe 2. O rio Piracicaba onde a ETE de Ipatinga faz o lançamento do efluente foi o único considerado Classe 1 no Atlas - Esgoto da ANA, os demais foram considerados como Classe 2.

Para efluentes lançados sem tratamento é instituído também que haja remoção de 60% de DBO na zona de mistura do rio. De acordo com os dados Tabela 13, as ETEs Bebedouro e Canivete instaladas em Linhares - ES removem 27% e 46% de DBO, respectivamente, e a ETE Sede em Marilândia - ES possui eficiência de 10%, as quais são as estações com pior eficiência dentre os municípios atingidos.

É interessante destacar que os dados obtidos do Atlas - Esgoto não fornecem as concentrações de DBO lançadas nos corpos d'água e então, não é possível fazer comparações com as concentrações legisladas. Além disso, também não há registros de outros parâmetros dos efluentes, como fósforo e nitrogênio.

A partir dos resultados das pesquisas em literatura e de bases de dados, e das avaliações dos dados do IGAM realizadas pela equipe de qualidade de água é possível fazer algumas inferências sobre o panorama de saneamento da região. As medições de qualidade de água, em pontos estratégicos ao longo do rio Doce e nos afluentes, apontaram desacordos superiores a 20% para coliformes termotolerantes em períodos divididos como chuvoso, seco e o considerado total. Os registros apontaram elevação desse parâmetro próximo aos municípios de Ipatinga - MG e Colatina - ES, por exemplo, que são grandes centros urbanos. Além disso, coliformes termotolerantes, fósforo total e turbidez apresentaram desacordos com a legislação em 100% das estações monitoradas em séries históricas tanto do estado de Minas Gerais quanto no Espírito Santo.

Os valores de DBO não tiveram resultados significativamente negativos nas medições de qualidade de água, comparado às demais variáveis. Entretanto, altos valores dos parâmetros DBO, fósforo total, cor e turbidez são típicos para caracterização do lançamento de efluentes domésticos sem tratamento em corpos d'água.

Assim, os resultados da qualidade de água medidos ao longo do rio Doce, os quais apontam desconformidades em parâmetros críticos relacionados ao saneamento, complementam os cenários apresentados nos Planos Municipais de Saneamento Básico e nos dados da Agência Nacional de Águas, onde, apesar da grande capacidade de coleta do esgoto dos municípios atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão, existem poucas ETEs instaladas e, dentre estas, as estruturas são precárias e ocorrem falhas em manutenção. Consequentemente, poucos municípios atendem a população local com adequadas condições de saneamento.

4.3 RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo o Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, ano base 2015, elaborado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), referentes à 3.520 municípios de um total de 5.570 municípios brasileiros (63,2% dos municípios brasileiros que participaram do diagnóstico), 60,9% dos resíduos urbanos no país são dispostos aterros sanitários; 11,5% em aterros controlados; 10,1% em lixões e 2,3% encaminhados para usinas de triagem e compostagem, restando 15,2% sem informações.

Verifica-se no país uma predominância significativa de unidades de disposição no solo (lixões e aterros), sendo 64% do total de 3.859 instalações cadastradas e atualizadas no ano de 2015. Quanto à distribuição regional, a maioria dos lixões está localizada na região Nordeste (661 cadastrados, seguida

por Norte (183) e Centro-Oeste (175). Na sequência está o Sudeste (91) e por último, o Sul (30). Com relação aos aterros controlados, a maioria está localizada no Sudeste, com 464 unidades cadastradas, seguida pela região Sul (67), Nordeste (59), Centro-Oeste (34) e Norte (30). Já em relação aos aterros sanitários, a maioria está no Sudeste, com 356 aterros cadastrados, 198 no Sul, 66 no Nordeste, 34 no Centro-Oeste, e 25 na região Norte (BRASIL, 2017).

Outra fonte de informação sobre o tema, o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2015), apresenta dados nacionais, regionais e estaduais sobre a geração, coleta e disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) no país no ano de 2015. Na região sudeste (estados de Minas Gerais e Espírito Santo), os 1.668 municípios geraram a quantidade de 107.375 toneladas/dia de RSU, das quais 97,4% foram coletadas. Dos resíduos coletados na região, 27% - correspondentes a 28.286 toneladas diárias - ainda são destinados para lixões e aterros controlados. Há na região 1.450 municípios com iniciativa de coleta seletiva. (ABRELPE, 2015).

A correta gestão dos resíduos sólidos se mostra como fator importante para o saneamento da bacia em estudo, contemplando ações de adequação de disposição de resíduos sólidos urbanos, um dos principais problemas ambientais da região, com reflexos importantes na qualidade da água e indicadores de qualidade de vida.

Neste capítulo será apresentado o tema resíduos sólidos, especificamente a situação da gestão dos resíduos sólidos nos municípios afetados, anteriormente ao rompimento da Barragem do Fundão. Para tanto foram utilizados documentos (relatórios, panoramas e inventários) finalizados até o ano de 2015 ou de anos posteriores com base em dados até o ano de 2015. Um referencial teórico sobre o tema pode ser encontrado no Apêndice D, no qual constam definições, conceitos e aspectos legais.

4.3.1 METODOLOGIA

A pesquisa se concentrou em obter informações da disposição final desses resíduos, buscando mais de uma fonte de forma que as informações pudessem ter maior confiabilidade. Deste relatório constam dados retirados do Ministério do Meio Ambiente (MMA), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe), Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), bem como do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades (MCidades).

O SNIS é o maior e mais importante sistema de informações do setor de saneamento brasileiro, e se apoia em um banco de dados que contém informações de caráter operacional, gerencial, financeiro e de qualidade sobre a prestação de serviços de água e esgotos, bem como de manejo de resíduos sólidos. O SNIS é dividido nos componentes água e esgotos (SNIS-AE) e resíduos sólidos (SNIS-RS). Para esse último, as informações são coletadas junto aos órgãos municipais encarregados dos serviços e os indicadores são calculados com base nessas informações.

Foram também utilizados como fonte de pesquisa dados da FEAM e do Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), que são os órgãos ambientais estaduais de Minas Gerais e Espírito Santo, respectivamente.

Além disso, foram apresentadas e descritas as tipologias de resíduos e analisada a gestão de resíduos nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Considerando a área de passagem e deposição da lama no rio Doce, foram estudados os 40 municípios atingidos pelo desastre, onde 36 se encontram no estado de Minas Gerais e 4 no estado do Espírito Santo, como apresentado anteriormente neste relatório.

Pesquisa de informações básicas municipais realizadas pelo IBGE em 2014 e complementada pelo MMA em 2015 caracteriza a situação de 5.569 municípios brasileiros para a situação da gestão dos resíduos sólidos, contendo informações sobre os municípios que possuem o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) e Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), contemplando a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos (SINIR, 2015).

Foram encontrados 34 planos municipais de saneamento básico em fontes diversas, tais como Comitês das Bacias Hidrográficas (CBH), sites de prefeituras municipais, Laboratório de Gestão de Saneamento Ambiental (LAGESA), Plano Municipal de Saneamento Básico- FUNEC (PMSB-FUNEC), entre outros. Também foram encontrados 4 planos de gestão integrada de resíduos sólidos, dos municípios de Marliéria, Rio Casca, Timóteo e Linhares, em sites de prefeitura (Linhares e Timóteo) e no CBH (Marliéria e Rio Casca).

A FEAM disponibiliza inventários de resíduos sólidos industriais e minerários, também utilizados como fonte de pesquisa, assim como panoramas e classificações da disposição final dos resíduos no estado de Minas Gerais. A pesquisa para o estado do Espírito Santo não retornou em informações adicionais além dos planos de saneamento básico e do plano de gestão integrada de resíduos sólidos para o município de Linhares.

As coordenadas da disposição final dos resíduos sólidos de cada município, aterro controlado, sanitário ou lixão, foram encontradas nos planos de saneamento, planos de gestão integrada de resíduos sólidos, dissertação de mestrado e também através de contato com secretarias de meio ambiente, como foi o caso do município de Rio Casca. Essa informação é importante para a localização dos destinos finais dos resíduos gerados na área afetada, visando identificar potenciais áreas utilizadas para disposição de resíduos advindos pelo desastre nos municípios ao longo do rio Doce e se houve soterramento de algum lixão, aterro controlado ou aterro sanitário, por ocasião do avanço da lama no trecho compreendido entre a barragem de Fundão e a UHE Risoleta Neves.

4.3.2 RESULTADOS OBTIDOS PARA MINAS GERAIS

No Estado de Minas Gerais a competência para desenvolver e implementar a política de proteção, conservação e melhoria da qualidade ambiental, além da prevenção e correção da degradação ambiental e a promoção do desenvolvimento sustentável é da Fundação Estadual do Meio Ambiente, entidade que integra o Sistema Estadual do Meio Ambiente (SISEMA) (MINAS GERAIS, 2011; MINAS GERAIS, 2016). Cabe a FEAM, além do exercício de outras atividades, promover a aplicação de instrumentos de gestão ambiental, bem como propor indicadores e avaliar a qualidade ambiental e a efetividade das políticas de proteção ambiental. Para tanto, o órgão se subdivide em diretorias que tratam de temas relacionados à qualidade do ar, mudanças climáticas e energias renováveis, produção

sustentável, áreas contaminadas, qualidade do solo, gestão de efluentes líquidos e gestão de resíduos sólidos (MINAS GERAIS, 2016).

Quanto à gestão de resíduos sólidos, na Diretoria de Resíduos existem gerências específicas para tratar questões relacionadas aos resíduos sólidos urbanos, resíduos especiais, resíduos da mineração e resíduos industriais. Fica a cargo da Gerência de Resíduos Especiais o desenvolvimento de planos e programas relativos à gestão dos RSS, além da elaboração de diagnósticos e divulgação de dados referentes a estes resíduos (MINAS GERAIS, 2011).

As informações sobre os resíduos sólidos foram retiradas dos seguintes documentos:

- Classificação e Panorama da Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais - Ano Base 2015
- Diagnóstico da Gestão, Gerenciamento e Destinação Final dos Resíduos de Serviços de Saúde no Estado de Minas Gerais
- Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015
- Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015
- Panorama da Destinação dos Resíduos de Serviços de Saúde no Estado de Minas Gerais com Base nas Declarações da Gestão dos Resíduos de Serviços de Saúde -Ano Base 2013
- Panorama da Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de Minas Gerais em 2015
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Alpercata
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Barra Longa
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Belo Oriente
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Bom Jesus do Galho
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Bugre
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Caratinga
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Conselheiro Pena
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Córrego Novo
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Fernandes Tourinho
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Galiléia
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Governador Valadares
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Iapu
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Ipaba
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Ipatinga
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Itueta
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Mariana
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Marliéria
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Periquito
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Pingo d'Água

- Plano Municipal de Saneamento Básico de Ponte Nova
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Raul Soares
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Resplendor
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Rio Casca
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Rio Doce
- Plano Municipal de Saneamento Básico de São José do Goiabal
- Plano Municipal de Saneamento Básico de São Pedro dos Ferros
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Sem-Peixe
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Sobralia
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Santa Cruz do Escalvado
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Timóteo
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Tumiritinga

Dos 36 municípios afetados no Estado, não foram encontradas informações sobre a gestão dos resíduos sólidos nos seguintes municípios: Aimorés, Dionísio, Naque, Santana do Paraíso e São Domingos do Prata.

4.3.2.1 Resíduos Sólidos Urbanos

Em 2009 o estado publicou sua Política Estadual de Resíduos Sólidos, Lei n. 18.031. A FEAM publica regularmente um panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos que contém o levantamento de informações sobre a destinação dos RSU pelos municípios, além da situação da gestão dos RSU. Este panorama é uma das ferramentas para o acompanhamento e avaliação do resultado das ações da FEAM referentes aos resíduos sólidos urbanos.

Por meio do Programa Minas Sem Lixões, criado em 2003, a FEAM, juntamente com parcerias do meio acadêmico, apoia os municípios na gestão dos seus RSU, por meio da implantação de sistemas de tratamento e disposição regularizados ambientalmente, implantação da coleta seletiva e formação de consórcios para gestão compartilhada de resíduos sólidos urbanos.

As informações contidas nos PMSB dos municípios afetados em relação aos RSU são discrepantes. Portanto, a situação dos mesmos será descrita individualmente para cada município.

- Alpercata

Conforme o PMSB de Alpercata é de responsabilidade da prefeitura a gestão dos resíduos sólidos urbanos. O Setor de Limpeza Pública, ligado à Secretaria Municipal de Obras, realiza os serviços de coleta, transporte e destinação final desses resíduos, e a limpeza urbana, que só ocorre na área urbana do município. Os RSU não possuem um padrão de acondicionamento, e são descartados pela população fora do dia e horário das coletas.

De acordo com a Secretaria Municipal de Obras, 100% da zona urbana é alcançada pela coleta, recolhendo 3,18 toneladas por dia de RSU. Não há sistema de coleta seletiva implantada no município. Os serviços de varrição e poda são realizados por funcionários do setor, e a

capina é realizada pela empresa terceirizada GreenGold Engenharia Multidisciplinar, de Belo Horizonte.

Os resíduos domiciliares, comerciais e públicos coletados são enviados para o aterro controlado, localizado na zona rural de Alpercata e a cobertura dos rejeitos é feita duas vezes por semana pela prefeitura.

- Barra Longa

No município de Barra Longa, a prefeitura é responsável pelo manejo dos resíduos urbanos gerados. Na sede do município, a varrição e limpeza abrangem todas as vias urbanas, sendo acondicionados e, em seguida, direcionados para o aterro controlado do município. O acondicionamento é feito em sacolas plásticas.

Os resíduos domiciliares são coletados diariamente, exceto aos domingos, na sede. Nos demais distritos a coleta é feita semanalmente. Não há sistema de coleta seletiva.

Segundo o PMSB de Barra Longa, não há quantificação da quantidade de resíduos gerados. Operadores locais estimam que o volume seja de quatro toneladas por dia.

Os RSU são, no geral, descartados no aterro controlado do município, entretanto em algumas localidades os resíduos são enterrados ou queimados na própria propriedade.

- Belo Oriente

A responsabilidade da gestão dos RSU de Belo Oriente não é informada no PMSB. Os resíduos domésticos não possuem um padrão determinado de acondicionamento, sendo depositados em sacolas plásticas em frente às residências, cestos de metais, em bombonas ou diretamente nas calçadas.

A coleta dos resíduos domésticos e comerciais é realizada três vezes por semana na sede e nos distritos. Na zona rural, a coleta varia entre uma e três vezes por semana dependendo da localidade. O transporte é realizado até a Central de Resíduos Vale do Aço (CRVA), aterro sanitário localizado em Santana do Paraíso.

A coleta seletiva é feita diariamente pela Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Belo Oriente (ASCABEO) em duas unidades. Os materiais são separados, prensados, amarrados, pesados, acondicionados em uma parte do galpão para posterior comercialização. Os materiais não aproveitados são dispostos para coleta convencional. Os resíduos de varrição são acondicionados em sacos plásticos ou caixas e também são enviados para a CRVA.

Conforme o PMSB, são geradas e coletadas 244,89 toneladas de resíduos urbanos por mês no município.

- Bom Jesus do Galho

A responsabilidade pelo sistema de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos do município de Bom Jesus do Galho é da Prefeitura Municipal.

Os resíduos domiciliares são acondicionados em sacos plásticos nas vias públicas. A coleta regular ocorre diariamente, de segunda a sábado, e não há coleta seletiva. Alguns povoados mais distantes não são alcançados pela coleta, ocorrendo, portanto, a queima dos resíduos

nas propriedades. Não possuem unidade de transbordo e nem tratamento prévio antes da disposição. Após a coleta, são transportados para o lixão do município. Assim como os RSD, os resíduos de limpeza urbana são coletados pela coleta regular e dispostos no lixão.

Segundo o PMSB, gestores locais estimaram uma quantidade de 1.200 toneladas por ano de resíduos urbanos gerados.

- Bugre

O responsável pelos serviços de limpeza pública e manejo dos RSU é o Departamento de Obras e Serviços Públicos, vinculado à Secretaria Municipal de Obras e Serviços Urbanos. Não há padronização para o acondicionamento dos RSU, sendo feito, principalmente, em sacolas plásticas. A coleta regular abrange toda a área urbana e apenas parte da área rural, recolhendo 1,58 toneladas por dia de RSU. Não há sistema de coleta seletiva implantado no município. Os serviços de varrição, capina e poda são realizados por funcionários do quadro da prefeitura. Os resíduos domiciliares, comerciais e públicos coletados em Bugre são transportados e descartados no lixão localizado na área rural do município, sendo em média 1,58 toneladas/dia.

- Caratinga

Os serviços de limpeza pública e manejo de RSU são prestados regularmente na sede e nos distritos, cabendo ao Departamento de Limpeza Pública (DLP), vinculado à Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Serviços Urbanos, os serviços de coleta, transporte e disposição final de RSU, podas de árvores no perímetro urbano e varrição e capina de logradouros públicos.

O acondicionamento dos resíduos é feito em sacolas plásticas. A coleta foi terceirizada, sendo prestada por duas empresas: na zona urbana, a empresa CONSTRURBAN Logística Ambiental Ltda., e nos distritos e algumas comunidades rurais, a empresa WF Empreendimentos e Construções Divinense Ltda. Parte da zona rural, entretanto, não é atendida pela coleta, de forma que a população pratica a queima dos resíduos ou descarta a céu aberto.

Há coleta seletiva em Caratinga, sendo realizada pelo DLP, apenas na sede. Após a coleta são enviados para a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Caratinga (ASMARC). Os resíduos recicláveis coletados são comercializados em depósitos existentes na cidade.

Os serviços de varrição, capina e poda são realizados por funcionários do quadro da prefeitura.

Os RSU são descartados no aterro sanitário do município. Segundo a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Serviços Urbanos de Caratinga, diariamente são coletadas na sede e nos distritos, em média, 46,22 toneladas de RSU.

- Conselheiro Pena

No município de Conselheiro Pena, quem executa os serviços de limpeza pública é o Departamento de Limpeza Pública e os serviços de coleta, transporte e disposição final dos RSU são prestados na área urbana e distritos pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE).

Os serviços de varrição, capina e poda são realizados por funcionários do quadro da prefeitura. Não há sistema de coleta seletiva.

Os resíduos não possuem um padrão de acondicionamento e a coleta abrange toda a área urbana. A zona rural não é atendida. Após a coleta os resíduos são transportados para o lixão do município. Segundo a Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos são coletadas 10,43 toneladas/dia de RSU.

- **Córrego Novo**

A responsabilidade pelo sistema de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos do município de Córrego Novo é da Prefeitura Municipal. O acondicionamento dos resíduos domésticos e comerciais não segue um padrão, sendo depositados em sacolas plásticas. A coleta regular é realizada diariamente durante a semana, juntamente com a coleta seletiva. Os resíduos são, então, transportados para uma UTC. Na usina são separados entre recicláveis, passíveis de compostagem e rejeitos. Os recicláveis são posteriormente comercializados.

Os resíduos de limpeza urbana são acondicionados em sacos plásticos e enviados para a UTC ou para um bota-fora licenciado. Os RSU são, então, dispostos no aterro controlado contíguo a UTC. São coletados em média 1.091 kg por dia de resíduos, sendo que, 11,64 % são rejeitos, 27,86 % orgânicos, 24,56 % terra e o restante são materiais recicláveis ou passíveis de logística reversa.

- **Fernandes Tourinho**

Em Fernandes Tourinho, o Setor de Limpeza Pública executa os serviços de coleta, transporte e disposição dos RSU. Não há padrão para o acondicionamento. A coleta convencional é realizada em toda a área urbana. A área rural não é atendida. De acordo com a Secretaria Municipal de Obras são coletadas 1,35 toneladas/dia de RSU. Não há coleta seletiva no município. Os serviços de varrição, capina e poda são realizados por funcionários do quadro da prefeitura. Os resíduos domiciliares, comerciais e públicos coletados são transportados e descartados no lixão municipal.

- **Galiléia**

No município de Galiléia o Setor de Limpeza Pública que executa os serviços de coleta, transporte e disposição final dos RSU e serviços de limpeza pública. Não há acondicionamento padronizado dos RSU nem sistema de coleta seletiva. Os serviços de varrição, capina e poda são realizados por funcionários da prefeitura. Conforme a Secretaria Municipal de Obras, a coleta abrange toda área urbana e são coletadas 3,14 toneladas/dia, enviadas para o lixão municipal.

- **Governador Valadares**

O serviço de manejo de resíduos sólidos é gerido pelo Departamento de Limpeza Urbana. Os resíduos são acondicionados em sacos plásticos, e coletados pela empresa PAVOTEC Pavimentação e Terraplenagem. A coleta seletiva é realizada em dia alternados em relação à coleta de resíduos domiciliares. Os RSU são enviados para uma área de transbordo e, então, transportados para o aterro sanitário de Santana do Paraíso, a CRVA. Os resíduos provenientes da varrição ou limpeza de logradouros públicos são recolhidos junto com os resíduos domiciliares. Os serviços descritos abrangem 96,59% da população total atual do município. Os resíduos das áreas não atendidas pela coleta são queimados pela população.

- lapu

O responsável pelo manejo dos RSU é o Setor de Limpeza Pública, que executa os serviços de coleta, transporte e destinação dos resíduos. Não há padronização no acondicionamento dos mesmos. A coleta abrange toda a zona urbana, entretanto a zona rural não é atendida pelo serviço. Não há coleta seletiva. Os serviços de varrição, capina e poda são realizados por funcionários da prefeitura. São coletadas 2,39 toneladas/dia de RSU, enviados para o aterro controlado do município.

- Ipaba

A responsabilidade pelo sistema de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos do município de Ipaba é da Prefeitura Municipal. O acondicionamento não segue um padrão, sendo feito em sacolas plásticas em frente às residências, ou em cestos. Os resíduos domésticos e de limpeza urbana são coletados e transportados por funcionários da prefeitura até a CRVA, em Santana do Paraíso, e dispostos no aterro sanitário. Segundo a prefeitura, são geradas 4 toneladas/dia de RSU.

- Ipatinga

Os serviços de limpeza pública do município são de responsabilidade da empresa Vital Engenharia Ambiental, como varrição, capina, poda, etc. Entretanto, os serviços de desobstrução de bocas de lobo e redes de drenagem são realizados pela prefeitura. São gerados, em média, 4.513 toneladas por mês de resíduos, sendo que destes, 48 toneladas são recicladas. A coleta e o transporte dos resíduos sólidos domiciliares são realizados na forma convencional e atendem 100% da população urbana e rural.

Não há sistema de coleta diferenciada dos resíduos potencialmente recicláveis, de forma que a coleta seletiva é realizada informalmente pela Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis de Ipatinga (ASCARI) e pela Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Vale do Aço (AMAVALE).

Para a destinação final, os resíduos são enviados para a CRVA, em Santana do Paraíso, onde são dispostos no aterro sanitário.

- Itueta

Em Itueta, os resíduos são acondicionados em sacolas plásticas, caixas de papelão e deixados nos contêineres da prefeitura. As coletas regular e seletiva são realizadas durante a semana em dias alternados. Após a coleta os resíduos são transportados para o aterro sanitário de Resplendor, ou aterro compartilhado Itueta-Resplendor. A quantidade de resíduos gerados por dia no município é de 2 toneladas.

- Mariana

O município de Mariana gera, em média, 42 toneladas por dia de RSU. A prestação dos serviços de coleta convencional e destinação desses resíduos são feitas pela empresa terceirizada Construtora Império, que também realiza os serviços de varrição e limpeza de bocas de lobo da cidade. A coleta atende 100% da área urbana de Mariana. Além da coleta convencional,

existe o programa de coleta seletiva, realizado pela Associação de Catadores de Materiais Recicláveis, em parceria com prefeitura. Os RSU coletados no sistema de coleta convencional são encaminhados diretamente para o aterro sanitário municipal, não havendo estação de transbordo. No aterro há uma usina de triagem desativada. Os resíduos da coleta seletiva são enviados para a central de triagem (CAMAR) onde são separados e depois comercializados.

- Marliéria

Em Marliéria são geradas, em média, 41,2 toneladas de resíduos domésticos por mês, coletados tanto na zona urbana quanto na zona rural. Todos os RSD são enviados para a central de resíduos em Santana do Paraíso, CRVA, onde, após serem triados são dispostos no aterro sanitário da unidade. No município não há sistema de coleta seletiva implantado. O serviço de limpeza urbana é realizado, porém o destino desses resíduos não é informado.

- Periquito

O Setor de Limpeza Pública, ligado à Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Agricultura, executa os serviços de coleta, transporte e disposição final dos RSU e serviços de limpeza pública. Não há padrão no acondicionamento dos resíduos, que são coletados e levados até a UTC do município. Não há coleta seletiva. São gerados, em média, 4,35 toneladas/dia de RSU. Após a triagem na usina, os rejeitos são enviados para o aterro controlado da unidade.

- Pingo D'Água

O manejo dos RSU de Pingo D'Água é feito pela prefeitura, que executa os serviços de limpeza urbana, coleta e transporte. Os resíduos são acondicionados em sacolas plásticas, coletados e enviados para a UTC do município, onde os resíduos são triados. Os resíduos recicláveis são separados e enfardados para venda. Os resíduos compostáveis são dispostos em leiras e depois reutilizados na própria usina. Já os rejeitos são enviados para o aterro controlado contíguo a usina. São gerados, em média, 2.930 kg/dia de resíduos sólidos urbanos, coletados na sede. Na área rural são coletados aproximadamente 94 kg/semana.

- Ponte Nova

Em Ponte Nova, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente é responsável pelos serviços de coleta de resíduos domiciliares e comerciais, varrição, poda, capina e roçada e operação do lixão. Também gerencia o contrato com a empresa Marapelu que realiza a coleta de resíduos. Os resíduos comerciais e domésticos são acondicionados em sacos plásticos e, então, coletados pela Marapelu Construtora e Empreendimentos Ltda. A coleta atinge 100% da população urbana e são gerados diariamente 38,98 toneladas por dia de resíduos. Não há programa de coleta seletiva institucionalizada, sendo os resíduos encaminhados para disposição final no lixão do município.

Em relação aos resíduos de limpeza urbana, são geradas diariamente 3,3 toneladas de resíduos públicos, destinados também ao lixão de Ponte Nova. Desta quantidade, 1,5 toneladas provêm do serviço de varrição, 1,5 toneladas da poda e 0,3 toneladas da capina.

- Raul Soares

A gestão dos RSU de Raul Soares é feita pela prefeitura municipal. Os resíduos provenientes da limpeza urbana são destinados para UTC do município. A quantidade de resíduos de varrição de vias públicas e poda situa-se entre 3 e 4 toneladas por dia, respectivamente. Os RSU são acondicionados em sacolas plásticas e coletados pela prefeitura, entretanto, na zona rural é comum a prática da queima dos resíduos. Não há coleta seletiva, sendo os resíduos enviados sem segregação para a UTC. Na usina são separados os resíduos recicláveis, como papel, alumínio, plástico e vidro, além de compostos orgânicos. A matéria orgânica vai para compostagem e os rejeitos separados no processo de triagem e compostagem são encaminhados a aterro controlado situado próximo à UTC. Em algumas localidades, os resíduos são queimados pela população local. A quantidade de resíduos gerados por dia é de 16 toneladas, aproximadamente.

- Resplendor

A responsabilidade pelo sistema de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos do município de Resplendor é da prefeitura municipal. Os RSU são acondicionados em sacolas plásticas em frente às residências, sendo que os recicláveis são dispostos em caçambas em pontos de entrega voluntária de recicláveis. A coleta regular é realizada pela prefeitura, assim como a coleta seletiva. Entretanto, os resíduos de coleta seletiva são enviados para um galpão da Associação de Catadores de Lixo Unidos de Resplendor (ASCAURES), onde é feita a separação e o processamento (limpeza, prensagem e enfardamento) dos resíduos coletados na área urbana de Resplendor. Os demais resíduos são enviados para o aterro sanitário de Resplendor, compartilhado com Itueta. A média de resíduos coletados por dia é de 10 toneladas.

- Rio Casca

A Prefeitura Municipal de Rio Casca é responsável pela gestão dos resíduos sólidos urbanos. Para as ações de varrição de vias públicas, poda e limpeza de bocas de lobo, conta com a prestação de serviços de duas empresas: GLM - Conservação e Limpeza e Extremo Norte Serviços Terceirizados. Os resíduos domésticos e de limpeza urbana são acondicionados em tambores e coletados pela prefeitura. Não há coleta seletiva.

Após a coleta, os resíduos são destinados ao aterro controlado do município. É comum na zona rural os resíduos serem queimados ou enterrados nas propriedades. A quantificação de RSU gerados em Rio Casca é de 15 toneladas/dia.

- Rio Doce

Em Rio Doce, a prefeitura é responsável pela gestão final dos resíduos, sendo uma empresa terceirizada responsável pela coleta e transporte até o destino final, a UTC do município. A limpeza urbana e capina são feitas pela própria prefeitura. Os resíduos de varrição e limpeza são acondicionados e direcionados a usina. A quantidade de RSU total gerado é de aproximadamente 1,5 toneladas/dia.

Há um programa de coleta seletiva que inclui coleta de papel, vidro, plástico e metal, sendo o volume total coletado por mês equivalente a 3,5 toneladas e encaminhado à usina de triagem e compostagem do município. Os rejeitos provenientes da triagem e compostagem são aterrados.

- Santa Cruz do Escalvado

A responsabilidade pelo sistema de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos do município de Santa Cruz do Escalvado é da Prefeitura Municipal. Os resíduos, tanto domésticos quanto comerciais e de limpeza urbana, são acondicionados em sacos plásticos e recolhidos pela coleta regular que compreende a área urbana e 85% da área rural do município. Nos locais não atendidos pela coleta os resíduos são queimados. Não há coleta seletiva.

Após a coleta, os resíduos são transportados para a UTC localizada na zona rural, onde os recicláveis são triados e os rejeitos e matéria orgânica são separados. A matéria orgânica sofre compostagem e os rejeitos dispostos em um aterro controlado contíguo a usina. O material reciclável é posteriormente comercializado. Estima-se que a geração de resíduos seja de 3,90 tonelada/dia.

- São José do Goiabal

Em São José do Goiabal, a responsável pela gestão dos RSU é a prefeitura municipal. A varrição é feita somente nas vias urbanas, não atendendo a área rural. Os resíduos são acondicionados em sacolas plásticas e depois coletados e direcionados à UTC do município, onde são triados. Os materiais orgânicos sofrem compostagem e os rejeitos são dispostos em uma vala presente na unidade.

Não há sistema de coleta seletiva implantado - apenas cestos coletores específicos - e a coleta regular não atende toda a demanda da população rural, de forma que parte dos resíduos, não coletados, é enterrada ou queimada nas propriedades.

- São Pedro dos Ferros

A prefeitura municipal de São Pedro dos Ferros é responsável pela gestão dos resíduos sólidos. O acondicionamento dos RSU é feito em sacolas plásticas. Não há sistema de coleta seletiva. O serviço de varrição é realizado apenas na zona urbana do município, não atingindo as vias rurais. Após a coleta, os resíduos são transportados para o aterro controlado. São recolhidos, em média, 3 toneladas/dia de resíduos.

- Sem Peixe

O manejo dos RSU em Sem-Peixe é feito pela prefeitura municipal. A varrição é feita diariamente somente na área urbana. Após o acondicionamento, feitos em sacolas plásticas ou tambores, os resíduos coletados e enviados para o lixão do município. Estima-se que sejam recolhidas 1,5 toneladas/dia de resíduos. No lixão, os resíduos são dispostos sem nenhuma separação, pois não há sistema de coleta seletiva. Na área rural, não atendida pela coleta, os resíduos são enterrados ou queimados pela população.

- Sobrália

A responsabilidade do manejo dos resíduos sólidos do município de Sobrália é da prefeitura municipal. O setor executa os serviços de limpeza pública, coleta, transporte e disposição dos RSU. O acondicionamento dos resíduos não é feito de forma padronizada e não há programa de coleta seletiva implantado. A coleta regular atende apenas a população urbana (100%), sendo recolhidos em média 3,04 toneladas/dia de resíduos. Em seguida, são transportados até a UTC do município, onde os resíduos são segregados e, depois, os rejeitos são dispostos em um aterro controlado na usina.

- Timóteo

Em Timóteo, são gerados, em média, 1.300 toneladas de RSD por mês, que são coletados por empresa terceirizada não citada no PMBS, contratada para execução de serviços de limpeza urbana e serviços complementares do município. Todos os resíduos coletados são enviados para a CRVA, em Santana do Paraíso. Do total gerado, cerca 18 toneladas são coletadas através do convênio entre a prefeitura municipal e a Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis de Timóteo (ASCATI).

- Tumiritinga

No município de Tumiritinga, todo o manejo dos RSU é de responsabilidade do Setor de Limpeza Urbana, ligado à Secretaria Municipal de Obras. Os resíduos são acondicionados sem uma forma padrão e coletados em toda a área urbana. A área rural não é atendida pela coleta dos RSU. Conforme a Secretaria, são coletadas 4,33 toneladas por dia de resíduos. Não existe coleta seletiva implantada. Após a coleta, os resíduos são encaminhados para o lixão municipal.

4.3.2.2 Resíduos de Serviços de Saúde

Em cumprimento à Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 171, de 22 de dezembro de 2011, a FEAM realiza controle do envio e análise das Declarações da Gestão de Resíduos de Serviços de Saúde encaminhadas anualmente pelos empreendimentos que realizam tratamento e destinação final de RSS, visando a orientação e fiscalização das unidades e a elaboração de panoramas sobre a destinação dos resíduos de serviços de saúde no estado. São também realizados levantamentos junto aos empreendimentos e prefeituras para obtenção de informações que não constam no Sistema Integrado de Informações Ambientais (SIAM) e nas Declarações da Gestão de Resíduos de Serviços de Saúde. A Gerência de Resíduos Especiais realiza a fiscalização de empreendimentos de transferência e destinação de resíduos de serviços de saúde em operação no estado.

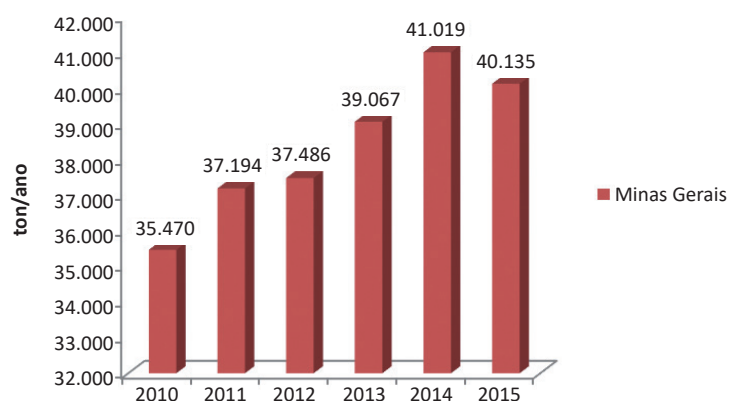
A Declaração anual de resíduos de serviços de saúde destinados às unidades de tratamento e disposição final é um instrumento que permite controle e levantamento de dados anuais sobre os empreendimentos de disposição final e tratamento de RSS no estado. Esse documento deve ser encaminhado à FEAM anualmente, em formulário próprio, contendo informações relativas ao ano civil imediatamente anterior, tais como a capacidade instalada; a quantidade de resíduos recebida no ano, por grupo; o município de origem do resíduo; a forma de tratamento ou disposição final instalada; e a forma de tratamento do efluente gerado, se houver.

A atuação da FEAM na gestão de resíduos de serviços de saúde tem o suporte do “Manual de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde”, publicado em 2008, com base nas disposições da ANVISA e na Norma Regulamentadora nº 32 do Ministério do Trabalho - Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde (NR 32).

Ainda, os estabelecimentos de assistência à saúde, novos ou submetidos a reformas ou ampliação, devem encaminhar o Plano de Gerenciamento de Resíduos de Saúde (PGRSS) juntamente com o Projeto Básico de Arquitetura para a vigilância sanitária local, quando da solicitação do alvará sanitário. Adicionalmente, quando o estabelecimento gerador de RSS for submetido à processo de regularização ambiental, segundo a Resolução Conama nº 358, de 2005, o PGRSS deve ser apresentado para a formalização do processo de licenciamento ambiental, cabendo aos órgãos ambientais competentes dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, a fixação de critérios para determinar quais serviços serão objetos de licenciamento ambiental.

De acordo com o “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” (ABRELPE, 2015), a quantidade anual de RSS coletados pelo estado de Minas Gerais em 2015 foi de 40.135 toneladas, com uma produção média de 1,9 Kg RSS/hab. A Figura 47 apresenta a evolução da quantidade de RSS coletada no estado conforme esse panorama desde o ano de 2010.

Figura 47 - Evolução da quantidade de RSS coletada no estado de Minas Gerais.



Fonte: ABRELPE, (2015), adaptado.

Observa-se decréscimo de 2,16% na quantidade de RSS coletada no ano de 2015.

Informações a respeito da coleta de RSS por municípios constam do “Diagnóstico da gestão, gerenciamento e destinação final dos resíduos de serviços de saúde no estado de Minas Gerais”, o qual apresenta a massa de RSS coletada per capita por municípios e a destinação final, conforme Declaração Anual de RSS – ano base 2015, conforme Tabela 14.

Tabela 14 - Massa de RSS coletada per capita por municípios, conforme Declaração Anual de RSS – ano base 2015.

Município	Total (ton./ano)	População IBGE (2015)	Massa de RSS coletada per capita (kg/hab. ano)	Destinação
Aimorés	10	256.094	0,389	Aterro sanitário
Alpercata	0,79	7.478	0,106	Incineração
Barra Longa	0,19	5.799	0,033	Incineração
Belo Oriente	4	25.619	0,0024	Incineração, Autoclave e Aterro sanitário
Bom Jesus do Galho	1,26	15.542	0,0809	Incineração
Bugre	0,25	4.134	0,0593	Incineração
Caratinga	1,35	90.782	0,0117	Incineração
Conselheiro Pena	0,18	23.141	0,0078	Incineração
Córrego Novo	-	-	-	-
Dionísio	1,5/2,2	8.463	0,1775	Incineração e UTC com célula de disposição especial de RSS
Fernandes Tourinho	-	-	-	-
Galiléia	1,27	7.061	0,1792	Incineração
Governador Valadares	222,18	278.363	0,7982	Incineração
Iapu	13,09	10.870	1,2047	Incineração
Ipaba	1,66	18.068	0,092	Incineração
Ipatinga	121,79	257.345	0,0074	Autoclave, Incineração e Autoclave seguida de aterro sanitário no empreendimento
Itueta	0,15	6.087	0,0251	Incineração
Mariana	30,62	58.802	0,1224	Incineração
Marliéria	2,9	4.127	0,7022	Incineração
Naque	0,42	6.824	0,0609	Incineração
Periquito	5,56	7.103	0,7834	Incineração
Pingo-D'água	0,93	4.789	0,0182	Incineração
Ponte Nova	37,8	60.005	0,0016	Incineração
Raul Soares	1,71	24.394	0,0699	Incineração
Resplendor	0,41/7,0	17.675	0,023	Incineração e Aterro sanitário
Rio Casca	0,39	14.247	0,0178	Incineração
Rio Doce	1,03/0,30	2.600	0,335	Incineração e UTC com célula de disposição especial de RSS
Santa Cruz do Escalvado	0,32/1,8	5003	0,0638	Incineração e UTC com célula de disposição especial de RSS
Santana do Paraíso	0,01/0,71	31.604	0,0005	Incineração, Autoclave e Aterro sanitário
São Domingos do Prata	-	-	-	-
São José do Goiabal	1,07	5.673	0,1879	Incineração
São Pedro dos Ferros	0,67	8.284	0,0805	Incineração
Sem Peixe	0,15	2.814	0,0519	Incineração
Sobralia	1,46	5.842	0,2501	Incineração
Timóteo	15,24/0,64	87.542	0,174	Incineração, Autoclave e Aterro sanitário
Tumiritinga	1,38	6.669	0,2069	Incineração

Fonte: Diagnóstico da gestão, gerenciamento e destinação final dos resíduos de serviços de saúde no estado de Minas Gerais, 2017.

Os municípios de Córrego Novo, Fernandes Tourinho e São Domingos do Prata não apresentaram suas declarações anuais de RSS. Para os municípios de Governador Valadares e Santa Cruz do Escalvado, os PMSB informam outra destinação final: autoclavagem e incineração, respectivamente.

De acordo com o Diagnóstico, grande parcela dos municípios mineiros terceirizam os serviços de coleta e destinação final de parte ou da totalidade dos resíduos de serviços de saúde.

Embora seja considerada uma forma de tratamento cara, segundo esse levantamento a incineração foi a principal forma de tratamento e destinação dada a estes resíduos. As empresas citadas nos PMSB como responsáveis pela incineração dos RSS são as seguintes: Ambiental Tecnologia; ECOLIFE; SERQUIP-Tratamento de Resíduos e Vital Engenharia Ambiental S.A. Essas empresas estão devidamente licenciadas junto ao órgão ambiental do estado.

À exceção dos municípios de Aimorés, Dionísio, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, Santana do Paraíso e Timóteo, todos os outros municípios dispõem seus RSS totalmente em empreendimento em outros municípios.

4.3.2.3 Resíduos de Construção Civil

A atuação da FEAM na gestão de resíduos da construção civil se dá através da Gerência de Resíduos Especiais, que vem realizando estudos visando elaborar o panorama da destinação e da gestão de RCC em Minas Gerais. Até o ano de 2015 não havia sido realizado diagnóstico do setor. Em 2009 a FEAM lançou, no âmbito do programa “Minas sem Lixões”, a publicação da cartilha intitulada “Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos de Construção Civil – PGIRCC”, apresentando as ações necessárias para estabelecimento da gestão integrada de resíduos da construção civil, contemplando os aspectos ambientais e econômicos.

A gestão dos resíduos de construção civil é, geralmente, de responsabilidade das prefeituras, como pode ser visto na Tabela 15. Porém, nos municípios de Belo Oriente, Mariana e Ponte Nova, os resíduos particulares são de responsabilidade dos geradores e os públicos da prefeitura. Já nos municípios de Ipatinga e Raul Soares, a gestão dos resíduos é feita pelas empresas Vital Engenharia Ambiental e Nelson Coelho Brandão Ltda., respectivamente. Os municípios de Bom Jesus do Galho, Caratinga, Itueta, São José do Goiabal e São Pedro dos Ferros não contemplam essa informação em seus PMSB.

Tabela 15 - Responsáveis pelos RCC nos municípios.

Município	Responsável
Alpercata	Prefeitura
Barra Longa	Prefeitura
Belo Oriente	Gerador ou Prefeitura
Bom Jesus do Galho	-
Caratinga	-
Conselheiro Pena	Prefeitura
Córrego Novo	Prefeitura
Fernandes Tourinho	Prefeitura
Galiléia	Prefeitura
Governador Valadares	Particulares
Iapu	Prefeitura
Ipaba	Prefeitura
Ipatinga	Vital Engenharia Ambiental
Itueta	-
Mariana	Gerador ou Prefeitura
Marliéria	Prefeitura
Periquito	Prefeitura
Pingo D'Água	Prefeitura
Ponte Nova	Gerador ou Prefeitura
Raul Soares	Empresa Nelson Coelho Brandão Ltda.
Resplendor	Prefeitura
Rio Casca	Prefeitura
Rio Doce	Prefeitura
Santa Cruz do Escalvado	Prefeitura
São José do Goiabal	-
São Pedro dos Ferros	-
Sem-Peixe	Prefeitura
Sobralia	Prefeitura
Timóteo	Prefeitura
Tumiritinga	Prefeitura

Os resíduos possuem destinação nos próprios municípios, exceto em Ipatinga, onde são enviados para Central de Resíduos do Vale do Aço (CRVA), em Santana do Paraíso. Os RCC são, na maioria dos municípios, utilizados em estradas vicinais, aterramento e controle de erosão, conforme a necessidade. Quando não possuem uma finalidade, vão somente para disposição final, sem tratamento prévio.

A disposição final dos RCC de cada município pode ser observada na Tabela 16. As formas mais comuns são aterros, lixões e bota foras, porém também são utilizados terrenos vazios em São Pedro dos Ferros, área rural não especificada, em Fernandes Tourinho e área para disposição dos RCC em Resplendor, também não especificada.

Tabela 16 - Usos e disposições dos RCC.

Município	Uso	Disposição
Alpercata	Estradas	Aterro Controlado
Barra Longa	Estradas	-
Belo Oriente	-	Aterros Licenciados
Bom Jesus do Galho	Estradas	Lixão
Caratinga	-	Aterros particulares
Conselheiro Pena	Estradas	-
Córrego Novo	-	Bota fora
Fernandes Tourinho	-	Área rural
Galiléia	Estradas/Aterramento	-
Governador Valadares	-	-
Iapu	Estradas	-
Ipaba	Estradas e casas	Aterros
Ipatinga	-	CRVA
Itueta	Estradas	-
Mariana	-	Aterro Sanitário
Marliéria	-	Bota fora
Periquito	Estradas/Controle de erosão	-
Pingo D'Água	Estradas	-
Ponte Nova	Aterramento	Lixão
Raul Soares	Estradas/Obras	-
Resplendor	-	Área específica de disposição de RCC
Rio Casca	Estradas	-
Rio Doce	Estradas	Bota fora
Santa Cruz do Escalvado	Estradas	-
São José do Goiabal	Estradas	UTC
São Pedro dos Ferros	Estradas	Terreno Vazio
Sem-Peixe	Estradas	-
Sobralia	-	Antigo depósito de RSU
Timóteo	-	Aterro de Inertes
Tumiritinga	Estradas	Lixão

4.3.2.4 Resíduos Sólidos Industriais

A FEAM publicou o “Guia Técnico para Armazenamento de Resíduos Industriais”, com informações e orientações técnicas para o acondicionamento, identificação e armazenamento de resíduos gerados em empreendimentos industriais. O material foi desenvolvido em parceria com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e tem por objetivo proporcionar às empresas mais informações sobre o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, principalmente nas etapas de acondicionamento, identificação e armazenamento, a fim de minimizar os aspectos ambientais da geração de resíduos nesses empreendimentos. A Lei 18.031/2009, que instituiu a Política Estadual de Resíduos Sólidos, define resíduos industriais como resíduos provenientes de atividades de pesquisas,

de extração mineral, de montagem e manipulação de produtos acabados, inclusive aqueles gerados em áreas de utilidade, apoio, depósito ou administração das indústrias ou similares e transformações de matéria-prima em novos produtos.

O gerenciamento correto dos resíduos gerados nos empreendimentos, de forma a atender os requisitos de proteção ambiental e saúde pública, é responsabilidade dos geradores.

Segundo informações dos PMSB, os resíduos industriais são de responsabilidade do gerador, em conformidade com a PNRS. Dos 36 municípios, seis afirmam em seus planos não possuir indústria (Tabela 17) e, dos que afirmam ter, apenas 17 citam a responsabilidade do gerador.

Tabela 17 -Municípios cujos PMSB afirmam não possuir indústrias.

Sem indústrias
Bugre
Córrego Novo
Itueta
Pingo d'Água
Santa Cruz do Escalvado
São José do Goiabal

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016)

Tabela 18 - Municípios cujos PMSB citam a responsabilidade do gerador.

Responsabilidade do gerador
Alpercata
Belo Oriente
Bom Jesus do Galho
Caratinga
Conselheiro Pena
Fernandes Tourinho
Galiléia
Iapu
Ipaba
Ipatinga
Periquito
Ponte Nova
Resplendor
São Pedro dos Ferros
Sobralia
Timóteo
Tumiritinga

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016)

Sendo assim, foram buscadas informações no “Inventário de Resíduos Sólidos Industriais” - Ano Base 2015, para verificação da situação dos resíduos na região, mesmo que não tenha necessariamente uma relação direta com os municípios afetados.

De acordo com o Inventário de Resíduos Sólidos Industriais, os municípios de Minas Gerais são distribuídos por Superintendências Regionais de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SUPRAM), sendo estas: Leste Mineiro, Sul de Minas, Triângulo Mineiro e Alto Parnaíba, Central, Jequitinhonha, Alto São Francisco, Noroeste de Minas, Norte de Minas e Zona da Mata. A Figura 48 mostra a localização das SUPRAM's no estado.

Figura 48 - Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SUPRAM).



Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016)

A área de interesse (contendo os municípios afetados) abrange as SUPRAM's Central, Leste Mineiro e Zona da Mata. A Tabela 19 mostra a qual SUPRAM pertence cada município afetado.

Tabela 19 - Municípios e respectivas SUPRAM's.

Município	SUPRAM
Aimorés	Leste Mineiro
Alpercata	Leste Mineiro
Barra Longa	Zona da Mata
Belo Oriente	Leste Mineiro
Bom Jesus do Galho	Leste Mineiro
Bugre	Leste Mineiro
Caratinga	Leste Mineiro
Conselheiro Pena	Leste Mineiro
Córrego Novo	Leste Mineiro
Dionísio	Leste Mineiro
Fernandes Tourinho	Leste Mineiro
Galiléia	Leste Mineiro

Município	SUPRAM
Governador Valadares	Leste Mineiro
Iapu	Leste Mineiro
Ipaba	Leste Mineiro
Ipatinga	Leste Mineiro
Itueta	Leste Mineiro
Mariana	Central
Marliéria	Leste Mineiro
Naque	Leste Mineiro
Periquito	Leste Mineiro
Pingo d'Água	Leste Mineiro
Ponte Nova	Zona da Mata
Raul Soares	Zona da Mata
Resplendor	Leste Mineiro
Rio Casca	Zona da Mata
Rio Doce	Zona da Mata
Santa Cruz do Escalvado	Zona da Mata
Santana do Paraíso	Leste Mineiro
São Domingos do Prata	Leste Mineiro
São José do Goiabal	Leste Mineiro
São Pedro dos Ferros	Zona da Mata
Sem-Peixe	Zona da Mata
Sobralia	Leste Mineiro
Timóteo	Leste Mineiro
Tumiritinga	Leste Mineiro

No ano de 2015, dos 853 municípios mineiros, 195 preencheram o inventário de resíduos, correspondendo a apenas 22,9%. Entre estes, somente oito municípios pertencem à área de interesse, que fazem parte das SUPRAM'S Leste Mineiro e Zona da Mata.

Apesar de nenhum município da SUPRAM Central pertencente à área de interesse ter preenchido o inventário, os dados desta serão considerados.

Tabela 20 - Municípios que preencheram o inventário de resíduos industriais no ano de 2015.

Município	SUPRAM
Belo Oriente	Leste Mineiro
Caratinga	Leste Mineiro
Governador Valadares	Leste Mineiro
Ipatinga	Leste Mineiro
Ponte Nova	Zona da Mata
Santana do Paraíso	Leste Mineiro
São Domingos do Prata	Leste Mineiro
Timóteo	Leste Mineiro

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016)

A Tabela 21 mostra a quantidade de empresas de cada município afetado que apresentaram o Inventário de Resíduos, totalizando 31 empresas, sendo que destas, 10 estão localizadas em Ipatinga.

Tabela 21 - Número de empresas cadastradas por municípios.

Município	Nº de Empresas
Belo Oriente	1
Caratinga	1
Governador Valadares	8
Ipatinga	10
Ponte Nova	2
Santana do Paraíso	1
São Domingos do Prata	1
Timóteo	7

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016)

A Deliberação Normativa COPAM nº 90/2005 determina que devem apresentar Inventário de Resíduos Sólidos Industriais as atividades listadas na Tabela 22.

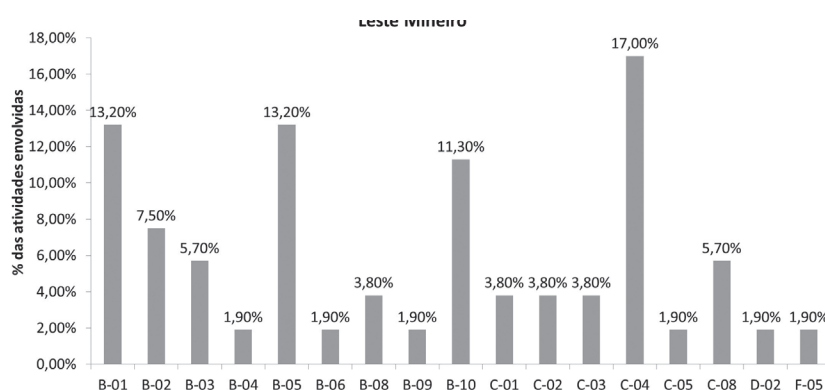
Tabela 22 - Tipologias passíveis de apresentar Inventário de Resíduos Sólidos Industriais.

Código	Tipologia
A-01	Lavra subterrânea
A-02	Lavra a céu aberto
B-01	Indústria de Produtos Minerais Não-Metálicos
B-02	Siderurgia com Redução de Minério
B-03	Indústria Metalúrgica - Metais Ferrosos
B-04	Indústria Metalúrgica - Metais Não Ferrosos
B-05	Indústria Metalúrgica - Fabricação de Artefatos
B-06	Indústria Metalúrgica - Tratamento Térmico, Químico e Superficial
B-07	Indústria Mecânica
B-08	Indústria de Material Eletro-Eletrônico
B-09	Indústria de Material de Transporte
B-10	Indústria de Madeira e de Mobiliário
C-01	Indústria de Papel e Papelão
C-02	Indústria da Borracha
C-03	Indústria de Couros e Peles e Produtos Similares
C-04	Indústria de Produtos Químicos
C-05	Indústria de Produtos Farmacêuticos e Veterinários
C-07	Indústria de Matérias Plásticas
C-08	Indústria Têxtil
C-09	Indústria de Vestuário, Calçados e Artefatos de Tecidos em Couros
C-10-03-0	Fabricação de Próteses e Equipamentos Ortopédicos em geral, inclusive materiais para uso em medicina, cirurgia e odontologia

Código	Tipologia
C-10-04-9	Fabricação de Materiais Fotográfico, Cinematográfico ou Fonográfico
C-10-05-7	Fabricação de Instrumentos e Material Ótico
C-10-09-1	Fabricação de outros artigos de plástico, borracha, madeira ou outros materiais (exclusive metais), não especificados ou não classificados.
D-02-08-9	Destilação de álcool
F-05	Processamento, Beneficiamento, Tratamento e/ou Disposição Final de Resíduos

No Leste Mineiro, as atividades mais desenvolvidas são C-04 (Indústria de Produtos Químicos) com 17%, seguida das tipologias B-01 (Indústria de Produtos Minerais Não-Metálicos) e B-05 (Indústria Metalúrgica - Fabricação de Artefatos), ambas com 13,2% e B-10 (Indústria de Madeira e de Mobiliário) com 11,3%. Esses dados envolvem todas as empresas do Leste Mineiro que apresentaram o inventário de resíduos industriais, não somente os municípios afetados e estão apresentados na Figura 49.

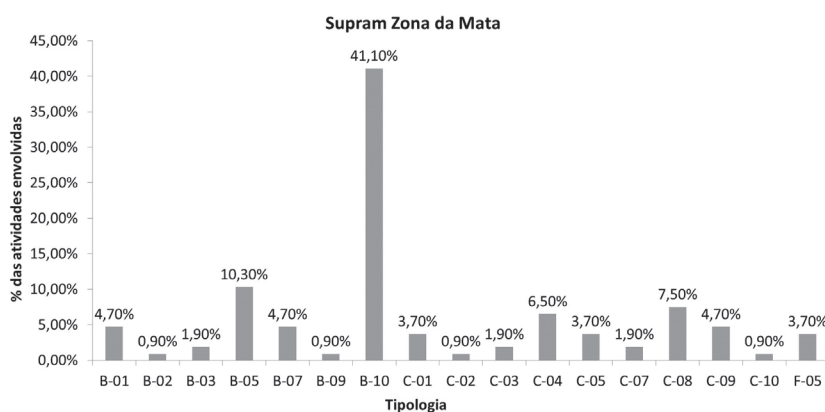
Figura 49 - Comparativo das atividades desenvolvidas no Leste Mineiro.



Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Na Zona da Mata, conforme Figura 50, a atividade mais desenvolvida é B-10 (Indústria de Madeira e de Mobiliário), com 41,1% das empresas cadastradas na região, seguida pela B-05 (Indústria Metalúrgica - Fabricação de Artefatos) com 10,3%.

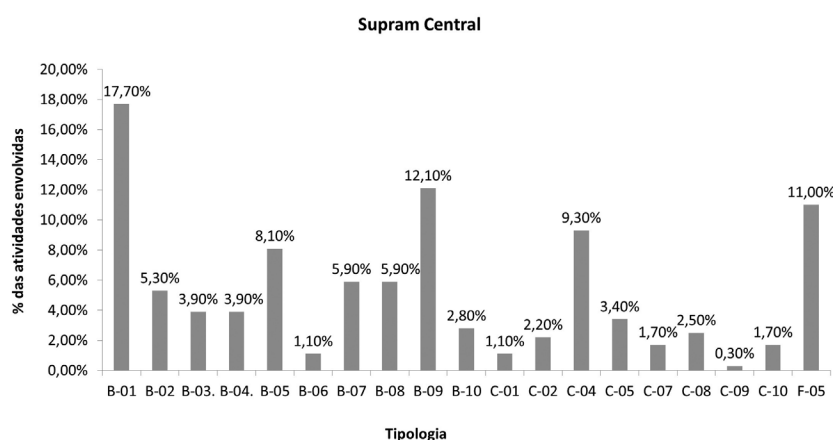
Figura 50 - Comparativo das atividades desenvolvidas na Zona da Mata.



Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Na SUPRAM Central, as atividades mais desenvolvidas são B-01 (Indústria de Produtos Minerais Não-Metálicos) com 17,7%, B-09 (Indústria de Material de Transporte) com 12,1% e F-05 (Processamento, Beneficiamento, Tratamento e/ou Disposição Final de Resíduos) com 11,0%. Esses dados podem ser vistos na Figura 51 - Comparativo das atividades desenvolvidas na SUPRAM Central. Figura 51.

Figura 51 - Comparativo das atividades desenvolvidas na SUPRAM Central.



Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

As atividades mais desenvolvidas pelas SUPRAM's que abrangem a área de estudo são, portanto, B-01 (Indústria de Produtos Minerais Não-Metálicos), B-05 (Indústria Metalúrgica - Fabricação de Artefatos), B-09 (Indústria de Material de Transporte), B-10 (Indústria de Madeira e de Mobiliário), C-04 (Indústria de Produtos Químicos) E F-05 (Processamento, Beneficiamento, Tratamento e/ou Disposição Final de Resíduos).

O total de resíduos industriais inventariados no Estado de Minas Gerais em 2015, considerando-se o ciclo de 12 meses (janeiro a dezembro de 2015) foi de 58.964.261,18 toneladas. As informações são de responsabilidade das empresas. Cada tipologia possui diferentes resíduos gerados e em diferentes quantidades. Essas informações podem ser vistas nas Tabelas 12 a 18.

Tabela 23 - Resíduos mais gerados na tipologia B-01.

Resíduos mais gerados - B-01	Quantidade (toneladas)
Resíduos de minerais não metálicos	202.980,88
Resíduos gerados fora do processo industrial (material de escritório, embalagens de escritório, material de consumo, etc.)	179.765,77
Sucata de metais ferrosos	152.241,33
Lama de retífica	131.056,31
Resíduos sólidos de estações de tratamento de efluentes contendo substâncias não tóxicas	72.209,70
Resíduos de refratários e materiais cerâmicos contaminados ou não contaminados com substâncias/produtos não perigosos	70.633,61
Bombonas de plástico (vazias ou contaminadas com substâncias/produtos não perigosos)	56.545,59
Resíduos de madeira contaminado ou não contaminado com substâncias/produtos não perigosos	33.836,96
Total	899.270,15

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Tabela 24- Resíduos mais gerados na tipologia B-05.

Resíduos mais gerados - B-05	Quantidade (toneladas)
Sucata de metais ferrosos	79.419,66
Bombonas plásticas contaminadas com produtos químicos	18.187,30
Óleo lubrificante usado	15.174,49
Sucata de metais não ferrosos (latão, cobre, alumínio, etc.)	11.730,64
Resíduos pastosos de estações de tratamento de efluentes contendo substâncias não tóxicas	11.607,26
Saco de rafia contaminado	8.618,00
Lama de zinco	8.340,00
Total	153.077,35

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Tabela 25 - Resíduos mais gerados na tipologia B-09.

Resíduos mais gerados - B-09	Quantidade (toneladas)
Sucata de metais ferrosos	631.128,72
Embalagens vazias contaminadas com outras substâncias/produtos perigosos	41.679,81
Resíduos de materiais têxteis contaminados ou não contaminados com substâncias/produtos não perigosos	29.954,64
Resíduos de madeira contaminado ou não contaminado com substâncias/produtos não perigosos	11.272,80
Areia de fundição	9.881,43
Embalagens vazias contaminadas com óleos: lubrificante, fluido hidráulico, corte/usinagem, isolamento e refrigeração	8.383,20
Embalagens vazias contaminadas com tintas, borras de tintas e pigmentos	7.441,21
Total	739.741,81

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Tabela 26 - Resíduos mais gerados na tipologia B-10.

Resíduos mais gerados - B-10	Quantidade (toneladas)
Resíduos de madeira contaminado ou não contaminado com substâncias/produtos não perigosos	80.450,25
Espumas	71.809,83
Tambores metálicos (vazios ou contaminados com substâncias/produtos não perigosos)	5.804,11
Embalagens vazias contaminadas com tintas, borras de tintas e pigmentos	3.392,59
Sucata de metais ferrosos	2.801,66
Embalagens vazias contaminadas com outras substâncias/produtos perigosos	1.566,30
Sucata de metais não ferrosos (latão, cobre, alumínio, etc.)	457,87
Total	166.282,61

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Tabela 27 - Resíduos mais gerados na tipologia C-04.

Resíduos mais gerados - C-04	Quantidade (toneladas)
Fosfogesso	1.310.645,07
Resíduos sólidos de estações de tratamento de efluentes contendo substâncias não tóxicas	112.515,01
Sucata de metais ferrosos	91.779,66
Sucata de metais não ferrosos (latão, cobre, alumínio, etc.)	24.396,92
Resíduos de materiais não metálicos	16.008,39
Resíduos sólidos compostos de metais não tóxicos	11.382,97
Total	1.566.728,02

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Tabela 28 - Resíduos mais gerados na tipologia F-05.

Resíduos mais gerados - F-05	Quantidade (toneladas)
Resíduos do processo (finos de refratário)	647.830,00
Resíduos sólidos composto de metais não tóxicos	173.083,58
Escória de aciaria	58.255,26
Sucata de metais ferrosos	22.119,95
Torta de filtração	11.765,41
Escória de alto forno	10.856,09
Cinzas de caldeira	9.442,59
Escória fora de conformidade granulométrica	9.100,00
EPI's contaminados ou não contaminados com substâncias/produtos não perigosos (luvas, botas, aventais, capacetes, máscaras, etc.)	8.523,74
Total	950.976,62

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Tabela 29 - Resumo da quantidade de resíduos de cada tipologia.

Tipologia	Quantidade de resíduos mais gerados (toneladas)	Porcentagem (em relação aos mais gerados)	Porcentagem (em relação ao total gerado)
B-01	899.270,15	20,09	1,53
B-05	153.077,35	3,42	0,26
B-09	739.741,81	16,53	1,25
B-10	166.282,61	3,71	0,28
C-04	1.566.728,02	35	2,66
F-05	950.976,62	21,25	1,61
Total de resíduos mais gerados	4.476.076,56	100	7,59
Total de resíduos gerados no total	58.964.261,18	-	-

Da Tabela 23 a Tabela 28 é possível observar quais são os resíduos mais gerados em cada tipologia analisada e suas respectivas quantidades. Na Tabela 29 encontra-se um resumo das tabelas anteriores para melhor visualização. Somando apenas os resíduos mais gerados de cada tipologia, tem-se 4.476.076,56 toneladas, o que equivale a 7,59% do total de resíduos gerados no Estado.

Conforme classificação da NBR-ABNT 10.004/2004 7.526.051,33 toneladas de RSI (12,76%) pertencem à Classe I e 51.438.209,86 toneladas (87,24%) pertencem à Classe II, conforme informado pelas empresas. Dos 87,24% de resíduos não-perigosos, 44.690.499,26 toneladas (75,80%) correspondem aos não-inertes e 6.747.710,60 toneladas (11,44%) correspondem aos inertes.

Na Tabela 30 estão listadas as quantidades dos resíduos gerados em cada uma das regiões de interesse. Foram geradas 6.018.549,15 toneladas de resíduos perigosos, 10.635.033,07 toneladas de resíduos não-perigosos e não-inertes e 6.043.093,01 toneladas de resíduos não-perigosos e inertes, totalizando 22.696.675,23 toneladas.

As SUPRAM's Central, Leste Mineiro e Zona da Mata são, portanto, responsáveis por 79,97% dos resíduos Classe I; 23,80% dos resíduos Classe IIA e 89,56% dos resíduos Classe IIB.

Tabela 30 – Quantidade de resíduos Classe I e II nas SUPRAM's.

SUPRAM	Resíduos Classe I (toneladas)	Resíduos Classe IIA (toneladas)	Resíduos Classe IIB (toneladas)
Central	5.891.303,54	4.937.670,00	5.136.867,89
Leste	96.908,89	5.274.203,61	223.344,51
Zona da Mata	30.336,72	423.159,46	682.880,61
Total	6.018.549,15	10.635.033,07	6.043.093,01

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Dos resíduos perigosos, os 10 mais gerados encontram-se na Tabela 31. Os resíduos perigosos mais gerados são a lama arsenical, correspondendo à 75,62% dos resíduos mais gerados e 62,15% de todos os resíduos perigosos. Em seguida, tem-se água residuária contaminada, equivalendo a 6,87% dos resíduos mais gerados e 5,64% de todos os perigosos.

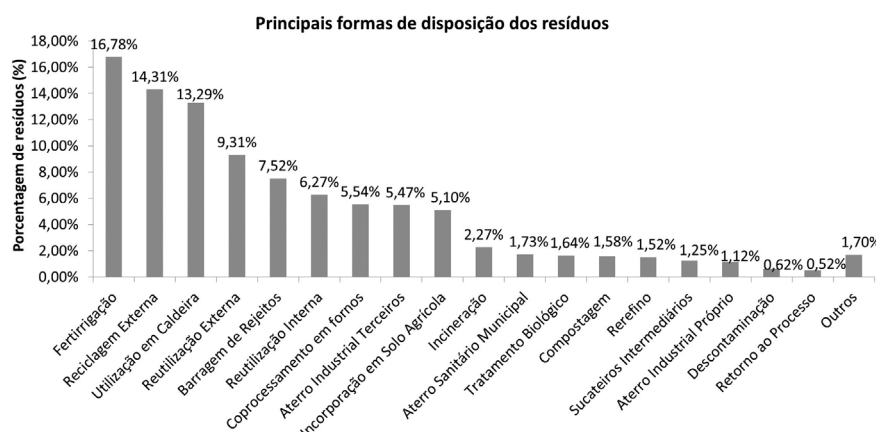
Tabela 31 - Resíduos perigosos mais gerados nas indústrias.

Resíduos Perigosos	Quantidade (toneladas)
Lama arsenical	4.677.125,00
Água residuária contaminada	424.707,51
Lama terciária	282.120,70
Óleo fúsel	202.123,97
Resíduo Calcinado	194.337,00
Óleo lubrificante usado	101.900,18
Fluido hidráulico	82.308,78
Condensado de gás	79.244,00
EPI's contaminados com substâncias/produtos perigosos (luvas, botas, aventais, capacetes, máscaras, etc.)	77.434,30
Bombonas plásticas contaminadas com produtos perigosos	64.067,78
Total	6.185.369,22

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

As formas mais comuns de destinação dos resíduos industriais no estado são representadas na Figura 52. Segundo o Inventário, foram considerados apenas os resíduos com destino definido. São considerados sem destino definido os que sofrem armazenamento temporário dentro da empresa, que correspondem a 0,84% do total gerado.

Figura 52 - Principais formas de disposição final dos RSI.



Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos Industriais - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

A fertilirrigação é a forma mais comum de destinação, com 16,78%, e se aplica principalmente à vinhaça, que não é um dos resíduos mais gerados nas SUPRAM's que abrangem os municípios afetados. A reciclagem externa segue com 14,31% e se aplicam principalmente aos resíduos da sucata de metais ferrosos e afinos de minérios. Os resíduos sólidos de sucata de metais ferrosos também podem sofrer reutilização interna ou externa. Os resíduos de compostos de metais não tóxicos são reutilizados e, assim como os de sucata, sofrem reutilização interna e externa e reciclagem externa. O fosfogesso é totalmente incorporado em solo agrícola e os resíduos de minerais não metálicos são coprocessados em fornos de cimento, reciclados externamente ou reutilizados internamente.

4.3.2.5 Resíduos Sólidos de Mineração

Assim como as indústrias, as atividades de mineração no Estado de Minas Gerais não são bem contempladas nos PMSB, sendo apenas citadas na PNRS como de responsabilidade dos geradores. O município de Resplendor é o único que, no seu plano, cita possuir uma mineradora de atividade pouco expressiva. Sabe-se que há outras mineradoras na região que são de grande porte, como no município de Mariana, porém não são contempladas nos respectivos planos. Sendo assim, buscou-se informações no "Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração" - Ano Base 2015, mesmo que não tendo relação direta com os municípios afetados.

No ano de 2015, dos 853 municípios mineiros, 139 preencheram o inventário de resíduos de mineração, correspondendo a apenas 16,3%. Entre estes, somente sete pertencem à área de interesse, que fazem parte das SUPRAM'S Central, Leste Mineiro e Zona da Mata.

Tabela 32 - Municípios que preencheram o inventário de resíduos da mineração no ano de 2015.

Município	SUPRAM
Alpercata	Leste Mineiro
Caratinga	Leste Mineiro
Conselheiro Pena	Leste Mineiro
Ipatinga	Leste Mineiro
Mariana	Central
São Pedro dos Ferros	Zona da Mata
Timóteo	Leste Mineiro

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

A Tabela 33 mostra a quantidade de empresas de cada município afetado que apresentaram o inventário de resíduos, totalizando 12 empresas, sendo que destas quatro estão localizadas em Mariana.

Tabela 33 - Número de empresas cadastradas por município.

Município	Nº de Empresas
Alpercata	2
Caratinga	1
Conselheiro Pena	1
Ipatinga	2
Mariana	4
São Pedro dos Ferros	1
Timóteo	1

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

A Deliberação Normativa COPAM nº 117/2008 determina que devem apresentar Inventário de Resíduos Sólidos Industriais as atividades listadas na Tabela 34.

Tabela 34 - Tipologias passíveis de apresentar Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração.

Código	Tipologia
A-01	Lavra subterrânea
A-02	Lavra a céu aberto
A-03	Extração de Areia, Cascalho e Argila, para utilização na construção civil
A-04	Extração de água mineral potável de mesa
A-05	Unidades Operacionais em área de mineração, inclusive unidades de tratamento de minerais
A-06	Exploração e extração de gás natural ou de petróleo

Das seis tipologias, apenas a A-06 (Exploração e extração de gás natural ou de petróleo) não apresentou nenhuma empresa que tenha preenchido o inventário. Sendo assim, as considerações a seguir foram tomadas considerando apenas 5 tipologias.

A Tabela 35 mostra a quantidade de empresas cadastradas por tipologia. Nota-se que a atividade de mais desenvolvida é a A-02 (Lavra a céu aberto), correspondendo a 86,07% das empresas, seguida pela A-04 (Extração de água mineral potável de mesa) com 4,64%.

Tabela 35 - Quantidade de empresas por tipologia.

Tipologia	Quantidade de Empresas	Porcentagem
A-01	12	3,72
A-02	278	86,07
A-03	11	3,41
A-04	15	4,64
A-05	7	2,17
Total	323	100

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração
- Ano Base 2015 (2016), adaptado.

A quantidade de empresas de cada tipologia por SUPRAM pode ser vista na Tabela 36.

Tabela 36 - Número de empresas por tipologia e SUPRAM.

SUPRAM	Atividade				
	A-01	A-02	A-03	A-04	A-05
Central	4	97	1	5	4
Leste Mineiro	4	22	2	0	0
Zona da Mata	0	43	1	1	1

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Na SUPRAM Central, a atividade predominante é a A-02 (Lavra a céu aberto), correspondendo a 34,89% do total de empresas dessa tipologia e 87,39% das atividades da SUPRAM. No Leste Mineiro a A-02 também predomina, equivalendo a 7,91% das empresas dessa tipologia e 78,57% das atividades da SUPRAM. Assim como nas demais, na Zona da Mata predomina a A-02, que corresponde a 15,47% das empresas da tipologia e 93,48% das empresas da SUPRAM. As atividades A-01 (Lavra subterrânea), A-03 (Extração de Areia, Cascalho e Argila, para utilização na construção civil), A-04 (Extração de água mineral potável de mesa) e A-05 (Unidades Operacionais em área de mineração, inclusive unidades de tratamento de minerais) são menos expressivas nessas SUPRAM's.

Na geração de resíduos da mineração, destaca-se a existência dos resíduos sólidos de extração (estéril) e do tratamento/beneficiamento (rejeitos). O total de resíduos (incluindo estéril e rejeito) inventariados em 2015 no estado de Minas Gerais foi de 605.821.916,222 toneladas, sendo que deste total 242.357.728,414 toneladas (40%) são de rejeitos, 363.306.236,217 toneladas (59,97%) são de estéril e 157.951,591 toneladas (0,03%) são de rejeitos. Cada uma das tipologias gera diferentes tipos de resíduos, que estão explicitados nas Tabelas a seguir.

Tabela 37- Resíduos mais gerados na tipologia A-01.

Resíduos mais gerados - A-01	Quantidade (toneladas)
Sucata de metais (ferrosos, manganês, não ferrosos, cobre, alumínio)	1.538,80
Efluente sanitário (caixa de gordura, lodo de fossa, ETA)	1.195,85
Diversos Contaminado, Contaminados com óleo, contaminado com substâncias perigosas (embalagens, bombonas, filtros de ar, dutos de ventilação, EPI, madeira)	728,31
Pneus, resíduos de borracha	219,207
Resíduos de papel/papelão e plástico (PEAD (lona, tubo), PVC)	193,405
Óleo lubrificante usado	202,309
Resíduo orgânico (restos de alimento)	125,812
Lama contaminada	40,08
Resíduo de explosivos em geral	21,523
Panos de filtro provenientes da filtragem do minério	16,38
Total	4.281,68

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Tabela 38 - Resíduos mais gerados na tipologia A-02.

Resíduos mais gerados - A-02	Quantidade (toneladas)
Sucata de metais (ferrosos, aço, aço inox, manganês, cobre, alumínio, revestimento de moinho, estrutura de correia transportadora, bomba, motores)	45.133,89
Lenha não contaminada, casca de árvores (madeira, lenha), resíduos de madeira contaminada ou não contaminada	36.314,26
Resíduos Sanitários (efluente fossa séptica, lodo de ETE, separador água e óleo, lodo de ETA, lodo de cabine sanitária)	18.594,34
Resíduos de borracha e pneus	13.123,19
Óleo lubrificante usado	8.515,15
Resíduos de restaurante (restos de alimentos, óleo de gordura de origem animal e vegetal)	4.610,77
Resíduo da construção civil, entulho misto, refratários	4.216,30
Resíduos de varrição de fábrica	3.449,50
Resíduos Diversos (trapos, estopas, embalagens), contaminados com óleos e graxa, não recicláveis	3.055,96
Resíduos de papel/papelão e plástico	1.832,85
Total	138.846,20

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Tabela 39 - Resíduos mais gerados na tipologia A-03.

Resíduos mais gerados - A-03	Quantidade (toneladas)
Sucata de metais ferrosos	2.005,60
Resíduos Sanitários	174,74
Resíduos de papel/papelão e plástico	5,11
Resíduos de restaurante (restos de alimentos)	4,28
Óleo combustível usado	0,8
Pneus	0,3
EPI's	0,24
Bombonas de plástico (vazias ou contaminadas)	0,1
Total	2.191,17

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Tabela 40- Resíduos mais gerados na tipologia A-04.

Resíduos mais gerados - A-04	Quantidade (toneladas)
Papel/Papelão (embalagens danificadas) e plásticos em geral (PET, PP, filmes, embalagens, bombonas)	218,31
Resíduos de madeira contaminado ou não contaminado	20,67
Sucata metais (ferrosos e não ferrosos)	16,23
Resíduos de Tampas	5,23
Resíduos de vidros	1,76
Detergente alcalino clorado	1,2
Resíduos de restaurante (restos de alimentos)	1,15
Óleo lubrificante usado	0,56
Resíduos de varrição de fábrica	0,54
Lâmpadas (Fluorescentes, Incandescentes, outras)	0,23
Total	265,89

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Tabela 41 - Resíduos mais gerados na tipologia A-05.

Resíduos mais gerados - A-05	Quantidade (toneladas)
Resíduos sanitários (sistema separador água e óleo)	1.853,34
Sucata de metais ferrosos e não ferrosos (cobre)	338,72
Resíduos de varrição de fábrica	232,14
Óleo lubrificante usado	175,23
Resíduos de borracha, pneus	147,85
Resíduos de madeira contaminado ou não contaminado	110,6
Resíduos de restaurante (restos de alimentos)	86,38
Resíduos de papel/papelão e plástico	35,68
Recicláveis (Papel, plástico, vidro e metal)	2,8
Pilhas e baterias	2,32
Total	2.985,06

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Tabela 42 - Resumo da quantidade de resíduos de cada tipologia.

Tipologia	Quantidade de resíduos mais gerados (toneladas)	Porcentagem (em relação aos mais gerados)	Porcentagem (em relação ao total gerado)
A-01	4.281,68	2,88	2,71
A-02	138.846,20	93,46	87,9
A-03	2.191,17	1,47	1,39
A-04	265,89	0,18	0,17
A-05	2.985,06	2,01	1,89
Total de resíduos mais gerados	148.569,99	-	94,06
Total de resíduos gerados no total	157.951,59	-	-

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Da Tabela 37 a Tabela 41, é possível observar quais são os resíduos mais gerados em cada tipologia analisada e suas respectivas quantidades. Já na Tabela 42, encontra-se um resumo das tabelas anteriores para melhor visualização. Somando apenas os resíduos mais gerados de cada tipologia, tem-se 148.569,99 toneladas, que equivale a 94,06% do total de resíduos gerados no Estado.

A atividade A-02 (Lavra a céu aberto) é a que produz a maior quantidade de resíduos, correspondendo a 93,46% em relação aos resíduos mais gerados e 87,90% em relação a todos os resíduos.

Quanto à periculosidade dos resíduos, 32.225,78 toneladas (20,4%) são resíduos perigosos (Classe I) e 125.725,81 toneladas (79,6%) são não perigosos (Classe II). Dos resíduos de Classe II, 16,95% são não inertes (IIA) e 62,65% são inertes (IIB).

Na Tabela 43 estão listadas as quantidades dos resíduos gerados em cada uma das regiões de interesse. Foram geradas 24.113,85 toneladas de resíduos perigosos, 18.674,50 toneladas de resíduos não perigosos e não inertes e 85.614,83 toneladas de resíduos não perigosos e inertes, totalizando 128.403,18 toneladas. As SUPRAM's Central, Leste Mineiro e Zona da Mata são, portanto, responsáveis por 74,83% dos resíduos Classe I, 69,77% dos resíduos Classe IIA e 86,51% dos resíduos Classe IIB. A SUPRAM Central é a superintendência que mais gera resíduos de todas as classes, totalizando 97.576,22 toneladas. Apenas o município de Mariana, dentre os municípios estudados, pertence à essa SUPRAM.

Tabela 43 - Quantidade de resíduos Classes I e II nas SUPRAM's.

SUPRAM	Resíduos Classe I (toneladas)	Resíduos Classe IIA (toneladas)	Resíduos Classe IIB (toneladas)	Total
Central	20.660,61	14.425,36	62.490,25	97.576,22
Leste Mineiro	3.347,87	4.180,67	22.947,88	30.476,42
Zona da Mata	105,365	68,474	176,706	350,55
Total	24.113,85	18.674,50	85.614,83	128.403,18

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Dos resíduos perigosos, os 10 mais gerados encontram-se na Tabela 44. Os resíduos perigosos mais gerados são os sanitários, correspondendo a 51,95% dos resíduos mais gerados e 49,6% de todos os resíduos perigosos. Em seguida, tem-se óleo lubrificante usado, equivalendo a 28,84% dos resíduos mais gerados e 27,54% de todos os perigosos.

Tabela 44 - Resíduos perigosos mais gerados.

Resíduos Perigosos	Quantidade (toneladas)
Resíduos sanitários (lama, lodo, efluente caixa SAO, fossa séptica, ETE, banheiros portáteis, ETA)	15.984,75
Óleo lubrificante usado	8.875,55
Resíduos diversos contaminados (embalagens, trapos, estopas, EPI's, filtros, mangueiras, tambores, sucatas, plástico, papelão, papel) com óleo, graxa, tintas, borras, solventes, substâncias perigosas	4.614,60
Resíduo de óleo vegetal	351
Refratários	297,26
Equipamentos elétricos e eletrônicos	281,355
Pilhas e baterias	212,067
Bombonas de plástico (vazias ou contaminadas com substâncias não perigosas)	71,429
Resíduo de amianto	43,955
Lâmpadas (Fluorescentes, Incandescentes, outras)	37,723
Total dos resíduos perigosos mais gerados	30.769,98
Total de todos os resíduos perigosos	32.225,78

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Em relação ao estéril, é gerado somente nas atividades A-01 (Lavra subterrânea) e A-02 (Lavra a céu aberto), sendo que 97,80% são gerados na lavra a céu aberto e 2,20% na lavra subterrânea. Das 363.306.236,217 toneladas geradas, 0,54% são classificados como resíduos perigosos, 45,3% são não perigosos não inertes e 48,33% de resíduos não perigosos inertes. As SUPRAM's Central, Leste Mineiro e Zona da Mata são responsáveis por 281.105.061,85 toneladas do total de estéril gerado, ou seja 77,37%, sendo que a Central somente é responsável por 48,97% e o Leste Mineiro 28,00%. A Tabela 45 explicita esses dados.

Tabela 45 - Quantidade de estéril gerado por SUPRAM.

SUPRAM	Quantidade (toneladas)
Central	177.891.502,75
Leste Mineiro	101.721.332,53
Zona da Mata	1.492.226,58
Total	281.105.061,85

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Em relação aos rejeitos, foram geradas 242.357.728,414 toneladas. A atividade A-02(Lavra a céu aberto) possui predomínio na geração de rejeitos, representando 97,64%. Dos quais 0,49% são classificados como resíduos perigosos, 65,02% são não-perigosos não-inertes e 34,49% de resíduos não-perigosos inertes. As SUPRAM's Central, Leste Mineiro e Zona da Mata são responsáveis por 161.916.649,66 toneladas do total de rejeito gerado, ou seja 66,81%, sendo que a Central somente é responsável por 43,65% e o Leste Mineiro 22,59%. Esses dados estão explicitados na Tabela 46.

Tabela 46 - Quantidade de rejeito gerado por SUPRAM.

SUPRAM	Quantidade (toneladas)
Central	105.784.500,78
Leste Mineiro	54.756.264,38
Zona da Mata	1.375.884,50
Total	161.916.649,66

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

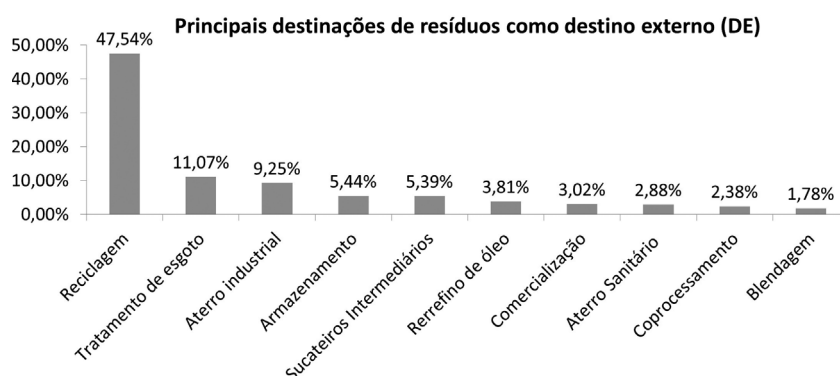
As formas de disposição dos resíduos, estéril e rejeito se subdividem em Dentro da Mineração (DM), Destino Externo (DE) e Sem Destino Definido (SDD), quando os resíduos, estéril e rejeitos estão estocados e não foram encaminhados para a destinação final ou tratamento no ano inventariado.

Tabela 47 - Formas de disposição dos resíduos, estéril e rejeitos de mineração.

Destinação	DM (%)	DE (%)	SDD (%)
Resíduos	11,58	88	0,42
Estéril	99,93	0,07	0
Rejeitos	99,25	0,74	0,01

Na Tabela 47 é possível ver que 88,00% dos resíduos vão para destinação externa, 11,58% para destinação dentro da mineração de apenas 0,42% não possuem destinação definida. Já o estéril é principalmente destinado dentro da mineração com 99,93%, e os demais 0,07% são destinados externamente. Os rejeitos também são majoritariamente destinados dentro da mineração, com 99,25%, e 0,74% são destinados externamente. Os outros 0,01% não possuem destinação definida.

As principais formas de destinações de resíduos como destino externo podem ser vistas na Figura 53. Dos 88,00% que são destinados externamente, 47,54% são reciclados, 11,07% vão para tratamento de esgoto, 9,25% para aterro industrial, e 2,88% para aterro sanitário. Alguns dos resíduos destinados como reciclagem são pneus, papel, papelão, eletrônicos, pilhas, baterias e lâmpadas. Já os resíduos para tratamento são os resíduos sanitários e lodo de estação de tratamento. Para o aterro industrial vão EPI's, restos de alimentos, resíduos de laboratório e embalagens contaminadas, entre outros. E para aterro sanitário também vão EPI's, resíduos de papel, papelão, sucata de metais ferrosos e lâmpadas, entre outros.

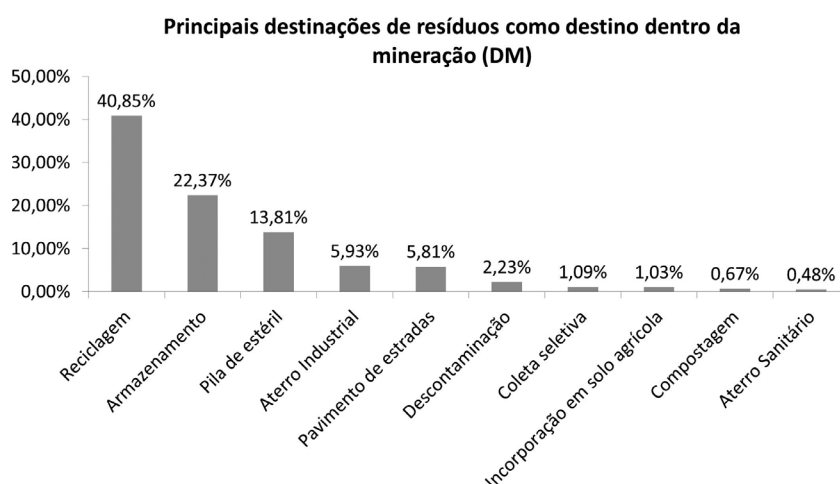
Figura 53 - Principais formas de destinações de resíduos como destino externo.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Quanto às formas de destinações de resíduos dentro da mineração, estas podem ser vistas na Figura 54. Dos 11,58% destinados como DM, 40,85% são reciclados, 22,37% são armazenados, 13,81% vão para pilha de estéril, 5,93% para aterro industrial, apenas 0,48% para aterro sanitário, entre outros.

Alguns dos resíduos destinados como reciclagem são pneus, papel, papelão, eletrônicos, pilhas, baterias, lâmpadas, óleos lubrificantes e também resíduos de borracha, madeira e vidro. Já os resíduos para armazenamento são sucatas de metais ferrosos, resíduos de borracha, pilhas e baterias, lâmpadas e resíduos orgânicos de processo, entre outros.

Para aterro industrial são destinados os restos de alimentos, embalagens de metais não ferrosos e resíduos de construção civil. E para aterro sanitário vão EPI's, resíduos de papel, papelão e resíduos de restaurante.

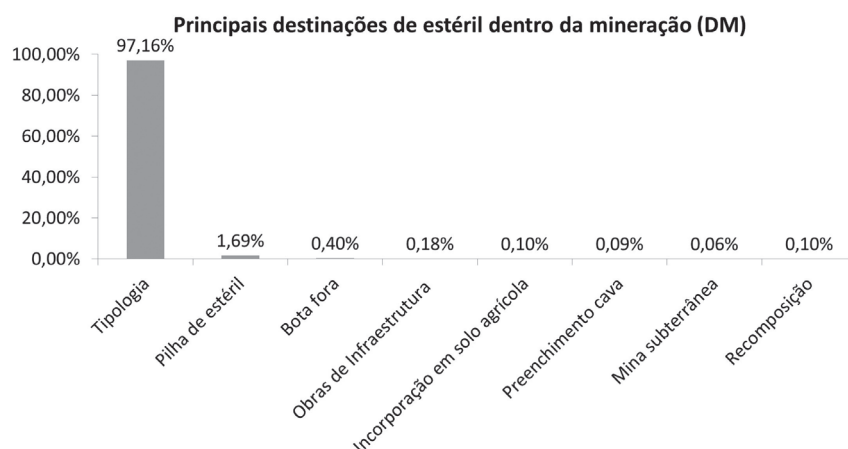
Figura 54 - Principais formas de destinações de resíduos como destino dentro da mineração.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Em relação aos resíduos sem destinação definida, são resíduos sanitários (29,23%), resíduos de borracha (22,35%), madeira (14,11%), papel, papelão e plástico (11,80%), óleo lubrificante usado (2,87%), entre outros.

As principais formas de destinações de estéréis dentro da mineração podem ser vistas na Figura. Dos 99,93% assim definidos, 97,16% vão para pilha de estéril, 1,69% para bota fora, 0,40% para obras de infraestrutura da mina e estradas, 0,06% para recomposição topográfica, apenas 0,10% para aterro industrial, entre outros.

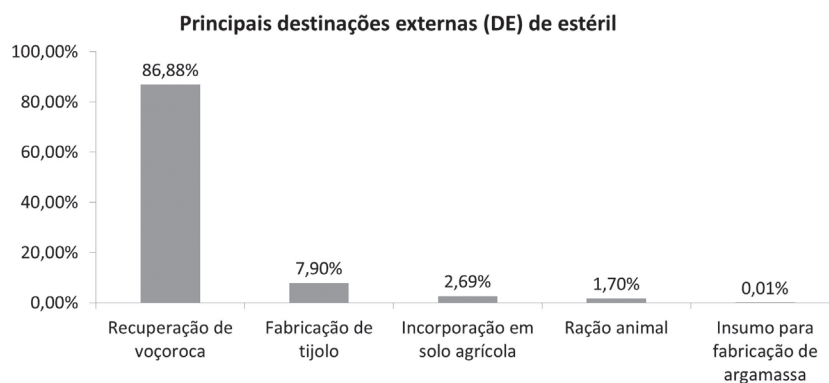
Figura 55 - Principais formas de destinação de estéril dentro da mineração.



Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

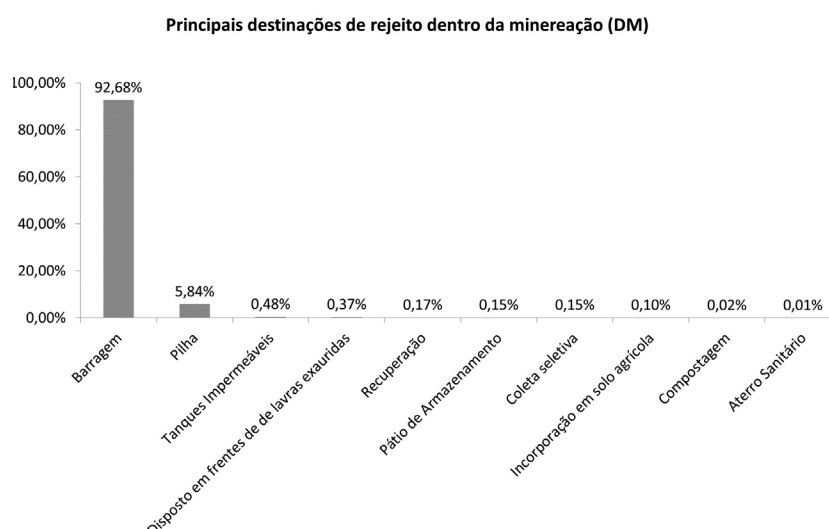
Quanto aos estéréis declarados com destino externo, conforme visto na Figura 56, 86,88% vão para recuperação de voçoroca. Os demais vão para fabricação de tijolo (7,90%), incorporação em solo agrícola (2,69%), ração animal (1,70%) e insumo para fábrica de argamassa (0,01%).

Figura 56 - Principais formas de destinação de estéril como destinação externa.



Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

As principais formas de destinações de rejeitos dentro da mineração podem ser vistas na Figura 57. Dos 99,25% assim declarados, 92,68% vão para barragens, 5,84% para pilha de rejeitos, 0,48% para tanques permeáveis, 0,37% são dispostos em frentes de lavras exauridas, 0,02% para recomposição topográfica, 0,01% para cascalhamento de estradas internas, entre outros.

Figura 57 - Principais formas destinação de rejeito dentro da mineração.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

Dos rejeitos declarados como de destinação externa, as principais formas são barragens (98,84%), pilhas de rejeitos (0,98%), aterro industrial (0,05%), lixão (0,001%), aterro controlado (0,0005%) e aterro sanitário (0,0003%), conforme a Figura 58.

Figura 58 - Principais formas de destinação de rejeitos com destino externo.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos de Mineração - Ano Base 2015 (2016), adaptado.

4.3.2.6 Resíduos Sólidos Especiais

Os resíduos especiais são passíveis de logística reversa, sendo que é de responsabilidade dos geradores estruturar e implantar esse sistema. Como já citado, os resíduos considerados especiais são produtos eletrônicos e componentes, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, óleos lubrificantes e pneus. Neste tópico também serão considerados os resíduos de embalagens de agrotóxicos.

- **Pilhas e Baterias**

De acordo com a Tabela 48, dos 31 planos municipais, 15 não possuem informações sobre pilhas e baterias e 11 citam apenas que no município não há ação efetiva para destinação correta desses resíduos.

Tabela 48 - Situação das pilhas e baterias em Minas Gerais.

Município	Pilhas e Baterias
Alpercata	Sem informações
Barra Longa	Não há ação efetiva para destinação correta
Belo Oriente	Sem informações
Bom Jesus do Galho	Sem informações
Bugre	Não há ação efetiva para destinação correta
Caratinga	Não há ação efetiva para destinação correta
Conselheiro Pena	Não há ação efetiva para destinação correta
Córrego Novo	Sem informações
Fernandes Tourinho	Não há ação efetiva para destinação correta
Galiléia	Não há ação efetiva para destinação correta
Iapu	Sem informações
Ipaba	Sem informações
Itueta	Sem informações
Marliéria	Sem informações
Periquito	Não há ação efetiva para destinação correta
Pingo d'Água	Sem informações
Raul Soares	Não há ação efetiva para destinação correta
Resplendor	Sem informações
Rio Casca	Sem informações
Rio Doce	Sem informações
Santa Cruz do Escalvado	Sem informações
São José do Goiabal	Não há ação efetiva para destinação correta
São Pedro dos Ferros	Não há ação efetiva para destinação correta
Sem-Peixe	Sem informações
Sobralia	Não há ação efetiva para destinação correta
Tumiritinga	Sem informações

Em Governador Valadares, existem pontos de entrega voluntária (PEV) de pilhas e baterias em comércios, redes de supermercados e agências dos correios. Já em Ipatinga, a empresa FARMABIENTE - Central de Gerenciamento de Resíduos realiza a coleta e, posteriormente, encaminha para empresas que realizam tratamento e processos de reciclagem desses materiais. Algumas empresas e instituições também disponibilizam pontos de coleta.

No município de Mariana, pilhas e baterias são encaminhadas pelos usuários aos estabelecimentos que os comercializam ou redes de assistência técnica, para posterior recolhimento pelos fabricantes, revendedores ou importadores. Em Ponte Nova, há um recipiente de acondicionamento na Secretaria de Meio Ambiente (SEMAM).

Não há soluções efetivas para a coleta e o transporte das pilhas pós-consumo em Timóteo, sendo estas descartadas em conjunto com os resíduos da coleta comum. Porém, as baterias

de maior porte, em geral automotivas, são absorvidas por estabelecimentos especializados nestes produtos e os próprios fabricantes realizam a logística reversa dessas baterias.

- Lâmpadas Fluorescentes

De acordo com a Tabela 49, dos 31 planos municipais, 20 não possuem informações sobre situação de recolhimento e destinação das lâmpadas fluorescentes e 9 apenas citam que no município não há ação efetiva para destinação correta desses resíduos.

Tabela 49- Situação das lâmpadas fluorescentes em Minas Gerais.

Município	Lâmpadas Fluorescentes
Alpercata	Sem informações
Barra Longa	Sem informações
Belo Oriente	Sem informações
Bom Jesus do Galho	Sem informações
Bugre	Não há ação efetiva para destinação correta
Caratinga	Não há ação efetiva para destinação correta
Conselheiro Pena	Não há ação efetiva para destinação correta
Córrego Novo	Sem informações
Fernandes Tourinho	Não há ação efetiva para destinação correta
Galiléia	Não há ação efetiva para destinação correta
Governador Valadares	Não há ação efetiva para destinação correta
Iapu	Sem informações
Ipaba	Sem informações
Itueta	Sem informações
Mariana	Sem informações
Marliéria	Sem informações
Periquito	Não há ação efetiva para destinação correta
Pingo d'Água	Sem informações
Ponte Nova	Sem informações
Raul Soares	Sem informações
Resplendor	Sem informações
Rio Casca	Sem informações
Rio Doce	Sem informações
São José do Goiabal	Sem informações
São Pedro dos Ferros	Sem informações
Sem-Peixe	Sem informações
Sobralia	Não há ação efetiva para destinação correta
Timóteo	Não há ação efetiva para destinação correta
Tumiritinga	Sem informações

Em Ipatinga, as lâmpadas geradas pelos prédios da administração municipal são armazenadas a céu aberto. A empresa FARMABIENTE - Central de Gerenciamento de Resíduos realiza a coleta e, posteriormente, encaminha os resíduos para empresas que realizam o tratamento e

processos de reciclagem desses materiais. Já em Santa Cruz do Escalvado, são recolhidas pela coleta regular e vão para usina onde são armazenadas, sem definição da destinação final.

- Óleos Lubrificantes

A situação dos óleos lubrificantes nos municípios é contemplada apenas nos PMSB de Caratinga, Conselheiro Pena e Timóteo.

Segundo o PMSB de Caratinga, os óleos lubrificantes usados ou contaminados (OLUC), seus resíduos e embalagens são coletados por empresas autorizadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), fazendo a logística reversa entre o revendedor e seus fornecedores. Parte do OLUC coletado em Caratinga e nos municípios localizados na região Leste de Minas, são transportados para os Centros de Coletas mais próximos da região, que ficam em Contagem e Betim. Porém, também atua em Caratinga a empresa Lubrasil, com sede em Piracicaba, Estado de São Paulo, que dispõe de veículo credenciado pela ANP para coleta de OLUC. Em Conselheiro Pena os óleos e seus resíduos também são coletados pela Lubrasil.

De acordo com o PMSB de Timóteo, há uma iniciativa chamada Programa Jogue Limpo, criada pelo Sindicato Nacional de Empresas Distribuidoras de Combustíveis e Lubrificantes – SINDICOM, sendo o sistema de logística reversa de lubrificantes pós-consumo e embalagens plásticas estruturado pelos fabricantes, importadores e distribuidores de lubrificantes. Também há o Programa Rerrefino, destinado à recuperação do produto usado. É um conjunto de ações cuja finalidade é coletar e restituir os resíduos usados ou contaminados ao setor que o produziu para o reaproveitamento em seus ciclos produtivos.

- Pneus

Os pneus não são contemplados em 13 PMSB dos municípios de interesse, como mostra a Tabela 50. Nos demais municípios, a gestão dos pneus se dá de diferentes formas, segundo os PMSB.

Tabela 50 - Situação dos pneus em Minas Gerais.

Município	Pneus
Alpercata	Sem informações
Bom Jesus do Galho	Sem informações
Bugre	Sem informações
Fernandes Tourinho	Sem informações
Galiléia	Sem informações
Iapu	Sem informações
Ipaba	Sem informações
Itueta	Sem informações
Marliéria	Sem informações
Periquito	Sem informações
Resplendor	Sem informações
Sobralia	Sem informações
Tumiritinga	Sem informações

Em Barra Longa, os pneus são dispostos irregularmente ou abandonados, sendo utilizados somente quando necessário. O mesmo ocorre em Raul Soares, onde não há segregação adequada para os resíduos especiais nem destinação correta e os mesmos são usados conforme a necessidade da população.

No município de Belo Oriente, há um eco ponto para armazenamento dos pneus, que são, em seguida, coletados pela Associação Brasileira dos Produtores de Pneus. Já em Caratinga, há um ponto de coleta de pneus usados disponibilizado e administrado pela Prefeitura. É um local para onde são levados os pneus recolhidos pela limpeza pública, ou diretamente por borracheiros, recapadores ou descartados pelos moradores do município. A Empresa Reciclanip é responsável pela logística da retirada dos pneus inservíveis do ponto de coleta e destinação adequada em empresas ambientais homologadas pelo Ibama.

No município de Conselheiro Pena não há ponto de coleta. Em Córrego Novo os pneus são coletados através da coleta regular e armazenados em uma área aberta na UTC, sendo doados conforme a demanda. O mesmo acontece em Pingo d'Água e Santa Cruz do Escalvado. Em Rio Doce também são armazenados na UTC e utilizados conforme a necessidade, porém não há informações sobre a coleta.

Em Governador Valadares há um galpão da Secretaria Municipal de Saúde que recebe as entregas voluntárias e depois os pneus são encaminhados para empresas que fazem reciclagem ou reaproveitamento de materiais.

Em Ipatinga há um eco ponto onde são armazenados os pneus. São recebidos em média 2.655 pneus por mês. Não há informações de destinação.

Em Mariana os pneus são recolhidos por particulares ou pela Prefeitura, não sendo informada a destinação.

No município de Rio Casca, são acondicionados e comercializados ou usados como contenção de barreiras. Já em São José do Goiabal e São Pedro dos Ferros, os pneus são coletados pela prefeitura e armazenados em galpões e, sendo necessário, utilizados na contenção de barreiras.

Em Ponte Nova os pneus inservíveis são enviados para um depósito particular. São recebidos cerca de 2.000 pneus por mês. Quando a capacidade máxima é atingida, a empresa Reciclanip é acionada para recolher, destinando para coprocessamento em fornos de cimento.

Em Sem-Peixe os pneus vão para um aterro comum da UTC.

Em Timóteo há um ponto de armazenamento de pneus na área da ASCATI - Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Timóteo. São coletados e destinados pela Reciclanip, por meio de um convênio com o município. De acordo com informações fornecidas ao IBAMA pela Reciclanip, os fabricantes têm cumprido suas metas de recolhimento de pneus, mas o mesmo não ocorre com os importadores, gerando um passivo ambiental que se reflete na disposição de pneus em ruas, córregos e rios, e terrenos baldios.

- Embalagens de Agrotóxico

Não há informações sobre a gestão das embalagens de agrotóxico em 14 PMSB, dos 31 encontrados, como se observa na Tabela 51. Entretanto, em 10 planos cita-se que os resíduos voltam para o fabricante através da logística reversa. Os consumidores devolvem aos comerciantes, que retornam as embalagens aos fabricantes.

Segundo os PMSB de Raul Soares e São Pedro dos Ferros, a responsabilidade da gestão dos resíduos é do fabricante, porém não há informações sobre o recolhimento dos mesmos. Já em Timóteo e Ipatinga não há sistema de logística reversa implantado.

Tabela 51 - Situação das embalagens de agrotóxico em Minas Gerais.

Município	Embalagens de Agrotóxico
Alpercata	Sem informações
Barra Longa	Comerciantes: volta para o fabricante
Belo Oriente	Comerciantes: volta para o fabricante
Bom Jesus do Galho	Comerciantes: volta para o fabricante
Bugre	Sem informações
Córrego Novo	Sem informações
Fernandes Tourinho	Sem informações
Galiléia	Sem informações
Governador Valadares	Sem informações
Iapu	Sem informações
Ipaba	Comerciantes: volta para o fabricante
Ipatinga	Não há sistema de logística reversa implantado
Itueta	Comerciantes: volta para o fabricante
Mariana	Sem informações
Marliéria	Sem informações
Periquito	Sem informações
Pingo d'Água	Comerciantes: volta para o fabricante
Raul Soares	Fabricante: sem informações de recolhimento
Resplendor	Comerciantes: volta para o fabricante
Rio Casca	Comerciantes: volta para o fabricante
Rio Doce	Sem informações
Santa Cruz do Escalvado	Comerciantes: volta para o fabricante
São José do Goiabal	Comerciantes: volta para o fabricante
São Pedro dos Ferros	Fabricante: sem informações de recolhimento
Sem-Peixe	Sem informações
Sobralia	Sem informações
Timóteo	Não há sistema de logística inversa implantado
Tumiritinga	Sem informações

Além dos municípios citados na Tabela 51, em Caratinga as embalagens retornam para os estabelecimentos comerciais em que foram adquiridos. Há um posto de recebimento de embalagens vazias que recebe e armazena temporariamente, para que sejam encaminhadas à Unidade Central localizada no município de Manhuaçu. Esta unidade é administrada pela

Associação dos Comerciantes Defensivos das Matas de Minas Gerais (ADEMMIG), que completa o sistema de logística reversa enviando para a indústria. As embalagens de Conselheiro Pena também são enviadas para a mesma unidade.

Em Ponte Nova, as embalagens são entregues pelos produtos rurais na Secretaria Municipal de Desenvolvimento Rural que, juntamente com a Emater/Ponte Nova (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural), destina para incineração no município de Coimbra, também em Minas Gerais, e em seguida são encaminhadas para um aterro licenciado. Estima-se que são gerados 0,69 toneladas por mês de embalagens em Ponte Nova.

- **Produtos Eletrônicos**

A situação dos produtos eletrônicos não é contemplada em 21 PMSB, conforme a Tabela 52. Já em 6 municípios, os planos apenas citam que não há nenhuma ação efetiva para o recolhimento e a disposição adequada dos mesmos.

Tabela 52- Situação dos produtos eletrônicos em Minas Gerais.

Município	Produtos Eletrônicos
Alpercata	Sem informações
Barra Longa	Sem informações
Belo Oriente	Sem informações
Bom Jesus do Galho	Sem informações
Bugre	Sem informações
Caratinga	Não há ação efetiva para recolhimento e disposição adequada
Conselheiro Pena	Não há ação efetiva para recolhimento e disposição adequada
Córrego Novo	Sem informações
Fernandes Tourinho	Não há ação efetiva para recolhimento e disposição adequada
Galiléia	Não há ação efetiva para recolhimento e disposição adequada
Iapu	Sem informações
Ipaba	Sem informações
Itueta	Sem informações
Mariana	Sem informações
Marliéria	Sem informações
Periquito	Sem informações
Pingo d'Água	Sem informações
Raul Soares	Sem informações
Resplendor	Sem informações
Rio Casca	Sem informações
Rio Doce	Sem informações
São José do Goiabal	Sem informações
São Pedro dos Ferros	Sem informações
Sem-Peixe	Sem informações
Sobralia	Não há ação efetiva para recolhimento e disposição adequada
Timóteo	Não há ação efetiva para recolhimento e disposição adequada
Tumiritinga	Sem informações

Em Governador Valadares, os produtos eletrônicos são recolhidos pelas empresas Oxiletro e ASCANAVI. Não há informações sobre a destinação.

Em Ipatinga, os resíduos eletroeletrônicos gerados pelos prédios da administração municipal são armazenados a céu aberto. A empresa Ecovale realiza a coleta e destinação dos resíduos na Região metropolitana do Vale do Aço. A empresa funciona em um galpão onde é realizada uma triagem do material recolhido gratuitamente em empresas e residências.

No PMSB de Ponte Nova, é informado que será firmada uma parceria com ONG Puro Verde e Clínica de Reabilitação CETERVIDA, de forma que a coleta de resíduos eletrônicos seja realizada pela ONG. Os resíduos serão, então, armazenados em local próprio, e uma vez por semana será feita a coleta pela SEMAM desse material, levando à CETERVIDA. No centro de reabilitação, pessoas serão treinadas para poder manipular os equipamentos eletrônicos, para desmontagem e separação das peças para posterior venda, com a receita voltada à ONG Puro Verde. Entretanto, não se tem informações sobre a atual situação dos resíduos.

Em Santa Cruz do Escalvado, os produtos eletrônicos são recolhidos pela coleta regular, sendo encaminhados à UTC para armazenamento. A destinação não é informada.

4.3.3 RESULTADOS OBTIDOS PARA O ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

A partir de 2005, com a organização do Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA), por meio da CURSUCC - Comissão Interna de Resíduos Sólidos Urbanos e da Construção Civil, o Espírito Santo inicia a regularização das atividades de destinação final de resíduos nos municípios do Estado. Em 2008 o Governo do Estado, por meio das secretarias de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano (SEDURB) e Secretaria Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA), implantou o Projeto Espírito Santo Sem Lixão com o objetivo principal de erradicar os lixões do território capixaba, por meio de sistemas regionais de destinação final adequada de resíduos sólidos urbanos (RSU).

A publicação da Lei 9.264/2009 que instituiu a Política Estadual de Resíduos Sólidos e a formação do Comitê Gestor de Resíduos Sólidos (COGERES) foram ações importantes para a atuação efetiva na gestão de resíduos sólidos no estado.

Até o ano de 2015 o estado não contava com um Plano Estadual de Resíduos Sólidos, sendo que somente em dezembro de 2017 a Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEAMA) assinou contrato com a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) para a elaboração do mesmo.

Em 2014, o Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA) publicou edital de chamamento público com o objetivo requerer dos setores produtivos a apresentação de propostas de Programas de Logística Reversa, a serem implementados pelos componentes da cadeia produtiva, para posteriormente serem firmados os Termos de Compromisso com o estado para acompanhamento das metas preestabelecidas de recolhimento, tratamento e destinação final desses resíduos. Anteriormente ao edital, já havia sido assinado Termo de Compromisso para a logística reversa de embalagens plásticas de óleos e lubrificantes usados, dentro do Programa Jogue Limpo.

Para conhecimento da situação dos resíduos sólidos do estado, foram pesquisados os seguintes documentos:

- Plano Municipal de Saneamento Básico e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Colatina
- Plano Municipal de Saneamento Básico e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Baixo Guandu
- Plano Municipal de Saneamento Básico e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Marilândia
- Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Linhares

Não foram encontrados Inventário de Resíduos Sólidos Industriais e de Mineração para o estado do Espírito Santo.

4.3.3.1 Resíduos Sólidos Urbanos

- Baixo Guandu

O serviço de limpeza urbana de Baixo Guandu é responsabilidade da Secretaria Municipal de Obras e Serviços Urbanos, e contempla a coleta de RSU, varrição de sarjetas e serviços especiais como capina, roçada, pintura de meio-fio, limpeza de praças e feiras, dentre outros. Segundo o PMSBGIRS, o serviço de varrição é realizado por empresa terceirizada (não citada no plano).

Os RSU são acondicionados em sacos plásticos e caixas de papelão, dispostos no chão em pontos de coleta determinados. Também há latões e gaiolas metálicas em alguns locais da cidade e papeleiras que são formas de acondicionamento dos resíduos no cotidiano do transeunte. Não há estação de transbordo, e a coleta e transporte dos resíduos é feita pela empresa Límpida Construtora.

Em dois bairros do município é realizada a coleta seletiva, em que os resíduos são encaminhados para uma área de triagem próxima ao aterro controlado, e vão para reciclagem. A comercialização é feita pela prefeitura. Os RSU que não passa pela coleta seletiva vão diretamente para o aterro, sem tratamento prévio.

Estima-se que são coletados 310 kg/dia de resíduos secos e 22 ton./dia são enviados para o aterro.

- Colatina

A limpeza urbana do município de Colatina é de responsabilidade da empresa Serviço Colatinense de Saneamento Ambiental (SANEAR) e engloba serviços de coleta, transporte e destinação de RSU, varrição de sarjetas e serviços especiais como capina, roçada, pintura do meio-fio, dentre outros. A varrição é realizada por agentes públicos da SANEAR. O acondicionamento dos RSU é feito em sacos plásticos, dispostos no chão ou em pontos de coleta, ou papeleiras. A empresa que realiza a coleta e o transporte dos resíduos é a Colatina Diesel Ltda. Não há unidade de transbordo no município.

A coleta seletiva em Colatina é realizada em cinco bairros. Foram instalados Locais de Entrega Voluntária (LEV's) para o depósito de lixo seco em vários pontos do município. Os resíduos são coletados e encaminhados para uma unidade de triagem, que opera sob responsabilidade da Associação de Catadores Colatinense de Materiais Recicláveis (ASCCOR), e os resíduos triados são comercializados também pela ASCCOR.

Os RSU que não passam pela coleta seletiva são enviados diretamente para o aterro sanitário do município, sem tratamento prévio. A gestão do aterro é feita pela SANEAR.

- Linhares

A gestão dos RSU de Linhares é feita pela própria prefeitura. O serviço de limpeza pública contempla varrição, limpeza, lavagem de feiras livres, entre outros. A limpeza de bocas de lobo, podas de árvore, capinação, roçada e raspagem são realizadas pelo Consórcio Linhares Ambiental.

Não há informações sobre as formas de acondicionamento no município. Os RSU são coletados e transportados pela Vital Engenharia Ambiental, e encaminhados para uma estação de transbordo da própria empresa.

A Associação de Catadores de Material Reciclável de Linhares (ACARLI) realiza o gerenciamento da Usina de Triagem de Recicláveis de Linhares (UTIL), por meio de um projeto piloto de coleta seletiva, Pontos de Entrega Voluntária (PEV) e pontos cadastrados do comércio. A ACARLI faz a triagem, enfardamento e posterior comercialização. Estima-se que a quantidade de materiais recicláveis seja de 24,87 toneladas por mês, equivalente a 0,73% do resíduo bruto coletado.

Os demais resíduos são dispostos no Aterro Sanitário do município de Aracruz, operado pela empresa Ambitec Soluções Ambientais Ltda.

- Marilândia

A Secretaria de Obras e Serviços Urbanos de Marilândia é responsável pelo serviço de limpeza urbana, do qual fazem parte a coleta, transporte e destinação de RSU, varrição de sarjetas e serviços especiais como capina, roçada, pintura do meio-fio, dentre outros. A varrição é feita por agentes públicos da Secretaria de Obras, assim como a coleta e transporte dos RSU.

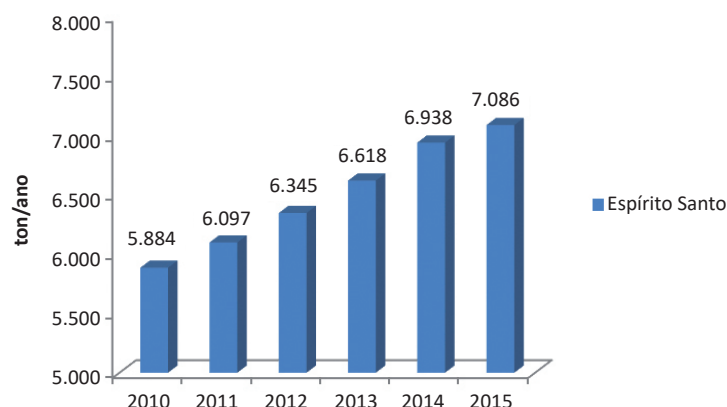
Os resíduos são acondicionados em sacos plásticos e dispostos no chão em pontos de coleta determinados dessa forma. Não há unidade de transbordo no município.

A coleta seletiva é realizada de forma binária (resíduos secos x resíduos úmidos), feita pela Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Marilândia. A própria prefeitura realiza a coleta, e os resíduos são encaminhados a um galpão provisório que recebe, também, resíduo de Governador Lindenberg e São Roque do Canaã.

Os resíduos que não passam pela coleta seletiva são enviados diretamente para disposição final no aterro sanitário de Colatina.

4.3.3.2 Resíduos de Serviço de Saúde

De acordo com o “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” (ABRELPE, 2015), a quantidade anual de RSS coletados pelo estado do Espírito Santo em 2015 foi de 7.086 toneladas, com uma produção média de 1,8 Kg RSS/hab. Não foi encontrado estudo oficial. A Figura 59 apresenta a evolução da quantidade de RSS coletada no estado conforme esse panorama desde o ano de 2010.

Figura 59 - Evolução da quantidade de RSS coletada no estado do Espírito Santo.

Fonte: ABRELPE, (2015), adaptado.

Observa-se um acréscimo de cerca de 2% na quantidade de RSS coletada.

- **Baixo Guandu**

A gestão dos RSS no município é realizada pela prefeitura que tem um contrato firmado com o Consórcio Intermunicipal de Resíduos Sólidos do Norte do Estado do Espírito Santo (CIRSNEES) que faz a coleta, transporte, tratamento e destinação final de RSS através de processo de esterilização por autoclavagem. A coleta é feita semanalmente no hospital e NESF.

Com o objetivo de qualificar a gestão dos RSS, o PMSB de Baixo Guandu tem como diretriz o fortalecimento da sua gestão utilizando as seguintes estratégias: realizar ações de capacitação permanente para público alvo, considerando as especificidades locais; promover ações de fiscalização dos serviços de saúde, com exigência da apresentação do Plano de Gerenciamento de RSS, para obtenção do alvará sanitário e alvará de funcionamento; elaborar instrumento normativo estabelecendo os procedimentos que os geradores devem adotar quanto à coleta e transporte e destinação final dos RSS.

- **Colatina**

Os RSS no Município de Colatina são coletados diariamente de 2ª a sábado em todos os estabelecimentos geradores, através do Consórcio Intermunicipal de Resíduos Sólidos do Norte do Estado do Espírito Santo - CIRSNEES, sendo encaminhados para a autoclavagem para esterilização. Os RSS coletados nos municípios consorciados do CIRSNEES, são levados para o município de Colatina onde tais resíduos são tratados por autoclave e posteriormente dispostos em aterro sanitário.

- **Marilândia**

A gestão dos RSS no município de Marilândia é realizada pela prefeitura que tem um contrato firmado com um consórcio (CIRSNEES) que faz a coleta, transporte e destinação final desse resíduo. A coleta é feita semanalmente. Segundo o PMSB, em 2013 quantidade estimada era de 60 kg/semana. Os RSS coletados no município são destinados para o aterro sanitário da empresa Sanear localizada no município de Colatina/ES. A distância média entre os dois municípios é de 36 Km.

O PMSB informa que existem no município duas áreas que já foram utilizadas como lixões, mas que hoje estão desativadas e que estão em processo de recuperação.

- Linhares

De acordo com o PGRIS, os RSS do grupo A do município de Linhares são coletados pela VITAL Engenharia Ambiental e encaminhados para a empresa Marca Ambiental, onde são submetidos à incineração e, em seguida, dispostos no aterro sanitário de Cariacica. A empresa Marca Ambiental é contratada pela prefeitura de Linhares.

4.3.3.3 Resíduos de Construção Civil

Os resíduos sólidos de construção civil são, em geral, responsabilidade das prefeituras de cada município, exceto no município de Colatina. Para o caso de grandes volumes de RCC, os geradores são responsáveis.

Para o município de Marilândia a gestão dos RCC é realizada pela prefeitura, que faz coleta e a destinação desses resíduos até local de bota fora do município. O município não possui legislação para pequenos e grandes geradores e não há controle das quantidades geradas

A gestão do RCC no município de Baixo Guandu é realizada pela prefeitura e pelos próprios geradores, sendo que a prefeitura faz a coleta dos RCC gerados em obras públicas, reformas e de pequenos geradores e faz o transporte até uma área anexa ao aterro controlado do município. Há, no município um bota fora particular que realiza, por meio de contratação, a coleta dos RCC dos geradores privados, situado no bairro Sapucaia.

Em Colatina a gestão dos RCC é realizada pela SANEAR, que realiza a coleta, transporte e destinação final dos RCC apenas de obras públicas. Já a gestão de coleta dos RCC de obras particulares é realizada no município através de empresas terceirizadas contratadas pelo próprio gerador, sendo essas empresas responsáveis desde a coleta até a destinação final dos resíduos.

4.3.3.4 Resíduos Sólidos Industriais

Os RSI dos municípios são de responsabilidade dos geradores, os quais devem apresentar seus planos de gerenciamento de resíduos como parte do processo de licenciamento ambiental. De acordo com os respectivos PMSBGIRS (Baixo Guandu, Colatina e Marilândia), parte dos resíduos gerados nas indústrias que possuem as mesmas características dos resíduos domiciliares também é coletada pelo município. Consta desses planos que a prefeitura não apresentou nenhum estudo com informações sobre os resíduos industriais gerados no município.

4.3.3.5 Resíduos Sólidos de Mineração

Assim como os resíduos industriais, os RSM são de responsabilidade dos geradores. Entretanto, De acordo com os respectivos PMSBGIRS, a prefeitura é responsável pelos resíduos “parecidos” com domiciliares nos municípios de Baixo Guandu, Colatina e Marilândia. No PGIRS de Linhares não há informações sobre os resíduos de mineração.

4.3.3.6 Resíduos Sólidos Especiais

Os municípios de Baixo Guandu, Colatina, Linhares e Marilândia não fornecem informações sobre produtos eletrônicos e componentes em seus respectivos planos. Já em relação a pilhas e baterias, não há postos de coletas em nenhum dos municípios, e não há fiscalização do sistema de logística reversa. O descarte é feito juntamente com resíduos domésticos.

Quanto a lâmpadas fluorescentes, em Baixo Guandu, Colatina e Marilândia não há coleta diferenciada, sendo feita também junto com resíduos domésticos, assim como a disposição final. Em Linhares, porém, as indústrias geradoras montaram um sistema de coleta e reciclagem, em que se tem empresas especializadas para separação dos vidros do metal e produto químico.

Em relação a óleos lubrificantes, apenas no município de Linhares há um ponto de coleta da empresa Lwart Lubrificantes Ltda., com equipe treinada para transporte, manuseio e armazenamento dos produtos, sendo encaminhados a sede da empresa para rerrefino. Conforme os PMSBGIRS de Baixo Guandu, Colatina e Marilândia, não há fiscalização da logística reversa.

Os pneus, em Colatina, possuem um ponto de recebimento onde é feito o armazenamento de pneus usados destinados por particulares e, posteriormente, são coletados pela RECICLANIP. Foram identificados bota-fora de propriedades particulares que recebem pneus usados do município. Em Linhares, há dois pontos de coleta de pneus inservíveis cadastrados em 2011. Os municípios de Baixo Guandu e Marilândia não possuem ponto de coleta de pneus, não havendo, também, a fiscalização da logística reversa.

A gestão das embalagens de agrotóxicos não é contemplada no PGIRS de Linhares. Em Baixo Guandu há uma cooperativa de agricultores que recebe as embalagens, porém não há fiscalização da logística reversa pelos geradores. Em Colatina, há um ponto de recebimento que pertence ao sistema Campo Limpo, gerenciado pela Associação dos Revendedores de Insumos Agropecuários do Espírito Santo (Assoagres). Já em Marilândia, não há nem ponto de coleta nem fiscalização da logística reversa das embalagens de agrotóxicos.

4.3.4 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS FORMAS DE DISPOSIÇÃO

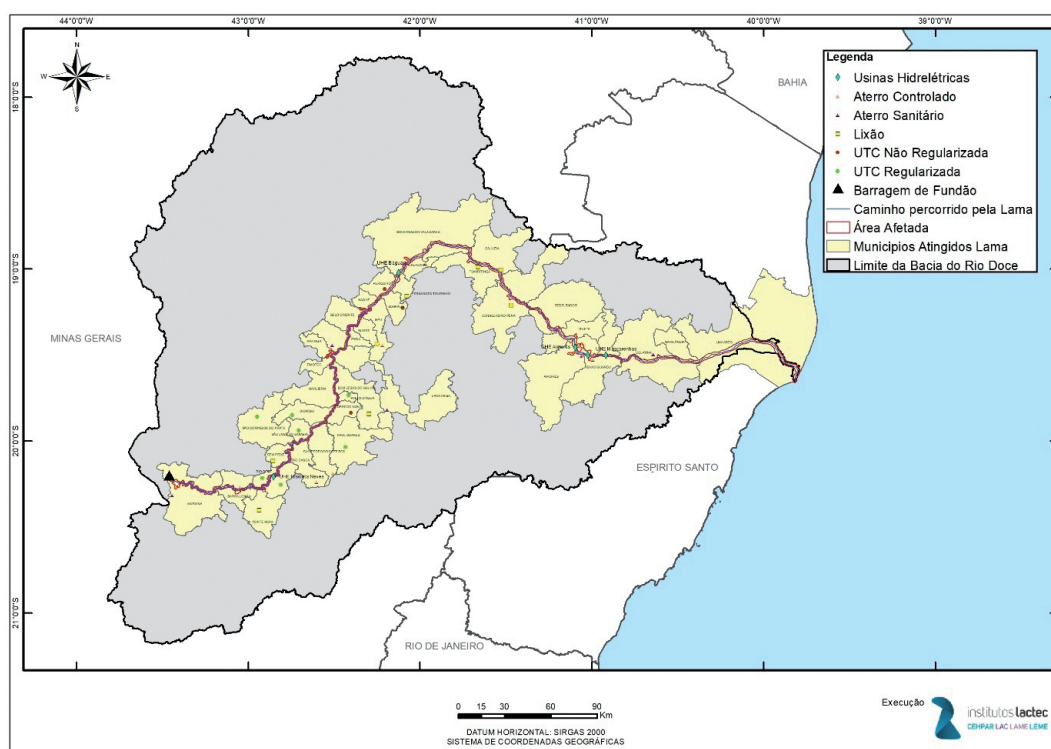
As coordenadas das formas de disposição final (aterros, lixão, UTC) dos resíduos dos municípios estão contidas na Tabela 53, juntamente com suas classificações.

Tabela 53 - Coordenada das formas de disposição final dos resíduos nos municípios afetados.

UF	Município	Coordenada		Classificação	Fonte
		S	O		
MG	Aimorés	19°30'17.96"	41°3'34.22"	Aterro Sanitário	Planilha Prefeitura Rio Doce
MG	Alpercata	18°57'58.82"	41°58'7.24"	Aterro Controlado	PMSB Alpercata
MG	Barra Longa	20°16'2.01"	43°2'51.20"	Aterro Controlado	Planilha Prefeitura Rio Doce
MG	Bom Jesus do Galho	19°50'29.64"	42°17'44.87"	Lixão	Planilha Prefeitura Rio Doce
MG	Bugre	19°25'58.02"	42°15'3.10"	Lixão	PMSB Bugre
MG	Caratinga	19°49'4.15"	42°11'29.79"	Aterro Sanitário	PMSB Caratinga
MG	Conselheiro Pena	19°12'32.71"	41°28'09.51"	Lixão	PMSB Conselheiro Pena
MG	Córrego Novo	19°50'10.9"	42°24'02.0"	UTC Não Regularizada	PMSB Córrego Novo
MG	Dionísio	19°50'57.78"	42°44'40.26"	UTC Regularizada	Planilha Prefeitura Rio Doce
MG	Fernandes Tourinho	19°09'23.2"	42°04'34.6"	Lixão	PMSB Fernandes Tourinho
MG	Galiléia	19°00'08.2"	41°31'43.2"	Lixão	PMSB Galiléia
MG	Iapu	19°26'29.30"	42°13'3.91"	Aterro Controlado	PMSB Iapu
MG	Mariana	20°18'57.64"	43°26'40.18"	Aterro Sanitário	PMSB Mariana
MG	Periquito	19°06'52.7"	42°12'15.4"	UTC Não Regularizada	PMSB Periquito
MG	Pingo d'Água	19°43'59.6"	42°24'53.3"	UTC Regularizada	PMSB Pingo d'Água
MG	Ponte Nova	20°24'11.14"	42°56'12.35"	Lixão	Planilha Prefeitura Rio Doce
MG	Raul Soares	20°2'1.30"	42°25'56.10"	UTC Regularizada	Planilha Prefeitura Rio Doce
MG	Resplendor	19°21'03.2"	41°12'30.2"	Aterro Sanitário	Relatório Coppetec
MG	Rio Casca	20°14'18.29"	42°36'7.51"	Aterro Controlado	Secretário Meio Ambiente de Rio Casca
MG	Rio Doce	20°12'57.05"	42°55'3.49"	UTC Regularizada	Planilha Prefeitura Rio Doce
MG	Santa Cruz do Escalvado	20°15'12.82"	42°48'36.30"	UTC Regularizada	Planilha Prefeitura Rio Doce
MG	Santana do Paraíso	19°26'30"	42°30'37"	Aterro Sanitário	PMSB Timóteo
MG	São Domingos do Prata	19°51'31.30"	42°56'52.60"	UTC Regularizada	Planilha Prefeitura Rio Doce
MG	São José do Goiabal	19°56'20.67"	42°42'21.26"	UTC Regularizada	Planilha Prefeitura Rio Doce
MG	São Pedro dos Ferros	20°11'13.80"	42°30'26.60"	Aterro Controlado	Planilha Prefeitura Rio Doce
MG	Sem-Peixe	20°6'49.76"	42°51'20.07"	Lixão	Planilha Prefeitura Rio Doce
MG	Sobralia	19°13'28.20"	42°05'55.70"	UTC Não Regularizada	PMSB Sobralia
MG	Tumiritinga	18°59'13.0"	41°39'45.3"	Lixão	PMSB Tumiritinga
ES	Baixo Guandu	19°31'35.5"	40°59'38.4"	Aterro Controlado	PMSBGIRS Baixo Guandu
ES	Colatina	19°29'41.1"	40°38'30.9"	Aterro Sanitário	PMSBGIRS Colatina

A Figura 60 mostra a localização dos aterros sanitários, aterros controlados, lixões e UTC's nos municípios estudados, conforme coordenadas apresentadas na Tabela 54.

Figura 60 - Localização dos aterros sanitários, aterros controlados, lixões e UTC's nos municípios



Observa-se que os aterros controlados de Barra Longa (1.703m) e Baixo Guandu (1.994m) e os lixões de Tumiritinga (2.232m) e Galiléia (1.460m) estão localizados relativamente próximos à área de passagem e deposição da lama conforme Tabela 54, a qual mostra as distâncias estimadas em relação à APDL, a partir das coordenadas de localização.

Em Tumiritinga são coletadas 4,33 toneladas por dia de resíduos e não há coleta seletiva. Em Galiléia são coletadas 3,14 toneladas/dia e não há sistema de coleta seletiva.

O local de destinação final de resíduos de Resplendor também se encontra próximo à área da lama (638m), porém se trata de um aterro sanitário.

Tabela 54 - Distâncias estimadas em relação à área de passagem e deposição da lama, a partir das coordenadas de localização.

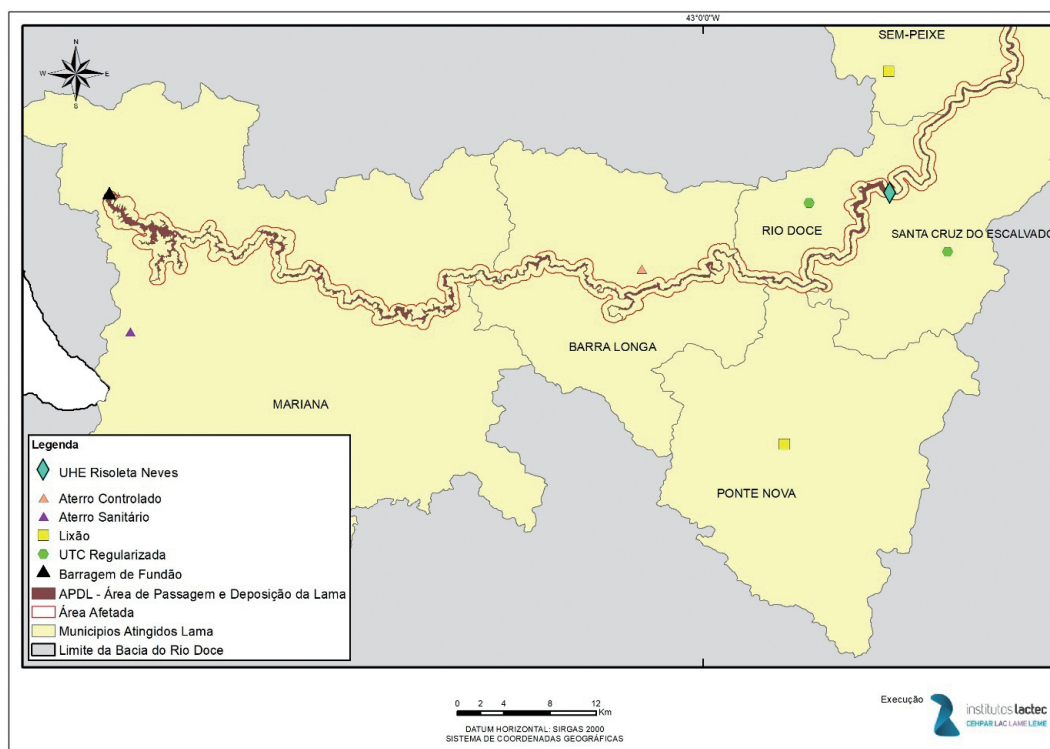
UF	Município	Distância (metros)
MG	Aimorés	2.042
MG	Alpercata	5.567
MG	Barra Longa	1.703
MG	Bom Jesus do Galho	20.155
MG	Bugre	16.858
MG	Caratinga	30.052
MG	Conselheiro Pena	4.495
MG	Córrego Novo	10.322
MG	Dionísio	14.230
MG	Fernandes Tourinho	10.488

UF	Município	Distância (metros)
MG	Galiléia	1.460
MG	Iapu	20.154
MG	Mariana	8.916
MG	Periquito	2.542
MG	Pingo d'água	6.708
MG	Ponte Nova	13.578
MG	Raul Soares	20.416
MG	Resplendor	638
MG	Rio Casca	21.028
MG	Rio Doce	3.754
MG	Santa Cruz do Escalvado	6.157
MG	Santana do Paraíso	4.576
MG	São Domingos do Prata	26.932
MG	São José do Goiabal	5.719
MG	São Pedro dos Ferros	26.713
MG	Sem-Peixe	5.667
MG	Sobralia	13.830
MG	Tumiritinga	2.232
ES	Baixo Guandu	1.994
ES	Colatina	3.641

Com o objetivo de identificar se houve danos em locais de destinação final de resíduos (aterros/lixões) existentes na APDL foi analisado trecho compreendido entre a barragem de Fundão e a UHE Risoleta Neves.

A Figura 61 apresenta a localização dos aterros, lixões e UTC's no trecho de interesse e nele se pode verificar que o aterro sanitário de Barra Longa se encontra a uma distância de 1.703 m do caminho da lama.

Figura 61 - Localização dos aterros, lixões e UTC's no trecho compreendido entre a barragem de Fundão e a UHE Risoleta Neves.



Na área de estudo foram identificados 6 aterros sanitários, 6 aterros controlados, 8 lixões, 8 UTC's regularizadas e 3 UTC's não regularizadas. Embora as quantidades de RSU geradas pelos municípios de Tumiritinga e Galiléia sejam baixas, o fato desses RSU serem encaminhados para lixões e esses estarem próximos do caminho da lama enseja investigação posterior, bem como o aterro controlado do município de Barra Longa e o aterro sanitário do município de Resplendor.

4.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce: relatório executivo**. Brasília. 2013.
- _____. **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água**. Brasília: ANA, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>>. Acesso em: 13 ago. 2018.
- _____. **Encarte Especial Sobre a Bacia do Rio Doce: Rompimento da Barragem em Mariana MG**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF: ANA, 2016.
- ALPERCATA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Alpercata - MG**. Alpercata: 2016. 334 p. Disponível em: <<http://www.pmsbfunec.com.br/Produtos/Caratinga/Alpercata/P8.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2018.
- AMBIPLAN Engenharia Ambiental. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Ponte Nova – MG: Versão Final**. Ponte Nova, 2014. 492 p. Disponível em: <https://sapl.pontenova.mg.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2016/2186/2186_texto_integral.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/normas/ABNT_NBR_n_10004_2004.pdf>. Acesso em: 06 de ago. 2018.

- _____. **NBR 13591**: Compostagem. Rio de Janeiro, 1996.
- _____. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários urbanos. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. **NBR 8849**: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 1985.
- ÁVILA, J.L., MONTE-MÓR, R. Urbanização e Impactos Ambientais: Uma análise da relação entre as características dos espaços urbanos e a poluição hídrica na região do médio Rio Doce (MG). **Anais do VII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Economia Ecológica (ECOECO), 2007.
- BAIXO GUANDU. Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Saneamento Básico e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Baixo Guandu**. 2016. Disponível em: <<http://condoeste.es.gov.br/adm/ckfinder/userfiles/files/Plano%20Municipal%20de%20Saneamento%20B%C3%A1sico%20de%20Baixo%20Guandu.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- BARRA LONGA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Barra Longa - MG**. Barra Longa: 2015. 364 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2014/04/01IBIO08_Barra_Longa.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2018.
- BELO ORIENTE. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Belo Oriente - MG**. Belo Oriente: 2018. 1089 p. Disponível em: <http://www.beloorientemg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Plano_Municipal_de_Saneamento_Basico_de_Belo_Orientemg_PMSB?cdLocal=2&arquivo=%7b58BA53EE-DB8C-6E0E-D4AA-ECA33E6EA32C%7d.pdf#search=Relat%C3%B3rio%20Final%20Preliminar>. Acesso em: 17 mai. 2018.
- BOM JESUS DO GALHO. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Bom Jesus do Galho – MG – Volume 1**. Bom Jesus do Galho: 2016. 274 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2015/07/P8_R1_Bom-Jesus-do-Galho_Volume-1.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2018.
- BOM JESUS DO GALHO. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Bom Jesus do Galho – MG – Volume 2**. Bom Jesus do Galho: 2016. 386 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2015/07/P8_R1_Bom-Jesus-do-Galho_Volume-2.pdf>. Acesso em 20. mar. 2018.
- BRAGA, B. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Editora Prentice Hall, 240 p., 2002.
- BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 3 set. 2018.
- _____. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, 2010. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 19 mar. 2018.
- _____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 4. ed. Brasília: Funasa, 2015. 642 p.
- _____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014. 112 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2018.
- _____. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>. Acesso em: 08 ago. 2018.
- _____. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 08 ago. 2018.

- _____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p. Série B. Textos Básicos de Saúde. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf> Acesso em: 13 ago.2018.
- _____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos** – 2015. Brasília, 2017.
- _____. **PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS - Versão Preliminar para Consulta Pública**. Brasília. 2011.
- BUGRE. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Bugre - MG**. Burgre: 2016. 350 p. Disponível em: <<http://www.pmsbfunec.com.br/Produtos/Caratinga/Bugre/P8.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2018.
- CARATINGA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Caratinga – MG**. Caratinga: 2016. 528 p. Disponível em: <<http://www.pmsbfunec.com.br/Produtos/Caratinga/Caratinga/P8.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2018.
- COLATINA. Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Saneamento Básico e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Colatina**. 2015. Disponível em: <http://www.colatina.es.gov.br/sanear/PMSB/produto/plano_municipal_de_saneamento_basico_e_gestao_integrada_de_residuos_solidos_de_colatina.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2018.
- _____. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Colatina**. Colatina: 2016. 292 p. Disponível em: <<http://www.lagesa.ufes.br/sites/lagesa.ufes.br/files/field/anexo/Plano%20Municipal%20de%20Saneamento%20B%C3%A1sico%20de%20Colatina.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2018.
- CONSELHEIRO PENA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Conselheiro Pena – MG**. Conselheiro Pena: 2016. 393 p. Disponível em: <http://www.pmsbfunec.com.br/Produtos/Caratinga/Conselheiro_Pena/P8.pdf> Acesso em: 20 mar. 2018.
- CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). **Deliberação Normativa nº. 90, de 15 de setembro de 2015**. Dispõe sobre a declaração de informações relativas às diversas fases de gerenciamento dos resíduos sólidos industriais no Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5181>>. Acesso em: 16 maio 2018.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº. 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2002_307.pdf>. Acesso em: 21 jun.2018.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº. 358, de 29 de abril de 2005**. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35805.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2018.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº. 469, de 29 de julho de 2015**. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002 que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2002_307.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2018.
- 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: 06 ago. 2018
- COPPETEC. **Avaliação dos impactos da ruptura da barragem de rejeitos de fundão em Mariana nove meses após o desastre**. Rio de Janeiro, 2017.
- CÓRREGO NOVO. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Córrego Novo – MG Volume 1**. Córrego Novo: 2018. 346 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2017/02/P8_R1_V1_C%C3%B3rrego-Novo.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2018.

- CÓRREGO NOVO. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Córrego Novo – MG Volume 2.** Córrego Novo: 2018. 431 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2017/02/P8_R1_V2_C%C3%B3rrego-Novo.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2018.
- DANTAS, F.v.A.; LEONETI, A.B.; OLIVEIRA, S.V.W.B.; OLIVEIRA, M.M.B. Uma análise da situação do Saneamento no Brasil. **FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão**, v.15, n.3, p. 272-284, 2012.
- ENGECORPS. Produto 3 – Diagnóstico Técnico-Participativo dos Serviços de Saneamento Básico. Município: Marliéria. IBIO, 2016. 108 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiracicabamg.org.br/marlieria>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- ENGECORPS. Produto 3 – Diagnóstico Técnico-Participativo dos Serviços de Saneamento Básico. Município: Mariana. IBIO, 2014. 258 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiranga.org.br/mariana>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- ENGECORPS. Produto 8 – Proposta de Plano Municipal de Saneamento Básico. Município: Ipatinga. Volume I. Ipatinga: IBIO, 2016. 222 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiracicabamg.org.br/ipatinga>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- ENGECORPS. Produto 8 – Proposta de Plano Municipal de Saneamento Básico. Município: Timóteo. Volume I. Timóteo: IBIO, 2016. 242 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiracicabamg.org.br/timoteo>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (FEAM). **Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração (Ano Base 2015).** Belo Horizonte, 2016
- _____. **Inventário de Resíduos Sólidos Industriais (Ano Base 2015).** Belo Horizonte, 2016.
- _____. **Panorama da destinação dos resíduos de serviços de saúde no estado de Minas Gerais com base nas declarações da gestão dos resíduos de serviços de saúde (ano base 2013).** Belo Horizonte, 2016.
- _____. **Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais em 2015.** Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Pedro_Aguiar9/publication/306009399_Panorama_Residuos_2015_MG/links/57a9dc3f08ae0932c96e3e84/Panorama-Residuos-2015-MG.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2018.
- FERNANDES TOURINHO. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Fernandes Tourinho – MG.** Fernandes Tourinho: 2016. 369 p. Disponível em: <http://www.pmsbfunec.com.br/Produtos/Caratinga/Fernandes_Tourinho/P8.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2018.
- FUNASA, 2013. Funasa inaugura Estação de Tratamento de Água em Conselheiro Pena (MG). Disponível em: <https://jornalbrasil.com.br/noticia/funasa-inaugura-estacao-de-tratamento-de-agua-em-conselheiro-pena-mg.html>. Acesso em 01 set. 2018.
- FUNASA. **Manual de Saneamento / Ministério da Saúde.** Brasília:Fundação Nacional de Saúde, 648 p., 2015.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Diagnóstico da gestão, gerenciamento e destinação final dos resíduos de serviços de saúde no Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte, 2017.
- FUNEC. Fundação Educacional de Caratinga. Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município de Alpercata – MG: Relatório Final e Proposição da Minuta de Lei do PMSB. Alpercata: IBIO, 2016. 314 p. Disponível em: <<http://www.cbhcaratinga.org.br/alpercata>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- FUNEC. Fundação Educacional de Caratinga. Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município de Bugre – MG: Relatório Final e Proposição da Minuta de Lei do PMSB. Bugre: IBIO, 2016. 350 p. Disponível em: <<http://www.cbhcaratinga.org.br/bugre-2>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- FUNEC. Fundação Educacional de Caratinga. Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município de Caratinga – MG: Diagnóstico Técnico Participativo dos Serviços de Saneamento Básico. Caratinga: IBIO, 2015. 705 p. Disponível em: <<http://www.cbhcaratinga.org.br/caratinga>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- FUNEC. Fundação Educacional de Caratinga. Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município de Conselheiro Pena – MG: Diagnóstico Técnico Participativo dos Serviços de Saneamento Básico.

- Conselheiro Pena: IBIO, 2015. 523 p. Disponível em: <<http://www.cbhcaratinga.org.br/conselho-pena>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- FUNEC. Fundação Educacional de Caratinga. Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município de Fernandes Tourinho – MG: Diagnóstico Técnico Participativo dos Serviços de Saneamento Básico. Fernandes Tourinho: IBIO, 2015. 335 p. Disponível em: <<http://www.cbhcaratinga.org.br/fernandes-tourinho>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- FUNEC. Fundação Educacional de Caratinga. Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município de Galiléia – MG: Relatório Final e Proposição da Minuta de Lei do PMSB. Galiléia: IBIO, 2016. 371 p. Disponível em: <<http://www.cbhsuacui.org.br/galileia>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- FUNEC. Fundação Educacional de Caratinga. Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município de Iapu – MG: Relatório Final e Proposição da Minuta de Lei do PMSB. Iapu: IBIO, 2016. 337 p. Disponível em: <<http://www.cbhcaratinga.org.br/iapu-2>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- FUNEC. Fundação Educacional de Caratinga. Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município de Ipaba – MG: Produto 3 – Diagnóstico Técnico-Participativo dos Serviços de Saneamento Básico. Ipaba: IBIO, 2016. 269 p. Disponível em: <<http://www.cbhcaratinga.org.br/ipaba>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- FUNEC. Fundação Educacional de Caratinga. Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município de Periquito – MG: Relatório Final e Proposição da Minuta de Lei do PMSB. Periquito: IBIO, 2016. 350 p. Disponível em: <<http://www.cbhsuacui.org.br/periquito>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- FUNEC. Fundação Educacional de Caratinga. Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município de Sobralia – MG: Relatório Final e Proposição da Minuta de Lei do PMSB. Sobralia: IBIO, 2016. 369 p. Disponível em: <<http://www.cbhcaratinga.org.br/sobralia-2>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- FUNEC. Fundação Educacional de Caratinga. Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município de Tumiritinga – MG: Relatório Final e Proposição da Minuta de Lei do PMSB. Tumiritinga: IBIO, 2016. 375 p. Disponível em: <<http://www.cbhcaratinga.org.br/tumiritinga>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- GALILÉIA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Galiléia – MG**. Galiléia: 2016. 371 p. Disponível em: <<http://www.pmsbfunec.com.br/Produtos/Suacui/Galileia/P8.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2018.
- GOVERNADOR VALADARES. **Prefeitura Municipal. Plano Municipal de Saneamento Básico - Produto 2 - Diagnóstico da Situação da Prestação dos Serviços de Saneamento Básico - Sistemas de Esgotamento**. 2015. Disponível em: <<http://www.saaegv.com.br/detalhe-da-materia/info/plano-municipal-de-saneamento-basico/6549>>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- IAPU. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Iapu**. Iapu: 2016. 337 p. Disponível em: <<http://www.pmsbfunec.com.br/Produtos/Caratinga/Iapu/P8.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2018.
- INSTITUTO BIOATLÂNTICA – IBIO. **ATLAS Brasil: Abastecimento Urbano de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Doce: Relatório Final** / Instituto BioAtlântica – IBIO AGB – DOCE; ENGECORPS ENGENHARIA S.A. – Governador Valadares: IBIO: Engecorps, 2018. 5v.: il. Disponível em: <http://www.ibioagbdoce.org.br/atualizacao-atlas-brasil/> Acesso em: 13 ago. 2108.
- INSTITUTO BioAtlântica (IBIO-ABG DOCE); COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRACICABA (CBEH-PIRACICABA). **Elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do Município de Ipatinga**: Produto 3 - Diagnóstico Técnico Participativo dos Serviços de Saneamento Básico. 2015. Disponível em: <<http://planodesaneamento.ipatinga.mg.gov.br/>>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas de População para 1º de julho de 2015**. Disponível em <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_tcu.shtm>. Acesso em 14 ago. 2018.
- _____. **Cidades**. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 3 set. 2018.
- _____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro. 2008. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamentobasico.html?=&t=destaques>>. Acesso em: 3 set. 2018

- _____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Laudos técnicos preliminares**. Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Ibama: nov. 2015. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2018.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **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 - Volume I. Belo Horizonte, 2010b.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. **Principais estatísticas no Brasil – Água**. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/agua>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- IPABA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Ipaba**. Ipaba: 2018. 365 p. Disponível em: <http://www.cbhcaratinga.org.br/wp-content/uploads/2017/03/P8_R1_V1_Ipaba.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2018.
- IPABA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Ipaba**. Ipaba: 2018. 430 p. Disponível em: <http://www.cbhcaratinga.org.br/wp-content/uploads/2017/03/P8_R1_V2_Ipaba.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2018.
- IPATINGA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Ipatinga**. Ipatinga: 2016. 222 p. Disponível em: <http://www.cbhpiracicabamg.org.br/wp-content/uploads/2015/06/1284-IBA-00-SA-RT-0008-R2_Tomo_I.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2018.
- ITUETA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Itueta**. Itueta: 2016. 266 p. Disponível em: <http://www.cbhmanhuacu.org.br/wp-content/uploads/2015/07/P8_R1_Itueta_Volume-1.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2018.
- ITUETA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Itueta**. Itueta: 2016. 330 p. Disponível em: <http://www.cbhmanhuacu.org.br/wp-content/uploads/2015/07/P8_R1_Itueta_Volume-2.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2018.
- JORDÃO, C.P., PEREIRA, M.G., MATOS, A.T., PEREIRA, J.L. Influence of domestic and industrial waste discharges on water quality at Minas Gerais State, Brazil. **J. Braz. Chem. Soc.** v.16, p. 241-250, 2005.
- LINHARES. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: Periquito**. Linhares: 2015. 168 p. Disponível em: <http://www.linhares.es.gov.br/AudienciaPublica/Download/20150504_PMGIRS_Linhares.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2018.
- LINHARES. **Prefeitura Municipal de Linhares**. Portal da Prefeitura Municipal. Disponível em: <http://www.linhares.es.gov.br/Noticias/Noticias.aspx?id=6152>. Acesso em: 01 set. 2018.
- LUZ, S. **Informações sobre resíduos sólidos** [Mensagem de Trabalho]. Mensagem recebida por: <leonardo.bastos@lactec.org.br>. 18 jun. 2018.
- MARIANA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Mariana**. Mariana: 2014. 357 p. Disponível em: <<http://giaia.eco.br/wp-content/uploads/2015/11/produto-8-relatorio-final-do-pmsb-de-mariana.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2018.
- MARILÂNDIA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Marilândia**. Marilândia: 2016. 249 p. Disponível em: <<http://www.lagesa.ufes.br/sites/lagesa.ufes.br/files/field/anexo/Plano%20Municipal%20de%20Saneamento%20B%C3%A1sico%20de%20Maril%C3%A2ndia.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2018.
- MARLIÉRIA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Marliéria**. Marliéria: 2016. 295 p. Disponível em: <http://www.cbhpiracicabamg.org.br/wp-content/uploads/2014/04/1246-IBA-04-SA-RT-0008-R4_Marlieria.pdf>. Acesso em: 10 abril 2018.
- MATOS, C.A.S. **Diagnóstico da gestão, gerenciamento e destinação final dos resíduos de serviço de saúde no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte. 2017.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 45.825**, de 20 de março de 2011. Contém o estatuto da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. Publicado na Imprensa Oficial de Minas Gerais - Diário do Executivo, de 21 de dezembro de 2011. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/institucional/decreto%2045825.pdf>>. Acesso em: 2. abr. 2018

_____. Deliberação Normativa nº 118, de 27 de junho de 2008. **Diário do Executivo – “Minas Gerais”**, Belo horizonte, MG.

_____. **Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009**. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos. Publicada na Imprensa Oficial de Minas Gerais – Diário Executivo, em 13 de janeiro de 2011. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9272>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

_____. **Lei nº 21.972**, de 21 de janeiro de 2016. Dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Sisema – e dá outras providências. Publicado na Imprensa Oficial de Minas Gerais – Diário do Executivo, em 22 de janeiro de 2016. Disponível em: <<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=LEI&num=21972&comp=&ano=2016>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Planos Estaduais de Resíduos Sólidos**. Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/instrumentos-da-politica-de-residuos/item/10611>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

MOREIRA, A. **Resíduos Sólidos** [Mensagem de Trabalho]. Mensagem recebida por: <camila.moreira@lactec.org.br>. 20 mar. 2018.

ONU. Organização das Nações Unidas – ONU Água. 2010. **UN-Water Statement on Water Quality - World Water Day, March 22, 2010**. Disponível em: <https://www.pacinst.org/reports/water_quality/UN_Water_Statement.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2018.

PARREIRAS, M. **Na Bacia do Rio Doce, 54 estações para tratar esgoto não saíram do papel**. Disponível em <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2018/02/18/interna_gerais,938451/no-rio-do-doce-54-estacoes-para-tratar-esgoto-nao-sairam-do-papel.shtml>. Acesso em: 2 ago. 2018.

PERIQUITO. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Periquito**. Periquito: 2016. 350 p. Disponível em <<http://www.pmsbfunec.com.br/Produtos/Suacui/Periquito/P8.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

PINGO D'ÁGUA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Pingo d'Água – Volume 1**. Pingo d'Água: 2018. 322 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2017/02/P8_R1_V1_Pingo-D%C3%81gua.pdf>. Acesso em: 26 abril 2018.

PINGO D'ÁGUA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Pingo d'Água – Volume 2**. Pingo d'Água: 2018. 426 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2017/02/P8_R1_V2_Pingo-DÁgua.pdf>. Acesso em: 26 abril 2018.

PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (PIRH Doce). **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 – Volume 1 – Relatório Final**. 2010. Disponível em: <<http://www.cbhdoce.org.br/pirh-parh-pap/pirh>>. Acesso em: 3 set. 2018.

PONTE NOVA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Ponte Nova**. Ponte Nova: 2014. 493 p. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0BxYbzN9zn-vueEs3X3N0amQta2M/view>>. Acesso em: 28 abri. 2018.

PRICEWATERHOUSECOOPERS SERVIÇOS PROFISSIONAIS LTDA. **Três anos após a regulamentação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): seus gargalos e superações**. São Paulo. 2014.

RAUL SOARES. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Raul Soares – MG**. Raul Soares: 2015. 300 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2014/04/02IBIO08_Raul_Soares.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2018.

RESPLENDOR. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Resplendor – Volume 1**. Resplendor: 2016. 276 p. Disponível em: <http://www.cbhmanhuacu.org.br/wp-content/uploads/2015/07/P8_R1_Resplendor_Volume-1.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2018.

- RESPLENDOR. Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Saneamento Básico**: Documento Técnico, Volume 2 - Caracterização Geral e Planejamento Estratégico do Saneamento Básico Municipal. 2016. Disponível em: <http://www.resplendor.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Volume_2__Caracterizacao_Geral_e_Planejamento_Estrategico__do_Saneamento_Basico_Municipal_?cdLocal=2&arquivo=%7B65E778CC-E03E-D37E-D8ED-DCC4DEBCDDC0%7D.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- RIO CASCA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Rio Casca – MG**. Rio Casca: 2014. 219 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2014/04/03IBIO08_Rio_Casca.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2018.
- RIO DOCE. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Rio Doce - MG**. Rio Doce: 2014. 198 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2014/04/01IBIO08_Rio_Doce.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2018.
- SANTA CRUZ DO ESCALVADO. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Santa Cruz do Escalvado**. Santa Cruz do Escalvado: 2015. 272 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2015/07/P8_R1_Santa-Cruz-do-Escalvado_Volume-11.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2018.
- SANTA CRUZ DO ESCALVADO. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Santa Cruz do Escalvado**. Santa Cruz do Escalvado: 2015. 333 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2015/07/P8_R1_Santa-Cruz-do-Escalvado_Volume-21.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2018.
- SÃO JOSÉ DO GOIABAL. **Plano Municipal de Saneamento Básico: São José do Goiabal – MG**. São José do Goiabal: 2014. 206 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2014/04/02IBIO08_S%C3%A3o_Jos%C3%A9_do_Goiabal.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2018.
- SÃO PEDRO DOS FERROS. **Plano Municipal de Saneamento Básico: São Pedro dos Ferros – MG**. São Pedro dos Ferros: 2014. 201 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2014/04/02IBIO08_Sao_Pedro_dos_Ferros.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2018.
- SEM-PEIXE. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Sem-Peixe – MG**. Sem-Peixe: 2014. 205 p. Disponível em: <http://www.cbhpiranga.org.br/wp-content/uploads/2014/04/01IBIO08_Sem_Peixe.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2018.
- SENHA Engenharia. Plano Municipal de Saneamento Básico de Governador Valadares - MG: Produto 2 Diagnóstico da Situação da Prestação dos Serviços de Saneamento Básico. Governador Valadares: 2015. 219 p. Disponível em: <http://www.valadares.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Diagnostico_caracterizacao_geral_do_municipio?cdLocal=2&arquivo=%7B64DC8181-E112-B640-6A1B-ACE07ED43A42%7D.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO (SAAE) DE LINHARES. **Informações Técnicas - Sistema de Coleta e Tratamento de Esgoto Sanitário de Linhares**. Disponível em: <http://www.saelinhaires.com.br/themes/v1/informacoes_tecnicas.php>. Acesso em: 27 ago. 2018.
- SHS. Consultoria e Projetos de Engenharia. Plano Municipal de Saneamento Básico de Belo Oriente - MG: Relatório Final – Preliminar. Volume 1 – Caracterização Geral do Município e do Saneamento Básico Municipal. Belo Oriente: IBIO, 2018. 506 p. Disponível em: <<http://www.cbhsantoantonio.org.br/belo-orientes>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- SHS. Consultoria e Projetos de Engenharia. Plano Municipal de Saneamento Básico de Córrego Novo - MG: Produto 3 – Diagnóstico Técnico-Participativo dos Serviços de Saneamento Básico. Córrego Novo: IBIO, 2017. 284 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiranga.org.br/corrego-novo>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- SHS. Consultoria e Projetos de Engenharia. Plano Municipal de Saneamento Básico de Pingo D'Água - MG: Produto 3 – Diagnóstico Técnico-Participativo dos Serviços de Saneamento Básico. Pingo D'Água: IBIO, 2017. 260 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiranga.org.br/pingo-dagua>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- SHS. Consultoria e Projetos de Engenharia. Plano Municipal de Saneamento Básico de Bom Jesus do Galho - MG: Volume 2 – Caracterização Geral e Planejamento Estratégico do Saneamento Básico Municipal. Bom Jesus do Galho: IBIO, 2016. 386 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiranga.org.br/bom-jesus-do-galho>>. Acesso em: 17 ago. 2018.

- SHS. Consultoria e Projetos de Engenharia. Plano Municipal de Saneamento Básico de Itueta - MG: Volume 2 – Caracterização Geral e Planejamento Estratégico do Saneamento Básico Municipal. Itueta: IBIO, 2016. 330 p. Disponível em: <<http://www.cbhmanhuacu.org.br/itueta>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- SHS. Consultoria e Projetos de Engenharia. Plano Municipal de Saneamento Básico de Resplendor - MG: Volume 2 – Caracterização Geral e Planejamento Estratégico do Saneamento Básico Municipal. Resplendor: IBIO, 2016. 444 p. Disponível em: <<http://www.cbhmanhuacu.org.br/resplendor>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- SHS. Consultoria e Projetos de Engenharia. Plano Municipal de Saneamento Básico de Santa Cruz de Escalvado - MG: Volume 2 – Caracterização Geral e Planejamento Estratégico do Saneamento Básico Municipal. Santa Cruz de Escalvado Nova: IBIO, 2016. 333 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiranga.org.br/santa-cruz-do-escalvado>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- SNIRH. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. **Usos da Água**. Brasília: Agência Nacional das Águas, 2018. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh/snirh-1/acesso-tematico/usos-da-agua>> Acesso em 18 abr 2018.
- _____. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos: **Atlas Esgoto - Despoluição de Bacias Hidrográficas**. 2017. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>>. Acesso em: 18 jul. 2018.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS (SINIR). Disponível em <<http://www.sinir.gov.br/web/guest/levantamentos-anteriores>>. Acesso em: 1 mar. 2018.
- SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015**. Brasília: Ministério das Cidades, 2016. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/component/content/article?id=140>>. Acesso em: 10 ago.2018.
- SOBRALIA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Sobralia**. Sobralia: 2016. 369 p. Disponível em: <<http://www.pmsbfunec.com.br/Produtos/Caratinga/Sobralia/P8.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2018.
- TIMOTEO. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Timoteo – Volume 1**. Timoteo: 2016. 243 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiracicabamg.org.br/wp-content/uploads/2014/04/PRODUTO-8-%E2%80%93RELAT%C3%93RIO-FINAL-TOMO-I.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2018
- TIMOTEO. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Timoteo – Volume 2**. Timoteo: 2016. 221 p. Disponível em: <http://www.cbhpiracicabamg.org.br/wp-content/uploads/2014/04/1245-IBA-02-SA-RT-0008-R3_Timoteo_Tomoll.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2018.
- TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. São Paulo, 3ª ed. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. XIII. 643 p.
- TUMIRITINGA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Tumiritinga**. Tumiritinga: 2016. 375 p. Disponível em: <http://www.pmsbfunec.com.br/Produtos/Caratinga/Sobralia/P8.pdf>. Acesso em:
- UFES. Universidade Federal do Espírito Santo. Plano Municipal de Saneamento Básico e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Baixo Guandu. Baixo Guandu: CONDOESTE, 2016. 256 p. Disponível em: <<http://lagesa.ufes.br/planos-municipais-de-saneamento-basico-e-gestao-integrada-de-residuos-solidos-e-o-plano-regional-de>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- UFES. Universidade Federal do Espírito Santo. Plano Municipal de Saneamento Básico e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Marilândia. Marilândia: CONDOESTE, 2016. 247 p. Disponível em: <<http://lagesa.ufes.br/planos-municipais-de-saneamento-basico-e-gestao-integrada-de-residuos-solidos-e-o-plano-regional-de>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- UFES. Universidade Federal do Espírito Santo. Plano Municipal de Saneamento Básico e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Colatina. Produto 02: Diagnóstico da Situação do Saneamento Básico. Colatina: CONDOESTE, 2014. 312 p. Disponível em: <<http://www.colatina.es.gov.br/sanear/pmsb.php>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- VALLENGE ENGENHARIA. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Rio Doce - MG**. Produto 8: Relatório Final. 2014. Disponível em: <<http://www.cbhpiranga.org.br/rio-doce>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

- VALLENGE. Plano Municipal de Saneamento Básico Barra Longa – MG: Relatório Final. Barra Longa: IBIO, 2014. 364 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiranga.org.br/barra-longa>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- VALLENGE. Plano Municipal de Saneamento Básico Raul Soares – MG: Relatório Final. Raul Soares: IBIO, 2014. 300 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiranga.org.br/raul-soares>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- VALLENGE. Plano Municipal de Saneamento Básico Rio Casca – MG: Relatório Final. Rio Casca: IBIO, 2014. 219 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiranga.org.br/rio-casca>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- VALLENGE. Plano Municipal de Saneamento Básico Rio Doce – MG: Relatório Final. Rio Doce: IBIO, 2014. 198 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiranga.org.br/rio-doce>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- VALLENGE. Plano Municipal de Saneamento Básico São José do Goiabal – MG: Relatório Final. São José do Goiabal: IBIO, 2014. 206 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiranga.org.br/sao-jose-do-goial>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- VALLENGE. Plano Municipal de Saneamento Básico São Pedro dos Ferros – MG: Relatório Final. São Pedro dos Ferros: IBIO, 2014. 201 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiranga.org.br/sao-pedro-dos-ferros>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- VALLENGE. Plano Municipal de Saneamento Básico Sem Peixe – MG: Relatório Final. Sem Peixe: IBIO, 2014. 205 p. Disponível em: <<http://www.cbhpiranga.org.br/sem-peixe>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos (Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, vol.1)**. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452 p., 2005.
- WANDERLEI, E.B. **Avaliação da macrofauna benthica em áreas com influência de efluentes domésticos tratados no estuário do Rio Ariquindá (Tamandaré - Pernambuco)**. 44 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2015.

5 ECOTOXICOLOGIA

A ecotoxicologia (também denominada toxicologia ambiental) é a ciência que estuda os efeitos tóxicos, qualitativos, quantitativos 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). Trata-se de uma ciência relativamente nova, reconhecida a partir da década de 60, com vistas tanto ao diagnóstico da qualidade ambiental quanto à avaliação e previsão de impactos ambientais decorrentes da poluição (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2008).

A poluição ambiental, especialmente nos ambientes aquáticos, tem aumentado sensivelmente em decorrência do aumento do crescimento industrial e demográfico, os quais contribuem de modo significativo para alterações físicas, químicas e biológicas nesses ambientes (VAN DER OOST; BEYER; VERMEULEN, 2003; MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2008). Tais alterações são decorrentes de descargas diretas de fontes de contaminação, como a deposição de efluentes domésticos, agrícolas, industriais; ou por contaminação indireta, quando os contaminantes presentes no solo são carregados aos rios ou infiltrados em lençóis freáticos ou, ainda, quando estes atingem a atmosfera e retornam à água por meio de processos hidrológicos e atmosféricos (VAN DER OOST; BEYER; VERMEULEN, 2003; PORTZ; WOODLEY; CECH, 2006; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2008). Assim, além de uma variedade de compostos químicos (orgânicos e inorgânicos), o ambiente aquático tem acumulado grande quantidade de matéria orgânica, que juntos são responsáveis pela redução na qualidade da água (VAN DER OOST; BEYER; VERMEULEN, 2003; MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2008).

A qualidade da água é um dos fatores mais importantes para o bem-estar de organismos aquáticos. No entanto, diferentes fontes de contaminação têm, cada vez mais, alterado o ambiente aquático e, conseqüentemente, ameaçado as condições adequadas ao desenvolvimento e sobrevivência destes organismos (SCOTT; SLOMAN, 2004; PORTZ; WOODLEY; CECH, 2006; LÜRLING; SCHEFFER, 2007). Os peixes são os vertebrados mais diversos e abundantes na Terra (NELSON, 2006), e são totalmente dependentes da qualidade da água para sua sobrevivência. Estes estão cada vez mais sujeitos a águas contaminadas ou de baixa qualidade, nos mais variados *habitats* (de água doce, estuarino e marinho) em que se distribuem e, em diferentes estágios do seu ciclo de vida (EVANS, 1987; EVANS; PERMARINI; CHOE, 2005). Devido a essa exposição, abundância, diversidade e ao vasto conhecimento das respostas fisiológicas e bioquímicas desses organismos, os peixes têm sido cada vez mais utilizados como bioindicadores em estudos de avaliação dos efeitos decorrentes da contaminação e da alteração na qualidade da água. Essa relevância se torna ainda maior pelo fato destes interagirem em diversos níveis tróficos da cadeia biológica, apresentando, assim, grande importância ecológica (WENDELAAR BONGA, 1997; VAN DER OOST; BEYER; VERMEULEN, 2003).

Bioindicadores são organismos ou sistemas biológicos que respondem a alterações ambientais através da modificação de suas funções vitais normais e/ou de sua composição química, refletindo, desse modo, a situação ambiental vigente (VAN GESTEL; VAN BRUMMELEN, 1996; WENDELAAR BONGA, 1997; VAN DER OOST; BEYER; VERMEULEN, 2003). Essas respostas detectáveis são denominadas biomarcadores, e são manifestadas em vários níveis da organização biológica e utilizadas para indicar exposição, efeito e/ou susceptibilidade de um organismo ao fator estressor. Os biomarcadores são classificados em moleculares, genéticos, bioquímicos, fisiológicos, comportamentais ou estruturais e

são quantificados em tecidos e fluidos corpóreos do organismo (VAN GESTEL; VAN BRUMMELEN, 1996; WENDELAAR BONGA, 1997; VAN DER OOST; BEYER; VERMEULEN, 2003; MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2008).

Os biomarcadores fornecem informações biológicas da exposição dos organismos a contaminantes ambientais, mesmo que a baixas concentrações e por curto período de tempo, ou diante da complexidade causada pela interação de agentes e/ou fatores estressores em um determinado ambiente. Assim, a capacidade estressora ou a toxicidade de um determinado composto pode ser determinada de acordo com as disfunções causadas por este ao organismo ou às suas funções celulares. Desse modo, servem satisfatoriamente como indicadores de alterações subletais manifestadas em diferentes níveis da organização biológica, permitindo uma melhor compreensão sobre os efeitos da poluição sobre o animal, sobre a condição do ambiente, bem como, antecipando efeitos subsequentes sobre as populações e comunidades dos ecossistemas impactados. Sendo assim, e em conjunto com a avaliação química da qualidade da água e do sedimento (que identificam e quantificam as substâncias presentes em amostras ambientais), as análises ecotoxicológicas, através da avaliação de diferentes biomarcadores, são considerados indispensáveis para a avaliação da poluição hídrica, tornando-se um importante instrumento não só para a avaliação da qualidade da água, mas, também, para o entendimento da dinâmica do sistema e para escolhas de medidas de manejo e recuperação e/ou previsão do impacto ambiental em um determinado ecossistema (VAN GESTEL; VAN BRUMMELEN, 1996; WENDELAAR BONGA, 1997; VAN DER OOST; BEYER; VERMEULEN, 2003; MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008; ZAGATTO; BERTOLETTI, 2008).

5.1 METAIS E HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO – OS POLUENTES ESTUDADOS PELA ECOTOXICOLOGIA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

Apesar das diferentes fontes de poluição existentes na região estudada, conforme os capítulos anteriores, os metais (ANDRADE, 2003; RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; VAREJÃO, 2008; ARANTES et al., 2009; MORAIS, 2009; ANDRADE et al., 2010; RHODES, 2010; SILVA, 2010; RODRIGUES et al., 2014; LIMA, 2016) e os hidrocarbonetos de petróleo (SOUZA, 2007; LIMA, 2008) foram os únicos poluentes para os quais foram encontrados estudos ecotoxicológicos, muito provavelmente, devido à elevada potencialidade tóxica e capacidade de acumulação destes ou de seus metabólitos, respectivamente.

Metais são encontrados normalmente em baixas concentrações no ambiente aquático (GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; SOUZA et al., 2015; LIMA, 2016), especialmente na bacia hidrográfica do rio Doce, a qual está inserida em uma região reconhecidamente rica em minérios (RAMOS, 2005; RHODES, 2010; SILVA, 2010; RODRIGUES et al., 2014; LIMA, 2016). No entanto, as diferentes atividades antropogênicas, principalmente as atividades industriais e de mineração, têm contribuído significativamente para aumentar as concentrações desses contaminantes (JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; VAREJÃO, 2008; RHODES, 2010; SILVA, 2010; SILVA, 2010; RODRIGUES et al., 2014; SARMIENTO et al., 2011; SALES, 2013; SOUZA et al., 2015), assim como vem sendo evidenciado na bacia hidrográfica do rio Doce (ANDRADE, 2003;

RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; VAREJÃO, 2008; ARANTES et al., 2009; MORAIS, 2009; ANDRADE et al., 2010; RHODES, 2010; SILVA, 2010; RODRIGUES et al., 2014; LIMA, 2016).

A denominação metal-traço, ou mais popularmente metais pesados, é dada para elementos persistentes no meio, ou seja, elementos que não se degradam facilmente e que permanecem por longo período de tempo no ambiente. Estão inseridos nessa denominação elementos como o arsênio, alumínio, cádmio, chumbo, mercúrio, cromo, níquel e urânio. No entanto, metais essenciais (ou seja, importantes para a fisiologia e como constituintes de organismos vivos) como cobalto, cobre, manganês, selênio, ferro e zinco também podem ser considerados como metais-traço, uma vez que, em elevadas concentrações, podem causar toxicidade aos organismos (ANDRADE, 2003; JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; SOUZA, 2007; VAREJÃO, 2008; MORAIS, 2009; SILVA, 2010; SALES, 2013).

Ao adentrarem o ambiente aquático, os metais passam por diferentes transformações químicas, especialmente a complexação destes com outros elementos e substâncias presentes na coluna d'água. Materiais particulados em suspensão são importantes meios de transporte de metais pesados em ecossistemas aquáticos. Porém, quando ocorre redução na velocidade da corrente de água, o material em suspensão é gradualmente depositado, sendo os sedimentos o destino final desses elementos (FÖRSTNER; WITTMANN, 1981; CHAPMAN et al., 1996; GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; SOUZA, 2007; VAREJÃO, 2008; RHODES, 2010; SILVA, 2010; SARMIENTO et al., 2011; SALES, 2013; SOUZA et al., 2015). Ao serem incorporados aos sedimentos, os metais tornam-se menos biodisponíveis, ou seja, quando em fase aquosa os metais são mais facilmente absorvidos pelos organismos. No entanto, é válido ressaltar que o sedimento é um compartimento ativo, que não somente acumula esses elementos, mas também tem papel fundamental na reposição, redistribuição e biodisponibilização destes para a coluna d'água e, conseqüentemente, à biota aquática (BEVILACQUA, 1996; GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; VAREJÃO, 2008; SARMIENTO et al., 2011; SALES, 2013; SOUZA et al., 2015), atuando como fonte potencial de poluição difusa no ambiente aquático (SILVA, 2010).

A potencialidade tóxica dos metais sobre a biota aquática é dependente não somente da concentração química total no meio, mas da forma como estão fixados ao sedimento, das condições abióticas do ambiente aquático analisado, do tempo e nível de exposição, da rota (oral, cutânea, branquial) de absorção, da capacidade absorptiva e defesa dos organismos, e também de como a especificidade química do elemento afeta a distribuição do metal no organismo (ANDRADE, 2003; GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; VAREJÃO, 2008; MORAIS, 2009; RHODES, 2010; PEREIRA et al., 2010; SOUZA et al., 2015). Os efeitos agudos desses elementos ocorrem rapidamente, são claramente definidos, geralmente fatais e raramente reversíveis. Os efeitos crônicos ou subletais levam ao comprometimento orgânico-funcional de todo o organismo, com alterações em diferentes funções como, por exemplo, os-morregulatórias, bioquímicas e comportamentais (ANDRADE, 2003; JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; QUEIROZ, 2006; MORAIS, 2009). De modo geral, os chamados metais-traço apresentam elevada toxicidade, uma vez que interferem no funcionamento orgânico de diferentes maneiras, especialmente em reações enzimáticas de todo o organismo. Por possuírem grande afinidade por moléculas que contenham átomos de nitrogênio e enxofre, ligam-se facilmente a proteínas e macromoléculas celulares, bloqueando, deslocando o íon essencial ou alterando a conformação estrutural ativa de biomoléculas (ANDRADE, 2003; JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; QUEIROZ, 2006; MORAIS, 2009).

Além disso, devido à baixa mobilidade apresentada por esses elementos, estes podem ser facilmente acumulados. Ligam-se covalentemente a átomos de carbono em grupos orgânicos, como, por exemplo, o metil ($-\text{CH}_3$) originando compostos organometálicos, que quando neutros tendem a ser lipossolúveis e, portanto, atravessam facilmente as membranas biológicas, atingindo, consequentemente, vários compartimentos orgânicos e interferindo no funcionamento de todo o organismo. Os organismos aquáticos tendem a acumular metais-traço (e outros contaminantes) em seus tecidos, mesmo quando a água possui níveis desses compostos abaixo da concentração máxima tolerada pela legislação (NIENCHESKI et al., 2014). Dessa forma, concentrações aparentemente baixas na coluna d'água e sedimento não indicam ausência de absorção e efeitos destes sobre a biota. Ao serem absorvidos e, consequentemente, acumulados pelos organismos, atingem níveis altamente tóxicos e, até mesmo, fatais. É válido ressaltar que os metais pesados podem atingir altas concentrações na biota devido ao aumento progressivo das concentrações ao longo dos diferentes níveis da cadeia trófica. Nessa condição, denominada de biomagnificação, organismos que se posicionam no topo da cadeia alimentar apresentariam concentrações mais significativas e tóxicas desses elementos (ANDRADE, 2003; JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; MORAIS, 2009; NIENCHESKI et al., 2014). Desse modo, o conhecimento sobre os efeitos desses elementos tóxicos passa, também, a apresentar relevância à saúde humana, o que justificaria o interesse e as metodologias utilizadas nos estudos realizados, e aqui descritos, na região da bacia hidrográfica do rio Doce.

Hydrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs), por sua vez, são grupos de mais de 100 substâncias orgânicas formados por átomos de carbono e hidrogênio, compostos por dois ou mais anéis aromáticos de cinco ou seis átomos de carbono condensados. São separados em dois subgrupos de acordo com a massa molar ou número de anéis. Apresentam pouca solubilidade em água, mas grande afinidade por fases orgânicas lipofílicas. Desse modo, tendem a se concentrar em sedimentos ou associar-se à matéria orgânica em suspensão, bem como ser absorvidos pelos tecidos biológicos, causando bioacumulação (SOUZA, 2007; LIMA, 2008). Do mesmo modo que os metais pesados, os HPAs também são poluentes persistentes no ambiente, reconhecidamente de potencialidade tóxica, com propriedades carcinogênicas e mutagênicas. Ocorrem em todos os compartimentos ambientais (ar, solo, água, sedimento), onde são introduzidos de forma natural, como, por exemplo, erupções vulcânicas, ou antropogênica através da queima de combustíveis fósseis e de diferentes atividades industriais (VAN DER OOST; BEYER; VERMEULEN, 2003; ZACCARON DA SILVA et al., 2005; KENNEDY; FARRELL, 2005; SOUZA, 2007), estas últimas, muito comuns em toda a bacia hidrográfica do rio Doce. No ambiente aquático, os HPAs são comuns causadores de grandes problemas ambientais, uma vez que causam diversos efeitos subletais ou letais nos diferentes organismos que habitam esses ambientes (VAN DER OOST; BEYER; VERMEULEN, 2003; ZACCARON DA SILVA et al., 2005; KENNEDY; FARRELL, 2005; SOUZA, 2007). A toxicidade desses compostos pode causar danos morfológicos, histopatológicos e genéticos em diversos organismos (KENNEDY; FARRELL, 2005). Esses poluentes inicialmente causam alteração estrutural nas biomoléculas dos organismos aquáticos e, posteriormente, levam à alteração das propriedades funcionais dessas moléculas envolvidas nos processos biológicos (KENNEDY; FARRELL, 2005; AMADO et al., 2006). Nesse sentido, os HPAs conferem sérios riscos de toxicidade que comprometem a qualidade ambiental da área estudada.

5.2 METODOLOGIA

5.2.1 ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO ESTUDO DE LINHA-BASE

A área estabelecida para os levantamentos ecotoxicológicos em água doce incluiu todos os rios que compõem a bacia hidrográfica do rio Doce, com ênfase nos principais rios formadores do rio Doce e, principalmente nos rios atingidos pelo desastre (mais especificamente, rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce). Para a caracterização da área marinha-estuarina, considerou-se toda a área do delta do rio Doce, o qual estende-se sobre os municípios de Conceição da Barra, São Mateus, Jaguaré, Linhares e Aracruz, com extrapolação ao norte – Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, que se encontra na área de Abrolhos, localizada, pela costa, entre as cidades de Prado e Nova Viçosa no extremo sul da Bahia e ao sul até a região de Anchieta. Esta grande extensão considerada para as pesquisas se deve ao restrito número de estudos ecotoxicológicos realizados tanto na bacia hidrográfica quanto na foz do rio Doce.

5.2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento da linha-base de ecotoxicologia foi realizado um extenso levantamento bibliográfico, o qual teve como objetivo compilar estudos de avaliação ecotoxicológica realizados na bacia hidrográfica do rio Doce antes do desastre causado pelo rompimento da barragem de Fundão, em 5 de novembro de 2015, bem como, correlacionar os dados obtidos com as principais fontes de poluição verificadas para a região. Para tanto, foram utilizadas diferentes plataformas de pesquisas científicas nacionais e internacionais, a saber: Science Direct, Web of Science, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Portal periódicos Capes, Google Acadêmico. A busca pelos artigos científicos foi realizada por meio da combinação de diferentes palavras-chave, tanto em inglês quanto em português, tais como: bacia hidrográfica do rio Doce, ecotoxicologia, impacto ambiental, impacto de metais, impactos de agrotóxicos, impactos de hidrocarbonetos, respostas de estresse, respostas fisiológicas, quadrilátero ferrífero, vale do aço, rio Piracicaba, rio do Carmo, rio Piranga, rio Gualaxo do Norte, bioacumulação, toxicologia ambiental, foz do rio Doce, estuário do rio Doce, Regência, lagoas costeiras, lagoas de água doce, lagoa Mãe-Bá, indicadores biológicos, Anchieta, Vitória, Aracruz, entre outros. Adicionalmente, foram utilizadas informações obtidas de *sites* de notícias dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, de relatórios técnicos desenvolvidos na região e de trabalhos acadêmicos (teses, dissertações, trabalhos em congressos) de instituições públicas e privadas dos estados supracitados.

5.3 RESULTADOS DA LINHA-BASE

Os dados de ecotoxicologia aqui apresentados são baseados em levantamento de dados secundários. A maior parte dos estudos foi realizada em trechos específicos de alguns rios da bacia hidrográfica do rio Doce e em situações pontuais e/ou sazonais. As concentrações de alguns elementos foram indicadas pela literatura como fora dos limites estabelecidos pela legislação, tanto para água superficial quanto para sedimentos. No entanto, não foram corroborados, ou seja, considerados como não conformidades, nos resultados obtidos através do compilamento e análise de dados de qualidade de água e sedimento realizados pelos Institutos Lactec, os quais podem ser visualizadas nos referidos

itens do volume “Ambientes Aquáticos Continentais” do presente relatório. Porém, é de extrema importância ressaltar que concentrações aparentemente baixas na coluna d’água e sedimento não indicam ausência de absorção e efeitos destes sobre a biota. Ou seja, mesmo que atendam aos limites estabelecidos pelas legislações ambientais, metais-traço e outros contaminantes, como hidrocarbonetos de petróleo, por exemplo, podem ser acumulados pelos organismos em seus tecidos, alterando a homeostasia destes.

5.3.1 AMBIENTE AQUÁTICO FLUVIAL

Todo o estado de Minas Gerais, em especial a região do Quadrilátero Ferrífero, é caracterizado pelas atividades extrativo-mineral, tendo se destacado desde o final do século XVII como uma das principais regiões produtoras de ouro do Brasil e, posteriormente, como produtor de minério de ferro, manganês e pedras preciosas. As extrações minerais constituem importantes fontes ambientais de metais-traço, entre os quais destacam-se arsênio, chumbo, zinco, cobre, antimônio e prata (GUILHERME et al., 2005; RAMOS, 2005; PALMIERI, 2006; VAREJÃO, 2008; COSTA et al., 2010; RHODES, 2010; SILVA, 2010; RODRIGUES et al., 2014). Além disso, toda a extensão da bacia hidrográfica do rio Doce é caracterizada pela intensa ocupação antrópica, marcada pelo crescimento desordenado, uso inadequado do solo, intensa atividade industrial e minerária, além de uma agropecuária extensiva, o que contribui para que diferentes danos ambientais assolem a região, especialmente com significativo prejuízo às áreas de mananciais, várzeas e rios (ANDRADE, 2003; ALMEIDA et al., 2004; RAMOS, 2005; BRASIL, 2006; ÁVILA; MONTE-MÓR, 2007; GUIMARÃES, 2007; QUEIROZ, 2006; VAREJÃO, 2008; VIOLA, 2008; MORAIS, 2009; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; RHODES, 2010; SILVA, 2010; LIMA E SILVA et al., 2013; CBH-DOCE, 2014; PARREIRAS, 2014a, b; GUEDES et al., 2015; LIMA 2016; QUEIROZ et al., 2017).

Os rios funcionam como canais receptores e transportadores de rejeitos e efluentes na região e, desse modo, refletem o uso das águas e do solo de sua bacia de drenagem (BRASIL, 2006; ÁVILA; MONTE-MÓR, 2007; GUIMARÃES, 2007; VIOLA, 2008; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; COSTA et al., 2010; RHODES, 2010; LIMA E SILVA et al., 2013; CBH-DOCE, 2014). Inúmeras são as substâncias oriundas de atividades antropogênicas na região capazes de alterar a qualidade do ambiente aquático. Além disso, grande parte da poluição hídrica gerada em um determinado ponto tende a seguir o curso dos rios e, assim, afetar outras regiões a jusante (RAMOS, 2005; ÁVILA; MONTE-MÓR, 2007; SOUZA, 2007; VIOLA, 2008; SALES, 2013; RODRIGUES et al., 2014). Assim, por conta das diferentes fontes de contaminação presentes na área de estudo, a qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Doce tem sido considerada como bastante precária em toda sua cobertura geográfica (LIMA E SILVA et al., 2013; PARREIRAS, 2014a, b; GUEDES et al., 2015; LIMA, 2016). O rio Doce já nasce degradado por diferentes fontes de contaminação (PARREIRAS, 2014a), sendo considerado o quinto rio mais poluído do Brasil (JACOB, 2016) e sua bacia apontada como a mais degradada de Minas Gerais (PARREIRAS, 2014a).

Essa classificação é decorrente do fato de a bacia hidrográfica do rio Doce apresentar, em toda a sua extensão, elevadas concentrações de metais, como: arsênio (BORBA et al., 2000; BORBA; FIGUEIREDO; CAVALCANTI, 2004; RAMOS, 2005; PALMIERI, 2006; QUEIROZ, 2006; SOUZA, 2007; VAREJÃO, 2008; ANDRADE et al., 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; COSTA et al., 2010; RHODES, 2010; SILVA, 2010; LIMA E SILVA et al., 2013), ferro (JORDÃO et al., 1996; ANDRADE, 2003;

RAMOS, 2005; SOUZA, 2007; LIMA, 2009; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; SILVA, 2010; RODRIGUES et al., 2014; LIMA, 2016), manganês (JORDÃO et al., 1996; ANDRADE, 2003; RAMOS, 2005; SOUZA, 2007; ANDRADE et al., 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; RHODES, 2010; SILVA, 2010; SILVA, 2010; LIMA, 2016), alumínio (JORDÃO et al., 1996; RAMOS, 2005; BRASIL, 2006; SOUZA, 2007; VIOLA, 2008; ANDRADE et al., 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; RHODES, 2010; LIMA, 2016), cádmio (JORDÃO et al., 1996; BORBA et al., 2000; BRASIL, 2006; VAREJÃO, 2008; LIMA, 2009; ANDRADE et al., 2010; LIMA E SILVA et al., 2013), cobre (BORBA et al., 2000; ANDRADE, 2003; VAREJÃO, 2008; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; RHODES, 2010; SILVA, 2010; LIMA, 2016), níquel (ANDRADE, 2003; VAREJÃO, 2008; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; RHODES, 2010), bário (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; RHODES, 2010; SILVA, 2010), cromo (JORDÃO et al., 1996; ANDRADE, 2003; QUEIROZ, 2006; VAREJÃO, 2008; ANDRADE et al., 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; RHODES, 2010), cobalto (VAREJÃO, 2008; SILVA, 2010), chumbo (JORDÃO et al., 1996; BORBA et al., 2000; ANDRADE, 2003; SOUZA, 2007; VAREJÃO, 2008; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; RHODES, 2010; LIMA, 2016), mercúrio (BRASIL, 2006; PALMIERI, 2006; QUEIROZ, 2006; VAREJÃO, 2008; VEADO et al., 2008; VAREJÃO; BELLATO; FONTES, 2009; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; RHODES, 2010) e zinco (JORDÃO et al., 1996; BORBA et al., 2000; ANDRADE, 2003; BRASIL, 2006; QUEIROZ, 2006; VAREJÃO, 2008; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; RHODES, 2010), além de outros elementos como enxofre (LIMA, 2009), compostos como fosfato (ANDRADE, 2003; SOUZA, 2007; VIOLA, 2008; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; LIMA, 2016), elementos com propriedades radioativas como tório, urânio (QUEIROZ et al., 2017), hidrocarbonetos mono e policíclicos aromáticos (SOUZA, 2007; LIMA, 2008; VIOLA, 2008), sulfetos (PARREIRAS, 2014b; LIMA, 2009; SILVA, 2010) e fenóis e cianetos (BORBA et al., 2000; VIOLA, 2008; ANDRADE et al., 2010; PARREIRAS, 2014a; LIMA, 2016). Muitos desses elementos, especialmente metais, foram encontrados por alguns autores em amostras de água e/ou sedimentos, pelo menos, 20% fora dos limites estabelecidos pela legislação brasileira (VIOLA, 2008; MORAIS, 2009; GUEDES et al., 2015; LIMA, 2016), especialmente nas sub-bacias do rio Suaçuí Grande e do rio Caratinga (DO4 e DO5), seguidas das sub-bacias do rio Piranga e Piracicaba (DO1 e DO2), as quais foram consideradas as mais degradadas (BRASIL, 2006; LIMA, 2016). Na porção capixaba, a porção baixa da bacia, destaca-se a contaminação por metais, óleos e graxas, fenóis e detergentes (BRASIL, 2006).

O rio Piracicaba, que é um dos principais afluentes e formadores do rio Doce, é considerado um dos mais contaminados da bacia. Toda a extensão desse rio é marcada pelo elevado conglomerado urbano e massivo de reflorestamento por monocultura de eucaliptos, além de um conjunto variado e expressivo de indústrias dos mais variados ramos (siderurgia, mineração, celulose), apresentando, desse modo, elevada contaminação por esgoto e efluentes de atividade minerária e de siderurgia, além de assoreamento e carga difusa, preservando apenas 37% de suas condições naturais (JORDÃO et al., 1996; QUEIROZ, 2006; GUIMARÃES, 2007; VIOLA, 2008; MORAIS, 2009; LIMA, 2009; ANDRADE et al., 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; SILVA, 2010; PARREIRAS, 2014b; QUEIROZ et al., 2017). Segundo Moraes (2009), de trinta e cinco indústrias alocadas na bacia do rio Doce, dezenove estão localizadas na sub-bacia do rio Piracicaba e, destas, apenas quatro em conformidade com a legislação no quesito lançamento de efluentes. Assim, nesse rio, vários dos parâmetros de qualidade de água superam, e muito, o estabelecido pelo CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), apresentando, por exemplo, sulfetos (1400%) e manganês (112%) acima da legislação (PARREIRAS, 2014b). Além disso, ocorrem no rio Piracicaba alguns

elementos, dotados de radioatividade, em quantidade muito superior ao esperado para o tipo de formação pedológica local, como o tório e urânio (QUEIROZ et al., 2017). Do mesmo modo que para as amostras de água, em amostras de sedimentos as concentrações de metais-traço também se encontram fora dos limites estabelecidos pela legislação CONAMA nº 354/2012 (BRASIL, 2012), com destaque às elevadas concentrações de arsênio, cádmio, cobre, cromo, níquel, manganês e zinco. Dessa maneira, este é enquadrado como apresentando qualidade ambiental muito baixa (LIMA, 2009; SILVA, 2010).

Do mesmo modo, com alguns parâmetros fora da legislação, estão os rios do Carmo e Piranga, também formadores do rio Doce. O rio do Carmo recebeu resíduos de garimpo de minas de ouro lançados diretamente em sua calha durante anos (RAMOS, 2005; COSTA et al., 2010) apresentando, ainda hoje, elevadas concentrações de arsênio, mercúrio, cádmio, cobre, chumbo e zinco (BORBA et al., 2000; PALMIERI; LEONEL, 2000; BORBA; FIGUEIREDO; CAVALCANTI, 2004; RAMOS, 2005; PALMIERI, 2006; VAREJÃO; BELLATO; FONTES, 2009; COSTA et al., 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; LIMA E SILVA et al., 2013), além de sofrer outros impactos resultantes da exploração do minério de ferro, como degradação do solo, por exemplo (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; SILVA, 2010). Além disso, ribeirões formadores desse rio também apresentam elevadas concentrações de metais e outros elementos, como HPAs, contribuindo para a degradação deste (SOUZA, 2007), o qual foi considerado como fortemente impactado (VIOLA, 2008). O rio Piranga, por sua vez, apresentou, na região denominada de Ponte Nova, 23% de ferro dissolvido e 52% de manganês, acima do estabelecido pelo CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). Quando alcança os municípios de Ipaba e Perpétuo Socorro, o rio Piranga recebe, ainda, efluente das indústrias de celulose, fazendo com que os limites de cianeto também ultrapassem 20% dos limites estabelecidos pela legislação (PARREIRAS, 2014a). Além destes, o rio Gualaxo do Norte também apresentou elevadas concentrações de metais (Al, As, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn e Zr), especialmente ferro (Fe) (RODRIGUES et al., 2014), mercúrio (Hg) e arsênio (As) (RHODES, 2010) e, principalmente, em amostras de sedimentos. No entanto, no período de seca (inverno), as concentrações de Hg na água também ultrapassam, significativamente, o estabelecido pela legislação CONAMA nº 357/2005 (RHODES, 2010).

Com relação à presença e concentrações de HPAs, Lima (2008), em seu estudo nos rios Piracicaba e Doce, verificou a ocorrência, em amostras de água de oito pontos desses rios, de 16 HPAs (naftaleno, acenafteno, acenaftileno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo[a]antraceno, criseno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, benzo[a]pireno, dibenzo[a,h]antraceno, benzo[g,h,i]perileno, indeno[1,2,3,cd]pireno). Todos os HPAs avaliados foram encontrados nas amostras de água dos rios avaliados. Porém, apenas benzo[a]pireno e criseno se encontravam em concentrações acima da permitida pela legislação ambiental e, ainda, somente no período chuvoso (verão) onde, segundo o estudo, as chuvas favorecem a contaminação dos rios, uma vez que trazem consigo materiais particulados da atmosfera e do solo. Do mesmo modo, Souza (2007) identificou a presença de 11 HPAs (naftaleno, acenaftaleno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, criseno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, benzo[a]pireno), em amostras de sedimento do Ribeirão do Funil, formador do rio do Carmo, região de Ouro Preto. Segundo o autor, a existência desses compostos nas amostras avaliadas em concentrações tão elevadas quanto às encontradas corrobora a influência de diferentes ações antrópicas na geração desses elementos, com destaque para as diferentes indústrias existentes na região.

Apesar do histórico de deposição e ocorrência de diferentes compostos na bacia hidrográfica do rio Doce, os quais são potencialmente tóxicos à biota aquática, raros foram os estudos realizados para avaliar a saúde dos organismos aquáticos presentes na área de estudo antes do comprometimento desta pelos rejeitos provenientes do rompimento da barragem de Fundão (JORDÃO et al., 1996; PALMIERI; LEONEL, 2000; ANDRADE, 2003; RAMOS, 2005; PALMIERI, 2006; QUEIROZ, 2006; VEADO et al., 2008; ARANTES et al., 2009; MORAIS, 2009; ANDRADE et al., 2010). Estudos ecotoxicológicos, com a utilização de diferentes biomarcadores e que avaliaram os danos decorrentes da contaminação em diferentes níveis de organização biológica, são inexistentes. Todos os estudos encontrados são químicos, ou seja, determinaram apenas a presença, concentrações e/ou acúmulo de metais pesados em todo o animal ou em tecido específico de peixes da região. Apenas dois desses estudos avaliaram os efeitos de alguns desses metais sobre peixes e, ainda assim, apenas através de análises histopatológicas (ANDRADE, 2003; MORAIS, 2009). Além disso, somente o estudo de Palmieri (2006) avaliou o acúmulo de metais em anfíbios. A grande maioria desses estudos foi realizada, especificamente, no rio Piracicaba, principal formador do rio Doce (JORDÃO et al., 1996; QUEIROZ, 2006; VEADO et al., 2008; ARANTES et al., 2009; MORAIS, 2009; ANDRADE et al., 2010). E, entre esses estudos, a espécie de maior ocorrência foi *Geophagus brasiliensis* (Figura 62; ANDRADE, 2003; RAMOS, 2005; QUEIROZ, 2006; VEADO et al., 2008; ARANTES et al., 2009; MORAIS, 2009; ANDRADE et al., 2010), talvez por sua abundância, mas, certamente, devido ao seu hábito alimentar omnívoro e comportamento territorialista e relativamente sedentário, não migratório (QUEIROZ, 2006; ARANTES, 2009; ANDRADE et al., 2010), os quais favorecem estudos de avaliação de bioacumulação, principal foco das pesquisas realizadas.

Figura 62 – Imagem representativa de um espécime de *Geophagus brasiliensis*.



Fonte: Froese e Pauly (2017).

Jordão et al. (1996) determinaram as concentrações de cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) em *Astyanax* sp., isto é, em organismos inteiros coletados em dois pontos do rio Piracicaba (PT 4 e PT 6) e em um ponto controle, na cidade de Conselheiro Lafaiete. Todos os elementos avaliados nos pontos do rio Piracicaba estavam em concentrações acima do determinado para a mesma espécie em uma área controle. Embora todos os elementos tenham sido encontrados nos espécimes amostrados, apenas as concentrações de Cr e Pb estavam fora do limite máximo estabelecido pelas legislações brasileiras (BRASIL, 1965; ANVISA, 1998; 2013). As concentrações de Cr estavam, inclusive, cerca de 50 vezes acima do permitido para consumo humano. É válido ressaltar que a concentração dos elementos Fe e Mn se apresentaram bastante elevadas no ponto amostral 4, porém, não existem limites máximos estabelecidos pela legislação brasileira para estes elementos (Tabela 55).

Tabela 55 - Concentração de metal (mg. kg⁻¹ peso úmido) em tecido muscular de *Astyanax sp* coletados no rio Piracicaba.

	Concentração de metais (mg.kg ⁻¹)								
	Cd	Cu	Cr	Pb	Fe	Mn	Mo	Ni	Zn
VMP	0,05 ^c – 1 ^{a, b}	30 ^a	0,1 ^a	0,3 ^c – 2 ^b	NL	NL	NL	5 ^a	50 ^a
PT C	ND	0,7	0,3	0,4	67	9	ND	0,1	27
PT 4	0,4±0,1	1,2±0,6	5,0±1,7	3,5±1,3	555±48	57,6±20	0,4±0,1	1,1±0,7	32,5±32
PT 6	0,7±0,1	1,7±0,3	8,4±3,8	4,5±1,4	ND	ND	ND	3,0±0,6	ND

Dados apresentados em média±erro padrão da média. VMP – valores máximos permitidos pela legislação; NL – não legislado; PTC – ponto controle; PT 4 e 6 pontos contaminados; ND – não determinado; *Legislações consideradas para comparação: a) Decreto n. 55871/1965; b) Portaria n. 685/1998; c) Resolução RDC n. 42/2013. Dados em negrito correspondem aos elementos encontrados acima dos limites máximos estabelecidos por uma das três legislações vigentes no Brasil. Adaptado de Jordão et al. (1996).

Palmieri e Leonel (2000) determinaram as concentrações de metilmercúrio (MeHg) em exemplares de peixes *Astyanax sp.*, *Hoplias malabaricus* e *Rhamdia sp.* obtidos no rio do Carmo. A média da concentração de MeHg encontrada para as espécies avaliadas foi: 0,5 µg/g (entre 0,39-0,62 µg/g) para *Astyanax sp.* (lambaris), 0,4 µg/g (0,35 – 0,46 µg/g) para em *H. malabaricus* (traíra) e 0,24 µg/g para *Rhamdia sp.* Segundo os autores, de modo geral, todas as espécies avaliadas apresentavam elevadas concentrações de MeHg, uma vez que o valor máximo permitido pela legislação aplicada para pescado é 0,5 µg/g (BRASIL, 1998; FAO/OMS, 2016).

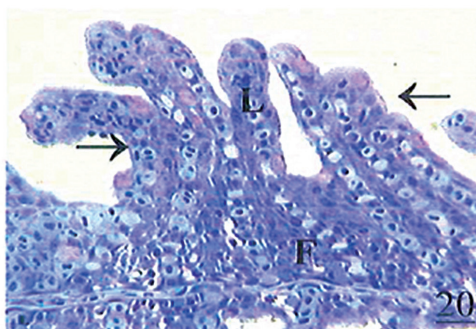
Andrade (2003) determinou as concentrações de Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn em fragmentos musculares 16 espécies de peixes (*Astyanax bimaculatus*, *A. scabripinnis*, *Geophagus brasiliensis*, *Gymnoyus carapo*, *Hoplias lacerdae*, *H. malabaricus*, *Hoplosternum litoralle*, *Hypostomus affinis*, *Leporinus sp.*, *L. copelandi*, *Loricariichthys castaneus*, *Oligosarcus argenteus*, *Parauchenipterus striatulus*, *Pygocentrus nattereri*, *Rhamdia quelen*, *Tilapia rendalli*), que ocupam diferentes nichos tróficos (bentófaga, detritívora, insetívora, carnívora e onívora), em seis rios da porção média da bacia hidrográfica do rio Doce. As espécies *A. bimaculatus*, *G. brasiliensis*, *Leporinus sp.*, *H. affinis* e *R. quelen*, coletadas exatamente no rio Doce, apresentaram elevadas concentrações de Zn, Fe, Ni, Pb, Cr e Cd, tanto no período chuvoso quando no período seco (Tabela 56; estações de verão e inverno, respectivamente). Tais concentrações foram superiores às encontradas na água e sedimento pelo referido autor e, para os elementos Cd e Pb consideradas acima do estabelecido pela Resolução RDC nº 42 (ANVISA, 2013). O autor sugere a ocorrência de bioacumulação e, até mesmo, biomagnificação (acúmulo progressivo via cadeia trófica) nos peixes desse ponto, especialmente, nos bentófagos, insetívoros e omnívoros. Adicionalmente, o autor evidenciou a ocorrência de lesões histopatológicas, especificamente, fusão de lamelas secundárias nas brânquias de exemplares de *R. quelen*, acompanhado do aumento no número de células mucosas na região interlamelar (Figura 63; Figura 64), indicando prejuízos osmorregatórios e respiratórios para a espécie em decorrência da contaminação existente.

Tabela 56 - Concentração média de metais (mg.kg^{-1}) determinada no tecido muscular de diferentes espécies de peixes coletadas especificamente no rio Doce nas estações de verão e inverno

Espécies	Concentração de metais (mg.kg ⁻¹)															
	Verão								Inverno							
	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
<i>A.bimaculatus</i>	0,06*	0,08	0,03	0,94	0,16	0,007	0,73*	0,75	0,14*	0,02	0,01	0,69	0,10	0,39	1,73*	1,04
<i>G. brasiliensis</i>	0,06*	0,1	0,02	0,80	0,66	0,005	0,77*	0,76	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Leporinus</i> sp.	0,07*	0,08	0,02	0,68	0,12	ND	0,72*	0,67	0,17*	ND	0,01	0,72	0,03	0,49	2,15*	0,68
<i>H. affinis</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,13*	ND	0,01	0,90	0,01	0,31	1,41*	0,72
<i>R. quelen</i>	0,06*	0,05	0,04	0,99	0,10	0,002	0,76*	0,66	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

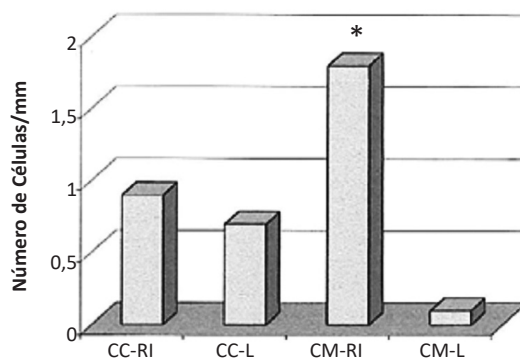
ND – não determinado; Dados em negrito e acompanhados de asterisco correspondem aos elementos que apresentaram concentrações acima dos limites máximos estabelecidos pela Resolução ANVISA RDC n. 42/2013. Adaptado de Andrade (2003).

Figura 63 – Imagem representativa de lesão histopatológica em brânquia de *Rhamdia quelen* coletado no rio Doce.



Setas indicam as fusões de lamelas secundárias (L) nos filamentos branquiais (F). Fonte: Andrade (2003)

Figura 64 – Número de células de cloreto (CC) e mucosas (CM) na região interlamelar (RI) ou na lamela secundária (L) de *Rhamdia quelen* coletados no rio Doce.



Fonte: Andrade (2003)

Ramos (2005) avaliou a presença de 13 metais essenciais e não essenciais (Al, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, Pb e Zn) em amostras de água, sedimento e peixes das espécies *Astyanax scabripinnis* e *Geophagus brasiliensis* (entenda-se animais inteiros, mais precisamente vísceras e fragmentos musculares, pois, foram descartados a cauda e o crânio) coletadas no ribeirão do Carmo e afluentes, região do Quadrilátero Ferrífero. O autor identificou elevadas concentrações de Al, Fe, Mn, As e Hg nas amostras de água e sedimentos dos pontos avaliados, as quais encontravam-se acima da legislação brasileira (BRASIL, 2005; 2012, respectivamente). No entanto, é válido ressaltar que para as amostras de água as concentrações de As e Hg estavam, inclusive, acima da legislação pertinente quanto à potabilidade da água, especialmente na estação chuvosa. Corroborando os resultados das análises de água e sedimentos, os tecidos das espécies de peixes analisadas também indicaram a presença de Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn em elevadas concentrações, refletindo a elevada carga de contaminação presente no ribeirão do Carmo e afluentes (Tabela 57). Alguns deste elemento, inclusive, ultrapassaram os limites máximos permitidos pela legislação brasileira (Brasil, 1965; ANVISA, 1998; 2013). Segundo o autor, os dados são preocupantes e inviabilizam a água e o peixe para o consumo.

Tabela 57 – Média da concentração de metais determinadas em peixes das espécies *Astyanax scabripinnis* e *Geophagus brasiliensis* obtidos no Quadrilátero Ferrífero, MG.

	Concentração de metais (mg.kg ⁻¹)			
	1ª coleta		2ª coleta	
	<i>A. scabripinnis</i>	<i>G. brasiliensis</i>	<i>A. scabripinnis</i>	<i>G. brasiliensis</i>
Al	150±37	14±1	193±12	104±27
As	0,25±0,02	0,71±0,01	0,09±0,01	0,18±0,01
Ca	1051±94	5958±519	40334±78	8976±122
Cd	0,5±0,02 ^c	0,7±0,04 ^c	1,6±0,10 ^c	3,5±0,60 ^c
Cr	6,0±1,0 ^a	<0,6	8,6±0,44 ^a	3,4±0,13 ^a
Cu	0,70±0,10	0,90±0,10	2,0±0,12	6,9±0,56
Fe	271±24	53±5,0	214±3,9	136±5,2
Hg	0,09±0,01	0,14±0,09 ^{a,b,c}	0,07±0,01	0,13±0,02 ^{a,b,c}
Mg	202±30	23±2,0	253±5,6	108±4,9
Mn	32±3,0	33±3,0	103±2,1	60±1,3
Ni	0,50±0,10	2,0±0,10	4,8±0,42	3,4±0,13
Pb	2,0±0,80 ^c	0,70±0,04 ^c	3,7±0,31 ^c	<1,0
Zn	43±3,0	30±0,20	31±2,4	26±2,3

Dados em negrito e acompanhados de letras correspondem aos elementos encontrados acima dos limites máximos estabelecidos pelas legislações vigentes no Brasil. Legislações consideradas para comparação: a) Decreto n. 55871/1965; b) Portaria n. 685/1998; c) Resolução RDC n. 42/2013. Valores precedidos pelo símbolo < correspondem aos limites de detecção do método e indicam que as concentrações determinadas foram menores que estes limites. Adaptado de Ramos (2005).

Palmieri (2006) identificou a presença, biodisponibilidade e a bioacumulação de Hg, metilmercúrio (MeHg), As, antimônio (Sb) e selênio (Se) em peixes das espécies *Astyanax* sp. (lambari; omnívoro), *Cichlasoma* sp. (acará; iliófago), *Hoplias malabaricus* (traíra; piscívoro), *Trichomycterus brasiliensis*

(cambeva; bentônico/detritívoro), *Tilapia nigra* (tilápia; omnívoro), *Hypostomus* sp. (cascudo; omnívoro), *Geophagus brasiliensis* (acará; iliófago) coletados no ribeirão do Carmo em comparação aos peixes coletados na Estação Ecológica do Tripuí (EET, área-controle). Além disso, a autora avaliou sete espécies de anfíbios, as quais foram obtidas apenas na EET: *Hyla albopunctata*, *Hyla minuta*, *Hyla faber* (arborícola/insetívoro), *Scinax* sp., *Physalaemus cuvieri*, *Leptodactylus ocellatus* (semi-aquático/insetívoro), *Bufo crucifer* (terrestre/insetívoro). Entre as espécies de peixes coletadas no rio do Carmo, *H. malabaricus* foi a que apresentou as maiores concentrações de Hg total (0,34 µg/g de peso úmido), enquanto *Astyanax* sp., *G. brasiliensis* e *Hypostomus* sp. apresentaram concentrações de 0,27; 0,21 e 0,15 µg/g de peso úmido, respectivamente, indicando que a espécie piscívora tem acumulado mais Hg que as espécies herbívoras e omnívoras. Apesar disso, em todos os peixes avaliados as concentrações estavam abaixo do permitido para consumo humano (0,5 µg/g) segundo a legislação brasileira (BRASIL, 1965; ANVISA 1998; 2013). No entanto, quando foram comparados os resultados desses peixes aos *Cichlasoma* sp. (0,21 µg/g) coletados na EET, os resultados se mostram superiores aos estabelecidos na literatura para uma área controle (0,2 µg/g), corroborando a existência de contaminação para o rio do Carmo. Apesar disso, os peixes *T. brasiliensis*, também coletados na EET, apresentaram concentrações de Hg total acima do permitido pela legislação (0,58 µg/g), mesmo tendo sido coletados em área controle. Tais resultados obtidos podem ter relação com o hábito alimentar das espécies (detritívoro/bentônico) que as coloca em maior contato com o sedimento e, conseqüentemente, com o Hg, naturalmente disponível na área estudada. Ainda, segundo a autora, os resultados obtidos permitem concluir que os peixes do ribeirão do Carmo estão bioacumulando Hg na forma de metilmercúrio (MeHg), uma vez que a razão MeHg/Hg foi elevada em lambaris (93,5%), cambeva (95,2%), acará (93,7%) e traíra (95,3%). Entre todos os pontos e espécies de peixes avaliados, apenas no ponto PT1 e nos peixes cambeva as concentrações de As foram elevadas (2,0 µg/g) e, inclusive, superiores ao estabelecido pela Portaria nº 685 para pescados (1,0 µg/g; BRASIL, 1998). Apesar das elevadas concentrações de As encontradas nos sedimentos dos pontos amostrais, não foi identificada bioacumulação nos peixes amostrados. Com relação ao antimônio e selênio, todas as concentrações apresentaram limites inferiores ao limite máximo tolerável para alimentos (2,0 e 0,30 µg/g, respectivamente; BRASIL, 1965), indicando ausência de bioacumulação. Ao avaliar os anfíbios, a autora constatou que todas as espécies apresentaram, de modo geral, baixas concentrações de Hg, MeHg e Se (< 0,25 µg/g). Os resultados obtidos para Hg indicam ausência de acumulação desse elemento. Apesar disso, as maiores concentrações foram encontradas para a espécie *L. ocellatus* (entre 0,12 e 0,24 µg/g), enquanto as menores concentrações foram encontradas para a espécie *H. albopunctata* (0,027 µg/g). Tais resultados podem estar relacionados aos hábitos de vida e alimentar das espécies. Os resultados obtidos para MeHg, por sua vez, indicam acúmulo de metilmercúrio nos anfíbios, uma vez que as razões (Hg/MeHg) estiveram na faixa de 56,7-79,5%. Em contrapartida, as concentrações de As e Sb ficaram abaixo dos limites de detecção do método utilizado.

Queiroz (2006) determinou a concentração de arsênio (As), cromo (Cr), mercúrio (Hg) e zinco (Zn) em amostras de água, sedimento e músculos de peixes da espécie *Geophagus brasiliensis* obtidos de quatro diferentes pontos no rio Piracicaba. Todos os elementos avaliados nas amostras musculares de *G. brasiliensis* apresentaram concentrações elevadas, ou seja, acima do estabelecido pelo Ministério da Saúde (Tabela 58; BRASIL, 1965; ANVISA, 1998; 2013). As concentrações de As determinadas para

fragmentos musculares de *G. brasiliensis* estavam elevadas em todos os pontos de coleta, no entanto, no ponto P1 (Fonseca) estas estavam, inclusive, maiores que as concentrações determinadas em água e sedimento. As concentrações musculares de Cr também ultrapassaram o estabelecido pelo Ministério da Saúde e, também, com valores acima das determinadas na água e sedimento do ponto P4 (Ipatinga). Do mesmo modo, as concentrações de zinco também ultrapassaram os limites máximos tolerados para todos os pontos avaliados, porém, com concentrações ainda maiores no ponto P1, quando comparado aos demais pontos avaliados. As concentrações de Hg foram as que estiveram significativamente mais altas e, conseqüentemente, muito fora do limite máximo tolerável de acordo com a legislação (entre 50 e 268% acima do estabelecido). Os resultados obtidos corroboram o elevado grau de deterioração ambiental, colocando esse rio em desacordo com a classificação deste (classe 3) na legislação brasileira (BRASIL, 2005). Adicionalmente, indicam bioacumulação, bem como a possibilidade de ocorrer biomagnificação, uma vez que esses peixes, comumente consumidos pela população, estão comprometidos pela presença de metais-traço.

Tabela 58 – Média das concentrações de As, Cr, Hg e Zn determinadas em *G. brasiliensis* obtidos em quatro pontos ao longo do rio Piracicaba

	Concentração de metais (mg.kg ⁻¹)			
	As	Cr	Hg	Zn
P1	2,8	1,8	1,8	76
P2	1,3	1,0	1,0	55
P3	1,8	0,7	0,7	50
P4	1,9	4,1	0,8	43
LMP	1,0	0,10	0,5	50

LMP: limites máximos permitidos pela legislação brasileira (BRASIL, 1965).
Dados em negrito correspondem aos elementos encontrados acima dos limites máximos estabelecidos pela legislação. Adaptado de Queiroz (2006).

Veado et al. (2008) verificaram, através da técnica de ativação neutra (em inglês *Neutron Activation Analysis* – NAA) a presença de diferentes elementos, como: Al, Mn, vanádio (V), arsênio (As), ouro (Au), sódio (Na), cobalto (Co), Cr, cério (Ce), Fe, Hg, tório (Th) e Zn em tecido muscular de peixes da espécie *G. brasiliensis* coletados em quatro pontos do rio Piracicaba. Os autores identificaram que, entre os elementos avaliados, As, Cr, Hg e Zn se encontravam em concentrações acima das estabelecidas pela legislação brasileira (BRASIL, 1965; 2005; ANVISA, 1998; 2013), embora as amostras de água e sedimento avaliadas no mesmo estudo tenham registrado elevadas concentrações de outros elementos em comparação à Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

Arantes et al. (2009) identificaram em tecido muscular de peixes da espécie *G. brasiliensis*, coletados em quatro pontos do rio Piracicaba, elevada concentração de mercúrio (Hg). Segundo os autores, as concentrações de Hg encontradas (entre 0,015 e 0,10 µg.g⁻¹), embora não tenham ultrapassado os limites máximos permitidos pela Organização Mundial da Saúde (0,5 µg.g⁻¹), indicam bioacumulação, a qual pode estar relacionada ao fato dessa espécie de peixe ter hábito territorialista, não migratório e ser omnívora. Essa bioacumulação, e até mesmo biomagnificação, seria favorecida pela redução das concentrações de Hg na coluna d'água e conseqüente deposição desse elemento no sedimento.

A associação de Hg com a grande quantidade de sólidos suspensos presentes na área facilita a sedimentação deste e a absorção por organismos que fazem parte da dieta de *G. brasiliensis*. Ainda, segundo os autores, a reduzida concentração de Hg na água pode refletir o processo de metilação, de ocorrência comum para esse metal em condições ambientais favoráveis como a apresentada pelo rio Piracicaba (grande quantidade de matéria orgânica, altas temperaturas e pH entre ácido e neutro). Quando convertido à forma de metilmercúrio, a toxicidade desse elemento é ainda mais alta para a biota aquática.

Morais (2009), por sua vez, avaliou as concentrações de Al, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em tecidos branquial, hepático, muscular e gonadal (testículo e ovários) e os danos histopatológicos causados pela presença desses elementos em brânquias, fígado e gônadas de *Astyanax bimaculatus* e *G. brasiliensis* coletados em dois pontos do rio Piracicaba, sendo um muito próximo das fontes de contaminação e outro mais distante, em uma piscicultura, considerado controle. Na primeira parte do estudo, a autora agrupou os resultados de concentração dos metais avaliados nas duas espécies em uma média única para cada um dos tecidos (Tabela 59). De modo geral, os peixes apresentaram significativas concentrações de todos os elementos avaliados, no entanto, os elementos Al, Mn, Pb e Zn foram os que apresentaram as maiores concentrações médias na maior parte dos tecidos avaliados. Segundo a autora, os resultados encontrados demonstram bioacumulação desses elementos nos diferentes tecidos, mas, se considerado apenas o tecido muscular, porção consumida pela população, as concentrações de Cr, Pb e Zn excederam os limites máximos permitidos pelas legislações brasileiras (BRASIL, 1965; ANVISA, 1998; 2013). Apesar das concentrações de Al também terem sido bastante elevadas, não há na legislação brasileira limites máximos estabelecidos para este elemento. Na segunda parte do estudo, além de determinar as concentrações de Al, Mn, Pb e Zn a autora avaliou as alterações histopatológicas em brânquias, fígado e testículos de *A. bimaculatus* e *G. brasiliensis*. Em ambas as espécies avaliadas o metal que apresentou maiores concentrações foi o Pb, tanto no tecido branquial (Figura 65; 5078 e 630 $\mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente) quanto hepático (Figura 66; 1199 e 531 $\mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente) e gonadal (Figura 67; 4276 e 4442 $\mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente). Além disso, a espécie que apresentou as maiores concentrações dos elementos avaliados foi *A. bimaculatus*, exceto nas gônadas onde as maiores concentrações foram determinadas em *G. brasiliensis* (Figura 65, Figura 66 e Figura 6). Os resultados das análises histopatológicas realizadas nas brânquias das espécies estudadas demonstraram a ocorrência de: hiperplasia interlamelar (HI), redução do espaço interlamelar (HEI), destacamento do epitélio lamelar (DL), fusão lamelar (FL), edema (E), destruição do epitélio lamelar (DEL), deleção do epitélio lamelar (DIEL), redução da área respiratória (RAR), dilatação do seio venoso central (DSV) e aneurisma (A) (Figura 68). Os resultados das análises histopatológicas realizadas em fígado das espécies estudadas demonstraram a ocorrência de: degeneração citoplasmática de hepatócito (DCH), desarranjo na estrutura cordonal (DEC), infiltrado leucocitário (IL), degeneração nuclear de hepatócito (DNH), vacuolização (VAC), perda da forma poligonal do hepatócito (PFP), redução de hepatócito (RH), congestão vascular (CV) e deslocamento de núcleo (DN) (Figura 69). Os resultados das análises histopatológicas realizadas nos testículos das espécies estudadas demonstraram a ocorrência de: vacuolização de espermatogônia (VG), retardo no desenvolvimento celular (RDC), ruptura de cisto (RC), degeneração celular (DC), fibrose (F), degeneração testicular (DT), vacuolização de células de Sertoli (VS), aglomerado celular anormal (AC) (Figura 70). Apesar de *A. bimaculatus* ter apresentado as maiores concentrações dos elementos

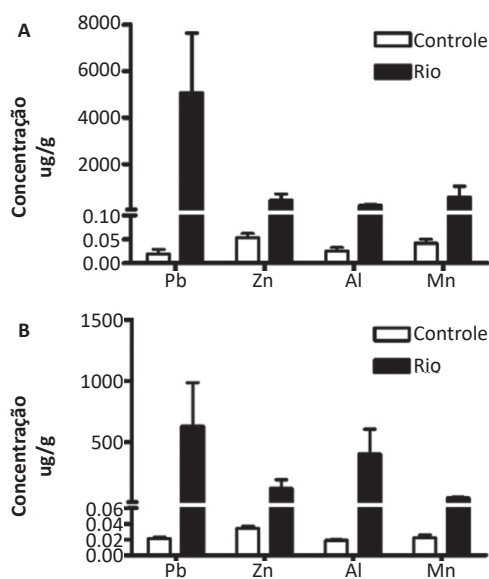
analisados, *G. brasiliensis* mostrou-se mais sensível em relação à contaminação ambiental, pois apresentou um percentual de histopatologias mais expressivo em todos os tecidos avaliados. Segundo a autora, os resultados encontrados demonstram bioacumulação desses elementos, bem como elevada toxicidade corroborada pelo grande número de lesões branquiais, hepáticas e testiculares encontradas nos organismos, o que indica comprometimento da saúde e do desempenho reprodutivo da fauna local. Adicionalmente, tais resultados corroboram o comprometimento da qualidade da água desse afluente do rio Doce, e sinaliza para a piora dessas condições no inverno, período seco do ano. Desse modo, esperam-se efeitos mais significativos para a biota nesse período.

Tabela 59 – Média da concentração de metais determinadas em brânquias, fígado, músculo, testículo, e ovários de peixes teleósteos coletados no rio Piracicaba.

	Média da Concentração de metais em tecidos ($\mu\text{g.g}^{-1}$)				
	Brânquia	Fígado	Músculo	Testículo	Ovário
Al	223,39	257,42	259,15	1652,33	249,42
Cd	28,03	15,51	4,57	280,53	57,74
Cr	57,09	47,36	9,51	340,17	193,71
Cu	86,93	183,23	11,72	350,83	153,25
Mn	90,16	73,15	14,91	615,22	90,78
Ni	15,64	10,04	3,37	50,58	5,80
Pb	1697,70	769,67	141,49	46214,52	12003,59
Zn	93,18	114,31	50,41	518,79	94,17

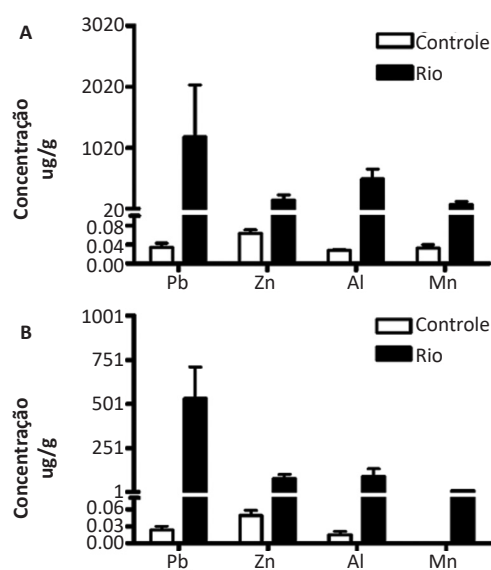
Dados em negrito correspondem aos elementos encontrados acima dos limites máximos estabelecidos pelas legislações vigentes no Brasil. Legislações consideradas para comparação: a) Decreto n. 55871/1965; b) Portaria n. 685/1998; c) Resolução RDC n. 42/2013. Adaptado de Moraes (2009).

Figura 65 – Concentração média de Pb, Zn, Al e Mn em brânquias de espécimes de *A. bimaculatus* (A) e *G. brasiliensis* (B) obtidos em pontos do rio Piracicaba.



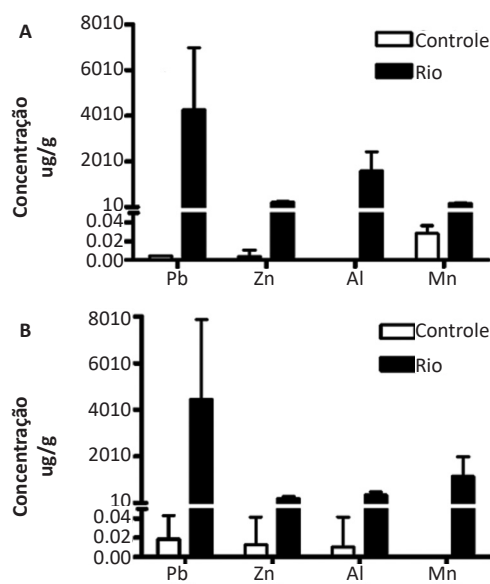
Fonte: Moraes (2009)

Figura 66 - Concentração média de Pb, Zn, Al e Mn em fígado de espécimes de *A. bimaculatus* (A) e *G. brasiliensis* (B) obtidos em pontos do rio Piracicaba.



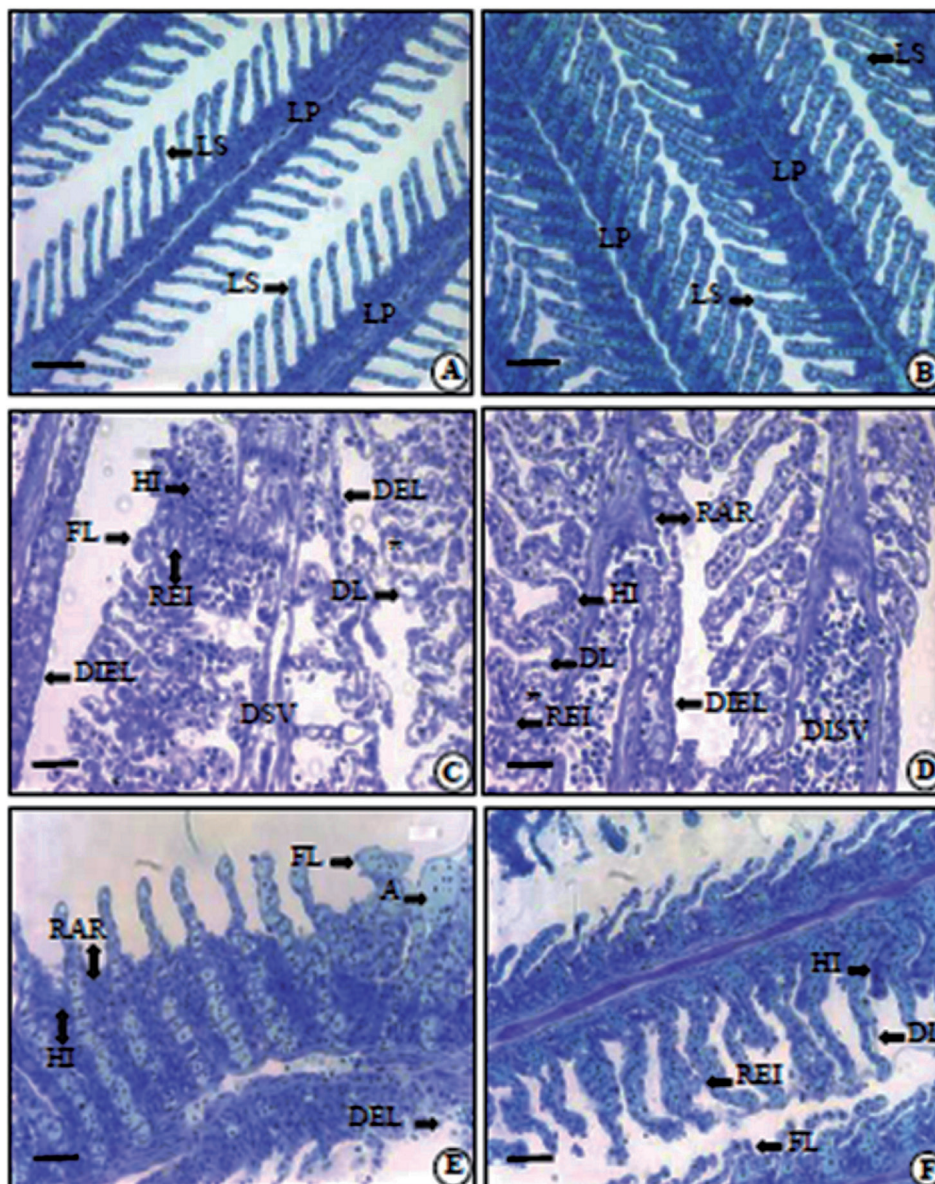
Fonte: Moraes (2009)

Figura 67 - Concentração média de Pb, Zn, Al e Mn em testículos de espécimes de *A. bimaculatus* (A) e *G. brasiliensis* (B) obtidos em pontos do rio Piracicaba



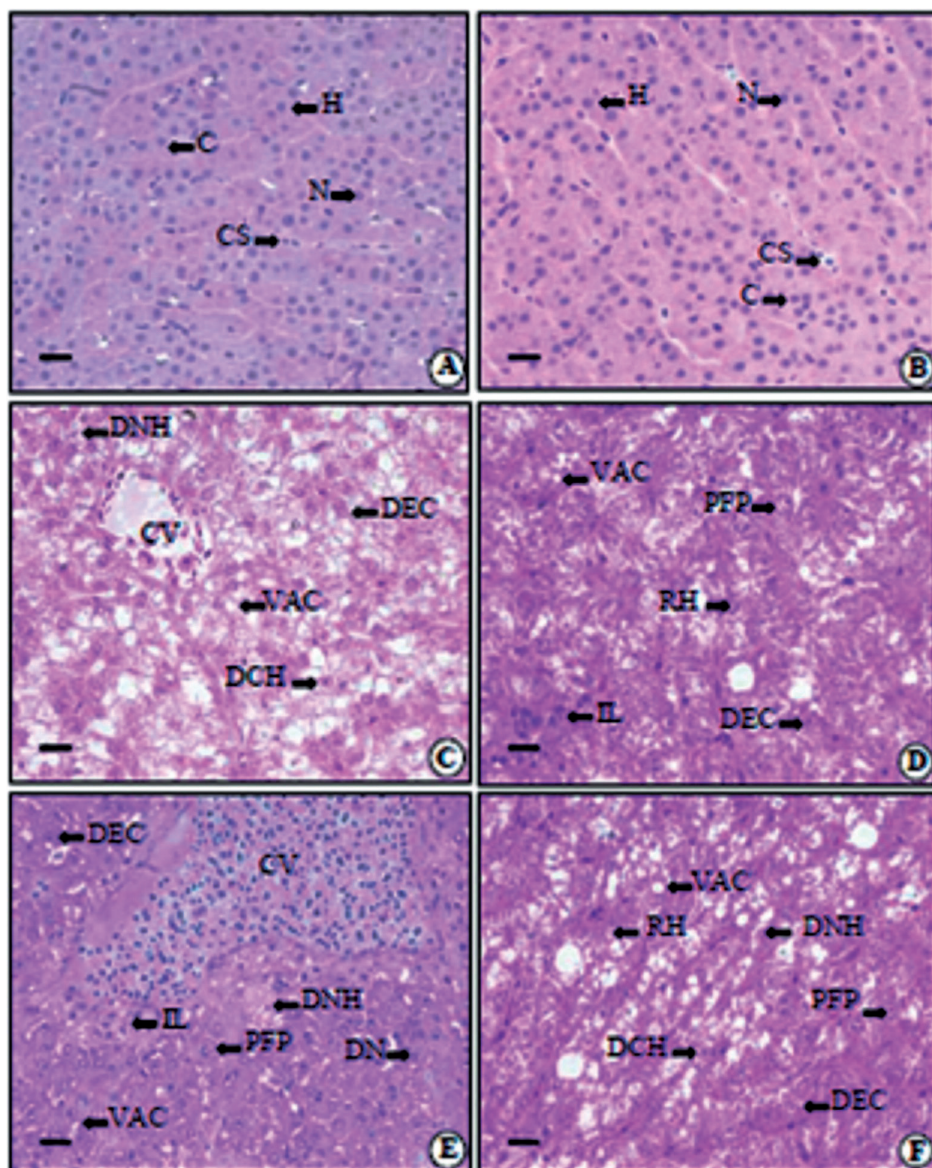
Fonte: Moraes (2009)

Figura 68 – Prancha de imagens representativas das brânquias de *A. bimaculatus* e *G. brasiliensis* em condições normais (A e B, respectivamente) e com alterações histopatológicas (C, E e D, F, respectivamente).



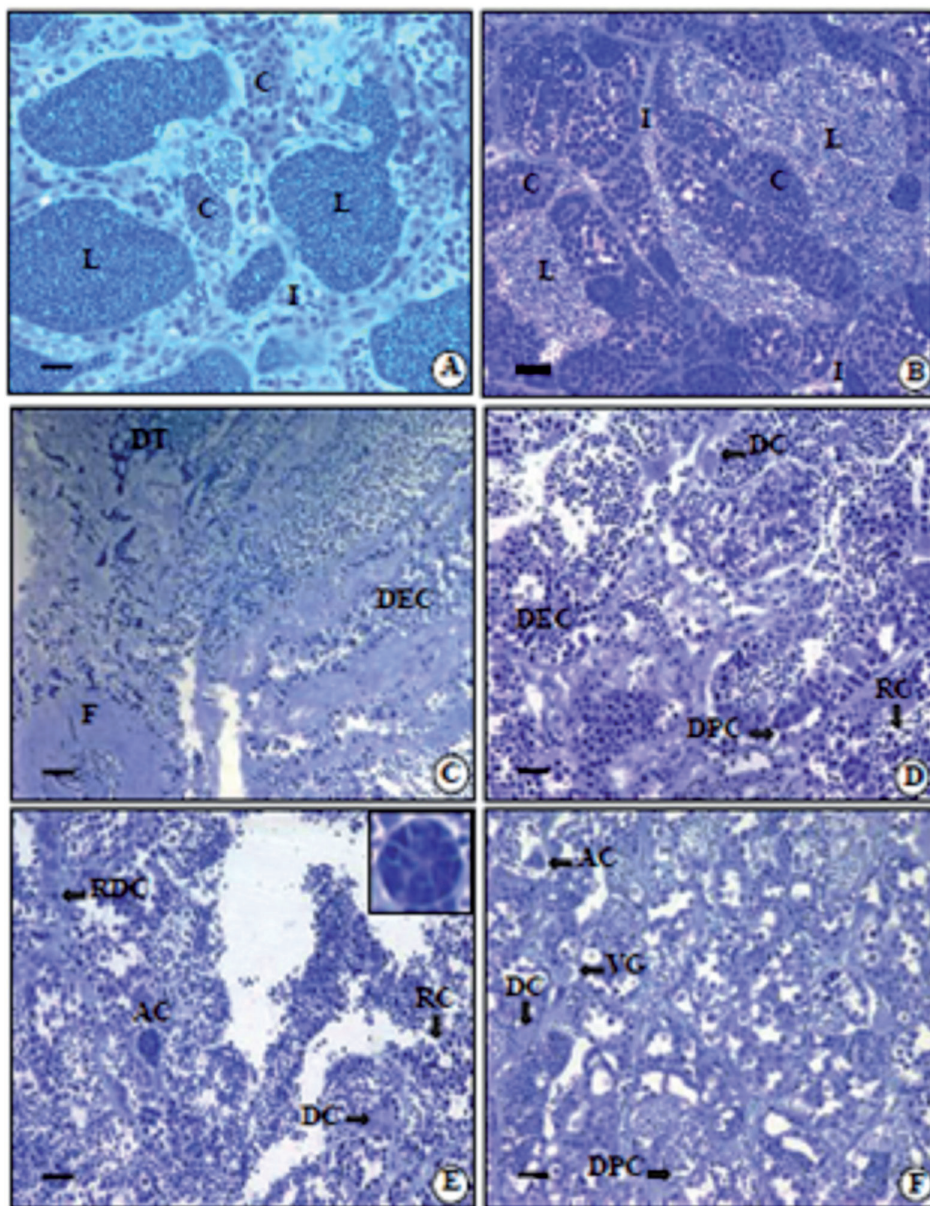
LP: lamela primária; LS: lamela secundária; HI: hiperplasia interlamelar; DEL: destruição do epitélio lamelar; FL: fusão lamelar; HEI: redução do espaço interlamelar; * edema; DL: destacamento do epitélio lamela, DIEL: deleção do epitélio lamelar; DSV: destruição do seio venoso; RAR: redução da área respiratória e A: aneurisma. Barra: 30 µm. Fonte: Moraes (2009).

Figura 69 - Prancha de imagens representativas de fígado de *A. bimaculatus* e *G. brasiliensis* em condições normais (A e B, respectivamente) e com alterações histopatológicas (C, E e D, F, respectivamente).



H: hepatócito; C: citoplasma poliédrico do hepatócito; N: núcleo do hepatócito; CS: capilar sinusóide; DCH: degeneração citoplasmática de hepatócito; DEC: desarranjo na estrutura cordonal; IL: infiltrado leucocitário; DNH: degeneração nuclear de hepatócito; VAC: vacuolização; PFP: perda da forma poligonal do hepatócito; RH: redução de hepatócito; CV: congestão vascular e DN: deslocamento de núcleo. Barra: 20 μ m. Fonte: Morais (2009).

Figura 70 – Prancha de imagens representativas de testículos de *A. bimaculatus* e *G. brasiliensis* em condições normais (A e B, respectivamente) e com alterações histopatológicas (C, E e D, F, respectivamente).



C: cisto; L: lúmen; I: intertúbulo; F: fibrose; VG: vacuolização de espermatogônia; RDC: retardo no desenvolvimento celular; RC: ruptura de cisto; DC: degeneração celular; DT: degeneração testicular; VS: vacuolização de células de Sertoli; AC: aglomerado celular anormal. Barra: 20 µm. Fonte: Morais (2009).

Andrade et al. (2010) determinaram as concentrações de As, Cr e Hg em fragmentos musculares do peixe *G. brasiliensis* obtidos em quatro pontos amostrais, também no rio Piracicaba. Os autores identificaram que as concentrações de todos os elementos avaliados estavam muito acima dos limites máximos permitidos pela legislação brasileira (Tabela 60; BRASIL, 1965; ANVISA, 1998; 2013), bem como, das concentrações determinadas na coluna d'água dos pontos amostrados. Segundo os autores, o hábito alimentar omnívoro da espécie favorece a acumulação de metais nesses organismos, o que inviabiliza o consumo destes organismos. No entanto, os autores ressaltam que estes peixes fazem

parte da dieta das comunidades do entorno da área amostrada. Deste modo, além dos resultados encontrados corroborarem a de degradação do rio avaliado, os mesmos indicam que a cadeia trófica esta sujeita a biomagnificação, uma vez que *G. brasiliensis* está incluso na dieta de diferentes espécies de peixes predadoras, tais como tilápias e traíras, e da população local.

Tabela 60 – Média das concentrações de As, Cr e Hg em *G. brasiliensis* amostrados em quatro pontos do rio Piracicaba.

	Concentrações de metais ($\mu\text{g.g}^{-1}$)		
	As	Cr	Hg
P1	2,8	1,8	1,8
P2	1,3	1,0	1,0
P3	1,8	0,7	0,7
P4	1,9	4,1	0,8
LMP	1,0	0,1	0,5

LMP: limites máximos permitidos pela legislação; Dados em negrito correspondem aos elementos encontrados acima dos limites máximos estabelecidos pelas legislações vigentes no Brasil. Legislações consideradas para comparação: a) Decreto n. 55871/1965; b) Portaria n. 685/1998; c) Resolução RDC n. 42/2013. Adaptado de Andrade et al. (2010).

5.3.1.1 Lagoas costeiras

Lagoas costeiras são ecossistemas ecologicamente e economicamente importantes. Constituem interfaces entre zonas costeiras, águas interiores e águas costeiras marinhas e contribuem diretamente para a manutenção do lençol freático e para a estabilidade climática local e regional. Além disso, são consideradas importantes depositários de biodiversidade, tanto aquática quanto terrestre, bem como são dotadas de elevada produtividade primária contribuindo para a manutenção das cadeias alimentares aquáticas. Estas apresentam características ecológicas bastante particulares, dependentes não somente das influências naturais de suas bacias formadoras, mas também das influências antrópicas que sofrem (PEREIRA; MENDONÇA; ANDRADE FILHO, 2006; FERNANDES et al., 2009; SOUZA; FERNANDES, 2009). Do mesmo modo que os demais ecossistemas aquáticos de todo o mundo, as lagoas costeiras também vêm sofrendo alterações em suas características naturais em decorrência das intensas e diversas influências antrópicas (FERNANDES et al., 2009; SOUZA; FERNANDES, 2009).

No baixo rio Doce, região de Linhares, ocorrem inúmeras lagoas naturais, muitas delas formadas a partir de processos de transgressão e regressão marinhas sucessivas, como, por exemplo: Meio, Durão, Aviso, Juparanã, Nova, Palminhas, Palmas, Sabiá, Aguiar, Dentro, Suruaca, Bonita, Zacarias, Machado, Piaba, Piabanha, Parda, Cacimbas, entre outras. Todas essas lagoas sofrem influências antrópicas sob as formas de exploração mineral e agropastoril de sua bacia de drenagem. Algumas delas, inclusive, recebem esgotos domésticos diretamente em suas águas (ESTEVEZ et al., 1995). Apesar disso, não há estudos ecotoxicológicos para estas. Os estudos encontrados foram realizados nas lagoas localizadas no litoral sul do estado, mais especificamente na lagoa Mãe-Bá, localizada na divisa dos municípios de Guarapari e Anchieta e na lagoa Jacuném, localizada no município de Serra.

A lagoa de Mãe-Bá é a segunda maior lagoa do estado, com área média de 4,9 km² e profundidade média de 1,9 m (PEREIRA; MENDONÇA; ANDRADE FILHO, 2006; FERNANDES et al., 2009; SOUZA; FERNANDES, 2009). A lagoa possui pequenos córregos afluentes, que apresentam limitada disponibilidade hídrica devido ao elevado estágio de degradação do solo e à construção de barragens. Esta não apresenta ligação com o mar, uma vez que teve seu canal de ligação fechado para a construção de uma rodovia. A água dessa lagoa apresenta múltiplos usos, como, por exemplo, abastecimento público e uso dos poços rasos pelas comunidades ribeirinhas para lazer e pesca. Porém, também é utilizada como receptora e diluidora de efluentes domésticos sem tratamento, além de efluentes industriais, em especial, resíduos da barragem da empresa Samarco, unidade pelotizadora, denominada Barragem Norte (PEREIRA; MENDONÇA; ANDRADE FILHO, 2006; PEREIRA et al., 2008; FERNANDES et al., 2009; PEREIRA et al., 2010; PEREIRA; HATTUM; BROUWER, 2012). A conexão da barragem com a lagoa ocorre por meio de um barramento, que é aberto, em média, quatro vezes por ano por cerca de 72h. A vazão média do efluente da barragem é estimada em 150 m³/h (PEREIRA; MENDONÇA; ANDRADE FILHO, 2006; FERNANDES et al., 2009). Devido a essas fontes poluidoras, Pereira et al. (2008), Pereira et al. (2010) e Pereira, Hattum e Brouwer (2012) estudaram a lagoa de Mãe-Bá quanto à presença de metais pesados e seus efeitos sobre a biota.

Pereira et al. (2008) avaliaram a biodisponibilidade e, conseqüentemente, a acumulação (determinada pela concentração) de metais potencialmente tóxicos Fe, Mn, Al, Cr, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Hg, e As, em espécies de invertebrados *Pomacea haustorium*, *Melanoides tuberculata*, *Macrobrachium* sp. e *Ucides* sp coletados em sete pontos na lagoa Mãe-Bá (ML – A a ML – G) e nas lagoas Icarai (IL) e Guanabara (GL), cujas características são similares a lagoa Mãe-Bá, porém, não recebem efluentes de processos industriais, deste modo, estas foram consideradas como pontos referência. Segundo os autores, há uma clara diferença entre a absorção e acumulação de metais entre as espécies avaliadas. O gastrópode *M. tuberculata* concentrou mais Fe, Pb, Ni e Hg, enquanto o gastrópode *P. haustorium* concentrou mais Mn. Exemplares de camarões *Macrobrachium* sp. apresentaram elevadas concentrações de Cu (**Tabela 61**). Essa lagoa apresenta grande número de metais complexados à matéria orgânica presente no sedimento, especialmente Cu (60%) e Ni (35%). Segundo os autores, o fato de os metais se complexarem à matéria orgânica reduz a disponibilidade destes e, conseqüentemente, a absorção e acumulação nos organismos avaliados. Nesse sentido, as características físico-químicas da lagoa contribuem para reduzir os níveis de metais na coluna d'água e sedimento (exceto Fe, Hg e As) e indiretamente reduz os prejuízos à fauna local.

Tabela 61 – Concentração de metais (mg.kg⁻¹ peso seco) determinada em invertebrados obtidos nas lagoas Mãe-Bá (ML – A a ML – G e dados combinados entre pontos ML – A, B, D), Icaraí (IL) e Guanabara (GL).

Pontos	Espécies	Concentração de metais (mg.kg ⁻¹)										
		Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
ML - A	<i>M. tuberculata</i>	6,34	2,6	0,17	3,9	40	6,93	0,33	185	2,6	2,3	121
	<i>Macrobrachium sp.</i>	46	1,4	0,01	0,32	48	177	0,05	30	0,59	0,04	98
ML - B	<i>P. haustum</i>	274	3,5	0,16	0,82	71	1,96	0,22	1,68	0,78	0,23	69
	<i>M. tuberculata</i>	101	2,7	0,10	1,2	30	1,05	0,48	107	2,7	0,52	92
	<i>Macrobrachium sp.</i>	190	1,7	0,02	0,94	81	244	0,07	27	0,75	0,11	97
ML - C	<i>P. haustum</i>	406	3,3	0,16	1,0	35	814	0,27	930	0,68	0,37	144
	<i>M. tuberculata</i>	2,84	3,2	0,06	3,7	32	5,79	0,64	221	5,8	2,0	142
	<i>Macrobrachium sp.</i>	124	1,4	0,02	1,0	67	275	0,06	24	0,80	0,09	86
ML - D	<i>M. tuberculata</i>	457	2,2	0,07	1,1	32	2,39	0,50	65	1,3	0,62	97
	<i>Macrobrachium sp.</i>	117	1,4	0,01	0,37	53	122	0,02	21	0,05	0,04	77
	<i>P. haustum</i>	34	0,80	0,17	3,2	7	530	0,08	273	0,30	0,24	23
ML - E	<i>M. tuberculata</i>	2,54	2,3	0,08	4,4	32	3,86	0,73	107	1,8	1,6	119
	<i>Macrobrachium sp.</i>	149	1,4	0,01	0,46	54	146	0,06	22	0,08	0,08	89
ML - F	<i>Macrobrachium sp.</i>	176	0,90	0,01	0,45	43	164	0,05	22	0,94	0,08	85
ML - G	<i>M. tuberculata</i>	1,74	2,1	0,06	14	39	2,75	0,26	132	2,0	0,67	126
	<i>Macrobrachium sp.</i>	115	0,92	0,01	0,50	51	176	0,03	40	0,08	0,04	85
ML - A,B,D	<i>Ucides sp.</i>	443	0,75	0,05	3,7	35	556	0,08	30	2,3	0,22	92
	<i>P. haustum</i>	2,50	3,5	0,42	3,6	168	20,22	1,1	4,34	2,2	0,81	55
GL	<i>M. tuberculata</i>	575	2,5	0,26	1,0	72	4,04	0,36	329	1,9	0,31	154
	<i>Macrobrachium sp.</i>	193	0,37	0,01	0,43	33	154	0,06	19	0,07	0,06	118
IL	<i>Macrobrachium sp.</i>	513	1,1	0,02	0,73	63	435	0,10	31	2,2	0,19	105

Adaptado de Pereira et al. (2008)

Pereira et al. (2010) determinaram as concentrações de Fe, Mn, Al, Zn, Cr, Cu, Ni, Pb, Cd, Hg e As em amostras de sedimento e, de modo comparativo, em tecido muscular de *Pomacea haustum*, *Melanoides tuberculatus*, *Macrobrachium sp.* e *Ucides sp.* (invertebrados) e em tecidos muscular, hepático e branquial de *G. brasiliensis*, *T. rendalli*, *Mugil liza*, *Cichla ocellaris*, *H. littorale*, *Trachelyopterus striatulus*, *R. quelen*, *H. malabaricus* (peixes) obtidos da lagoa de Mãe-Bá, no estado do Espírito Santo, para avaliação de bioacumulação (Tabela 62). Os autores observaram que as concentrações de Fe, Cr, Ni, Pb, Cd foram consideravelmente maiores nas amostras de sedimentos que nos organismos avaliados, do mesmo modo, que as concentrações de Fe, Mn, Al, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb e As foram maiores em invertebrados que em peixes. No entanto, mesmo que os peixes estejam acumulando esses elementos, não foi evidenciado biomagnificação. Além disso, as concentrações dos elementos avaliados foram bastante diferentes nos tecidos dos peixes amostrados: Fe, Cu e Zn foram significativamente maiores em fígado e brânquias quando comparados ao tecido muscular; Hg e Cd apresentaram maiores concentrações em fígado e músculo comparados às brânquias; Mn e Cr, por sua vez, concentraram-se mais em brânquias do que músculo e fígado. De modo geral, as espécies *H. littorale*, *R. quelen*, *H. malabaricus* e *C. ocellaris*, de hábitos comumente associados ao substrato, foram as que apresentaram as maiores concentrações dos elementos avaliados. Adicionalmente, entre todas as espécies de peixes amostradas, *H. malabaricus* foi a que apresentou a maior concentração de Hg. No entanto, embora as concentrações detectadas dos elementos avaliados sejam altas e compatíveis com locais contaminados por metais, estas não excederam os níveis máximos estabelecidos para consumo humano, conforme concentrações estabelecidas em diferentes agências regulamentadoras nacionais e internacionais.

Tabela 62 – Concentrações mínimas e máximas de metais ($\mu\text{g.g}^{-1}$ peso seco) determinadas em sedimentos, invertebrados e peixes coletados na Lagoa Mãe-Bá (pontos ML – A a ML – G).

Concentrações de metais (µg.g ⁻¹)													
Matriz	Espécie	Pontos	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Sedimento		ML – A – G	ND	0,79 – 6,0	0,03 – 0,92	2,4 - 29	0,47 - 12	2,12 – 52,14	0,005 – 0,21	17 - 211	0,71 – 9,9	1,5 - 21	1,6 - 32
	<i>P. haustum</i>	ML - B	787	16	0,44	1,7	66	4,98	0,52	2,70	1,8	0,66	104
	<i>M. tuberculata</i>	ML – A – G	3,99 - 189	2,2 – 4,6	0,05 – 0,33	0,68 – 2,9	9,7 - 26	1,42 – 7,21	0,24 – 1,3	62 - 575	0,93 – 3,1	0,36 – 2,1	65 - 223
	<i>Ucides sp.</i>	ML - A	505	4,0	0,05	0,61	31	13,62	0,05	46	0,32	0,35	84
Invertebrados	<i>Hemiptera</i> (ordem)	ML - D	47	0,44	0,06	0,04	42	123	0,07	48	0,5	0,11	230
	<i>Macrobrachium sp.</i>	ML – A – G, exceto E	8,8 - 22	1,2 – 1,9	<0,01	0,04 – 0,11	25 - 41	27 - 61	0,02 – 0,04	4,3 – 9,0	0,04 – 0,13	<0,02 – 0,05	66 - 101
	<i>G. brasiliensis</i>	ML – A - E	<5,5 - 13	0,04 – 0,08	0,03 – 0,04	0,04 – 0,07	0,74 – 0,95	27 - 30	0,04 – 0,05	0,92 – 1,3	<0,02	<0,01	32 - 41
Peixes	<i>T. rendalli</i>	ML – A – G	6,5 - 17	0,03 – 0,06	0,05 – 0,06	<0,04 – 0,14	1,0 – 1,2	25 - 39	<0,01 – 0,02	0,95 – 2,2	<0,02 – 0,04	0,02 – 0,07	32 - 40
	<i>R. quelen</i>	ML – C - E	<5,5	<0,02	0,03	0,11	1,4	44	0,29	1,0	<0,02	0,01	36
	<i>H. littorale</i>	ML – C - E	<5,5	<0,020	0,04	<0,04	1,1	40	0,10	4,9	<0,02	<0,01	21
	<i>M. liza</i>	ML – A - E	6,7 – 6,8	0,06 – 0,29	0,03	<0,04 – 0,06	0,7 – 1,3	31 - 38	<0,01 – 0,03	0,78 – 0,89	<0,02	0,02 – 0,04	16 - 22
	<i>H. malabaricus</i>	ML – A – G	<5,5 – 9,1	ND	ND	ND	0,91 – 2,0	32 - 44	ND	1,5 – 1,9	ND	ND	43 - 61
	<i>C. ocellaris</i>	ML – C - E	10	ND	ND	ND	1,0	24	ND	0,7	ND	ND	39

ND – não determinado. Adaptado de Pereira et al. (2010)

Pereira, Hattum e Brouwer (2012) encontraram uma correlação positiva entre as concentrações de Fe presentes no tecido hepático e os níveis de peroxidação lipídica e de retinoides (vitamina A), também hepáticos, em sete espécies de peixes (*G. brasiliensis*, *T. rendalli*, *M. liza*, *C. ocellaris*, *H. malabaricus*, *H. littorale* e *R. quelen*) coletados na lagoa de Mãe-Bá, no estado do Espírito Santo. Segundo os autores, essas espécies de peixes, que são expostas a efluentes de minérios de ferro na área estudada, mobilizam vitamina A de outros tecidos, aumentando os níveis dessa vitamina no fígado, como uma alternativa para protegê-lo e, conseqüentemente, reduzir danos oxidativos (= peroxidação lipídica) induzidos por metais nesse órgão.

A lagoa Jacuném apresenta área de 1,46 km², onde 48% dessa área fica cercada de bairros industriais e residenciais. Esta apresenta elevado estado de eutrofização em decorrência dos impactos causados pelo mau uso e ocupação do solo de sua bacia de drenagem, mas, especialmente, devido ao aporte de efluentes domésticos e industriais, os quais são lançados diretamente ou indiretamente na lagoa. Apesar disso, foi classificada, de acordo com a resolução CONAMA nº 357/2005, como pertencente à classe 2 (BRASIL, 2005). A água dessa lagoa foi utilizada, até o fim de 1983, para abastecimento público, mas hoje, com o sistema de captação desativado, é utilizada apenas para lazer e pesca (SILVA; MENDONÇA, 1997; LEAL, 2006; DUARTE et al., 2012). Duarte et al. (2012) avaliaram a qualidade da água da lagoa Jacuném, bem como a potencialidade genotóxica e mutagênica desta água, através do uso da espécie de peixe *Oreochromis niloticus* como bioindicadora. Os autores coletaram água em três pontos da lagoa e expuseram exemplares desta espécie, obtidos de uma piscicultura, a estas águas por 72h. Adicionalmente, para fins de comparação, os autores expuseram alguns exemplares a uma condição controle (aquários com água mineral) e controle positivo (animais que receberam injeção intraperitoneal de 0,3 mL de ciclofosfamida e, em seguida, foram mantidos em aquários com água mineral). Os autores encontraram, por meio de análises físico-químicas da água, que a lagoa se encontra em elevado estado de degradação, corroborada pela elevada condutividade (média de 207 µS/cm), concentração de clorofila-a (média de 143 µg/L), DBO (média de 18,11 mgO₂/L), concentração de fósforo total (média de 0,26 mg/L) e de coliformes termotolerantes (média de 1066 NMP/100 mL), assim como baixo nível de oxigênio dissolvido (média de 5,3 mgO₂/L) e elevadas concentrações de alumínio (0,149 mg/L) e cádmio (0,002 mg/L), as quais, inclusive, estavam acima das concentrações estabelecidas pela legislação CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). Adicionalmente, os autores encontraram elevado número de micronúcleos e outras anormalidades nucleares, assim como, grande perda da integridade do DNA (cometas de classes 1, 2, 3 e 4) nos exemplares da espécie de peixe avaliada quando submetidas à água da lagoa (**Tabela 63**). Os resultados obtidos foram muito superiores aos encontrados para os espécimes submetidos ao controle negativo e, em alguns casos, superiores aos resultados dos organismos considerados controles positivos, ou seja, injetados com uma substância potencialmente genotóxica e mutagênica. Segundo os autores, embora a qualidade da água da lagoa Jacuném seja considerada boa pelos órgãos ambientais competentes, apenas a integração entre a avaliação físico-química da água e o uso de marcadores citogenotóxicos e mutagênicos permitiria identificar que as diferentes fontes de poluentes depositados direta ou indiretamente na lagoa, especialmente a ocorrência de metais-traço na água dessa lagoa, fazem com que esta apresente elevada capacidade genotóxica e mutagênica, assim como evidenciado.

Tabela 63 – Média das frequências de micronúcleos (MN, %) e de anormalidades nucleares (AN, %) e dos índices de danos de DNA (IDua) determinados em eritrócitos de *O. niloticus* obtidos de três pontos da Lagoa Jacuném e de pontos controle negativo (CON) e controle positivo (CON+) em duas campanhas.

		MN % (média±SEM)	AN % (média±SEM)	IDua % (média±SEM)
1ª. campanha	CON	0,08±0,03	0,61±0,04	8,40±0,68
	CON+	0,61±0,13	3,03±0,28	267,60±9,51
	P1	0,81±0,05	1,85±0,22	251,40±6,14
	P2	1,25±0,07	1,41±0,06	240,40±12,94
	P3	1,56±0,16	1,10±0,35	222,60±2,52
2ª. campanha	CON	0,23±0,03	1,45±0,10	11,80±1,20
	CON+	0,72±0,08	3,23±0,21	280,00±9,38
	P1	1,19±0,04	4,37±0,18	246,40±12,27
	P2	0,78±0,05	5,23±0,05	100,40±16,76
	P3	0,34±0,04	2,39±0,16	117,80±19,85

Os valores seguidos de letras diferem significativamente do controle negativo: a, $p < 0.05$, MN(%); b, $p < 0.05$, NA(%); c, $p < 0.05$, ID(ua); ANOVA seguido de Dunnett's. SEM: erro padrão da média. Adaptado de Duarte et al. (2012).

5.3.2 AMBIENTE AQUÁTICO MARINHO

A região da foz do rio Doce fica localizada no distrito de Regência Augusta, no município de Linhares, o qual é situado 129 km ao norte de Vitória, capital do estado do Espírito Santo. Nessa região, o rio Doce representa o principal manancial. O delta do rio Doce estende-se sobre os municípios de Conceição da Barra, São Mateus, Jaguaré, Linhares e Aracruz, apresenta uma área de 2500 km² e é o mais importante da costa brasileira (TEIXEIRA, 2010; POLIZEL; ROSSETTI, 2014; APRILE; LORANDI; SIQUEIRA, 2016). A região possui características de delta destrutivo, com um único canal sem meandros ou afluentes, e com formação de ondas suficientemente fortes para transportar para o oceano grandes quantidades de material depositado na desembocadura do rio principal. A maior parte dos sedimentos existentes na foz não é originária do processo erosivo da região, mas sim do transporte fluvial do rio Doce, o qual carrega grande quantidade de sedimento proveniente de diferentes atividades antropogênicas ao longo do curso do rio, especialmente do médio rio Doce, entre o estado de Minas Gerais e o Espírito Santo (POLIZEL; ROSSETTI, 2014; APRILE; LORANDI; SIQUEIRA, 2016). A área apresenta diferentes ecossistemas, sob uma intensa influência marítima: mangues, vegetação de restinga, rios e riachos, lagoas temporárias, lagoas permanentes, lagunas, restingas e planície de inundação e brejos (TEIXEIRA, 2010).

Embora o baixo curso do rio Doce seja mais conservado em relação ao alto e médio curso desse rio, este passou por um 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; LEONARDO et al., 2017). Além disso, essa porção da bacia já apresenta claros sinais dos impactos causados pelas atividades antropogênicas, sendo que o mais marcante desses impactos é o

assoreamento, mas também a presença de elevadas concentrações de poluentes provenientes de Minas Gerais (FIGUEIREDO et al., 2014). De modo geral, a faixa costeira da foz do rio Doce apresenta uma extensa área alterada por atividades de mineração, agricultura, construção de canais para drenagem de água e reflorestamento. Entre as principais fontes de degradação dos recursos hídricos, em toda a área da foz do rio Doce, estão as elevadas cargas de esgoto doméstico, efluentes industriais e efluentes e resíduos da atividade agropecuária, uso de fertilizantes, contaminação proveniente da queima de combustíveis fósseis, metais pesados, derivados de petróleo, chorume e suinocultura (FIGUEIREDO et al., 2014; APRILE; LORANDI; SIQUEIRA, 2016; LEONARDO et al., 2017). Quanto aos derivados de petróleo, é válido indicar que na localidade de Regência há oleodutos, gasodutos e poços perfurados por uma grande empresa petroleira. Nessa região, há um registro de um grande vazamento de óleo na margem sul do rio Doce, na comunidade de Areal, em meados da década de 1980 (LEONARDO et al., 2017).

Em um estudo de avaliação da qualidade da água do “Vale do Suruaca”, localizado no lado norte da foz do rio Doce, Lani et al. (2009) identificaram elevados teores de chumbo, fósforo e alumínio. Além disso, a água dessa porção possui salinidade extremamente alta (com teores de sódio muito acima ao contido na água do mar) e elevada acidez. Segundo os autores, a água de salinidade elevada e com altos teores de chumbo e alumínio é proveniente de lagoas presentes na região, as quais são abastecidas com resíduos industriais de uma grande empresa petroleira que, periodicamente, devido às cheias do rio Doce, extravasam contaminando toda a área. Ainda, segundo os autores, a ocorrência de elevados níveis de fósforo é decorrente do uso de adubos em plantações de arroz, dos sedimentos ferríferos provenientes do rio Doce, além de resíduos domésticos e industriais lançados inadequadamente no rio Doce. Desse modo, a foz do rio Doce reflete não somente o uso das águas e solos pelas comunidades e indústrias do entorno, mas também as características de todos os rios de sua bacia de drenagem. Assim, a região da foz do rio Doce foi caracterizada como degradada e considerada como uma área prioritária para a conservação da biodiversidade, especialmente, porque esta abriga uma ampla área estuarina a qual, coincidentemente, apresenta grande importância ecológica (BRASIL, 2006; TEIXEIRA, 2010).

Estuários caracterizam-se como áreas semifechadas de livre conexão com o mar e que sofrem constantes diluições pelas águas continentais. Podem ser considerados como regiões de transição ou ecótonos, pois muitas de suas características os tornam únicos, tais como seus atributos físicos e biológicos (ODUM, 1983; DAY JR et al., 1989; RICKLEFS, 2003). Os nutrientes trazidos pelos rios, em conjunto com os sedimentos e nutrientes do fluxo marinho, aliados à tendência desses ambientes serem de áreas rasas, contribuem para uma elevada produtividade biológica, proporcionando, dessa forma, condições para o desenvolvimento e criação de diversas espécies. A região estuarina pode ser considerada como o ambiente mais produtivo do planeta (ODUM, 1983; RICKLEFS, 2003). Atua, ainda, como berçário, criadouro e refúgio, abrigando várias espécies de peixes em diversos períodos dos seus ciclos de vida. Beneficia peixes juvenis pela abundância de nutrientes ou, ainda, pela proteção contra predadores fornecida pelas plantas vasculares, as quais também participam da criação de um ambiente altamente favorável para a reprodução (VENDEL; CHAVES, 2001; SPACH; SANTOS; GODEFROID, 2003).

Além disso, correspondem a áreas de grande utilização e importância social e econômica para a espécie humana. Nesse aspecto, apresentam importância significativa como vias de acesso para

atividades portuárias, instalação de indústrias, extração de areia, pesca, atividades recreativas, entre outras (NEVES, 2014). Desse modo, não há nas regiões tropicais e subtropicais estuários em condições naturais, a grande maioria sofre influência de ações antropogênicas. Em decorrência dessas ações, muitos estuários apresentam alteração de *habitat*, estrutura e dinâmica das comunidades bióticas. Além disso, as espécies que ali residem entram em contato com a contaminação tanto proveniente das atividades antrópicas quanto com os diversos compostos carregados naturalmente dos rios para o mar (CAGNIN, 2013; NEVES, 2014; NIENCHESKI, 2014). Devido aos estuários serem localizados em áreas rasas, onde a circulação local só permite a diluição parcial dos poluentes, estes produzem efeitos tóxicos sobre a fauna afetando o equilíbrio ecológico (CAGNIN, 2013).

Três diferentes espécies de robalo (*Centropomus undecimalis*, *C. parallelus* e *C. ensiferus*) ocorrem na região estuarina de Regência. Entre estas, a espécie *C. parallelus* (Figura 71) é a mais abundante e comum (JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; BARROSO et al., 2007; SOUZA et al., 2013). Para essas espécies de peixes, a região estuarina é essencial, pois estes são considerados como residentes em estuários (RODRIGUES, 2005; SOUZA et al., 2013). Especialmente, durante o período reprodutivo, buscam e utilizam a foz dos rios e estuários para acasalamento e desova (RODRIGUES, 2005; BARROSO et al., 2007; CAGNIN, 2013). Robalos foram considerados os peixes de maior importância comercial para os pescadores do litoral do estado do Espírito Santo, especialmente para pescadores artesanais (RODRIGUES, 2005; BARROSO et al., 2007; CAGNIN, 2013). Devido a isso, as espécies do gênero *Centropomus* foram consideradas sobre-explotadas na região da foz do rio Doce, onde já apresentam estoques bastante reduzidos (BARROSO et al., 2007).

Figura 71 - Imagem representativa de um espécime de *Centropomus parallelus*.



Fonte: Froese e Pauly (2017).

Apesar da relevância das diferentes fontes de contaminação já registradas e da relevância ecológica da área estuarina associada à foz do rio Doce, até a ocorrência do desastre não haviam sido encontrados estudos de ecotoxicologia nessa região, entenda-se, especificamente, Regência, distrito de Linhares no Espírito Santo. Os estudos ecotoxicológicos encontrados para a porção marinha-estuarina do estado haviam sido realizados, em sua maioria, na região de Vitória, a qual é impactada por diferentes fontes antrópicas especialmente metais provenientes de diferentes fontes como efluentes urbanos e industriais, erosão e intemperismo de rochas e solos que compõem as bacias hidrográficas, e lixiviação de áreas contendo sucatas metálicas (JESUS et al., 2004; JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; MOREIRA, 2011; SOUZA et al., 2013). Porém, é muito importante registrar que logo após a ocorrência do desastre, uma equipe de pesquisadores da FAURG realizou amostragem na região marinha-estuarina próxima a foz do rio Doce e divulgou resultados da concentração de metais de peixes amostrados na região tanto antes quanto após a chegada da lama no local (FAURG, 2016).

Além disso, em boa parte dos estudos realizados, peixes foram os organismos utilizados como indicadores (JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; CAGNIN, 2013; SOUZA et al., 2013; NIENCHESKI et al., 2014; FAURG, 2016; APLYSIA, 2017), especialmente peixes do gênero *Centropomus* e, mais precisamente, da espécie *C. parallelus*, a qual foi considerada como bioindicadora devido a sua relevância para a população, mas também em decorrência de sua íntima relação com o ambiente estuarino e de seu hábito alimentar carnívoro, que a posiciona no topo da cadeia alimentar aquática e a coloca em uma posição-chave da cadeia trófica, onde qualquer perturbação na população dessa espécie acarretaria um distúrbio do ecossistema com um todo (JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; RODRIGUES, 2005; CAGNIN, 2013; SOUZA et al., 2013). Desse modo, o uso dessa espécie permite avaliar não somente a presença e/ou influência de metais pesados sobre a saúde desta como de toda a biota local, além de permitir a avaliação de processos de biomagnificação. É válido ressaltar que embora os estudos tenham sido desenvolvidos na região de Vitória, estes são importantes devido à capacidade migratória da espécie (JOYEUX; CAMPANHA FILHO; JESUS, 2004; RODRIGUES, 2005; BARROSO et al., 2007; SOUZA et al., 2013).

Joyeux, Campanha Filho e Jesus (2004) compararam a bioacumulação de metais (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) em tecido muscular de duas espécies com hábitos alimentares distintos: *Centropomus spp.* (robalo, snook, espécie carnívora) e *Mugil spp.* (tainha, mullet, espécie detritívora). Os autores identificaram uma correlação positiva entre as concentrações dos metais Cd, Cr, Cu e Zn e o tamanho e peso dos exemplares de robalo, ou seja, aumento nas concentrações de metais proporcionais ao aumento do tamanho e peso dos animais, desse modo, quanto maiores os animais, maiores as concentrações de metais acumuladas. Além disso, as concentrações de Cd e Pb foram maiores em tainhas (0,030 e 0,27 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de peso úmido, respectivamente) que em robalos (0,026 e 0,23 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de peso úmido, respectivamente), enquanto que para Zn o resultado foi inverso, cerca de duas vezes maior em robalos (6,14 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de peso úmido) que em tainhas (3,26 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de peso úmido). Porém, entre os metais determinados, apenas Cr apresentou concentrações acima das permissíveis para consumo humano (0,16 $\mu\text{g.g}^{-1}$ em robalo e 0,15 $\mu\text{g.g}^{-1}$ em tainha), de acordo com a legislação brasileira (0,1 $\mu\text{g.g}^{-1}$; BRASIL, 1965). Além disso, a média das concentrações de Cd e Pb, independentemente da espécie avaliada, foram maiores no verão que no inverno.

Jesus, Amorim e Alonso (2006) investigaram o nível de contaminação química (mais precisamente As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn e agrotóxicos) e microbiológica (coliformes totais e fecais) em exemplares de *Mytella guyanensis*, popularmente chamado de sururu do mangue, coletados ao longo de seis pontos da face noroeste da Baía de Vitória (desde Ilha de Caieiras até o estuário do rio Santa Maria). Segundo os autores, estes organismos, que comumente são utilizados para alimentação pela população da região amostrada, apresentaram maior acúmulo de As, Pb e Zn, assim como elevadas concentrações de coliformes totais e fecais, especialmente na região próxima a Ilha das Caieiras. No entanto, as amostras de ostras obtidas da mesma localidade apresentaram apenas o Zn em concentrações significativamente elevadas (até 650 mg/g). Para os autores os resultados obtidos confirmam o aporte de efluentes domésticos e industriais no sistema estuarino avaliado.

Castro (2008) avaliou a concentração de metais tóxicos (Cd, Cu, Pb e Zn) em amostras de ostras da espécie *Crassostrea gigas* (juvenis e adultas) obtidas do estuário de Piraquê-Mirim em Aracruz, onde as mesmas são cultivadas, com o intuito de avaliar a qualidade e sanidades destes organismos

destinados ao consumo humano. O autor identificou que as concentrações dos elementos avaliados estiveram abaixo dos limites estabelecidos pela legislação nacional e internacional tanto em ostras juvenis (sementes de ostras recém incluídas nas lanternas de cultivo; 3,91 g; n=20) quanto em ostras adultas (em tamanho próximo da fase de comercialização; 24,32 g; n=17) (Tabela 64). Deste modo, segundo o autor, o consumo de ostras da do rio Piraquê-Mirim não oferece riscos à saúde humana, uma vez que o mesmo se encontra livre de contaminação por Cd, Cu, Pb e Zn.

Tabela 64 – Concentração média de metais ($\mu\text{g.g}^{-1}$) determinados em amostras de ostras juvenis e adultas obtidas do estuário de Piraquê-Mirim, Aracruz.

	Ostras juvenis	Ostras adultas
Cd	0,027 (0,020 – 0,040)	0,014 (0,007 – 0,020)
Cu	1,3 (0,5 – 4)	0,69 (0,40 – 2,47)
Pb	0,25 (0,07 – 0,78)	0,24 (0,02 – 1,19)
Zn	39,5 (14,8 – 91,9)	45,5 (29,7 – 68,7)

Valores entre parênteses correspondem aos valores mínimos e máximos determinados nas amostras avaliadas. Adaptado de Castro (2008).

Silva et al. (2008) avaliaram a contaminação química (As, Cd, Cu, Pb e Zn) e microbiológica (coliformes totais) em amostras de água, sedimento e ostras da espécie *Crassostrea rhizophorae* obtidas dos manguezais dos estuários dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim em Aracruz, do rio Perocão em Guarapari e da Baía de Vitória. Os autores indicam que dentre os elementos químicos avaliados, o Zn foi o que apresentou as maiores concentrações, tanto em amostras de sedimento quanto de ostras de todos os pontos amostrados e, em ambas as coletas realizadas (Tabela 65 e Tabela 66, respectivamente). Do mesmo modo, os autores encontraram elevadas concentrações de As em amostras de sedimento (Tabela 65), no entanto, apenas as amostras de ostras dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim (segunda coleta) e Perocão (ambas as coletas) demonstraram estar acumulando este elemento (Tabela 66). Deste modo, os autores concluem que, dentre os pontos amostrados, a Baía de Vitória foi o que apresentou os maiores níveis de contaminação, pois, além de apresentar elevadas concentrações de Zn apresentou elevadas concentrações de coliformes totais, o que corrobora o maior aporte de efluentes domésticos e industriais nessa região. Assim, embora a maior parte dos elementos determinados nas ostras obtidas da baía de Vitória esteja dentro dos limites máximos permitidos pela legislação, é possível indicar severa contaminação dessas ostras por zinco (Tabela 66).

Tabela 65 – Concentração média ($\pm$ erro padrão) de metais determinados em amostras de sedimento ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) coletadas em manguezais de três estuários no Espírito Santo: Piraquê-Açu e Piraquê-Mirin (PAPM) em Aracruz, Perocão (PER) em Guarapari e Baía de Vitória (BV) nas estações de verão (1) e inverno (2).

	VMP pela legislação* ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Estuários							
		PAPM		PER		BV			
		Nível 1	Nível 2	1	2	1	2	1	2
As	19	70	33 $\pm$ 6	35 $\pm$ 9	34 $\pm$ 5	33 $\pm$ 5	27 $\pm$ 5	27 $\pm$ 5	
Cd	1,2	7,2	0,8 $\pm$ 0,4	0,03 $\pm$ 0,02	0,38 $\pm$ 0,06	0,03 $\pm$ 0,01	0,28 $\pm$ 0,04	0,11 $\pm$ 0,06	
Cu	34	270	7 $\pm$ 3	13 $\pm$ 7	11 $\pm$ 5	11 $\pm$ 2	11 $\pm$ 4	12 $\pm$ 4	
Pb	46,7	218	15 $\pm$ 4	22 $\pm$ 5	15 $\pm$ 6	17 $\pm$ 3	17 $\pm$ 3	17 $\pm$ 3	
Zn	150	410	52 $\pm$ 17	51 $\pm$ 15	69 $\pm$ 25	57 $\pm$ 11	72 $\pm$ 15	72 $\pm$ 11	

VMP – valores máximos permitidos pela legislação; *Legislação considerada para comparação CONAMA n°. 354/2012. Dados em negrito correspondem aos elementos encontrados em maiores concentrações. Adaptado de Silva et al. (2008).

Tabela 66 – Concentração média ($\pm$ erro padrão) de metais determinados em amostras de ostras ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ – peso úmido) coletadas em manguezais de três estuários no Espírito Santo: Piraquê-Açu e Piraquê-Mirin (PAPM) em Aracruz, Perocão (PER) em Guarapari e Baía de Vitória (BV) nas estações de verão (1) e inverno (2).

	VMP pela legislação ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ PU)	Estuário					
		PAPM		PER		BV	
		1	2	1	2	1	2
As	1 ^{a, b, c}	1,0 $\pm$ 0,2	1,3 $\pm$ 0,2*	1,4 $\pm$ 0,2*	1,7 $\pm$ 0,3*	0,7 $\pm$ 0,1	0,8 $\pm$ 0,1
Cd	1 ^{a, b} ou 2 ^c	0,05 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,01	0,07 $\pm$ 0,07	0,03 $\pm$ 0,01	0,09 $\pm$ 0,05	0,02 $\pm$ 0,01
Cu	30 ^a	2,1 $\pm$ 0,6	3,3 $\pm$ 1,6	5,0 $\pm$ 1,0	6,8 $\pm$ 1,8	2,4 $\pm$ 0,7	3,5 $\pm$ 0,9
Pb	1,5 ^c ou 2 ^{a, b}	0,08 $\pm$ 0,01	0,07 $\pm$ 0,02	0,09 $\pm$ 0,02	0,08 $\pm$ 0,03	0,07 $\pm$ 0,03	0,05 $\pm$ 0,01
Zn	50 ^a	141 $\pm$ 33*	179 $\pm$ 33*	219 $\pm$ 30*	301 $\pm$ 52*	1114 $\pm$ 440*	830 $\pm$ 310*

VMP – valores máximos permitidos pela legislação; P.U – peso úmido; *Legislações consideradas para comparação: a) Decreto n. 55871/1965; b) Portaria n. 685/1998; c) Resolução RDC n. 42/2013. Dados em negrito e acompanhados de asterisco representam valores acima dos limites máximos estabelecidos pela legislação. Adaptado de Silva et al. (2008).

Moreira (2011) determinou a concentração de metais e semimetais (Al, As, Ba, Cr, Cu, Fe, Mn, Ti e Zn) em amostras de água e invertebrados (mexilhões e esponjas) obtidos de *habitats* costeiros bentônicos da região da grande Vitória, mais especificamente dos costões rochosos localizados na Praia de Jardim Camburi (JC), na Ilha Galheta de Dentro – Ilha do Boi (IB) e na Ilha Pituã (IP). O autor identificou que a concentração dos elementos Al, Ba, Cr, Fe, Mn e Zn estiveram elevadas nas amostras de água de todos os pontos amostrados durante a coleta de verão, mas, apenas as concentrações de Cr, Fe e Zn ultrapassaram os limites estabelecidos pelo CONAMA n° 357/2005 para águas salinas de classe I (Tabela 67; BRASIL, 2005). Além disso, tanto os mexilhões (*Perna perna*) quanto as esponjas do mar (*Amphimedon viridis*) apresentaram elevadas concentrações de todos os elementos avaliados (Tabela 68), o que sugere bioacumulação. Os elementos Al e Fe foram os que apresentaram as concentrações mais expressivas, porém, não há limites máximos permitidos pela legislação brasileira para

esses elementos. Já para As, Cr e Zn que possuem limites máximos legislados, é possível identificar que tanto para *Perna perna* (As, Cr e Zn) quanto para *A. viridis* (As e Cr) as concentrações encontram-se acima do padrão estabelecido pelas legislações brasileiras (Tabela 68; BRASIL, 1965; ANVISA, 1998; 2013). Muito embora as esponjas não sejam utilizadas para consumo humano, as mesmas demonstraram ser melhores indicadores da condição ambiental, uma vez que as concentrações dos elementos encontradas nas mesmas foi significativamente maior que as determinadas em amostras de mexilhões, especialmente para os elementos Al, As, Ba, Cr, Fe, Mn e Ti (Tabela 68). Ainda, segundo o autor, o ponto que apresentou as maiores concentrações dos elementos avaliados, especialmente Al e Fe, tanto na água quanto nos organismos amostrados, foi o da praia de Jardim Camburi, provavelmente, devido a maior incidência de efluentes industriais nesta região que nitidamente comprometem a qualidade deste ambiente.

Tabela 67 – Média $\pm$ erro padrão das concentrações de metais e semimetais obtida de amostras de água salina (mg.l^{-1}) coletadas em três pontos de amostragem na grande Vitória (ES): Praia de Jardim Camburi (JC), na Ilha Galheta de Dentro – Ilha do Boi (IB) e na Ilha Pituã (IP) nas estações de verão e inverno.

	Água salina (mg.l^{-1})					
	Verão			Inverno		
	JC	IB	IP	JC	IB	IP
Al	1214 $\pm$ 0,25	1094 $\pm$ 0,09	1208 $\pm$ 0,09	0,133 $\pm$ 0,003	0,11 $\pm$ 0,003	0,12 $\pm$ 0,02
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ba	0,014 $\pm$ 0,004	0,01 $\pm$ 0,001	0,013 $\pm$ 0,02	0,007 $\pm$ 0,0003	0,006 $\pm$ 0,001	0,009 $\pm$ 0,005
Cr	0,149 $\pm$ 0,002*	0,143 $\pm$ 0,006*	0,146 $\pm$ 0,001*	<LQ	<LQ	<LQ
Cu	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Fe	0,338 $\pm$ 0,23*	0,293 $\pm$ 0,193	0,413 $\pm$ 0,054*	<LQ	<LQ	<LQ
Mn	0,041 $\pm$ 0,002	0,043 $\pm$ 0,003	0,041 $\pm$ 0,001	0,026 $\pm$ 0,003	0,024 $\pm$ 0,0003	0,026 $\pm$ 0,001
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	0,151 $\pm$ 0,08*	0,164 $\pm$ 0,071*	0,184 $\pm$ 0,083*	0,03 $\pm$ 0,005	0,037 $\pm$ 0,005	0,047 $\pm$ 0,008

Dados em negrito e acompanhados de asterisco representam valores acima dos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA n°. 357/2005 para águas salinas de classe I; Dados apenas em negrito correspondem aos elementos encontrados em maiores concentrações. <LQ – abaixo do limite de quantificação; ND – não determinado. Adaptado de Moreira (2011).

Tabela 68 – Média $\pm$ erro padrão das concentrações de metais e semimetais obtida de amostras de mexilhões (*P. perna*) e esponjas do mar (*A. viridis*) ($\mu\text{g.g}^{-1}$) coletadas em três pontos de amostragem na grande Vitória (ES): Praia de Jardim Camburi (JC), na Ilha Galheta de Dentro – Ilha do Boi (IB) e na Ilha Pituã (IP), nas estações de verão e inverno.

Elemento	Organismo	Verão			Inverno		
		JC	IB	IP	JC	IB	IP
Al	<i>A. viridis</i>	2999,7 $\pm$ 516,0	1801,2 $\pm$ 344,5	1893,5 $\pm$ 453,1	2884,0 $\pm$ 334,2	1134,0 $\pm$ 131,0	1874,5 $\pm$ 640,8
	<i>P. perna</i>	156,0 $\pm$ 52,9	471,1 $\pm$ 475,7	568,3 $\pm$ 303	487,1 $\pm$ 275,0	1294,0 $\pm$ 811,7	2068,0 $\pm$ 1207,3
As	<i>A. viridis</i>	7,3 $\pm$ 2,5*	12,0 $\pm$ 2,0*	10,0 $\pm$ 0,5*	10,3 $\pm$ 1,1*	9,1 $\pm$ 2,7*	9,5 $\pm$ 1,6*
	<i>P. perna</i>	5,3 $\pm$ 0,9*	6,0 $\pm$ 0,6*	7,4 $\pm$ 1,3*	9,3 $\pm$ 3,0*	10,5 $\pm$ 3,1*	9,9 $\pm$ 0,8*
Ba	<i>A. viridis</i>	11,6 $\pm$ 4,0	11,0 $\pm$ 6,9	6,0 $\pm$ 2,4	3,8 $\pm$ 0,5	10,6 $\pm$ 3,8	7,8 $\pm$ 3,6
	<i>P. perna</i>	4,9 $\pm$ 4,6	11,2 $\pm$ 8,5	4,5 $\pm$ 3,4	1,2 $\pm$ 0,5	2,0 $\pm$ 1,2	3,9 $\pm$ 2,5
Cr	<i>A. viridis</i>	13,3 $\pm$ 1,4*	11,9 $\pm$ 1,6*	13,7 $\pm$ 1,5*	11,3 $\pm$ 0,2*	10,0 $\pm$ 1,5*	16,0 $\pm$ 1,0*
	<i>P. perna</i>	6,4 $\pm$ 4,9*	13,8 $\pm$ 0,8*	8,0 $\pm$ 6,6*	7,7 $\pm$ 0,7*	9,3 $\pm$ 0,5*	10,6 $\pm$ 1,3*
Cu	<i>A. viridis</i>	3,0 $\pm$ 0,6	3,6 $\pm$ 0,6	3,3 $\pm$ 0,5	4,5 $\pm$ 0,6	2,3 $\pm$ 0,5	2,3 $\pm$ 0,7
	<i>P. perna</i>	3,7 $\pm$ 0,6	3,9 $\pm$ 0,7	3,8 $\pm$ 1,5	5,3 $\pm$ 1,0	10,4 $\pm$ 3,8	4,7 $\pm$ 1,2
Fe	<i>A. viridis</i>	9398,7 $\pm$ 2872,0	2169,7 $\pm$ 342,0	1806,7 $\pm$ 304,4	3525,5 $\pm$ 528,6	1308,0 $\pm$ 186,0	2791,5 $\pm$ 700,1
	<i>P. perna</i>	376,3 $\pm$ 173,8	546,3 $\pm$ 447,5	689,1 $\pm$ 264,3	613,4 $\pm$ 345,3	1012,5 $\pm$ 479,1	1526,7 $\pm$ 793,9
Mn	<i>A. viridis</i>	81,9 $\pm$ 35,2	64,9 $\pm$ 18,7	24 $\pm$ 2,6	65,2 $\pm$ 4,8	21,3 $\pm$ 1,3	74,3 $\pm$ 6,8
	<i>P. perna</i>	10,0 $\pm$ 2,8	18,9 $\pm$ 18,1	8,9 $\pm$ 1,3	12,8 $\pm$ 2,7	17,4 $\pm$ 5,1	18,6 $\pm$ 7,4
Ti	<i>A. viridis</i>	26,5 $\pm$ 8,2	18,4 $\pm$ 16,0	4,4 $\pm$ 1,2	26,5 $\pm$ 3,0	19,6 $\pm$ 4,1	33,8 $\pm$ 15,3
	<i>P. perna</i>	1,5 $\pm$ 0,6	1,1 $\pm$ 0,7	3,9 $\pm$ 2,8	6,1 $\pm$ 5,1	11,9 $\pm$ 10,3	21,2 $\pm$ 11,3
Zn	<i>A. viridis</i>	22,5 $\pm$ 3,4	22,9 $\pm$ 3,2	21,4 $\pm$ 3,3	21,7 $\pm$ 3,3	17,8 $\pm$ 1,1	18,4 $\pm$ 1,2
	<i>P. perna</i>	69,5 $\pm$ 19,5*	84,2 $\pm$ 46,5*	65,8 $\pm$ 9,3*	66,5 $\pm$ 5,3*	182,5 $\pm$ 22,2*	98,0 $\pm$ 19,5*

*Legislações consideradas para comparação: a) Decreto n. 55871/1965; b) Portaria n. 685/1998; c) Resolução RDC n. 42/2013. Dados em negrito e acompanhados de asterisco representam valores acima dos limites máximos estabelecidos pela legislação. Dados apenas em negrito correspondem aos elementos encontrados em maiores concentrações. Adaptado de Moreira (2011).

Em um estudo bastante detalhado, Souza et al. (2013) utilizaram a espécie *C. parallelus* como bioindicador para avaliação da presença e influência de metais e metaloides (Al, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Hg, Pb) sobre a saúde da biota de dois estuários do litoral do Espírito Santo, os estuários de Vitória e Santa Cruz, os quais apresentam diferentes fontes de poluição. Não houve variação sazonal quanto aos níveis de contaminação em ambos os estuários avaliados. Além disso, a concentração de metais e metaloides encontrada na água e sedimentos foi significativamente alta, embora o estuário de Vitória apresente concentrações um pouco mais elevadas, compatíveis com impactos antropogênicos mais severos na região. Do mesmo modo, elevadas concentrações de metais foram encontradas em tecido muscular de *C. parallelus* obtidos nas regiões avaliadas, mas, também sem diferenças sazonais significativas entre os pontos. As concentrações de As e Hg estiveram abaixo dos limites analíticos para água e sedimento, mas acima dos limites analíticos e muito superiores aos limites estabelecidos para consumo humano quando se analisa o tecido muscular dos peixes *C. parallelus* (Tabela 69). Esses resultados indicaram biomagnificação desses elementos, compatíveis com os hábitos alimentares e de vida da espécie. Apesar disso, os autores identificaram que os contaminantes presentes na região não causaram danos genéticos significativos, ou seja, possuem baixo potencial mutagênico. No entanto, outras alterações fisiológicas e bioquímicas foram identificadas. Os exemplares *C. parallelus* obtidos dos dois estuários avaliados apresentaram lesões histopatológicas e alterações em funções enzimáticas das brânquias, no entanto, sem prejuízos significativos ao funcionamento desse órgão. Por outro lado, as determinações realizadas no fígado indicaram alterações histopatológicas severas, que podem prejudicar o funcionamento desse órgão, levando à inibição de enzimas de biotransformação e, consequentemente, reduzindo a capacidade de defesa do organismo diante do estresse oxidativo causado comumente por metais. Tais alterações demonstram maior impacto sobre os organismos obtidos da Baía de Vitória, compatível com as maiores concentrações de metais e outros poluentes que possam ocorrer na região.

Tabela 69 – Concentração média ($\pm$ desvio padrão) de metais determinada em amostras de água (H₂O) superficial e intersticial ($\mu\text{g. L}^{-1}$), sedimento ($\mu\text{g. g}^{-1}$ – peso seco) e tecido muscular de *C. parallelus* ($\mu\text{g. g}^{-1}$ – peso seco) obtidas das baías de Santa Cruz e Vitória

	Santa Cruz						Vitória					
	Verão			Inverno			Verão			Inverno		
	H ₂ O Sup.	H ₂ O Int.	Sedim.	<i>C. parallelus</i>	H ₂ O Sup.	H ₂ O Int.	H ₂ O Sup.	H ₂ O Int.	Sedim.	<i>C. parallelus</i>	H ₂ O Int.	Sedim.
Ag	48 $\pm$ 3,3	<LQ	<LQ	<LQ	56,7 $\pm$ 13,5	<LQ	13,1 $\pm$ 2,5	6,1 $\pm$ 9,4	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Al	38,3 $\pm$ 3,2	3422 $\pm$ 615	29986 $\pm$ 1854	38,8 $\pm$ 0,7	109,2 $\pm$ 25,3	2576 $\pm$ 471	138,9 $\pm$ 2,8	6999 $\pm$ 3157	22567 $\pm$ 1009	4,0 $\pm$ 0,6	5363 $\pm$ 692	22297 $\pm$ 1622
As	<LQ	<LQ	8,8 $\pm$ 1,8	0,69 $\pm$ 0,48	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	6,0 $\pm$ 1,5	0,77 $\pm$ 0,01	<LQ	6,2 $\pm$ 0,6
Cd	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Cr	<LQ	<LQ	28,1 $\pm$ 1,5	0,09 $\pm$ 0,01	<LQ	<LQ	<LQ	9,7 $\pm$ 7,3	45 $\pm$ 29	0,07 $\pm$ 0,01	3,7 $\pm$ 4,3	24,8 $\pm$ 3,4
Cu	<LQ	5,3 $\pm$ 10,7	3,7 $\pm$ 0,2	0,77 $\pm$ 0,09	<LQ	<LQ	16,6 $\pm$ 0,5	4,0 $\pm$ 3,4	4,4 $\pm$ 0,8	0,67 $\pm$ 0,07	7,3 $\pm$ 6,7	4,3 $\pm$ 0,4
Fe	150 $\pm$ 1	13751 $\pm$ 4021	20697 $\pm$ 2185	8,4 $\pm$ 0,6	145 $\pm$ 116	13189 $\pm$ 2137	355 $\pm$ 6	13520 $\pm$ 3691	24064 $\pm$ 4537	6,8 $\pm$ 0,9	320 $\pm$ 2	27413 $\pm$ 3115
Hg	<LQ	<LQ	<LQ	0,18 $\pm$ 0,02	<LQ	<LQ	<LQ	2,2 $\pm$ 3,5	<LQ	0,35 $\pm$ 0,01	<LQ	<LQ
Mn	10,2 $\pm$ 0,8	1168 $\pm$ 269	90,3 $\pm$ 11,4	0,83 $\pm$ 0,02	20,4 $\pm$ 0,2	2159 $\pm$ 804	57,8 $\pm$ 2,8	125 $\pm$ 122	58,8 $\pm$ 6,8	0,55 $\pm$ 0,02	69 $\pm$ 0,5	53,1 $\pm$ 8,4
Ni	<LQ	8,6 $\pm$ 17,5	8,7 $\pm$ 1,2	0,10 $\pm$ 0,05	<LQ	<LQ	34,9 $\pm$ 1,1	<LQ	11,6 $\pm$ 6,9	0,04 $\pm$ 0,04	6,0 $\pm$ 7,1	6,9 $\pm$ 0,8
Pb	19,8 $\pm$ 0,6	<LQ	6,4 $\pm$ 0,2	0,08 $\pm$ 0,06	12,6 $\pm$ 1,6	<LQ	11,1 $\pm$ 0,6	<LQ	12,1 $\pm$ 4,5	0,03 $\pm$ 0,01	7,5 $\pm$ 0,8	13,9 $\pm$ 2,5
Se	<LQ	7,0 $\pm$ 17	<LQ	0,21 $\pm$ 0,03	<LQ	6,4 $\pm$ 15,6	<LQ	8,7 $\pm$ 21,2	<LQ	0,74 $\pm$ 0,05	8,8 $\pm$ 21,5	<LQ
Zn	<LQ	<LQ	<LQ	12,4 $\pm$ 0,8	<LQ	<LQ	27,9 $\pm$ 21,6	<LQ	<LQ	14,4 $\pm$ 0,4	358,4 $\pm$ 6	<LQ
												12 $\pm$ 0,8

<LQ – abaixo do limite de quantificação. Adaptado de Souza et al. (2013).

Cagnin (2013) avaliou a toxicidade do arsênio (elemento de ocorrência comum e em elevadas concentrações nos estuários do estado do Espírito Santo) sobre as respostas de defesa ao estresse oxidativo de juvenis de *C. parallelus* em salinidades de 5 e 25 psu. As concentrações testadas no estudo (1,25 e 2,5 mg/L) causaram drásticos prejuízos às respostas de defesa antioxidante da espécie, independentemente da salinidade. Juvenis de robalos apresentaram inibição das principais enzimas de defesa, catalase e superóxido dismutase (CAT, SOD), além de prejuízos em funções neurológicas, verificado pela inibição da enzima acetilcolinesterase (AChE). Adicionalmente, os animais apresentaram aumento no dano lipídico (TBARS) e redução no consumo de oxigênio, refletindo alterações no metabolismo energético. Embora esse estudo tenha sido realizado exclusivamente em laboratório, o uso de um elemento reconhecidamente tóxico e, de ocorrência comum na região, nos ajuda a conhecer as respostas de uma espécie representativa e de grande interesse para a população local. Além disso, os espécimes utilizados nesse estudo foram obtidos de uma fazenda de cultivo localizada na região de Linhares. Assim, mesmo em concentrações diferentes das testadas no estudo, os animais podem estar expostos a esse elemento no ambiente natural.

Niencheski et al. (2014) avaliaram a concentração de metais (Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn) em tecidos corpóreos de peixes (fígado e músculo) e invertebrados (ostras ou cracas; toda a parte mole do organismo) de quatro estados brasileiros (Pernambuco, Espírito Santo, Paraná e Rio Grande) que sofrem elevada influência antrópica. Especificamente no estado do Espírito Santo, foram avaliados os estuários dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim no distrito de Santa Cruz, município de Aracruz, utilizando como bioindicadores o peixe *Lutjanus synagris* e a ostra *Crassostrea rhizophorae*. A determinação de metais-traço tanto em fígado quanto em músculo de *L. synagris* e em tecidos moles de *C. rhizophorae* indicou acúmulo de cromo (Cr), chumbo (Pb) e zinco (Zn) nessas espécies e em limites superiores ao permitido pela legislação brasileira de alimentos para consumo humano (Tabela 70). Segundo os autores, tal constatação independe da estação de coleta (verão ou inverno) ou do ponto amostral (referência ou poluído) indica comprometimento do ambiente avaliado por estes dois elementos os quais, aparentemente, apresentam fonte de aporte comuns.

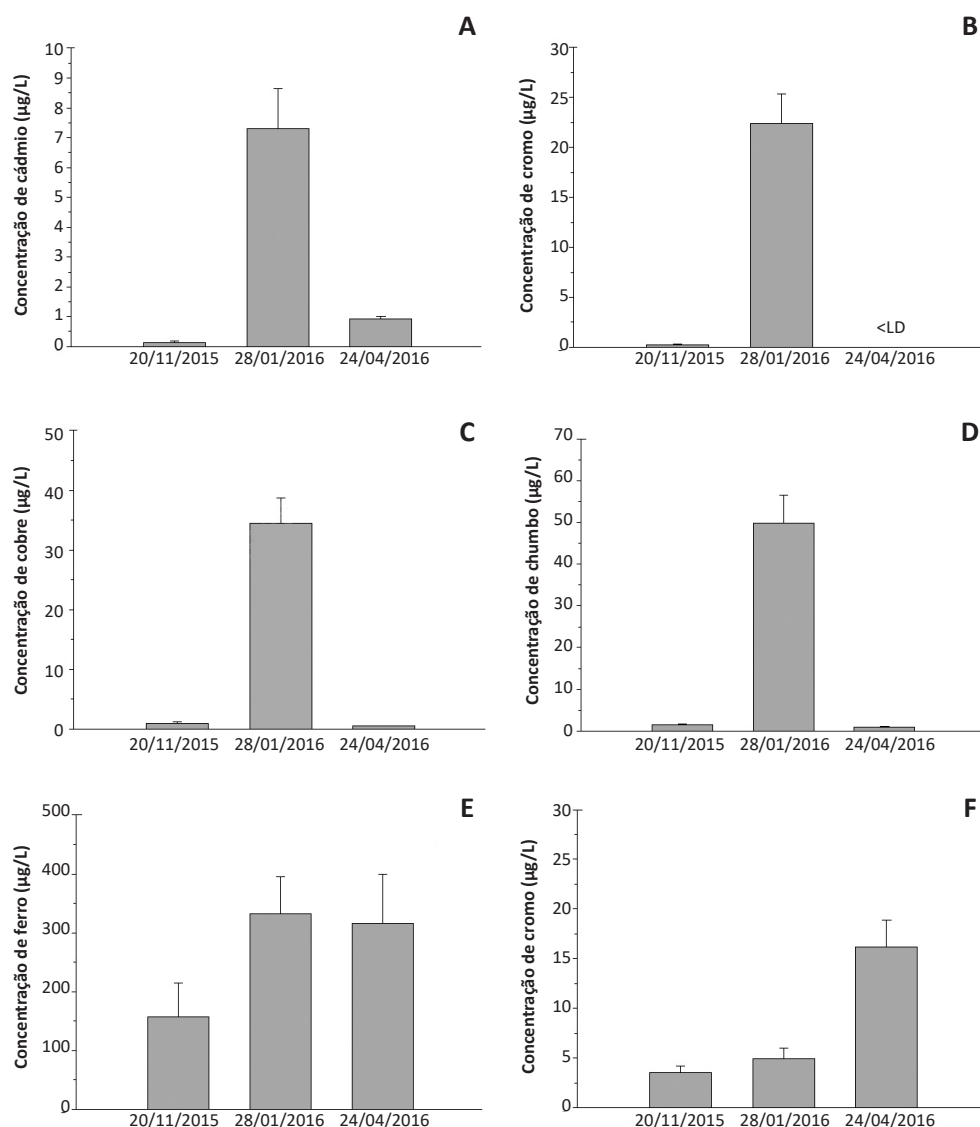
Tabela 70 – Concentração média de metais ($\mu\text{g.g}^{-1}$) determinadas em tecidos de *Lutjanus synagris* (fígado e músculo) e *Crassostrea rhizophorae* (partes moles) coletados nos estuários dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim no distrito de Santa Cruz, município de Aracruz, em local referência (REF) e contaminado (CONT) nos meses de agosto de 2003 e fevereiro de 2004.

Organismo	Ponto	Tecido	Cd		Cu		Cr		Hg		Pb		Zn	
			Ago/03	Fev/04	Ago/03	Fev/04	Ago/03	Fev/04	Ago/03	Fev/04	Ago/03	Fev/04	Ago/03	Fev/04
<i>L. synagris</i>	REF	Fígado	ND	0,13	ND	12,70	ND	0,27*	ND	<LQ	ND	3,34*	ND	125,48*
		Músculo	<LQ	0,08	0,77	0,61	0,10	0,11*	<LQ	<LQ	0,26	0,60*	17,06	16,47
	CONT	Fígado	ND	0,02	ND	0,68	ND	0,03	ND	<LQ	ND	0,49*	ND	18,16
		Músculo	0,42	0,02	17,42	0,69	0,49*	<LQ	<LQ	<LQ	0,41*	0,46*	15,95	17,17
<i>C. rhizophorae</i>	REF		<LQ	0,50	0,79	12,49	0,10	0,97*	<LQ	<LQ	0,41	0,40	33,54	1858,41*
	CONT 1	Partes	0,49	ND	28,52	ND	0,40*	ND	<LQ	ND	0,37	ND	2434,72*	ND
	CONT 2	moles	ND	0,62	ND	17,41	ND	0,50*	ND	<LQ	ND	0,55	ND	1544,70*
	CONT 3		0,66	0,66	25,76	21,60	0,54*	1,20*	0,09	<LQ	0,52	0,52	1378,64*	1459,94*

<LQ – abaixo do limite de quantificação; ND – não determinado. *Legislações consideradas para comparação: a) Decreto n. 55871/1965; b) Portaria n. 685/1998; c) Resolução RDC n. 42/2013. Dados em negrito e acompanhados de asterisco representam valores acima dos limites máximos estabelecidos pela legislação. Adaptado de Niencheski et al. (2014).

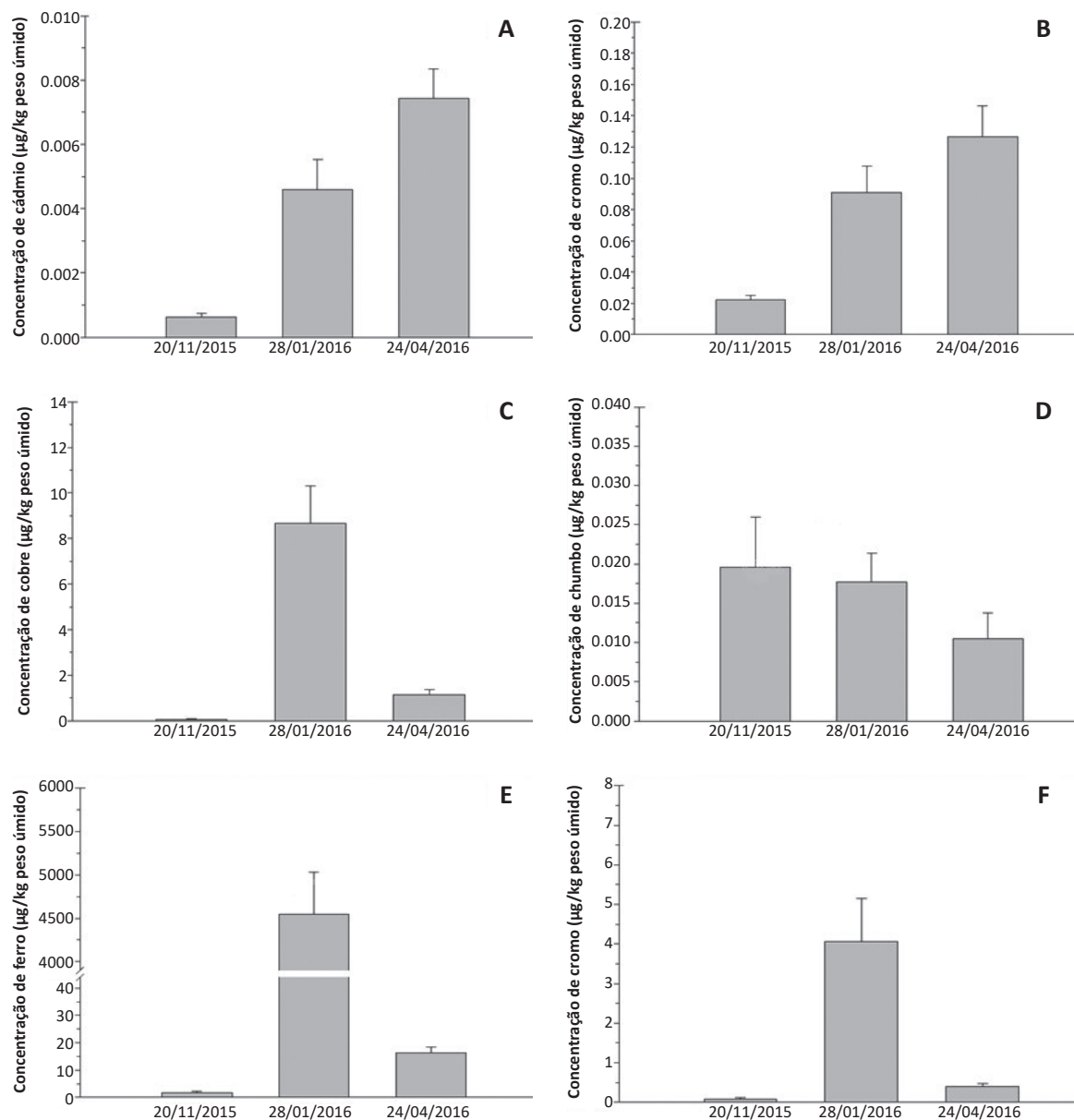
O estudo realizado por pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande em parceria com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (FAURG, 2016) avaliou tanto amostras de água quando de pescado (amostras de fígado e músculo) obtidas da região da foz do rio Doce antes (outubro de 2015 e 20/11/2015) e após (28/01/2016 e 24/04/2016) a chegada (22/11/2015) da lama oriunda do rompimento da barragem de Fundão. As amostras de água foram analisadas quanto as concentrações totais de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e demonstraram um padrão temporal claro, onde as concentrações dos elementos Cd, Cr, Cu e Pb aumentaram significativamente logo após a chegada da lama na foz do rio Doce, mas, retornaram às concentrações próximas das determinadas antes do evento. A concentração de Fe, por sua vez, aumentou significativamente na primeira amostragem após a chegada da lama mantendo-se elevada na amostragem subsequente. Em contrapartida, a concentração de Mn só aumentou na segunda amostragem pós-desastre (Figura 72). A avaliação da concentração de metais em amostras de tecido muscular das diferentes espécies de peixes (*Eucinostomus argenteus*, *Eucinostomus melanopterus*, *Pachyurus adspersus*, *Caranx latus*, *Eugerres brasiliensis*, *Cathorops spixii*, *Genidens genidens*, *Pachyurus adspersus*, *Pomadasys ramosus*, *Bairdiella ronchus*, *Pimelodus maculatus*, *Callichthys callichthys*, *Mugil liza*, *Mugil curema*, *Oligoplites saliens*, *Cynoscion sp.*, *Micropogonias furnieri* e *Centropomus parallelus*) amostradas na foz do rio Doce indicaram diferentes padrões de acumulação. Os elementos Cd e Cr, por exemplo, apresentaram aumento em suas concentrações ao longo das amostragens realizadas. Os metais Cu, Fe e Mn apresentaram elevadas concentrações na primeira amostragem após a chegada da lama na foz do rio Doce (28/01/2016) e redução dessas concentrações na segunda amostragem (24/04/2016) porém, ainda, em concentrações superiores as encontradas antes da chegada da lama (outubro/2015). O elemento Pb não apresentou alteração de concentração nas amostras de músculo de pescado coletadas após a chegada da lama em comparação as obtidas antes deste evento (Figura 73). Ao comparar a acumulação de metais em amostras de fígado e músculo obtidos da foz do rio Doce após a chegada da onda de lama, os pesquisadores identificaram que, de modo geral, houve um aumento significativo da concentração dos elementos avaliados em ambos os tecidos. Os elementos Cd, Cr, Cu, Fe e Mn foram encontrados em maiores concentrações no fígado, enquanto Pb acumulou-se em maiores quantidades no músculo (Figura 74). Segundo os pesquisadores, os resultados encontrados confirmam a hipótese de que houve contribuição do desastre para o incremento na concentração dos metais Cd, Cr, Cu, Fe, Mn e Pb na região da foz do rio Doce.

Figura 72 – Prancha de resultados de determinação de concentração de cádmio (A), cromo (B), cobre (C), chumbo (D), ferro (E) e manganês (F) em amostras de água ($\mu\text{g/L}$) coletadas na região da foz do rio Doce antes (20/11/2015) e após (28/01/2016 e 24/04/2016) a chegada (22/11/2015) da lama oriunda do rompimento da barragem de Fundão.



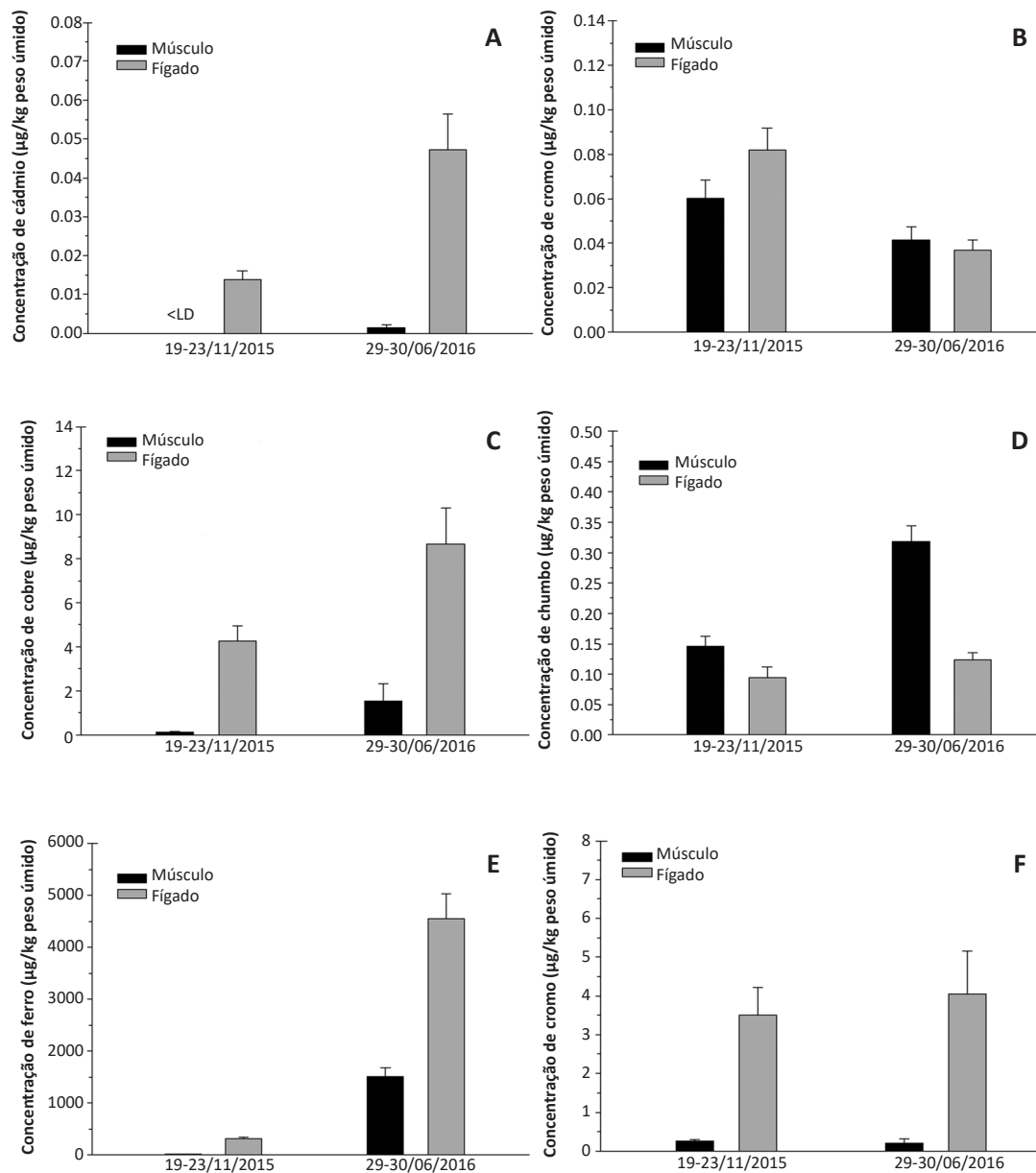
Dados apresentados como média $\pm$ erro padrão da média. Adaptado de FAURG (2016).

Figura 73 – Prancha de resultados de determinação de concentração de cádmio (A), cromo (B), cobre (C), chumbo (D), ferro (E) e manganês (F) em amostras de pescado ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso úmido) coletadas na região da foz do rio Doce antes (outubro/2015) e após (28/01/2016 e 24/04/2016) a chegada (22/11/2015) da lama oriunda do rompimento da barragem de Fundão.



Dados apresentados como média $\pm$ erro padrão da média. Adaptado de FAURG (2016).

Figura 74 - Prancha de resultados de determinação de concentração de cádmio (A), cromo (B), cobre (C), chumbo (D), ferro (E) e manganês (F) em amostras fígado (coluna cinza) e músculo (coluna preta) de pescado ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso úmido) coletadas na região da foz do rio Doce após a chegada (22/11/2015) da lama oriunda do rompimento da barragem de Fundão.



Dados apresentados como média $\pm$ erro padrão da média. Adaptado de FAURG (2016).

Aplysia (2017) apresentou um relatório onde foram compilados dados de diferentes estudos que avaliaram a concentração de arsênio (As) em amostras de água, sedimento e tecidos de moluscos e peixes provenientes da costa do Espírito Santo. Segundo os dados apresentados neste relatório, as concentrações de As em água superficial da região costeira do estado variaram entre 2,36 a 10,34 µg/L, enquanto que no sedimento este metaloide atingiu concentrações de até 153,38 mg/kg. Os dados referentes as concentrações de As em amostras biológicas contemplaram estudos realizados com moluscos (*Anomalocardia brasiliiana*; *Perna perna* e *Crassostrea rhizophorae*) e peixes (*Centropomus parallelus*; *Diapterus rhombeus*; *Eleotris pisonis*; *Ophioscion punctatissimus* e *Genidens genidens*) amostrados entre a foz do rio Benevente em Anchieta e a região marinha adjacente ao terminal portuário de Portocel em Aracruz. As concentrações de As em moluscos variaram entre 0,66 mg/kg de peso úmido (PU) na região de Aracruz a 2,82 mg/kg PU em Anchieta. Dentre os organismos avaliados os mexilhões *P. perna* foram os que apresentaram as maiores concentrações de As em seus tecidos (Tabela 71). Para as amostras de peixes, as concentrações variaram entre <0,1 mg/kg PU em amostras de músculo de *C. parallelus* (robalos) coletados na praia de Camburi em Vitória a 9,82 mg/kg PU em amostras de músculo de *G. genidens* (bagre) coletados na foz do rio Jucu em Vila Velha (Tabela 72). Dentre as espécies de peixe avaliadas *G. genidens* foi a que apresentou maior concentração de As em seus tecidos. Os dados compilados por Aplysia (2017) indicaram que 65,22% das amostras de moluscos e 18,06% das amostras de peixes analisadas encontravam-se foram dos limites estabelecidos pela legislação nacional, ou seja, 1 mg/kg PU.

Tabela 71 – Concentração média de arsênio (As - mg/kg PU) em amostras de moluscos coletados entre a foz do rio Benevente em Anchieta e a região marinha adjacente ao terminal portuário de Portocel em Aracruz, de acordo com dados compilados ao longo dos anos de 2007 a 2015.

Período (mês/ano)	Localização	As (mg/kg PU)	Espécie avaliada
2007	Foz do rio Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, Aracruz	1,15	<i>C. rhizophorae</i>
2007	Baía de Vitória	0,75	<i>C. rhizophorae</i>
2007	Foz do rio Perocão, Guarapari	1,55	<i>C. rhizophorae</i>
5/2011	Setiba, Guarapari	2,4	<i>P. perna</i>
5-11/2001	Baía do Espírito Santo, Vitória	2,1	<i>P. perna</i>
11/2011	Anchieta	1,8	<i>P. perna</i>
12/2012	Anchieta	2,82	<i>P. perna</i>
12/2012	Baía de Vitória	1,09	<i>P. perna</i>
2-3/2014	Santa Cruz, Aracruz	1,46	<i>P. perna</i>
2-3/2014	Praia de Camburi, Vitória	2,29	<i>P. perna</i>
2-3/2014	Santa Cruz, Aracruz	1,83	<i>A. brasiliiana</i>
2-3/2014	Praia de Camburi, Vitória	0,73	<i>A. brasiliiana</i>
11/2014-5/2015	Setiba, Guarapari	1,53	<i>P. perna</i>
1/2015	Ponto A, Aracruz	1,31	<i>P. perna</i>
1-10/2015	Ponto B, Aracruz	0,84	<i>P. perna</i>
1-10/2015	Ponto C, Aracruz	0,9	<i>P. perna</i>
4-10/2015	Ponto D, Aracruz	0,89	<i>P. perna</i>
4-10/2015	Ponto E, Aracruz	1,04	<i>P. perna</i>

Adaptado de Aplysia (2017).

Tabela 72 - Concentração média de arsênio (As - mg/kg PU) em amostras de músculo de peixes coletados entre a foz do rio Benevente em Anchieta e a região marinha adjacente ao terminal portuário de Portocel em Aracruz. de acordo com dados compilados ao longo dos anos de 2012 a 2015.

Período (mês/ano)	Localização	As (mg/kg PU)	Espécie avaliada
2012	Baía de Vitória	0,15	<i>C. parallelus</i>
2012	Santa Cruz, Aracruz	0,13	<i>C. parallelus</i>
2-3/2014	Praia de Camburi, Vitória	<0,1	<i>C. parallelus</i>
2-3/2014	Praia de Camburi, Vitória	0,10	<i>D. rhombeus</i>
2-3/2014	Santa Cruz, Aracruz	0,11	<i>C. parallelus</i>
2-3/2014	Santa Cruz, Aracruz	1,25	<i>D. rhombeus</i>
6-9/2014	Ponto S1, foz do rio Santa Maria, Vitória	0,04	<i>E. pisonis</i>
6-9/2014	Ponto S2, foz do rio Santa Maria, Vitória	0,26	<i>E. pisonis</i>
6-9/2014	Ponto S3, foz do rio Santa Maria, Vitória	0,02	<i>E. pisonis</i>
5/2014-7/2015	Ponto B1, foz do rio Benevente, Anchieta	0,26	<i>O. punctatissimus</i>
5/2014-7/2015	Ponto B2, foz do rio Benevente, Anchieta	0,49	<i>O. punctatissimus</i>
5/2014-7/2015	Ponto B3, foz do rio Benevente, Anchieta	0,99	<i>O. punctatissimus</i>
6/2014-6/2015	Ponto S1, foz do rio Santa Maria, Vitória	0,44	<i>G. genidens</i>
6/2014-6/2015	Ponto S2, foz do rio Santa Maria, Vitória	0,26	<i>G. genidens</i>
6/2014-6/2015	Ponto S3, foz do rio Santa Maria, Vitória	0,96	<i>G. genidens</i>
9/2014-7/2015	Ponto J1, foz do rio Jucu, Vila Velha	0,83	<i>G. genidens</i>
9/2014-7/2015	Ponto J2, foz do rio Jucu, Vila Velha	1,47	<i>G. genidens</i>
9/2014-7/2015	Ponto J3, foz do rio Jucu, Vila Velha	1,73	<i>G. genidens</i>

Adaptado de Aplysia (2017).

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia hidrográfica do rio Doce é historicamente e reconhecidamente impactada por diferentes fontes de contaminação decorrentes de diversas ações antrópicas. Entre os principais contaminantes, 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, toda a extensão da bacia hidrográfica do rio Doce carece de informações acerca dos problemas que envolvem o uso de suas águas, dos impactos causados sobre as diferentes interferências humanas sobre a biota aquática, bem como de estudos que busquem a recuperação e preservação dos recursos naturais da região, especialmente os hídricos.

A maior parte dos estudos realizados na área de estudo compreende estudos químicos de caracterização da contaminação existente em amostras de água, sedimentos e tecidos de organismos, especialmente peixes. Avaliações ecotoxicológicas com a utilização de diferentes biomarcadores e para a avaliação de danos em diferentes níveis da organização biológica, ou seja, que relacionem a contaminação com o funcionamento metabólico e comportamento dos organismos são inexistentes. Foram

encontrados dez estudos, os quais avaliaram a presença e/ou a concentração de metais em peixes da região. A maior parte dos estudos foi realizada no rio Piracicaba, considerado um dos mais contaminados de toda a bacia, e utilizou, principalmente, a espécie *Geophagus brasiliensis*, devido seu hábito de vida relativamente sedentário e alimentação omnívora, que ampliam os riscos de acumulação de metais nesses organismos. Entre esses estudos, somente dois determinaram efeitos decorrentes 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 que avaliou o acúmulo de metais em anfíbios, e identificou que mesmo os organismos capturados em uma região-controle (Estação Ecológica de Tripuí), longe da influência direta da extração mineral, apresentam 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.

Na região ocorrem inúmeras lagoas naturais que também são economicamente 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 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 nesta. Os estudos realizados na lagoa Mãe-Bá, 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.

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 haviam sido realizados estudos ecotoxicológicos para o local (entenda-se Regência) 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 concentraram-se na região de Vitória e buscaram avaliar tanto a presença quanto a concentração e efeitos de metais em exemplares de diferentes grupos de invertebrados e peixes, especialmente da espécie *C. parallelus* (robalo), considerada como residente de regiões estuarinas e que ocorre em todo o litoral do Espírito Santo, incluindo a área abrangida pela foz do rio Doce. Essa espécie, além de apresentar importância econômica para a população da região, apresenta hábito alimentar carnívoro. 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 a espécie, bem como sobre toda a biota, além de inferir sobre biomagnificação.

No entanto, tendo em vista a extensão da área a ser avaliada e a complexidade causada pela mistura de elementos químicos já existentes na região e, também, presentes nos rejeitos que extravasaram da barragem de Fundão, os efeitos biológicos não podem ser estimados apenas por análises tradicionais ou físico-químicas. Assim, para uma caracterização mais adequada e eficiente, no diagnóstico que será realizado pelo Lactec será utilizado o uso integrado de análises físicas, químicas, biológicas e ecotoxicológicas que em conjunto permitirão tanto uma melhor avaliação da condição desses ambientes e, consequentemente de danos já existentes sobre a biota, quanto uma previsão de danos ambientais futuros.

5.5 REFERÊNCIAS

- 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.
- AMADO, L. L.; ROBALDO, R. B.; GERACITANO, L.; MONSERRAT, J. M.; BIANCHINI, A. Biomarkers of exposure and effect in the Brazilian flounder *Paralichthys orbignyanus* (Teleostei: Paralichthyidae) from the Patos Lagoon estuary (Southern Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, p. 207-213, 2006.
- 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.
- APLYSIA – Soluções Ambientais. **Relatório Técnico nº 245/2017**. Levantamento de dados de arsênio em tecidos de peixes e moluscos. 2017. 19p.
- 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.
- 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.
- ÁVILA, J. L. T.; MONTE-MÓR, R. L. M. Urbanização e impactos ambientais: uma análise da relação entre as características dos espaços urbanos e a poluição hídrica na região do médio rio Doce (MG). In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 7., 2007, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2007. p. 1-18. Disponível em: <http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vii_en/mesa3/trabalhos/urbanizacao_e_impactos_ambientais.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2017.
- BARROSO, M. V.; SOUZA, G. A.; THOMÉ, J. C. A.; LEITE JÚNIOR, N. O.; MOREIRA, L. M. P.; SANGALIA, C.; SALES, E. F.; DURÃO, J. N. Estratégias de conservação das populações de robalos *Centropomus* spp. na foz do Rio Doce, Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 1468-1468, 2007.

- BEVILACQUA, J. E. **Estudo sobre a caracterização e a estabilidade de amostras de sedimentos do rio Tietê, SP**. 1996. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Química do Instituto de Química da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. R.; CAVALCANTI, J. A. Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista Escola de Minas**, v. 57, n. 1, p. 45-51, 2004.
- BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. R.; RAWLINS, B.; MATSCHULLAT, J. Arsenic in water and sediment in the Iron Quadrangle, State of Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 3, p. 558-561, 2000.
- BRASIL. **Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Sudeste**. Brasília, DF: MMA, 2006.
- _____. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- _____. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 454, de 1 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 nov. 2012.
- _____. Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965. Modifica o Decreto nº 50.040, de 24 de janeiro de 1961, referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos, alterado pelo Decreto nº 691 de 13 de março de 1962. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 mar. 1965. 9p.
- _____. Ministério da Saúde (MS). Portaria nº 685, de 27 de agosto de 1998. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 set. 1998.
- 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.
- CASTRO, L. B. Contaminação por metais pesados nas ostras *Crassostrea gigas* no cultivo do estuário do rio Piraquê-mirim (Espírito Santo, Brasil). 2008. Monografia – Curso de Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.
- CHAPMAN, P. M.; PAINE, M. D.; ARTHUR, A. D.; TAYLOR, L. A. A triad study of sediment quality associated with a major, relatively untreated marine sewage discharge. **Marine Pollution Bulletin**, v. 32, n. 1, p. 47-67, 1996.
- 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.
- 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.
- COSTA, A. T.; NALINI JR, H. A.; CASTRO, P. T. A.; TATUMI S. H. Análise estratigráfica e distribuição do arsênio em depósitos sedimentares quaternários da porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, bacia do Ribeirão do Carmo, MG. **Geociências**, v. 63, n. 4, p. 703-714, 2010.
- DAY JR, J. W.; HALL, C. A. S.; KEMP, W. M.; YANEZ-ARANCIBIA, A. **Estuarine ecology**. New York: Wiley, 1989.
- 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.
- ESTEVES, F. A.; SUZUKI, M. S.; CALLISTO, M. F. P.; PERES-NETO, P. R. Teores de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e feopigmentos no sedimento de alguns ecossistemas lacustres do litoral do Estado do Espírito Santo. **Oecologia Brasiliensis**, v. 1, p. 407-417, 1995.

- EVANS, D. H. The fish gill: site of action and model for toxic effects of environmental pollutants. **Environmental Health Perspectives**, v. 71, p. 47-58, 1987.
- EVANS, D. H.; PIERMARINI, P. M.; CHOE, K. P. The multifunctional fish gill: Dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. **Physiological Reviews**, v. 85, p. 97-177, 2005.
- FERNANDES, V. O.; CAVATI, B.; SOUZA, B. D. A.; MACHADO, R. G.; COSTA, A. G. Lagoa Mãe-Bá (Guarapari-Anchieta, ES): Um Ecossistema com potencial de floração de cianobactérias? **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 2, p. 366-381, 2009.
- FIGUEIREDO, J. A.; NORIEGA, C. D.; OLIVEIRA, E. M. C.; NETO, R. R.; BARROSO, G. F.; FILHO, M. A. Avaliação biogeoquímica de águas fluviais 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.
- FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. **Metal pollution in the aquatic environment**. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1981.
- FROESE, R.; PAULY, D. (Ed.). **FishBase**. WorldWide web eletronic publication. Version (06/2017). Disponível em: <www.fishbase.org>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DO RIO GRANDE (FAURG). **Relatório técnico-científico, contrato 105/2016**. Etapa 5: Análise comparativa sobre os resultados entre as expedições Soloncy Moura I e II e as amostras coletadas antes do evento. 2016. 16p.
- GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos traço em solos e sistemas aquáticos. **Tópicos em Ciências do Solo**, v. 4, p. 345-390, 2005.
- GUIMARÃES, M. C. C. S. **Ecotoxicologia como ferramenta de monitoramento na gestão municipal de recursos hídricos no município de Barão de Cocais – MG**. 2007. Monografia – Programa de Pós-graduação em Gerenciamento de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- JACOB, A. C. P. Os 5 rios mais poluídos do Brasil. **Aquafluxus**, 23 dez. 2016. Disponível em: <http://www.aquafluxus.com.br/os-5-rios-mais-poluidos-do-brasil>. Acesso em: 4 maio 2017.
- JESUS, H. C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ZANDONADE, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória-ES. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 378-386, 2004.
- JESUS, H. C.; AMORIM, N. R.; ALONSO, M. K. Investigação da poluição da Baía de Vitória-ES através da análise de metais, colimetria e agrotóxicos em sururus de mangue (*Mytella guyanensis*). In: XLVI CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 2006, Salvador/BA. Anais... Salvador, 2006. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2006/trabalhos2006/5/795-975-5-T1.htm>. Acesso em: 10 ago 2018.
- 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.
- KENNEDY, C. J.; FARRELL, A. P. Ion homeostasis and interregional stress responses in juvenile Pacific herring, *Clupea pallasii*, exposed to the water-soluble fraction of crude oil. **Journal Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 323, p. 43-56, 2005.
- LANI, J. L.; REZENDE, S. B.; SARTAIN, J. B.; LANI, J. A. Águas da região do delta do rio Doce com ênfase no Vale do Suruaca, Linhares-ES. **Geograficos**, v. 7, p. 147-160, 2009.
- LEAL, P. R. **Avaliação de indicadores do estado trófico de uma lagoa costeira: lagoa Jacuném (Serra/ES)**. 2006. Monografia – Curso de Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.
- 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: GEPEDES, 2017.

- 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, A. C. **Determinação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em águas superficiais nos rios Piracicaba e Doce, Ipatinga – MG, utilizando a técnica de EFS-CLAE-DAD**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.
- LIMA, H. S. **Qualidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia do Rio Doce e sua relação com aspectos socioambientais**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.
- LIMA, J. G. **Elementos químicos nas águas e sedimentos do rio Piracicaba, afluente do rio Doce, MG**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- LÜRLING, M.; SCHEFFER, M. Info-disruption: pollution and the transfer of chemical information between organisms. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 22, p. 374-379, 2007.
- MAGALHÃES, D. P.; FERRÃO FILHO, A. S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 355-381, 2008.
- 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, R. P. G. **Bioacumulação de metais pesados em *Amphimedon viridis* (Duchassaing & Michelotti, 1864) com ocorrência em habitats costeiros bentônicos da região da grande Vitória, Espírito Santo**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário de Vila Velha, Vila Velha, 2011.
- NELSON, J. S. **Fishes of the world**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2006.
- NEVES, J. A. **Fauna bentônica de estuários do norte do Espírito Santo**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.
- 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.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1983.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA/ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (FAO/OMS). **Codex Alimentarius Commission: Food standards programme código committee on contaminants in foods**. In: 10th session, Rotterdam, March, 2016. Disponível: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeeting%252FCX-735-10%252FWD%252Fcf10_INF1e.pdf. Acesso em: 10 de outubro de 2017.
- 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.
- PARREIRAS, M. Rio Doce, que começa a correr quase morto, tem a bacia mais degradada de Minas. **em.com.br**, 8 abr. 2014a. Disponível em: <<http://www.em.com.br/app/noticia/especiais/nascentes/2014/04/08/noticias-internas-nascentes,516596/rio-doce-que-comeca-a-correr-quase-morto-tem-a-bacia-mais-degradada.shtml>>. Acesso em: 4 maio 2017.

- _____. Retrato do descaso, Rio Piracicaba está sufocado por minério, esgoto e assoreamento. **em.com.br**, 8 abr. 2014b. Disponível em: <<http://www.em.com.br/app/noticia/especiais/nascentes/2014/04/08/noticias-internas-nascentes,516595/retrato-do-descaso-rio-piracicaba-esta-sufocado-por-minerio-esgoto-e.shtml>>. Acesso em: 4 maio 2017.
- PEREIRA, A. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ANDRADE FILHO, M. C. Aspectos qualitativos de águas de lagoas costeiras e seus fatores influentes – Estudo de Caso: Lagoa Mãe-Bá, Espírito Santo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 1, p. 63-77, 2006.
- 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.
- 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.
- PORTZ, D. E.; WOODLEY, C. M.; CECIL JR, J. J. Stress-associated impacts of short-term holding on fishes. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 16, p. 125-170, 2006.
- QUEIROZ, M. T. A. **Bioacumulação de metais pesados no rio Piracicaba, Minas Gerais, aplicando a análise por ativação neurotrônica instrumental**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, UNILESTE, MG, Coronel Fabriciano, 2006.
- 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.
- 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.
- RHODES, V. P. **Distribuição de mercúrio e arsênio nos sedimentos da área afetada por garimpo ouro – rio Gualaxo do Norte, Mariana, MG**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.
- RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza: um livro-texto em ecologia básica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.
- RIEVERS, C. R. **Anfíbios anuros de serrapilheira do Parque Estadual do Rio Doce: resposta à disponibilidade de recursos e aos fatores climáticos**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.
- RIEVERS, C. R.; PIRES, M. R. S.; ETEROVICK, P. C. Habitat, food, and climate affecting leaf litter anuran assemblages in an Atlantic Forest remnant. **Acta Oecologica**, v. 58, p. 12-21, 2014.
- RODRIGUES, A. S. L.; MALAFAIA, G.; COSTA, A. T.; NALINI JÚNIOR, H. A. Iron ore mining promotes iron enrichment in sediments of the Gualaxo do Norte River basin, Minas Gerais State, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 71, p. 4177-4186, 2014.
- RODRIGUES, P. P. **Aspectos reprodutivos do robalo peba, *Centropomus parallelus*, na foz do rio Doce, Linhares, Espírito Santo**. 2005. Monografia – Curso de Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- SALES, S. C. M. **Avaliação ecotoxicológica de impactos da contaminação por metais e arsênio em áreas de mineração e beneficiamento de ouro em Minas Gerais**. 2013. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre do Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

- SARMIENTO, A. M.; DELVALLS, A.; NIETO, J. M.; SALAMANCA, M. J.; CARABALLO, M. A. Toxicity and potential risk assessment of a river polluted by acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt (SW Spain). **Science of the Total Environment**, v. 409, p. 4763-4771, 2011.
- SCOTT, G. R.; SLOMAN, K. A. The effects of environmental pollutants on complex fish behavior: integrating behavioral and physiological indicators of toxicity. **Aquatic Toxicology**, v. 68, p. 369-392, 2004.
- SILVA, I. F. L. **Contribuições para o diagnóstico ambiental da parte média e inferior da bacia do Rio Piracicaba, MG**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.
- SILVA, L. B.; JESUS, H. C.; SANTANA, E. J.; CEOTTO, C. S.; DIAS CARNEIRO, M. T. W.; NETO, R. R.; CASSINI, S. T. A. Estudo comparativo dos teores de metais traço e coliformes em ostras e sedimentos de três estuários do estado do Espírito Santo. In: 48º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA: Química na projeção ao meio ambiente e à saúde, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2008/trabalhos/5/5-354-4696.htm>>. Acesso em: 10 ago 2018.
- SILVA, L. H. P.; MENDONÇA, A. S. F. Avaliação qualitativa da lagoa Jacunén com ênfase à eutrofização. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 1997. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/laguna.pdf>>. Acesso em: 4 ago 2017.
- SOUZA, B. D'Â.; FERNANDES, V. O. Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica e sua relação com as variáveis ambientais na lagoa Mãe-Bá, Estado do Espírito Santo, Brasil. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 31, n. 3, p. 245-253, 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, V. L. B.; LIMA, V.; HAZIN, C. A.; FONSECA, C. K. L.; SANTOS, S. O. Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 3, n. 1A, p. 1-13, 2015.
- SOUZA, W. R. **Análise de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos – HPAs – em sedimentos do Ribeirão do Funil na região de Ouro Preto – MG**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.
- SPACH, H. L.; SANTOS, C.; GODEFROID, R. S. Padrões temporais na assembléia de peixes na gamboa do Sucuriú, Baía de Paranaguá, Brasil, **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, p. 591-600, 2003.
- 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, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.
- 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.
- VAN DER OOST, R.; BEYER, J.; VERMEULEN, N. P. E. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 13, p. 57-149, 2003.
- VAN GESTEL, C. A. M.; VAN BRUMMELEN, T. C. Incorporation of the biomarker concept in ecotoxicology calls for a redefinition of terms. **Ecotoxicology**, v. 5, p. 217-225, 1996.
- VAREJÃO, E. V. V. **Distribuição de mobilidade de arsênio e metais pesados em ribeirões do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- VAREJÃO, E. V. V.; BELLATO, C. R.; FONTES, M. P. F. Mercury fractionation in stream sediments from the Quadrilátero Ferrífero gold mining region, Minas Gerais State, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 157, p. 125-135, 2009.

- 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.
- VENDEL, A. L.; CHAVES, P. T. C. Baía de Guaratuba, Paraná: um estudo de caso sobre ictiofauna em estuários. In: **Reunião técnica sobre ictiologia em estuários**. Curitiba, Paraná, Publ. Fund. Araucária e CNPq, 2001.
- VIOLA, Z. G. G. **Avaliação da qualidade das águas da bacia do rio Doce/MG**: Caracterização da matéria orgânica e seus impactos ambientais. 2008. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre do Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- WENDELAAR BONGA, S. E. The stress response in fish. **Physiological Reviews**, v. 77, p. 591-625, 1997.
- ZACCARON DA SILVA, A.; ZANETTE, J.; FERREIRA, J. F.; GUZENSKI, J.; MARQUES, M. R. F.; BAINY, A. C. D. Effects of salinity on biomarker responses in *Crassostrea rhizophorae* (Mollusca, Bivalvia) exposed to diesel oil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 62, p. 376-382, 2005.

6 APÊNDICES

6.1 APÊNDICE A – OUTORGAS DA BASE DE DADOS DO IGAM E IEMA – CAPTAÇÃO COM FINALIDADE DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NOS MUNICÍPIOS EM ESTUDO.

Município	Nome_empresa	Finalidade	tipo_corpo	UF	órgão	data_final	tipo_ato	data_inicio	latitude	longitude
Raul Soares	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	02/09/2050	PORTARIA D	02/09/2015	-20,116111111110	-42,400000000000
Raul Soares	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	13/02/2034	PORTARIA	12/02/2014	-20,010000000000	-42,350555555560
Barra Longa	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS – COPASA	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	17/03/2049	PORTARIA D	17/03/2014	-20,275277777780	-43,037222222220
Caratinga	COPASA – CARATINGA	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	25/11/2048	Portaria	25/11/2013	-19,505277777780	-42,302500000000
Mariana	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE MARIANA - MATA DO SEMINÁRIO	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	07/02/2032	Portaria	07/02/2012	-20,387222222000	-43,408611111000
Conselheiro Pena	PREFEITURA MUNICIPAL DE CONSELHEIRO PENA	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	17/10/2031	Portaria	17/10/2011	-19,260683333000	-41,502105560000
Resplendor	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS – COPASA	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	11/10/2031	Portaria	11/10/2011	-19,181111111000	-41,260833333000
Conselheiro Pena	SAAE - SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	18/11/2036	Portaria	18/11/2016	-19,242777780000	-41,646111111000
Conselheiro Pena	SAAE - SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	18/11/2036	Portaria	18/11/2016	-19,063888890000	-41,532777780000
Resplendor	Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA – MG	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	14/04/2029	PORTARIA	14/04/2009	-19,216111111110	-40,969166666670
Santana do Paraíso	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	13/01/2030	Portaria	13/01/2010	-19,378055555560	-42,568888888890
Dionísio	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	29/07/2030	Portaria	29/07/2010	-19,851944444000	-42,818611111000
Dionísio	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	29/07/2030	Portaria	29/07/2010	-19,856666667000	-42,772500000000
Resplendor	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - RANCHO DO VAGABUNDO	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	24/06/2030	Portaria	24/06/2010	-19,088055556000	-41,024166670000
Dionísio	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	29/07/2030	Portaria	29/07/2010	-19,814722222000	-42,785833333000
Itueta	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	13/03/2029	Portaria	13/03/2009	-19,415277780000	-41,252222222000

Município	Nome_empresa	Finalidade	tipo_corpo	UF	órgão	data_final	tipo_ato	data_inicio	latitude	longitude
Itueta	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	13/03/2029	Portaria	13/03/2009	-19,40972222000	-41,24972222000
Mariana	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE MARIANA	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	24/11/2030	Portaria	24/11/2010	-20,41277778000	-43,44777778000
Governador Valadares	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	22/03/2031	Portaria	22/03/2011	-18,89111111000	-41,99138889000
Caratinga	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	05/01/2027	PORTARIA	05/01/2007	-19,68222222220	-41,83944444440
lapu	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	05/01/2027	PORTARIA	05/01/2007	-19,24388888890	-42,21333333330
Caratinga	Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA – MG	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	05/01/2027	PORTARIA	05/01/2007	-19,79055555560	-41,93777777780
Caratinga	COPASA - LOC SÃO JOÃO DO JACUTINGA	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	05/01/2027	PORTARIA	05/01/2007	-19,72916666670	-41,91916666670
Itueta	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	13/03/2029	PORTARIA	13/03/2009	-19,41527777780	-41,25222222220
Pingo d'água	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	12/12/2026	PORTARIA	12/12/2006	-19,72513888890	-42,40713888890
Caratinga	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	13/11/2026	PORTARIA	13/11/2006	-19,85338888890	-42,07436111110
Aimores	PREFEITURA MUNICIPAL DE AIMORÉS / FAZENDA VIÇOSA	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	20/10/2024	PORTARIA	20/10/2004	-19,48388888890	-41,09888888890
Ponte Nova	DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA, ESGOTO E SANEAMENTO - DMAES – Ponte Nova	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	17/05/2024	PORTARIA	17/05/2004	-20,41975000000	-42,91002777780
Mariana	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE MARIANA	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	18/08/2023	PORTARIA	18/08/2003	-20,37644444440	-43,40511111110
Santana do Paraíso	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTANA DO PARAISO	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	04/04/2023	PORTARIA	04/04/2003	-19,35772222220	-42,57152777780
Dionísio	PREFEITURA MUNICIPAL DE DIONÍSIO - USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM DE LIXO URBANO	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	21/06/2022	PORTARIA	21/06/2002	-19,85438888890	-42,83550000000

Município	Nome_empresa	Finalidade	tipo_corpo	UF	órgão	data_final	tipo_ato	data_inicio	latitude	longitude
Caratinga	COPASA - TRATAMENTO DE ÁGUA BATERIA DE POÇOS CARATINGA SAPUCAIA	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	26/01/2016	PORTARIA	26/01/1996	-19,7663888890	-42,0997222220
Bom Jesus do Galho	COPASA - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DE MINAS GERAIS -	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	04/10/2022	PORTARIA	04/10/2002	-19,56183333330	-42,46358333330
Raul Soares	SAAE - SÍTIO MANGUEIRA	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	MG	IGAM	12/09/2022	PORTARIA	12/09/2002	-20,10083333330	-42,43775000000
Baixo Gandu	ETA Alto Mutum - SAAE	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	ES	IEMA	18/08/2022	Portaria de Outorga	19/08/2010	-19,26958333330	-40,90955555560
Colatina	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	ES	IEMA	15/05/2023	Portaria de Outorga	16/05/2011	-19,6328888890	-40,61980555560
Linhares	Prefeitura Municipal de Linhares	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	ES	IEMA	20/02/2028	Portaria de Outorga	21/02/2016	-19,38622222220	-40,14855555560
Baixo Gandu	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	ES	IEMA	08/09/2022	Portaria de Outorga	09/09/2010	-19,40308333330	-40,92030555560
Colatina	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental SANEAR	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	ES	IEMA	09/04/2028	Portaria	10/04/2016	-19,62730555550	-40,62763888880
Colatina	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental SANEAR	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	ES	IEMA	09/04/2028	Portaria	10/04/2016	-19,55750000000	-40,62750000000
Colatina	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental SANEAR	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	ES	IEMA	09/04/2028	Portaria	10/04/2016	-19,55747222220	-40,62766666660
Colatina	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental SANEAR	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	ES	IEMA	09/04/2028	Portaria	10/04/2016	-19,50055555550	-40,61752777770
Colatina	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental SANEAR	Abastecimento Público	Rio ou Curso D'água	ES	IEMA	09/04/2028	Portaria	10/04/2016	-19,50027777770	-40,61750000000
Linhares	Prefeitura Municipal de Linhares	Abastecimento Público	Espelho D'água	ES	IEMA	20/02/2028	Portaria	21/02/2016	-19,38621944440	-40,14855555550

6.2 APÊNDICE B – OUTORGAS DA BASE DE DADOS DA ANA – CAPTAÇÃO COM FINALIDADE DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NOS MUNICÍPIOS EM ESTUDO.

Município	UF	Nome_do_Requerente	Corpo_Hídrico	Finalidade_Principal	Tipo_Interferencia	Latitude	Longitude	Resolucao	Data_publicacao	Data_vencimento
BAIXO GUANDU	ES	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - BAIXO GUANDU-ES	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,50194444	-40,92333333	601/2012	15/10/2012	15/12/2016
BAIXO GUANDU	ES	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - BAIXO GUANDU-ES	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,50801556	-41,01376	601/2012	15/10/2012	15/12/2016
BAIXO GUANDU	ES	Serviço Autônomo de Água e Esgoto- Baixo Guandu-ES	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,50802778	-41,01375	601/2012	15/10/2012	15/12/2016
COLATINA	ES	Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Itapina	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,50405556	-40,76408333	675/2012	31/10/2012	31/10/2022
COLATINA	ES	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental SANEAR	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,52833333	-40,70472222	372/2006	04/10/2006	04/10/2026
COLATINA	ES	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental SANEAR	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,53027778	-40,81416667	372/2006	04/10/2006	04/10/2026
COLATINA	ES	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental SANEAR	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,53305556	-40,48722222	372/2006	04/10/2006	04/10/2026
COLATINA	ES	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental SANEAR	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,53694444	-40,64138889	372/2006	04/10/2006	04/10/2026
COLATINA	ES	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental SANEAR	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,52944444	-40,63638889	372/2006	04/10/2006	04/10/2026
COLATINA	ES	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental SANEAR	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,53472222	-40,6775	372/2006	04/10/2006	04/10/2026
LINHARES	ES	Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Linhares	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,64666667	-39,82361111	1539/2014	30/10/2014	27/03/2026
LINHARES	ES	Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Linhares	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,58	-39,79472222	1539/2014	30/10/2014	27/03/2026
LINHARES	ES	Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Linhares	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,41347222	-40,05069444	1539/2014	30/10/2014	27/03/2026
AIMORES	MG	Prefeitura Municipal de Aimorés	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,50494194	-41,01896722	697/2012	19/11/2012	31/12/8888
AIMORES	MG	Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAEA/IM / Aimorés	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,49388889	-41,03083333	601/2012	08/10/2012	09/11/2027
ALPERCATA	MG	Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA Alpercata	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-18,92722222	-41,99611111	601/2012	08/10/2012	08/10/2022
BELO ORIENTE	MG	Prefeitura Municipal de Belo Oriente	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,31166667	-42,36138889	166/2014	20/02/2014	20/02/2049

Município	UF	Nome_do_Requerente	Corpo_Hidrico	Finalidade_Principal	Tipo_Interferencia	Latitude	Longitude	Resolucao	Data_publicacao	Data_vencimento
CONSELHEIRO PENA	MG	Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,16611111	-41,46694444	601/2012	08/10/2012	24/04/2015
DIVINO	MG	Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA - Divino	Rio Carangola	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-20,61733333	-42,15283333	569/2013	07/05/2013	30/12/2039
GALILEIA	MG	Galiléia Serviço Autônomo de Água e Esgoto	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,0075	-41,53972222	105/2006	21/03/2006	21/03/2026
GOVERNADOR VALADARES	MG	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-18,90127778	-41,97980556	2306/2017	22/12/2017	22/12/2027
GOVERNADOR VALADARES	MG	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-18,88244444	-41,95052778	2306/2017	22/12/2017	22/12/2027
GOVERNADOR VALADARES	MG	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-18,86388889	-41,94666667	2306/2017	22/12/2017	22/12/2027
GOVERNADOR VALADARES	MG	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-18,86433333	-41,80758333	2306/2017	22/12/2017	22/12/2027
GOVERNADOR VALADARES	MG	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-18,887	-41,71983333	2306/2017	22/12/2017	22/12/2027
GOVERNADOR VALADARES	MG	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-18,90127778	-41,97980556	266/2012	09/07/2012	22/12/2017
GOVERNADOR VALADARES	MG	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-18,887	-41,71983333	266/2012	09/07/2012	22/12/2017
GOVERNADOR VALADARES	MG	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-18,86388889	-41,94666667	266/2012	09/07/2012	22/12/2017
GOVERNADOR VALADARES	MG	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-18,88244444	-41,95052778	266/2012	09/07/2012	22/12/2017
ITUETA	MG	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS COPASA MG	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,385	-41,16666667	601/2012	08/10/2012	18/12/2025
PERIQUITO	MG	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - COPASA - PERIQUITO - PEDRA CORRIDA	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,09666667	-42,15666667	ago/07	31/01/2007	08/07/2027
PONTE NOVA	MG	DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA, ESGOTO E SANEAMENTO DE PONTE NOVA - DMAES	Rio Piranga	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-20,41972222	-42,91	601/2012	08/10/2012	08/10/2022
RESPLENDOR	MG	Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA MG - Resplendor	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,31666667	-41,25472222	2278/2017	22/12/2017	02/03/2041
RESPLENDOR	MG	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - COPASA MG - RESPLENDOR	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-19,31666667	-41,25472222	1964/2014	16/12/2014	22/12/2017
TUMIRITINGA	MG	Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA - Tumiritinga	Rio Doce	Abastecimento Público	Ponto de Captação	-18,97527778	-41,645	1097/2015	29/09/2015	25/11/2041

6.3 APÊNDICE C – COORDENADAS GEOGRÁFICAS DOS PONTOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA EXISTENTES NAS SEDES DOS MUNICÍPIOS EM ESTUDO, CONFORME IBIO (2018), ANA (2010)

<i>Município</i>	<i>UF</i>	<i>Sub-Bacia</i>	<i>Tipo da Captação</i>	<i>Condição da Captação</i>	<i>Manancial</i>	<i>Nome Ponto de Captação</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
Aimorés	MG	UGRHI 06	Superficial	EXISTENTE	Rio Manhuaçu	Rio Manhuaçu	-19,484100000	-41,098861111
Alpercata	MG	UGRHI 04	Superficial	EXISTENTE	Rio Doce	Rio Doce	-18,926805556	-41,996000000
Barra Longa	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Ribeirão do Mato Dentro	Ribeirão do Mato Dentro	-20,275400000	-43,037336111
Belo Oriente	MG	UGRHI 03	Superficial	EXISTENTE	Cachoeira do Severo	Cachoeira do Severo	-19,214441667	-42,507186111
Belo Oriente	MG	UGRHI 03	Superficial	EXISTENTE	Cachoeira do Ziza	Cachoeira do Ziza	-19,207283333	-42,503508333
Belo Oriente	MG	UGRHI 03	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero	Poço - Parque Oriente	-19,227947222	-42,481205556
Belo Oriente	MG	UGRHI 03	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero	Poço - Vila Jardim	-19,223852778	-42,473761111
Bom Jesus do Galho	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Ribeirão Sacramento	Ribeirão Sacramento	-19,854963000	-42,331802000
Bugre	MG	UGRHI 05	Subterrânea	EXISTENTE	Lençol Freático	Poço C-05	-19,420833333	-42,255944444
Caratinga	MG	UGRHI 05	Superficial	EXISTENTE	Córrego da Laje	Córrego da Laje	-19,769972222	-42,105972222
Conselheiro Pena	MG	UGRHI 05	Superficial	EXISTENTE	Córrego João Pinto	Córrego João Pinto	-19,260738889	-41,501961111
Córrego Novo	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Lençol Freático	Poço C-03	-19,830000000	-42,403611111
Córrego Novo	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Lençol Freático	Poço C-05	-19,831111111	-42,402500000
Córrego Novo	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Lençol Freático	Poço C-06	-19,833611111	-42,395000000
Dionísio	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Barrinha	Córrego Barrinha	-19,856666667	-42,772500000
Dionísio	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Laranjeiras	Córrego Laranjeiras	-19,852291250	-42,816645875
Dionísio	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Boa Vista	Córrego Boa Vista	-19,814722222	-42,785833333
Fernandes Tourinho	MG	UGRHI 05	Subterrânea	EXISTENTE	Lençol Freático	Poço C-18	-19,133361111	-42,077194444
Fernandes Tourinho	MG	UGRHI 05	Subterrânea	EXISTENTE	Lençol Freático	Poço C-15	-19,143916667	-42,082805556
Fernandes Tourinho	MG	UGRHI 05	Subterrânea	EXISTENTE	Lençol Freático	Poço C-16	-19,151777778	-42,078500000
Galiúlia	MG	UGRHI 04	Superficial	EXISTENTE	Rio Doce	Rio Doce	-19,007941667	-41,540280556
Governador Valadares	MG	UGRHI 04	Superficial	EXISTENTE	Rio Doce	Rio Doce	-18,869169868	-41,943314312
Governador Valadares	MG	UGRHI 04	Superficial	EXISTENTE	Rio da Onça	Rio da Onça	-18,891827778	-41,991513889
Governador Valadares	MG	UGRHI 04	Superficial	EXISTENTE	Rio Doce	Rio Doce	-18,882786111	-41,950761111
Governador Valadares	MG	UGRHI 04	Superficial	EXISTENTE	Rio Doce	Rio Doce	-18,904969997	-41,978554703
Governador Valadares	MG	UGRHI 04	Superficial	EXISTENTE	Rio Doce	Rio Doce	-18,868136088	-41,807490593

<i>Município</i>	<i>UF</i>	<i>Sub-Bacia</i>	<i>Tipo da Captação</i>	<i>Condição da Captação</i>	<i>Manancial</i>	<i>Nome Ponto de Captação</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
Iapu	MG	UGRHI 05	Superficial	EXISTENTE	Córrego Santo Estevão	Córrego Santo Estevão	-19,4383333333	-42,2250000000
Ipaba	MG	UGRHI 05	Superficial	EXISTENTE	Córrego Água Limpa	Córrego Água Limpa	-19,4073888889	-42,4113333333
Ipaba	MG	UGRHI 05	Subterrânea	EXISTENTE	Lençol Freático	Poço C-02	-19,407647222	-42,412802778
Ipaba	MG	UGRHI 05	Subterrânea	EXISTENTE	Lençol Freático	Poço C-04	-19,412961111	-42,412152778
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-13	-19,533855556	-42,583508333
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-14	-19,533663889	-42,583219444
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-15	-19,534263889	-42,581325000
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-16	-19,534058333	-42,581422222
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-17	-19,533983333	-42,581533333
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-18	-19,534036111	-42,581877778
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-19	-19,534027778	-42,581875000
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-22	-19,533711111	-42,582136111
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-23	-19,533766667	-42,583936111
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-27	-19,534508333	-42,579458333
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-30	-19,534461111	-42,580866667
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-31	-19,534163889	-42,576152778
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-33	-19,534069444	-42,576188889
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-35	-19,533697222	-42,576475000
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-36	-19,533238889	-42,576830556
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-37	-19,534072222	-42,584741667
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-38	-19,533925000	-42,584261111
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-39	-19,534638889	-42,580425000
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-42	-19,533677778	-42,576016667
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-43	-19,534436111	-42,576111111
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-45	-19,533747222	-42,582088889
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-46	-19,533905556	-42,582052778

<i>Município</i>	<i>UF</i>	<i>Sub-Bacia</i>	<i>Tipo da Captação</i>	<i>Condição da Captação</i>	<i>Manancial</i>	<i>Nome Ponto de Captação</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero Aluvionar	Poço C-47	-19,535350000	-42,579291667
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero Aluvionar	Poço C-48	-19,534336111	-42,576161111
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero Aluvionar	Poço C-49	-19,534236111	-42,576088889
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero Aluvionar	Poço C-50	-19,534027778	-42,584377778
Ipatinga	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero Aluvionar	Poço C-51	-19,535111111	-42,579033333
Itueta	MG	UGRHI 04	Superficial	EXISTENTE	Rio Doce	Rio Doce	-19,391053703	-41,165091912
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Cristal	Córrego Cristal	-20,353283333	-43,408433333
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Taquara Queimada	Córrego Taquara Queimada – Captação Gogó	-20,350247222	-43,442372222
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego da Rocinha	Córrego da Rocinha - Captação Rocinha	-20,346458333	-43,453347222
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Seminário	Córrego Seminário - Mata do Seminário 2	-20,392830378	-43,403332269
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Ribeirão Belchior	Ribeirão Belchior - Captação Serrinha 1	-20,412652255	-43,443497810
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Banco do Rego	Córrego Banco do Rego – Captação Belém 1	-20,405094444	-43,452877778
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Banco do Rego	Córrego Banco do Rego – Captação Belém 2	-20,403536111	-43,454627778
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Banco do Rego	Córrego Banco do Rego – Captação Belém 3	-20,409955556	-43,455213889
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Banco do Rego	Córrego Banco do Rego – Captação Belém 4	-20,409863889	-43,447000000
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Banco do Rego	Córrego Banco do Rego – Captação Belém 5	-20,412066667	-43,447719444
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Banco do Rego	Córrego Banco do Rego – Captação Belém 6	-20,406980472	-43,448719484
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Ribeirão Belchior	Ribeirão Belchior - Captação Serrinha 2	-20,417030556	-43,449280556

<i>Município</i>	<i>UF</i>	<i>Sub-Bacia</i>	<i>Tipo da Captação</i>	<i>Condição da Captação</i>	<i>Manancial</i>	<i>Nome Ponto de Captação</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Matadouro	Córrego Matadouro - Captação Matadouro 1	-20,375805556	-43,403661111
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Matadouro	Córrego Matadouro - Captação Matadouro 2	-20,376111111	-43,404597222
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Cartuxa	Córrego Cartuxa	-20,401952311	-43,415981670
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Dulico	Córrego Dulico	-20,405192126	-43,409672519
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Maquiné	Córrego Maquiné	-20,356877778	-43,414516667
Mariana	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Del Rey	Córrego Del Rey	-20,345529850	-43,425177849
Mariana	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Fraturado	Poço Jardim Santana	-20,358369444	-43,424425000
Mariana	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Fraturado	Poço Bucão	-20,387777778	-43,419855556
Mariana	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Fraturado	Poço Maria Menina	-20,385402778	-43,416102778
Mariana	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Fraturado	Poço Liberdade	-20,385452778	-43,466994444
Marliéria	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Jacroá	Córrego Jacroá	-19,719533333	-42,724969444
Marliéria	MG	UGRHI 02	Superficial	EXISTENTE	Córrego Jurumim	Córrego Jurumim	-19,714630556	-42,740888889
Naque	MG	UGRHI 03	Superficial	EXISTENTE	Rio Santo Antônio	Rio Santo Antônio	-19,230555556	-42,328888889
Periquito	MG	UGRHI 04	Superficial	EXISTENTE	Córrego Tavares	Córrego Tavares	-19,149083333	-42,244833333
Pingo-d'Água	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Rio Sacramento	Rio Sacramento	-19,717252778	-42,402847222
Ponte Nova	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Rio Piranga	Rio Piranga	-20,420147222	-42,910377778
Raul Soares	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Rio Matipó	Rio Matipó	-20,116129000	-42,399854000
Resplendor	MG	UGRHI 04	Superficial	EXISTENTE	Rio Doce	Rio Doce	-19,316416667	-41,254916667
Resplendor	MG	UGRHI 04	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Fraturado	Poço C-02	-19,316444444	-41,255122222
Rio Casca	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Rio Casca	Rio Casca	-20,230950000	-42,647188889
Rio Doce	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego das Lages	Córrego das Lages	-20,241500000	-42,906833333
Santa Cruz do Escalvado	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Fraturado e Poroso	Poço C-01	-20,236183333	-42,816997222
Santa Cruz do Escalvado	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Fraturado e Poroso	Poço C-03	-20,238191667	-42,821072222
Santana do Paraíso	MG	UGRHI 03	Superficial	EXISTENTE	Córrego do Achado	Córrego do Achado	-19,357408333	-42,570125000

Município	UF	Sub-Bacia	Tipo da Captação	Condição da Captação	Manancial	Nome Ponto de Captação	Latitude	Longitude
Santana do Paraíso	MG	UGRHI 03	Superficial	EXISTENTE	Córrego Soveno	Córrego Soveno	-19,385083333	-42,566944444
Santana do Paraíso	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço AABBB Industrial - Parque Industrial	-19,406744444	-42,541969444
Santana do Paraíso	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço do Campo - Parque Industrial	-19,407313889	-42,543500000
Santana do Paraíso	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço Gentil Industrial - Parque Industrial	-19,402250000	-42,546091667
Santana do Paraíso	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço Glicério Industrial - Parque Industrial	-19,412508333	-42,549661111
Santana do Paraíso	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C Caravelas -01 - Parque Industrial	-19,456736111	-42,527491667
Santana do Paraíso	MG	-	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Bateria de Poços de Ipatinga	ND	ND
São Domingos do Prata	MG	UGRHI 02	Superficial	EXISTENTE	Rio da Prata	Rio da Prata	-19,883250000	-42,951963889
São José do Goiabal	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero	Poço C-05	-19,930283333	-42,705088889
São José do Goiabal	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero	Poço C-07	-19,925263889	-42,710525000
São José do Goiabal	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero	Poço C-11	-19,925338889	-42,710613889
São Pedro dos Ferros	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Boa Vista	Córrego Boa Vista	-20,160725000	-42,521005556
São Pedro dos Ferros	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Fraturado e Poroso	Poço C-07	-20,162119444	-42,520122222
São Pedro dos Ferros	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Fraturado e Poroso	Poço C-06	-20,170347222	-42,512672222
São Pedro dos Ferros	MG	UGRHI 01	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Fraturado e Poroso	Poço C-08	-20,165686111	-42,513530556
Sem-Peixe	MG	UGRHI 01	Superficial	EXISTENTE	Córrego Escuro	Córrego Escuro	-20,080555556	-42,875277778
Sobralia	MG	UGRHI 05	Superficial	EXISTENTE	Córrego das Pedras	Córrego das Pedras	-19,241666667	-42,095138889
Timóteo	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-08	-19,528866667	-42,608555556
Timóteo	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-10	-19,528536111	-42,610366667
Timóteo	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-11	-19,530383333	-42,607322222
Timóteo	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-12	-19,530513889	-42,606858333
Timóteo	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aqüífero Aluvionar	Poço C-15	-19,529980541	-42,607296932

<i>Município</i>	<i>UF</i>	<i>Sub-Bacia</i>	<i>Tipo da Captação</i>	<i>Condição da Captação</i>	<i>Manancial</i>	<i>Nome Ponto de Captação</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
Timóteo	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero Aluvionar	Poço C-16	-19,528488889	-42,606872222
Timóteo	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero Aluvionar	Poço C-17	-19,530425000	-42,606708333
Timóteo	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero Aluvionar	Poço C-18	-19,530625000	-42,607158333
Timóteo	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero Aluvionar	Poço C-21	-19,528811111	-42,608536111
Timóteo	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero Aluvionar	Poço C-24	-19,530113889	-42,607891667
Timóteo	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero Aluvionar	Poço C-25	-19,527908333	-42,611727778
Timóteo	MG	UGRHI 02	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero Aluvionar	Poço C-26	-19,527763889	-42,611775000
Tumiritinga	MG	UGRHI 04	Superficial	EXISTENTE	Rio Doce	Rio Doce	-18,974083333	-41,640611111
Baixo Guandu	ES	UGRHI 07	Superficial	EXISTENTE EMERGENCIAL	Rio Guandu	Rio Guandu	-19,513194444	-41,008611111
Colatina	ES	UGRHI 09	Superficial	EXISTENTE	Rio Doce	Rio Doce	-19,533600000	-40,641744000
Colatina	ES	UGRHI 09	Superficial	EXISTENTE	Rio Doce	Rio Doce	-19,531895000	-40,634333000
Colatina	ES	UGRHI 09	Superficial	EXISTENTE	Rio Doce	Rio Doce	-19,529483333	-40,705211111
Linhares	ES	UGRHI 09	Superficial	EXISTENTE	Rio Pequeno	Rio Pequeno	-19,394011111	-40,074763889
Linhares	ES	UGRHI 09	Superficial	EXISTENTE	Rio Pequeno	Rio Pequeno	-19,393586111	-40,074802778
Marilândia	ES	UGRHI 09	Superficial	EXISTENTE	Lagoa no Córrego São Pedro	Lagoa no Córrego São Pedro	-19,403055556	-40,526166667
Marilândia	ES	UGRHI 09	Superficial	EXISTENTE	Barragem no Córrego São Pedro	Barragem no Córrego São Pedro	-19,407500000	-40,537222222
Marilândia	ES	UGRHI 09	Superficial	EXISTENTE	Rio Liberdade	Rio Liberdade	-19,409052778	-40,541511111
Marilândia	ES	UGRHI 09	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero	Poço 1 - Liberdade	-19,409480556	-40,541816667
Marilândia	ES	UGRHI 09	Subterrânea	EXISTENTE	Aquífero	Poço 2 - Velhas	-19,408188889	-40,541091667

6.4 APÊNDICE D – REFERENCIAL TEÓRICO EM RESÍDUOS SÓLIDOS

INTRODUÇÃO

O cenário da gestão dos resíduos sólidos urbanos no Brasil vem se modificando nos últimos anos, sobretudo após a aprovação da Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual dispõe sobre os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis, prevendo o auxílio da União para sua implementação.

Como principais objetivos da PNRS têm-se:

- A não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento de resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- A racionalização do uso dos recursos naturais no processo produtivo de novos itens;
- A intensificação de ações de educação ambiental;
- O incentivo à indústria da reciclagem;
- A promoção da articulação entre as diferentes esferas do poder público e entre estas e o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira;
- A promoção da inclusão social e
- A capacitação técnica.

A PNRS impõe, no entanto, algumas obrigações de responsabilidade direta dos municípios, com destaque para:

- Disposição final ambientalmente adequada de rejeitos a partir de agosto de 2014;
- Implantação da coleta seletiva e definição de metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem a partir da inclusão dos catadores e
- Elaboração dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos para obtenção de recursos federais a partir de agosto de 2012.

A disposição final ambientalmente adequada de rejeitos implica na construção de aterros sanitários e a eliminação dos passivos ambientais representados pela existência de lixões. Além das dificuldades para obter recursos financeiros para a implantação de aterros, os municípios enfrentam ainda o desafio de conseguir recursos para a operação dos mesmos e também de inserir socialmente o contingente de catadores que sobrevivem ainda no entorno de lixões (PWC, 2014).

Para implementar as obrigações citadas acima, o município necessita de recursos financeiros, os quais somente serão repassados pelas instituições financeiras da União quando da apresentação dos planos de gestão integrada de resíduos sólidos (PGIRS), que devem demonstrar a sustentabilidade financeira da solução proposta e contemplar, preferencialmente, uma solução consorciada a outros municípios. Também, para que os estados tenham acesso a recursos da União destinados a empreendimentos e serviços relacionados à gestão de resíduos sólidos e para serem beneficiados por incentivos

ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade, é condição a elaboração de um Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS).

Além dos PERS, a PNRS define que os estados também são responsáveis - quando couber - pela elaboração dos planos microrregionais de resíduos sólidos, bem como dos planos de regiões metropolitanas ou de aglomerações urbanas.

O PERS deverá contemplar diagnóstico, incluída a identificação dos principais fluxos de resíduos no Estado e seus impactos socioeconômicos e ambientais, bem como estabelecer metas de redução, reutilização, reciclagem, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada. Além de propor metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos e para a recuperação de antigas áreas de lixões, dentre outros aspectos.

A realização dos planos estaduais é apoiada pelo Governo Federal, por meio da disponibilização de recursos financeiros e orientações metodológicas. Conforme informação constante do site do Ministério do Meio Ambiente (MMA), os planos estaduais de resíduos sólidos dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo estão fase de elaboração.

O aumento das iniciativas em municípios das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste foi bastante considerável, enquanto que nas regiões Sul e Sudeste mais de 85% dos municípios implementaram ações nesse sentido, um índice superior à média nacional.

Em relação aos aterros controlados, a PNRS estabeleceu que os municípios teriam até agosto de 2014 para começarem a realizar a disposição adequada dos resíduos, sendo os aterros uma forma paliativa preferível aos lixões para municípios com menos de 20.000 habitantes. Diante disso, devido ao vencimento do prazo estabelecido, aterros controlados são considerados inadequados.

CONCEITOS

Esse item apresenta os conceitos mais usados sobre o tema, conforme a PNRS, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e Deliberação Normativa nº 118/2008 do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM).

Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

Destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária

(SUASA), entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Lixão: forma inadequada de disposição final de resíduos e rejeitos, que consiste na descarga do material no solo sem qualquer técnica ou medida de controle.

Aterro Sanitário: **técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos** à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

Aterro Controlado: **técnica** de disposição de resíduos sólidos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho.

Usina de Triagem e Compostagem (UTC): empreendimentos com a finalidade de separar os resíduos em três frações: materiais potencialmente recicláveis, matéria orgânica e os rejeitos (materiais não recicláveis).

Triagem: separação com finalidades específicas.

Usina de Compostagem: instalação dotada de pátio de compostagem e conjunto de equipamento eletromecânico destinado a promover e/ou auxiliar o tratamento das frações orgânicas dos resíduos sólidos domiciliares.

Autoclavagem: tratamento térmico que consiste em manter os resíduos contaminados em contato com vapor de água, a temperaturas em torno de 135°C, durante período de tempo suficiente para destruir potenciais agentes patogênicos ou reduzi-los a um nível que não constitua risco (pelo menos nível III de inativação microbiana). O processo inclui ciclos de compressão e de decompressão a fim de facilitar o contato entre o vapor e os resíduos. Os valores usuais de pressão são de 3 a 3,5 bar. Se houver homogeneização do resíduo o processo é mais eficiente. Gera efluentes líquidos que devem ser tratados.

Incineração: tratamento térmico que consiste na oxidação por combustão dos resíduos a temperaturas elevadas, que resulta em produtos mais simples mineralizados, com redução considerável de volume e oxidação dos compostos e matéria orgânica, em especial de organismos patogênicos.

Três parâmetros de controle importantes são: temperatura, tempo de residência e turbulência. Além desses parâmetros, a taxa de alimentação da câmara de combustão é outro importante parâmetro a ser controlado. O processo de combustão ocorre em dois estágios: no primeiro, os resíduos na câmara de incineração são submetidos a temperatura mínima de 800°C, resultando na formação de gases que são processados na câmara secundária de combustão. No segundo estágio, as temperaturas devem atingir valores mais elevados que chegam a 1000°C-1200°C, com o objetivo de tratar os gases poluentes gerados na câmara primária. O processo gera poluentes gasosos que devem ser processados em equipamento de controle de poluição (ECP). Resulta ainda na geração de cinzas e escórias da câmara de incineração e outros poluentes sólidos do ECP, bem como efluentes líquidos. As cinzas e escórias provenientes do processo devem ser encaminhados para aterros Classe 1, a não ser que o órgão ambiental competente autorize a disposição final como resíduo não perigoso, mediante comprovação, conforme Resolução CONAMA nº 316 de 2002. Esta exceção não deve ser feita para as cinzas volantes que apresentam elevado potencial de toxicidade e mobilidade.

Resíduos Perigosos (Classe I): aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

Resíduos Não Perigosos (Classe II): aqueles não enquadrados como resíduos perigosos;

Resíduos Não Perigosos Não Inertes (Classe IIA): aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B - Inertes. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;

Resíduos Não Perigosos Inertes (Classe IIB): quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

TIPOLOGIA DOS RESÍDUOS

Esse tópico apresenta a tipologia de resíduos, conforme a PNRS (BRASIL, 2010).

I. Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) englobam os resíduos sólidos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências urbanas, e os resíduos de limpeza urbana, originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.

II. Resíduos de Serviço de Saúde

Os resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS) são aqueles gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS.

De acordo com a Resolução nº 358 de 29 de abril de 2005 do CONAMA, os serviços de saúde envolvem todos os serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal, inclusive os

serviços de assistência domiciliar e de trabalhos de campo; laboratórios analíticos de produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento (tanatopraxia e somatoconservação); serviços de medicina legal; drogarias e farmácias inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos; importadores, distribuidores e produtores de materiais e controles para diagnóstico in vitro; unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura; serviços de tatuagem, entre outros similares (CONAMA, 2005).

São resíduos que necessitam de manejo diferenciado, embora os RSS representem aproximadamente 1 a 3 % do peso dos resíduos sólidos gerados em um município. Suas características biológicas, químicas e físicas que podem lhes conferir periculosidade, podendo exigir ou não tratamento prévio para a disposição final adequada.

Os estabelecimentos geradores de RSS são responsáveis pelo gerenciamento dos resíduos desde a geração até a disposição final, tendo como obrigação a implantação do Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS).

O gerenciamento desses resíduos é regulamentado pela Resolução da Diretoria Colegiada - RDC ANVISA nº 306, de 2004, pela Resolução CONAMA nº 358, de 2005 e pela Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM nº 171, de 2011, que estabeleceu diretrizes para a coleta, o tratamento e a disposição final dos RSS no estado de Minas Gerais.

Conforme Resolução RDC nº 306 /2004, os RSS são classificados a seguir.

Grupo A: Resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características, podem apresentar risco de infecção.

- A1
 - Culturas e estoques de microrganismos; resíduos de fabricação de produtos biológicos, exceto os hemoderivados; descarte de vacinas de microrganismos vivos ou atenuados; meios de cultura e instrumentais utilizados para transferência, inoculação ou mistura de culturas; resíduos de laboratórios de manipulação genética;
 - Resíduos resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação biológica por agentes classe de risco 4, microrganismos com relevância epidemiológica e risco de disseminação ou causador de doença emergente que se torne epidemiologicamente importante ou cujo mecanismo de transmissão seja desconhecido;
 - Bolsas transfusionais contendo sangue ou hemocomponentes rejeitadas por contaminação ou por má conservação, ou com prazo de validade vencido, e aquelas oriundas de coleta incompleta;
 - Sobras de amostras de laboratório contendo sangue ou líquidos corpóreos, recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, contendo sangue ou líquidos corpóreos na forma livre.
- A2:
 - Carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais submetidos a processos de experimentação com inoculação de microrganismos, bem como suas

forrações, e os cadáveres de animais suspeitos de serem portadores de microrganismos de relevância epidemiológica e com risco de disseminação, que foram submetidos ou não a estudo anatomopatológico ou confirmação diagnóstica.

- A3
 - Peças anatômicas (membros) do ser humano; produto de fecundação sem sinais vitais, com peso menor que 500 gramas ou estatura menor que 25 centímetros ou idade gestacional menor que 20 semanas, que não tenham valor científico ou legal e não tenha havido requisição pelo paciente ou familiar.
- A4
 - Kits de linhas arteriais, endovenosas e dialisadores, quando descartados;
 - Filtros de ar e gases aspirados de área contaminada; membrana filtrante de equipamento médico-hospitalar e de pesquisa, entre outros similares;
 - Sobras de amostras de laboratório e seus recipientes contendo fezes, urina e secreções, provenientes de pacientes que não contenham e nem sejam suspeitos de conter agentes Classe de Risco 4, e nem apresentem relevância epidemiológica e risco de disseminação, ou microrganismo causador de doença emergente que se torne epidemiologicamente importante ou cujo mecanismo de transmissão seja desconhecido ou com suspeita de contaminação com príons;
 - Resíduos de tecido adiposo proveniente de lipoaspiração, lipoescultura ou outro procedimento de cirurgia plástica que gere este tipo de resíduo;
 - Recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, que não contenha sangue ou líquidos corpóreos na forma livre;
 - Peças anatômicas (órgãos e tecidos) e outros resíduos provenientes de procedimentos cirúrgicos ou de estudos anatomopatológicos ou de confirmação diagnóstica;
 - Carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais não submetidos a processos de experimentação com inoculação de microrganismos, bem como suas forrações;
 - Bolsas transfusionais vazias ou com volume residual pós-transfusão.
- A5
 - Órgãos, tecidos, fluidos orgânicos, materiais perfurocortantes ou escarificantes e demais materiais resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação com príons.

Grupo B: Resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade.

- Produtos hormonais e produtos antimicrobianos; citostáticos; antineoplásicos; imunossuppressores; digitálicos; imunomoduladores; anti-retrovirais, quando descartados por serviços de saúde, farmácias, drogarias e distribuidores de medicamentos ou apreendidos e os

resíduos e insumos farmacêuticos dos Medicamentos controlados pela Portaria MS 344/98 e suas atualizações;

- Resíduos de saneantes, desinfetantes, desinfetantes; resíduos contendo metais pesados; reagentes para laboratório, inclusive os recipientes contaminados por estes;
- Efluentes de processadores de imagem (reveladores e fixadores);
- Efluentes dos equipamentos automatizados utilizados em análises clínicas;
- Demais produtos considerados perigosos, conforme classificação da NBR 10.004 da ABNT (tóxicos, corrosivos, inflamáveis e reativos).

Grupo C: Quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados nas normas do CNEN e para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista.

- Enquadram-se neste grupo os rejeitos radioativos ou contaminados com radionuclídeos, provenientes de laboratórios de análises clínicas, serviços de medicina nuclear e radioterapia, segundo a resolução CNEN-6.05.

Grupo D: Resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares.

- papel de uso sanitário e fralda, absorventes higiênicos, peças descartáveis de vestuário, resto alimentar de paciente, material utilizado em antissepsia e hemostasia de venóclises, equipo de soro e outros similares não classificados como A1;
- Sobras de alimentos e do preparo de alimentos;
- Resto alimentar de refeitório;
- Resíduos provenientes das áreas administrativas;
- Resíduos de varrição, flores, podas e jardins;
- Resíduos de gesso provenientes de assistência à saúde.

Grupo E: Materiais perfurocortantes ou escarificantes, tais como: Lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limasendodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas; tubos capilares; micropipetas; lâminas e lamínulas; espátulas; e todos os utensílios de vidro quebrados no laboratório (pipetas, tubos de coleta sanguínea e placas de Petri) e outros similares.

III. Resíduos de Construção Civil

Os resíduos de construção civil (RCC) São aqueles os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.

O Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil – PGRCC é o documento em que são estabelecidas as ações necessárias ao adequado gerenciamento de resíduos da construção civil, contemplando, de forma detalhada, as etapas de caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação final, conforme Resolução CONAMA nº 307/2002. Esse plano deve ser elaborado e implementado pelos grandes geradores.

IV. Resíduos Sólidos Industriais

Os resíduos sólidos industriais (RSI) são aqueles gerados nos processos produtivos e instalações industriais.

V. Resíduos Sólidos de Mineração

Os resíduos sólidos de mineração (RSM) são os resíduos gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

VI. Resíduos Sólidos Especiais

São considerados resíduos sólidos especiais (RSE):

I - Agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA, do SNVS e do SUASA, ou em normas técnicas;

II - Pilhas e baterias;

III - Pneus;

IV - Óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

V - Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

VI - Produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

Os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes desses resíduos são obrigados a estruturar e implementar o sistema de logística reversa.

