Amostra 02 – inicialmente foi prevista uma coleta em área da barragem de Fundão, com a intenção de coletar sedimento em área não antropizada, mas devido à presença de rejeito esse ponto foi desconsiderado neste trabalho.

Amostra 03 – coordenadas UTM 23S – 652335/7760597 – localizada na nascente do rio Jacuba (afluente do rio Gualaxo do Norte), nas vertentes situadas acima da mina Timbopeba (Vale), em área não antropizada, cujo acesso foi realizado a partir de estradas secundárias, controladas pelas mineradoras da Vale e da Samarco (Figura 398A). A drenagem onde foi realizada a coleta apresenta-se de forma encaixada, com presença de cangas lateríticas.

Figura 397 – Nascentes do rio Piracicaba, local de coleta de sedimentos amostra 01.

Figura 398 – A) Visão geral da drenagem onde foi coletada a amostra de sedimento, apontada pela seta, na nascente do rio Jacuba, afluente do rio Gualaxo do Norte e B) Local da coleta de sedimentos.

A

B

Com base nessas amostras, foram realizados ensaios de DRX, FRX e ICP cujos resultados de FRX para as respectivas amostras encontram-se expressos na **Tabela 130** e na **Tabela 131** (Anexo A). Os principais elementos detectados no FRX, para a amostra 01, apontam em maior porcentagem o Fe_2O_3 e SiO_2, seguidos de Al_2O_3, já para a amostra 03 possui em sua composição 88% de Fe_2O_3 e 5% de SiO_2.

A composição mineralógica, por DRX, da amostra 01 é de hematita e quartzo, e da amostra 03, de hematita e goethita, cujos certificados são apresentados no Anexo B.

Essas mesmas amostras foram, posteriormente, encaminhadas ao controle analítico para a caracterização por ICP. Devido à quantidade dos elementos analisados, a tabela foi dividida de forma a facilitar a visualização, conforme apresenta a **Tabela 132** e a **Tabela 133**. Os respectivos certificados são apresentados no Anexo C.

Tabela 130 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX da amostra 01, expressas na forma de óxidos.

Amostra	Fe_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Ti_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	MgO (%)	As_2O_3 (%)	MnO (%)	Cr_2O_3 (%)	SO_3 (%)	Perda ao Fogo (%)
Amostra 01	75,0	16,4	3,5	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	4,23

Tabela 131 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX da amostra 03 – 2.0177.17 de sedimento de corrente e da rocha 2.0202.17, expressas na forma de óxidos.

Amostra	Fe_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	P_2O_5 (%)	TiO_2 (%)	MnO (%)	SO_3 (%)	Perda ao Fogo (%)
Amostra 03	88,1	5,1	0,8	0,2	0,1	<0,1	<0,1	5,63

Tabela 132 – Caracterização química por ICP da amostra 01 e amostra 03 – parte 1.

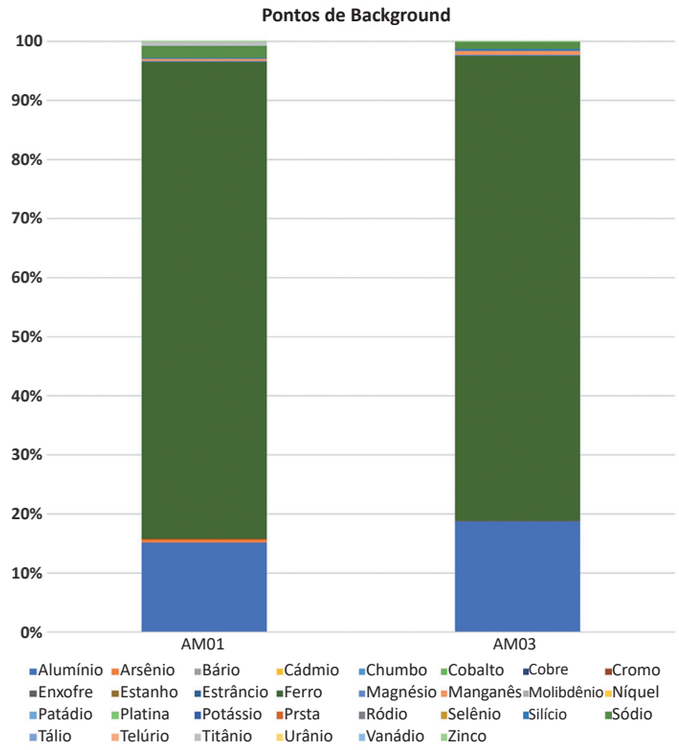
	Alumínio total (mg/kg)	Antimônio (mg/kg)	Arsênio total (mg/kg)	Bário total (mg/kg)	Berílio total (mg/kg)	Bismuto total (mg/kg)	Boro total (mg/kg)	Cádmio total (mg/kg)	Cálcio total (mg/kg)	Chumbo total (mg/kg)	Cobalto total (mg/kg)	Cobre toal (mg/kg)	Cromo total (mg/kg)	Enxofre total (mg/kg)	Estanho total (mg/kg)	Estrôncio total (mg/kg)	Ferro total (mg/kg)	Magnésio total (mg/kg)
AM01	8346	<0,1	229,2	5,6	<0,02	<0,5	<0,5	<0,02	166	<0,1	2,13	14,23	65,5	41,9	<0,5	3,69	44550	103
AM03	10610	<0,1	2,16	7,2	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	211	7,01	<0,1	6,84	6,78	40,9	<0,5	4,72	44870	1110

Tabela 133 – Caracterização química por ICP da amostra 01 e amostra 03 – parte 2.

	Manganês total (mg/kg)	Molibdênio total (mg/kg)	Níquel total (mg/kg)	Paládio total (mg/kg)	Platina total (mg/kg)	Potássio total (mg/kg)	Prata total (mg/kg)	Ródio total (mg/kg)	Selênio total (mg/kg)	Silício total (mg/kg)	Sódio total (mg/kg)	Tálio total (mg/kg)	Telúrio total (mg/kg)	Titânio total (mg/kg)	Urânio total (mg/kg)	Vanádio total (mg/kg)	Zinco total (mg/kg)
AM01	120	<0,5	<0,1	<0,5	<0,5	72,7	<0,1	<0,5	<0,1	93,3	1082	<0,1	<0,5	359	<0,02	54,6	10,5
AM03	321	<0,5	5,42	<0,5	<0,5	35	<0,1	<0,5	<0,1	217	598	<0,1	<0,5	73,8	<0,02	<0,5	8,03

A amostra 01 apresentou valores de 229 (mg/kg) para arsênio e 65 (mg/kg) de cromo. A distribuição em porcentagem para cada ponto é apresentada no gráfico da **Figura 399**.

Figura 399 – Distribuição dos elementos em porcentagem dos pontos de ***background*** amostra 01 e amostra 03.



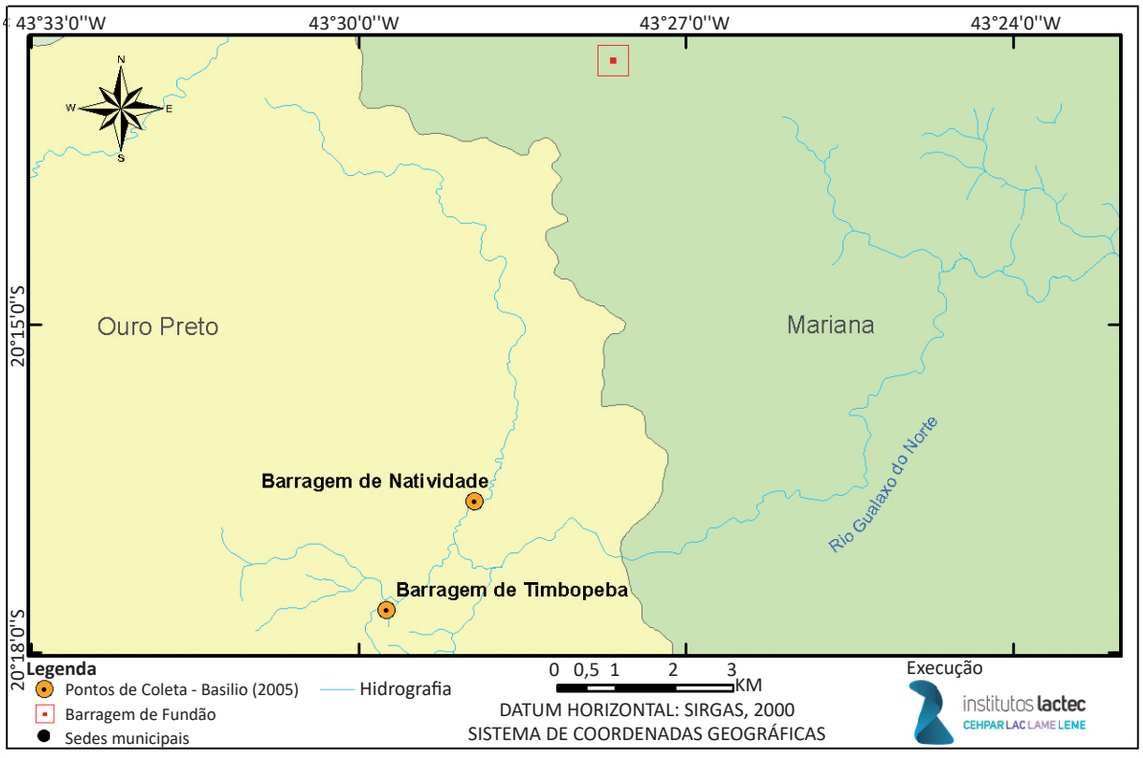
5.1.3.2 Resultados dados anteriores ao rompimento da barragem

Nesta seção, estão apresentados os resultados dos estudos realizados no período anterior ao rompimento da barragem, selecionados para este relatório.

5.1.3.2.1 Resultados de Basílio (2005)

O estudo de Basílio (2005) teve por objetivo avaliar a capacidade de adsorção dos sedimentos ricos em ferro das barragens de contenção de Timbopeba e Natividade para a retenção de metais-traço. Os sedimentos estudados pelo autor eram compostos basicamente por rejeitos do processamento do minério de ferro na mina de Timbopeba, de propriedade da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), localizada na porção leste-sudeste do QF, em Minas Gerais. Ambas as barragens recebem o rejeito da mina de Timbopeba, cuja drenagem ocorre para o rio Gualaxo do Norte, a montante da drenagem da mina da Samarco. Em cada barragem, foi executada uma amostragem sistemática, com 26 pontos de coleta em Timbopeba e 27 pontos em Natividade. A Figura 400 apresenta a localização da área de estudo.

Figura 400 – Localização das estações de amostragem.



Fonte: Basílio (2005).

Os sedimentos foram secados, digeridos parcialmente em água régia e analisados para os elementos minoritários (menos abundantes na crosta terrestre) – zinco, cromo, níquel, cobre, arsênio, cádmio e chumbo – e majoritários (mais abundantes na crosta terrestre) – alumínio, cálcio, ferro, potássio, magnésio, manganês e sódio. Os resultados estão apresentados na Tabela 134 e na Tabela 135.

Tabela 134 – Concentrações dos elementos minoritários e majoritários nos sedimentos da barragem de Timbopeba.

	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn	Cr	Ni	Cu	As	Cd	Pb
	%	%	%	%	mg/kg	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
T-1	1,17	4,76	39,6	0,18	1800	0,34	0,11	31,2	19,2	19,3	65,6	27,5	<0,02	7,91
T-3	0,18	2,99	45,7	0,25	1900	0,21	0,1	23	15,1	8,98	66,3	13,2	<0,02	4,17
T-4	0,72	1,78	50,2	0,13	1000	0,28	0,08	21,1	35,1	18,8	43,5	23,5	<0,02	2,9
T-5	0,56	1,85	41	0,13	1200	0,21	0,09	20,5	25	22,3	72,2	33,8	<0,02	8,37
T-6	0,89	2,38	41,7	0,13	1400	0,83	0,09	24,3	25,5	20,7	41,8	21,2	<0,02	9,64
T-8	1,11	2,4	47,4	0,3	2100	0,44	0,11	41,3	28,3	19	47,1	19,6	<0,02	6,96
T-9	0,85	3,65	41,9	0,2	2000	0,32	0,14	36,1	27,1	23,9	55,6	27,2	2,21	30,4
T-10	1,15	3,56	41,5	0,17	1700	0,32	0,1	25,3	23,7	20,3	53,8	31,4	<0,02	7,01
T-11	0,73	2,63	42,6	0,12	1400	0,34	0,08	20,6	20,9	16,8	52	26,3	<0,02	6,43
T-12	8,21	8,96	43,5	0,17	900	0,12	0,12	32,8	10,2	7,19	20,2	6,52	2,71	2,94
T-13	0,65	3,11	42,2	0,13	1600	0,28	0,09	24,7	21	27,3	49,4	21,4	<0,02	6,28
T-14	1,06	3,09	41,2	0,28	1500	0,32	0,12	36,1	25,7	22,1	57,9	35	<0,02	7,97
T-15	0,77	2,39	45,3	0,11	1200	0,34	0,08	20,9	22	18,2	50,2	23,9	<0,02	8,1
T-16	0,34	2,06	45,1	0,22	1900	0,21	0,08	20,7	16,8	14,9	34,3	14,4	<0,02	4,76
T-17	0,51	1,89	49	0,24	2200	0,32	0,15	20	19,9	12,7	32,9	16,2	<0,02	6,81
T-18	0,58	3	45	0,25	1100	0,3	0,08	18,1	21,7	16,9	39,8	24,6	<0,02	8,06
T-19	0,7	2,65	46,7	0,12	900	0,4	0,08	25,4	25,5	13,3	31,8	20,1	<0,02	7,79
T-20	0,34	2,13	38,8	0,09	800	0,21	0,07	15,3	13,6	12,6	25,2	12,1	<0,02	4,14
T-21	0,64	3,14	51,5	0,11	700	0,14	0,09	19	18,4	10,8	27,7	11,4	<0,02	6,08
T-22	1,91	2,85	50,4	0,1	500	0,11	0,08	15,8	12,3	6,6	16,5	10	<0,02	5,08
T-23	0,47	2,95	46,9	0,11	1000	0,26	0,08	21	28,4	15,6	32	19,8	<0,02	9,5
T-24	0,45	2,72	43,3	0,12	1000	0,25	0,09	22,5	19	15,1	84,4	17,5	<0,02	16,8
T-26	0,3	2,92	49,3	0,15	1000	0,13	0,11	30,8	15,5	7,5	41,4	10,7	<0,02	5,6
T-28	0,58	1,29	41,7	0,08	1000	0,74	0,06	16,1	16,3	13,7	33,4	17,2	<0,02	8,7
T-29	0,56	1,66	45,6	0,2	1700	0,47	0,1	19	19,9	12,6	31,3	17,8	<0,02	7,04
T-30	0,81	2,72	41	0,14	1600	0,38	0,1	25	22,3	14,8	30	20,7	0,02	7,52
Média	1	2,91	44,5	0,16	1300	0,32	0,09	24,1	21,1	15,9	43,7	20,1	0,24	8,01
DP	1,51	1,43	3,6	0,06	500	0,16	0,02	6,77	5,7	5,3	16,6	7,4	0,66	5,22
Nível 1	-	-	-	-	-	-	-	123	37,3	18	35,7	5,9	0,6	35
Nível 2	-	-	-	-	-	-	-	315	90	35,9	197	17	3,5	91,3

Fonte: Adaptado de Basílio (2005).

Tabela 135 – Concentrações dos elementos majoritários e minoritários nos sedimentos da barragem de Natividade.

	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn	Cr	Co	Ni	Cu	As	Cd	Pb
	%	%	%	%	mg/kg	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
N-2	3,92	0,73	16,5	0,16	900	1,93	0,07	45,3	44,8	17,1	28,9	32,5	44,7	0,11	20,6
N-3	3,31	3,11	19,1	0,19	3900	1,86	0,11	49,2	45,5	19,2	34,3	33,2	47,3	0,21	19,7
N-4	3,1	2,04	21,4	0,2	1500	1,69	0,1	40,2	58,6	21,2	35,8	30,8	49	0,14	20,3
N-5	3,74	2,49	20	0,19	1300	1,92	0,11	48,3	52,7	21,2	37,5	41,4	61,9	0,1	20,7
N-6	2,93	2,69	17,1	0,21	1200	1,75	0,13	38,5	46,1	18	38,3	32,2	62,6	0,1	21,7
N-7	1,04	2,16	12,8	0,14	700	0,5	0,09	30,2	52,1	11,4	36,5	26,1	67,8	0,11	23,9
N-10	2,6	1,28	14,2	0,15	800	1,24	0,08	25,3	42,8	13,8	34,2	20,9	60,4	<0,02	22,2
N-11	2,41	2,34	13,6	0,19	1000	1,26	0,11	55,3	39,4	14,3	33,8	23,9	63,9	0,17	22,7
N-12	2,89	1,68	16,4	0,15	1000	1,79	0,09	50,7	35,2	15,2	31,7	35,3	56,7	<0,02	21,2
N-13	3,96	2,99	18,8	0,19	1400	1,99	0,11	39,9	36	18,6	35,6	30,1	60,9	0,12	21,2
N-14	3,35	2,26	16,9	0,16	1100	1,75	0,1	42,5	35,3	15,6	33,2	34,4	60,5	0,12	21,5
N-15	3,46	1,46	17,8	0,13	1000	2,08	0,1	23,9	34	16,5	32,3	29,7	55,8	0,12	21,7
N-16	4,24	2,27	19,2	0,18	1200	2,92	0,1	60,4	42,8	20,9	39,9	61,8	60,9	0,13	21,4
N-17	1,38	1,49	13	0,13	600	0,75	0,1	32,5	61,7	12,5	37,2	14,3	52,4	<0,02	17,7
N-18	3,3	3,16	17	0,18	1400	2,16	0,11	41,3	51,1	18,7	42,3	35,6	62,2	0,31	21,3
N-19	3,11	1,34	19,1	0,1	900	2,31	0,1	70,4	63,8	20,3	49,4	33,4	65,8	0,13	38,3
N-20	3,59	2,91	18,9	0,19	1400	2,45	0,11	48,5	44,1	21,5	41	41,8	62,2	1,55	33,2
N-21	4,8	2,36	20,6	0,18	1300	2,3	0,1	60,8	46,4	22,4	43,1	57,5	64,3	0,11	21,6
N-22	4,51	3,14	21,2	0,21	1500	2,51	0,11	56,7	47,7	21,5	44,3	60,5	69,8	0,14	22,3
N-23	4,99	2,77	20,8	0,18	1200	1,62	0,1	45,7	55,1	20,6	44,3	37,5	65,9	0,11	23,8
N-24	3,45	2,13	23,1	0,16	1000	1,89	0,09	37,4	52,2	18,3	42,3	33,7	63,2	0,11	21,9
N-25	0,59	0,29	11,5	0,01	200	0,23	0,08	43,3	54,8	9,76	36,7	18,1	57,5	<0,02	17,7
N-31	1,02	0,11	41	0,02	100	0,43	0,19	45,2	91,5	10	32,2	13,6	62,3	<0,02	22,2
N-32	3,34	0,08	11,5	0,05	400	1,28	0,1	62,3	36,7	15,5	29,3	44,2	54	0,13	22,1
N-33	2,25	0,33	17,9	0,03	300	1,05	0,11	57,6	55,4	14,7	34,7	50,5	52,6	<0,02	23,7
N-34	2,77	0,35	24,6	0,02	800	1,39	0,1	56	44,5	18,1	31,5	30,8	57,3	0,1	16,1
N-35	2,69	0,31	23,7	0,04	700	1,78	0,07	46,5	32,6	18,3	25,5	46,5	42,3	<0,02	17,9
Media	3,06	1,79	18,8	0,13	1100	1,66	0,1	46,4	48,3	17,2	36,5	35,2	58,7	0,17	22,2
DP	1,11	1,04	5,6	0,06	0,07	0,65	0,03	11,3	12,2	3,63	5,49	12,6	7	0,28	4,4
Nível 1	-	-	-	-	-	-	-	123	37,3	-	18	35,7	5,9	0,6	35
Nível 2	-	-	-	-	-	-	-	315	90	-	35,9	197	17	3,5	91,3

Fonte: Adaptado de Basílio (2005).

Quando comparado com os níveis estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012, o elemento arsênio apresentou concentrações acima dos níveis 1 na barragem de Timbopeba, e acima do nível 2 na barragem de Natividade. Os elementos níquel e cobre revelaram concentrações acima do nível 1 na barragem de Timbopeba, e acima do nível 2 na barragem de Natividade. Já o elemento cromo possuía concentrações acima dos níveis 1 e 2 apenas na barragem de Natividade.

Em geral, os resultados obtidos pelo autor mostraram que as concentrações de metais-traço nos sedimentos da barragem de Natividade foram mais elevadas que as observadas na barragem de Timbopeba.

5.1.3.2.2 Resultados de Costa (2001)

Costa (2001), em sua dissertação de mestrado, estudou a água e os sedimentos na bacia do rio Gualaxo do Norte, com foco no complexo industrial de Timbopeba, em região muito próxima às minas exploradas pela Samarco Mineração S.A. De acordo com o autor, o rio Gualaxo do Norte, situado na região sudeste do QF, recebe os efluentes das minas de ferro de Timbopeba, Capanema, Samarco e Samitri e de garimpos. Estes vêm explorando de maneira rudimentar os depósitos auríferos da região ao longo de quase três séculos.

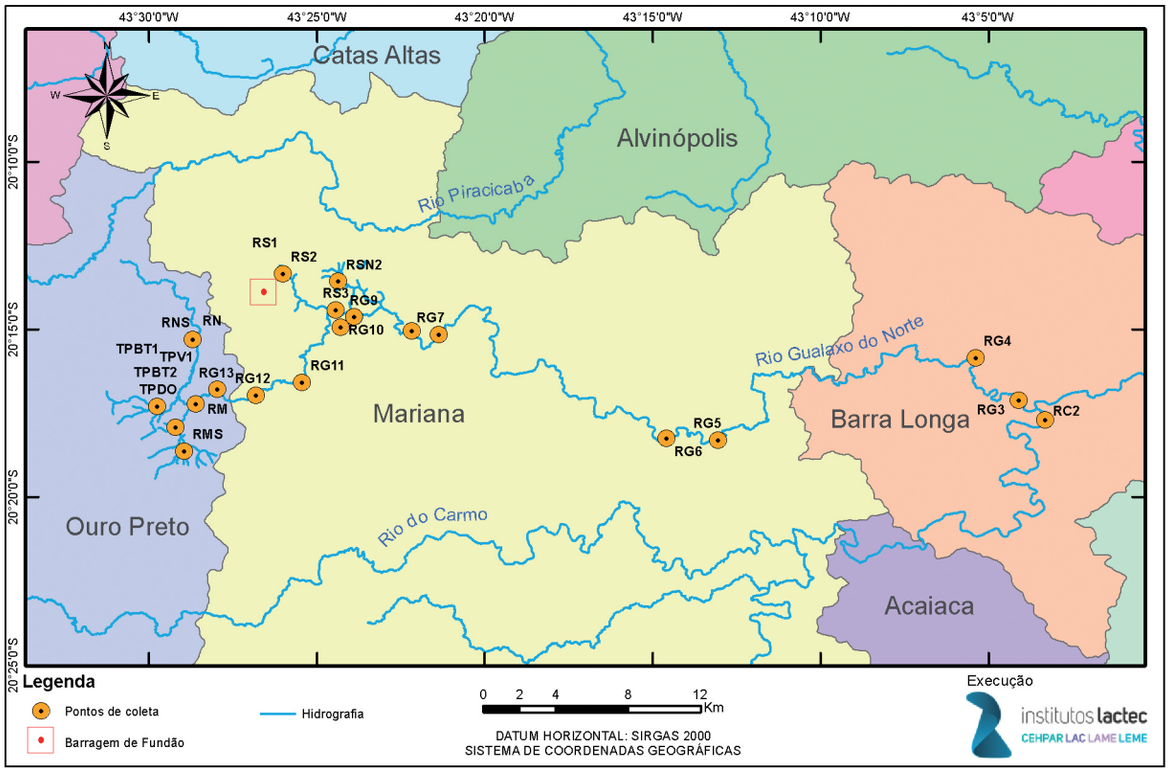
O complexo industrial de Timbopeba, de propriedade da CVRD, explora o minério de ferro, na região, desde 1984. A reserva foi estimada em 213 milhões de toneladas de hematita, com vida útil prevista para 35 anos – relatório final da pesquisa da jazida de Timbopeba (ENDO, 1988 apud COSTA, 2001).

A Samarco vem explorando minério de ferro na região desde 1973, lavrando o minério da mina de Germano, cujas reservas esgotaram-se no ano de 1995, passando, então, a explorar o minério itabirítico do complexo de Alegria. Estima-se que esse complexo possua reservas lavráveis da ordem de 160 milhões de toneladas (MATSUMURA, 1999 apud COSTA, 2001). Em sua dissertação, o autor informa que a CVRD possui o controle acionário tanto da Samitri quanto da Samarco, sendo que parte do minério lavrado pela Samitri era processada pela usina de beneficiamento da Samarco, cuja lama residual dirige-se para a barragem Germano, posteriormente sendo vertida para a barragem Santarém.

Costa (2001) realizou três campanhas de amostragem de águas e sedimentos. A primeira foi concentrada na cabeceira do rio Gualaxo do Norte, com ênfase no interior do complexo de Timbopeba, durante o inverno de 1999 (estação seca). Nesta subseção, serão apresentados apenas os resultados obtidos pela análise das amostras de sedimentos coletados na bacia do rio Gualaxo do Norte.

As estações de amostragem localizadas na bacia do rio Gualaxo do Norte estão apresentadas na Figura 401.

Figura 401 – Estações de amostragem localizadas no rio Gualaxo do Norte.



Fonte: Costa (2001).

Na segunda e terceira campanhas de amostragem, foram realizadas as coletas de amostras de águas e sedimentos em toda a extensão do rio Gualaxo do Norte, durante os meses de janeiro (período chuvoso) e junho de 2000 (período seco), respectivamente.

Foram coletados os sedimentos relativos à camada superficial de sedimentação (primeiros 30 cm de profundidade). Para tanto, foram utilizados pegadores de plástico com sacos plásticos de boca larga, imediatamente selados após a coleta.

Foram coletadas oito amostras de sedimentos na primeira campanha de amostragem (período seco de 1999) e 22 amostras na segunda campanha (período chuvoso de 2000), sempre coincidentes com os pontos de coleta das amostras de água. Os resultados das análises de metais e semimetais realizadas em sedimentos estão apresentados na Tabela 136 e na **Tabela 137**.

Tabela 136 – Média dos resultados das análises de metais e semimetais realizadas em sedimentos para os elementos majoritários.

Ponto	Local	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)
NÍVEL1	-	-	-	-	-	-	-	-
NÍVEL2	-	-	-	-	-	-	-	-
RNS	Rio Natividade	49	<200	91	53	1340	501	1960
TPDO	Rio Doutor (CVltD)	<10	291	100	224	3630	326	23400
TPDOS		12	398	50	264	3340	271	13100
RM	Rio Manso - Antônio Pereira	16	468	5230	3160	9150	402	8360
RMS		25	896	499	697	19300	234	13800
RG14	Rio Gualaxo - Antônio Pereira	17	392	540	465	6830	484	9170
RG13	Rio Gualaxo - Antônio Pereira	55	2010	1160	1390	30100	320	18000
RG12	Rio Gualaxo - estrada Bento Rodrigues	20	826	369	507	10700	376	10400
RG11	Rio Gualaxo - ponte fazenda Gualaxo	27	1090	655	700	14300	372	13000
RG10	Rio Gualaxo - Bento Rodrigues	<10	299	370	313	4530	230	6950
RSN2	Rio Santarém (jusante mina de ouro)	190	2280	384	1510	26200	163	1050
RS2	Rio Santarém - Bento Rodrigues	207	2830	1110	498	44500	149	3550
RS3	Rio Santarém - Bento Rodrigues	396	6380	528	704	47300	137	839
RG9	Rio Gualaxo - Bento Rodrigues	99	1050	1200	2510	29900	288	5800
RG8	Hidrelétrica Bicas - Rio Gualaxo	<10	378	456	421	6660	407	8420
RG7	Hidrelétrica Bicas - Rio Gualaxo	14	222	276	106	4100	427	5900
RG6	Rio Gualaxo - Paracatu de Baixo	19	388	313	265	7860	389	4590
RG5	Rio Gualaxo - Paracatu de Cima	28	401	276	357	12100	326	4960
RG4	Rio Gualaxo - Gesteira	14	257	173	249	8200	447	2630
RG3	Rio Gualaxo - Montante Barra Longa	38	965	504	915	40400	234	3810
RC2	Rio do Carmo - Barra Longa	81	563	837	888	15700	220	1280

Fonte: Adaptado de Costa (2001).

Tabela 137 – Média dos resultados das análises de metais e semimetais realizadas em sedimentos para os metais pesados.

Ponto	Local	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
NÍVEL1	-	**5,9**	**0,6**	-	**37,3**	**35,7**	**18**	**35**	**123**
NÍVEL2	-	**17**	**3,5**	-	**90**	**197**	**35,9**	**91,3**	**315**
RNS	Rio Natividade	18	0,66	47	3735	74	2380	4	17
TPDO	Rio Doutor (CVltD)	190	0,32	24	36	63	95	19	67
TPDOS		58	0,11	13	13,3	21	29	5	24
RM	Rio Manso - Antônio Pereira	113	0,06	16	103	30	49	10	29
RMS		234	0,14	22	61	35	48	16	39
RG14	Rio Gualaxo - Antônio Pereira	85	0,13	18	121	27	78	10	27
RG13	Rio Gualaxo - Antônio Pereira	130	0,17	20	93	67	51	19	50
RG12	Rio Gualaxo - estrada Bento Rodrigues	89	0,14	18	95	33	57	12	34
RG11	Rio Gualaxo - ponte fazenda Gualaxo	110	0,18	22	100	44	74	16	50
RG10	Rio Gualaxo - Bento Rodrigues	65	0,11	11	45	20	33	18	21
RSN2	Rio Santarém (jusante mina de ouro)	64	0,17	25	552	267	265	63	100
RS2	Rio Santarém - Bento Rodrigues	12	0,13	32	208	51	82	24	63
RS3	Rio Santarém - Bento Rodrigues	19	0,11	13	169	37	50	23	43
RG9	Rio Gualaxo - Bento Rodrigues	62	0,12	30	255	52	89	22	45
RG8	Hidrelétrica Bicas - Rio Gualaxo	73	0,12	16	85	24	50	11	29
RG7	Hidrelétrica Bicas - Rio Gualaxo	49	0,05	12	65	16	37	7	19
RG6	Rio Gualaxo - Paracatu de Baixo	51	0,06	9	67	14	29	6	24
RG5	Rio Gualaxo -Paracatu de Cima	69	0,31	16	922	48	426	17	29
RG4	Rio Gualaxo - Gesteira	38	0,03	8	68	12	23	5	23
RG3	Rio Gualaxo - Montante Barra Longa	37	0,05	10	62	18	31	13	36
RC2	Rio do Carmo - Barra Longa	179	0,04	9	84	18	31	8	31

Fonte: Adaptado de Costa (2001).

Os elementos sódio, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, ferro e manganês não apresentaram limite na Resolução CONAMA nº 454/2012. Como pode ser observado na Tabela 136, os sedimentos analisados revelaram concentrações mais elevadas dos elementos manganês, ferro e alumínio.

Quanto aos metais pesados, os elementos que apresentaram as maiores concentrações foram arsênio, cromo, níquel e cobre, com concentrações acima do nível 2. Os elementos cádmio e chumbo possuíam concentrações acima do nível 1 apenas em um ponto de coleta (rio Natividade e rio Santarém, a jusante da mina de ouro, respectivamente).

O rio Natividade apresentou as maiores concentrações dos elementos cobre e níquel. Nesse rio, o elemento cromo revelou concentração 149 vezes acima do limite estabelecido pela legislação. A concentração de níquel encontrada foi 20 vezes superior ao *background* desse elemento associado às rochas do Grupo Itacolomi (DNPM, 1993 apud COSTA, 2001).

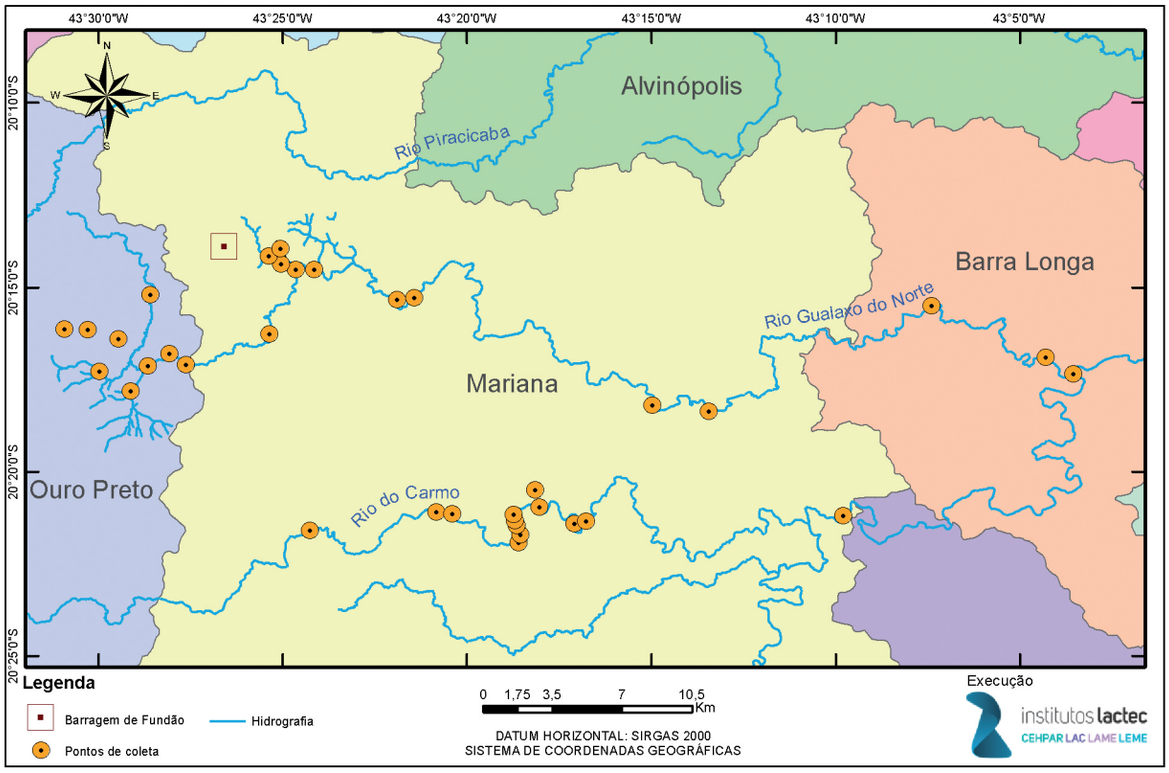
Nas análises realizadas em água, em geral, o pH das amostras estudadas situou-se próximo ao neutro. No rio Gualaxo do Norte, o pH variou de 6,1 a 7,6 (média de 7,2). Sendo assim, a variável apresentou pouca influência nos estados precipitado e dissolvido dos metais.

5.1.3.2.3 Resultados de Costa (2007)

Costa (2007) estudou a bacia do rio do Carmo, com ênfase no rio Gualaxo do Norte e no próprio rio do Carmo. Essa bacia foi historicamente bastante explorada pela mineração de ouro. Oficialmente, 35 toneladas de ouro foram extraídas na mina da Passagem desde 1817, ano de sua criação como a primeira empresa de mineração de ouro no Brasil. Os rejeitos enriquecidos com metais-traço de elevada toxicidade, como arsênio, cádmio, chumbo, zinco e cobre, dessa mina foram lançados diretamente no ribeirão do Carmo. O autor estima que, durante 284 anos de exploração, cerca de 10.500 toneladas de arsênio tenham sido disponibilizadas para o meio ambiente. O objetivo principal do trabalho foi a caracterização da influência da exploração aurífera (proveniente da mineração e de garimpos) nas planícies de inundação e terraços aluviais do ribeirão do Carmo (alto rio Doce), considerados ambientes acumuladores de metais potencialmente tóxicos. O trabalho ainda propôs valores de referência.

Foram coletadas 130 amostras de sedimentos, em fácies sedimentares distintas, localizadas em dois perfis de planícies de inundação, sete perfis de cortes de bancos do canal (*cutbank*) e quatro perfis de terraços aluviais. A Figura 402 apresenta a localização dos pontos amostrais.

Figura 402 – Localização dos pontos amostrais de Costa (2007).



Fonte: Costa (2007).

As amostras foram coletadas com um testemunhador e separadas em profundidades, de acordo com sua profundidade total. A Tabela 138 apresenta os resultados obtidos em porcentagem de ocorrência de cada elemento em comparação com os valores estabelecidos para os níveis 1 e 2 da Resolução CONAMA nº 454/2012.

Tabela 138 – Porcentagem de ocorrência de cada elemento em comparação com os valores estabelecidos para os níveis 1 e 2 da Resolução CONAMA nº 454/2012.

	As	Cu	Zn	Ni	Cr	Cd
Abaixo do nível 1	24,2%	21,8%	87,9%	33,9%	21,8%	3,2%
Nível 1	2,4%	68,5%	8,1%	24,2%	57,3%	1,6%
Nível 2	73,4%	9,7%	4,0%	41,9%	21,0%	95,2%

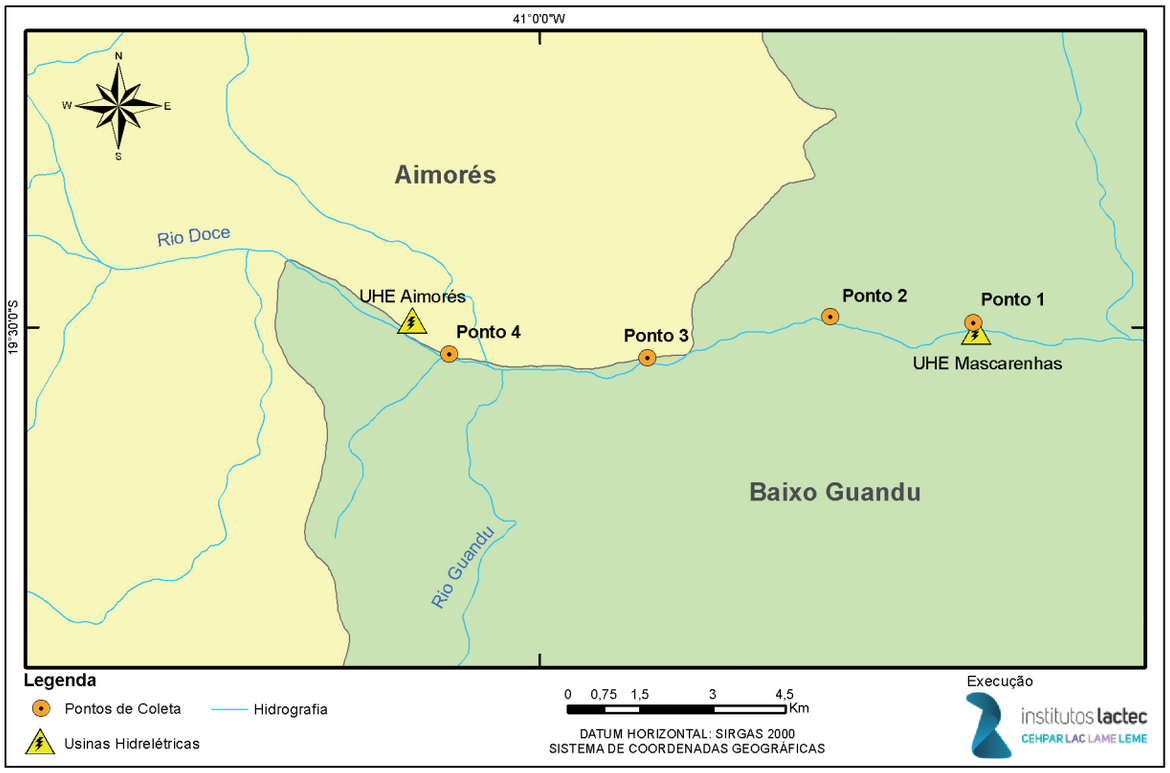
Fonte: Adaptado de Costa (2007).

Como se pode observar, o arsênio e o cádmio revelaram as maiores porcentagens de ocorrência acima do nível 2 (73,4 e 95,2%, respectivamente). O cobre apresentou 68,5% das concentrações acima do nível 1 e 21,8% dos resultados abaixo desse nível. Menos de 10,0% dos resultados ficaram acima do nível 2 para esse elemento. O elemento zinco possuía a maioria dos resultados abaixo do nível 1. O níquel indicou valores distribuídos entre o nível 2 (41,9%), o nível 1 (24,2%) e abaixo deste (33,9%).

5.1.3.2.4 127 Resultados de FEST (2014)

O relatório apresenta resultados de uma coleta de amostras de sedimento superficial realizada em junho de 2014, em quatro pontos amostrais. A localização destes está apresentada na Figura 403.

Figura 403 – Localização dos pontos amostrais de FEST (2014).



Fonte: FEST (2014).

O autor realizou análise de metais, parâmetros indicadores de matéria orgânica e granulométrica dos sedimentos. Nesta subseção, serão apresentados apenas os valores da concentração de metais no sedimento, cujos resultados estão apresentados na Tabela 139.

Tabela 139 – Resultados da concentração de metais nos sedimentos.

	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Níquel	Zinco
Unidade	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
P1	<1	< 0,1	7,3	20,2	208	<0,05	21,7	42,3
P2	<1	< 0,1	17,3	16,3	48,4	0,074	11,7	64,4
P3	<1	< 0,1	9	9,7	22,4	<0,05	7,8	43,1
P4	<1	< 0,1	<1	<1	3,58	<0,05	<1	12,7
Nível 1	5,9	0,6	35	35,7	37,3	0,17	18	123
Nível 2	17	3,5	91,3	197	90	0,486	35,9	315

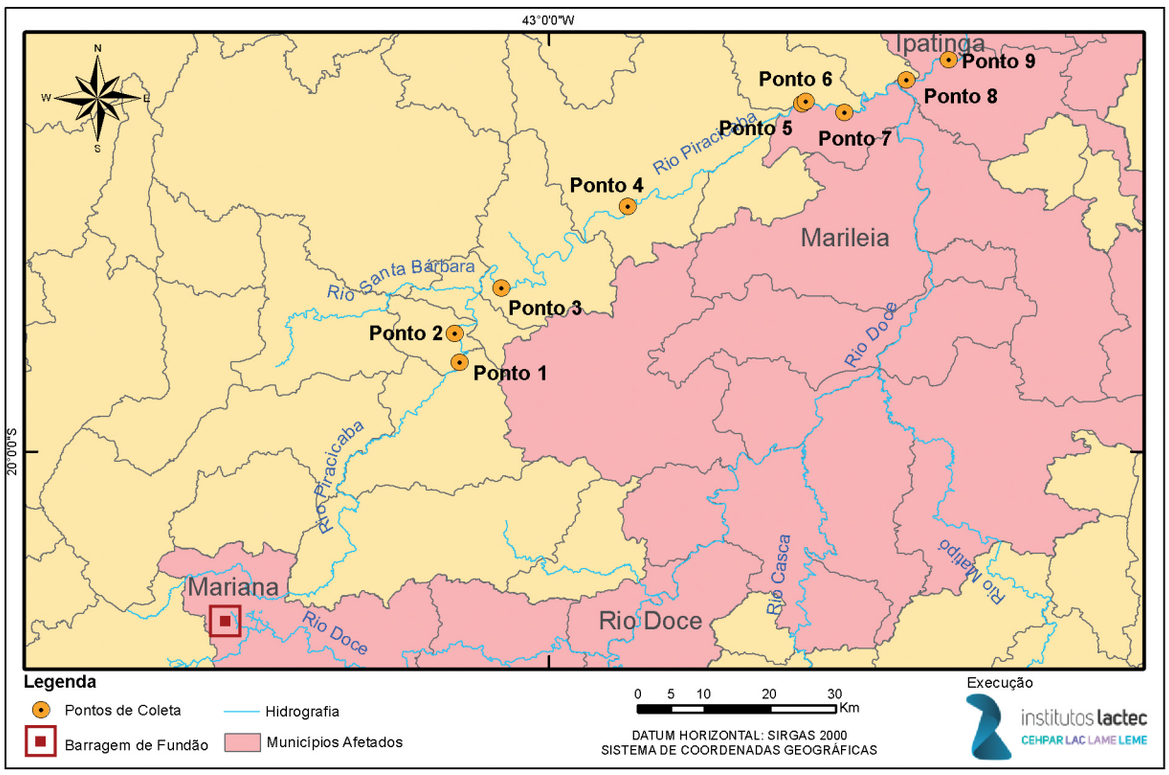
Fonte: Adaptado de FEST (2014).

O metal que apresentou concentração acima do nível 2 foi o cromo, apenas no ponto P1. O mesmo metal teve concentração acima do nível 1 no ponto amostral P2. Os valores de concentração dos metais arsênio e cádmio estiveram abaixo dos respectivos limites de detecção adotados pelo laboratório, em todos os pontos amostrados. O metal mercúrio apresentou valor acima do correspondente limite de detecção somente no ponto P2 (0,074 mg/kg). Os resultados analíticos para os metais chumbo, cobre e zinco foram inferiores aos limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 454/2012 para água doce. O ponto P1 também apresentou concentração de níquel acima do limite máximo estabelecido pela referida Resolução para o nível 1.

5.1.3.2.5 Resultados de Jordão et al. (1996)

Jordão et al. (1996) realizaram coletas de amostras de água, sedimentos, plantas e peixes em nove pontos, a montante e a jusante dos empreendimentos de fundição mais representativos da região do Vale do Aço. A Figura 404 apresenta a localização dos pontos amostrais; oito dos nove estavam situados no rio Piracicaba e um, no rio Doce. Nesta subseção, serão considerados apenas os resultados de sedimentos.

Figura 404 – Localização dos pontos amostrais de Jordão et al. (1996).



Fonte: Jordão et al. (1996).

A maior parte das plantas de metalurgia está localizada próximo aos municípios de João Monlevade, Timóteo e Ipatinga, em um trecho de aproximadamente 120 km de extensão. As amostras foram coletadas nas estações seca e chuvosa e analisadas quanto à concentração de metais. Também foram analisadas amostras de uma fonte de metais e de um reservatório, para obter valores de *background*. O ponto 7 foi amostrado apenas na estação chuvosa. A Tabela 140 e a Tabela 141 apresentam as concentrações de metais obtidas nas amostras de sedimentos.

Tabela 140 – Concentrações dos sedimentos analisados no período chuvoso.

Pontos Chuvoso	Mn (µg/kg)	Pb (µg/kg)	Cu (µg/kg)	Zn (µg/kg)	Co (µg/kg)	Ni (µg/kg)	Cr (µg/kg)
Dados Referência	**104**	**8**	**10**	**29**	**0,6**	**15**	**27**
1	541	-	16,4	23,6	16,4	52,9	110
2	162	55,7	8,2	23,5	21,1	26,1	42,7
2a*	3826	73,9	36,1	71,1	22,8	36,3	56,8
3	330	-	14	36,2	16,3	12,7	53,9
4	1684	32,9	32,6	50,2	27,6	23,3	69
5	333	15,4	16,2	64,5	16,1	20,5	45,2
6	235	27,4	22,1	51,3	25,7	43,8	40,3
7	344	13,8	17	43,4	17,2	18,6	38,7
8	654	17,2	34,3	87,7	21,6	52,7	107
9	803	-	9,9	15,5	12,3	13,8	23,3
Nível 1	-	35	35,7	123	-	18	37,3
Nível 2	-	91,3	197	315	-	35,9	90

Nota: * Material dragado do rio Piracicaba.

Fonte: Adaptado de Jordão et al. (1996).

Tabela 141 – Concentrações dos sedimentos analisados no período seco.

Pontos Seco	Mn (µg/kg)	Pb (µg/kg)	Cu (µg/kg)	Zn (µg/kg)	Cd (µg/kg)	Ni (µg/kg)	Cr (µg/kg)	Fe (%)
Dados Referência	**104**	**8**	**10**	**29**	**0,2**	**15**	**27**	**1,57**
1	467	19,4	13,4	62,4	1,7	72,8	97,4	0,14
2	1151	105	19,2	179	2,2	105	174	0,14
3	515	25,4	14,8	47,4	4,2	44,4	76,4	0,14
4	880	39,8	21,7	115	1,6	60,1	110	0,13
5	536	31,8	9	69,6	1,5	28,7	684	0,14
6	2540	84,1	32,6	157	1,9	31,2	83,4	0,14
8	1021	98,6	31	285	2,1	142	789	0,14
9	398	19,1	12,7	69,1	0,8	64,8	92,4	0,12
Nível 1	-	35	35,7	123	0,6	18	37,3	-
Nível 2	-	91,3	197	315	3,5	35,9	90	-

Fonte: Jordão et al. (1996).

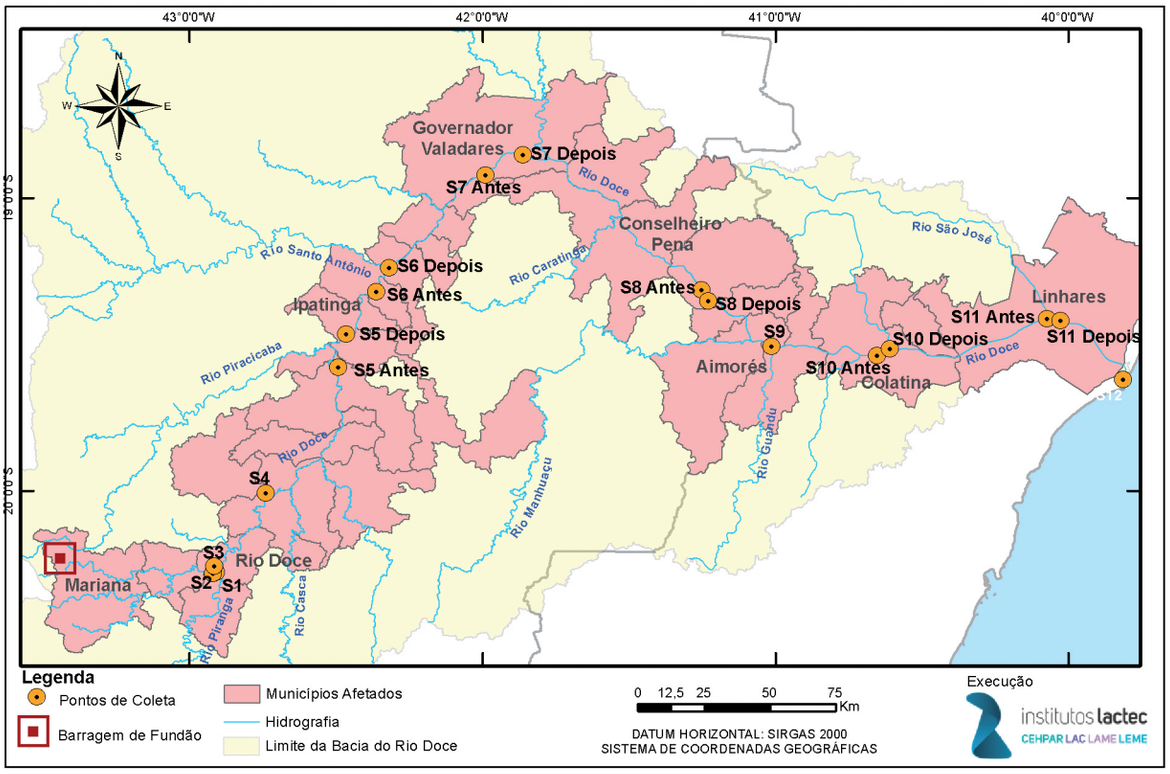
Quando comparados com os valores de níveis 1 e 2 da Resolução CONAMA nº 454/2012, os sedimentos apresentaram valores superiores ao nível 1 para a variável cádmio nas amostras coletadas na estação chuvosa e acima dos níveis 1 e 2 nas amostras coletadas no período seco. A variável cobre revelou apenas um resultado acima do nível 1, no ponto amostral 2a (sedimento dragado do rio Piracicaba, no ponto 2). O elemento zinco teve valores acima do nível 1 apenas na coleta realizada no período seco. As variáveis níquel e cromo apresentaram concentrações acima dos níveis 1 e 2 em ambos os períodos. Em geral, a maior contaminação foi registrada no período seco, provavelmente como uma consequência do fato de o menor volume de água obviamente tender a exibir concentrações

mais elevadas de poluentes. Quando comparados com os valores de referência, todos os resultados estiveram acima deles.

5.1.3.2.6 Resultados de Pacheco (2015)

Pacheco (2015) coletou amostras em 18 locais na calha do rio Doce, incluindo uma amostra de sedimento na calha do rio Piranga. Para cada ponto, foram coletadas duas amostras de sedimento no perfil transversal do rio (margens esquerda e direita). Alguns locais selecionados para a coleta de sedimentos (as principais cidades e a foz de alguns dos afluentes do rio Doce ao longo de sua calha principal) foram amostrados antes e depois dos municípios, totalizando 33 amostras. A localização dos pontos está apresentada na **Figura 405**.

Figura 405 – Localização dos pontos amostrais de Pacheco (2015).



Fonte: Pacheco (2015).

Para os sedimentos fluviais, foi utilizado um coletor de testemunho cilíndrico de PVC com ajuste de 1 a 10 m de profundidade. Na sequência, essas amostras foram seccionadas de 10 em 10 cm ou seguindo uma diferenciação de textura em profundidade. Para fins de comparação com os demais estudos, nesta subseção, serão apresentados apenas os resultados das concentrações de metais quantificados na camada mais superficial de cada amostra. Os resultados das concentrações de metais estão apresentados na Tabela 142.

Tabela 142 – Concentrações de metais das amostras analisadas.

	Prof (cm)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	As (µg/g)	Cd (µg/g)	Hg (µg/g)	Pb (µg/g)
S1	**0-10**	82,5	58,1	20,1	54	n.d	2,6	n.d	19,9
S2	**0-10**	91,4	39,3	11,4	33,6	51	1,6	n.d	14,5
S3	**0-10**	85,8	46,3	19,8	37,3	85,3	1,9	n.d	16,5
S3 margem direita	**0-10**	73,3	51,7	18,3	41,8	18,4	2,2	n.d	13,9
S4 - margem direita (antes)	**0-10**	118,5	73,9	36,5	71,3	37,6	3,2	n.d	31,2
S5 - margem direita (antes)	**0-10**	105,6	64,1	26	63,8	13,9	2,2	n.d	22,8
S5 - margem esquerda (depois)	**0-13**	192,9	89,3	42,8	117,1	18,3	2,4	n.d	39,9
S5 - margem direita (depois)	**0-15**	133,9	70,5	29,7	86,4	15	2,7	n.d	28,6
S6 - margem esquerda (antes)	**0-10**	78,1	49,9	22,6	60,1	9,8	2,4	n.d	24,1
S6 - margem direita (antes)	**0-12**	169,5	88,3	38,3	126,8	18,8	2,8	n.d	41,1
S6 - margem esquerda (depois)	**0-12**	61,9	47	16,1	62,5	3,4	2,4	n.d	33,2
S6 - margem direita (depois)	**0-10**	89,3	55,4	22	67,3	10,1	2,8	n.d	23,5
S7 - margem esquerda (antes)	**0-10**	40,35	22	4,9	20,1	4,2	2,4	n.d	9,5
S7 - margem direita (antes)	**0-15**	110,9	74	36,3	109,7	10,2	2,6	n.d	43,4
S7 - margem esquerda (depois)	**0-12**	43,7	32,9	8,9	39,2	6	2	n.d	16,2
S7 - margem direita (depois)	**0-10**	38,1	37,7	13,9	52,8	1,3	2,4	n.d	70,1
S8 - margem esquerda (antes)	**0-13**	55,3	29,3	9,8	45	3,6	2,3	n.d	22,4
S8 - margem direita (antes)	**0-12**	59,4	40,4	13,2	50,3	2,1	2,3	n.d	18,7
S8 - margem esquerda (depois)	**0-17**	63,5	42,1	15,1	57,9	7,1	2,1	n.d	24,9
S8 - margem direita (depois)	**0-10**	74,2	57,3	22,4	72	1,3	2,7	n.d	35,7
S9 - margem esquerda (depois)	**0-11**	46,4	33	14,1	36,4	2,4	2,2	n.d	22
S9 - margem direita (depois)	**0-15**	37,1	27	5,8	35,1	n.d	2,8	n.d	18,8
S10 - margem esquerda (antes)	**0-15**	85,7	52,7	18,6	69,2	7,2	2,9	n.d	31,6
S10 - margem direita (antes)	**0-15**	113,9	71,3	36,2	106,2	5,9	2,7	n.d	40,5
S10 - margem esquerda (depois)	**0-30**	89,2	56,1	20,5	82,8	4,1	2,5	n.d	34
S10 - margem direita (depois)	**0-15**	20,3	17,6	1,3	12,1	7,5	2,8	n.d	11,1
S11 - margem esquerda (antes)	**0-30**	33,2	23,8	6,1	23,9	3,1	2,9	n.d	22,9
S11 - margem direita (antes)	**0-17**	31,5	24,3	5,5	28,9	4,5	2,5	n.d	10,8
S11 - margem esquerda (depois)	**0-14**	63,8	40,3	11,7	44,9	4,9	2,4	n.d	21,8
S11 - margem direita (depois)	**0-17**	61,4	41,7	15,5	53,3	1,5	2,2	n.d	27,6
S12 - margem esquerda (depois)	**0-22**	65,8	46,2	17,4	67,1	4,9	2,7	n.d	31,4
S12 - margem direita (depois)	**0-19**	62,6	38,3	17,1	41,9	6	3	n.d	24,9
Nível 1	-	37,3	18	35,7	123	5,9	0,6	0,17	35
Nível 2	-	90	35,9	197	315	17	3,5	0,486	91,3
n.d. = não detectado									

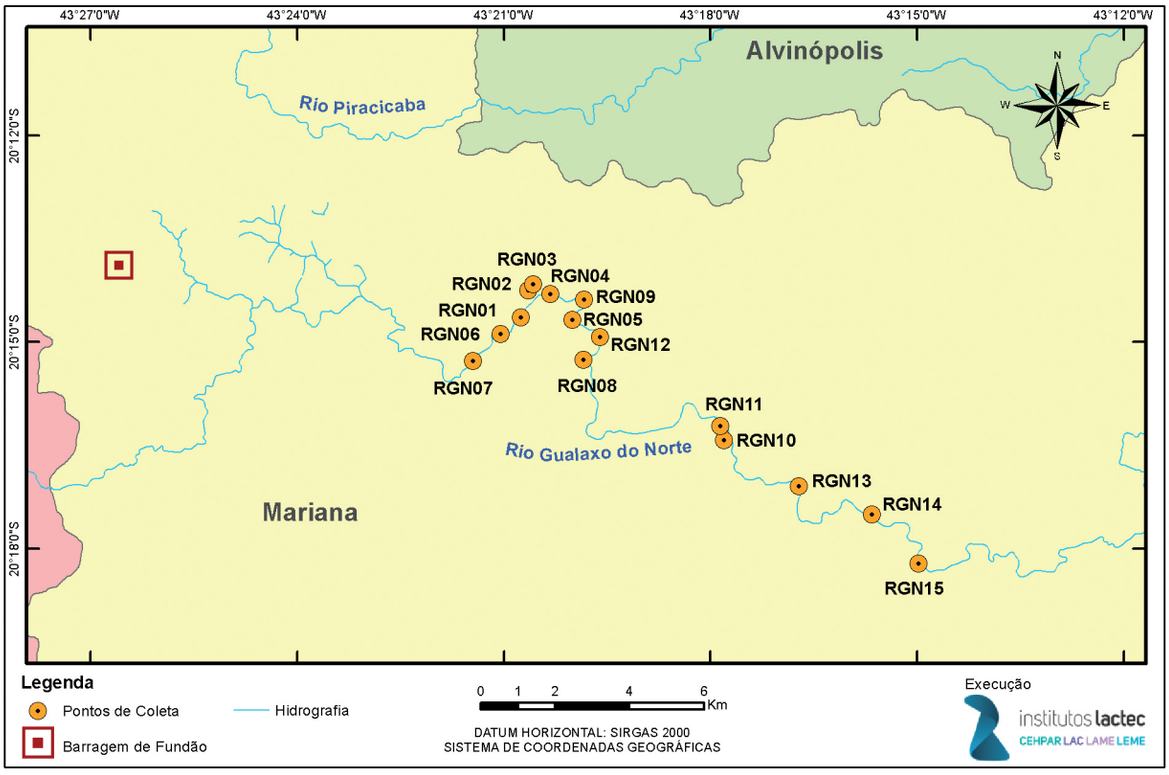
Fonte: Adaptado de Pacheco (2015).

Quando comparados com os níveis estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012, os resultados da variável cromo apresentaram 20 valores de um total de 32 acima do nível 1 e oito valores acima do nível 2. Apenas os valores dos pontos S9 margem direita depois, S10 margem direita depois e S11 antes tiveram valores abaixo do nível 1. As variáveis cobre, zinco e chumbo revelaram menos de seis valores acima do nível 1. A variável níquel foi a que apresentou mais valores acima do nível 2 (24 dos 32) e sete valores acima do nível 1. O arsênio teve dez resultados acima do nível 1 e seis acima do nível 2, de um total de 32 resultados. A variável mercúrio não foi detectada em nenhuma das amostras analisadas. De acordo com o autor, a não detecção de mercúrio pela FRX não foi uma limitação da técnica, mas, sim, possivelmente um fator de diluição natural que ocorreu após esse elemento entrar no curso do rio Doce.

5.1.3.2.7 Resultados de Rhodes (2010)

Rhodes (2010) realizou, durante a elaboração de sua dissertação de mestrado, duas campanhas de amostragem, uma no período seco (agosto de 2008) e uma no período chuvoso (abril de 2009), no rio Gualaxo do Norte e em alguns de seus tributários. A localização das estações de amostragem está apresentada na **Figura 406**.

Figura 406 – Localização das estações de amostragem de Rhodes (2010).



Fonte: Rhodes (2010).

Foram realizadas análises de metais nos sedimentos com granulometria menor que 63 µm. Os resultados estão apresentados na Tabela 143. O ponto de amostragem RGN-07 foi amostrado apenas em agosto de 2008 e RGN12, RGN13, RGN14 e RGN15, apenas em abril de 2009.

Tabela 143 – Resultados das análises de metais em sedimentos.

AMOSTRA	Al (mg/kg)	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb(mg/kg)	Zn (mg/kg)
RGN01 - ago/08	3,15	29,02	82,4	5,8	35,6	0,26	4259	23,3	82,4	6,3
RGN01 - abr/09	4,07	62,0	110,3	27,9	28,61	0,53	9802	41,4	41,5	59,0
RGN02 - ago/08	13,97	<LQ	16,9	51,5	3,8	0,08	482	10,9	<LQ	92,9
RGN02 - abr/09	16,73	<LQ	19,8	4,9	3,4	0,09	372	11,4	<LQ	79,1
RGN04 - ago/08	7,65	<LQ	55,4	10,7	21,4	0,13	2612	21,3	236,5	68,0
RG-04 - abr/09	4,52	51,8	105,6	22,9	29,67	0,37	8386	39,6	43,4	56,1
RGN05 - ago/08	6,86	57,6	90,8	8,7	16,8	0,23	5522	30,9	37,9	56,7
RGN05 - abr/09	4,38	53,1	100,6	20,4	31,48	0,30	7705	38,9	43,8	58,1
RGN06 - ago/08	5,63	68,6	105,9	15,2	0,023	0,37	5910	38,7	60,7	65,2
RGN06 - abr/09	5,51	58,7	106,3	27,6	25,47	0,36	8508	43,5	40,6	58,1
RGN07 – ago/08	3,54	37,2	100,2	11,4	0,037	0,40	6429	32,5	68,2	61,8
RGN08 - ago/08	4,01	51,5	98,6	12,1	0,04	0,31	7697	38,8	65,3	58,2
RGN08 - abr/09	1,79	39,7	90,6	7,6	39,28	0,29	5988	30,6	56,4	55,5
RGN09 - ago/08	5,29	79,7	119,7	14,0	0,031	0,28	5646	39,8	52,3	58,9
RGN09 - abr/09	3,03	30,7	88,6	5,6	36,73	0,18	5303	26,2	50,3	55,6
RGN10 - ago/08	16,33	<LQ	40,3	14,2	0,028	<LQ	548	13,0	<LQ	59,6
RGN10 - abr/09	19,15	<LQ	74,7	14,2	5,14	0,10	230	19,4	<LQ	56,0
RGN11 - go/08	7,9	82,4	108,0	18,2	0,004	0,35	6271	46,2	36,7	64,6
RGN11 - abr/09	6,33	48,9	93,5	18,8	21,84	0,33	6098	38,2	28,5	54,8
RGN12 – abr/09	5,1	53,1	101,4	20,6	29,26	0,42	7497	38,9	39,4	58,3
RGN13 – abr/09	6,5	57,5	100,4	21,6	26,36	0,30	7439	40,3	32,8	63,0
RGN-4 – abr/09	6,52	49,7	94,9	19,1	19,94	0,26	6172	39,0	23,6	52,8
RGN15 – abr/09	5,92	44,7	100,6	14,7	25,28	0,21	5445	37,0	32,0	56,7
Nível1	-	5,9	37,3	35,7	-	0,17	-	18	35	123
Nível2	-	17	90	197	-	0,486	-	35,9	91,3	315
<LQ = inferior ao Limite de Quantificação										

Fonte: Adaptado de Rhodes (2010).

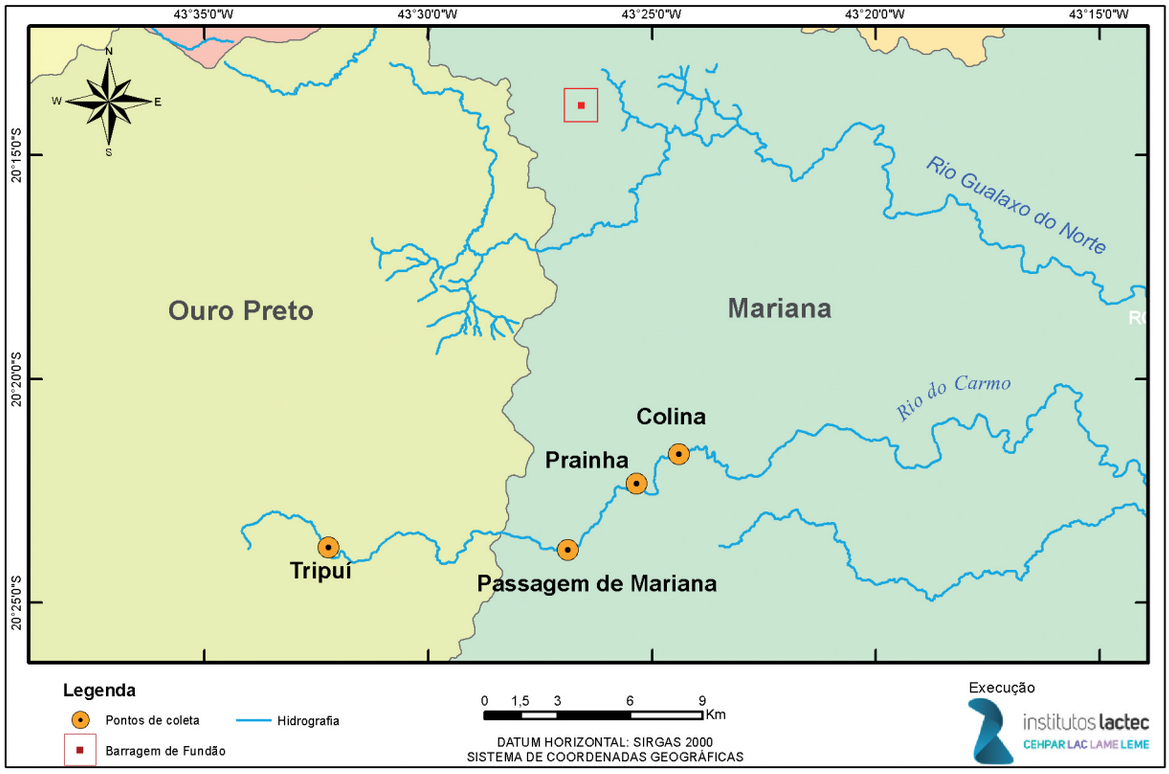
Os resultados obtidos para os elementos arsênio, cromo e níquel foram os que mais ultrapassaram o nível 2 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 454/2012. Os elementos alumínio, ferro e manganês não apresentaram os limites estabelecidos na Resolução citada. O mercúrio e o chumbo tiveram resultados acima do nível 1 e apenas um resultado acima do nível 2. O cobre apresentou apenas um resultado acima do nível 1.

5.1.3.2.8 Resultados de Silva et al. (2013)

O objetivo do estudo de Silva et al. (2013) foi verificar a composição geoquímica de amostras de sedimentos (fundo e margem) dos seguintes elementos: alumínio, arsênio, cádmio, cromo, cobre, ferro, manganês, níquel e zinco, derivados da exploração aurífera que ocorreu na área de estudo (municípios de Ouro Preto e Mariana).

Foram realizadas coletas em quatro pontos amostrais: um em Tripuí (Tri), localizado em uma unidade de conservação de mesmo nome, Passagem (PAS), Prainha (Pra) e Colina (Col) (Figura 407). Essas três últimas estão localizadas em áreas urbanas com alta densidade populacional. De acordo com o estudo, esses locais não possuem coleta de esgoto e de resíduos sólidos. As coletas foram realizadas nos meses de junho de 2010 (seca) e março de 2011 (chuvosa).

Figura 407 – Localização dos pontos amostrais de Silva et al. (2013).



Fonte: Adaptado de Silva et al. (2013).

Foram realizados três tipos de análise: granulométrica, mineralógica por DRX e geoquímica por espectrometria de emissão óptica com plasma (ICP-OES), tendo sido utilizada, para as duas últimas, somente a fração de silte/argila (< 0,062 mm). Os resultados foram comparados com os seguintes valores de referência: valores de referência local (COSTA; CASTRO; TATUME, 2010 apud SILVA et al., 2013), valores de referência de qualidade (SÃO PAULO, 2005 apud SILVA et al., 2013) e concentração de efeitos limiares (TEC) e de efeito provável (PEC) (MAC DONALD et al., 2000 apud SILVA et al., 2013). Os valores de TEC e PEC são similares àqueles estabelecidos para *Threshold Effect Level* (TEL) e *Probable Effect Level* (PEL) descritos na Resolução CONAMA nº 454/2012. Os resultados das análises nas amostras de sedimentos estão apresentados na Tabela 144.

Tabela 144 – Resultados das análises nas amostras de sedimentos.

Pontos	Al (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Nível 1	-	5,9	0,6	37,3	35,7	-	-	18	123
Nível 2	-	17	3,5	90	197	-	-	35,9	315
Tripuí	3.810	<Q.L.[1]	<Q.L.	61,8	14,0	253.448	2.106	21,7	42,6
Passagem	8.534	16,5	1.406	47,7	21,2	195.748	4.499	22,4	51,8
Prainha	5.636	328,9	6,7	49,6	29,0	180.935	4.460	34,7	57,6
Colina	10.005	391,3	7,7	81,0	32,8	259.184	5.802	39,7	63,8
Tripuí	5.489	<Q.L.	1,0	64,6	41,0	259.064	3.059	29,5	52,6
Passagem	17.977	58,4	2.716	62,9	66,7	174.132	11.724	42,6	114,5
Prainha	13.016	510,0	9,3	75,4	110,1	202.605	12.136	64,8	110,8
Colina	11.062	602,0	10,7	61,5	36,5	234.214	6.705	32,6	87,9
Tripuí	3.307	<Q.L.	0,7	36,0	13,5	216.719	2.199	17,4	42,2
Passagem	13.020	52,5	1.494	76,9	33,6	158.516	3.836	26,5	52,6
Prainha	5.740	75,1	1.797	82,5	29,1	139.811	4.814	56,8	59,2
Colina	3.636	286,3	4.056	55,0	11,3	236.981	3.453	28,0	45,6
Tripuí	3.447	<Q.L.	0,5	36,6	22,1	197.371	2.694	23,0	48,1
Passagem	9.350	53,8	1.659	55,8	31,0	146.815	6.777	26,5	57,1
Prainha	3.634	140,2	2.015	96,7	17,5	220.408	4.857	42,3	54,1
Colina	3.177	268,8	4.185	43,0	9,5	227.198	2.924	23,6	42,2
Q.L.[1]	3,3	2,0	0,5	0,3	0,4	1,1	0	0,8	0,1
L.R.V.[2]	3,8	35,3	14,1	111,0	135,1	9,9	190	53,1	124,0
Q.R.V.[3]	3,84	3,5	<0,5	40,0	35,0	9,9	190	13,0	60,0
TEC[4]	N.A.	9,8	1,0	43,4	31,6	N.A.	N.A.	22,7	121,0
PEC[5]	N.A.	33,0	5,0	111,0	149,0	N.A.	N.A.	48,6	459,0

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2013).

Os elementos que apresentaram concentrações acima do nível 2 foram: arsênio, cádmio, cromo e níquel. As concentrações de arsênio no ponto localizado em Colina foram 18 vezes mais elevadas do que o valor de referência local (3,84 mg/kg). O cádmio revelou concentrações bem acima daquelas estabelecidas pelo valor de referência de qualidade (0,5 mg/kg) e PEC (4,98 mg/kg) em quase todos os pontos amostrados, independentemente da sazonalidade. Entre os elementos considerados mais tóxicos à biota, arsênio e cádmio excederam seus respectivos valores de referência na área estudada. Em geral, as concentrações encontradas no leito do rio foram levemente mais altas do que as das amostras coletadas nas margens. Ainda, o maior número de concentrações acima do nível 2 foi observado no período seco.

De acordo com os resultados, a área de estudo, com exceção do ponto Tripuí, encontra-se impactada pela exploração histórica do ouro na região, como também pela crescente urbanização.

5.1.3.2.9 Resultados de Santolin (2015)

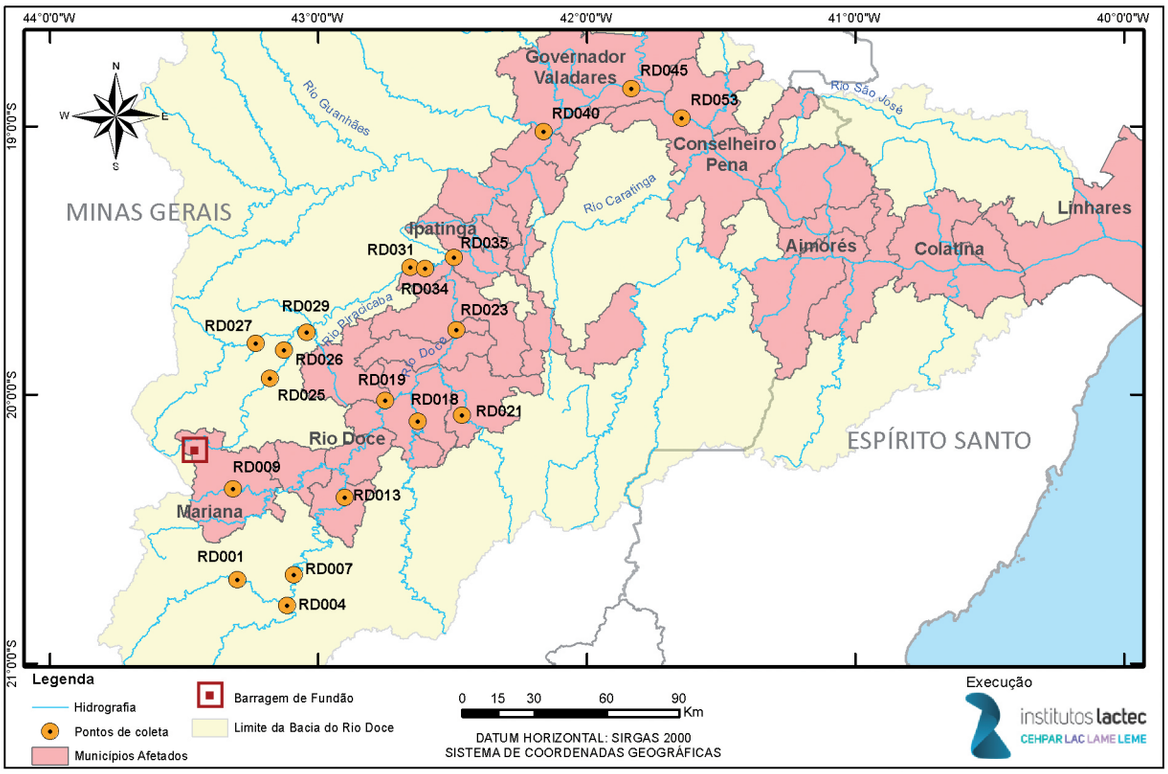
Santolin (2015) estudou, em sua tese de doutorado, a contaminação por metais e arsênio (semimetal) em sedimento, em 19 pontos coincidentes com o monitoramento de qualidade da água realizado pelo IGAM.

Foram realizadas três coletas: no período chuvoso (outubro de 2011), no período intermediário (abril de 2012) e no período seco (julho de 2012). O autor procedeu a análises quantitativas dos metais mercúrio, arsênio, alumínio, cromo, cobre, ferro, manganês, níquel e zinco, como também avaliou a concentração de matéria orgânica e a granulometria das amostras. Além das análises com as amostras brutas, foram realizados ensaios de extração parcial com ácido clorídrico 1 mol/L a frio para identificação da disponibilidade ambiental dos elementos.

Os resultados foram comparados com a Resolução CONAMA nº 454/2012 e valores de *background* da região da sub-bacia do rio Gualaxo do Norte. Também foi realizado o cálculo do Igeo e do FE.

A Figura 408 apresenta a localização dos pontos amostrais.

Figura 408 – Localização dos pontos amostrais de Santolin (2015).



Fonte: Santolin (2015).

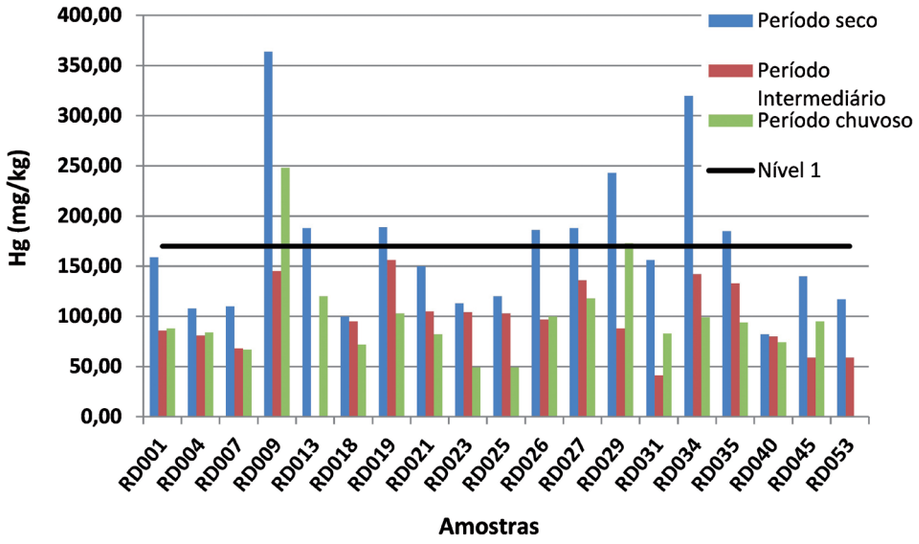
5.1.3.2.9.1 Metais e arsênio

Nesta subseção, serão apresentados os resultados dos metais e do arsênio (semimetal)) analisados em cada estação e em cada período de coleta.

5.1.3.2.9.2 Mercúrio

A Figura 409 apresenta a concentração de mercúrio nos sedimentos analisados. Conforme pode ser observado, o elemento revelou concentrações apenas acima do nível 1. As maiores concentrações foram encontradas nos pontos: RD009 (próximo a Mariana), RD019 (rio Doce, a montante da foz do rio Casca), RD026 (rio Piracicaba, a jusante da cidade de João Monlevade), RD027 (rio Santa Bárbara, em Santa Rita das Pacas), RD029 (rio Piracicaba, em Nova Era), RD034 (rio Piracicaba, a jusante de Coronel Fabriciano) e RD035 (rio Doce, a jusante de Coronel Fabriciano), nos sedimentos coletados no período seco.

Figura 409 – Concentração de mercúrio nos sedimentos analisados.

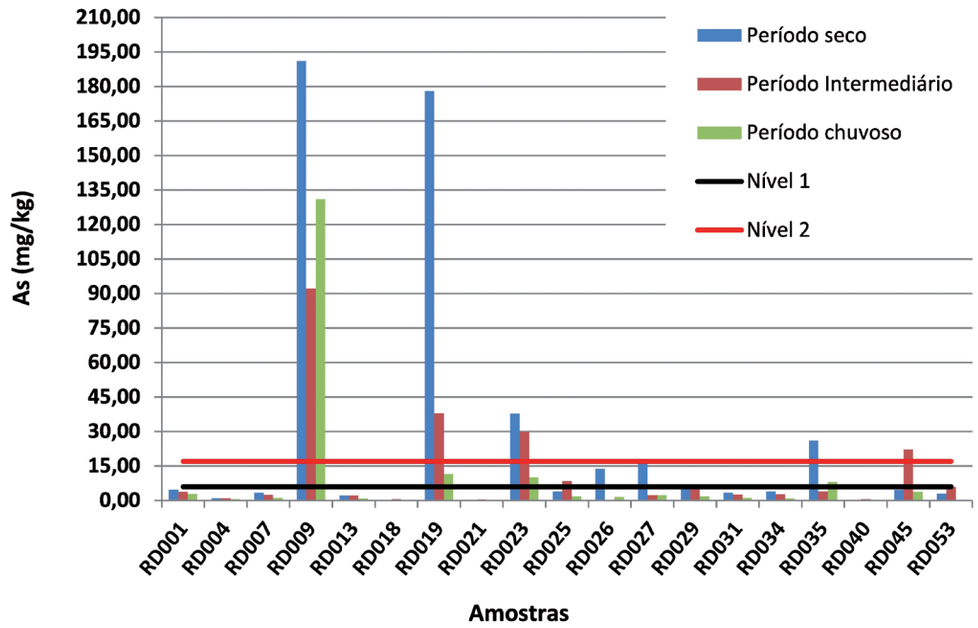


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

5.1.3.2.9.3 Arsênio

A concentração de arsênio nos sedimentos analisados, apresentada na Figura 410, ultrapassou o nível 2 nos pontos: RD009 (próximo a Mariana), RD019 (rio Doce, a montante da foz do rio Casca), RD023 (rio Doce, a montante de Cachoeira dos Óculos), RD027 (rio Santa Bárbara, em Santa Rita das Pacas), RD035 (rio Doce, a jusante de Coronel Fabriciano) e RD045 (rio Doce, a jusante de Governador Valadares). O nível 1 foi ultrapassado nas estações RD026 (rio Piracicaba, a jusante da cidade de João Monlevade) e RD029 (rio Piracicaba, em Nova Era).

Figura 410 – Concentração de arsênio nos sedimentos analisados.

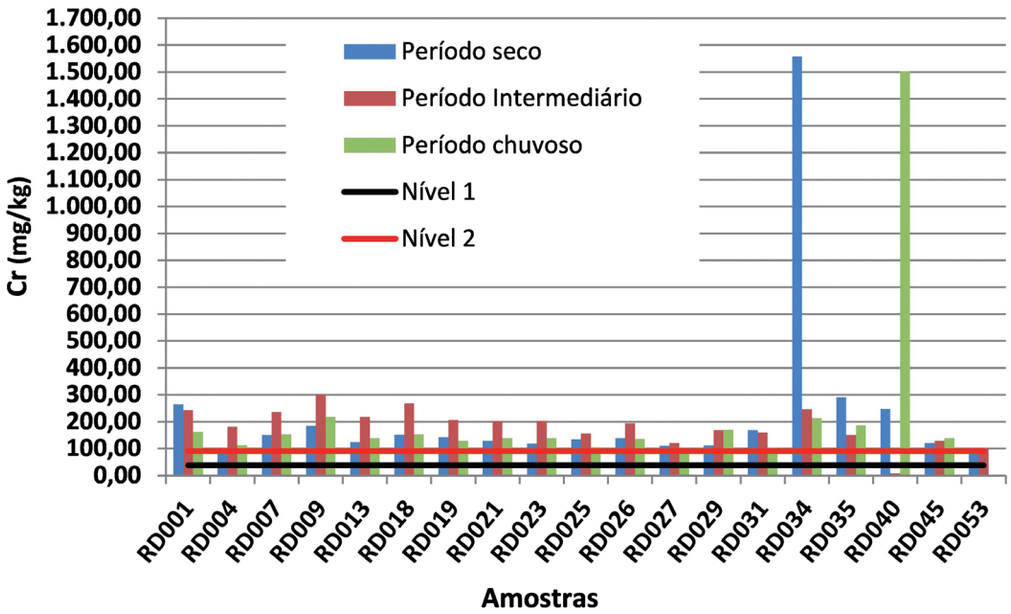


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

5.1.3.2.9.4 Cromo

O cromo apresentou concentrações acima do nível 2 em praticamente todos os pontos (Figura 411), em qualquer período. Em RD034 (rio Doce, a jusante de Coronel Fabriciano) e RD040 (rio Corrente Grande, próximo à foz no rio Doce), foram observadas concentrações até 140 vezes acima do nível 2.

Figura 411 – Concentração de cromo nos sedimentos analisados.

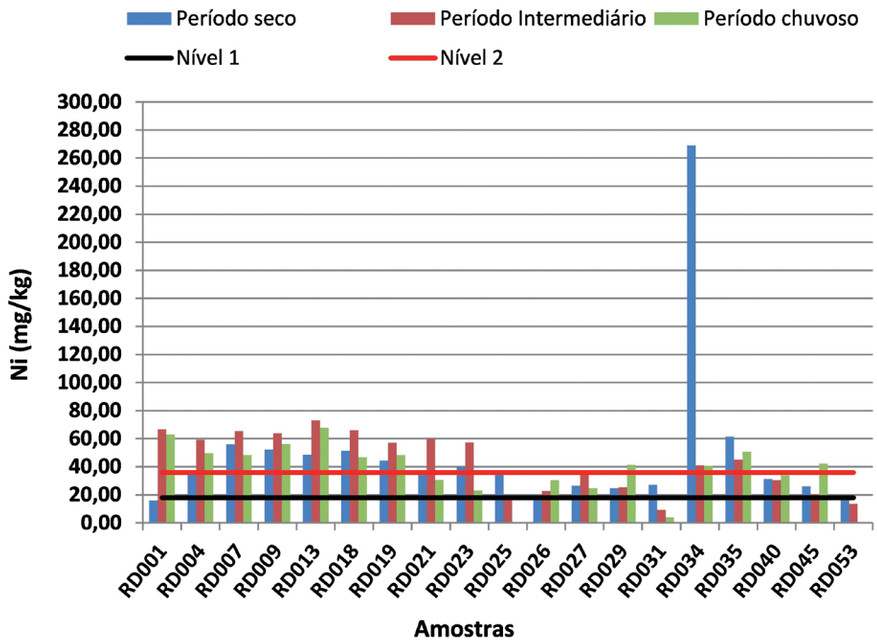


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

5.1.3.2.9.5 Níquel

O níquel também apresentou concentrações acima do nível 2 em diversas estações de amostragem (Figura 412), sendo as maiores nas regiões a montante de Ipatinga. O nível 1 foi ultrapassado em todas as estações de amostragem.

Figura 412 – Concentração de níquel nos sedimentos analisados.

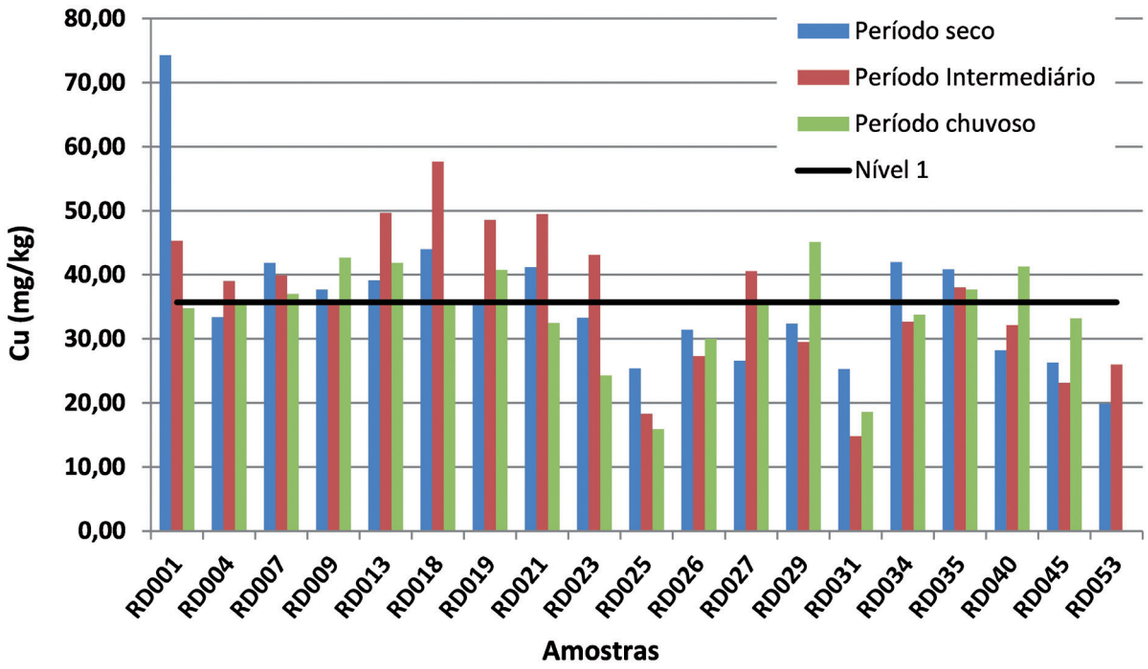


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

5.1.3.2.9.6 Cobre

A Figura 413 apresenta a concentração de cobre nos sedimentos analisados. Foram observadas apenas concentrações acima do nível 1, em praticamente todas as estações, com exceção de RD025 (rio Piracicaba, na cidade de Rio Piracicaba), RD031 (rio Piracicaba, em Timóteo, a montante da Estação de Tratamento de Água – ETA – Acesita), RD045 (rio Doce, a jusante da cidade de Governador Valadares) e RD053 (rio Doce, a jusante do rio Suaçuí Grande, em Tumiritinga). Em geral, as maiores concentrações ocorreram nos pontos a montante de Ipatinga.

Figura 413 – Concentração de cobre nos sedimentos analisados.

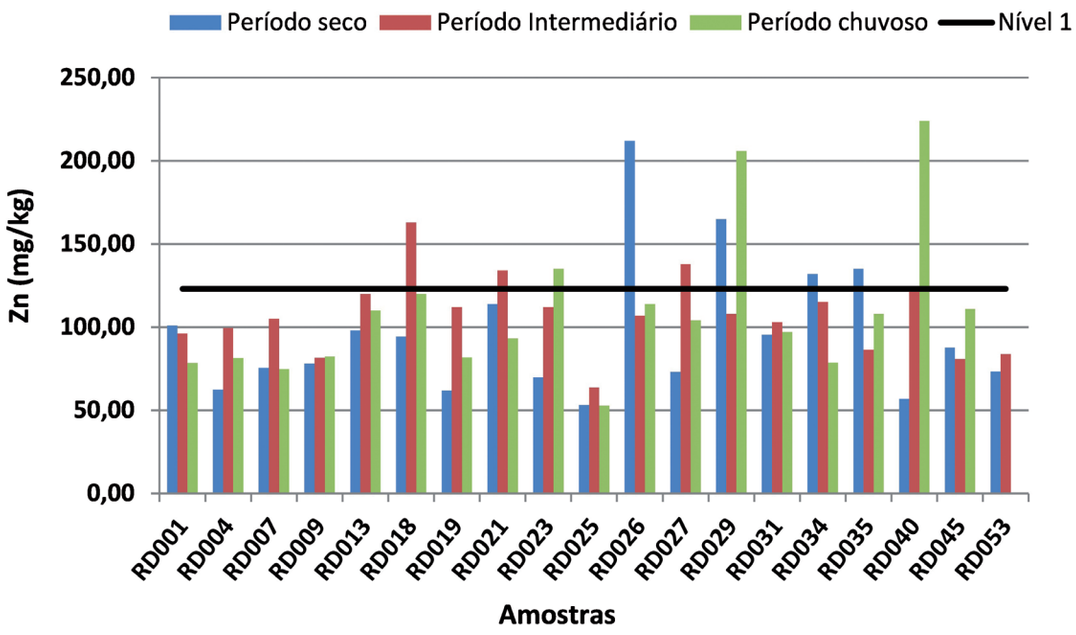


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

5.1.3.2.9.7 Zinco

A concentração de zinco nos sedimentos amostrados é apresentada na Figura 414. As concentrações observadas ultrapassaram o nível 1 apenas em algumas estações de amostragem: RD018 (rio Casca, no distrito de Águas Férreas), RD021 (rio Matipó, a jusante da cidade de Raul Soares), RD023 (rio Doce, a montante da comunidade de Cachoeira dos Óculos), RD026 (rio Piracicaba, a jusante da cidade de João Monlevade), RD027 (rio Santa Bárbara, na localidade de Santa Rita das Pacas), RD034 (rio Piracicaba, a jusante de Coronel Fabriciano), RD035 (rio Doce, a jusante de Coronel Fabriciano) e RD040 (rio Corrente Grande, próximo à sua foz no rio Doce).

Figura 414 – Concentração de zinco nos sedimentos analisados.

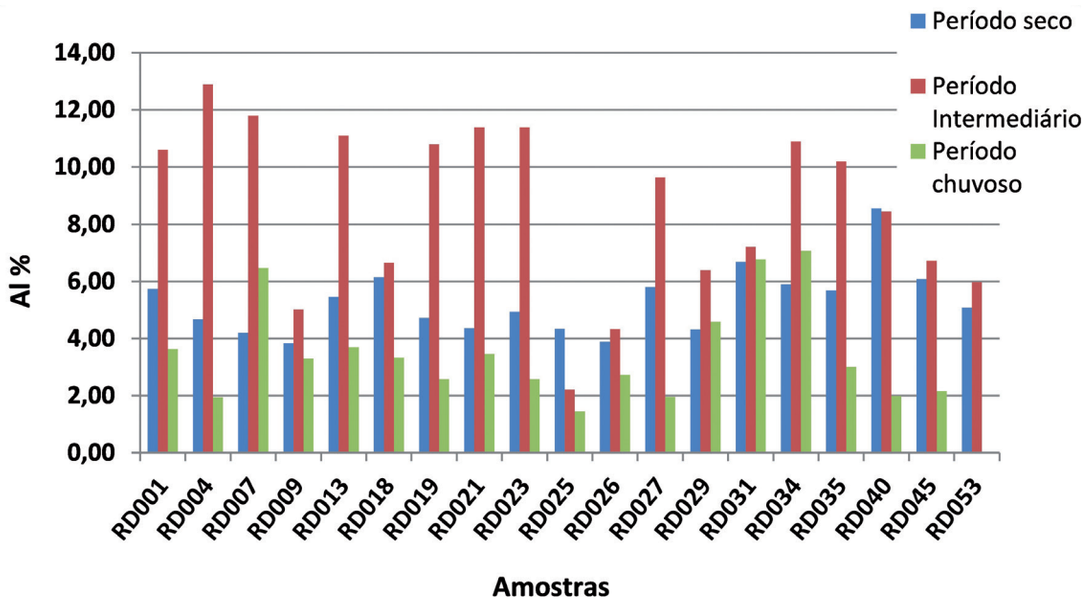


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

5.1.3.2.9.8 Alumínio

A Figura 415 apresenta a concentração de alumínio nos sedimentos coletados. Destaca-se que não existem limites definidos para esse elemento na Resolução CONAMA nº 454/2012. As maiores concentrações foram observadas no período intermediário (abril de 2012) e as menores, nos pontos RD025 (rio Piracicaba, na cidade de Rio Piracicaba) e RD026 (rio Piracicaba, a jusante da cidade de João Monlevade) – ambas próximas a Itabira.

Figura 415 – Concentração de alumínio nos sedimentos analisados.

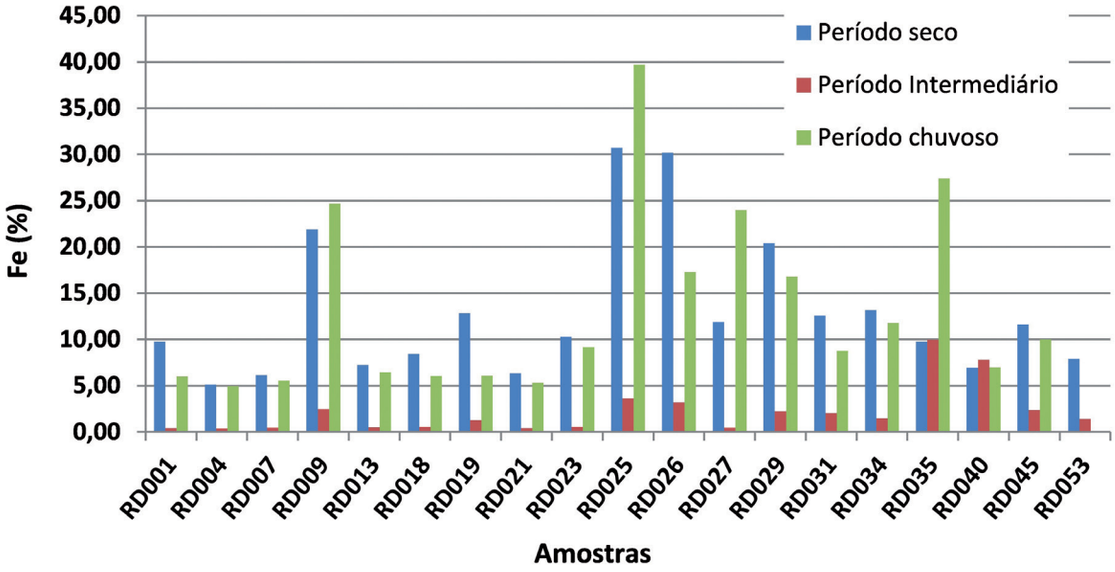


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

5.1.3.2.9.9 Ferro

A concentração de ferro nos sedimentos amostrados está apresentada na Figura 416. Frisa-se que não existem limites para esse elemento na Resolução CONAMA nº 454/2012. As maiores concentrações foram observadas nos períodos chuvoso e seco, e as menores, nos pontos RD025 (rio Piracicaba, na cidade de Rio Piracicaba) e RD026 (rio Piracicaba, a jusante da cidade de João Monlevade) – ambas próximo a Itabira e nos pontos a jusante de Ipatinga.

Figura 416 – Concentração de ferro nos sedimentos analisados.

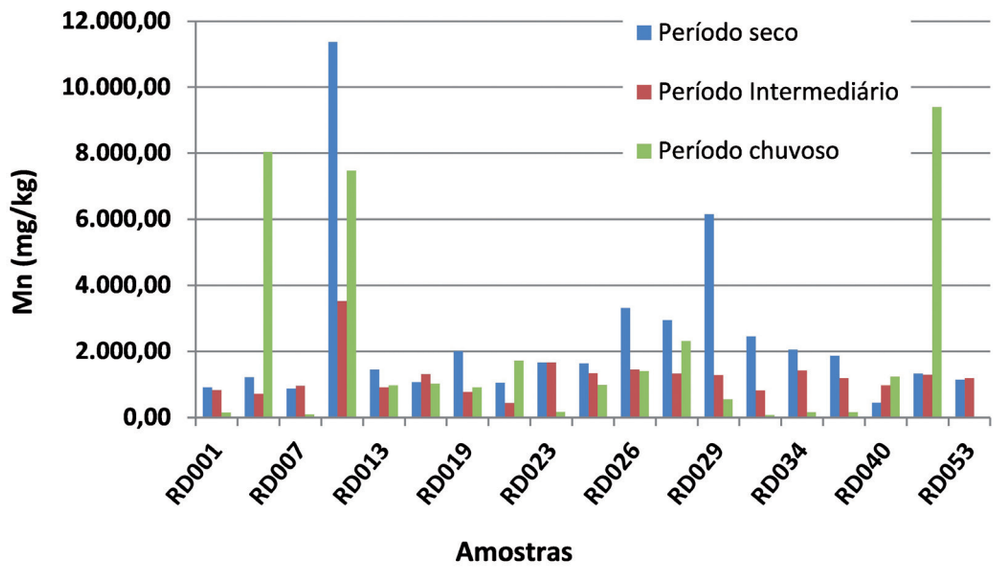


Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

5.1.3.2.9.10 Manganês

A Figura 417 apresenta a concentração de manganês nos sedimentos analisados, sendo que, para esse elemento, também não existem limites na Resolução CONAMA nº 454/2012. As menores concentrações foram observadas nos pontos RD004 (rio Xopotó, próximo à foz no rio Piranga) e RD009 (próximo a Mariana) e a jusante de Ipatinga.

Figura 417 – Concentração de manganês nos sedimentos analisados.



Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

5.1.3.2.9.11 Igeo

O Igeo calculado está apresentado na Tabela 145, Tabela 146 e na Tabela 147.

Tabela 145 – Igeo para os elementos arsênio, cromo e cobre.

Amostras	As			Cr			Cu		
	Período chuvoso	Período Intermediário	Período seco	Período chuvoso	Período Intermediário	Período Seco	Período chuvoso	Período Intermediário	Período seco
RD001	--	-1,81	-2,20	2,65	2,53	1,95	2,63	1,92	1,54
RD004	-3,84	-3,89	-4,61	1,26	2,11	1,42	1,48	1,70	1,58
RD007	-2,01	-2,38	-3,45	1,84	2,48	1,87	1,80	1,73	1,62
RD009	3,85	2,80	3,32	2,14	2,85	2,38	1,65	1,57	1,83
RD013	-2,65	-2,61	-4,12	1,56	2,37	1,72	1,70	2,05	1,80
RD018	--	-4,70	-10,01	1,85	2,68	1,87	1,87	2,27	1,57
RD019	2,95	1,52	-0,21	1,76	2,30	1,62	1,59	2,02	1,77
RD021	-6,13	-4,81	--	1,62	2,27	1,72	1,78	2,05	1,44
RD023	0,81	1,18	-0,39	1,49	2,27	1,73	1,47	1,84	1,02
RD025	-1,76	-0,64	-2,87	1,69	1,90	1,32	1,08	0,61	0,41
RD026	0,07	--	-3,15	1,72	2,21	1,69	1,39	1,19	1,32
RD027	1,52	-2,46	-2,48	1,41	1,52	1,09	1,15	1,76	1,58
RD029	-1,07	-1,42	-2,93	1,42	2,01	2,01	1,43	1,30	1,91
RD031	-2,00	-2,32	-3,49	2,01	1,93	1,28	1,08	0,30	0,63
RD034	-2,00	-2,27	-3,99	5,21	2,55	2,34	1,81	1,45	1,49
RD035	-1,73	-1,76	-0,72	2,79	1,84	2,14	1,77	1,66	1,65
RD040	0,57	-4,49	-5,40	2,56	-2,39	5,19	1,24	1,42	1,78
RD045	--	0,74	-1,79	1,51	1,61	1,73	1,13	0,94	1,47
RD053	-1,50	-1,18	--	1,15	1,27	--	0,73	1,12	--
Background		8,8 µg/g			28 µg/g			8 µg/g	

Valor do Índice	Classe	Qualidade do sedimento
≤ 0	0	Não poluído
0 - 1	1	Não poluído a moderadamente poluído
1 - 2	2	Moderadamente poluído
2 - 3	3	Moderadamente a fortemente poluído
3 - 4	4	Fortemente poluído
4 - 5	5	Fortemente a extremamente poluído
> 5	6	Extremamente poluído

Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

A qualidade do sedimento quanto ao elemento arsênio foi classificada, na maioria dos resultados, como “não poluído”. Exceções foram encontradas nos pontos RD009 (rio do Carmo, em Monsenhor Horta), classificado como “fortemente poluído” e “moderada a fortemente poluído”; RD019 (rio Doce, a montante da foz do rio Casca), classificado como “moderada a fortemente poluído” e “moderadamente poluído” em duas coletas; RD023 (rio Doce, a montante da comunidade de Cachoeira dos Óculos); RD026 (rio Piracicaba, a jusante da cidade de João Monlevade), classificado como “não poluído a moderadamente poluído”) em apenas uma das coletas; RD027 (rio Santa Bárbara, na localidade de Santa Rita das Pacas), RD040 (rio Corrente Grande, próximo à sua foz no Rio Doce) e RD045 (rio Doce, a jusante da cidade de Governador Valadares), classificados como “não poluído a moderadamente poluído” em apenas uma das coletas.

Quanto ao elemento cromo, o sedimento foi classificado como “moderadamente poluído” e “moderada a fortemente poluído” na maioria das amostras, registrando também dois valores de “extremamente poluído”, nos pontos RD034 (rio Piracicaba, a jusante de Coronel Fabriciano) e RD040 (rio Corrente Grande, próximo à sua foz no Rio Doce).

Em relação ao cobre, o sedimento foi classificado como “moderadamente poluído” na maioria dos resultados. Também foram registradas as classes “moderada a fortemente poluído” e “não poluído a moderadamente poluído” nas estações RD025 (rio Piracicaba, na cidade de Rio Piracicaba), RD031 (rio Piracicaba, em Timóteo, a montante da ETA Acesita), RD045 (rio Doce, a jusante da cidade de Governador Valadares) e RD053 (rio Doce, a jusante do rio Suaçuí Grande, em Tumiritinga).

Tabela 146 – Igeo para os elementos mercúrio, níquel e zinco.

Amostras	Hg			Ni			Zn		
	Período chuvoso	Período Intermediário	Período seco	Período chuvoso	Período Intermediário	Período Seco	Período chuvoso	Período Intermediário	Período seco
RD001	-0,84	-1,73	-1,70	0,41	2,47	2,40	2,17	2,09	1,80
RD004	-1,40	-1,81	-1,77	1,65	2,30	2,05	1,47	2,15	1,85
RD007	-1,38	-2,08	-2,09	2,22	2,44	2,00	1,75	2,22	1,73
RD009	0,35	-0,98	-0,20	2,12	2,41	2,22	1,79	1,86	1,87
RD013	-0,60	--	-1,25	2,01	2,61	2,50	2,12	2,41	2,28
RD018	-1,51	-1,58	-1,99	2,10	2,46	1,96	2,07	2,86	2,41
RD019	-0,59	-0,87	-1,47	1,89	2,25	2,01	1,46	2,32	1,86
RD021	-0,92	-1,44	-1,80	1,55	2,32	1,35	2,34	2,57	2,05
RD023	-1,33	-1,46	-2,54	1,73	2,26	0,94	1,63	2,32	2,59
RD025	-1,25	-1,47	-2,55	1,57	0,59	--	1,24	1,50	1,23
RD026	-0,61	-1,55	-1,51	0,63	0,92	1,34	3,24	2,25	2,34
RD027	-0,60	-1,07	-1,27	1,14	1,51	1,04	1,70	2,62	2,21
RD029	-0,23	-1,69	-0,72	1,04	1,08	1,78	2,87	2,27	3,19
RD031	-0,86	-1,00	-1,78	1,18	-0,38	-1,63	2,09	2,20	2,11
RD034	0,17	-1,00	-1,52	4,49	1,77	1,76	2,55	2,36	1,81
RD035	-0,62	-1,09	-1,60	2,36	1,91	2,08	2,59	1,94	2,26
RD040	-1,80	-1,83	-1,96	1,38	1,33	1,49	1,34	2,44	3,31
RD045	-1,02	-2,27	-1,59	0,76	0,84	1,81	1,96	1,84	2,31
RD053	-1,29	-2,28	--	0,72	0,10	--	1,70	1,90	--
Background		0,19 µg/g			8 µg/g			15 µg/g	

Valor do Índice	Classe	Qualidade do sedimento
≤ 0	0	Não poluído
0 - 1	1	Não poluído a moderadamente poluído
1 - 2	2	Moderadamente poluído
2 - 3	3	Moderadamente a fortemente poluído
3 - 4	4	Fortemente poluído
4 - 5	5	Fortemente a extremamente poluído
> 5	6	Extremamente poluído

Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

Na Tabela 146, pode-se observar que o sedimento foi classificado, quanto ao elemento mercúrio, como “não poluído” na grande maioria das análises, com exceção apenas das estações RD009 (rio do Carmo, em Monsenhor Horta) e RD034 (rio Piracicaba, a jusante de Coronel Fabriciano), classificadas como “não poluído a moderadamente poluído”. Em relação ao níquel, a maioria dos sedimentos analisados foi classificada como “moderada a fortemente poluído”, “moderadamente poluído” e “não poluído a moderadamente poluído”. O zinco classificou o sedimento como “moderada a fortemente poluído” na maioria das estações, com algumas classificadas como “moderadamente poluído” e “fortemente poluído”.

Tabela 147 – Igeo para os elementos alumínio, ferro e manganês.

Amostras	Al			Fe			Mn		
	Período chuvoso	Período Intermediário	Período seco	Período chuvoso	Período Intermediário	Período Seco	Período chuvoso	Período Intermediário	Período seco
RD001	1,09	1,98	0,43	-0,59	-1,81	-1,29	-4,40	-4,55	-6,98
RD004	0,79	2,26	-0,48	-1,52	-1,84	-1,57	-3,98	-4,74	-1,27
RD007	0,64	2,12	1,26	-1,25	-1,72	-1,41	-4,46	-4,33	-7,68
RD009	0,50	0,89	0,29	0,58	0,75	0,75	-0,77	-2,46	-1,37
RD013	1,01	2,04	0,45	-1,02	-1,59	-1,19	-3,73	-4,39	-4,30
RD018	1,19	1,30	0,30	-0,80	-1,49	-1,28	-4,18	-3,88	-4,24
RD019	0,81	1,99*	-0,07	-0,20	-0,23	-1,28	-3,27	-4,63	-4,40
RD021	0,69	2,08	0,36	-1,21	-1,76	-1,47	-4,20	-5,47	-3,49
RD023	0,87	2,07	-0,06	-0,51	-1,43	-0,68	-3,54	-3,54	-6,82
RD025	0,68	-0,29	-0,90	1,06	1,30	1,43	-3,56	-3,85	-4,29
RD026	0,52	0,68	0,01	1,04	1,14	0,23	-2,55	-3,73	-3,79
RD027	1,11	1,83	-0,47	-0,30	-1,69	0,71	-2,71	-3,85	-3,06
RD029	0,67	1,24	0,76	0,47	0,60	0,19	-1,65	-3,91	-5,13
RD031	1,31	1,42	1,39	-0,22	0,47	-0,75	-2,97	-4,56	-7,99
RD034	1,13	2,01	1,39	-0,16	0,47	-0,32	-3,23	-4,56	-6,85
RD035	1,07	1,92	0,15	-0,59	0,00	0,90	-3,37	-3,76	-6,84
RD040	1,66	1,65	-0,44	-1,08	2,76	-1,07	-5,42	-4,02	-3,97
RD045	1,17	1,32	-0,32	-0,34	2,41	-0,56	-3,86	-4,31	-1,04
RD053	0,91		--	-0,89	0,69	--	-4,07	-3,90	--
Background	1800 µg/g			9800 µg/g*			12900 µg/g		

*Valor retirado do trabalho de Turekian et al. (1969).

Valor do Índice	Classe	Qualidade do sedimento
≤ 0	0	Não poluído
0 - 1	1	Não poluído a moderadamente poluído
1 - 2	2	Moderadamente poluído
2 - 3	3	Moderadamente a fortemente poluído
3 - 4	4	Fortemente poluído
4 - 5	5	Fortemente a extremamente poluído
> 5	6	Extremamente poluído

Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

De acordo com a Tabela 147, o Igeo apontou, para o elemento alumínio, as classes “não poluído a moderadamente poluído” e “moderadamente poluído” na maioria das estações analisadas. Foram registradas também as classes “moderada a fortemente poluído” e “não poluído”. O ferro classificou o sedimento como “não poluído” na maioria das amostras. Os sedimentos das estações RD009 e RD029 foram classificados como “não poluído a moderadamente poluído”. Na estação RD025, os sedimentos foram classificados como “moderadamente poluído”, enquanto nas estações RD040 e RD045, “moderada a fortemente poluído”, na coleta realizada na estação intermediária. Quanto ao manganês, os sedimentos foram classificados como “não poluído” em todas as amostras.

5.1.3.2.9.12 Fator de Enriquecimento (FE)

O FE calculado está apresentado na Tabela 148 e na Tabela 149.

Tabela 148 – FE para os elementos arsênio, cromo, cobre e mercúrio.

Amostras	As			Cr			Cu			Hg		
	PC	PI	PS	PC	PI	PS	PC	PI	PS	PC	PI	PS
RD001	0,00	0,07	0,16	2,96	1,47	2,88	2,91	0,96	2,16	0,26	0,08	0,23
RD004	0,04	0,01	0,06	1,38	0,91	3,73	1,61	0,68	4,15	0,22	0,06	0,41
RD007	0,16	0,04	0,04	2,30	1,28	1,52	2,24	0,76	1,29	0,25	0,05	0,10
RD009	10,19	3,76	8,16	3,10	3,88	4,25	2,22	1,61	2,91	0,90	0,27	0,71
RD013	0,08	0,04	0,04	1,46	1,25	2,41	1,61	1,00	2,56	0,33	0,00	0,31
RD018	--	0,02	0,00	1,59	2,59	2,95	1,61	1,95	2,41	0,15	0,14	0,20
RD019	4,41	0,72	0,91	1,93	1,24	3,24	1,72	1,02	3,57	0,38	0,14	0,38
RD021	0,01	0,01	--	1,90	1,14	2,57	2,12	0,98	2,11	0,33	0,09	0,22
RD023	0,96	0,54	0,80	1,54	1,15	3,46	1,52	0,85	2,11	0,22	0,09	0,18
RD025	0,18	0,78	0,26	2,00	4,55	4,67	1,32	1,86	2,48	0,26	0,44	0,32
RD026	0,73	0,00	0,11	2,29	2,89	3,21	1,82	1,42	2,48	0,45	0,21	0,35
RD027	1,33	0,05	0,25	1,23	0,81	2,95	1,03	0,95	4,14	0,31	0,13	0,58
RD029	0,30	0,16	0,08	1,67	1,70	2,38	1,69	1,04	2,21	0,54	0,13	0,36
RD031	0,10	0,07	0,04	1,62	1,43	0,97	0,85	0,46	0,62	0,22	0,05	0,12
RD034	0,14	0,05	0,02	16,96	1,46	1,94	1,60	0,68	1,08	0,51	0,12	0,13
RD035	0,71	0,08	0,54	3,30	0,95	3,98	1,62	0,83	2,83	0,31	0,12	0,30
RD040	--	0,01	0,03	1,87	0,06	49,44	0,75	0,86	4,67	0,09	0,09	0,35
RD045	0,16	0,67	0,36	1,26	1,23	4,13	0,97	0,77	3,46	0,22	0,08	0,42
RD053	0,12	0,20	--	1,18	1,09	--	0,88	0,98	--	0,22	0,09	--
Background	8,8 µg/g			28 µg/g			8 µg/g			0,19 µg/g		
	Proveniente de Geologia Local; FE <1,5						Proveniente de outras fontes; FE >1,5					
PC	Período Chuvoso											
PI	Período Intermediário											
PS	Período Seco											

Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

Tal fator classificou as amostras quanto ao arsênio como “proveniente da geologia local” na maioria das amostras, com exceção apenas das estações RD009 e RD019, classificadas como “proveniente de outras fontes”. A estação RD019 obteve essa classificação apenas no período chuvoso.

O elemento cromo foi classificado como “proveniente de outras fontes” em 36 amostras e “proveniente da geologia local” em 20 amostras. As estações RD009, RD018, RD025, RD026 e RD029 foram classificadas como “proveniente de outras fontes” em todas as coletas.

O cobre foi classificado como “proveniente de outras fontes” em 31 amostras e “proveniente da geologia local” em 25 amostras. As estações RD009 e RD018 foram classificadas como “proveniente de outras fontes” em todas as coletas.

O elemento mercúrio foi classificado como “proveniente da geologia local” em todas as amostras analisadas.

Como pode ser observado na Tabela 149, o elemento manganês foi classificado como "proveniente da geologia local" em todas as amostras analisadas, e o níquel, "proveniente de outras fontes" em 29 amostras e "proveniente da geologia local" em 26 amostras. Já o ferro foi classificado como "proveniente de outras fontes" em apenas três amostras, no período seco, nas estações RD025, RD027 e RD035. O zinco, por sua vez, foi classificado como "proveniente de outras fontes" em 42 amostras e como "proveniente da geologia local" em apenas 14 amostras.

Tabela 149 – FE para os elementos manganês, níquel, ferro e zinco.

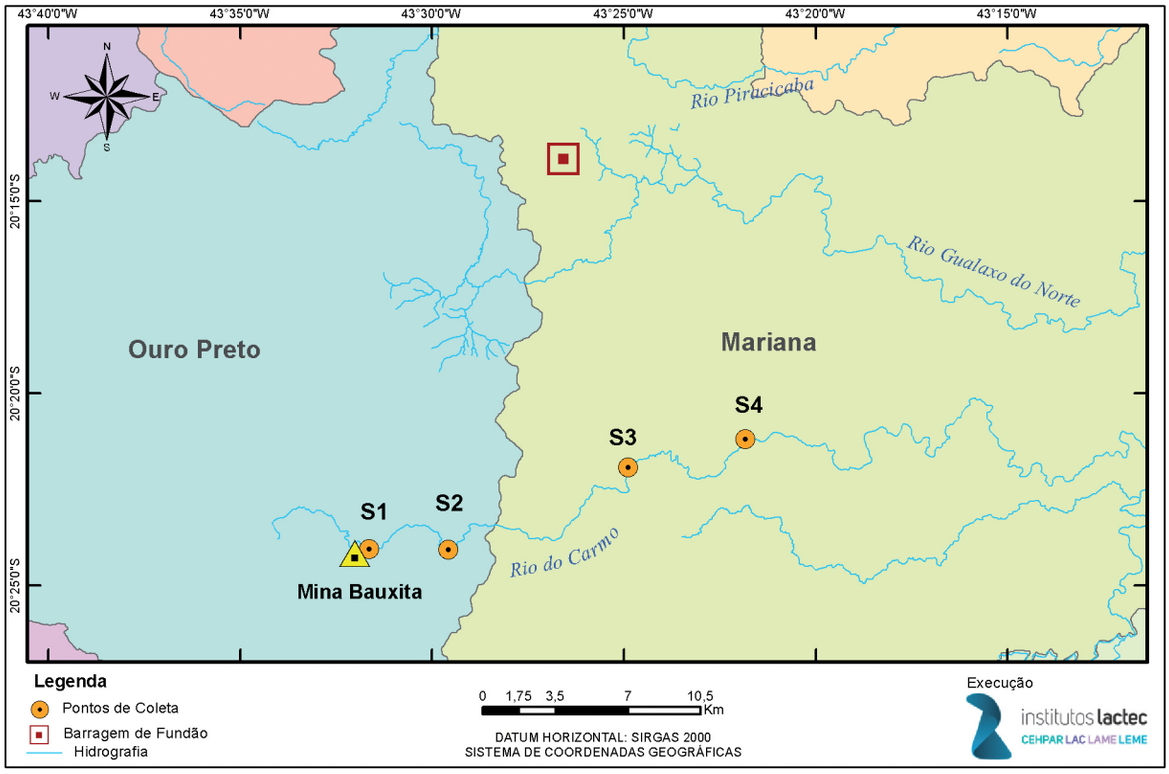
Amostras	Mn			Ni			Fe			Zn		
	PC	PI	PS	PC	PI	PS	PC	PI	PS	PC	PI	PS
RD001	0,02	0,01	0,01	0,61	1,41	3,92	0,31	0,01	0,30	2,11	1,08	2,60
RD004	0,04	0,01	0,58	1,81	1,03	5,76	0,20	0,01	0,47	1,60	0,93	5,03
RD007	0,03	0,01	0,00	2,99	1,25	1,67	0,27	0,01	0,16	2,16	1,07	1,39
RD009	0,41	0,10	0,32	3,07	2,87	3,83	1,06	0,09	1,38	2,44	1,95	3,00
RD013	0,04	0,01	0,04	2,00	1,48	4,14	0,24	0,01	0,32	2,16	1,29	3,57
RD018	0,02	0,03	0,04	1,89	2,23	3,16	0,25	0,01	0,33	1,84	2,95	4,31
RD019	0,06	0,01	0,05	2,11	1,20	4,22	0,50	0,02	0,43	1,57	1,25	3,82
RD021	0,03	0,01	0,07	1,81	1,18	1,99	0,27	0,01	0,28	3,14	1,41	3,23
RD023	0,05	0,02	0,01	1,82	1,14	2,01	0,38	0,01	0,65	1,70	1,19	6,28
RD025	0,05	0,08	0,10	1,85	1,84	--	1,30	0,30	5,05	1,47	3,46	4,40
RD026	0,12	0,05	0,07	1,08	1,18	2,51	1,43	0,14	1,17	6,57	2,96	5,01
RD027	0,07	0,02	0,17	1,02	0,80	2,85	0,38	0,01	2,26	1,51	1,72	6,41
RD029	0,20	0,03	0,02	1,29	0,90	2,03	0,87	0,06	0,67	4,59	2,04	5,38
RD031	0,05	0,02	0,00	0,92	0,29	0,13	0,35	0,05	0,24	1,71	1,72	1,73
RD034	0,05	0,02	0,00	10,26	0,85	1,29	0,41	0,02	0,31	2,69	1,27	1,34
RD035	0,05	0,02	0,01	2,44	0,99	3,81	0,32	0,17	1,68	2,86	1,01	4,32
RD040	0,01	0,02	0,09	0,82	0,81	3,82	0,15	0,14	0,65	0,80	1,74	13,50
RD045	0,03	0,03	0,61	0,75	0,72	4,38	0,35	0,05	0,85	1,73	1,44	6,18
RD053	0,03	0,03	--	0,88	0,48	--	0,29	0,04	--	1,73	1,68	--
Back-ground*	12900 µg/g			8 µg/g			9800 µg/g*			15 µg/g		
	Proveniente de Geologia Local; FE <1,5						Proveniente de outras fontes; FE >1,5					
*Valor retirado do trabalho de Turekian et al. (1969).												
PC	Período Chuvoso											
PI	Período Intermediário											
PS	Período Seco											

Fonte: Adaptado de Santolin (2015).

5.1.3.2.10 Resultados de Varejão et al. (2011)

Varejão et al. (2011) estudaram o trecho do rio do Carmo entre Ouro Preto e Mariana. Esse rio é formado pela união dos ribeirões Tripui e Funil, no município de Ouro Preto, e tem sido afetado por diversas atividades de mineração de ouro (por exemplo, Mina da Passagem de Mariana, Chico Rei, Sciliar, Quartzjtk e Lajes). De acordo com os autores, estima-se que somente a mina da Passagem, localizada 7 km a leste de Ouro Preto, produziu pelo menos 60 toneladas de ouro entre o fim do século XVIII e 1954. No estudo, foram realizadas amostragens em quatro pontos no rio do Carmo. A localização dos pontos amostrais está apresentada na Figura 418.

Figura 418 – Localização dos pontos amostrais de Varejão et al. (2011).



Fonte: Varejão et al. (2011).

Os resultados das análises de metais em sedimentos obtidos pelos autores estão apresentados na Tabela 150.

Tabela 150 – Resultados das análises de metais em sedimentos.

Pontos	Elemento	Amostras		
		1	2	3
S1	As	0,19	0,07	0,02
	Cd	1,12	1,97	<LD
	Cr	0,97	2,18	4,15
	Cu	1,89	5,11	<LD
	Ni	<LD	2,96	<LD
	Pb	1,96	7,29	2,53
	Zn	2,94	4,42	1,76
S2	**Elemento**	**1**	**2**	**3**
	As	0,20	0,44	0,32
	Cd	1,24	2,25	<LD
	Cr	<LD	2,09	3,65
	Cu	2,07	5,18	1,82
	Ni	<LD	4,01	4,44
	Pb	4,46	8,73	2,60
	Zn	4,64	7,14	3,71
S3	**Elemento**	**1**	**2**	**3**
	As	0,34	2,65	40,35
	Cd	1,32	2,21	<LD
	Cr	1,04	2,88	5,90
	Cu	1,08	4,61	<LD
	Ni	<LD	2,50	2,65
	Pb	3,13	8,65	3,46
	Zn	3,10	5,34	1,55
S4	**Elemento**	**1**	**2**	**3**
	As	0,52	3,94	40,71
	Cd	1,67	2,39	<LD
	Cr	<LD	2,78	4,68
	Cu	<LD	0,14	<LD
	Ni	<LD	<LD	<LD
	Pb	3,78	4,93	4,35
	Zn	1,79	3,13	1,21
Acima do Nível 1				
Acima do Nível 2				
<LD = Inferior ao Limite de Detecção				

Fonte: Adaptado de Varejão et al. (2011).

Apenas o elemento arsênio apresentou resultados acima do nível 2 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 454/2012, nos pontos amostrais S3 e S4. O elemento cádmio revelou resultados acima do nível 1, também estabelecido pela mesma Resolução, em todos os pontos amostrais.

5.1.3.2.11 Resultados de CPRM (2016)

No trabalho de elaborado por Vigilio e Cunha, por meio do CPRM - Serviço Geológico do Brasil (2016), os autores apresentaram os dados do levantamento geoquímico realizado no estado de Minas Gerais e Espírito Santo, integrados na bacia do rio Doce com o objetivo de comparar o antes e depois do rompimento da barragem de Fundão.

As amostras foram coletadas em sedimentos de corrente, nas zonas de deposição de material com fração fina e nos mesmos locais foram também coletadas águas superficiais.

5.1.3.2.11.1 Materiais e métodos

A metodologia utilizada para as análises de sedimentos compreendeu a coleta de cinco frações entre 5 e 10 metros do ponto de amostragem, tendo cerca de 2 kg cada, e peneirada *in situ* em peneira de nylon de 20 mesh. Posteriormente foi feito o peneiramento de 80 mesh, pulverizados a 150 mesh das amostras. No total foram analisados 54 elementos (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn e Zr), pelo método analítico de Espectrometria de Emissão Atômica com Fonte de Plasma - ICP-OES e Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado - ICP-MS. As análises foram realizadas no laboratório SGS GEOSOL.

5.1.3.2.11.2 Resultados e discussão

A partir dos resultados obtidos das análises, foram realizados estudos estatísticos e produzidos mapas geoquímicos para os elementos que mostraram concentrações acima do limite de detecção. Os resultados foram comparados com a Resolução CONAMA nº 454/2012.

Para o elemento prata (Ag) em sedimentos, verificam-se áreas anômalas em regiões relacionadas a suítes graníticas próximo a Viçosa, Ipatinga (Suítes Vermelho Novo e Borrachudo), a oeste de Governador Valadares (Suíte Galileia) e em Afonso Cláudio, ES. O alumínio (Al) apresentou anomalia contínua na porção central da bacia, indo de Manhuaçu a Gonzaga. Os solos repetem esse comportamento apenas nas extremidades da bacia, não cortando o rio Doce. O arsênio (As) nos sedimentos também apresentou anomalias bem definidas nas regiões de afloramento de rochas sulfetadas auríferas do QF ao longo do limite oeste da bacia até Conceição do Mato Dentro, com valores de até 354 mg/kg, para um valor máximo permitido pela legislação de 17 mg/kg. Na margem esquerda do rio Doce, após Governador Valadares e no Espírito Santo a norte de Linhares, ocorreram outras três zonas anômalas para arsênio em sedimento.

O elemento ouro (Au) foi somente analisado para solos e sedimentos, tendo apenas uma detecção nos solos e cinco em sedimento. Cabe ressaltar que o método analítico utilizado não é o ideal para a quantificação de ouro em teores muito baixos. O elemento foi detectado em Mariana no rio do Carmo e rio Doce, nas cidades de Periquito e Governador Valadares. Para o boro (B) nos sedimentos, apenas três valores acima do limite de quantificação foram obtidos no alto rio Doce, na região de São Pedro do Suaçuí e em Galileia. As maiores anomalias de bário (Ba) em sedimento de corrente ocorreram entre Governador Valadares e Baixo Guandu, com valor máximo de 456 mg/kg.

Os resultados de sedimento para berílio (Be) mostraram uma distribuição semelhante à do bário, com maiores teores sendo encontrados no médio curso da bacia, a partir de Ipatinga até Baixo

Guandu. Para bismuto (Bi), os resultados de sedimento mostraram diversas zonas anômalas pontuais e três mais extensas, sendo que o maior teor de 1,08 mg/kg foi encontrado no rio Picão, próximo a Morro do Pilar na cabeceira oeste da bacia. As outras faixas ocorrem no rio Piracicaba e rio Eme, a norte de Conselheiro Pena e na cabeceira do rio Guandu próximo a Afonso Cláudio/ES. Os resultados de cálcio (Ca) em sedimento estiveram acumulados na porção central da bacia, principalmente entre as regiões de Governador Valadares e Baixo Guandu, com teor máximo de 0,64% e os mínimos nas cabeceiras e foz.

O cádmio (Cd) ocorreu com bastante frequência por toda a bacia e a maior concentração foi na região de Afonso Cláudio, com teor de 4,01 mg/kg, maior que o nível 1 da Resolução CONAMA nº 454/2012, mas ainda abaixo do nível 2. Cério (Ce) nas amostras de sedimento apresentou valores elevadíssimos, acima do limite máximo de quantificação de 1.500 mg/kg na região de Rio Bananal, configurando extensa anomalia na foz do rio Doce e em toda a abrangência da margem esquerda no estado do Espírito Santo. Em Minas, os maiores valores apareceram próximo a Vermelho Novo e Franciscópolis. A distribuição de cobalto (Co) nos sedimentos foi bastante uniforme, com as ocorrências concentrando-se próximo às cabeceiras e inexistindo próximo à foz. O valor máximo obtido foi de 55,4 mg/kg perto de Barão de Cocais. As amostras de sedimento de cromo (Cr) exibiram uma distribuição preferencial nas cabeceiras sul e oeste da bacia, apresentado valores muito altos, de até 976 mg/kg em Alvorada de Minas, e 68 valores acima do limite de 90 mg/kg do Nível 2 da Resolução CONAMA nº 454/2012. Os valores decaem bastante em direção à foz e ao estado do Espírito Santo.

O elemento césio (Cs) nas amostras de sedimento mostrou extensa anomalia ocupando toda a região da margem esquerda do rio Doce entre Itacarambi e Resplendor, com o valor máximo de 13,42 mg/kg. Para o cobre (Cu), as amostras de sedimento tiveram uma distribuição homogênea, estando em maior quantidade na parte média/alta da bacia e teor máximo de 123 mg/kg na região de Conceição do Mato Dentro, acima do nível 1, mas ainda abaixo do nível 2 da Resolução CONAMA nº 454/2012 cujo valor é 197 mg/kg. Nas amostras de sedimento def (Fe) houve ocorrência de valores mais elevados no QF, entre Mariana e Itabira, seguindo as bacias dos rios do Carmo e Piracicaba e continuando pelo rio Doce até pouco antes de Governador Valadares.

Todas as amostras de sedimento continham o elemento gálio (Ga), apresentando um valor máximo de 33,1 mg/kg no ribeirão Cocais Pequeno, pouco antes de Ipatinga. Os resultados apresentaram-se concentrados na porção média da bacia. As amostras de germânio (Ge) tiveram resultados anômalos em região concêntrica ao redor de Caratinga, na porção média da bacia e em todo o litoral do Espírito Santo, principalmente na porção norte, com valores de até 4,7 mg/kg. A distribuição do elemento háfnio (Hf) nos sedimentos se concentrou na parte central da bacia, principalmente a oeste de Ipatinga e Governador Valadares, nas proximidades de Tumiritinga, onde ocorreu o maior valor de 2,6 mg/kg no ribeirão Laranjeiras e na foz do rio Doce em Linhares.

As amostras de mercúrio (Hg) em sedimentos evidenciaram anomalias com o maior valor de 4,01 mg/kg no rio da Cobra em Afonso Cláudio/ES, muito acima do valor legal de 0,17 para o nível 1 ou 0,486 mg/kg para o nível 2 da Resolução CONAMA nº 454/2012. Três amostras em sequência no rio Manhuaçu, a oeste de Ipanema, duas na cabeceira do rio Matipó, a sul da cidade de Matipó e outras duas no rio Aparente próximo a Pancas/ES, mostraram a presença de mercúrio entre 0,17 e 0,21 mg/

kg, valores acima do nível 1. Verificaram-se ocorrências pontuais em Linhares, Marilac, São Pedro do Suaçuí e Rio Vermelho. Como comparativo, as maiores concentrações em amostras de solo foram encontradas entre Lajinha/MG e Brejetuba/ES, no limite sul da bacia, com valor de 0,73 mg/kg, e em Piranga e São Domingos do Prata com valor de 0,5 mg/kg, acima do limite da Resolução CONAMA nº 420/2009 que é de 0,5 mg/kg e muito acima do VRQ-MG que é 0,03 mg/kg. A Resolução CONAMA nº 420/2009 dispõe dos valores de referência para solos, enquanto a VRQ-MG é a normativa divulgada pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM).

Para as amostras In (índio) o mapa de sedimentos apresentou uma distribuição de extensa anomalia preenchendo toda a porção média e baixa da bacia, com valor máximo de 0,30 mg/kg no ribeirão Cocais Pequeno, em Coronel Fabriciano. Para o elemento potássio (K), foi notada uma total ausência do elemento em toda a região de cabeceira, com concentração no médio curso e na foz do rio Doce, com teor máximo de 1,36% nas duas cabeceiras do ribeirão do Café, próximo a Tumiritinga. O mapa de lantânio (L) mostrou uma nítida concentração de anomalias da porção média para a foz da bacia, onde apresentava um valor muito elevado de 2.631 mg/kg no rio São José, a norte da cidade de Rio Bananal/ES. Para o lítio (Li), o mapa de sedimento evidenciou uma região anômala na margem esquerda do rio Doce na porção média da bacia entre Itambacuri até Itueta, com valor máximo de 83 mg/kg. O mapa de sedimento de magnésio (Mg) apresentou uma zona de maior concentração na parte central da bacia, principalmente na margem esquerda do rio Doce, desde Itambacuri até Baixo Guandu, com o valor mais elevado de 1,22% no ribeirão do Café, em Tumiritinga.

Manganês (Mn) foi mostrado com uma grande distribuição do elemento por toda a parte central da bacia com exceção da parte próxima da foz e uma faixa próxima ao QF. Apareceram teores de até 5.591 mg/kg no rio Santo Antônio, próximo a Itueta, configurando grande zona anômala na margem esquerda do rio Doce desde Divino das Laranjeiras/MG até Alto Rio Novo/ES. O elemento foi detectado em todas as amostras de sedimento e, se for considerado o valor do NOAA SQRT, de 460 mg/kg, cerca de 55% da bacia está com teores acima desse patamar. O mapa de sedimento do molibdênio (Mo) mostrou uma concentração das zonas mais anômalas na porção central da bacia, sendo o maior valor encontrado de 4,94 mg/kg no ribeirão Cocais Pequeno, em Coronel Fabriciano. Outro pequeno núcleo anômalo ocorre na cabeceira do rio Guandu, em Afonso Cláudio/ES.

O mapa de sódio (Na) apresentou um núcleo bem claro de ocorrência de valores entre Governador Valadares e Baixo Guandu, nas proximidades da calha do rio Doce, principalmente em sua margem esquerda, com valor máximo de 0,21% no córrego Preto, próximo de São Geraldo do Baixio. O nióbio (Nb) foi concentrado na porção central da bacia, com um núcleo paralelo ao leito do rio na margem esquerda entre Santa Maria de Itabira e Governador Valadares e outro menor em Conceição de Ipanema, com valor máximo de 26,78 mg/kg no ribeirão Itauninha, em Santa Maria de Itabira. O mapa de sedimentos de níquel (Ni) (níquel) mostrou concentrações de anomalias na região das cabeceiras sul e oeste, com valores de até 233 mg/kg, bem acima do nível 2 ocorrendo no rio Caraça em Barão de Cocais. Dezoito amostras apresentam valores acima do patamar legal, formando regiões nas cabeceiras dos rios Gualaxo do Sul, Piracicaba e Casca, e pontualmente em Morro do Pilar, Alvorada de Minas, rio Corrente na hidrelétrica de Baguari, Córrego Novo, Governador Valadares e Resplendor.

Todas as amostras de sedimento mostraram a presença do elemento fósforo (P) em teores de até 2.765 mg/kg no rio São José, a norte da cidade de Rio Bananal/ES e de 2.332 mg/kg em drenagem dentro de Governador Valadares. Os resultados distribuíram-se pela parte central da bacia, e nos limites norte e sul da bacia dentro do estado do Espírito Santo. O mapa do elemento chumbo (Pb) apresentou uma concentração preferencial de valores elevados na margem esquerda do rio Doce entre as cidades de Itabira, Conceição do Mato Dentro, Ipatinga e Governador Valadares. Outras três regiões ocorrem nos arredores de Viçosa, Conselheiro Pena e Afonso Cláudio. Tanto a parte baixa da bacia, próximo à foz, quanto a cabeceira na região do QF apresentam teores baixos. O maior valor encontrado foi de 85,6 mg/kg na cabeceira do rio Guandu, em Afonso Cláudio/ES, entre os limites legais dos níveis 1 (35 mg/kg) e 2 (91,3 mg/kg) da Resolução CONAMA nº 454/2012. Outras quatorze amostras continham valores acima do nível 1, principalmente na região do rio Santo Antônio.

Nas amostras de paládio (Pd), em 14% delas foi detectado o elemento em teor máximo de 0,50 mg/kg. Os resultados positivos concentram-se na margem esquerda do rio Doce entre Ipatinga e Conceição do Mato Dentro. Comparando esses resultados com as amostras de solo, destas cerca de 20% das amostras detectaram a presença do elemento paládio, com valor máximo de 0,60 mg/kg, com concentração maior na região noroeste da bacia, em Santo Antônio do Itambé. O rubídio (Rb) apresentou duas grandes áreas de concentrações de teores mais elevados, uma entre Conceição de Mato Dentro, Ipatinga e Governador Valadares e outra bordejando o limite norte da bacia na margem esquerda do rio Doce, principalmente na altura de São Geraldo do Baixio, com teores de até 137 mg/kg no córrego Rapa. O elemento rênio (Re) foi analisado somente para solo e sedimento e não teve nenhuma amostra acima do limite de quantificação. Para enxofre (S) e sulfato o mapa de sedimento mostrou uma grande região com teores muito baixos do elemento, com alguns teores ocorrendo em faixa central da bacia. A única anomalia localiza-se no rio do Carmo, no município de Mariana, com teor de 0,220%.

No elemento antimônio (Sb) houve uma grande anomalia marcando as litologias do QF, no limite oeste da bacia, com teores de até 15,24 mg/kg. Outros núcleos com altos teores apareceram ao longo do rio Doce em Ipatinga, Belo Oriente, Conselheiro Pena e Resplendor, e um na cabeceira do rio Guandu em Brejetuba/ES. O elemento escândio (Sc) não teve anomalias significativas, ocorrendo os teores mais elevados na porção sul e margem direita do rio Doce, com valor máximo de 25,1 mg/kg. As ocorrências de selênio (Se) tiveram uma clara concentração das na porção central da bacia, mas com valores muito próximos do limite de quantificação. Os valores máximos obtidos, 2,0 mg/kg, duas vezes o limite mínimo de quantificação, têm maior significado nas proximidades de Nova Era, no rio Piracicaba, com três ocorrências muito próximas. Para o elemento estanho (Sn) o mapa de sedimento mostra três núcleos principais localizados no centro da bacia e nos bordos sul já próximo à divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, com valor máximo de 82,6 mg/kg, no rio Guandu na região de Afonso Cláudio/ES.

O valor máximo encontrado de estrôncio (Sr) nos sedimentos foi de 41,70 mg/kg no córrego Capim de Baixo em Mathias Lobato. Quanto ao elemento tântalo (Ta) apenas treze amostras detectaram a sua presença, com um valor máximo de 33,02 mg/kg no rio Mutum, próximo a Chalé. Cerca de 15% das amostras detectaram a presença de telúrio (Te) nos sedimentos, configurando zonas anômalas

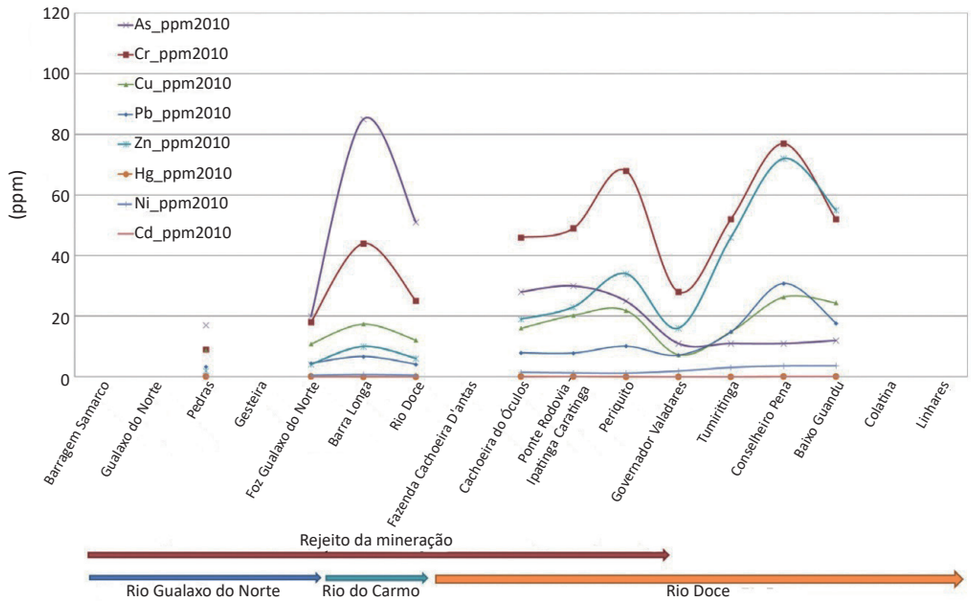
nas cabeceiras do limite oeste da bacia, entre o rio do Carmo e Alvorada de Minas, com maior valor encontrado de 0,31 mg/kg no rio Tição perto de Morro do Pilar. O tório (Th) foi detectado em todas as amostras de sedimento, que mostraram elevados teores na porção central da bacia para a foz, com teor máximo de 1.427 mg/kg no rio São José, perto da foz no município de Rio Bananal, no Espírito Santo. Outros dois núcleos anômalos ocorreram ao redor de São José do Galho e de Franciscópolis.

No mapa de sedimentos de titânio (Ti), foram encontradas três zonas anômalas, uma de grande extensão na porção central da bacia ocupando as duas margens do rio Doce, desde Ipatinga até Tumiritinga, outra na foz, partindo de Linhares para norte até São Gabriel da Palha e a última ao sul em Itarana onde ocorre o teor máximo obtido de 9,3% no ribeirão Santa Joana. A distribuição de urânio (U) nos sedimentos assemelha-se ao do elemento tório, sendo detectado em todas as amostras, e apresentando zonas de maior teor na porção central da bacia, na região de Franciscópolis e na foz a norte de Linhares. O teor máximo de 71,83 mg/kg foi obtido no rio São José, perto da foz no município de Rio Bananal, no Espírito Santo. Os resultados de vanádio (V) mostraram concentrações mais elevadas na porção central da bacia para as cabeceiras, principalmente para sul, havendo zona de baixo teor perto da foz. O maior teor encontrado foi de 239 mg/kg no ribeirão do Bugre, em Bugre e de 230 mg/kg no ribeirão Corrente Grande, a montante da represa de Baguari.

As amostras de sedimento de tungstênio (W) evidenciam duas grandes faixas anômalas com direção aproximada N-S. Uma acompanhando o curso do rio Piracicaba, na margem esquerda do rio Doce e do rio Mutum, na margem direita, com valores de até 15,3 mg/kg, e outra na cabeceira do rio Mutum. O elemento ítrio (Y) apresentou uma distribuição praticamente sem valores anômalos, com maior teor de 216,9 mg/kg no rio São José, a exemplo de urânio e tório. O mapa de sedimento de zinco (Zn) não evidenciou zonas anômalas, sendo mais frequentes teores pouco mais elevados na porção central da bacia com empobrecimento destes na foz. O maior teor, de 135 mg/kg, foi encontrado no córrego das Palmeiras, em Rio Casca e em córrego dentro da cidade de Governador Valadares. Esta última ocorrência tem grande probabilidade de ter origem antrópica. Estes são os únicos valores acima do nível 1 da Resolução CONAMA nº 454/2012, que é de 123 mg/kg, mas ainda estão abaixo do nível 2, que é de 315 mg/kg. E, por fim, o mapa de zircônio (Zr) evidenciou duas grandes zonas anômalas, uma na porção central da bacia a partir de Ipatinga até Aimorés e outra na foz a norte de Linhares. O maior valor encontrado foi de 66,8 mg/kg no córrego Laranjeiras em Galileia.

O atlas também cita os Relatórios de Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce, publicados pelo CPRM contendo os resultados dos monitoramentos realizados após o rompimento da barragem de Fundão. O Relatório II deste Monitoramento apresenta algumas informações interessantes sobre a concentração dos elementos na bacia do rio Doce. Os estudos geoquímicos realizados ao longo do rio Doce (CPRM, 2015) indicaram que, apesar de localmente elevados, os valores de *background* de alguns metais pesados estiveram muito próximos aos limites de detecção dos equipamentos analíticos, conforme apresentado na Figura 419.

Figura 419 – Concentrações de metais pesados em sedimentos desde a barragem de Santarém até Linhares em 2010.



Fonte: CPRM (2015).

5.1.3.2.12 Distribuição espacial dos dados dos autores

Conforme citado na subseção 5.1.2.1.1, para melhor entendimento dos dados levantados pelos autores supracitados, foi realizada uma análise de distribuição espacial da frequência de cada elemento. Os resultados da análise estatística descritiva feita com os dados dos autores e utilizada para a elaboração da distribuição espacial encontram-se no Apêndice F e os gráficos de dispersão, no Apêndice G. Da Figura 420 à Figura 426, estão apresentadas imagens que contêm as informações citadas.

Como pode ser observado na Figura 420, o elemento arsênio revelou a maior frequência de valores acima do nível 2 no trecho 3 (no rio Doce, entre a confluência do rio do Carmo com o rio Gualaxo do Norte, em Barra Longa, e a barragem da UHE Risoleta Neves), com 100% dos resultados. Os trechos 1 e 2 apresentaram porcentagens acima de 69% de frequência de resultados acima do nível 2, havendo tendência de diminuição da concentração desse elemento ao longo da área estudada.

O elemento cádmio apresentou maior frequência de valores acima do nível 2 no trecho 2, no rio do Carmo. No trecho 1, houve predominância de resultados abaixo do nível 1 e, nos demais trechos, dominaram os resultados acima do nível 1.

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

O cromo revelou maior frequência de valores acima do nível 2 nos trechos 4 (68,75%), 5 (95,24%) e 6 (54,55%). Nos demais trechos, a predominância variou entre abaixo e acima do nível 1.

O elemento mercúrio apresentou predominância de valores acima do nível 1 nos trechos 1 e 2. Apenas no trecho 1, foram observados valores acima do nível 2, porém com baixa frequência (4,35% dos dados). Nos demais trechos, predominaram os valores abaixo do nível 1.

Valores acima do nível 2 observados para o elemento níquel foram predominantes nos trechos 2, 3, 5 e 6. Em geral, nos demais trechos, foram verificados valores acima do nível 1 como predominantes.

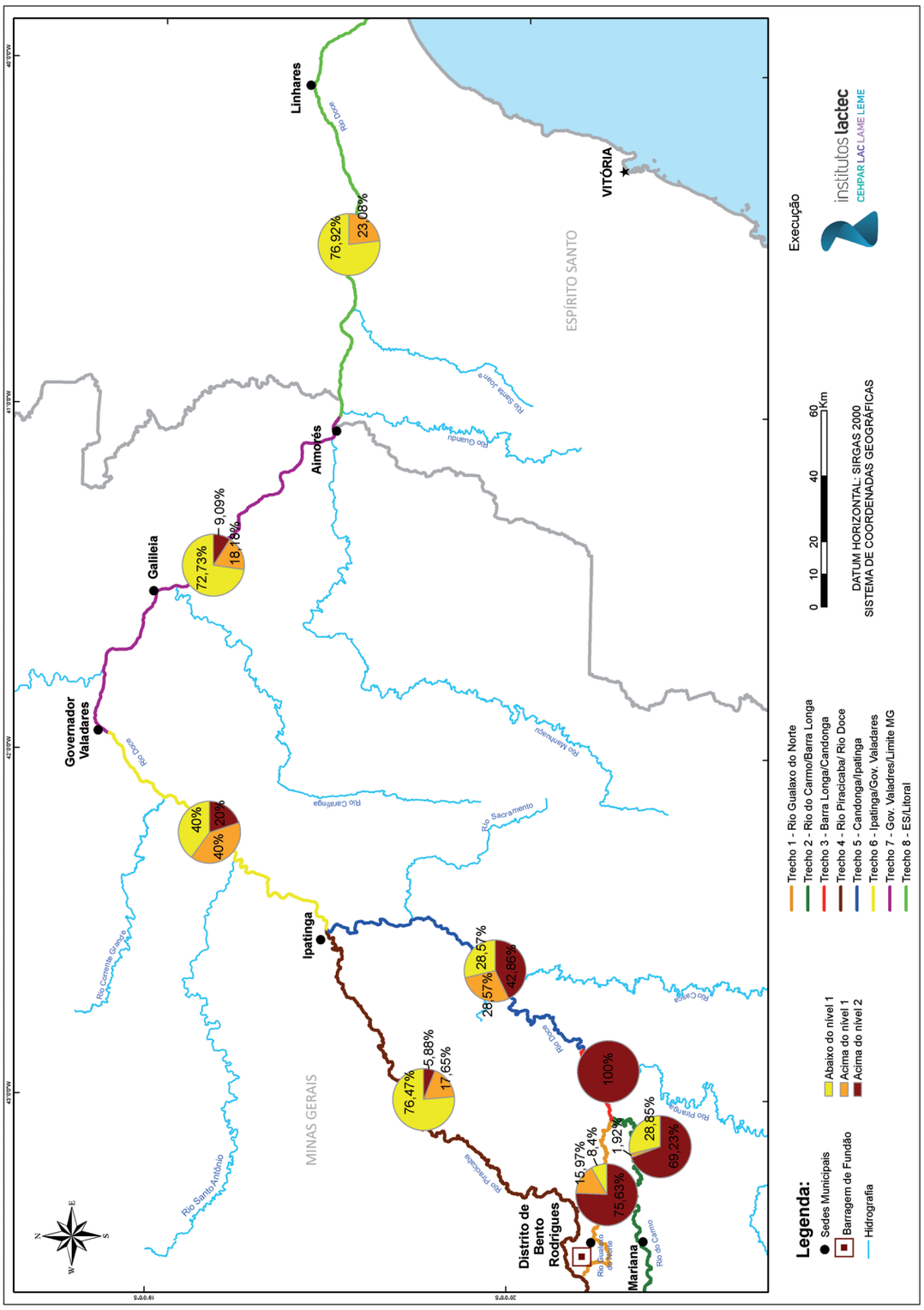


Figura 420 – Distribuição dos resultados de arsênio por trecho.

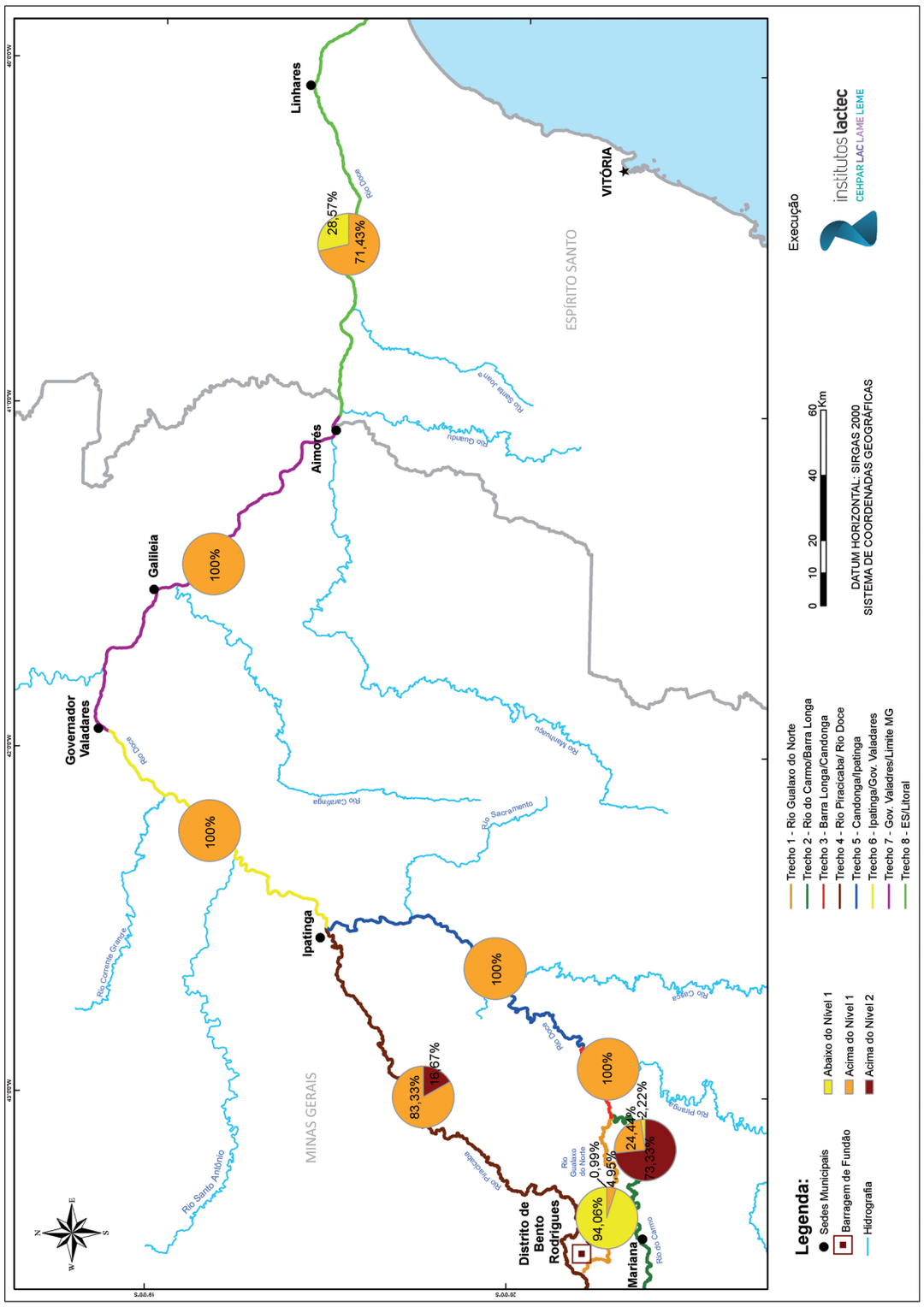


Figura 421 – Distribuição dos resultados de cádmio por trecho.

Figura 422 – Distribuição dos resultados de chumbo por trecho.

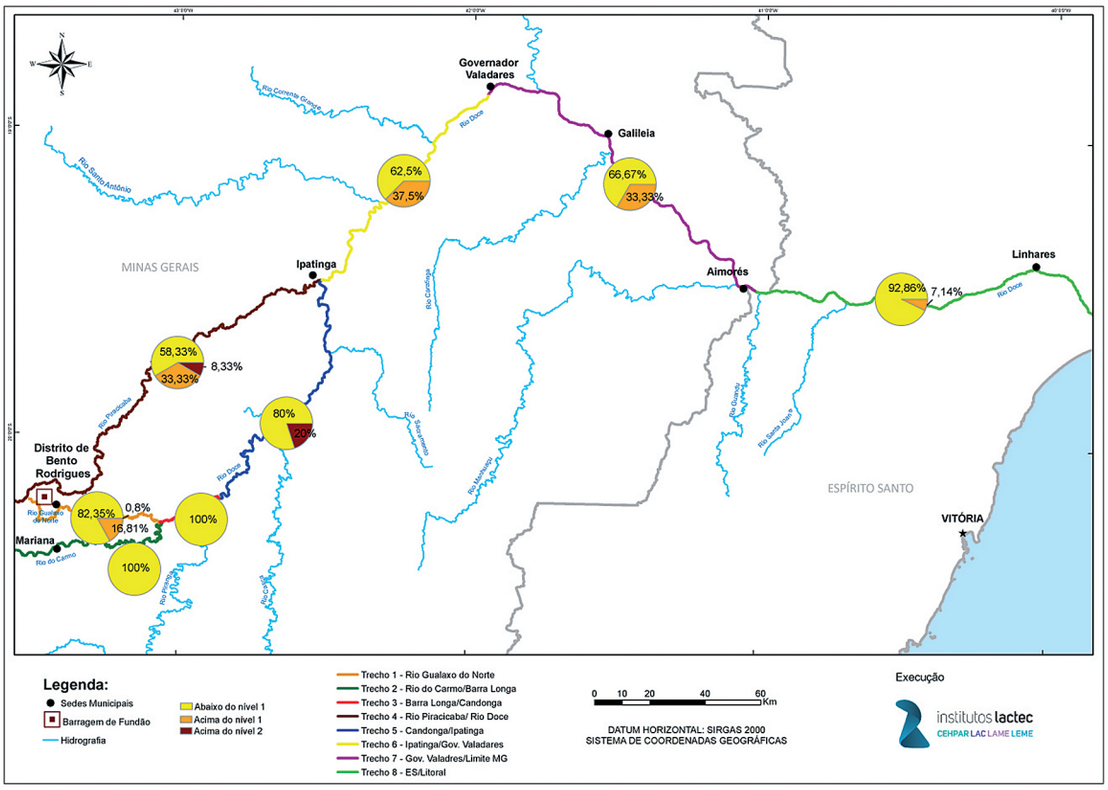
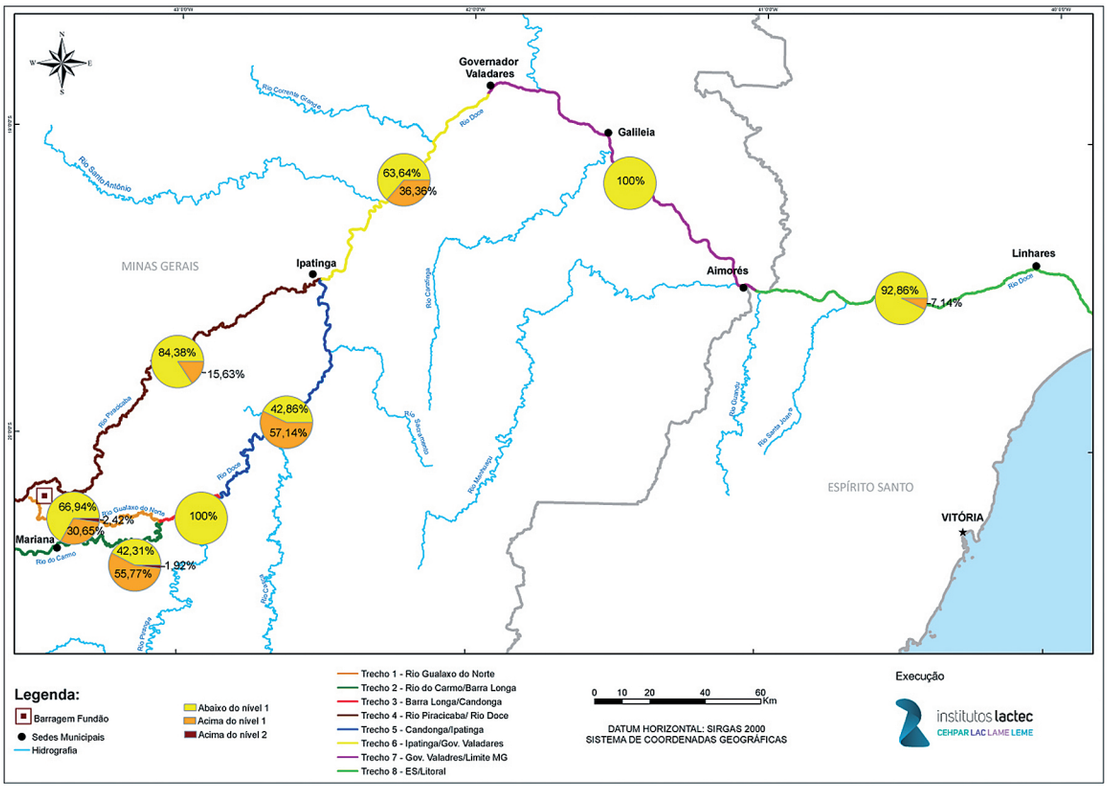


Figura 423 – Distribuição dos resultados de cobre por trecho.



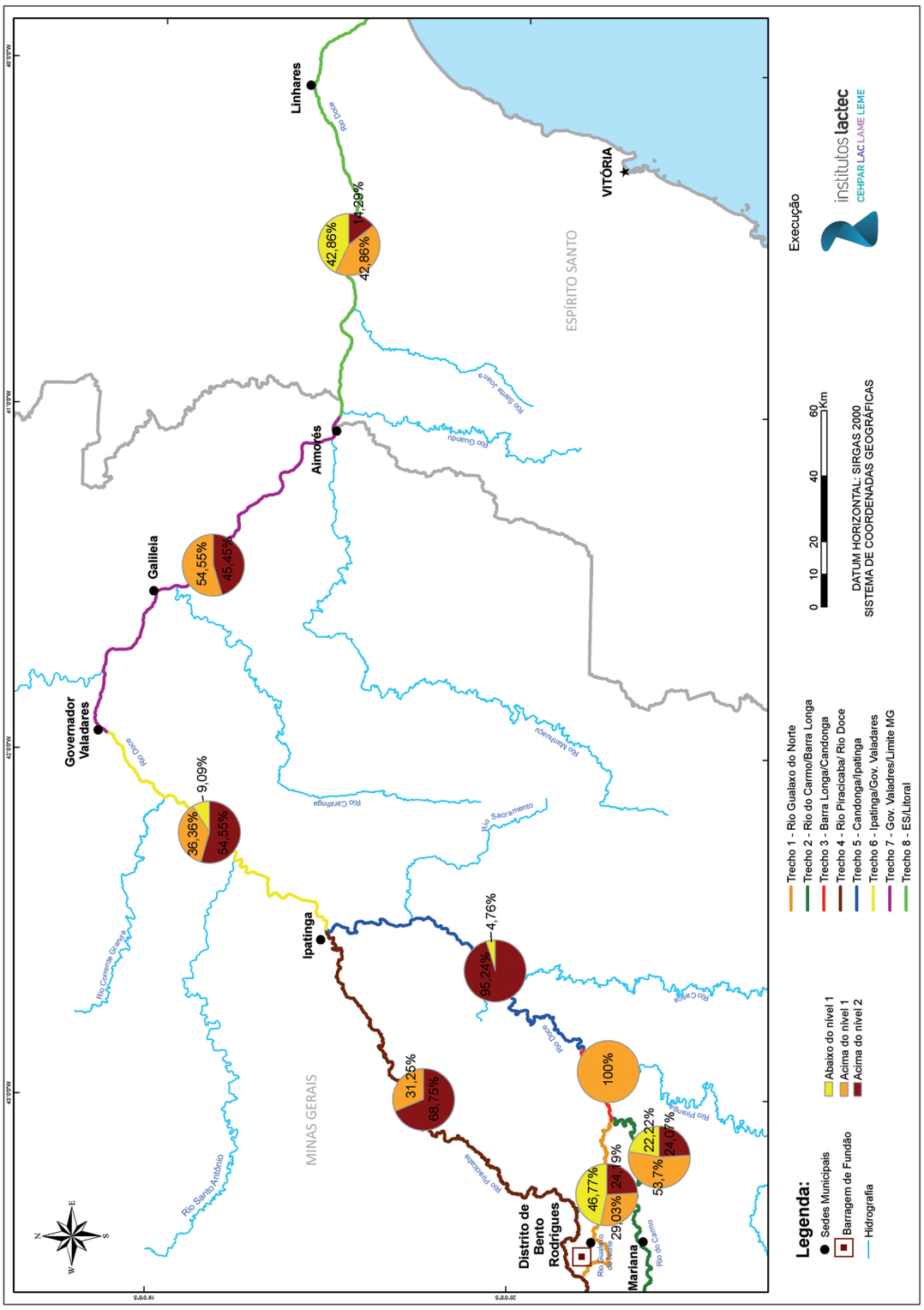


Figura 424 – Distribuição dos resultados de cromo por trecho.

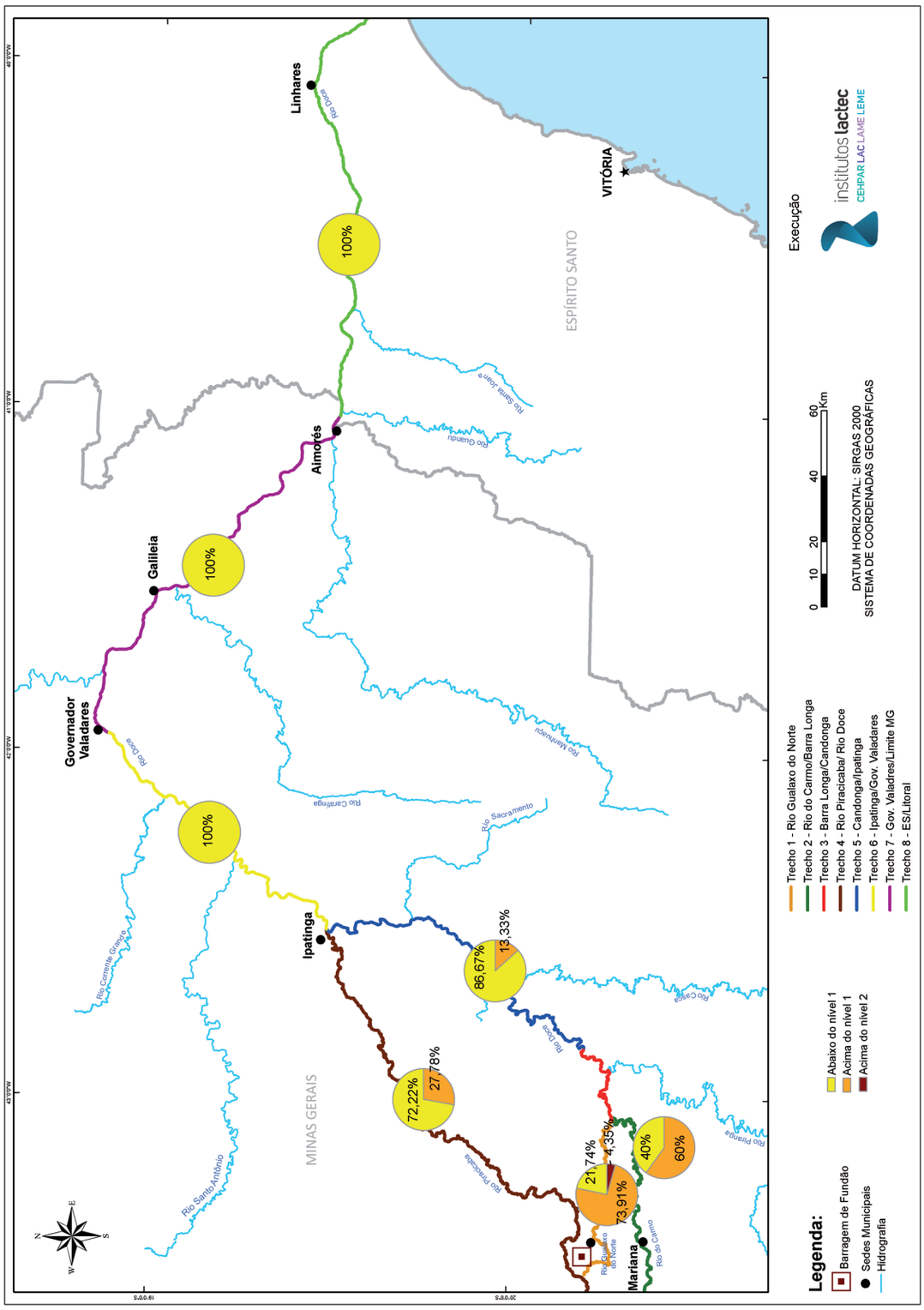


Figura 425 – Distribuição dos resultados de mercúrio por trecho.

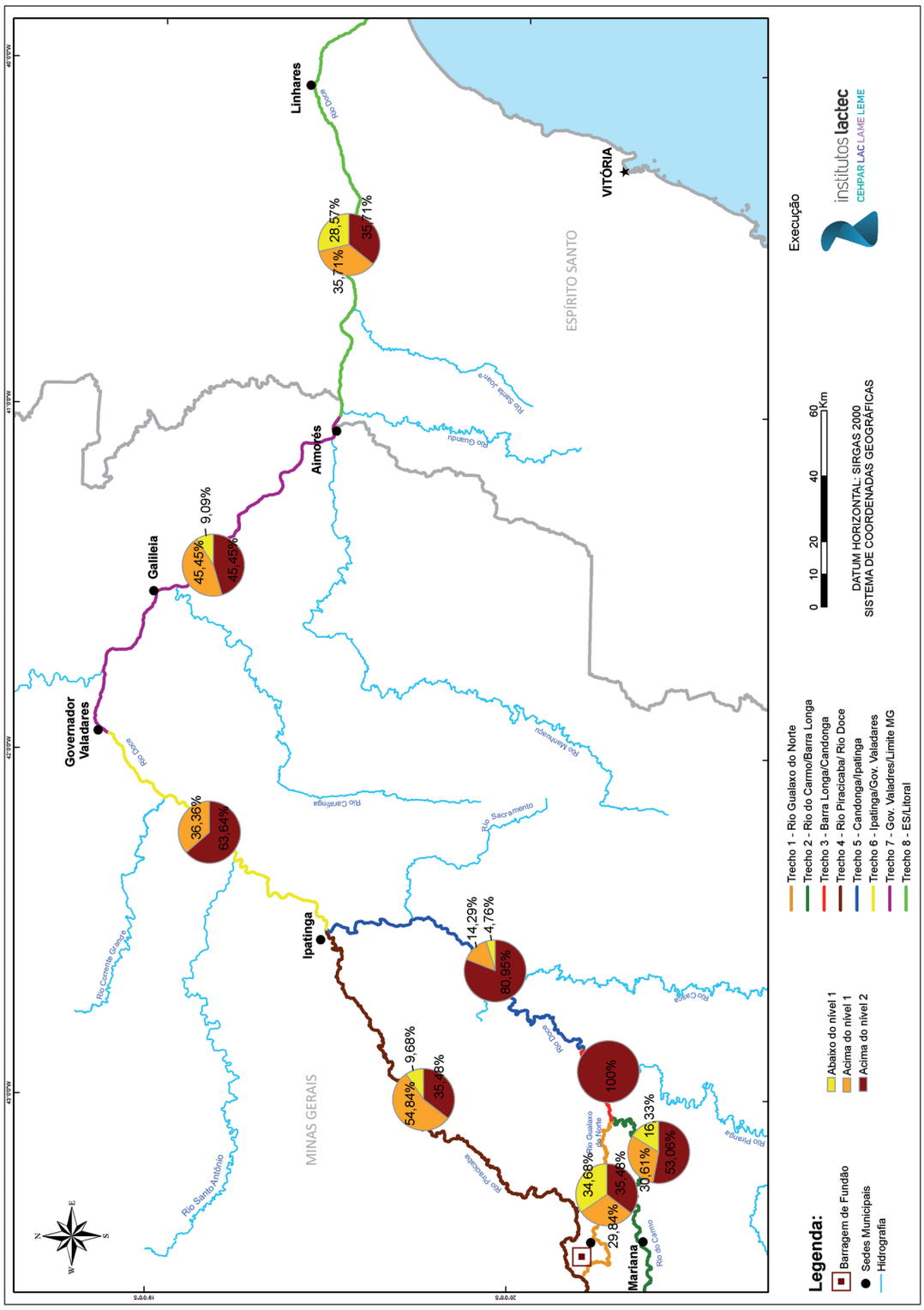


Figura 426 – Distribuição dos resultados de níquel por trecho.

Conforme mencionado na subseção 5.1.2.1.1, os elementos alumínio, ferro e manganês não apresentam limites ou níveis definidos na Resolução CONAMA nº 454/2012. Assim, para sua avaliação, foram criados intervalos de porcentagem para cada um, de acordo com os resultados obtidos. Esses intervalos foram definidos pela avaliação da dispersão dos dados e consoante a amplitude de cada variável, independentemente do trecho. Os resultados estão apresentados na Figura 427 a Figura 429. Para esses três elementos, não foram encontrados dados para o trecho 8 (do limite do estado de Minas Gerais até a foz do rio Doce).

Os valores de alumínio e ferro apresentados na Figura 427 e na Figura 428 representam a porcentagem desses elementos em 1 kg de massa seca de amostra. Os valores mais elevados foram observados nos trechos 5, 6 e 7. Nos demais, predominaram concentrações de até 5% desse metal nas amostras.

O ferro apresentou concentrações mais elevadas no trecho 1, com predominância da fração com aproximadamente 39% de ferro na composição da amostra. Os trechos 2 e 4 também revelaram concentrações mais elevadas do elemento nas amostras.

Quanto ao manganês, este foi avaliado conforme sua concentração em mg/kg. A primeira classe de concentração (até 1.000 mg/kg) foi definida a partir do valor máximo encontrado em solos na bacia do rio Doce, de acordo com dados da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM apud SOUZA et al., 2015). As maiores concentrações foram observadas nos trechos 2 e 7; além disso, sua concentração foi superior a 1.000 mg/kg na maioria das amostras analisadas.

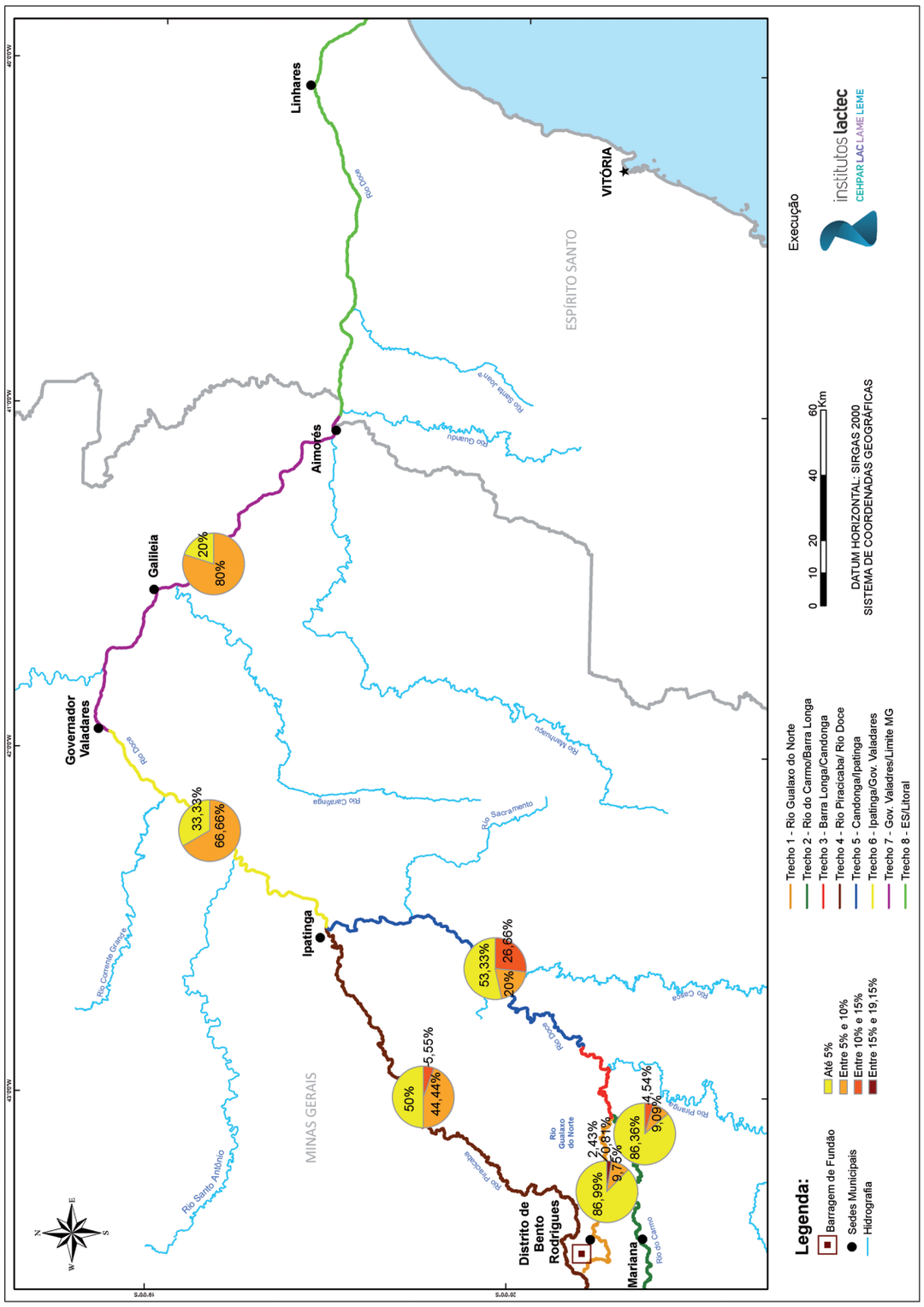


Figura 427 – Distribuição dos resultados de alumínio por trecho.

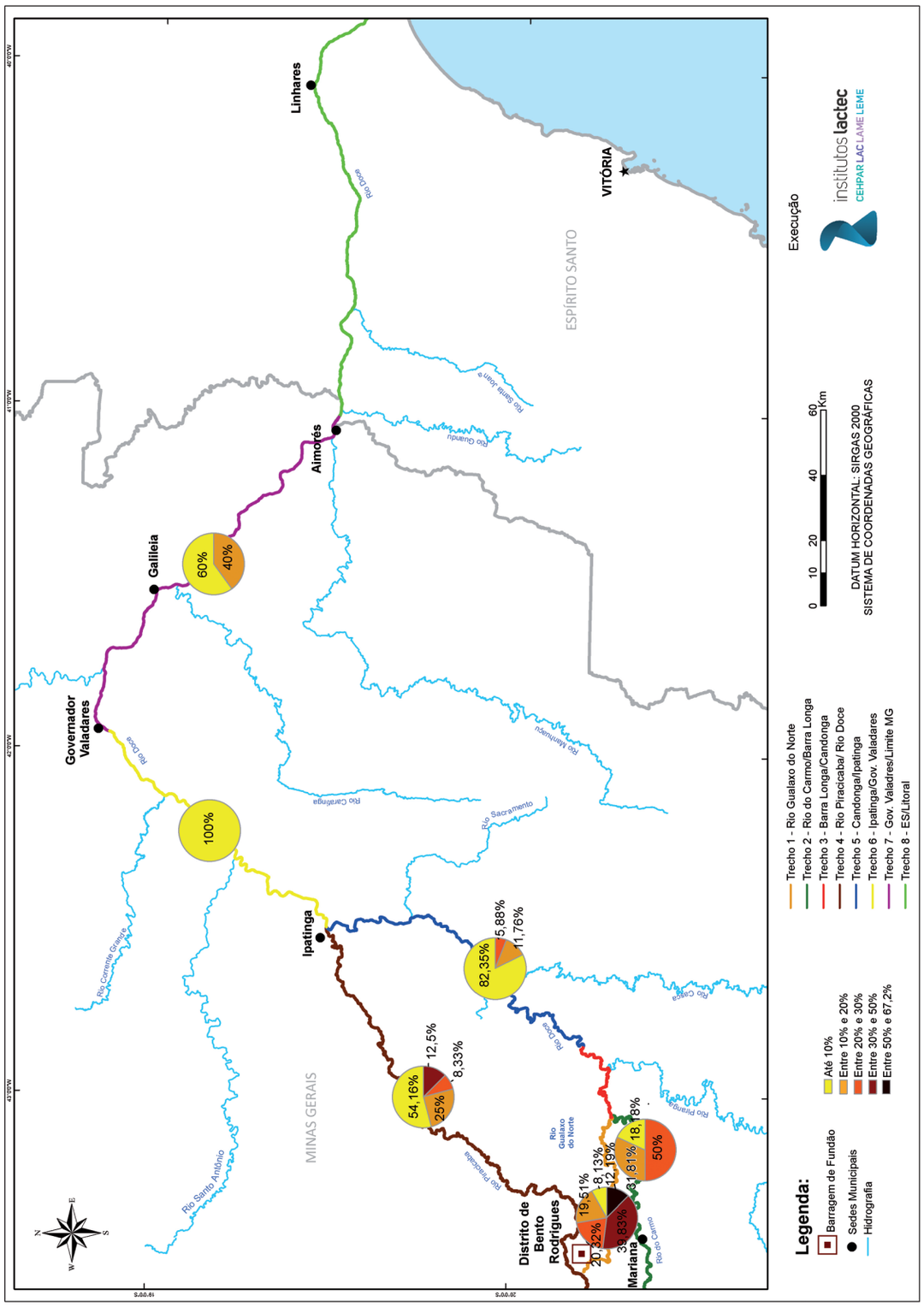
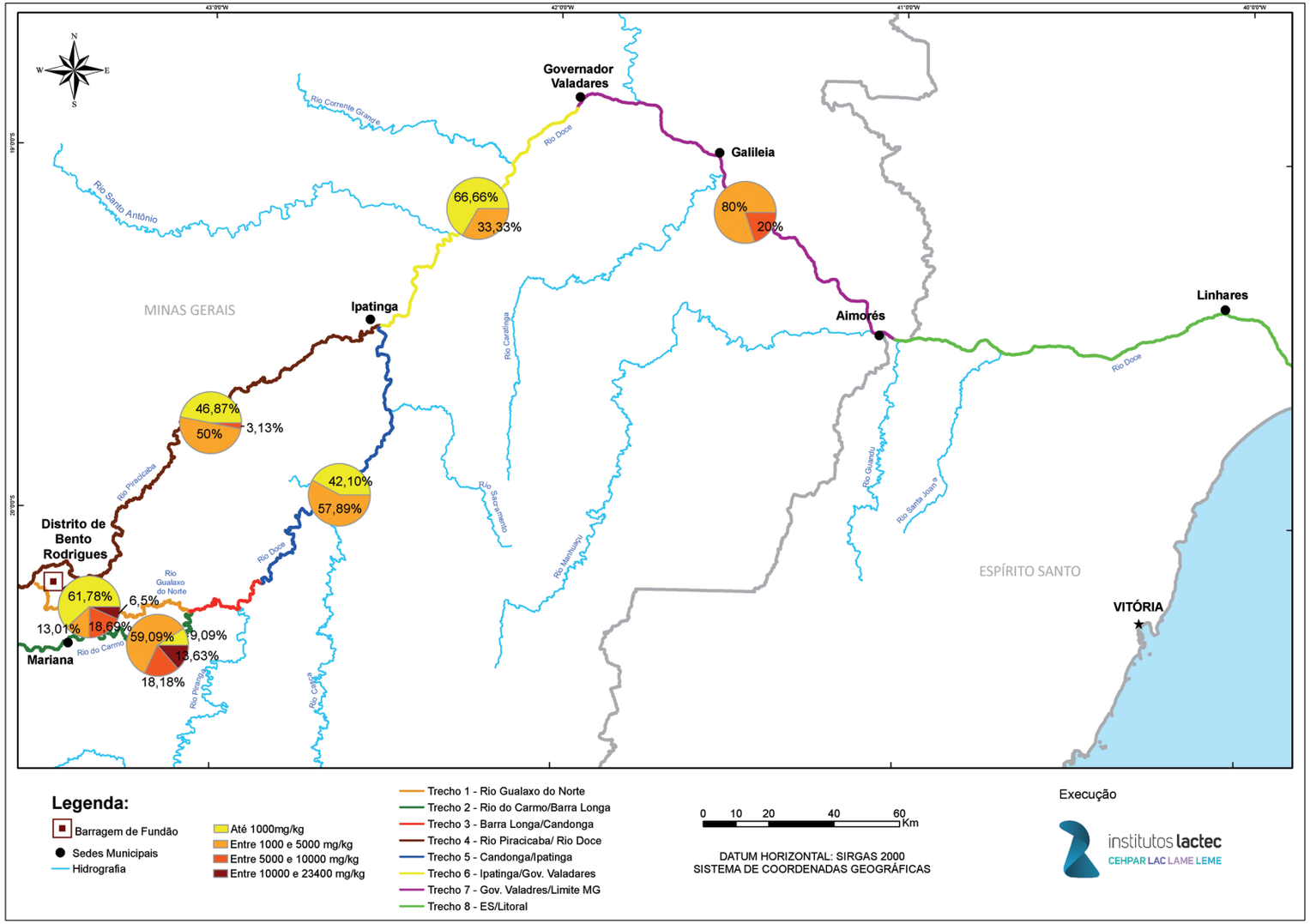


Figura 428 – Distribuição dos resultados de ferro por trecho.

Figura 429 – Distribuição dos resultados de manganês por trecho.



www.institutoslactec.org.br

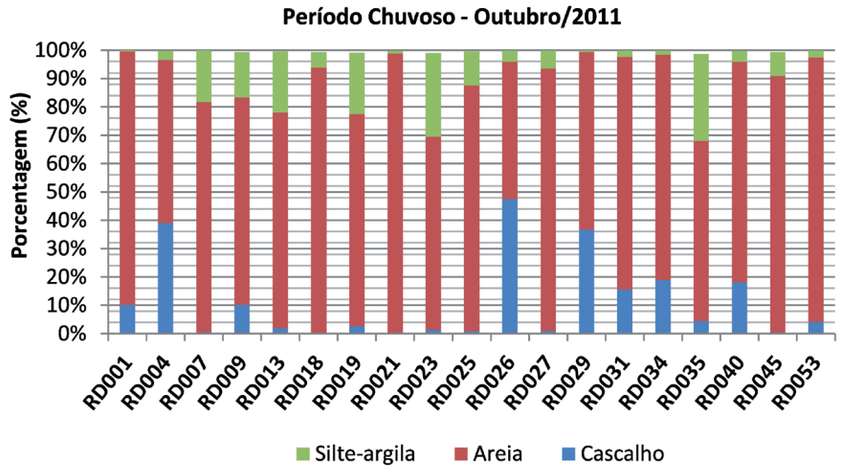
5.1.3.3 Análise granulométrica

A análise das dimensões das partículas é fundamental em estudo sedimentológico com enfoque ambiental. Entre as publicações dos autores analisados, apenas os trabalhos de Jordão et al. (1996), Santolin (2015) e Pacheco (2015) continham dados possíveis de serem analisados, os quais serão apresentados separadamente e, em seguida, espacialmente por trecho. Para a análise espacial, foi possível utilizar apenas os trabalhos de Jordão et al. (1996) e Pacheco (2015).

5.1.3.3.1 Dados granulométricos de Santolin (2015)

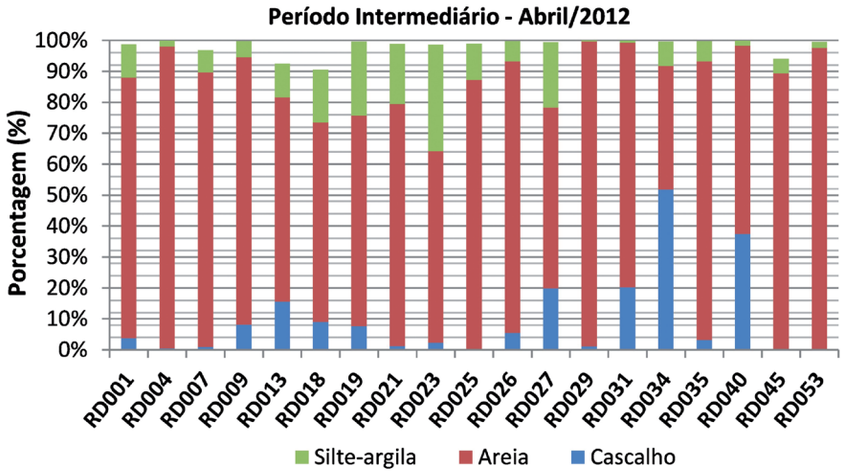
A Figura 430, a Figura 431 e a Figura 432 apresentam os resultados de granulometria apresentados por Santolin (2015), de acordo com os quais se pode observar que a maior parte dos sedimentos era formada por areia, com algumas variações sazonais.

Figura 430 – Granulometria obtida nas amostras no período seco.



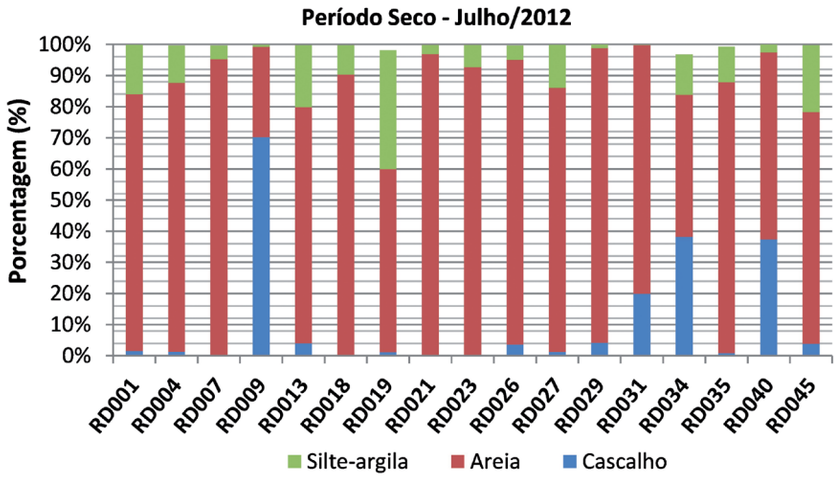
Fonte: Santolin (2015).

Figura 431 – Granulometria obtida nas amostras no período intermediário.



Fonte: Santolin (2015).

Figura 432 – Granulometria obtida nas amostras no período seco.



Fonte: Santolin (2015).

5.1.3.3.2 Dados granulométricos de Jordão et al. (1996)

A Tabela 151 apresenta os dados de granulometria das amostras analisadas por Jordão et al. (1996), nos períodos chuvoso e seco. Como pode ser observado, a grande maioria das amostras apresentou a fração de areia como predominante. Vale ressaltar que os pontos amostrais estão localizados no rio Piracicaba.

Tabela 151 – Dados granulométricos das amostras.

Distribuição (%) - Fevereiro (Chuvoso)				Distribuição (%) - Julho (Seco)			
Pontos	**Areia**	**Silte**	**Argila**	**Pontos**	**Areia**	**Silte**	**Argila**
1	51	47	2	1	84	15	1
2	84	15	1	2	91	8,5	0,5
2a	91	8	1	-	-	-	-
3	86	13	1	3	97	2,5	0,5
4	98	1	1	4	39	42	19
5	61	36	3	5	86	11	3
6	56	30	14	6	38	52	10
7	87	12	1	-	-	-	-
8	30	63	7	8	59	40	1
9	89	10	1	9	58	40	2

Fonte: Jordão et al. (1996).

5.1.3.3.3 Dados granulométricos de Pacheco (2015)

Os resultados de granulometria das amostras analisadas por Pacheco (2015) foram agrupados por ponto amostral, estando as médias dos valores apresentadas na Tabela 152, em que fica evidenciada a predominância da fração de areia em todos os pontos amostrais.

Tabela 152 – Dados granulométricos das amostras.

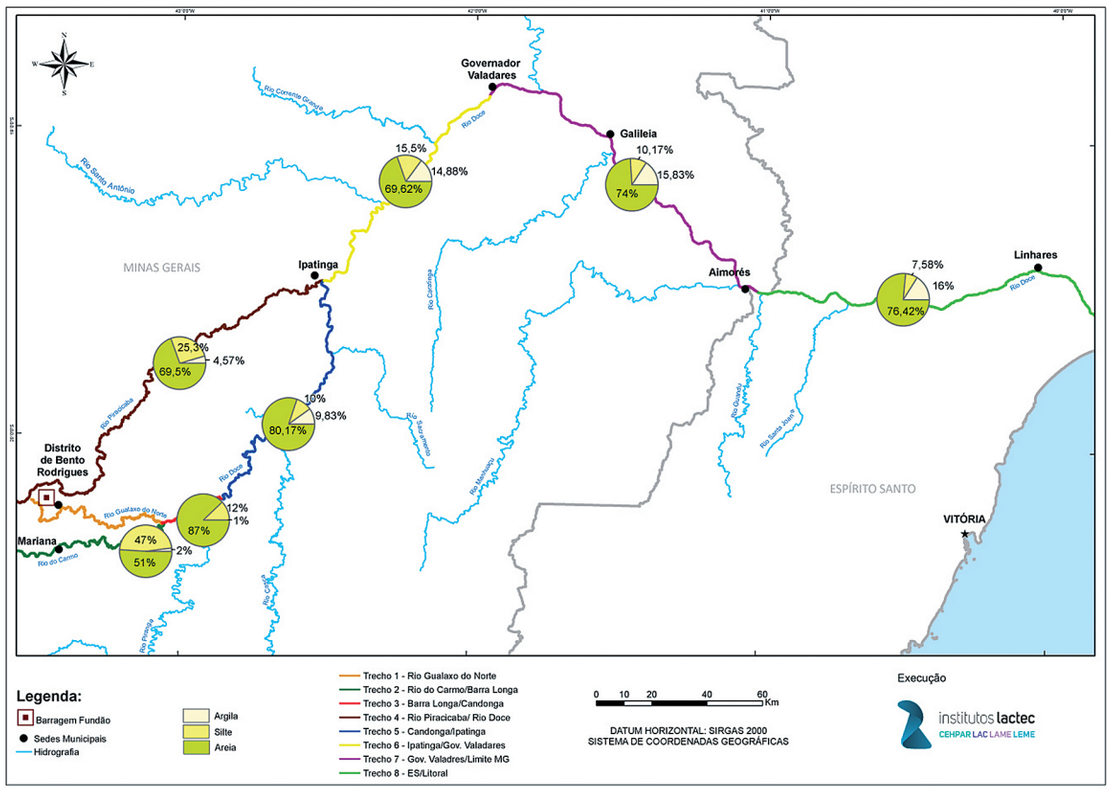
	Areia	Silte	Argila
S1	87%	4%	9%
S2	94%	4%	2%
S3	87%	7%	6%
S4	60%	20%	20%
S5	59%	21%	20%
S6	77%	12%	12%
S7	72%	12%	16%
S8	74%	11%	15%
S9	86%	8%	6%
S10	65%	12%	23%
S11	85%	3%	13%
S12	76%	7%	17%

Fonte: Pacheco (2015).

5.1.3.3.4 Distribuição espacial dos dados granulométricos

A distribuição espacial dos dados de granulometria está apresentada na Figura 433. Conforme pode ser observado, a fração de areia é predominante na grande maioria dos trechos analisados. No trecho 1, não foram encontrados dados passíveis de serem analisados, pela falta de dados brutos. No trecho 2, a fração de silte foi bastante significativa (47%). Durante a vistoria de campo, foi possível verificar, de forma visual e superficial, que, em geral, o tamanho das partículas do solo era menor nas regiões dos rios Gualaxo do Norte, Carmo, Piracicaba e Doce, até o município de Ipatinga. À medida que o rio avança para leste, o tamanho das partículas do solo tende a aumentar e apresentar característica de areia mais grosseira.

Figura 433 – Distribuição espacial dos dados granulométricos.

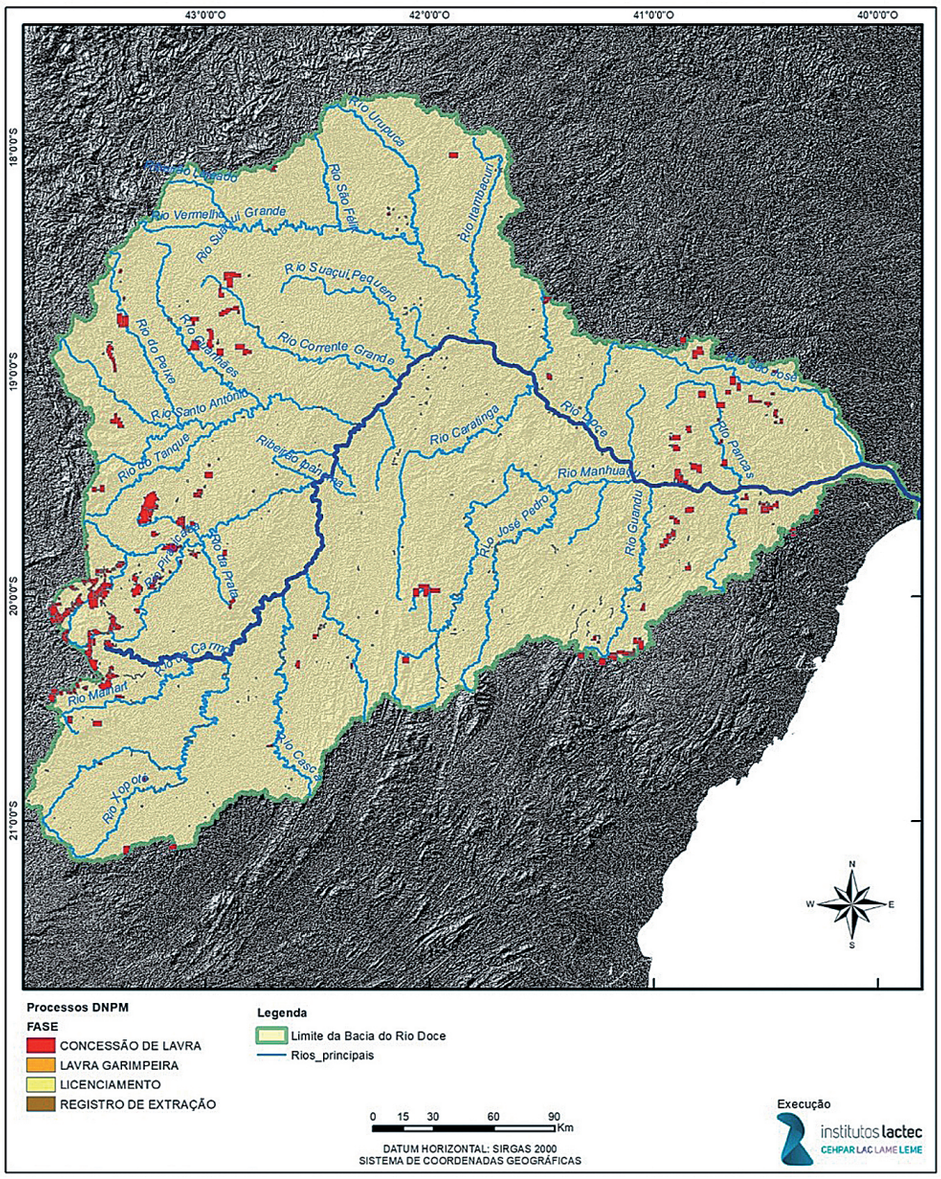


5.1.3.4 Processos Minerários

Conforme descrito na metodologia, a seleção das atividades minerárias teve por objetivo identificar diferentes contribuições que, eventualmente, podem ter alterado as propriedades químico-mineralógicas nos sedimentos presentes na área de estudo.

Os processos minerários selecionados encontram-se listados no Anexo D, e estão apresentados na Figura 434.

Figura 434 – Processos minerários obtidos na ANM, filtrados conforme a fase, presentes na bacia do rio Doce com a localização da bacia do rio Doce sobre imagem SRTM 30 m.



Dada a extensão da área de abrangência, para a representação em detalhe, esta foi dividida em quatro partes, conforme mostrado na Figura 435 e nos detalhes apresentados da Figura 437 até a Figura 439.

Figura 435 – Articulação das áreas separadas para o detalhe da visualização.

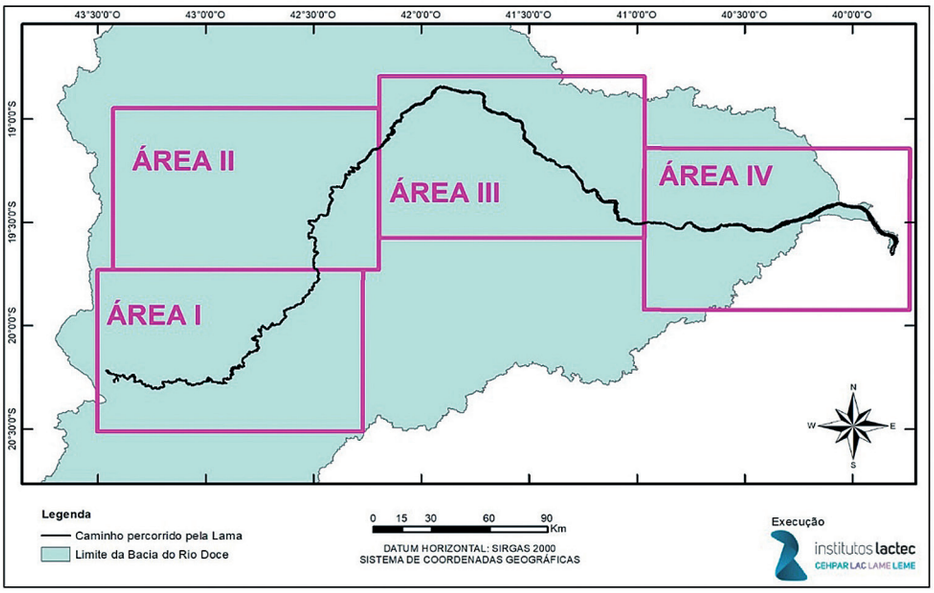


Figura 436 – Processos minerários conforme a substância em detalhe na Área I.

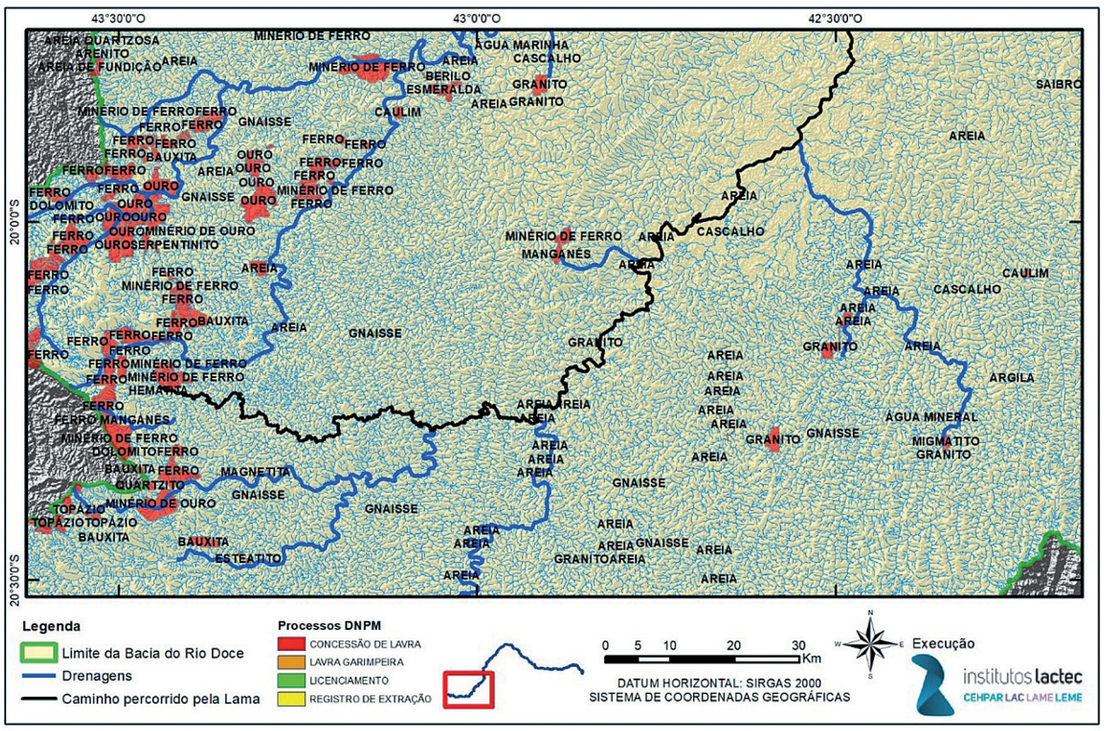


Figura 437 – Processos minerários conforme a substância em detalhe na Área II.

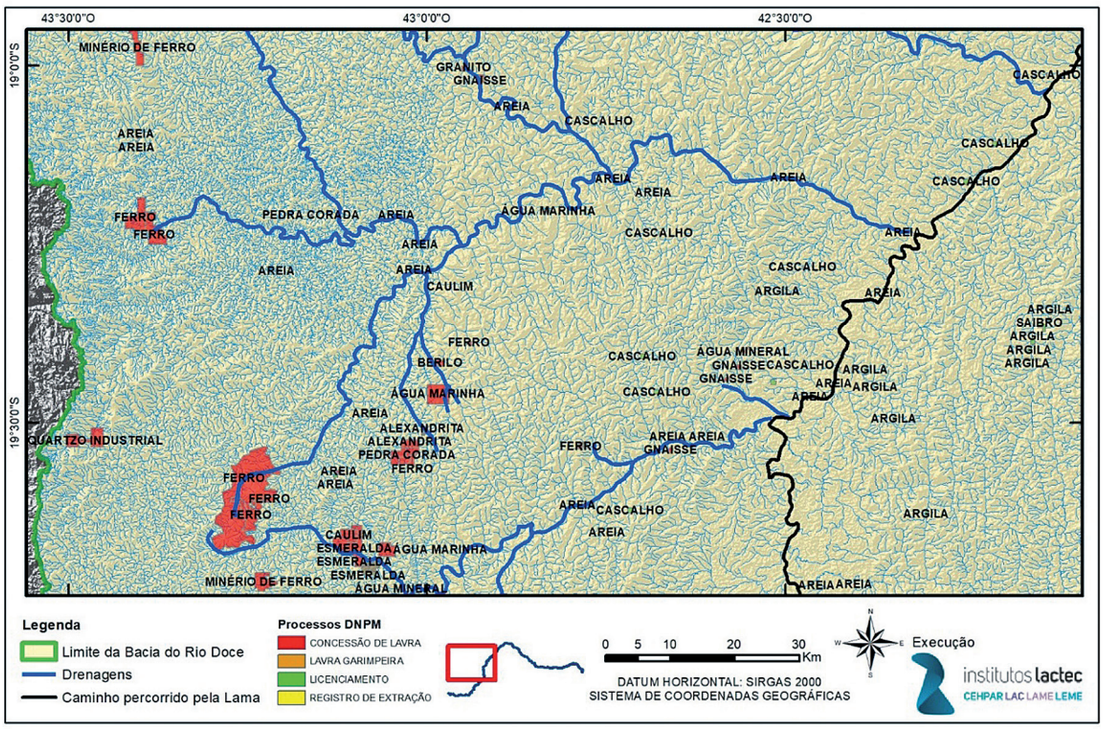


Figura 438 – Processos minerários conforme a substância em detalhe na Área III.

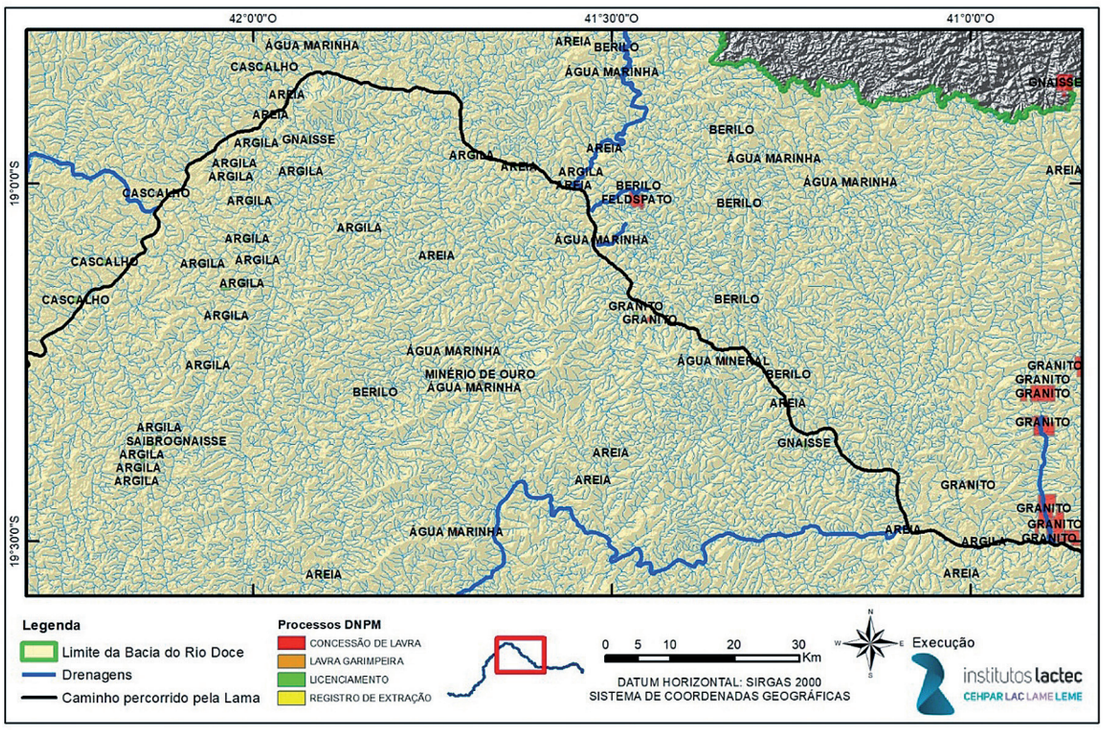
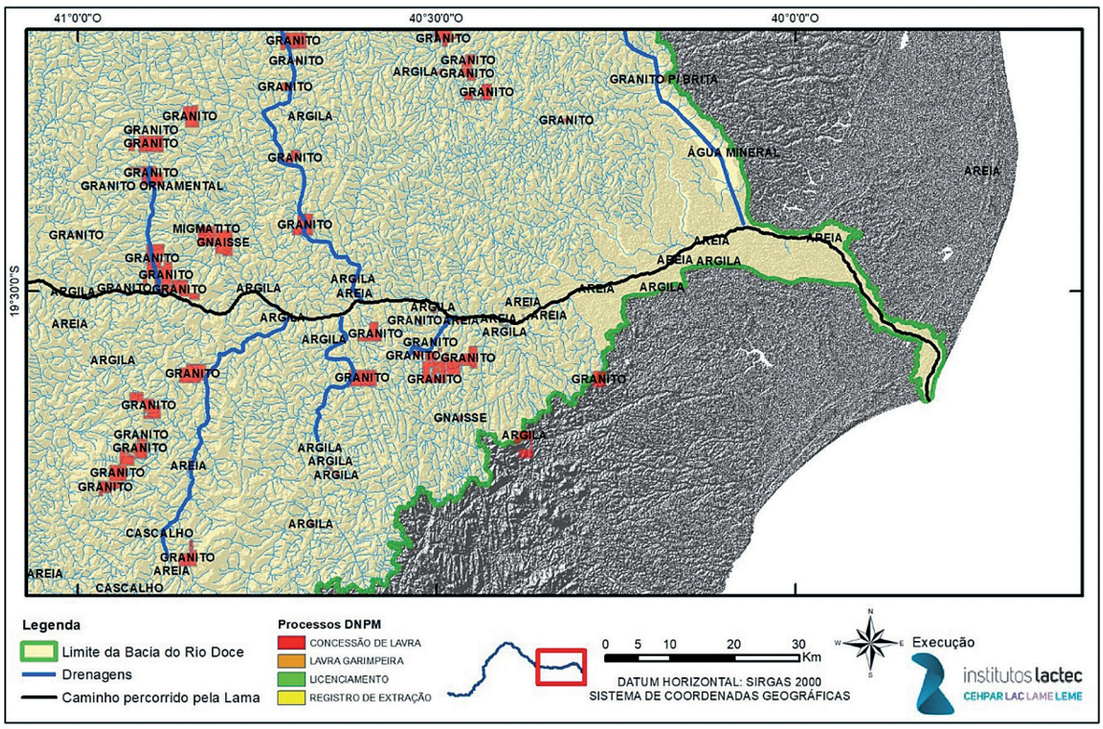


Figura 439 – Processos minerários conforme a substância em detalhe na Área IV.



Nesta seleção foi dado maior enfoque àqueles processos minerários cujos métodos exploratórios e bens minerais associados poderiam ter eventual contribuição no aporte de contaminantes para o rio Doce. Assim os dados foram filtrados de tal modo que são apresentados apenas os processos referentes a essas substâncias, em um total de 175, a saber: bauxita, cobre, ferro, ferro manganês, hematita, itabirito, magnetita, manganês, minério de alumínio, minério de cobre, minério de ferro, minério de ouro e ouro, conforme listados na Tabela 153 e na Figura 440.

Os demais processos minerários, como brita, pedras ornamentais, talco, entre outros, encontram-se listados na **Tabela 153**.

Tabela 153 – Seleção de processos minerários com relevância em potenciais contaminantes.

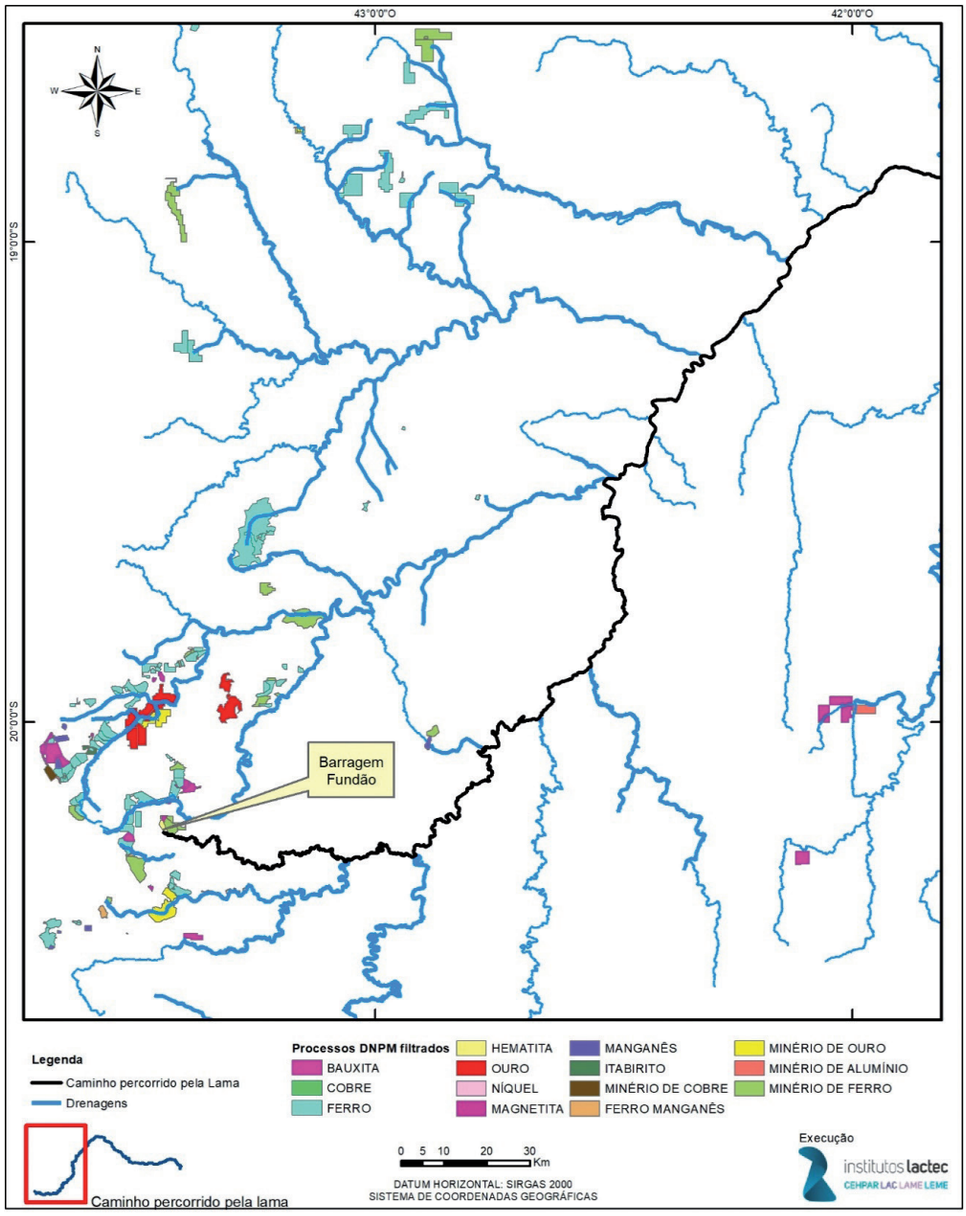
PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA	PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA
2916/1935	Vale S.A.	BAUXITA	**820763/1972**	Vale S.A.	FERRO
8774/1956	Vale S.A.	BAUXITA	**805228/1973**	Vale S.A.	FERRO
1183/1958	Vale S.A.	BAUXITA	**813883/1973**	Vale S.A.	FERRO
8624/1958	Alcan Alumínio P	BAUXITA	**813885/1973**	Vale S.A.	FERRO
2692/1959	Vale S.A.	BAUXITA	**800220/1974**	Vale S.A.	FERRO
5268/1959	Novelis do Brasil Ltda.	BAUXITA	**800299/1975**	Vale S.A.	FERRO
7182/1960	Vale S.A.	BAUXITA	**800941/1975**	Vale S.A.	FERRO
7248/1961	Vale S.A.	BAUXITA	**801204/1975**	Vale S.A.	FERRO
3071/1962	Minerações Brasileiras Reunidas	BAUXITA	**802189/1975**	Vale S.A.	FERRO
2680/1963	Vale S.A.	BAUXITA	**805280/1975**	Vale S.A.	FERRO
3022/1965	Novelis do Brasil Ltda..	BAUXITA	**806099/1975**	Vale S.A.	FERRO

PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA	PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA
4099/1967	Vale S.A.	BAUXITA	**800156/1976**	Vale S.A.	FERRO
4100/1967	Novelis do Brasil Ltda..	BAUXITA	**830915/1979**	Vale S.A.	FERRO
800631/1968	Novelis do Brasil Ltda..	BAUXITA	**830232/1983**	Baovale Mineração	FERRO
830232/1978	Bauminas Mineração	BAUXITA	**1978/1935**	Gerdau Açominas	FERRO
830684/1979	Minerações Brasileiras Reunidas	BAUXITA	**9608/1942**	Morgan Mineração	FERRO
830765/1980	Novelis do Brasil Ltda.	BAUXITA	**830370/1985**	Vale S.A.	FERRO
832398/1987	Mineração Curimbaba	BAUXITA	**807959/1976**	Vale S.A.	FERRO
832399/1987	Mineração Curimbaba Ltda.	BAUXITA	**5130/1956**	Anglo American	FERRO
832401/1987	Mineração Curimbaba Ltda.	BAUXITA	**1016/1963**	Vale S.A.	FERRO
831028/1989	Mineração Curimbaba Ltda.	BAUXITA	**6499/1961**	Vale S.A.	FERRO
1492/1940	Niquelminas S.A.	COBRE	**816313/1973**	Vale S.A.	FERRO
847/1935	Vale S.A.	FERRO	**43309/1956**	Companhia Siderúrgica	FERRO MANGANÊS
2312/1935	Vale S.A.	FERRO	**11207/1967**	Vale S.A.	FERRO MANGANÊS
2620/1935	Vale S.A.	FERRO	**1583/1940**	Vale S.A.	HEMATITA
847/1935	Vale S.A.	FERRO	**1076/1967**	Vale S.A.	HEMATITA
847/1935	Vale S.A.	FERRO	**815821/1973**	Vale S.A.	ITABIRITO
847/1935	Vale S.A.	FERRO	**7298/1954**	Cmp Ouro Aluvionar	MAGNETITA
847/1935	Vale S.A.	FERRO	**1099/1940**	Tratex Mineração	MANGANÊS
577/1936	Vale S.A.	FERRO	**1328/1940**	Chaffyr Ferreira	MANGANÊS
2917/1936	ESPOLIO DE SERAFIM DA SILVA GOMES	FERRO	**1362/1940**	Mineração N. Senhora do Sion Ltda.	MANGANÊS
2918/1936	Mineração Geral do Brasil S A	FERRO	**2371/1940**	Mineração N. Senhora do Sion	MANGANÊS
3237/1936	Somifra Sociedade Comercial e Industrial de Minérios	FERRO	**724/1942**	Gerdau Açominas	MANGANÊS
4644/1936	Vale S.A.	FERRO	**2809/1960**	Minerações Brasileiras	MANGANÊS
291701/1936	Topázio Imperial	FERRO	**805642/1971**	Mineração Carrilho	MANGANÊS
2295/1940	Mf Serviços Combinados de	FERRO	**5600/1945**	Nacional Minérios S.A.	MINÉRIO DE ALUMÍNIO
2354/1941	Vale S.A.	FERRO	**830707/1982**	Bauminas Mineração	MINÉRIO DE ALUMÍNIO
2355/1941	Vale S.A.	FERRO	**830585/1989**	Mineração Curimbaba	MINÉRIO DE ALUMÍNIO
6474/1948	Vale S.A.	FERRO	**1540/1960**	Mineração Constelação.	MINÉRIO DE COBRE
3305/1951	Vale S.A.	FERRO	**2308/1935**	Arcelormittal Brasil S.A.	MINÉRIO DE FERRO

PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA	PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA
2132/1952	Vale S.A.	FERRO	**2329/1935**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
3978/1953	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**2433/1935**	Espólio de Wiliam Turner	MINÉRIO DE FERRO
3979/1953	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**43312/1956**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
4625/1955	Vale S.A.	FERRO	**3963/1962**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
8298/1956	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**12360/1967**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
8300/1956	Cia. de Mineração Rio Acima	FERRO	**14051/1967**	Baovale Mineração	MINÉRIO DE FERRO
1107/1957	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**804321/1975**	Baovale Mineração	MINÉRIO DE FERRO
1108/1957	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**830467/1980**	Titânio Goiás Mineração	MINÉRIO DE FERRO
6896/1957	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**830889/1982**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
1182/1958	Vale S.A.	FERRO	**831588/1984**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
1184/1958	Vale S.A.	FERRO	**832199/1985**	Baovale Mineração	MINÉRIO DE FERRO
1834/1958	Setovi Mineração Ltda.	FERRO	**1100/1940**	Mineração Geral do	MINÉRIO DE FERRO
5441/1958	Vale S.A.	FERRO	**830172/2001**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
98/1959	Pedreira Um Valemix Micon Mineração	FERRO	**830359/2004**	Anglo American	MINÉRIO DE FERRO
3390/1959	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**830024/1993**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
7262/1959	Mineração Candonga S.A.	FERRO	**830696/1990**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
7416/1959	Vale S.A.	FERRO	**831097/1984**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
2808/1960	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**833409/2007**	Centaurus Brasil	MINÉRIO DE FERRO
4312/1960	Vale S.A.	FERRO	**831649/2004**	Centaurus Brasil	MINÉRIO DE FERRO
8337/1960	Vale S.A.	FERRO	**834106/2010**	Centaurus Brasil	MINÉRIO DE FERRO
1791/1961	Vale S.A.	FERRO	**832979/2002**	Anglo American	MINÉRIO DE FERRO
4655/1961	Mineração Marsil Ltda.	FERRO	**24331/1935**	Vale S.A.	MINÉRIO DE FERRO
5148/1961	Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	FERRO	**433092/1956**	Companhia Siderúrgica	MINÉRIO DE FERRO
6498/1961	Baovale Mineração S.A.	FERRO	**541/1935**	Passagem Mineração	MINÉRIO DE OURO

PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA	PROCESSO	REQUERENTE	SUBSTÂNCIA
8774/1961	Vale S.A.	FERRO	**830129/1982**	AngloGold Ashanti	MINÉRIO DE OURO
3951/1962	Extracomil Ltda.	FERRO	**830463/1983**	Mineração Serras do Oeste Ltda.	MINÉRIO DE OURO
1246/1963	Vale S.A.	FERRO	**833472/2003**	AngloGold Ashanti	MINÉRIO DE OURO
1320/1963	P. Amaral Sobreira	FERRO	**831815/2011**	Heli Moura de Paula ME	MINÉRIO DE OURO
1463/1963	AngloGold Ashanti	FERRO	**834290/2011**	Carlos Ulisses	MINÉRIO DE OURO
3763/1963	Vale S.A.	FERRO	**834291/2011**	Carlos Ulisses	MINÉRIO DE OURO
2185/1965	Vale S.A.	FERRO	**834292/2011**	Carlos Ulisses	MINÉRIO DE OURO
1721/1967	Samarco Mineração S.A.	FERRO	**834293/2011**	Carlos Ulisses	MINÉRIO DE OURO
2263/1967	Vale S.A.	FERRO	**834294/2011**	Carlos Ulisses	MINÉRIO DE OURO
2264/1967	Samarco Mineração S.A.	FERRO	**834295/2011**	Carlos Ulisses	MINÉRIO DE OURO
2265/1967	Samarco Mineração S.A.	FERRO	**831093/2015**	Wagner José Silva	MINÉRIO DE OURO
3499/1967	Vale S.A.	FERRO	**8432/1965**	Mineração Níquel	NÍQUEL
3500/1967	Vale S.A.	FERRO	**2887/1936**	AngloGold Ashanti	OURO
3501/1967	Vale S.A.	FERRO	**336/1973**	Mineração Morro Velho Ltda.	OURO
816173/1968	Vale S.A.	FERRO	**830351/1979**	AngloGold Ashanti	OURO
811973/1969	Vale S.A.	FERRO	**830353/1979**	AngloGold Ashanti	OURO
811975/1969	Vale S.A.	FERRO	**830943/1979**	AngloGold Ashanti	OURO
811976/1969	Vale S.A.	FERRO	**830767/1981**	AngloGold Ashanti	OURO
811977/1969	Vale S.A.	FERRO	**2429/1935**	AngloGold Ashanti	OURO
811979/1969	Vale S.A.	FERRO	**337/1973**	Mineração Morro Velho.	OURO
820326/1971	Vale S.A.	FERRO	**338/1973**	Mineração Morro Velho	OURO
800704/1972	Vale S.A.	FERRO	**339/1973**	Mineração Morro Velho	OURO
816623/1972	Vale S.A.	FERRO			
820753/1972	Vale S.A.	FERRO			
820762/1972	Vale S.A.	FERRO			

Figura 440 – Processos da ANM selecionados conforme a substância potencialmente contaminante.



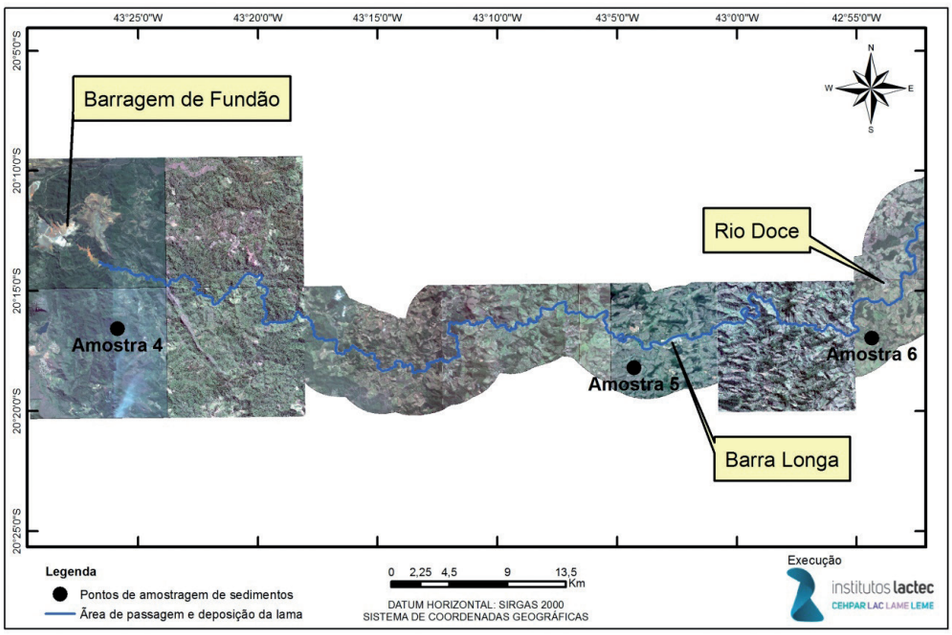
A identificação dessas atividades serviu de subsídio para a seleção dos pontos de coleta de sedimentos de corrente, a serem realizados nas fases subsequentes deste estudo, que auxiliarão no entendimento e na caracterização dos processos de transporte e de sedimentação de materiais provenientes dessas atividades de extração.

5.1.3.5 Pontos de controle

Os pontos de controle, como já mencionado, referem-se aos locais para amostragem em drenagens com influência de atividades antrópicas, situadas a jusante das atividades minerárias descritas no item anterior, porém em área não afetada pela passagem e deposição da lama.

Essas amostras foram coletadas nos rios Gualaxo do Norte (amostra 4 e 4A), Carmo (amostra 5) e Piranga (amostra 6), conforme a Figura 441.

Figura 441 – Localização das amostras de sedimento dos pontos de controle.

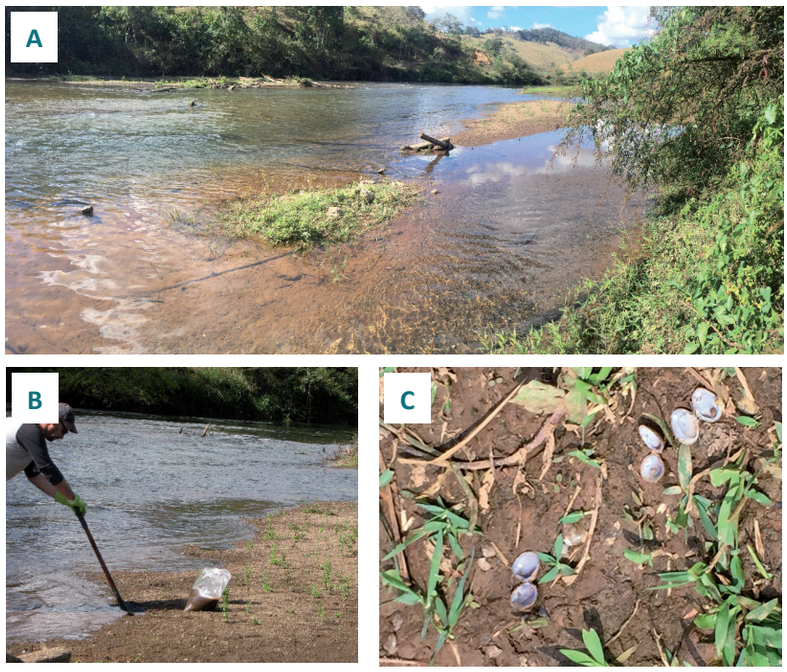


Amostra 04 – coordenadas UTM 23S – 663843 / 7757157 – localizada em ponte sobre o rio Gualaxo do Norte (Figura 442A), em estrada secundária que liga Mariana a Bento Rodrigues. O ponto de coleta caracteriza-se por apresentar influência tanto de minerações quanto de cidades a montante, ou seja, em área antropizada. Nas proximidades, a montante encontra-se o lixão da cidade de Mariana. Nesse local foram realizadas duas coletas, sendo uma nos terraços marginais (amostra 4) com o uso de pá (Figura 442B) e outra (amostra 4A) na calha central com uso de draga tipo Petersen (Figura 442C).

Figura 442 – A) Ponte sobre o rio Gualaxo do Norte onde foram coletadas amostras na calha do rio com a draga tipo Petersen – amostra 4A; B) Local da coleta de sedimentos nos terraços marginais – amostra 4B e C) Detalhe da draga Petersen e amostra.

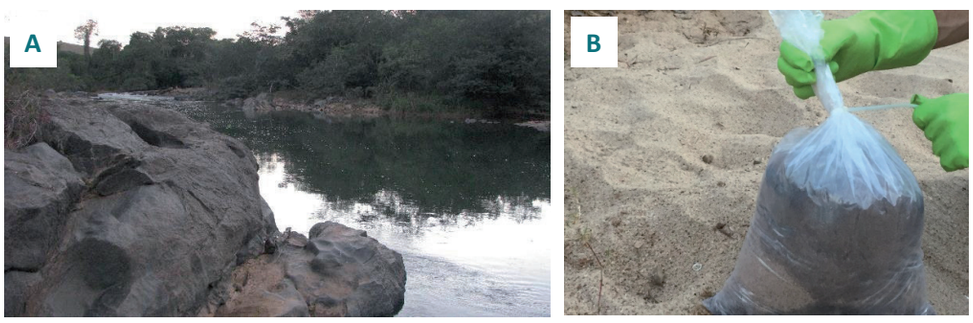
Amostra 05 – coordenadas UTM 23S – 701368 / 7753754 – localizada no rio do Carmo, nas proximidades da cidade de Barra Longa. O ponto de coleta caracteriza-se por apresentar-se em um trecho do rio com presença de corredeiras (Figura 443A), sedimentos de fundo com pedregulhos (Figura 443B) e conchas bivalve (Figura 443C). A montante ocorrem tanto minerações quanto cidades, ou seja, em área antropizada.

Figura 443 – A) Visão geral do rio do Carmo B) Ponto de coleta da amostra 05 no rio do Carmo e C) Presença de conchas nas marginais.



Amostra 06 – coordenadas UTM 23S – 718686 / 7755831 – localizada no rio Piranga, nas proximidades da cidade Rio Doce. O ponto de coleta caracteriza-se por apresentar leito rochoso (gnaisses) (Figura 444A), com sedimentos arenosos (Figura 444B) retidos entre os blocos de rocha. Nesse local há influência tanto de minerações quanto de cidades a montante, ou seja, em área antropizada.

Figura 444 – A) Visão geral do rio Piranga onde foi coletada a amostra 06 e B) Sedimento acondicionado.



Com base nessas amostras, assim como para o *background*, foram inicialmente realizados ensaios de FRX, DRX e, posteriormente, ICP-MS. Os resultados de FRX encontram-se expressos na **Tabela 154** a **Tabela 157**.

Tabela 154 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX da amostra 04, expressas na forma de óxidos.

Amostra	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)	MnO (%)	Ti_2O (%)	K_2O (%)	MgO (%)	P_2O_5 (%)	CaO (%)	BaO (%)	Perda ao Fogo (%)
Amostra 04	62,6	33,8	1,6	0,8	0,2	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,78

Tabela 155 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX da amostra 04A, expressas na forma de óxidos.

Amostra	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)	MnO (%)	Ti_2O (%)	K_2O (%)	MgO (%)	BaO (%)	CaO (%)	P_2O_5 (%)	Perda ao Fogo (%)
Amostra 04A	66,8	26,5	2,5	2,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,62

Tabela 156 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX da amostra 05, expressas na forma de óxidos.

Amostra	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)	K_2O (%)	MgO (%)	CaO (%)	MnO (%)	Na_2O (%)	Ti_2O (%)	P_2O_5 (%)	As_2O_3 (%)	Perda ao Fogo (%)
Amostra 05	86,9	5,9	4,1	0,9	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	<0,1	1,18

Tabela 157 – Resultados obtidos para a caracterização química elementar por FRX da amostra 06, expressas na forma de óxidos.

Amostra	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	K_2O (%)	CaO (%)	Ti_2O (%)	Na_2O (%)	MgO (%)	ZrO_2(%)	P_2O_5 (%)	MnO (%)	Perda ao Fogo (%)
Amostra 06	86,2	5,7	2,8	1,1	1,0	0,8	0,8	0,5	0,1	0,1	0,2	0,89

Os resultados preliminares obtidos a partir do FRX, para a amostra 04 de sedimento do rio Gualaxo do Norte, coletada nos terraços marginais, indicam que a composição química elementar é composta, principalmente por SiO_2 e Fe_2O_3 sendo ainda verificados menores teores de óxido de Al_2O_3 e MnO além de traços de Ti_2O, K_2O, MgO, P_2O_5, CaO, óxido de cálcio e BaO. A composição mineralógica obtida pelo DRX apontou os minerais de quartzo e hematita.

A amostra 04A coletada no canal desta drenagem indica que a composição química elementar é composta, principalmente, por óxido de SiO_2 e Fe_2O_3, sendo ainda verificados menores teores de Al_2O_3 e MnO, além de traços de Ti_2O, K_2O, MgO, BaO, CaO e P_2O_5. A composição mineralógica obtida pelo DRX apontou os minerais de quartzo, hematita e magnetita.

Para a amostra 05 do rio do Carmo, os resultados preliminares obtidos a partir do FRX indicam que a composição química elementar é composta, principalmente, por SiO_2, sendo ainda verificados menores teores de c Fe_2O_3 e Al_2O_3, além de traços de K_2O, MgO, CaO e MnO, Na_2O, Ti_2O, P_2O_5 e As_2O_3. A composição mineralógica obtida pelo DRX apontou os minerais de quartzo e magnesita.

Para a amostra 06 do rio do Piranga, nas proximidades da cidade de Rio Doce, os resultados preliminares obtidos a partir do FRX indicam que a composição química elementar é composta, principalmente, por SiO_2, sendo ainda verificados menores teores de Al_2O_3 e Fe_2O_3, além de traços de K_2O, CaO, Ti_2O, Na_2O, MgO, ZrO_2, K_2O e MnO. A composição mineralógica obtida pelo DRX apontou os minerais de quartzo e provável presença de minerais do grupo do plagioclásio. Por DRX, foram identificadas as principais fases químicas e mineralógicas. Os certificados dessas análises estão apresentados no Anexo A e Anexo B.

Foram realizados ensaios químicos por ICP, que foram divididos em duas partes, conforme apresenta a **Tabela 158** e **Tabela 159**. Os certificados correspondentes são apresentados no Anexo C.

A distribuição dos elementos por amostra é apresentada na **Figura 445**.

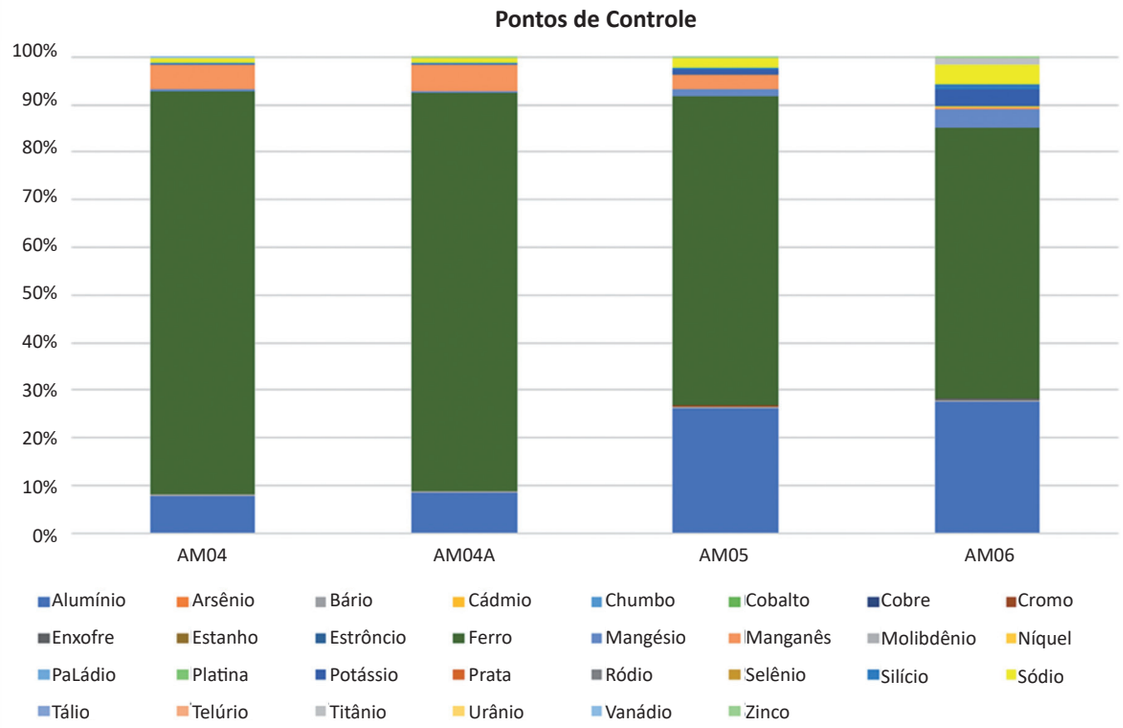
Tabela 158 – Caracterização química por ICP da amostra 04, 05 e 06 – parte 1.

	Alumínio total (mg/kg)	Arsênio total (mg/kg)	Bário total (mg/kg)	Cádmio total (mg/kg)	Chumbo total (mg/kg)	Cobalto total (mg/kg)	Cobre toal (mg/kg)	Cromo total (mg/kg)	Enxofre total (mg/kg)	Estanho total (mg/kg)	Estrôncio total (mg/kg)	Ferro total (mg/kg)	Magnésio total (mg/kg)
AM04	3404	17,45	135,4	<0,02	4,37	3,23	9,08	8,04	22,5	<0,5	4,67	38190	135
AM04A	3384	15,87	148,5	<0,02	<0,1	4,36	14,43	10,4	19,2	<0,5	3,93	33910	121
AM05	5575	24,42	59,82	<0,02	2,25	2,55	3,54	19,7	18,9	<0,5	4,12	14340	329
AM06	3203	<0,1	22,18	<0,02	1,99	3,27	4,79	11,9	17,8	<0,5	5,59	6600	441

Tabela 159 – Caracterização química por ICP da amostra 04, 05 e 06 – parte 2.

	Manganês total (mg/kg)	Molibdênio total (mg/kg)	Níquel total (mg/kg)	Paládio total (mg/kg)	Platina total (mg/kg)	Potássio total (mg/kg)	Prata total (mg/kg)	Ródio total (mg/kg)	Selênio total (mg/kg)	Silício total (mg/kg)	Sódio total (mg/kg)	Tálio total (mg/kg)	Telúrio total (mg/kg)	Titânio total (mg/kg)	Urânio total (mg/kg)	Vanádio total (mg/kg)	Zinco total (mg/kg)
AM04	2371	<0,5	<0,1	<0,5	<0,5	46	<0,1	<0,5	<0,1	131	468	<0,1	<0,5	57,3	<0,02	5,79	7,2
AM04A	2243	<0,5	10,02	<0,5	<0,5	46,3	<0,1	<0,5	<0,1	106	438	<0,1	<0,5	43,3	<0,02	4,62	9,27
AM05	690	<0,5	5,1	<0,5	<0,5	197	<0,1	<0,5	<0,1	75,9	457	<0,1	<0,5	57,3	<0,02	7,17	5,26
AM06	69,8	<0,5	5,05	<0,5	<0,5	420	<0,1	<0,5	<0,1	101	492	<0,1	<0,5	171	<0,02	12,6	10,4

Figura 445 – Distribuição dos elementos em porcentagem dos pontos de controle amostra 4, amostra 4a, amostra 05 e amostra 06.



A coleta e análise destes pontos de *background*, dos pontos de controle e demais pontos amostrais a serem executados ao longo do diagnóstico permitirão uma caracterização geoquímica da bacia e, principalmente, servirão de subsídio para posteriormente diferenciar as origens desses materiais, no que se refere às características naturais, daquelas antropizadas e daquilo que de fato estaria associado aos rejeitos provenientes do rompimento da barragem de fundão.

5.2 MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS

Os macroinvertebrados bentônicos são invertebrados que habitam os substratos de fundo de ambientes aquáticos e, em pelo menos parte de seu ciclo de vida, ficam retidos em redes com abertura de malha entre 200 e 500 µm (ROSENBERG; RESH, 1993). Em ambiente límnico, apresentam grande diversidade de organismos, compreendendo espécies de Insecta, Annelida, Nemertinea, Crustacea, Mollusca, Turbellaria e Bryozoa, com diversas formas e modos de vida, habitando os diferentes substratos e *habitats* do rio (SILVEIRA, 2004).

5.2.1 ÁREA DE ABRANGÊNCIA

A formação da linha-base para os macroinvertebrados bentônicos teve por foco principal a área de passagem e acumulação da lama, entretanto foram levantados dados de toda a bacia do rio Doce possibilitando conhecimento mais profundo do grupo na região e embasamento para o diagnóstico ambiental.

5.2.2 METODOLOGIA

Para a definição da linha-base, foi realizado extenso levantamento bibliográfico em trabalhos publicados (artigos científicos, dissertações, teses, capítulos de livros, livros, resumos de congressos) e não publicados (estudos e relatórios de impacto ambiental, relatórios técnicos, dados de monitoramento e documentos em geral), buscando aqueles relacionados aos macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Doce com data de coleta de dados anterior ao rompimento da barragem. Monitoramentos ambientais que continham análise de macroinvertebrados bentônicos no escopo tiveram os dados solicitados a instituição responsável pelo monitoramento.

Para o levantamento de artigos científicos publicados, foi feita busca nas plataformas de artigos científicos Web of Science, Scopus, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google Acadêmico. Os termos utilizados nas buscas foram: rio Doce/*Doce River*, combinados a macroinvertebrado(s)/*macroinvertebrate*(s) ou aos principais grupos de macroinvertebrados aquáticos límnicos (Insecta, Diptera, chironomidae, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Coleoptera, Hemiptera, Odonata, Collembola, Lepidoptera, Neuroptera, Megaloptera, Annelida, Oligochaeta, Hirudinea, Nemertinea, Crustacea, Mollusca, Turbellaria e Bryozoa), por meio das seguintes palavras: "('rio doce' OR 'doce river') AND (macroinvertebrado* OR macroinvertebrate* OR insecta OR diptera OR chironomidae OR ephemeroptera OR plecoptera OR trichoptera OR coleoptera OR hemiptera OR odonata OR collembola OR lepidoptera OR neuroptera OR megaloptera OR annelida OR oligochaeta OR hirudinea OR nemertinea OR crustacea OR mollusca OR turbellaria OR bryozoa)".

Resumos de congressos, capítulos de livros e livros foram incluídos no levantamento bibliográfico quando estavam nos resultados da busca no Google Acadêmico ou quando citados dentro de outro trabalho e considerados relevantes, assim como eventuais artigos científicos que não foram relacionados nas buscas anteriores.

Todos os trabalhos relacionados nos resultados das buscas tiveram seu título e resumo analisados e, quando considerados relevantes, foram analisados na íntegra e tiveram seus dados compilados. Foram entendidos como relevantes todos os trabalhos relacionados (direta ou indiretamente) aos macroinvertebrados aquáticos na bacia do rio Doce.

5.2.3 RESULTADOS

Entre os estudos analisados integralmente, três foram considerados extremamente relevantes, por apresentarem resultados de monitoramento contínuo de macroinvertebrados bentônicos na área de passagem e deposição da lama, iniciados antes do desastre: o monitoramento de qualidade de água da UHE Risoleta Neves (VISÃO AMBIENTAL, 2013; 2014; 2015; 2016); o Programa de Monitoramento Limnológico da UHE Eliezer Batista (MICRA, 2013; 2014; 2016a; 2016b) e o Programa de Monitoramento Limnológico da UHE Baguari (MICRA, 2018). Outros oito estudos também foram considerados relevantes por apresentar pelo menos um dos pontos de coleta na área de passagem e deposição da lama (BARBOSA et al., 1997; CALLISTO; MAYRINK; MORETTI, 2001; MARQUES; BARBOSA, 2001; BARBOSA; MARTINS, 2002; MAYRINK et al., 2002; MORETTI; CALLISTO, 2005; BARBOSA; MARTINS, 2006; SOUZA, 2007).

No monitoramento de qualidade de água da UHE Risoleta Neves é realizado o monitoramento de macroinvertebrados bentônicos trimestralmente em nove pontos, sendo cinco no rio Doce e um no rio Piranga, um no rio do Carmo, um no Córrego dos Gambás, um no Córrego das Lajes (Tabela 160). Foram disponibilizados dados desde setembro de 2012 a março de 2018, os dados anteriores ao rompimento da barragem de Fundão foram considerados.

O programa de monitoramento limnológico da UHE Eliezer Batista apresenta monitoramento de macroinvertebrados bentônicos trimestral com seis pontos no rio Doce (Tabela 160). Foram disponibilizados dados desde 2001 até 2017, entretanto foram considerados para compor a linha-base os dados a partir de 2011 até setembro de 2015, buscando a padronização dos dados, pontos de coleta e a consulta aos laudos das análises (disponibilizados a partir de 2011).

No programa de monitoramento limnológico da UHE Baguari é realizado o monitoramento de macroinvertebrados bentônicos trimestralmente com sete pontos no rio Doce (Tabela 160), sendo quatro pontos a montante da UHE Baguari e dois a jusante. Foram disponibilizados os dados entre julho de 2012 e janeiro de 2018, os dados anteriores ao rompimento da barragem de Fundão foram considerados.

Tabela 160 – Localização dos pontos de coleta dos programas de monitoramento realizados na UHE Baguari, UHE Risoleta Neves e UHE Aimorés.

UHE	Rio	Localização	Coordenadas (UTM – 23K)
Risoleta Neves	Rio Piranga	A montante da confluência do Carmo com o rio Piranga. Coordenadas.	7.756.555 -718.300
Risoleta Neves	Rio do Carmo	A montante da confluência com o rio Piranga.	7.756.620 -716.040
Risoleta Neves	Rio Doce	A montante do remanso do lago da UHE Risoleta Neves, na barra do córrego Engenho, início da zona de remanso.	7.758.525 - 717.375
Risoleta Neves	Rio Doce	Final do remanso do lago da UHE Risoleta Neves, sob a ponte do rio Doce (MG-123), em sua margem direita a aproximadamente 430 metros a jusante da foz do córrego Gambá.	7.759.615 -721.085
Risoleta Neves	Rio Doce	na área do lago, aproximadamente 690 metros a montante da barragem e 350 metros de distância da margem esquerda do lago (superfície e fundo).	7.764.275 - 723.755
Risoleta Neves	Rio Doce	A jusante da barragem e a montante da foz do rio do Peixe.	7.765.150 - 724.660 E
Risoleta Neves	Rio Doce	Final do remanso do lago da UHE Risoleta Neves, sob a ponte do rio Doce (MG-123), em sua margem esquerda a aproximadamente 80 metros a jusante da foz do córrego das Lages.	7.759.730 - 720.900
Risoleta Neves	Córrego dos Gambás	Córrego dos Gambás, a 200 metros a montante de sua foz no lago da UHE Risoleta Neves.	7.759.000 -721.150
Risoleta Neves	Córrego das Lajes	a montante de sua foz com o lago da UHE Risoleta Neves e a jusante do ponto de lançamento da ETE de rio Doce.	7.759.813 - 720.614
Baguari	Rio Doce	Montante UHE – Imediatamente acima do eixo de barramento do reservatório.	801826 – 7893237

UHE	Rio	Localização	Coordenadas (UTM – 23K)
Baguari	Rio Doce	Montante UHE – Na área central do reservatório, a jusante do Distrito de Pedra Corrida.	798952 – 7887859
Baguari	Rio Doce	Montante UHE – A 20 km do barramento imediatamente a jusante de Periquito.	790849 – 7879647
Baguari	Rio Doce	Montante UHE – A jusante da confluência do córrego do Otto com o rio Doce.	791637 – 7880498
Baguari	Rio Doce	Montante UHE – Entre confluência do rio Santo Antônio e município de Periquito.	783005 – 7870771
Baguari	Rio Doce	Jusante UHE – Jusante do distrito de Baguari, a montante da ilha dos Pimentas.	0811259 – 7903474
Baguari	Rio Doce	Jusante UHE – Jusante do barramento, logo após o canal de fuga.	0802990 – 7894627
Eliezer Batista	Rio Doce	captação do SAAE em Baixo Guandu.	7.841.770 - 288.905
Eliezer Batista	Rio Doce	Aimorés.	7.843.983 - 285.012
Eliezer Batista	Rio Doce	Jusante da barragem principal.	7.847.658 - 279.874
Eliezer Batista	Rio Doce	AABB de Resplendor/MG.	7.871.201 - 262.675
Eliezer Batista	Rio Doce	Boa Sorte – a montante de Resplendor.	7.869.284 - 258.486
Eliezer Batista	Rio Doce	Aldeia indígena de Krenak.	7.871.201 - 253.904

Fonte: Adaptado de Visão Ambiental (2013), Micra (2013) e Micra (2018).

Outros 39 estudos resultantes da busca foram analisados integralmente por conter dados dos macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Doce, entretanto fora da área de passagem e deposição da lama (CARVALHO, 1980; MACHADO, 1980; ROCHA et al., 1990; GALDEAN et al., 1999; MARCO JR., 1999; MARQUES; FERREIRA; BARBOSA, 1999; MARQUES; BARBOSA; CALLISTO, 1999; CALLISTO; GOULART, 2000; CALLISTO; MARQUES; BARBOSA, 2000; GALDEAN; CALLISTO; BARBOSA, 2000; ALEXANDER; FREITAS; QUATE, 2001; BARBOSA; CALLISTO; GALDEAN, 2001; BARBOSA; MARTINS, 2001; CALLISTO; MORENO; BARBOSA, 2001; COTA et al., 2002; FERREIRA-PERUQUETTI; MARCO JR., 2002; ALENCAR et al., 2004; CALLISTO et al., 2004; RIETZLER; LOBATO; GUIMARÃES, 2004; MARQUES, 2004; GOULART; CALLISTO, 2005; MARCO JR.; LATINI; RESENDE, 2005; MORETTI; LOYOLA, 2005; VIDIGAL et al., 2005; COSTA; OLIVEIRA; CALLISTO, 2006; MARQUES, 2006; FRANÇA; CALLISTO, 2007; NATAL et al., 2007; GIACOMINI; MARCO JR., 2008; RAMOS, 2008; DRUMMOND et al., 2009; VASCONCELOS; ESPÍRITO-SANTO; BARBOSA, 2009; LIGEIRO et al., 2010; MARQUES et al., 2011; BEZERRA-NETO et al., 2012; CALLISTO; GONÇALVES; LIGEIRO, 2016; MAGALHÃES; GUARDA; SANTOS, 2016; RODRIGUES; BUENO, 2016; ÁGUILA et al., 2018).

Além desses, diversos outros trabalhos foram analisados, incluindo relatórios de estudo para licenciamento de empreendimentos na área de interesse (como EIA/RIMA), porém não foram selecionados para análise por não conterem dados relevantes para a formação da linha-base.

5.2.3.1 Composição da comunidade antes do desastre

De acordo com os estudos realizados antes do rompimento da barragem de Fundão, existe o registro de 124 taxa de macroinvertebrados aquáticos na área de passagem e deposição da lama, considerando os diferentes níveis taxonômicos de identificação utilizados nos trabalhos analisados (Tabela 161). A maior riqueza encontrado foi de insetos, com 82% da riqueza total, conforme esperado. Os Chironomidae (Diptera) e *Corbicula* (Bivalvia: Corbiculidae) foram os organismos amostrados com maior frequência nos estudos analisados nos diferentes pontos de coleta e períodos amostrados, assim como e *Melanoides tuberculata* (Gastropoda: Thiaridae) e *Macrobrachium* (Decapoda: Palaemonidae), os Oligochaeta (Annelida) também foi frequentes em alguns estudos. Chironomidae (Diptera), *Melanoides tuberculata* (Gastropoda: Thiaridae) e *Corbicula* (Bivalvia: Corbiculidae) também se destacam por apresentarem grandes densidades em, seguidos de *Macrobrachium* (Decapoda: Palaemonidae) e Oligochaeta (Annelida).

Tabela 161 – Lista de taxa de macroinvertebrados aquáticos com registro na área de passagem e deposição da lama antes do rompimento da barragem de Fundão.

FILO ANNELIDA
CLASSE OLIGOCHAETA
CLASSE HIRUDINEA
Ordem Rhynchobdellida
Família Glossiphonidae
FILO ARTHROPODA
CLASSE MALACOSTRACA
Ordem Decapoda
Família Palaemonidae
Macrobrachium
CLASSE INSECTA
Ordem Diptera
Família Ceratopogonidae
Família Chironomidae
Família Culicidae
Culex
Família Dixidae
Família Empididae
Família Tabanidae
Família Tipulidae
Família Psychodidae
Família Simuliidae
Família Stratiomyidae
Família Muscidae
Ordem Coleoptera
Família Dryopidae
Família Dytiscidae
Família Elmidae
Ancyronyx
Heterelmis
Macrelmis
Microcylloepus
Neoelmis
Planocerus
Stenelmis
Xenelmis
Família Gyrinidae
Gyretes
Família Haliplidae
Família Hebridae
Família Hydrophilidae
Família Psephenidae
Família Linmichidae
Família Noteridae
Ordem Hemiptera
Família Belostomatidae
Belostoma
Lethocerus
Família Corixidae
Tenagobia
Família Gelastocoridae
Gelastocoris
Família Gerridae
Brachymetra
Limnogonus
Rheumatobates

Trepobates
Família Naucoridae
Limnocoris
Familia Nepidae
Ranatra
Família Notonectidae
Martarega
Notonecta
Família Vellidae
Rhagovelia
Ordem Ephemeroptera
Família Baetidae
Apobaetis
Americabaetis
Baetis
Baetodes
Callibaetis
Camelobaetidius
Cloeodes
Família Caenidae
Família Ephemeridae
Família Leptohyphidae
Leptohyphes
Traverhyphes
Tricorythodes
Família Leptophlebiidae
Farrodes
Família Polymirtacyidae
Ordem Odonata
Família Aeshnidae
Anax
Família Calopterygidae
Hetaerina
Família Coenagrionidae
Argia
Epipleoneura
Família Corduliidae
Família Gomphidae
Aphylla theodorina
Cyanogomphus sp.
Phyllocycla sp.
Phyllogomphoides sp.
Progomphus
Tibiogomphus

Zonophora
Família Lestidae
Família Libellulidae
Anatya
Brechmorhoga
Dasythemis
Dythemis
Elasmothemis
Erythemis
Idiataphe
Macrothemis
Miathyria
Micrathyria
Libellula
Orthemis
Pantala
Perithemis
Família Protoneuridae
Epipleoneura
Idioneura
Neoneura
Ordem Trichoptera
Família Brachycentridae
Família Glossosomatidae
Família Helicopsychidae
Helicopsyche
Família Hidropsychidae
Macrosternum
Smicridea
Família Hydroptilidae
Família Odontoceridae
Família Leptoceridae
Nectopsyche
Família Leptoceridae
Nectopsyche
Oecetes
Triplectides
Família Philopotamidae
Chimarra
Ordem Lepidoptera
Pyralidae
Ordem Plecoptera
Família Perlidae
Anacroneuria

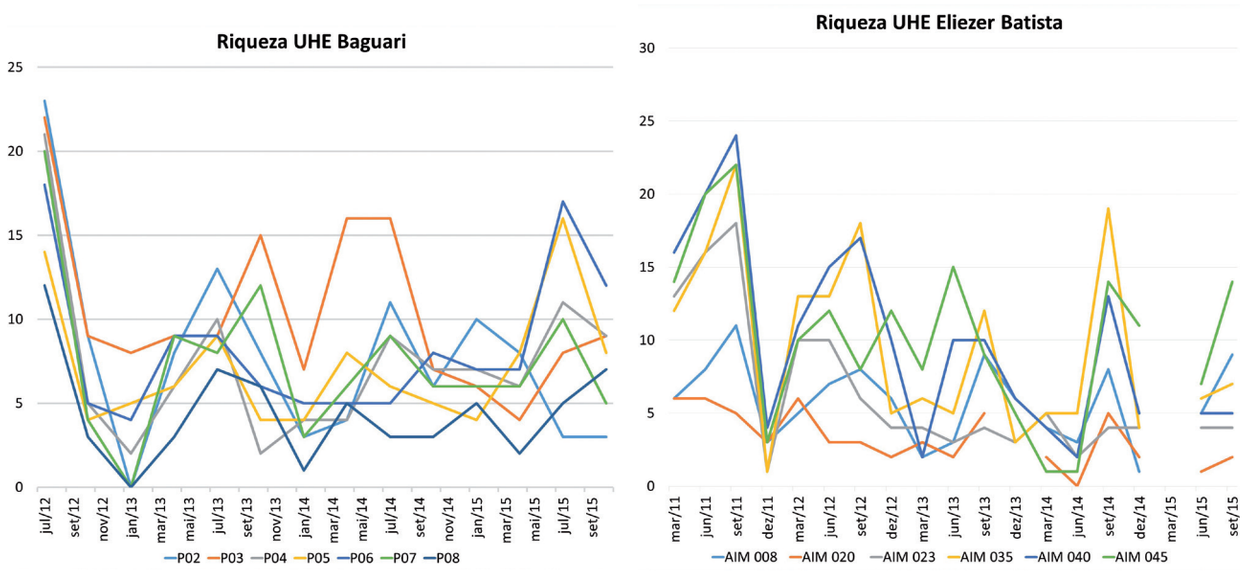
Ordem Orthoptera
Família Gryllidae
Família Gryllotalpidae
CLASSE CHELICERATA
Ordem Araneae
Ordem Acari
FILO MOLLUSCA
CLASSE BIVALVIA
Ordem Veneroida
Família Corbiculidae
Corbicula
Corbicula fluminea
Família Pisididae
Pisidium
Família Sphaeriidae
CLASSE GASTROPODA
Família Ampulariidae
Pomacea

Família Ancylidae
Família Hidrobiidae
Família Lymnaeidae
Família Physidae
Aplexa
Physa
Família Planorbidae
Biomphalaria
Biomphalaria straminea
Família Pomatiopsidae
Idiopyrgus
Família Thiaridae
Melanoides tuberculatus
FILO PLATYHELMINTHES
CLASSE TURBELLARIA
Ordem Tricladida
Dugesiidae
Planariidae

Nos monitoramentos realizados na UHE Risoleta Neves, UHE Baguari e UHE Eliezer Batista, a riqueza de macroinvertebrados bentônicos variou entre zero e 24 taxa, entretanto na grande maioria dos pontos de coleta nos diferentes períodos amostrados a riqueza foi menor do que 10 taxa (90% na UHE Risoleta neves, 78% na UHE Baguari e 68% na UHE Eliezer Batista) (**Figura 446**). O Índice de Diversidade variou entre zero e 2,53 na UHE Risoleta Neves e entre zero e 1,20 na UHE Baguari, permanecendo menor do que 1,5 em 74% dos pontos de coleta nos diferentes períodos de amostragem na UHE Risoleta Neves e menor do que 1,00 em 91% dos pontos da UHE Baguari (**Figura 447**). A densidade variou entre zero e 2995 indivíduos/m^2 (nos estudos onde a densidade foi calculada), embora os maiores valores registrados de densidade tenham ocorrido em casos isolados ou pouco frequentes (**Figura 448**). A abundância de organismos na UHE Risoleta Neves variou de zero a 1.033 indivíduos em situação isolado, em 93% dos casos a abundância ficou abaixo de 100 indivíduos (**Figura 448**).De maneira geral os valores de riqueza, diversidade, abundância e densidade encontrados são considerados baixos e podem ser relacionados a ambientes alterados e baixa qualidade ambiental. O índice de BMWP (*Biological Monitoring Work Party*), embora desenvolvido para riachos, com foco em poluição orgânica é amplamente empregado em monitoramentos ambientais mesmo em rios de maiores ordens, esse índice foi calculado no monitoramento das três usinas (**Tabela 162**). Em 64% dos pontos considerando as diferentes datas de coleta nas três usinas, o resultado do BMWP considerou a qualidade de água como péssima. Na UHE Risoleta Neves em 95% dos casos a qualidade da água foi considerada péssima, nos outros 5% casos foi considerada ruim ou regular. Assim, a UHE Baguari apresentou a menor porcentagem de casos com a qualidade de água considerada péssima, 47%, entretanto em apenas 8% dos casos a qualidade da água foi considerada excelente ou boa. Na UHE Eliezer Batista, em 62% dos casos a qualidade da água foi considerada péssima, sendo que em 13% foi considerada excelente ou boa.

Como os demais indicadores da comunidade analisados, o índice BMWP também indica uma comunidade de macroinvertebrados bentônicos pouco diversificada e com organismos tolerantes ou resistentes as alterações ambientais, condizentes com ambientes alterados e pouco preservados.

Figura 446 – Riqueza de macroinvertebrados bentônicos no Programa de Monitoramento Limnológico da UHE Baguari, Programa de Monitoramento Limnológico da UHE Eliezer Batista e Monitoramento de Qualidade de Água da UHE Risoleta Neves.



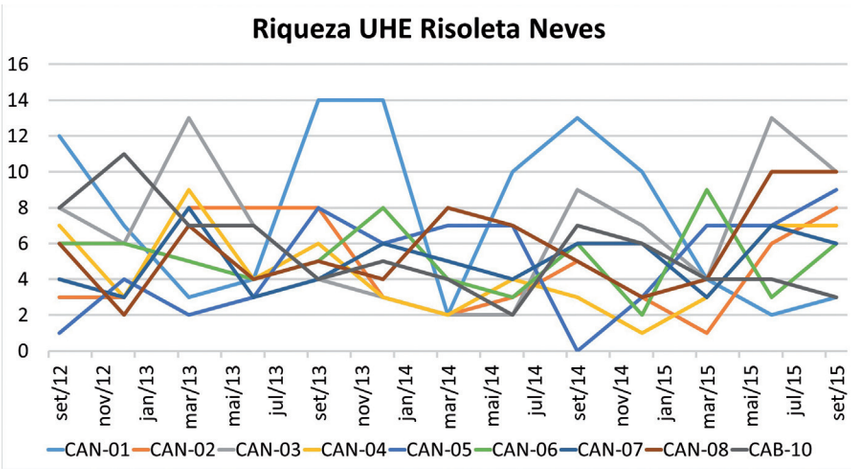


Figura 447 – Diversidade de macroinvertebrados bentônicos no Monitoramento de Qualidade de Água da UHE Risoleta Neves e no Programa de Monitoramento Limnológico da UHE Baguari.

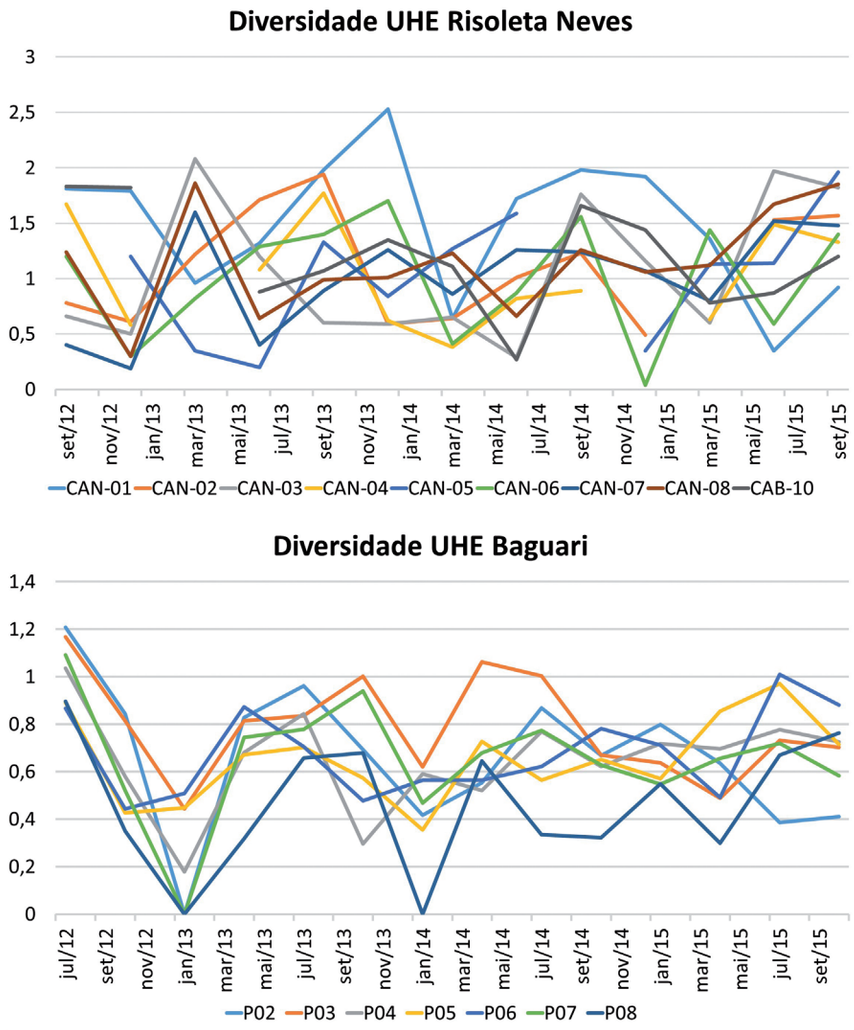
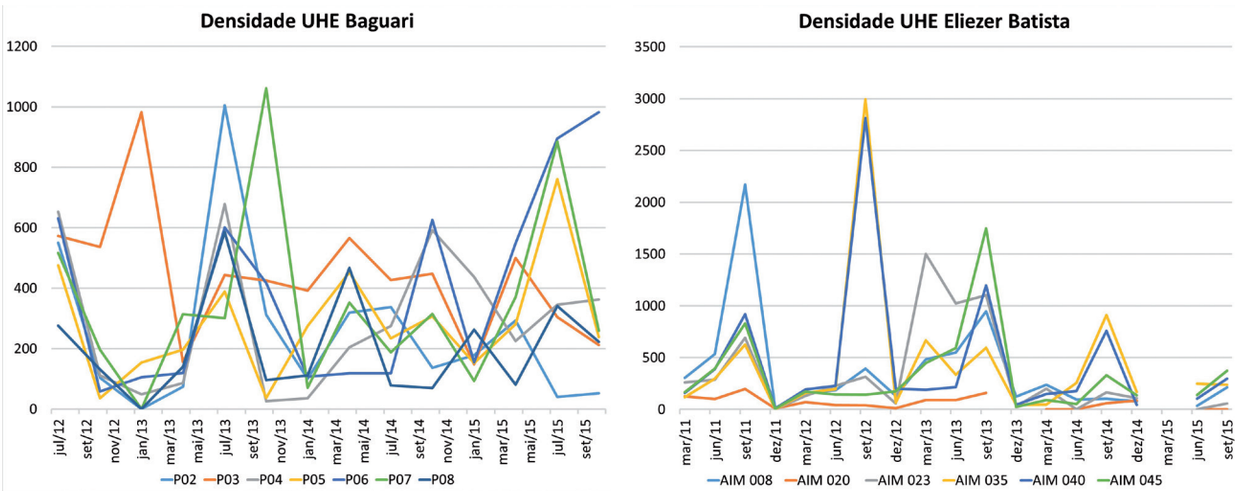


Figura 448 – Densidade de macroinvertebrados bentônicos no Programa de Monitoramento Limnológico da UHE Baguari, Programa de Monitoramento Limnológico da UHE Eliezer Batista e abundância de macroinvertebrados bentônicos no Monitoramento de Qualidade de Água da UHE Risoleta Neves.



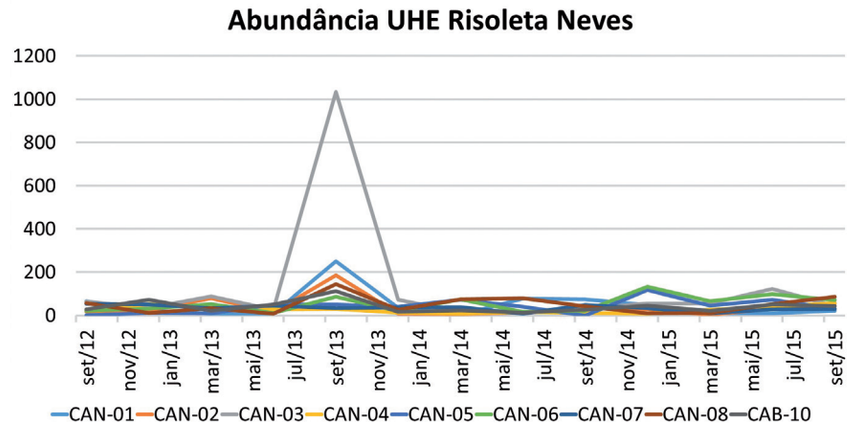


Tabela 162 – Classificação da qualidade de água segundo Junqueira et al. (2000) utilizando a pontuação do BMWP adaptado por Junqueira et al. (2000).

BMWP UHE Risoleta Neves

Data	CAN-01	CAN-02	CAN-03	CAN-04	CAN-05	CAN-06	CAN-07	CAN-08	CAB-10
set/12	Ruim	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
dez/12	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Ruim
mar/13	Péssima	Ruim	Ruim	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
jun/13	Péssima	Ruim	Ruim	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Ruim
set/13	Regular	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
dez/13	Regular	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
mar/14	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Ruim	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
jun/14	Regular	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
set/14	Ruim	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Ruim
dez/14	Ruim	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
mar/15	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
jun/15	Péssima	Péssima	Regular	Péssima	Ruim	Péssima	Péssima	Regular	Péssima
set/15	Péssima	Ruim	Regular	Ruim	Ruim	Péssima	Péssima	Regular	Péssima

BMWP UHE Baguari

Data	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08
jul/12	Excelente	Excelente	Boa	Regular	Boa	Excelente	Regular
out/12	Ruim	Ruim	Péssima	Péssima	Ruim	Péssima	Péssima
jan/13	Péssima	Ruim	Péssima	Péssima	Ruim	Péssima	Péssima
abr/13	Ruim	Regular	Ruim	Regular	Regular	Regular	Péssima
jul/13	Regular	Regular	Ruim	Regular	Ruim	Ruim	Péssima
out/13	Ruim	Boa	Péssima	Péssima	Ruim	Regular	Péssima
jan/14	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
abr/14	Péssima	Boa	Ruim	Ruim	Ruim	Péssima	Péssima
jul/14	Regular	Regular	Ruim	Péssima	Péssima	Ruim	Péssima
out/14	Péssima	Ruim	Ruim	Péssima	Ruim	Ruim	Péssima
jan/15	Ruim	Péssima	Péssima	Péssima	Ruim	Péssima	Péssima
abr/15	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Ruim	Ruim	Péssima
jul/15	Péssima	Ruim	Regular	Regular	Boa	Ruim	Péssima
out/15	Péssima	Ruim	Ruim	Péssima	Regular	Péssima	Péssima

BMWP UHE Eliezer Batista						
Data	**AIM 008**	**AIM 020**	**AIM 023**	**AIM 035**	**AIM 040**	**AIM 045**
mar/11	Péssima	Péssima	Regular	Regular	Boa	Boa
jun/11	Péssima	Péssima	Excelente	Boa	Excelente	Excelente
set/11	Regular	Péssima	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
dez/11	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
mar/12	Péssima	Péssima	Regular	Regular	Regular	Ruim
jun/12	Péssima	Péssima	Regular	Regular	Boa	Regular
set/12	Ruim	Péssima	Péssima	Boa	Boa	Ruim
dez/12	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Regular	Regular
mar/13	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Ruim
jun/13	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Regular	Regular
set/13	Ruim	Péssima	Péssima	Regular	Regular	Ruim
dez/13	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
mar/14	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
jun/14	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
set/14	Ruim	Péssima	Péssima	Regular	Regular	Regular
dez/14	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Regular
mar/15	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Ruim
jun/15	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima	Péssima
set/15	Ruim	Péssima	Péssima	Ruim	Péssima	Regular

Entre os taxa registrados na região, dois são considerados exóticos invasores o caracol asiático ou caramujo-trombeta *Melanoides tuberculata* e bivalve *Corbicula*. Os bivalves exóticos invasores do gênero *Corbicula* são originais da Ásia, introduzidos no Brasil provavelmente através de água de lastro de navios (DARRIGRAN; PASTORINO, 1993), existem registros da espécie nas Américas, África e Europa (ARAUJO; MORENO; RAMOS, 1993). O primeiro registro na América do Sul ocorreu na década de 1970 (ITUARTE, 1981), desde então vem aumentando sua distribuição geográfica ocupando todas as bacias hidrográficas do continente (SANTOS et al., 2012). As espécies desse gênero competem com os moluscos bentônicos nativos das famílias Mycetopodidae e Hyriidae levando à diminuição das populações nativas; a densidade do invasor se torna em poucos anos bem maior que as dos moluscos nativos, alterando o ambiente pela da maior filtragem de partículas em suspensão e deposição no sedimento, redução de densidade de fitoplâncton e acúmulo de conchas (SANTOS et al., 2012). Assim como demais moluscos filtradores *Corbicula* podem atuar como bioacumuladores de metais pesados, podendo causar risco à saúde humana ao serem consumidos por peixes que venham a ser posteriormente consumidos pelo homem (SANTOS et al., 2012).

O caracol asiático (*M. tuberculata*) é pertence à família Thiaridae, essa espécie invasora encontra-se amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais em todo o mundo. O primeiro registro da espécie no Brasil ocorreu em Santos em 1967 (VAZ et al., 1986), introduzida de forma acidental provavelmente através do comércio aquarista (VAZ et al., 1986). Na bacia do rio Doce, existe o primeiro registro da espécie ocorreu em 1999, na lagoa Dom Helvécio (MARCO JR., 1999). A espécie pode ser hospedeira intermediário de trematódeos que trazem risco à saúde humana como *Paragonimus westermani*, *Clonorchis sinensis*, *Centrocestus formosanus*, *Haplorchis pumilio* e *Philophthalmus gralli*.

No Brasil, existe registro de duas espécies de trematódeos infectando o caracol asiático (*M. tuberculata*) *Centrocestus formosanus* e *Philophthalmus gralli*, ambas com registro no estado de Minas Gerais na represa da Pampulha, Belo Horizonte (PINTO; MELO, 2010a, 2010b).

Além do caracol asiático (*M. tuberculata*), os moluscos do gênero *Biomphalaria*, com registro na região de estudo (VIDIGAL et al., 2005; MARQUES; FERREIRA; BARBOSA, 1999), também podem trazer risco à saúde humana. Os moluscos *Biomphalaria* podem ser hospedeiros intermediários do trematódeo *Schistosoma mansoni*, responsável por causar a esquistossomose, a doença é considerada endêmica nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (BRASIL, 2017b). Embora a propagação da esquistossomose esteja relacionada à falta de saneamento básico, a presença dos moluscos como hospedeiro intermediário é essencial para a propagação da doença.

5.2.3.1.1 *Compilação de dados dos principais estudos na bacia do rio Doce*

Segundo Drummond et al. (2009), existe registro de 122 taxa de macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Doce, de acordo com dados de projetos desenvolvidos em Minas Gerais. Foram encontrados registros de 333 taxa em toda a bacia do rio Doce na compilação de dados de estudos anteriores levantados no presente relatório, considerando os diferentes níveis taxonômicos de identificação utilizados nos trabalhos analisados (incluindo estudos que permitiram que as larvas se desenvolvessem em laboratório para identificação do adulto).

Entre os estudos sobre macroinvertebrados aquáticos realizados na bacia do rio Doce antes do rompimento da barragem de Fundão, alguns se destacam. Barbosa et al. (1997) realizaram estudo em 20 pontos amostrais (sendo seis no corpo principal do rio Doce), entre os anos de 1993 e 1995, apresentaram e testaram o índice biológico de qualidade de água, utilizando os macroinvertebrados bentônicos; como resultado, verificaram que o índice retratou de forma razoavelmente acurada as condições da bacia. No mesmo estudo encontraram 84 táxons de macroinvertebrados bentônicos, sendo 70 de Insecta (83,33%), nove de Mollusca e cinco de outros grupos. Os grupos com ampla distribuição na área de estudo foram os insetos Chironomidae (Diptera), Hydrophilidae (Coleoptera) e Gomphidae (Odonata), os anelídeos Oligochaeta e Hirudinea e os moluscos Physidae e Sphaeriidae; um total de 19 famílias de insetos apresentou distribuição mais restrita. As famílias Chironomidae (Diptera), Oligochaeta (Annelida) e Physidae (Mollusca) revelaram maior número de indivíduos na maioria dos pontos de coleta; a alta densidade dos grupos foi relacionada pelos autores a ambientes poluídos por matéria orgânica.

A região do médio rio Doce faz parte do Programa Ecológico de Longa Duração (PELD), em que foi estudada a diversidade aquática por período prolongado, inclusive, os macroinvertebrados bentônicos. Coletas semestrais destes foram realizadas em sete sub-bacias em ambientes lóticos (córrego Caraça, rio Santa Bárbara, rio Piracicaba, rio Peixe, córrego Severo, rio Ipanema e rio Doce) e quatro lagoas (Dom Helvécio, Amarela, Carioca e Águas Claras); entre os pontos amostrais, um se encontrava no corpo principal do rio Doce (CALLISTO; MAYRINK; MORETTI, 2001; BARBOSA; MARTINS, 2002; MAYRINK et al., 2002; BARBOSA; MARTINS, 2006).

Dentro do PELD, Mayrink et al. (2002) estudaram a diversidade de macroinvertebrados nas 67 estações de amostragem. Os autores encontraram 28 táxons, sendo 23 de Insecta (82,13%), dois de

Annelida e três de outros grupos. Os grupos com ampla distribuição na área de estudo foram os insetos Chironomidae (Diptera), Elmidae (Coleoptera), Baetidae (Ephemeroptera) e Annelida, representados por Oligochaeta e Hirudinea. As maiores densidades encontradas foram de Chironomidae (Diptera), Oligochaeta (Annelida) e Simuliidae (Diptera). Os autores relataram diminuição de densidade e diversidade de organismos, em comparação ao estudo realizado por Barbosa et al. (1997), bem como relacionaram a baixa diversidade à baixa qualidade de água e ao substrato arenoso com muita matéria orgânica de origem antropogênica.

Marques e Barbosa (2001) avaliaram a qualidade da água utilizando os macroinvertebrados bentônicos no médio rio Doce, seguindo parâmetros empregados em regiões temperadas. Entre os 14 pontos amostrados, seis estavam no leito principal do rio Doce. Encontraram 58 famílias de Insecta (85% do total de taxa), oito de Mollusca e duas de Annelida. Os grupos Chironomidae (Diptera), Oligochaeta (Annelida) e Physa (Mollusca) foram considerados dominantes em regiões mais impactadas. Os autores consideraram os parâmetros utilizados em regiões temperadas úteis também para regiões tropicais, classificando a qualidade da água em baixa, alta e intermediária.

Moretti e Callisto (2005) utilizaram a comunidade de macroinvertebrados bentônicos no biomonitoramento da bacia do médio rio Doce, entre 2000 e 2001, avaliando sete ecossistemas lóticos (com um ponto no rio Doce) e quatro lagoas. Encontraram 49 táxons nos ambientes lóticos e 31 nas lagoas. Oligochaeta (Annelida) e Chironomidae (Diptera) foram os grupos mais abundantes. Concluíram que a utilização dos macroinvertebrados como bioindicadores de qualidade da água foi satisfatória.

Souza (2007) relacionou indicadores da comunidade de macroinvertebrados (riqueza; porcentagem de indivíduos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera; porcentagem de indivíduos dos grupos taxonômicos Physa, Oligochaeta e Chironomidae; e grupos funcionais) com o uso e cobertura do solo nas mesmas sete sub-bacias de ambiente lótico estudadas no PELD. Encontrou 93 taxa diferentes, considerado alto pelo autor em virtude do elevado nível de degradação da área. A porcentagem de indivíduos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera, foi significativamente maior em locais com melhor estado de preservação e a porcentagem de indivíduos dos grupos taxonômicos Physa, Oligochaeta e Chironomidae foi maior em locais mais degradados.

A distribuição e abundância de Chironomidae (Diptera) ao longo do médio rio Doce também foram usadas como bioindicadores (MARQUES; BARBOSA; CALLISTO, 1999), assim como a deformidade em *mentum* de *Chironomus* (CALLISTO; MARQUES; BARBOSA, 2000). Foi encontrada menor riqueza de gêneros de Chironomidae e dominância de *Chironomus* nos pontos com pior qualidade ambiental. *Chironomus*, seguido de *Cricotopus*, foi o gênero mais frequente e abundante; o grupo Tanypodinae foi considerado mais sensível a alterações ambientais (MARQUES; BARBOSA; CALLISTO, 1999). Um total de 3% dos *Chironomus* analisados apresentou deformidade no *mentum* (CALLISTO; MARQUES; BARBOSA, 2000).

A utilização dos macroinvertebrados como bioindicadores de qualidade do ambiente aquático em ambiente lótico na bacia do rio Doce também foi realizada aplicando o índice BMWP no alto e médio rio Doce, com melhores resultados em estações de amostragem dentro do parque nacional da serra do Cipó, enquanto as estações fora do parque apresentaram resultados compatíveis com bacias fortemente impactadas (COTA et al., 2002). Barbosa, Callisto e Galdean (2001) amostraram

alguns pontos pertencentes à bacia do rio Doce na Serra do Cipó, com o objetivo de avaliar a diversidade de macroinvertebrados bentônicos e utilizá-lo como bioindicador. Concluíram que ela pode ser empregada para avaliar a qualidade da água e do ecossistema, pela composição taxonômica da comunidade, função trófica e grupos predominantes. Galdean, Callisto e Barbosa (2000) analisaram os macroinvertebrados na serra do Cipó, com o objetivo de classificar os pontos de acordo com a alteração causada por atividades antrópicas. Entre os pontos analisados, alguns pertenciam à bacia do rio Doce. A Estação de Pesquisa e Desenvolvimento Ambiental de Peti (EPDAP) foi estudada por Rodrigues e Bueno (2016), que avaliaram o impacto da mineração de ferro na diversidade de macroinvertebrabos bentônicos nos córregos Brucutu e Frederico e na junção dos dois, em outubro de 2010. Verificaram redução da diversidade nos córregos afetados, com presença apenas de grupos resistentes à perturbação ambiental (como *Chirinomus*).

Outros estudos sobre a fauna aquática de macroinvertebrados foram realizados em trechos da bacia do rio Doce localizados na serra do Cipó. Callisto et al. (2004), por sua vez, analisaram a diversidade dos macroinvertebrados bentônicos em gradiente longitudinal, com pontos de coleta na sub-bacia do rio Indaiá (rios de primeira a quarta ordem) e na sub-bacia do rio Peixe (rios de quinta e sexta ordem). Encontraram 60 táxons de macroinvertebrados, sendo 50 de Insecta (83,33%), com grupos dominantes de raspadores e coletores – Chironomidae (Diptera) e Baetidae (Ephemeroptera) – e, em alguns pontos, no período chuvoso, de filtradores – Simuliidae (Diptera) e Leptophlebiidae (Ephemeroptera). Callisto, Moreno e Barbosa (2001) estudaram a diversidade de *habitats* e os grupos funcionais de macroinvertebrados na serra do Cipó, tendo entre os pontos amostrados alguns pertencentes à bacia do rio Doce. O grupo dos coletores foi o mais abundante, seguido dos coletores-predadores e detritívoros-herbívoros; a maior riqueza de grupos tróficos funcionais foi encontrada em ambientes com maior diversidade de *habitat* (vegetação ripária junto a macrófitas). Os autores concluíram que os grupos tróficos funcionais, junto à avaliação de *habitat*, podem ser utilizados para analisar a diversidade de macrofauna bentônica em ecossistemas lóticos de altitude.

Em ambiente lêntico, o biomonitoramento foi realizado utilizando a composição e a distribuição de macroinvertebrados bentônicos em cinco lagoas do complexo lacustre do médio rio Doce, com objetivo de avaliar a saúde ambiental destas entre dezembro de 2007 e janeiro de 2009 (MAGALHÃES; GUARDA; SANTOS, 2016). Aplicaram três índices (*Biological Monitoring Working Party* – BMWP, *Average Score Per Taxon* – ASPT e Índice Biótico de Família – IBF) e as lagoas analisadas encontravam-se fortemente impactadas (MAGALHÃES; GUARDA; SANTOS, 2016). Marques, Ferreira e Barbosa (1999) estudaram os macroinvertebrados em duas lagoas com diferentes estados de conservação (lagoa da Barra e Carioca), em julho de 1996. A riqueza e número de organismos foram maiores na lagoa com melhor estado de conservação (33 táxons na melhor preservada e 14 na lagoa mais degradada). Chironomidae (Diptera) foi o táxon com maior densidade nas duas lagoas.

As lagoas do sistema lacustre do médio rio Doce em Minas Gerais também foram alvo de outros estudos de macroinvertebrados aquáticos. Ramos (2008) analisou a composição taxonômica e a densidade da comunidade bentônica em 18 lagoas e avaliou a ocorrência de *Melanoides tuberculata* (coletas realizadas em março de 2004 e junho de 2005). O autor encontrou 52 táxons na estação chuvosa e 75 na estação seca, com maior riqueza de Chironomidae (21 táxons na estação chuvosa e 25 na

seca) e Oligochaeta (15 classes na estação chuvosa e 21 na seca). A espécie exótica *M. tuberculata* foi a mais abundante na maior parte das lagoas. Os Chironomidae foram os organismos mais abundantes em seis lagoas e, em pelo menos um dos períodos de coleta, em outras seis lagoas. Marques (2006) apresentou riqueza e quantidade de macroinvertebrados bentônicos coletados em cinco lagoas, em 2004 e 2005. Marques et al. (2011) estudaram a riqueza, abundância e composição da fauna de insetos em três lagoas (Dom Helvécio, Carioca e Gambazinho), entre 2000 e 2006, tendo encontrado 31 famílias de insetos, com dominância de larvas de Chironomidae (Diptera) (correspondendo a 71% dos insetos coletados). Marco Jr. (1999) registrou a presença do molusco exótico *M*. *tuberculata* na lagoa Dom Helvécio e Vasconcelos, Espírito Santo e Barbosa (2009) estudaram o efeito da profundidade da lagoa para a espécie.

Callisto, Gonçalves e Ligeiro (2016) incluíram a diversidade de macroinvertebrados bentônicos em estudo nas pradarias rupestres das montanhas Espinhaço, nascentes da bacia do rio Doce e São Francisco, sintetizando 20 anos de pesquisa na região. Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera e Diptera foram os grupos dominantes na fauna de macroinvertebrados bentônicos da região, havendo também a presença de Crustacea, Bivalvia e Oligochaeta em menor densidade em alguns locais.

Já Costa, Oliveira e Callisto (2006) inventariaram os macroinvertebrados no reservatório da EPDAP, entre os anos de 2002 e 2004, tendo encontrado 16 táxons de macroinvertebrados: 13 de Insecta (81,25%), um de Annelida e três de Mollusca. Chaoboridae (Diptera) foi o grupo com maior densidade, seguido de Chironomidae (Diptera), Bivalvia e Oligochaeta (Annelida). A baixa riqueza encontrada foi considerada esperada, por se tratar de um reservatório.

Outros estudos concentraram-se em grupos específicos que fazem parte dos macroinvertebrados aquáticos límnicos, como Odonata (FERREIRA-PERUQUETTI; MARCO JR., 2002; MARCO JR.; LATINI; RESENDE, 2005; GIACOMINI; MARCO JR., 2008), Ephemeroptera (GOULART; CALLISTO, 2005), gastrópodes e bivalves límnicos (VIDIGAL et al., 2005), *Nanocladius* (Chironomidae: Diptera) e *Thraulodes* (Leptophlebiidae: Ephemeroptera) (CALLISTO; GOULART, 2000), Culicidae (Diptera) (NATAL et al., 2007), *Chaoboru* (Diptera) (BEZERRA-NETO et al., 2012), *Barypenthus concolor* (Trichoptera) (MORETTI; LOYOLA, 2005) e *Mesostoma* (Turbellaria) (ROCHA et al., 1999).

5.3 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE

No que se refere aos sedimentos de fundo, de acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que a área de estudo afetada pelo rompimento da barragem de Fundão já apresentava concentrações elevadas de metais-traço há vários anos. Em geral, os trechos com as maiores concentrações localizavam-se nos rios Gualaxo do Norte e do Carmo. Outros trechos também apresentaram concentrações mais elevadas de determinados metais, como foi o caso do cromo, com concentrações acima do nível 2 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 454/2012 nos rios Piracicaba e Doce, no trecho entre Barra Longa e Aimorés. Normalmente, a concentração de metais foi maior nos rios mais próximos às minas de Alegria e Timbopeba, decrescendo ao longo do rio Doce. As menores concentrações foram encontradas no estado do Espírito Santo, porém nesse trecho também havia menor número de dados disponíveis.

Com relação ao *background* natural, os dados primários e secundários, a partir de análises realizadas em sedimentos de corrente, indicam que alguns elementos já estavam com concentrações acima dos valores considerados seguros para consumo humano. De acordo com Rodrigues (2012), os elementos Fe, As, Pb, Mn, Ba, Zn, Ni, avaliados em seu trabalho, apresentavam concentrações acima dos valores considerados seguros. Segundo Sousa, (2016), foram evidenciadas concentrações relativamente elevadas para também para os elementos As, Pb, Mn, Ba, Zn e Ni, possivelmente relacionadas com fontes geogênicas.

Os dados primários, referentes a análises preliminares, realizadas a partir de amostras coletadas em áreas de cabeceiras das drenagens, livres de influências antrópicas, indicaram valores elevados, principalmente para o elemento As (229,2 mg/kg).

Além da origem natural, as históricas atividades minerárias nessa região têm sido também responsáveis pelo incremento de alguns elementos, principalmente o ouro, que comumente está associado a corpos sulfetados mineralizados, em zonas de cisalhamento. Mineralizações secundárias de ouro elementar também são reportadas em zonas de falhas dentro dos itabiritos do Supergrupo Minas (DARDENNE; SCHOBBENHAU, 2003; ROESER; ROESER, 2013). Além de ferro e ouro, as atividades minerárias incluem a explotação de manganês, bauxita e gemas.

No que se refere aos pontos de controle, ou seja, áreas não afetadas pela passagem e deposição da lama, mas influenciadas por outras atividades antrópicas, também se verificou que alguns elementos apresentavam valores levemente maiores, como é o caso do Zn (9 a 10 mg/kg) em locais próximos a zonas urbanas (RODRIGUES, 2012).

Os dados preliminares obtidos a partir das análises de sedimentos de corrente em pontos de controle permitem verificar valores elevados de Fe em praticamente todos os pontos, além de ligeira elevação do elemento Al e Mn, principalmente nos pontos de coleta no rio Gualaxo do Norte.

A comunidade de macroinvertebrados aquáticos encontrada na linha-base, assim como os indicadores e índices utilizados nos estudos realizados, indica um ambiente fortemente alterado com baixa qualidade ambiental que pode ser relacionada às atividades antrópicas, refletindo a degradação ambiental que a bacia do rio Doce já vinha sofrendo mesmo antes do desastre. A fauna de macroinvertebrados apresentou baixa riqueza e diversidade com prevalência de taxa resistentes a alterações ambientais. Fontes de poluição, alterações nas margens dos rios, ausência ou redução de mata ciliar e modificação de *habitats* são fatores que, certamente, contribuem para esse resultado.

6 REFERÊNCIAS

ABELHA, M. C. F.; AGOSTINHO, A. A.; GOULART, E. Plasticidade trófica em peixes de água doce. **Ata Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 2, p. 425-434, 2001.

ABELL, R. et al. Freshwater ecoregions of the world: a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservatios. **BioScience**, v. 58, n. 5, p. 406-414, 2008.

ABILHOA, V.; BRAGA, R. R.; BORNATOWSKI, H.; VITULE, J. R. S. Fishes of the Atlantic rain forest streams: ecological patterns and conservation. In: GRILLO, O.; VENORA, G. (Ed.). **Changing diversity in changing environment**. Croatia: InTech, 2011, p. 259-282.

ADRIAN, R. Calanoid-cyclopoid interactions: evidence from an 11-year field study in a eutrophic lake. **Freshwater Biology**, v. 38, p. 315-325, 1997.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Nota Técnica n.º 323/SOC/2005, de 11 de agosto de 2005**. Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/drdh/NT_UHE_Baguari.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2018.

_____. **Nota Técnica nº 2006/2007/GEREG/SOF-ANA**. Documento nº 11582, de 31 de maio de 2007. "Reserva de disponibilidade hídrica para o aproveitamento hidrelétrico Mascarenhas". ANA, 2007. Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/drdh/NT_UHE_Mascarenhas.pdf>. Acesso em: 5 set. 2007.

_____. **Relatório técnico**. Ocorrência de cianobactérias na bacia hidrográfica do rio Doce. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.cbhsuacui.org.br/wp-content/uploads/2014/01/Relat%C3%B3rio-Cianobact%C3%A9rias.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2017.

_____. **Orientações para atualização das curvas cota x área x volume**. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. Brasília, DF: ANA, 2013.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2015. Encarte Especial sobre a bacia do rio Doce: rompimento da barragem em Mariana/MG. Brasília DF: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos – SPR, 2016a. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2017.

_____. **Portaria nº 149, de 26 de março de 2015**. Lista de termos para o Thesaurus de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas. ANA, 2015. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300_Portaria_149-2015.pdf>. Acesso em: 5 set. 2018.

_____. **Encarte especial sobre a bacia do rio Doce**: rompimento da barragem em Mariana/MG. Brasília, DF: ANA, 2016b.

_____. **Mapa de uso e ocupação do solo em moderada Resolução espacial (10m) da Bacia do Rio Doce**. Brasília, DF: ANA, 2016.

_____. Indicadores de qualidade: índice de qualidades das águas. Portal da qualidade de água. **ANA**, 2017. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn6>. Acesso em: 28 jun. 2017.

_____. Geonetwork. **ANA**, 2018. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home> Acesso em: 2 maio 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução homologatória nº 906**. nov. 2009.

AGOSTINHO, A. A. et al. Patterns of colonization in Neotropical reservoirs and prognosis on aging. In: TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M. (Ed.). **Theoretical reservoir ecology and its applications**. Leiden: Backhuys Publishers, 1999. p. 227-265.

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. Manejo e monitoramento de recursos pesqueiros: perspectivas para o reservatório de Segredo. In: AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. (Org.). **Reservatório de segredo**: bases ecológicas para o manejo. Maringá: EDUEM, 1997. p. 319-364.

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; JÚLIO JR., H. F. Relações entre macrófitas aquáticas e fauna de peixes. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Org.). **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: EDUEM, 2003. p. 319-341.

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: EDUEM, 2007.

AGOSTINHO, A. A.; JÚLIO Jr., H. F.; BORGHETTI, J. R. Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictiofauna e medidas para a sua atenuação. Um estudo de caso: reservatório de Itaipu. **Unimar**, v. 14, p. 89-107, 1992.

AGOSTINHO, A.A., JÚLIO Jr., H.F & TORLONI, C.E.C. Impactos causados pela introdução e transferência de espécies aquáticas: uma síntese. In VII Simpósio brasileiro de aquicultura. Anais de VII Simpósio Brasileiro de Aquicultura. FEALQ, Piracicaba, Brasil, p. 59-75. 2000.

AGOSTINHO, A.A., VAZZOLER, A.E.A.M & THOMAZ, S.M., . The high river Paraná basin: Limnological and ichthyological aspects, pp. 59-104. *In:* J. G. Tundisi, C.E.M. Bicudo & T. Matsumura-Tundisi (eds.), ***Limnology in Brazil.*** ABC/SBL, Rio de Janeiro. 1995.

AGOSTINHO, A. A.; ZALEWSKI, M. **A planície alagável do alto rio Paraná**: importância e preservação. Maringá: EDUEM, 1996.

AGUILA, G. E. N. et al. Benthic macroinvertebrate diversity in the middle Doce river basin, Brazil. **Data**, v. 3, n. 2, p. 17, 2018.

ALBERT, J. S.; BART, H. L.; REIS, R. E. Species richness and cladal diversity. In: ALBERT, J. S.; REIS, R. E. **Historical biogeography of neotropical freshwater fishes**. Berkeley, CA: University of California Press, 2011. p. 89-104.

ALCARAZ, M.; CALBET, A. Zooplankton ecology. In: DUARTE, C.; HELGUERAS, A. L. (Org.). **Marine ecology**. Enciclopedia of Life Support Systems (EOLSS) UNESCO. Oxford, UK: Eolss Publishers, 2003. p. 295-318.

ALENCAR, J. et al. Utilização de armadilha "ovitrampa" para monitoramento de *Haemagogus janthinomys* (Diptera Culicidae) em area de Mata Atlantica. **Entomologia y Vectores**, v. 11, p. 369-374, 2004.

ALEXANDER, B.; FREITAS, J. M.; QUATE, L. W. Some pschodidae (Diptera) from Atlantic forest in south-easters Brazil, with descriptions os trichonyia dolichopogon sp. nov. and Trichomyia riodocensis sp. nov. **Brazil. J. Biol.**, v. 61, p. 467-474, 2001.

ALIANÇA ENERGIA. Usina de Candonga. **Aliança Energia**, 2018. Disponível em: <aliancaenergia.com.br/br/nossas-usinas/usina-de-candonga/>. Acesso em: 5 set. 2018.

ALLAN, J. D.; CASTILLO, M. M. 2007. **Stream ecology**: structure and function of running waters. 2. ed. Netherlands: Springer, 2007.

ALMEIDA, S. B.; CARVALHO, N. O. Efeitos do assoreamento de reservatórios na geração de energia elétrica: análise da UHE Mascarenhas, ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 10., 1993, Gramado. **Anais...** Gramado, 1993.

ALVARENGA, L.; NALESSO, R. C. Preliminary assessment of the potential for mangrove oyster cultivation in Piraquê-Açu River Estuary (Aracruz, ES). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 49, n. 1, p. 163-169, 2006.

ALVES, C. B. M. et al. Impacts of non-native fish species in Minas Gerais, Brazil: present situation and prospects. In: BERT, T. M. (Org.). **Ecological and genetic implications of aquaculture activities**. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2007. p. 291-314.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the examination of water & wastewater**. Baltmore: APHA, 2005.

AMPLO. **EIA integrado do Complexo Germano**. Diagnóstico do meio biótico. Belo Horizonte: AMPLO, 2017. v. 3.

ANDERSON, C. W. **Turbidity: U.S. Geological Survey Techniques of Water- resources Investigations**, book 9, chaps. A6.7. 2005. Disponível em: <http://pubs.water.usgs.gov/twri9A>. Acesso em: 18 set. 2010.

ANNANDALE, G. W.; MORRIS, G. L.; KARKI, P. **Extending the life of reservoirs**: sustainable sediment management for dams and run-of-river hydropower. Washington, D.C.: The World Bank Group, 2016.

ARAUJO, R.; MORENO, D.; RAMOS, M. A. The asiatic clam Corbicula fluminea (Müller, 1774) (Bivalvia, Corbiculidae). **Europe. American Malacological Bulletin**, v. 10, p. 39-49, 1993.

ARAÚJO-LIMA, C. A.; PORTUGAL, L. P. S.; FERREIRA, E. G. Fish-macrophytes relationship in the Anavilhanas Archipelago, a black water system in the central Amazon. **Journal of Fish Biology**, v. 29, p. 1-11, 1986.

ARNOLD, J. G. et al. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. **Journal American Water Works** Association, v. 34, p. 73-89, 1998.

ASTM INTERNATIONAL. **D4410, in terminology for fluvial sediment, annual book of standart, water and environmental technology**. West Conshohocken, Pennsylvania, ASTM International, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13373**: ecotoxicologia aquática – toxicidade crônica – método de ensaio com *Ceriodaphnia* spp (Crustácea, Cladocera). Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AVELINO, R. Lagoa recebe peixes "resgatados" do rio Doce no Espírito Santo. **Folha de São Paulo**, 14 nov. 2015. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/11/1706612-lagoa-recebe-peixes-resgatados-do-rio-doce-no-espirito-santo.shtml>. Acesso em: 15 ago. 2018.

BAIRD, C. **Química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARBOSA, F. A. R.; CALLISTO, M.; GALDEAN, N. The diversity of benthic macroinvertebrates as an indicator of water quality and ecosystem health: a case study for Brazil. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 4, p. 51-59, 2001.

BARBOSA, F. A. R. et al. Dinâmica biológica e conservação da biodiversidade da mata atlântica do médio rio Doce, MG (PELD/UFMG). In: TABARELLI, M. et al. (Org.). **PELD/CNPq - Dez anos de programa de pesquisas ecológicas de longa duração no Brasil**: achados, lições e perspectivas. Recife: Editora Universitária, 2013. p. 115-146.

BARBOSA, F. A. R.; MARTINS, R. P. **Relatório técnico-científico das atividades de dezembro de 2000 a agosto de 2000**. Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD/CNPq: Site 4 – Mata Atlântica e Sistema Lacustre do médio Rio Doce – MG, 2001.

_____. **Relatório técnico-científico das atividades de dezembro de 2001 a agosto de 2002**. Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD/CNPq: Site 4 – Mata Atlântica e Sistema Lacustre do médio Rio Doce – MG, 2002.

_____. **Relatório técnico-científico das atividades de janeiro a dezembro de 2005**. Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD/CNPq: Site 4 – Mata Atlântica e Sistema Lacustre do médio Rio Doce – MG, 2006.

BARBOSA, F. A. R. et al. Impactos Antrópicos e biodiversidade aquática. In: PAULA, J. A. (Ed.). **Biodiversidade, população e economia**. PADCT- CIAMB, UFMG, CEDEPLAR, ECMVS, Belo Horizonte, Brazil. Rona Editora, 1997. p. 455-468.

BARNES, R. D. **Invertebrate zoology**. 4th ed. Saunders College: Philadelphia, 1980.

BARROSO, G. F. et al. **Estudos integrados no sistema lacustre do baixo rio Doce (Espírito Santo)**. 2011. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/304249075_Estudos_integrados_no_sistema_lacustre_do_Baixo_Rio_Doce_Espirito_Santo>. Acesso em: 15 jul. 2018.

BARTHEM, R. B.; RIBEIRO, M. C. L.; PETRERE Jr, M. Life strategies of some long-distance migratory catfish in relation to hydroelectric dams in the amazon basin. **Biological Conservation**, v. 55, p. 339-345, 1991.

BARTRAM, J.; BALLANCE, J. **Water quality monitoring**: a practical guide to the design and implementation of freshwater studies and monitoring programmers. London: E & FN Spon, 1996.

BASÍLIO, M. S. **Geoquímica dos sedimentos associados aos minérios de ferro na região Leste-Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG e seu potencial para adsorção e dessorção de metais traço**. 2005. 202 f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

BASSANI, L. **Variação nictemeral da comunidade fitoplanctônica na lagoa Juparanã (Linhares, ES). Monografia** – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

BAUMGARTNER, G. et al. Identification of spawning sites and natural nurseries of fishes in the upper Paraná river, Brazil. **Environmental Biology of Fishes**, v. 71, n. 2, p. 115-125, 2004.

BECK, H. E. et al. MSWEP: 3-hourly 0.25° global gridded precipitation (1979-2015) by merging gauge, satellite, and reanalysis data. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 21, p. 589-615, 2016.

BEGON, M.; TOWNSAND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia**: de indivíduos a ecossistemas. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

BELLINGER, E. G.; SIGEE, D. C. **Freshwater algae**: identification and use as bioindicators. West Sussex: Wiley-Blackwell, 2010.

BERNARDI, R.; GIUSSANI, G.; MANCA, M. Cladocera: Predators and prey. **Hydrobiologia**, v. 145, p. 225-243, 1987.

BERNARDO, L. **Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995.

BÉRNILS, R. S. et al. Répteis na Reserva Natural Vale, Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Ciência e Ambiente**, v. 49, p. 193-210, 2014.

BESKOW, S. et al. Soil prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, v. 79, p. 49-59, 2009.

BEZERRA-NETO, J. F. et al. Hydroacoustic assessment of fish and Chaoborus (Diptera-Chaoboridae) distribution in three Neotropical lakes. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, p. 18-28, 2012.

BIANCHINI JR., I. Modelos de crescimento e decomposição de macrófitas aquáticas. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Org.). **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: EDUEM, 2003. p. 85-126.

BONADA, N. et al. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. **Annual Review of Entomology**, v. 51, p. 495-523, 2006.

BONECKER, C. C. et al. Zooplankton composition under the influence of liquid wastes from a pulp mil in middle Doce river (Belo Horizonte, MG, Brazil). **Arq. Biol. Tecnol**., v. 39, n. 4, p. 893-901, 1996.

BORBA, R. P. **Arsênio em ambiente superficial**: processos geoquímicos naturais e antropogênicos em uma área de mineração aurífera. 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: UFGS; São Paulo: USP/ABRH, 1993. p. 915-43.

BOZELLI, R. L. et al. Padrões de funcionamento das lagoas do baixo rio Doce: variáveis abióticas e clorofila-a (Espírito Santo – Brasil). **Acta Limnologica Brasiliensia**. v 4, p. 13-31. 1992.

BRANDÃO, M.; LACA-BUENDIA, J. P.; GAVILANES, M. L. Plantas palustres que se comportam como invasoras no Estado de Minas Gerais. **Acta Bot. Bras.**, Feira de Santana, v. 2, n. 1, supl. 1, p. 255-258, 1988.

BRANDINI, F. P. et al. **Planctologia na plataforma continental do Brasil**: diagnose e revisão bibliográfica. Pontal do Sul: mmA/CIRM/FEMAR, 1997.

BRASIL. 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.

_____. Ministério da Saúde (MS). 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**, Brasília, DF, 3 out. 2017a.

_____. Ministério da Saúde. Portal da Saúde. Esquistossomose. **Portal da Saúde**, 2017. Disponível em: <http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/o-ministerio/principal/secretarias/svs/esquistossomose>. Acesso em: 29 jun. 2017b.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Resolução nº 91, de 5 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 6 fev. 2008.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília, DF: mmA, 2010.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos sulinos**. Brasília, DF: mmA, 2000.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014. **Diário Oficial da União**, Seção 1, n. 245, p. 121-130, 18 dez. 2014.

BREMICKER, M. **Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells für das Weser und das Ostsee Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells**. 1998. Dissertation (Doktorgrad) – Geowissenschaftlicher Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, 1998.

BRUNE, G. M. Trap efficiency of reservoirs. **American Geophysical Union**, v. 34, n. 3, p. 407-418, 1953.

BUARQUE, D. C. **Simulação da geração e do transporte de sedimentos em grandes bacias**: estudo de caso do rio Madeira. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BUARQUE, D. C. et al. Modelagem computacional da dinâmica de sedimentos em suspensão na bacia do Rio Madeira. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 12., 2016. Porto Alegre. **Anais...** [S.l]: ABRH, 2016.

BUCKUP, P. A.; MENEZES, N. A.; GHAZZI, M. S. **Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil**. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 2007.

BUREAU OF RECLAMATION OF THE U.S. (BUREC). **Design of small dam**. 3. ed. Washington D.C.: BUREC, 1987.

BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, n. 2, p. 465-474, 2003.

CALIJURI, M. C.; ALVES, M. S. A.; SANTOS, A. C. A. **Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais**. São Carlos: RIMA, 2006.

CALLISTO, M.; GOULART, M. D. C. Phoretic association between Nanocladius (Plecoptera Coluthus) sp.(Chironomidae: Diptera) and Thraulodes sp.(Leptophlebiidae: Ephemeroptera). **An. Soc. Entomol. Bras.**, v. 29, n. 3, p. 605-608, 2000.

CALLISTO, M.; GONÇALVES, J. F.; LIGEIRO, R. Water Resources in the Rupestrian Grasslands of the Espinhaço Mountains. In: FERNANDES, G. W. (Ed.). **Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil**. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. p. 87-102.

CALLISTO, M. et al. Diversity assessment of benthic macroinvertebrates, yeasts, and microbiological indicators along a longitudinal gradient in Serra do Cipó, Brazil. **Braz. J. Biol**., v. 64, p. 743-755, 2004.

CALLISTO, M.; MARQUES, M. M.; BARBOSA, F. A. R. Deformities in larval *Chironomus* (Diptera, Chironomidae) from the Piracicaba Rover, southeast Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v. 27, p. 2699-2702, 2000.

CALLISTO, M.; MAYRINK, M. N.; MORETTI, M. A comunidade de macroinvertebrados bentônicos de rios e lagos do trecho médio da bacia do Rio Doce, MG. In: BARBOSA, F. A. R.; MARTINS, R. P. **Relatório técnico-científico das atividades de 2000**. Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD/CNPq: Site 4 – Mata Atlântica e Sistema Lacustre do médio Rio Doce – MG, 2001.

CALLISTO, M.; MORENO, P.; BARBOSA, F. A. R. Habitat diversity and benthic functional trophic groups at Serra do Cipó, southeast Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 61, p. 259-266, 2001.

CAMPAGNOLI, F. The production of the sediment of the South America continent: propose of mapping of the erosion rates based on geological and geomorphological aspects. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 1, p. 3-8, 2006.

CAMPOS, J. B. A fragmentação de ecossistemas, efeitos decorrentes e corredores de biodiversidade. In: CAMPOS, J. B.; TOSSULINO, M. G. P.; MUELLER, C. R. C. **Unidade de conservação**: ações para valorização da biodiversidade. Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná, 2006. p. 165-173.

CARDOSO, P. C. A. **Estudo taxonômico e aspectos biogeográficos da ictiofauna de água doce de drenagens costeiras do Estado da Bahia, Brasil, com a descrição de seis espécies novas**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Diversidade Animal. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

CAROLSFELD, J.; HARVEY, B.; ROSS, C.; BAER, A. **Migratory fishes of South America**. Biology, fisheries and conservation status. Victoria: World Fisheries Trust, 2003.

CARVALHO, I.G. **Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos.** Salvador, Bureau Gráfica e Editora, 213p. 1995.

CARVALHO, J. C. M. Mirideos neotropicais, 219: descricoes de um genero, sete especies e uma ocorrencia nova de mirideos no Brasil (Hemiptera). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 40, p. 297-306, 1980.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA, N. P. J.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de Práticas Sedimentométricas**. ANEEL. 154p. 2000.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CASATTI, L. et al. Stream fishes, water and habitat quality in a pasture dominated basin, southeastern Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 66, n. 2, p. 681-696, 2006.

CASATTI, L.; MENDES, H. F.; FERREIRA, K. M. Aquatic macrophytes as feeding site for small fishes in the Rosana reservoir, Paranapanema river, southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 63, n. 2, p. 213-222, 2003.

CASTILHO, A. S.; MOTTA, B. G; MARTINS, L. K. L. A. Modelo de previsão de turbidez do rio Doce após a ruptura da barragem de rejeitos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 12., 2016. Porto Velho. **Anais...** Porto Velho, 2016.

CASTRO, R. M. C. Evolução da Ictiofauna de riachos sul-americanos: padrões gerais e possíveis processos causais. In: CARAMASCHI, E. P., MAZZONI, R.; PERES-NETO, P. R. **Ecologia de peixes de riachos**. Oecologia Brasiliensis, v. VI. Rio de Janeiro: UFRJ, 1999. p. 157-182.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **Relatório da ictiofauna da PCH Peti**. CEMIG, 2011.

_____. **Relatório da ictiofauna da PCH Tronqueiras**. CEMIG, 2011.

_____. **Relatório da ictiofauna da UHE Sá Carvalho**. CEMIG, 2011.

_____. **Relatório da ictiofauna da PCH Bom Jesus do Galho e Sumidouro**. CEMIG, 2012.

_____. **Relatório da ictiofauna da PCH Poquim**. CEMIG, 2012.

_____. **Relatório da ictiofauna da UHE Salto Grande**. CEMIG, 2012.

CENTRO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA PROFESSOR PARIGOT DE SOUZA (CEHPAR). **Projeto HG-161**: estudos e desenvolvimento de metodologia de avaliação de assoreamento e trincas em barragens de concreto, com instrumentação de leitura remota. Projeto P&D Aneel. Curitiba: Institutos Lactec, 2001.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Desenvolvimento de índices biológicos para o biomonitoramento em reservatórios do estado de são Paulo**. PROJETO: O.S. 41.53.10.00 “Atualização e Aperfeiçoamento de Metodologias Analíticas”. São Paulo: CETESB, 2006.

_____. **Ficha de informação toxicológica**: alumínio. São Paulo: CETESB, 2012. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/aluminio.pdf>. Acesso em: 12 maio 2017.

_____. **Protocolo para o biomonitoramento com as comunidades bentônicas de rios e reservatórios do estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2012.

_____. **Manual de cianobactérias planctônicas**: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais. São Paulo: CETESB, 2013.

_____. **Apêndice E**: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2017.

_____. **Oxigênio dissolvido**. São Paulo: CETESB, 2017a. Disponível em: <http://mortandadedepeixes.cetesb.sp.gov.br/alteracoes-fisicas-e-quimicas/oxigenio-dissolvido>. Acesso em: 12 maio 2017.

_____. **Bário**. São Paulo: CETESB, 2017b. Disponível em: <http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/B%C3%A1rio-1.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2017.

_____. **Ficha de informação toxicológica**: Cianetos. São Paulo: CETESB, 2017c. Disponível em: <http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/Cianetos.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2017.

CHANG, H. H. **Fluvial processes in river engineering**. Malabar, Fla.: Krieger Pub. Co., 1992.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

COELHO, A. L. N. **Alterações hidrogeomorfológicas no médio-baixo rio Doce/ES**. 2007. Tese (Doutorado) –Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

_____. Bacia hidrográfica do rio Doce (MG/ES): uma análise socioambiental integrada. **Geografares**, n. 7, p. 131-146, 2009.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

COLLISCHONN, W. et al. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, p. 878-895, 2007. doi:10.1623/hysj.52.5.878.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS (CBDB). **Main Brazilian Dams III**. Comitê Brasileiro de Barragens, 2009.

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 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**: anexos. Consórcio Ecoplan-Lume, 2010b.

CONSÓRCIO UHE BAGUARI. **RE-PCA-BAG-027**: aproveitamento hidrelétrico de Baguari, plano de controle ambiental, relatório de atendimento da condicionante 6.4. Consórcio UHE Baguari, 2006.

_____. UHE Baguari inicia procedimentos de retorno à operação. **Consórcio UHE Baguari**, 18 mar. 2016. Acesso em: 5 set. 2018. Disponível em: <http://www.uhebaguari.com.br/noticia/uhe-baguari-inicia-procedimentos-de-retorno-a-operacao>.

CORTEZ, J. R. **Desempenho de modelos numéricos em estudos de assoreamento de reservatórios**: caso UHE Aimorés. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

COSTA, A. T. **Geoquímica das águas e dos sedimentos da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, leste – Sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG)**: estudo de uma área afetada por atividade de extração mineral. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2001.

_____. **Registro histórico de contaminação de metais pesados associados à exploração aurífera na bacia do Ribeirão do Carmo**: um estudo de sedimentos de planícies de inundação e terraços aluviais. 2007. Tese (Doutorado) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

COSTA, F. L. M.; OLIVEIRA, A.; CALLISTO, M. Inventário da diversidade de macroinvertebrados bentônicos no reservatório da estação ambiental de Peti, MG, Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 1, p. 17-23, 2006.

COSTA, H. C. et al. New distribution records and potentially suitable areas for the threatened snake-necked turtle Hydromedusa maximiliani (Testudines: Chelidae). **Chelonian Conservation and Biology**, v. 14, n. 1, p. 88-94, 2015.

COSTA, H. C.; BÉRNILS, R. S. (Org.). Brazilian reptiles: list of species. Version 2018. Disponível em: <www.sbherpetologia.org.br>. Acesso em: 10 ago. 2018.

COTA, L. et al. Rapid assessment of river water quality using an adapted BMWP index: a practical tool to evaluate ecosystem health. **Verh. Internat. Verein. Limnol**., v. 28 p. 1-4, 2002.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Monitoramento especial da bacia do rio Doce**. Relatório 01: acompanhamento da onda de cheia. Belo Horizonte: CPRM, 2015.

_____. **Monitoramento especial da bacia do rio Doce**. Relatório 02: geoquímica. Segunda Campanha de Campanha de Campo: 12 a 23 de novembro de 2015. Belo Horizonte: CPRM, 2015.

_____. **Atlas geoquímico da bacia do rio Doce**: Minas Gerais e Espírito Santo. Rio de Janeiro: CPRM, 2016.

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 211-252.

DARDENNE, M.A.; SCHOBBENHAUS C. **Depósitos Minerais no Tempo Geológico e Épocas Metalogenéticas**. In: L. A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti e J. H. Gonçalves (editores) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM-SGB. Brasília, 674p; p.365-447. 2003.

DARRIGRAN, G.; PASTORINO, G. Bivalvos invasores en el Rio de Plata, Argentina. **Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay**, v. 64, p. 64-65, 1993.

DARU, R. L. et al. Simulação hidrodinâmica 3D de enchimento do reservatório da usina hidroelétrica de Mauá. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...** Maceió, 2011.

DAVIS, B. E. **A Guide to the Proper Selection and Use of Federally Approved Sediment and Water-Quality Samplers**. U.S. Geological Survey, Vicksburg, Open File Report 2005-1087, 20p. 2005.

DELARIVA, R. L. et al. Icthyofauna associated aquatic macrophytes in the upper Parana River floodplain. **Revista UNIMAR**, v. 16 (Supl. 3), p. 41-60, 1994.

DEMARTY, M.; PRAIRIE, Y. T. In situ dissolved organic carbon (DOC) release by submerged macrophyte – epiphyte communities in southern Quebec lakes. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 66, n. 9, p. 1522-1531, 2009.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS-factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, p. 427-433, 1996.

DEVÁI, G. Ecological background and importance of the change of chironomid fauna in shallow Lake Balaton. **Hidrobiologia**, v. 191, n. 1, p. 189-198, 1990.

DIDONÉ, E. J. **Erosão bruta e produção de sedimentos em bacia hidrográfica sob plantio direto no planalto do Rio Grande do Sul**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

DRUMMOND, G. M. et al. **Biota Minas**: Diagnóstico do conhecimento sobre a Biodiversidade no Estado de Minas Gerais – Subsídio ao Programa BIOTO MINAS. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2009.

DRUMMOND, G. M. et al. **Biodiversidade em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005.

ECKHARDT, M.; WILSON JR, G. Estimativa do transporte de sedimentos em escoamento com superfície livre pelo método de Toffaleti. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 3., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1998, p. 259-266.

EDWARDS, T. K.; GLYSSON, G. D. **Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment**. U.S. Geological Survey, Reston. 89p. 1999.

ELETROBRAS. **Guia para cálculo de cheia de projeto de vertedores**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 1987.

ELETROBRAS; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**. Diagnóstico das condições sedimentológicas dos principais rios brasileiros.** Rio de Janeiro: ELETROBRÁS. 100p. 1992

ELEUTÉRIO, L. **Diagnóstico da situação ambiental da cabeceira da bacia do rio Doce, MG, no âmbito das contaminações por metais pesados em sedimentos de fundo**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1997.

ELMOOR-LOUREIRO, L. A. **Manual de identificação de cladóceros límnicos do Brasil**. Brasília, DF: Editora Universa, 1997.

ENGEVIX. **UHE Mascarenhas**: estudos de assoreamento do reservatório. Engevix, 1997.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF IRELAND (EPA). **Parameters of water quality**: interpretation and standards. Ireland: EPA, 2001. Disponível em: <https://www.epa.ie/pubs/advice/water/quality/Water_Quality.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2017.

ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M. et al. Zooplankton biodiversity of Minas Gerais State: a preliminary synthesis of present knowledge. **Acta LimnologicaBrasiliensia**, v. 17, n. 2, p. 199-218, 2005.

ESTEVES, B. S.; SUZUKI, M. S. Limnological variables and nutritional content of submerged aquatic macrophytes in a tropical lagoon. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 22, n. 2, p. 187-198, 2010.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

_____. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

ESTEVES, F. A.; CAMARGO, A. F. M. Sobre o papel das macrófitas aquáticas na estocagem e clicagem de nutrientes. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 1, n. 1, p. 273-298, 1986.

ESTEVES, F. A.; SUZUKI, M. S. Comunidade fitoplanctônica. In: ESTEVES, F. A. (Coord.). **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. p. 375-446.

EUCLYDES et al. Impacto ambiental relevante na bacia do rio Doce. Erosão, o inimigo silencioso do rio Doce. **Atlas Digital das Águas de Minas**, 2009.

FADINI, G. P. A ictiofauna do rio Santa Maria do rio Doce. In: SIMPÓSIO SOBRE A BIODIVERSIDADE DA MATA, 3., 2014, Santa Teresa. **Anais...** 2014, Santa Teresa, Espírito Santo. 379-385, 2014.

FAGUNDES, H. O. **Modelagem hidrossedimentológica de grandes bacias com o apoio de dados in situ e sensoriamento remoto**. 2018. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

FAGUNDES, H. O. et al. Simulação hidrossedimentológica preliminar na bacia do rio Doce com o modelo MGB-SED. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSSEDIMENTOLOGIA, 2., 2017, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2017a.

FAGUNDES, H. O.; FASSONI-ANDRADE, A. C.; PAIVA, R. C. D. Análise dos sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do rio Doce com imagens de satélite. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSSEDIMENTOLOGIA. 2., 2017, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2017b.

FAGUNDES, H. O.; PAIVA, R. C. D.; FAN, F. M. Sedimentos em suspensão observados com imagens Landsat para modelagem de grandes bacias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2017c.

FAN, F. M. **Previsão por conjunto de vazões afluentes a reservatórios em grandes bacias hidrográficas brasileiras**. 2015. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. Integração do modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 243-254, 2014.

FAN, F. M. et al. Verification of inflow into hydropower reservoirs using ensemble forecasts of the TIGGE database for large scale basins in Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 4, p. 196-227, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Part 1: World Review of Fisheries and Aquaculture. Rome: FAO, 2006.

FERNANDES, C. **Esgotos Sanitários**. João Pessoa: Ed. UFPB, 1997. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/ES00_00.html?submit=%CDndica+de+Esgotos+Sanit%E1rios>. Acesso em: 26 jun. 2017.

FERNANDES, K. N. **Qualidade das águas nos Rios Gualaxo do Norte, Gualaxo do Sul e do Carmo - afluentes do alto rio Doce (Watu)**: metais, metaloides e Índice de Qualidade das Águas antes e após o rompimento da barragem de rejeitos Fundão da Samarco/VALE/BHP Billiton, em Mariana, MG. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

FERREIRA, F. et al. Estrutura da comunidade de macrófitas aquáticas em três lagoas do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Revista Hoehnea**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 43-52, 2010.

FERREIRA-PERUQUETTI, P.; MARCO Jr, P. Efeito da alteração ambiental sobre comunidades de Odonata em riachos de Mata Atlântica de Minas Gerais, Brasil. **Revta bras. Zool.**, v. 19, p. 317-327, 2002.

FUNDAÇÃO ESPÍRITO-SANTENSE DE ENGENHARIA (FEST). **Serviço de levantamento topobatimétrico e monitoramento sedimentométrico e sedimentológico**: 2º cilho. UHE Mascarenhas. FEST, 2014.

FLEIFLEA, A. E. Suspended sediment load monitoring along the Mekong river from satellite images. **Journal of Earth Science & Climatic Change**, v. 4, n. 6, p. 160, 2013.

FLEISCHMANN, A. et al. Coupled hydrologic and hydraulic modeling of Upper Niger River Basin. **Geophysical Research Abstracts**, v. 19, 2017.

FOLHA NOVA VITÓRIA. Conheça a Lagoa do Limão em Colatina. **Folha Nova Vitória**, 3 fev. 2015. Disponível em: <http://www.folhavitoria.com.br/entretenimento/blogs/elogoali/2015/02/conheca-a-lagoa-do-limao-em-colatina/>. Acesso em: 15 ago. 2018.

FORRÓ, L. et al. Global diversity of cladocerans (Cladocera; Crustacea) in freshwater. **Hydrobiologia**, v. 595, p. 177-184, 2008.

FRANÇA, S. F.; CALLISTO, M. Coleção de macroinvertebrados bentônicos: ferramenta para o conhecimento da biodiversidade em ecossistemas aquáticos continentais. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 2, p. 3-10, 2007.

FRESHWATER INFORMATION SYSTEM (FIS). Ecosystem services. **Freshwater Information System**, 2018. Disponível em: <http://fis.freshwatertools.eu/index.php/infolib/ecoservices.html>. Acesso em: 6 set. 2018.

FUKUZAWA, C. M. **Influência da litologia nas águas e nos sedimentos do rio Piranga, formador do rio Doce**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

G1 ESPÍRITO SANTO. Água do rio Doce invade lagoas em Linhares, no Norte do Espírito Santo. **G1 Espírito Santo**, 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/espirito-santo/estv-2edicao/videos/v/agua-do-rio-doce-invade-lagoas-em-linhares-no-norte-do-es/4754852/>. Acesso em: 15 ago. 2018.

GALDEAN, N.; CALLISTO, M.; BARBOSA, F. A. R. Lotic ecosystems of Serra do Cipó, southeast Brazil: water quality and a tentative classification based on the benthic macroinvertebrate community. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 3, p. 545-552, 2000.

GALDEAN, N. et al. A proposed typology for the rivers of Serra do Cipó(Minas Gerais, Brazil) based on the diversity of benthic macroinvertebrates and the existing habitats. **Trav Mus Natl Hist Nat Grigore Antipa** v. 41, p. 445-453, 1999.

GANNON, J. E.; STEMBERGER, R. S. Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality. **Trans. Amer. Micros. Soc**., v. 97, n. 1, p. 16-35, 1978.

GARBIN, R. C. et al. Morphological variation in the Brazilian Radiated Swamp Turtle *Acanthochelys radiolata* (Mikan, 1820) (Testudines: Chelidae). **Zootaxa**, v. 4105, n. 1, p. 45-64, 2016.

GARDENAL, I. O arsênio como herança. **Jornal da Unicamp**, n. 198, ano XVII, 11 a 17 nov. 2002. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/jornalPDF/198-pag10.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2017.

GIACOMINI, H. C.; MARCO JR., P. Larval ecomorphology of 13 Libellulidae (Anisoptera, Odonata) of the Middle Rio Doce Valley, Minas Gerais, Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 68, p. 211-219, 2008.

GODINHO, A. L.; KYNARD. B. Migratory fishes of Brazil: life history and fish passage needs. **River. Res. Applic.**, v. 25, p. 702-712, 2008. doi: 10.1002/rra.1180

GODINHO, A. L.; POMPEU, P. S. A importância dos ribeirões para os peixes de piracema. In: GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. (Orgs.). Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p. 361-372.

GONÇALVES, M. A. **Ecofisiologia de algas fitoplanctônicas na lagoa Juparanã (Linhares – ES)**: variação espacial, temporal e bioindicadores do estado trófico. 2005. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

_____. **Ecohidrologia e gestão integrada de recursos hídricos em uma bacia lacustre costeira (Lagoa Nova, Linhares, ES)**. 2015. Tese (Doutorado em Oceanografia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

GORDON, N. D. **Stream hydrology**: an introduction. Chichester: John Whiley and Sons, 1993.

GOULART, C. B. **Modelagem de turbidez na bacia hidrográfica do rio Doce**. 2017. (Trabalho de Conclusão) – Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

GOULART, M.; CALLISTO, M. Mayfly diversity in the brazilian tropical headwaters of Serra do Cipó. **Braz. arch. biol. technol.**, v. 48, p. 983-996, 2005.

GRAF, Walter Hans. **Hydraulics of sediment transport**. Water Resources Publication, 1984.

GUY, H. P. **Fluvial sediment concepts**. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office, 1970.

HARRISON, S.; ROSS, S. J.; LAWTON, J. H. Beta diversity on geographic gradients in Britain. **Journal of Animal Ecology**, v. 61, n. 1, p. 151-158, 1992.

HDC. **Levantamento batimétrico do reservatório da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves**. Rio Doce-MG, mar. 2014.

HICON. 2008. Disponível em: <http://hicon.com.br/site/modelagem-do-transporte-de-sedimentos>.

_____. 2012. Disponível em: <http://hicon.com.br/site/modelagem-do-transporte-de-sedimentos>.

HIDROTOPO. **Levantamento Batimétrico no Reservatório da Usina de Aimorés Hidrelétrica Eliezer Batista - Aimorés – MG**. HIDROTOPO, jan. 2016a.

_____. **Levantamento Batimétrico no Reservatório da Usina de Aimorés Hidrelétrica Eliezer Batista - Aimorés – MG**. HIDROTOPO, set. 2016b.

_____. **Levantamento batimétrico no reservatório da Usina de Aimorés Hidrelétrica Eliezer Batista - Aimorés – MG**. HIDROTOPO, jul. 2015.

HIDROWEB. Hidroweb. Disponível em: <www.snirh.gov.br/hidroweb>. Acesso em: 14 abr. 2018.

HODOKI, Y. et al. Detection and identification of potentially toxic cyanobacteria: ubiquitous distribution of *Microcystis aeruginosa* and *Cuspidothrix issatschenkoi* in Japanese lakes. **Harmful Algae**, v. 16, p. 49-57, 2012.

HOLOS ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Relatório final**: monitoramento limnológico e da qualidade das águas – fase de operação. Nova Lima/MG: mar. 2009.

HUBBELL, S. H. **The unified neutral theory of biodivesity and biogeography**. Princeton: Princeton Univesity Press, 2001.

HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.; ESTEVES, F. A. Estrutura das comunidades fitoplanctônicas de 18 lagoas da região do baixo rio Doce, Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 50, p. 585-598. 1990.

HUSZAR, V. L. M.; WERNECK, A. M.; ESTEVES, F. A. Dinâmica nictemeral (48h) da comunidade fitoplanctônica em relação aos principais fatores abióticos na lagoa Juparanã, Linhares, Espírito Santo, Brasil: fevereiro de 1987. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 54, n. 1, p. 111-134, 1994.

ICZ – INSTITUTO DE METAIS NÃO FERROSOS. **Chumbo e a indústria**. Disponível em: <http://www.icz.org.br/chumbo-industria.php>. Acesso em: 4 set. 2018.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). **Plano de Ação Nacional para Conservação das Tartarugas Marinhas**. 2º Ciclo: 2017-2022. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Série Espécies Ameaçadas n° 25. 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.

INSTITUTO DE PESQUISA DA MATA ATLÂNTICA (IPEMA). **Contribuição ao processo de criação da Reserva de Desenvolvimento Sustentável da Foz do Rio Doce**. IPEMA, 2009.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Monitoramento da qualidade das águas superficiais em 2013**. (Resumo executivo). Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte: IGAM, 2014.

_____. **Informativo** – Bacia do Rio Doce: março/2015. Belo Horizonte: IGAM, 2015.

_____. **Encarte especial sobre a qualidade das águas do rio Doce após 1 ano do rompimento de barragem de fundão**. Relatório Técnico. Belo Horizonte: IGAM, 2016.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO). **Manual of hydrography**. Monaco: IHO, 2005.

ITUARTE, C. Primera noticia acerca de la introducción de pelecípodos asiáticos en el área rioplatense (Mollusca: Corbiculidae). **Neotropica** v. 27, p. 79-83, 1981.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN). **Guidelines for the Prevention of Biodiversity Loss Caused by Alien Invasive Species**. Cambridge: IUCN, 2000.

_____. **The World Conservation Union** – IUCN. Disponível em: <www.iucn.org>. Acesso em: 23 fev. 2006.

_____. **The IUCN Red List of Threatened Species**. IUCN, 2017. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 25 maio 2017.

JARDIM, F. A. et al. Fatores determinantes das florações de cianobactérias na água do rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 207-218, 2014.

JONES, C. G.; LAWTON, J. H.; SHACHAK, M. Organisms as ecosystem engineers. **Oikos**, v. 69, p. 373-386, 1994.

JORDÃO, C. P. et al. Heavy metal dispersion from industrial wastes in the Vale do Aço, Minas Gerais, Brazil. **Environmental Technology**, v. 17, p. 489-500, 1996.

JORGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, R. A. (Ed.). **Guidelines of lake management**. Principles of Lake Management. Japan: ILEC/UNEP, 1989. v. 1.

JUNK, W. J. Áreas inundáveis: um desafio para a limnologia. **Acta Amazônica**, v. 10, n. 4, p. 775-795, 1980.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in River Floodplains Systems. **Canadian Special Publication Fisheries and Aquatic Science**, v. 106, p. 110-127, 1989.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants. In: JUNK, W. J. **The central Amazon floodplain**: ecology of a pulsing system. Ecological Studes. Berlin: Springer, 1997. v. 126, p. 147-185.

KADAM, S. S.; BHARTIA, A. Study of Marine Benthic Organisms with Reference to Environmental Parameters, West Coast of India. **European Academic Research**, Vol.3, 2015.

KATTELMANN, R.; EMBURY, M. 1996. **Riparian areas and wetlands**. In Sierra Nevada Ecosystem Project: final report to Congress. Davis: University of California, Centers for Water and Wildland Resources, 1996. v. 3.

KENNISH, M. J. **Ecology of estuaries**: biological aspects. Florida: CRC. v. 1. 1986.

KIRK, K. L.; GILBERT, J. J. Suspended clay and the population dynamics of planktonic rotifers and cladocerans. **Ecology**, v. 71, n. 5, p. 1741-1755, 1990.

KIRKBY, M. J.; CHORLEY, R. J. Throughflow, overland flow and erosion. **Bulletin Int. Ass. of Hydrol. Sci.**, v. 12, p. 5-21, 1967.

KNAPP, R. A.; MATTHEWS, K. R. Effects of nonnative fishes on wilderness lake ecosystems in the Sierra Nevada and recommendations for reducing impacts. **USDA Forest Service Proceedings**, v. 5, p. 312-317, 2000a.

_____. Non-native fish introductions and the decline of the mountain yellow-legged frog from within protected areas. **Conservation Biology**, v. 14, n. 2. p. 428-438, 2000b.

KOELZER, V. A.; LARA, J. M. Densities and compaction rates of deposited sediment. **Journal of Hydraulics Division**, ASCE, 84, HY2, Proc. Paper 1603, 1958.

LACTEC. **Monitoramento do processo de assoreamento do reservatório da UHE Mascarenhas**. Relatório Técnico. Projeto HG-161. Curitiba: Lactec, 2001.

_____. **Estudos Necessários às atividades de dragagem previstas para a instalação do novo terminal portuário da empresa Novo Porto**. Relatório técnico nº 02: análise das alterações hidrodinâmicas e morfológicas através de modelagem matemática. Curitiba: Institutos Lactec, 2016.

_____. **Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce**. Relatório de linha-base: volume I – meio físico. Curitiba: Institutos Lactec, 2017.

LANDERS, D. H.; NAHLIK, A. M. **Final ecosystem goods and services classification system (FEGS-CS)**. EPA/600/R-13/ORD-004914. Oregon, U.S.: United States Environmental Protection Agency, 2013. Disponível em: <https://gispub4.epa.gov/FEGS/FEGS-CS%20FINAL%20V.2.8a.pdf>. Acesso em: 5 set. 2018.

LATINI, A. O.; PETRERE Jr, M. Reduction of a native fish fauna by alien species: an example from Brazilian freshwater tropical lakes. **Fisheries Management and Ecology**, v. 11, p. 71-79, 2004.

LEÃO, L. P. **Caracterização Geoquímica de Sedimentos da Bacia do Rio Maynart, MG**. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais. Trabalho Final de Graduação, 93p. 2014.

LEOPOLD, L. B.; MADDOCK, T. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. **Professional Paper: USGS Numbered Series**, Washington, v. 252, p. 1-54, 1953.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. **Fluvial processes in geomorphology**. São Francisco: W. F. Freeman & Co., 1964.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Editora Átomo, 2005.

LICHT, O. A. B. **Prospecção geoquímica**: princípios, técnicas e métodos. Rio de Janeiro: CPRM, 1998.

LIGEIRO, R. et al. What is more important for invertebrate colonization in a stream with low-quality litter inputs: exposure time or leaf species? **Hydrobiologia**, v. 654, v. 1, p. 125-136, 2010.

LODHI, M. A. et al. Estimation of suspended sediment concentration in water using integrated surface reflectance. **Geocarto International**, v. 13, n. 2, p. 11-15, 1998.

LONG, C. M.; PAVELSKY, T. M. Remote sensing of suspended sediment concentration and hydrologic connectivity in a complex wetland environment. **Remote Sensing of Environment**, n. 129, p. 197-209, 2013.

LOPES, V. A. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada de bacias e sistemas lagunares com influência do vento**. 2017. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

LOTTERMOSER, B. G. Heavy metal pollution of coastal river sediments, north-eastern New South Wales, Australia: lead isotope and chemical evidence. **Environmental Geology**, v. 36, n. 1-2, p. 118-126, 1997.

LOWE-McCONNELL, R. H. **Ecological studies in tropical fish communities**. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1987.

LUNDBERG, J. G. et al. So many fishes, so little time: an overview of Recent Ichthyological discoveries in fresh waters. **Ann. Missouri Bot. Gard.**, v. 87, n. 1, p. 26-62, 2000.

MACHADO, A. B. M. Helveciagrion n. g., com descricao de uma nova especie do parque estadual do Rio Doce, Minas Gerais (Odonata, Coenagrionidae). **Lundiana**, v. 1, p. 59-87, 1980.

MAGALHÃES, M. M.; GUARDA, V. L. M.; SANTOS, T. G. Saúde Ambiental e condições de balneabilidade em coleção hídrica do médio Rio Doce (MG). **RBCIAMB**, v. 39, p. 14-27, 2016.

MAIA-BARBOSA, P. M. et al. Composição da comunidade zooplanctônica de rios e lagos do trecho médio da Bacia do Rio Doce-MG. In: BARBOSA, F. A. R. (Coord.). **Relatório técnico-científico das atividades de janeiro a dezembro 2004**. - Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD/CNPq) - Sitio 04. 2004. Disponível em: <https://www2.icb.ufmg.br/limneapeld/site/images/PELD/relatorios/Relatrio_anual_2004_PELD_SITE_4.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2017.

MARCO JR., P. Invasion by the introduced aquatic snail *Melanoides tuberculate* (Muller, 1774) (Gastropoda: Prosobranchia: Thiaridae) of the Rio Doce State Park, Minas Gerais, Brazil. **Stud Neotrop Fauna & Environm**, v. 34, p. 186-189, 1999.

MARCO JR., P.; LATINI, A. O.; RESENDE, D. C. Thermoregulatory constraints on behavior: patterns in a neotropical. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 155-162, 2005.

MARINHO, C. C. et al. Aquatic macrophytes drive sediment stoichiometry and the suspended particulate organic carbon composition of a tropical coastal lagoon. **Acta Limnologica Brasiliense**, v. 22, n. 2, p. 208-217, 2010.

MARQUES, B. S.; BELEI, F., SAMPAIO, W. M. S. Ictiofauna do baixo rio Manhuaçu (bacia do médio rio Doce). **Evolução e Conservação da Biodiversidade**, v. 4, n. 1, p. 32-41, 2013.

MARQUES, M. G. S. M.; FERREIRA, R. L.; BARBOSA, F. A. R. A comunidade de macroinvertebrados aquáticos e características limnológicas das lagoas Carioca e da Barra, Parque Estadual do Rio Doce, MG. **Rev. Brasil. Biol.**, v. 59, p. 203-210, 1999.

MARQUES, M. M. **Aplicação da teoria de habitat-templets à avaliação da qualidade de água**: proposta de criação de índices bióticos no trecho médio da bacia do rio Doce, MG. Belo Horizonte: 2004. Tese (Doutorado em Ecologia Conservação e Manejo de Vida Silvestre) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

_____. Diversidade de organismos bentônicos. In: PINTO-COELHO, R. M. **Elaboração de um banco de dados sobre a biota aquática no médio rio Doce**. 2006. Disponível em: <http://www.rmpcecologia.com/projetos/riodoce/bentos_qual.htm>. Acesso em: 11 jul. 2017.

MARQUES, M. M. G. S. M.; BARBOSA, F. A. R.; CALLISTO, M. Distribution and Abundance of Chironomidae (Diptera, Insecta) in an Impacted Watershed in South-East Brazi. **Rev. Brasil. Biol.**, v. 59, p. 553-561, 1999.

MARQUES, M. M.; BARBOSA, F. Biological quality of waters from an impacted tropical watershed (middle Rio Doce basin, southeast Brazil), using benthic macroinvertebrate communities as an indicator. **Hydrobiologia**, v. 457 p. 69-76, 2001.

MARTINS, C. M. **Rastreamento geoquímico de possíveis contaminações remanescentes de minerações de pirita no Município de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental e Conservação de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

MARTINS, F. C. O. **Avaliação ambiental integrada como subsídio ao manejo lacustre (estudo de caso: lagoa Juparanã, ES)**. 2013. Tese (Doutorado em Oceanografia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Aracruz, 2013.

_____. Caracterização limnológica e aplicação do modelo DPSIR visando à avaliação integrada de bacias hidrográficas lacustres. **Ambiência**, v. 12, n. 2, p. 573-597, 2016.

MARTINS, R. F. **Avaliação da presença de metais e de biomarcadores fecais em sedimentos do rio Barigui na região metropolitana de Curitiba – PR**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MARZOLF, G. R. Reservoirs as Environments for Zooplankton. In: THRONTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. (Eds.). **Reservoir limnology**: ecological perspectives. Wiley Interscience Publication, 1990. p. 195-208.

MATSCHULLAT J.; OTTENSTEIN R.; REIMANN C. Geochemical background - can we calculate it? **Environmental Geology**, v. 39, p. 990-1000. 2000.

MATSUMURA, M. S**. Avaliação e estudo das emissões de metais pesados pela barragem de Santarém (Samarco Mineração S.A.) no sistema hídrico da região de Ouro Preto e Mariana**. Um estudo da qualidade das águas. 1999. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

MATTHEWS, W. J. **Patterns in freshwater fish ecology.** New York: Chapman & Hall, 1998.

MAYRINK, N. et al. Benthic macroinvertebrate diversity in the middle Doce River: the beginning of the Brazilian Long-Term Ecological Research (LTER). **Program. Verh. Internat. Verein. Limnol**, v. 28, p. 1-4, 2002.

MEIS, M. R. M.; TUNDIZI, J. G. Geomorphological and limnological processes as a basis for lake typology. The middle rio Doce lake system, In: TUNDISI, J. G.; YATSUKA, S. (Orgs.). **Limnological studies on the rio Doce Valley Lakes, Brazil**. São Paulo: USP, 1997.

MELO, A. S. O que ganhamos 'confundindo' riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? **Biota Neotrop.**, v. 8, n. 3, 2008.

MENDES, N. G. S.; COSTA, A. G. Comunidades de microalgas e variáveis limnológicas abióticas no rio Santa Maria do Doce (Santa Teresa-ES). **Natureza online**, v. 14, n. 1, p. 32-37, 2016.

MENDES, N. G. S. et al. Comunidades de microalgas e variáveis limnológicas abióticas no rio Santa Maria do Doce (Santa Teresa-ES). In: SIMPÓSIO SOBRE A BIODIVERSIDADE DA MATA ATLÂNTICA, 3., 2014, Santa Teresa. **Anais...** Santa Teresa: Museu de Biologia Mello Leitão, 2014. p. 121-126.

MENEZES, N. A. Methods for assessing freshwater fish diversity. In: MENEZES, N. A.; BICUDO, C. E. M. (Org.). **Biodiversity in Brazil**: a first approach. São Paulo: CNPq, 1996a. p. 289-295.

_____. **Padrões de distribuição da Biodiversidade da Mata Atlântica do Sul e Sudeste Brasileiro**: peixes de água doce. Resumo. Conservation International e FundaçãoBiodiversitas – workshop, 1996b.

MENEZES, N. A. et al. **Catálogo das espécies de peixes marinhos do Brasil**. São Paulo: Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, 2003.

MENEZES, N. A. et al. **Peixes de água doce da Mata Atlântica**. São Paulo: Museu de Zoologia/USP; Conservação Internacional; FAPESP; CNPq, 2007.

MESCHIATTI, A. J.; ARCIFA, M. S.; FENERICH-VERANI, N. Fish communities associated with macrophytes in Brazilian floodplain lakes. **Environmental Biology of Fishes**, v. 58, p. 133-143, 2000.

MICRA MICROBIOLOGIA E CONTROLE AMBIENTAL. **Programa de monitoramento limnológico e de qualidade das águas da Usina Hidrelétrica Eliezer Batista**. Relatório consolidado – período de março a dezembro de 2012. Ponte Nova/MG: fevereiro de 2013a.

_____. **Programa de monitoramento limnológico e de qualidade de águas da Usina Hidrelétrica Eliezer Batista**. Relatório consolidado – período março a dezembro 2013. Ponte Nova, MG: fevereiro, 2013b.

_____. **Programa de monitoramento limnológico e de qualidade de águas da Usina Hidrelétrica Eliezer Batista**. Relatório consolidado - período março a dezembro 2013. Ponte Nova, MG: 2014.

_____. **Programa de monitoramento limnológico e de qualidade de águas da Usina Hidrelétrica Eliezer Batista**. Relatório consolidado – período junho de 2014 a março de 2015. Ponte Nova/MG: fevereiro de 2016a.

_____. **Programa de monitoramento limnológico e de qualidade de águas da usina hidrelétrica Eliezer Batista**. Relatório consolidado período junho de 2015 a março de 2016. Ponte Nova/MG: maio de 2016b.

_____. **Programa de monitoramento limnológico e de qualidade de águas da usina hidrelétrica Baguari**. Banco de dados da concessionária. Acesso em: 9 mar. 2018.

MICRA Saneamento Ambiental. **Relatório de acompanhamento referente ao Programa de Monitoramento Limonológico da UHE Risoleta Neves**. Relatório parcial: período de março/2012. Ponte Nova/MG: 2012.

MILANI, I. C. B. **Determinação polarográfica de metais em ambientes do sistema Patos-Mirim**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande, Porto Alegre, 2004.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). **Ecosystems and human well-being**: current state and trends, Chapter 7 - Freshwater Ecosystem Services. Volume 1, ed. by R. Hassan, R. Scholes & N. Ash. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.312.aspx.pdf>. Acesso em: 6 set. 2018.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 5 de maio de 2008. **Diário Oficial do Executivo**, Belo Horizonte, MG, 20 maio 2008a.

_____. Deliberação COPAM nº 366, de 15 de dezembro de 2008. Aprova a Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 18 dez. 2008b.

_____. Deliberação Normativa COPAM nº 147, de 30 de abril de 2010. Aprova a lista de espécies ameaçadas de extinção da fauna do Estado de Minas Gerais. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 4 maio 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Águas Subterrâneas e o Ciclo Hidrológico**. 2018. Disponível em: http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico.html. Acesso em 12 de julho de 2018.

_____. **Sumário Executivo: Livro Vermelho da Biodiversidade**. 76p. 2016.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 3, p. 424-432, 2011.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; RUHOFF, A. L. Utilização de métodos de representação especial para cálculo do fator topográfico na Equação Universal de Perda de Solo revisada em bacias hidrográficas. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1455-1462, 2010. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400041.

MIRANDA, C. L. et al. Análise morfométrica de populações do caranguejo-uçá (*Ucides Cordatus L.)* (*Crustacea – Decapoda*) em manguezais do litoral do Espírito Santo. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, Salvador, v. 4, n. 1, p. 15-23, 2005.

MIRANDA, R. B.; SCARPINELLA, G. A.; MAUAD, F. F. Influência do Assoreamento na Capacidade de Armazenamento do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Irmãos (SP/Brasil). **Revista Recursos Hídricos**, v. 34, n. 2, p. 69-79, 2013.

MOREIRA, F. W. A. et al. Assessing the impacts of mining activities on zooplankton functional diversity. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 28, n. 7, 2016.

MOREIRA, R. C. A. **Referência Geoquímica regional para interpretação das concentrações dos elementos químicos em sedimentos na bacia do Lago Paranoá – DF**. Dissertação de Mestrado em Geociências – Instituto de geociências/UnB. 2002.

MORETTI, M. S.; CALLISTO, M. Biomonitoring of benthic macroinvertebrates in the middle Doce River watershed. **Acta Limnol. Bras**., v. 17, p. 267-281, 2005.

MORETTI, M. S.; LOYOLA, R. D. Does Barypenthus concolor Burmeister (Trichoptera: Odontoceridae) Select Particles of Different Sizes for Case Building? **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 337-340, 2005.

MORIASI, D. N. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Trans. Asabe**, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

MORO, M. **Avaliação do modelo LISEM na Simulação dos processos hidrossedimentológicos de uma pequena bacia rural localizada nas encostas basálticas do Rio Grande do Sul**. 2011. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MORRIS, G. L.; FAN, J. Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. New York: McGraw-Hill, 1997.

MORRIS, G. L.; FAN, J. **Reservoir sedimentation handbook**: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. New York: McGraw-Hill, 1998.

MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, 2010.

MUNDAY JR., J. C.; ALFÖLDI, T. T. (1979). Landsat test of diffuse reflectance models for aquatic suspended solids measurement. **Remote Sensing of Environment**, n. 8, v. 2, p. 169-183.

NATAL, D. et al. First record of Anopheles (Anopheles) costai Fonseca & Ramos, 1939 in Espírito Santos state, Brazil. **Rev. Inst. Med. trop.**, São Paulo, v. 49, n. 5. p. 323-326, 2007.

NEIFF, J.J. 1982. **Esquema sucesional de la vegetacion em islas flotantes del chaco argentino**. Boletin de la Sociedad Argentina de Botánica 21: 325-341.

NETO, A. J. G. et al. Zooplankton communities as eutrophication bioindicators in tropical reservoirs. **Biota Neotropica**, v. 14, n. 4, p. 1-12, 2014.

NEVES, I. F. et al. Zooplankton community structure of two marginal lakes of the river Cuiabá (Mato Grosso, Brazil) with analysis of rotifera and cladocera diversity. **Braz. J. Biol**., v. 63, n. 2, p. 329-343, 2003.

NOGUEIRA, C. et al. Restricted-Range Fishes and Conservation of Brazilian Freshwaters. **Plos-One**, v. 5, n. 6, p. 1-10, 2010.

OKAWA, C. M. P.; MANASSÉS, E. J.; NAGASHIMA, E. S. Avaliação de métodos de cálculo de descarga sólida aplicados à bacia litorânea. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 1997, Vitória. **Anais...** Vitória, 1997.

OLIVEIRA, E.F & GOULART, E., Distribuição espacial de peixes em ambientes lênticos: interação de fatores. ***Acta Scientiarum**, 22(*2): 445-453. 2000.

OLIVEIRA, E. G. de. **Contribuições para o diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do rio Doce, estudo de caso**: sub-bacia do rio Piranga. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

OLIVEIRA, K. G. V. **Caracterização morfométrica e parâmetros populacionais de *Phrynops geoffroanus* (Testudines: Chelidae) em lagoa urbana no norte do Espírito Santo**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Vila Velha, Vila Velha, 2015.

OLRIK, K. **Phytoplankton ecology**. Denmark: DEPA, 1994.

PACHECO, A. A. **Avaliação da contaminação em solos e sedimentos da bacia hidrográfica do rio Doce por metais pesados e sua relação com o fundo geoquímico natural**. 2015. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

PADIAL, A. A.; THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A. Effects of structural heterogeneity provide by floating macrophyte Eichhornia azurea on the predation efficiency and habitat use of the small Neotropical fish Moenkhausia sanctaefilomenae. **Hydrobiologia**, v. 624, p. 161-170, 2009.

PAGGI, J. C.; JOSÉ DE PAGGI, S. Zooplâncton de ambientes lóticos e lênticos do rio Paraná médio. **Acta Limnol. Bras**., v. 3, p. 685-719, 1990.

PAINE, R. T. A note on trophic complexity and community stability. **American Naturalist**, v. 103, p. 91-93, 1969.

_____. Food webs: linkage, interaction strength and community infrastructure. **Journal of Animal Ecology**, v. 49, p. 666-685, 1980.

PAIVA, R. C. D. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias**. Estudo de caso: bacia do Rio Solimões. 2009. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PANARELLI, E. A.; NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R. short-term variability of copepod abundance in jurumirim reservoir, São Paulo, Brazil. **Braz. J. Biol**., v. 61, n. 4, 577-598, 2001.

PANDEY, A. et al. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. **Catena**, v. 147, p. 595-620, 2016.

PANOSSO, R. et al. Cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios do estado do Rio Grande do Norte e o potencial controle das florações pela tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). **Oecologia brasiliensis**, v. 11, n. 3, p. 433-449, 2007.

PARRA, R. R. et al. Influência antrópica na geoquímica de água e sedimentos do rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. **Geochímica Brasiliensis**, v. 21, p. 36-49, 2007.

PASSAMANI, M.; MENDES, S. L. **Espécies da fauna ameaçadas de extinção no Estado do Espírito Santo**. Vitória: Instituto de Pesquisas da Mata Altântica, 2007.

PEDRALLI, G. Macrófitos aquáticos: técnicas e métodos de estudos. **Estudos de Biologia**, v. 26, p. 5-24, 1990.

PEDRALLI, G.; TEIXEIRA, M. C. B. Macrófitas aquáticas como agentes filtradores de materiais particulados, sedimentos e nutrientes. In: HENRY, R. **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: Rima, 2003. p. 177-194.

PEDROZO, C. S.; ROCHA, O. Zooplankton and water quality of lakes of the Northern Coast of Rio Grande do Sul State, Brazil. **Acta Limnol. Bras.**, v. 17, n. 4, p. 445-464, 2005.

PEIXOTO, R. S. et al. Occurrence of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) and *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro, 1957 in lakes of the Middle River Doce, MG, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 22, n. 3, p. 356-360, 2010.

PELICICE, F. M.; AGOSTINHO, A. A; THOMAZ, S. M. Fish Assemblages Associated with Egeria in a tropical reservoir: Investigating the effects of plant biomass and Diel Period. **Acta Oecologica**, Paris, v. 27, p. 9-16, 2005.

PERES NETO, P. R.; BIZERRIL, C. R. S. F.; IGLESIAS, R. An overview of son aspects of river ecology: a case study on fish assemblages distribution in an eastern Brazilian coastal river. Oecologia Brasiliensis, v. 1, p. 317-334, 1995.

PETRERE JR., M. **Migraciones de peces de agua Dulce em America Latina:** algunos comentarios. Rome: COPESCAL, FAO, Doc. Ocas., I., 1985.

_____. Fisheries in large tropical reservoirs in South América. Lakes. **Reservoirs Research and Management**, v. 2, p. 111-133, 1996.

PETRY, P.; BAYLEY, P. B.; MARKLE, D. F. Relationships between fish assemblages, macrophytes and environmental gradients in the Amazon River floodplain. **Journal of Fish Biology**, v. 63, p. 547-579, 2003.

PHILIPPI JR, A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de gestão ambiental**. São Paulo: Editora Manoel, 2004.

PIMENTEL, H. S. **Caracterização geoquímica da contaminação das águas da serra de Ouro Preto, Minas Gerais**. 2001. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

PINHEIRO, A. et al. Relação entre o uso do solo e a qualidade da água em bacia hidrográfica rural no bioma Mata Atlântica. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, p. 127-139, 2014.

PINTO, H. A.; MELO, A. L. *Melanoides tuberculata* (Mollusca:Thiaridae) as na intermediate host of *Centrocestus formosanus* (Trematoda: Heterophyidae) in Brazil. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 52, p. 207-210, 2010a.

_____. *Melanoides tuberculata* as Intermediate host of *Philophthalmus gralli* in Brazil. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 52, p. 323-327, 2010b.

PIVARI, M. et al. Macrófitas aquáticas do sistema lacustre do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 4, p. 759-770, 2011.

PIVARI, M. et al. Macrófitas aquáticas da lagoa Silvana, Vale do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **IHERINGIA**, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 63, n. 2, p. 321-327, jul./dez. 2008.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição**: aspectos físico-químicos. São Paulo: ABES, 2005.

POLETO, C.; MERTEN, G. H. **Qualidade dos sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2006.

POMPEU, P. S.; ALVES, C. B. M. Local fish extinction in a small tropical lake in Brazil. **Neotrop. Ichthyol.**, v. 1, n. 2, p. 133-135, 2003.

PONTES, P. R. et al. Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 888-904, 2015.

POTT, V. J.; POTT, A. **Plantas aquáticas do Pantanal**. Corumbá: Embrapa, 2000.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A vida dos vertebrados**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

PRESCOTT CREEKS. Venturing into the world of ecosystem services. **Prescott Creeks**, 26 abr. 2012. Disponível em: <https://prescottcreeks.org/venturing-into-the-world-of-ecosystem-services/>. Acesso em: 6 set. 2018.

QUATRO CONSULTORIA AMBIENTAL. **Aproveitamento hidrelétrico de Baguari**. Relatório de atendimento da condicionante 6.4, no. RE-PCA-BAG-027, Quatro, 2006.

RAMOS, R. C. **Estudo da composição taxonômica e da densidade de macroinvertebrados bentônicos no sistema de lagoas naturais do Vale do Médio Rio Doce (MG), com ênfase na espécie de molusco exótica *Melanoides tuberculata* (Muller, 1774)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2008.

RANGEL, M. et al. Analysis of the toxicity and histopathology induced by the oral administration of *Pseudanabaena galeata* and *Geitlerinema splendidum* (Cyanobacteria) extracts to mice. **Marine Drugs**, v. 12, p. 508-524, 2014.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2002.

RENNELLA, A. M.; R. QUIRÓS. 2006. The Effects of Hydrology on Plankton Biomass in Shallow Lakes of the Pampa Plain. **Hydrobiologia**, v. 556, n. 1, p. 181-191, 2006.

RESH, V. H. Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. **Environ Monit Assess**, v. 138, p. 131-138, 2008.

REYNOLDS, C. R. **The ecology of freshwater phytoplankton**. London: Cambridge University, 1984.

REYNOLDS, C. S.; DESCY, J. P.; PADISÁK, J. Are phytoplankton dynamics in rivers so different from those in shallow lakes? **Hydrobiologia**, v. 289, n. 1-3, p. 1-7, 1994.

RHODES, V. P. **Distribuição do mercúrio e arsênio nos sedimentos de área afetada por garimpo de ouro – rio Gualaxo do Norte, Mariana – MG**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

RIBEIRO, R. K. **Mineralogia, geoquímica e gênese das ocorrências auríferas no flanco norte do anticlinal de Mariana, Quadrilátero Ferrífero**: uma nova tipologia de minério denominada bugre. 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

RICCI, C.; MELONE, G. Key to the identification of the genera of bdelloid rotifers. **Hydrobiologia**, v. 418, p. 73-80, 2000.

RIETZLER, A. C.; LOBATO, D. GUIMARÃES, R. L. Avaliação da qualidade das águas na bacia do médio Rio Doce através de parâmetros ecotoxicológicos. In: BARBOSA, F. A. R.; MARTINS, R. P. **Relatório Técnico-Científico das atividades de agosto 2002 a dezembro 2003**. Programa de Pesquisa Ecológicas de Longa Duração – PELD/CNPq: Site 4 – Mata Atlântica e Sistema Lacustre do médio Rio Doc – MG, 2004.

RINGUELET, R. A. Zoogeografia y ecología de los peces de aguas continentales de la Argentina y consideraciones sobre las areasictológicas de America del Sur. **Ecosur**, v. 2, n. 3, p. 1-122, 1975.

RIZZARDI, A. S. **Avaliação e caracterização dos sedimentos transportados no rio Vacaraí Mirim**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

ROCHA, C. F. D. Composição e organização da comunidade de répteis da área de Mata Atlântica da região de Linhares, Espírito Santo. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA, 8., 1998, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1998. p. 869-881.

ROCHA, O. et al. Predation on and by pelagic Turbellaria in some lakes in Brazil. **Hydrobiologia**, v. 198, p. 91-101, 1990.

RODRIGUES A. S. de L. **Caracterização da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil: Avaliação Geoquímica Ambiental e Proposição de Valores de *Background***. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Dissertação de Mestrado. 190p. 2012.

RODRIGUES, A. M. T. et al. A explotação do caranguejo *Ucides cordatus* (*Decapoda*: *Ocypodidae*) e o processo de gestão participativa para normatização da atividade na região sudeste-sul do Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 63-78, 2000.

RODRIGUES, S. G.; BUENO, A. A. P. Impact of iron ore mining on benthic macroinvertebrate community. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 14, p. 15-19, 2016.

ROSENBERG, D. M.; RESH, V. H. **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates**. New York: Chapman & Hall, 488p., 1993.

RUEDA-ALMONACID, J. V. et al. **Las tortugas y los cocodrilianos de los países andinos de Trópico**. Bogotá-Colombia: Conservación Internacional, 2007.

SALOMONS, W. Biogeodynamics of contaminated sediments and soils: perspectives for future research. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 62, n. 1, pp. 37-40. 1998.

SÁNCHEZ-BOTERO, J. I. et al. Ictiofauna associada às macrófitas aquáticas Eichhornia azurea (SW.) Kunth. e Eichhornia crassipes (Mart.) Solms. no lago Camaleão, Amazônia Central, Brasil. **Acta Scientiarum**, v. 25, n. 2, p. 369-375, 2003.

SANTOLIN, C. V. A. **Quantificação e avaliação ambiental da contaminação por metais e arsênio em sedimentos da bacia do rio Doce – MG**. 2015. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

SANTOS, G. M.; FERREIRA, E. J. G. Peixes da Bacia Amazônica. In: LOWEMcCONNELL, R. H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. São Paulo: EDUSP, 1999. p. 345-373.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Lactec, 2001.

SANTOS, S. B. et al. Espécies de moluscos límnicos invasores no Brasil. In: BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Moluscos límnicos invasores do Brasil**: biologia, prevenção e controle. Porto Alegre: Redes Editora, 2012.

SANTOS, T. R. M. **A influência de espécies introduzidas de peixes nas interações tróficas da ictiofauna da Lagoa Carioca, Parque Estadual do rio Doce, MG**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SANTOS-WISNIEWSKI, M. J. et al. O estado atual do conhecimento da diversidade dos Cladocera (Crustacea, Branchiopoda) nas águas doces do estado de Minas Gerais. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 3, p. 287-301, 2011.

SARMENTO-SOARES, L. M. **Distribuição e Endemismo de Peixes de Riacho do Espírito Santo** - Projeto BIOdiversES - Projeto de Pesquisa Científica - 2008 - 2010 – Edital Universal Mct/Cnpq 14-2008. Proposta apresentada em 6 de agosto de 2008. Disponível em: <http://www.nossacasa.net/biodiverses/doc/biodiverses1.pdf>.

SARMENTO-SOARES, L. M.; MARTINS-PINHEIRO, R. F. Rios e peixes do Espírito Santo: estado atual do conhecimento da ictiofauna de água doce. **Boletim SBI**, v. 95, p. 6-7, 2009.

_____. **Relação de lotes do Espírito Santo disponíveis nos bancos de dados públicos das principais coleções ictiológicas do país considerados no Projeto BIOdiversES**. 2010. Disponível em: <http://www.nossacasa.net/biodiverses/doc/anexo_b.pdf>.

_____. **Contribuição ao conhecimento das bacias hidrográficas do Espírito santo**. 2012. 40 f. Espírito Santo, 2012. Disponível em http://www.academia.edu/4261412/Contribui%C3%A7%C3%A3o_ao_conhecimento_das_bacias_hidrogr%C3%A1ficas_do_Esp%C3%ADrito_Santo. Acesso em 12 julho de 2018.

_____. A fauna de peixes nas bacias do sul do Espírito Santo, Brasil. **Sitientibus série Ciências Biológicas**, v. 13, p. 1-37, 2014a.

_____. A fauna de peixes na bacia do rio Barra Seca e na REBIO de Sooretama, Espírito Santo, Brasil. **Bol. Mus. Biol.**, Mello Leitão (N. Sér.), v. 35, p. 49-104, 2014b.

SAZIMA, I.; ZAMPROGNO, C. Use of water hyacinths as shelter, foraging place, and transport by young piranhas Serrasalmus spilopleura. **Environmental Biology of Fishes**, v. 12, p. 237-240, 1985.

SCAPIN, J.; PAIVA, J. B. D.; BELING, F. A. Avaliação de métodos de cálculo do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano. **ABRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 4, p. 5-21, 2007.

SEGERS, H. Global diversity of rotifers (Rotifera) in freshwater. **Hydrobiologia**, v. 595, p. 49-59, 2008.

SENDACZ, S.; CALEFFI, S.; SANTOS-SOARES, J. Zooplankton biomass of reservoirs in different trophic conditions in the state of São Paulo, Brazil. **Braz. J. Biol**., v. 66, n. 1B, p. 337-350, 2006.

SHANNON, C.E.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press. 1949.

SHEATH, R. G. Biogeography of freshwater algae. **Encyclopedia of Life Sciences**, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, p. 1-5, 2001.

SHUTTLEWORTH, W. J. Evaporation. In: MAIDMENT, D. **Handbook of hydrology**. [S.l.]: McGraw-Hill, 1993.

SIGOLO, J. B. **Aplicação da geoquímica de superfície na análise da mobilidade e concentração de metais em ambiente tropical**. 1998. Tese (Livre-Docente) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SILVA, A. C. et al. Características químicas, mineralógicas e físicas do material acumulado em terraços fluviais, originado do fluxo de lama proveniente do rompimento de barragem de rejeitos de mineração de ferro em Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brasil. **Revista Espinhaço**, v. 5, n. 2, p. 44-53, 2016.

SILVA, C. L. **Estudo da qualidade da água na sub-bacia do ribeirão do Carmo (MG), com ênfase na geoquímica e na comunidade zooplanctônica**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

SILVA, C. L.; COSTA, A. T.; LANDA, J. G.; FONSECA, H. F. C.; SILVEIRA, A. Evaluation of sediment contamination by trace elements and the zooplankton community analysis in area afected 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.

SILVA, D. S. S. **Modelos Empíricos para estimativa de produção de sedimentos**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SILVA, P. C.; MALABARBA, M. C.; MALABARBA, L. R. Using ancient DNA to unravel taxonomic puzzles: the identity of Deuterodon pedri (Ostariophysi: Characidae). **Neotropical Ichthyology**, v. 15, n. 1, p. e160141, 2017.

SILVA-BRANDÃO, K. L. et al. Avaliação genética comparada das populações de tartaruga da Amazônia, Podocnemis expansa (Schweigger, 1812), dos rios Trombetas, Tapajós, Nhamundá e Amazonas In: MORATO, S. A. A.; FERREIRA, G. N.; CAVILHA-SCUPINO, M. R. (Org.). **Herpetofauna da amazônia central**: estudos na FLONA de Saracá-Taquera. Curitiba: STCP Engenharia de Projetos Ltda.; Porto Trombetas: MRN - Mineração Rio do Norte S.A., 2018. p. 114-138.

SILVEIRA, A. L. et al. Ocorrência de *Hydromedusa maximiliani* (Mikan, 1825) (Testudines, Chelidae) na borda oriental da Serra do Cipó, em Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERPETOLOGIA, 6., 2013, Salvador. **Anais...** Salvador, 2013.

SILVEIRA, M. P. **Aplicação do biomonitoramento da qualidade da água em rios**. Braíslia, DF: Embrapa, 2004.

SIMÕES, N. R. et al. Impact of reservoirs on zooplankton diversity and implications for the conservation of natural aquatic environments. **Hydrobiologia**, v. 758, p. 3-17, 2015.

SIQUEIRA, R. C. **Estrutura e composição da ictiofauna do médio rio Casca, bacia do (alto) rio Doce, Minas Gerais, Brasil**. 2010. Monografia (Aperfeiçoamento/Especialização em Avaliação de fauna e flora em estudos ambientais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SLÁDECEK, V. Rotifers indicators of water quality. **Hydrobiologia**, v. 100, p. 169-201, 1983.

SOBRINHO, T. A. et al. Avaliação de métodos para a estimativa da descarga sólida total em rios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2013.

SOUSA, B. M.; NOVELLI, I. A. Reptilia, Testudines, Chelidae: *Hydromedusa tectifera*: Distribution extension in Brazil. **Check List**, v. 5, n. 3, p. 396-398, 2009.

SOUZA, A. S. **A influência do uso e cobertura do solo na comunidade de macroinvertebrados bentônicos do trecho médio da bacia do rio Doce – MG**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ecologia Conservação e Manejo de Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SOUZA, J. J. L. L. et al. Geochemistry and spatial variability of metal(loid) concentrations in soils of the state of Minas Gerais, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 505, p. 338-349, 2015.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005.

SPIEGELBERG, G. **Um modelo morfodinâmico**: desenvolvimento e aplicação no reservatório da usina hidrelétrica de estreito no rio Tocantins. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

STOERMER, E. F.; SMOL, J. P. **The diatoms**: applications for the environmental and earth sciences. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

SUZUKI, H. I. et al. Reproductive strategies of the fish community of the upper Paraná river floodplain. In: AGOSTINHO, A. A. et al. (Orgs.). **Structure and functioning of the Paraná river and its floodplain**. Maringá: EDUEM, 2004. p. 125-130.

TAGLIAPIETRA, D.; SIGOVINI, M. Benthic fauna: collection and identification of macrobenthic invertebrates. **Terre et Environement**, Vol. 88, p. 253–261, 2010.

TEDESCO, L. P.; CLERCIN, N. **Algal ecology, taste and odor, and microcystin occurrence in Patoka Lake, Southern Indiana**. Final Report 2011. Center for Earth and Environmental Science, 2011. Disponível em: <http://plrws.net/storage/Patoka_Lake_2011_Final_Report.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2017.

TEEB. **TEEB for Agriculture & Food: Scientific and Economic Foundations.** Geneva: UN Environment. 2018.

THORNTON, K. W. Perspectives on reservoir limnology. In: THORTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE F. E. (Orgs.). **Reservoir limnology**: ecological perspectives. New York: John Wiley & Sons, 1990. p. 1-15.

TINÔCO, A. A. P. et al. Avaliação de contaminação por mercúrio em Descoberto, MG. **Eng. Sanit. Ambient**, v. 15, p. 305-314, 2010.

TREMARIN, P. I. **Taxonomia e distribuição do gênero Aulacoseira Twaithes (Bacillariophyta) no Brasil**. 2012. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS; ABRH, 1998.

_____. **Gestão da água no Brasil**. Brasília, DF: UNESCO, 2001.

_____. **Prognóstico de turbidez no rio Doce**. Porto Alegre: Rhama Consultoria, Pesquisa e Treinamento Ambiental, nov. 2016.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TUNDISI, J. G. et al. Limnological studies at quaternary lakes in eastern Brazil. I. Primary production of phytoplankton and ecological factors at lake D. Helvecio. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p. 5-14, 1981.

TUNDISI, J. G.; SAIJO, E. Y. **Limnological studies on the rio Doce Valley Lakes, Brazil**. São Paulo: Brazilian Academy of Sciences, 1997.

UETZ, P.; HOŠEK, J. (Eds.). The Reptile Database. 2016. Disponível em: <http://www.reptile-database.org>. Acesso em: 22 jun. 2017.

UHE BAGUARI. **Empreendimento**. Disponível em: <http://www.uhebaguari.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 1 ago. 2018.

VALIELA, I. **Marine ecological processes**. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 1995.

VANNOTE, R. L et al. The river continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v. 37, p. 130-137, 1980.

VANONI, V. A. **Sedimentation engineering**. New York: ASCE, American Society of Civil Engineers, 1975.

VAREJÃO, E. V. et al. Arsenic and trace metals in river water and sediments from the southeast portion of the Iron Quadrangle, Brazil. **Environmental Monitoring Assessment**, n. 172, p. 631-642, 2011.

VASCONCELLOS, M. G. et al. Composição ictiofaunística do sistema lacustre do vale do rio Doce (MG), Brasil. In: SIMPÓSIO DE ECOLOGIA DO PPGERN, 2., 2008, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2008.

VASCONCELOS, M. C.; ESPÍRITO-SANTO, M. M.; BARBOSA, F. A. R. Depth effects on the abundance, survivorship rate and size of *Melanoides tuberculatus* (Prosobranchia: Thiaridae) in Dom Helvécio Lake, Minas Gerais, Brazil. **Acta Limnol. Bras.**, v. 21, p 393-397, 2009.

VAZ, J. F. et al. Ocorrência no Brasil de Thiara (Melanoides) tuberculada (O. F. Muller, 1774) (Gastropoda: Prosobranchia), primeiro hospedeiro intermediário de Clonorchis sinensis (Cobbod, 1875 (Trematoda: Plathyhelmintes)). **Rev. Saude Publ. São Paulo**, v. 20, p. 318-322, 1986.

VAZZOLER, A. E. A. M. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos**: teoria e prática. Maringá: EDUEM, 1996.

VAZZOLER, A.E.A.M., AGOSTINHO, A.A. & HAHN, N.S. A planície de inundação do Compartimento I rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá, EDUEM, 460p. 1997.

VAZZOLER, A. E. A. M.; MENEZES, N. A. Síntese de conhecimentos sobre o comportamento reprodutivo dos Characiformes da América do Sul (Teleostei, Ostariophysi). **Rev. Brasil. Biol.**, v. 52, n. 4, p. 627-640, 1992.

VERMOTE, E. et al. Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. **Remote Sensing of Environment**, v. 185, p. 46-56, 2016.

VIANA, J.P. **Os pescadores da bacia do rio Doce: subsídios para a mitigação dos impactos socioambientais do desastre da Samarco em Mariana, Minas Gerais.** Brasília: Ipea, 2016. (Norma Técnica n.11). Disponível em: Acesso em: set. 2016.

VIANA, J.P. **As atividades de pesca e aquicultura na bacia do rio doce: subsídios para a mitigação dos impactos socioeconômicos do desastre da Samarco em Mariana, Minas Gerais.** Boletim regional, urbano e ambiental |16| jan.-jun. 2017.

VIDIGAL, T. H. D. A. et al. Gastrópodes e bivalves límnicos do trecho médio da bacia do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Lundiana**, v. 6, p. 67-76, 2005.

VIEIRA, F. In: G.M. DRUMMOND, C.S. MARTINS, A.B.M. MACHADO, F.A. SEBAIO & Y. ANTONINI (org.). **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. 2a. ed. Fundação Biodiversitas: Belo Horizonte. 2005. Peixes, p. 73-80.

VIEIRA, F. **A ictiofauna do rio Santo Antônio, bacia do rio Doce, MG**: proposta de conservação. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

_____. Distribuição, impactos ambientais e conservação da fauna de peixes da bacia do rio Doce. **MG.Biota**, v. 2, p. 5-22, 2009.

VIEIRA, F.; ALVES, C. B. M.; SANTOS, G. B. Rediscovery and first record of Henochilus wheatlandii (Teleostei: Characiformes) a rare neotropical fish, in rio Doce basin of southeatern Brazil. **Ichthyological Explorations of Freshwaters**, v. 11, p. 201-206, 2000.

VILLAR, R. E. et al. The integration of field measurements and satellite observations to determine river solid loads in poorly monitored basins. **Journal of Hydrology**, v. 444, p. 221-228, 2012.

VISÃO AMBIENTAL. **Relatório de Qualidade Da Água. Campanha – água superficial – 2012/2013**. UHE Risoleta Neves. Município Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado / MG. Belo Horizonte: julho de 2013.

_____. **Relatório de Qualidade Da Água. Campanha – água superficial – 2013/2014**. UHE Risoleta Neves. Município Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado / MG. Belo Horizonte: agosto de 2014.

_____. **Relatório de Qualidade Da Água. Campanha – água superficial – 2014/2015. UHE Risoleta Neves. Município Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado / MG**. Belo Horizonte: agosto de 2015.

_____. **Relatório de Qualidade Da Água. Campanha – água superficial – 2015/2016**. UHE Risoleta Neves. Município Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado / MG. Belo Horizonte: maio de 2016.

VOGT, R. C. et al. Avaliação do risco de extinção dos quelônios continentais no Brasil. Processo de avaliação do risco de extinção da fauna brasileira. **ICMBio**, 2015. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/estado-de-conservacao/2791-repteis-quelonios-continentais>. Acesso em: 25 maio 2017.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005.

WALKER, I. Ecologia e biologia dos igapós e igarapés. **Ciência Hoje**, v. 11, n. 64, p. 44-53, 1990.

WHATELY, M.; HERCOWITZ, M. **Serviços ambientais**: conhecer, valorizar e cuidar: subsídios para a proteção de mananciais de São Paulo. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2008.

WHITFIELD, A. K.; ELLIOTT, M. Fishes as indicators of environmental and ecological changes within estuaries: a review of progress and some suggestions for the future. **Journal of Fish Biology**, v. 61, n. sA, p. 229-250, 2002.

WIGMOSTA, M. S.; VAIL, L. W.; LETTENMAIER, D. P. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. **Water Resources Research**, v. 30, n. 6, p. 1665-1679, 1994.

WILLIAMS, J. R. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: U.S. Department of Agriculture. **Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources**. Washington: Publication ARS-S-40, p. 244-252, 1975.

_____. The EPIC Model. In: SINGH, V. P. **Computer models of watershed hydrology**. Water Resources Publications. Highlands Ranch, CO, 1995. p. 909-1000.

WILLIAMS, J. R.; BERNDT, H. D. Sediment yield computed with universal equation. **Journal of the Hydraulics Division**, v. 98, n. Hy 12, 1972.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. **Terrain analysis: principles and applications**. [S.l.]: John Wiley and Sons, 2000.

WINEMILLER, K. O. Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. **Oecologia**, v. 81, n. 2, p. 225-241, 1989.

_____. Spatial and temporal variation in tropical fish trophic networks**. Ecological Monographs**, v. 60, p. 331-367, 1990.

WINEMILLER, K. O.; JEPSEN, D. B. Effects of seasonality and fish movement on tropical river food webs**. Journal of Fish Biology**, v. 53, p. 267-296, 1998.

WINEMILLER, K. O.; ROSE, K. A. Patterns of life history diversification in North American fishes: implications for population regulation. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, v. 49, n. 10, p. 2196-2218, 1992.

WINNER, J. M. Zooplankton. In: WHITTON, B.A. (Ed.). **River ecology**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1975. p. 155-169.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall losses: A guide to conservation planning. **USDA Agricultural Handbook Nº 537**. Washington: U.S. Gov. Print. Office, 1978.

WOOTTON, R. J. **Ecology of teleost fishes**. London: Chapman and Hall Ltd, 1990.

WYNEKEN, J.; GODFREY, M. H.; BELS, V. **Biology of turtles**: from structures to strategies of life. Boca Raton: CRC Press, 2007.

YANG, C. T. Incipient motion and sediment transport**. Journal Hydr. Div**., v. 99, n. 10, p. 1679-1704, 1973.

_____. Unit stream power equation for gravel. **Journal Hydraulic Eng.**, ASCE, v. 110, n. 12, 1984.

_____. **Sediment transport**: theory and practice. New York, Singapore: McGraw-Hill, 1996.

YONEDA, N. T. Área temática: plâncton. Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, 1999. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round8/round8/guias_r8/perfuracao_r8/%C3%81reas_Priorit%C3%A1rias/pl%C3%A2ncton.pdf>. Acesso em: 23 out. 2016.

7 APÊNDICES

7.1 APÊNDICE A – ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA

Figura 449 – Totais anuais de precipitação do mês de janeiro na bacia do rio Doce.

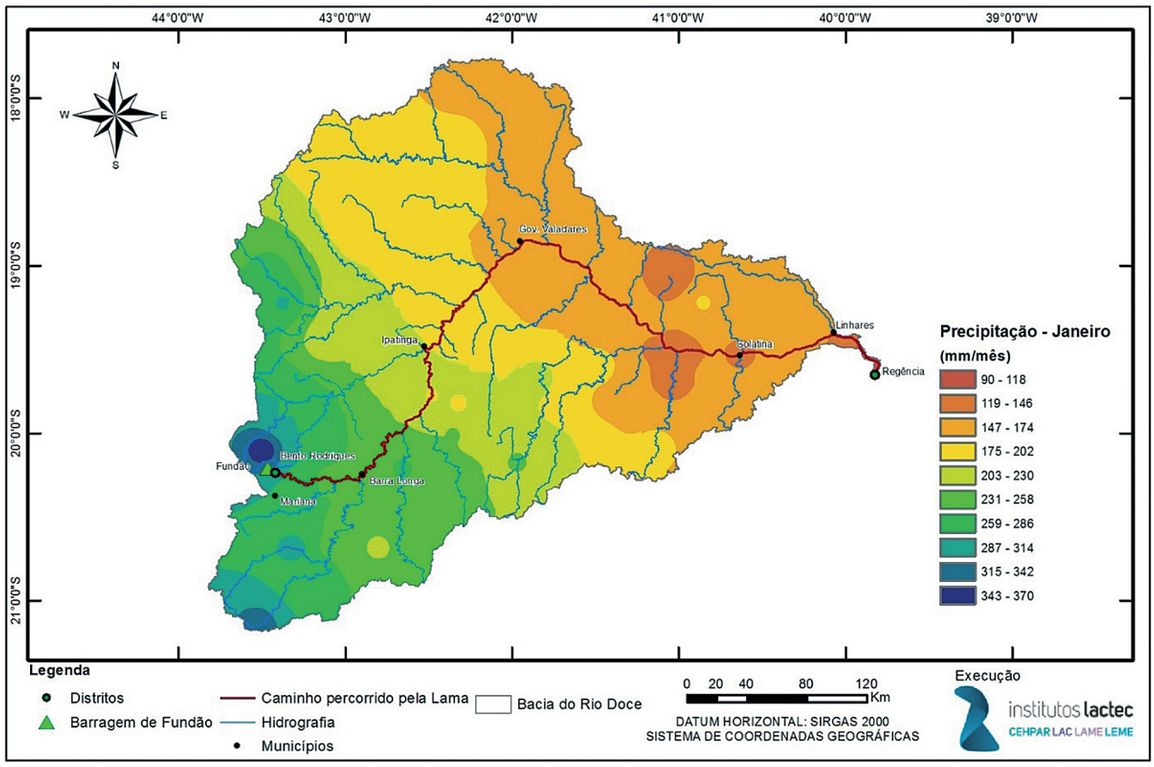


Figura 450 – Totais anuais de precipitação do mês de fevereiro na bacia do rio Doce.

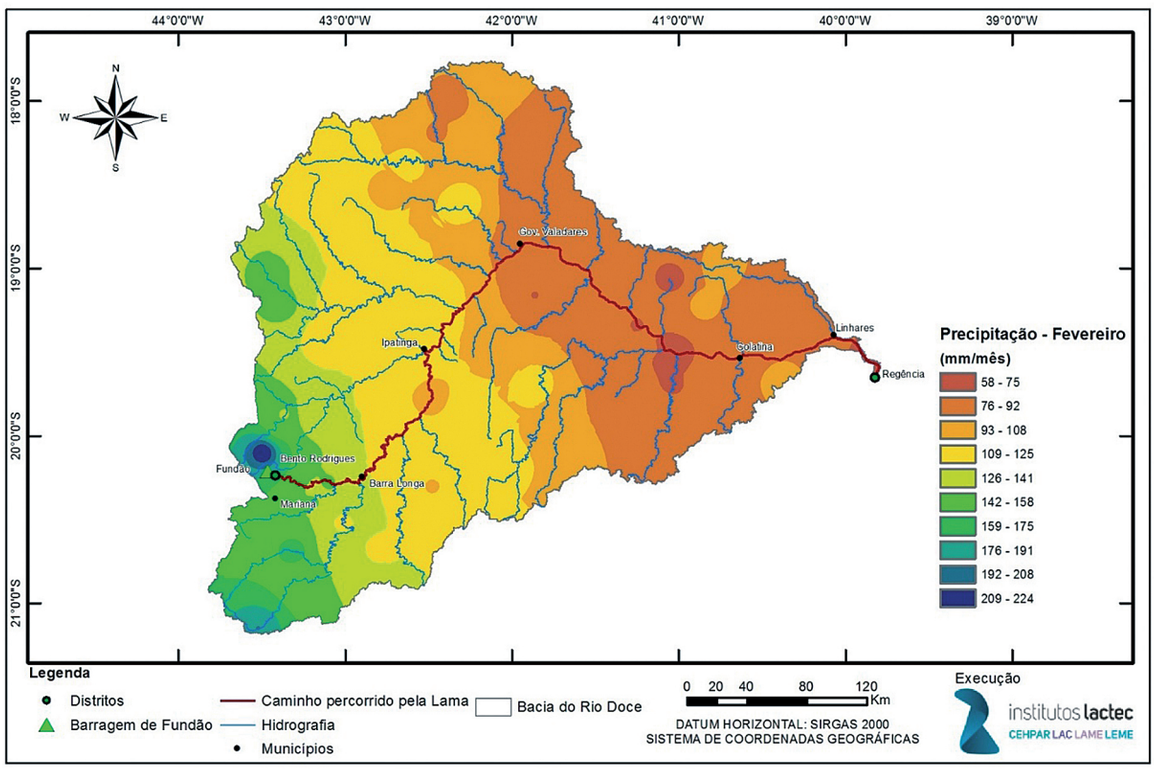


Figura 451 – Totais anuais de precipitação do mês de março na bacia do rio Doce.

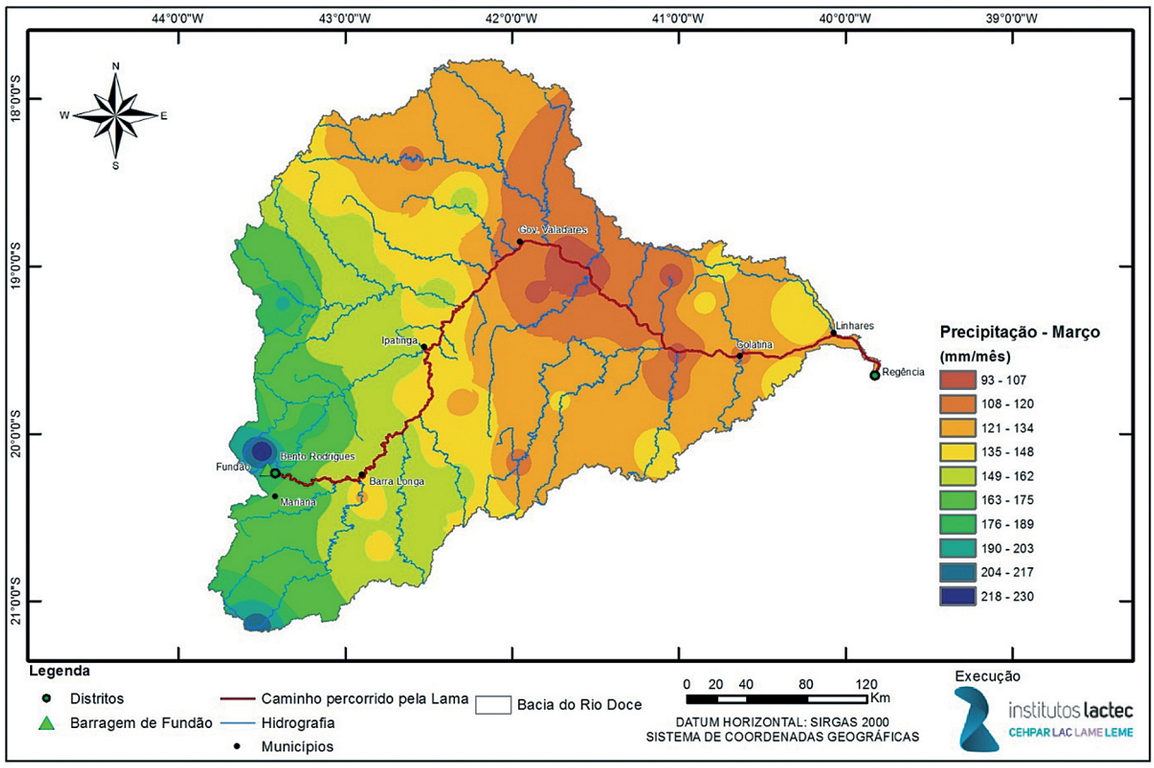


Figura 452 – Totais anuais de precipitação do mês de abril na bacia do rio Doce.

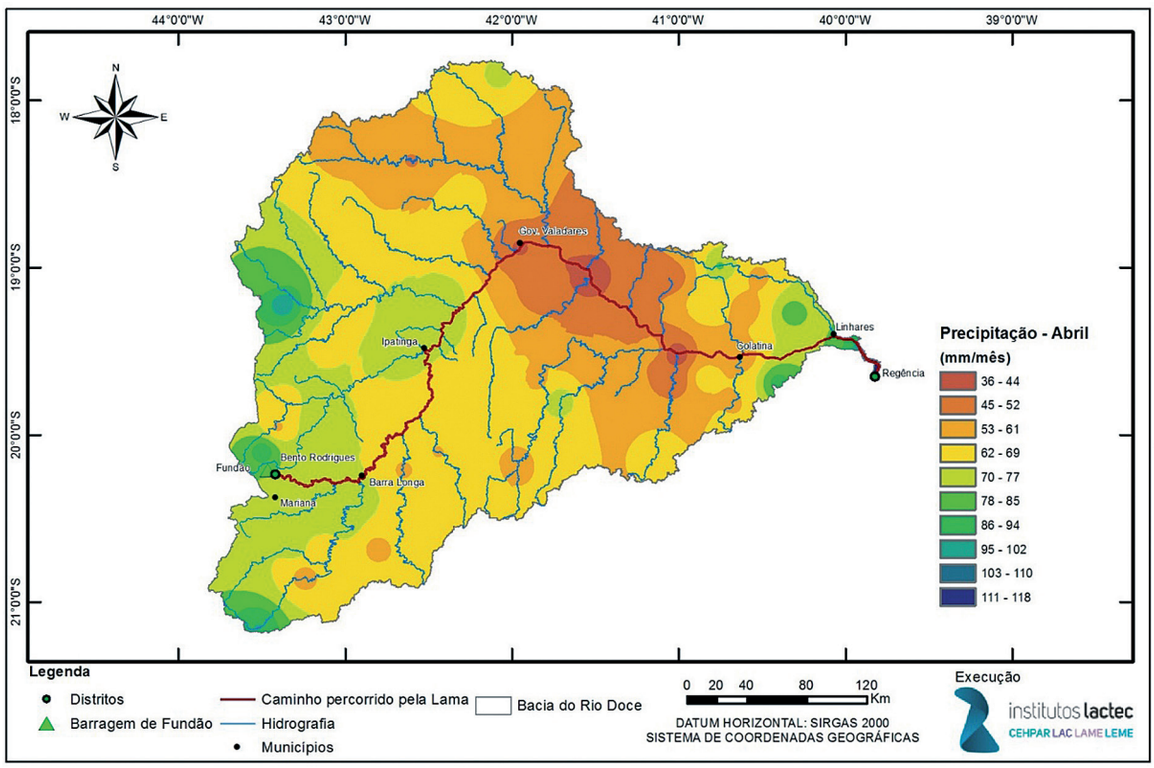


Figura 453 – Totais anuais de precipitação do mês de maio na bacia do rio Doce.

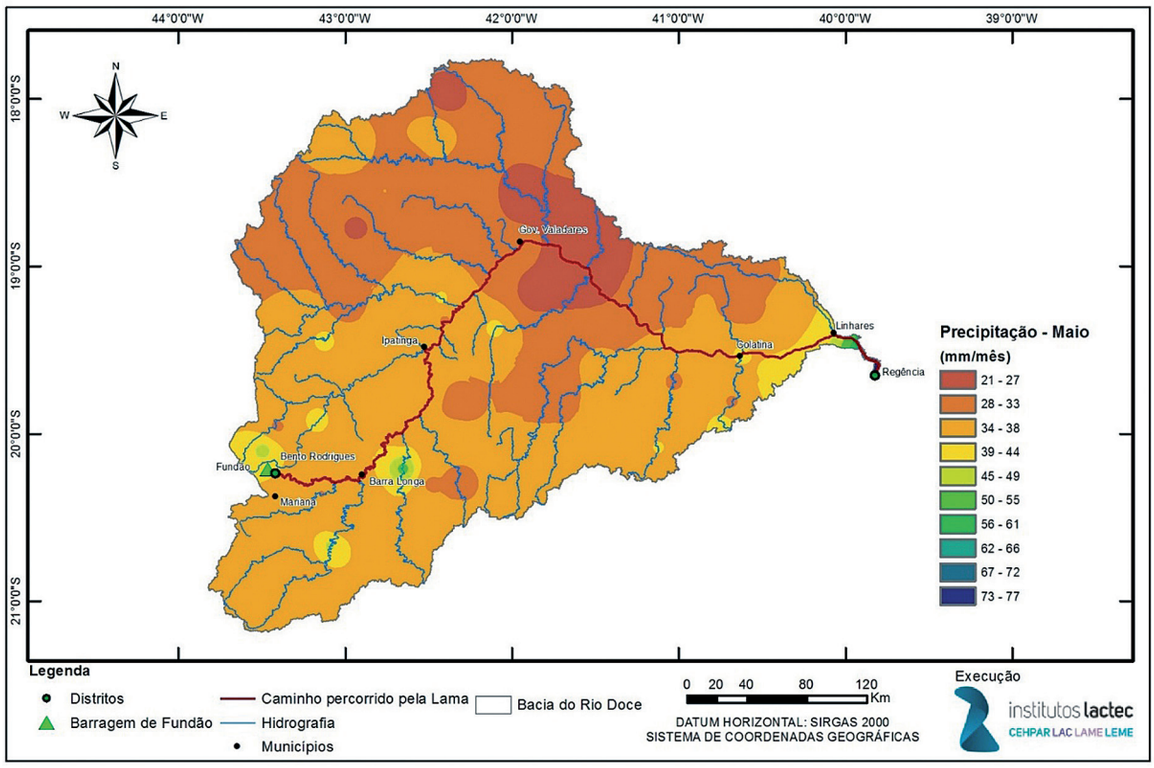


Figura 454 – Totais anuais de precipitação do mês de junho na bacia do rio Doce.

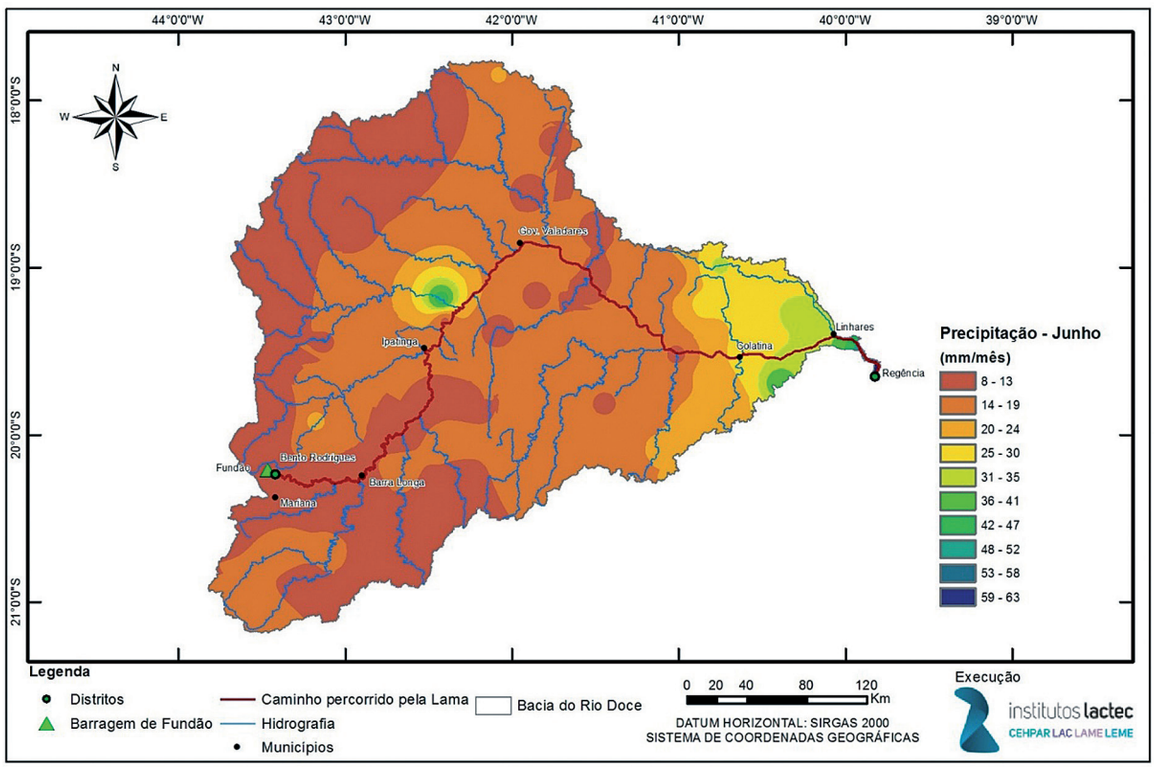


Figura 455 – Totais anuais de precipitação do mês de julho na bacia do rio Doce.

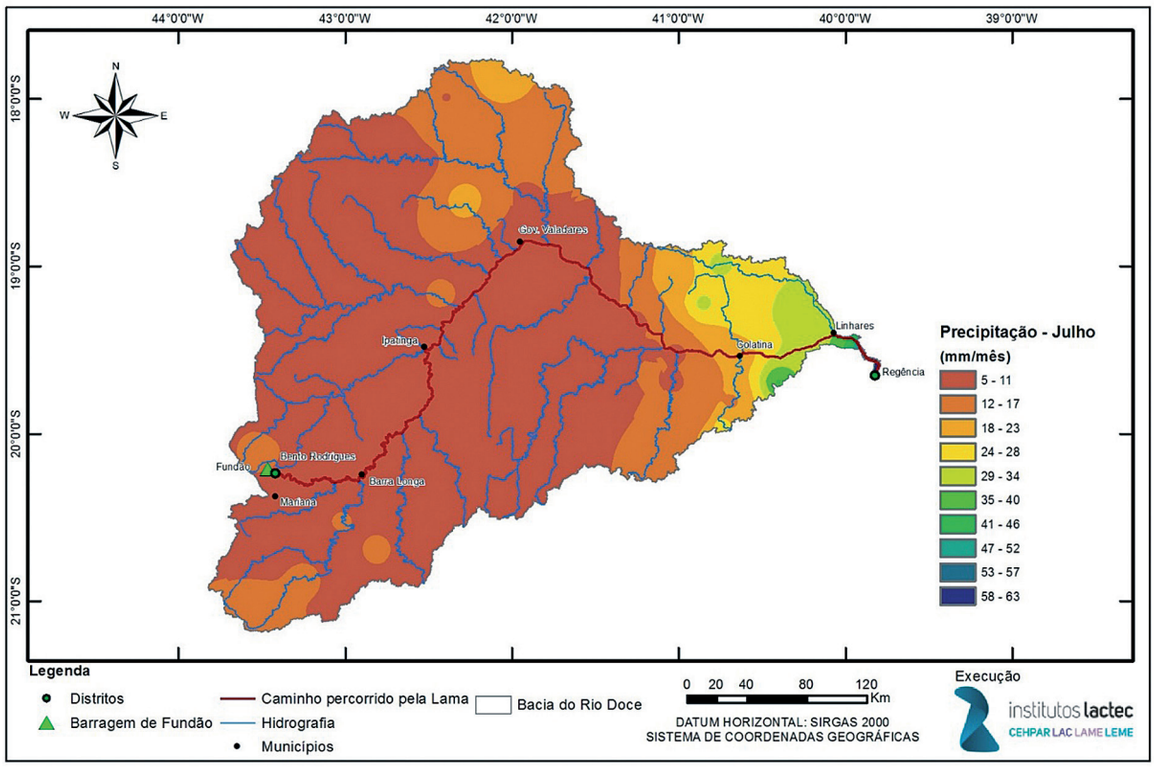


Figura 456 – Totais anuais de precipitação do mês de agosto na bacia do rio Doce.

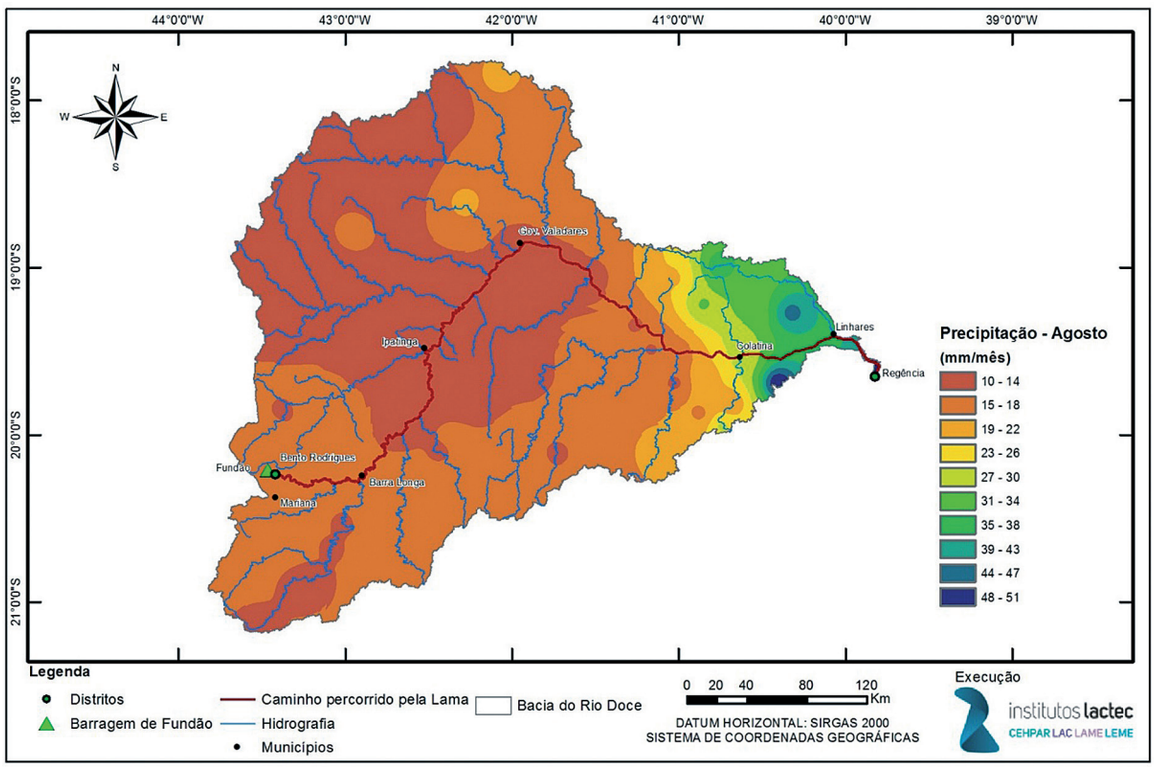


Figura 457 – Totais anuais de precipitação do mês de setembro na bacia do rio Doce.

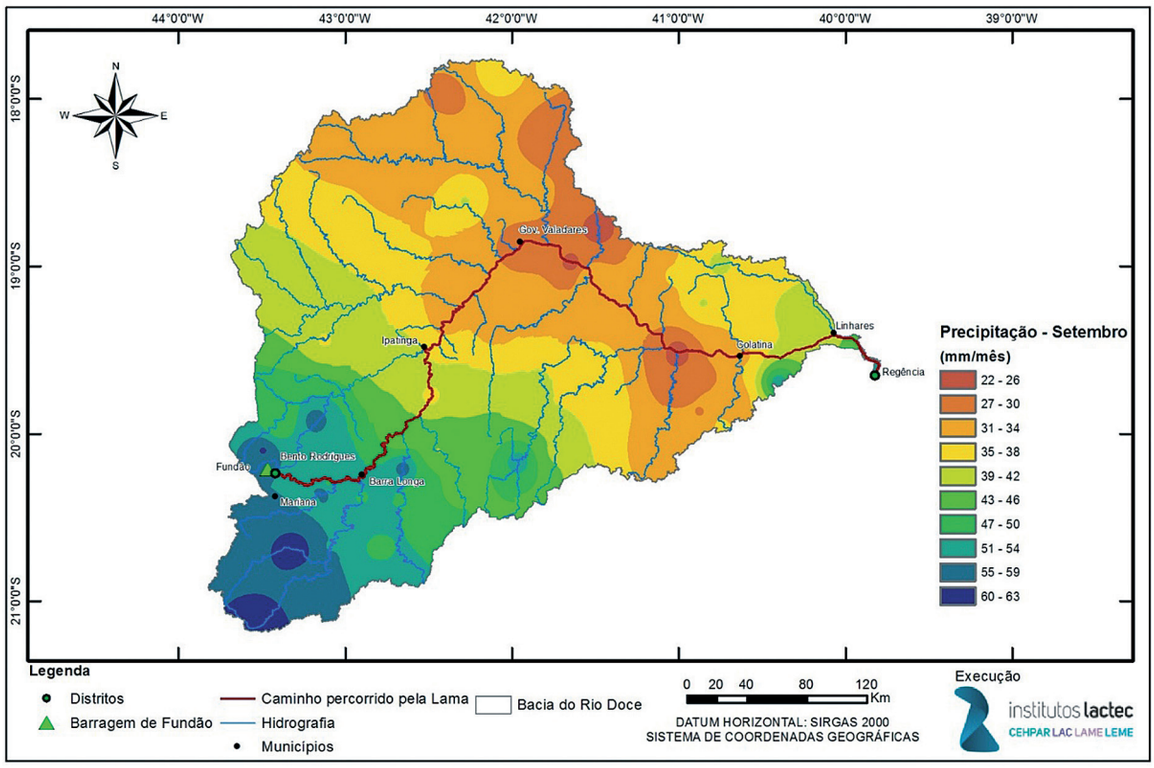


Figura 458 – Totais anuais de precipitação do mês de outubro na bacia do rio Doce.

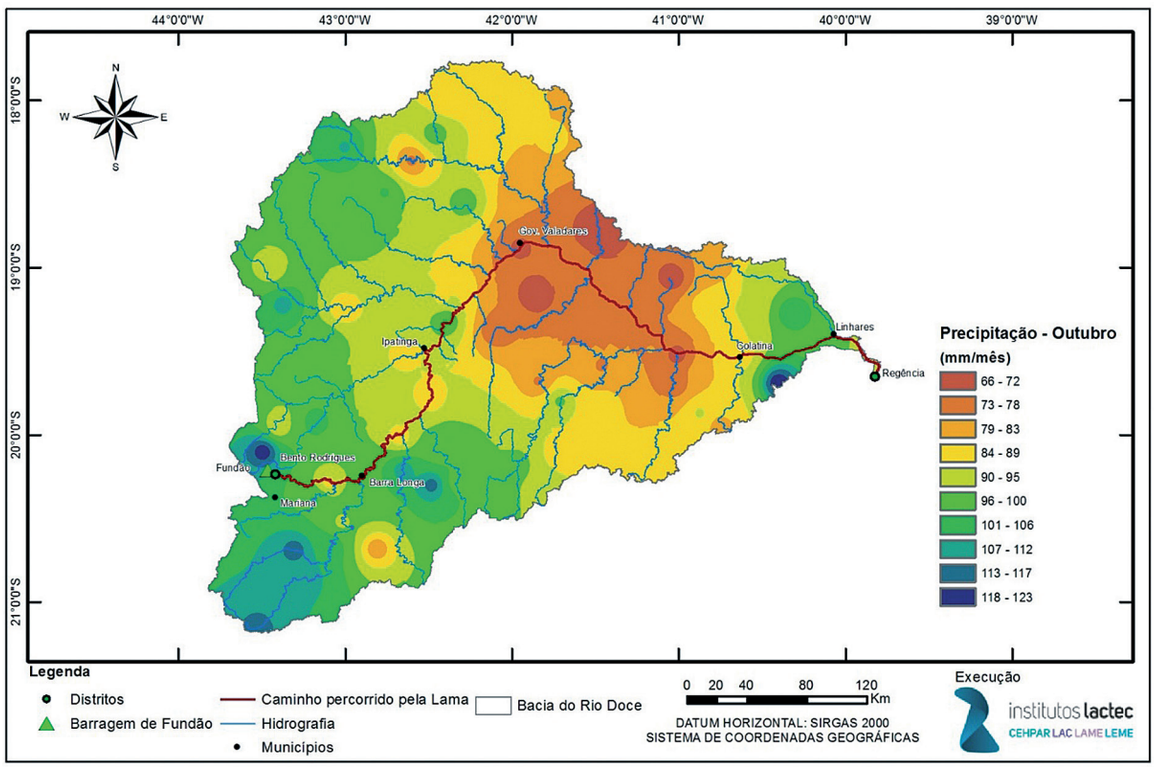


Figura 459 – Totais anuais de precipitação do mês de novembro na bacia do rio Doce.

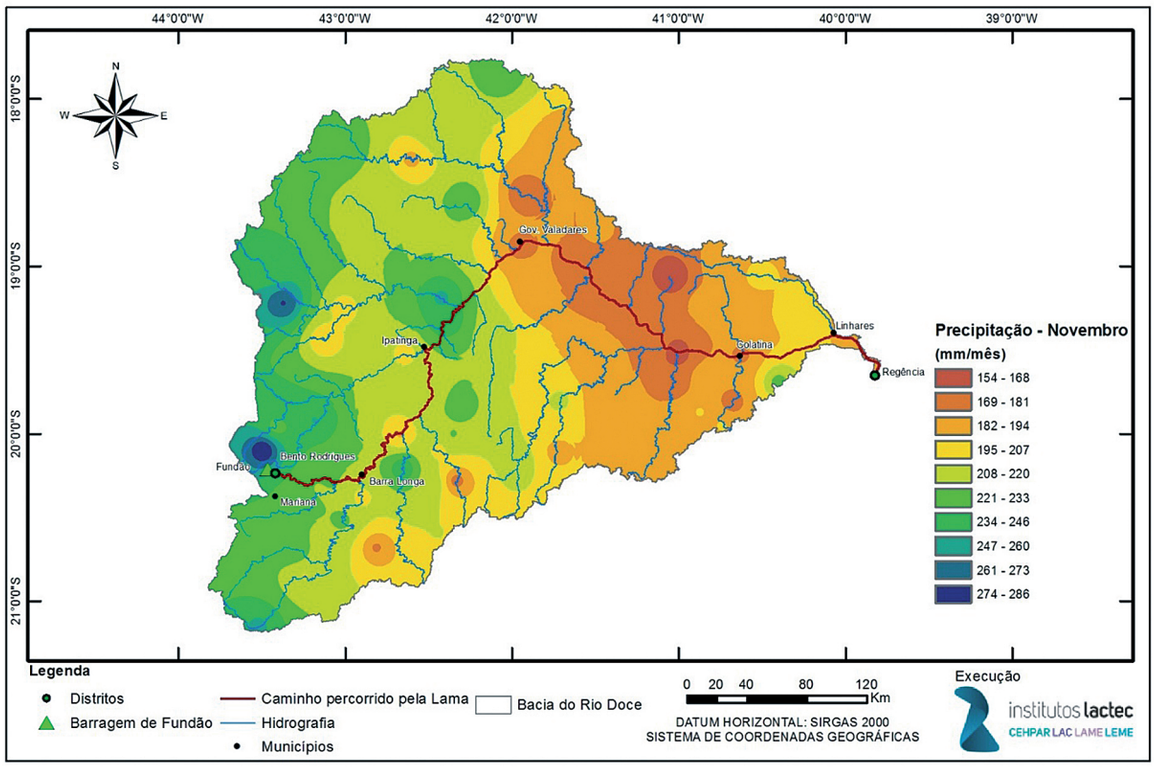
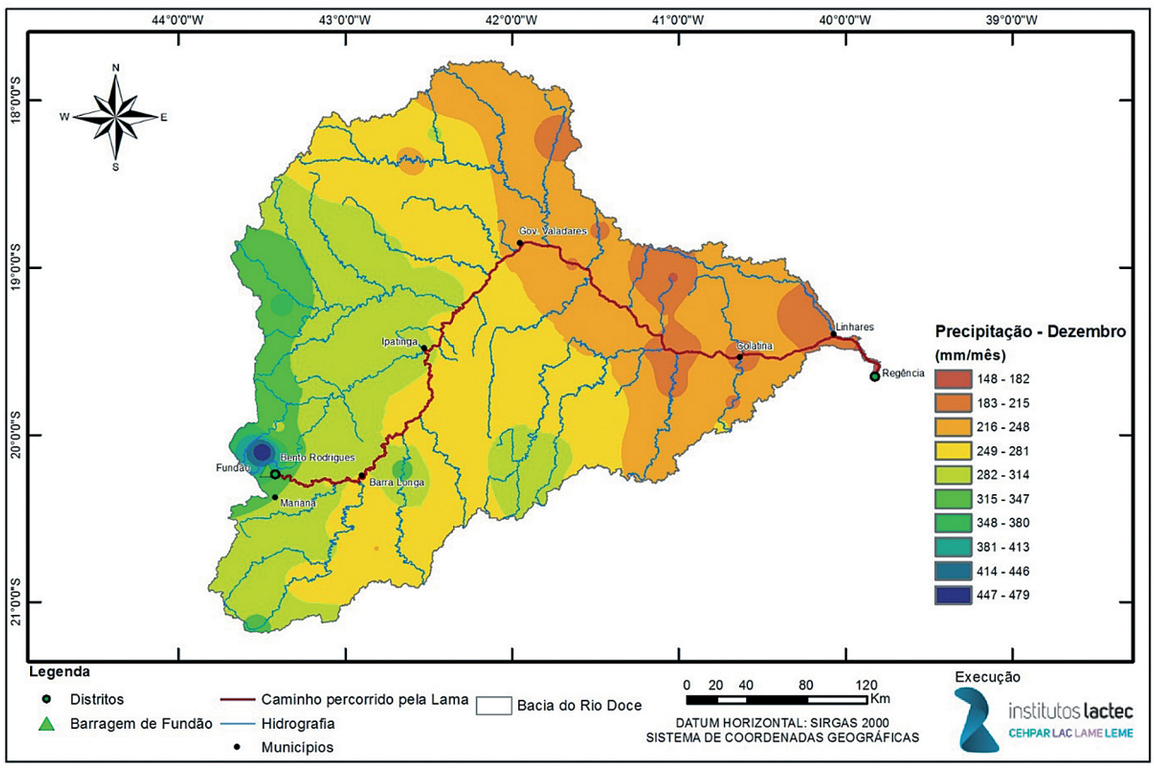


Figura 460 – Totais anuais de precipitação do mês de dezembro na bacia do rio Doce.



7.2 APÊNDICE B – ANÁLISE FLUVIOMÉTRICA

Figura 461 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56028000.

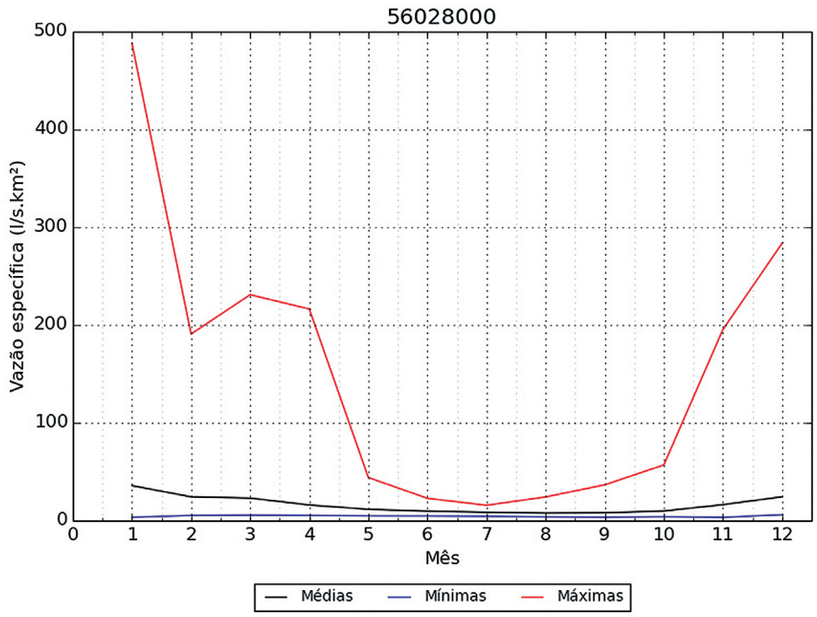


Figura 462 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56055000.

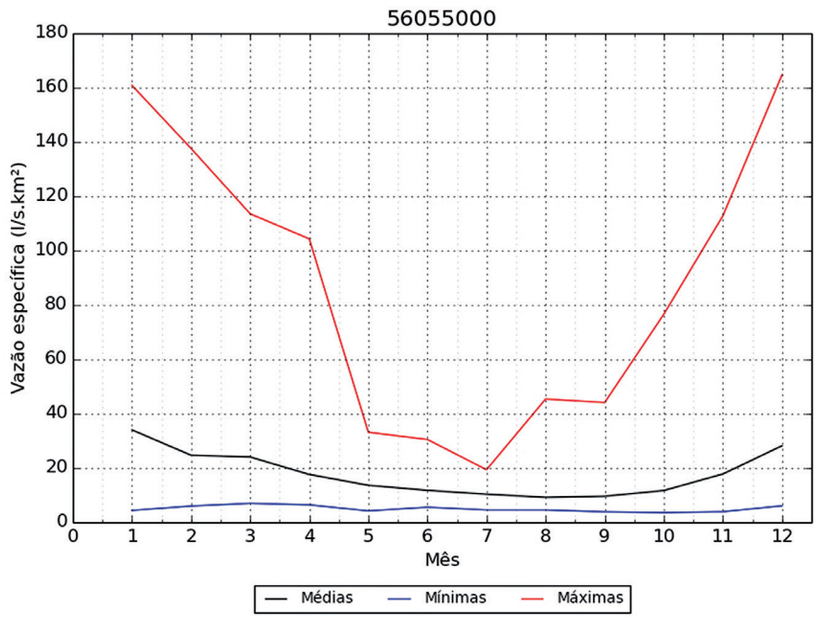


Figura 463 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56065000.

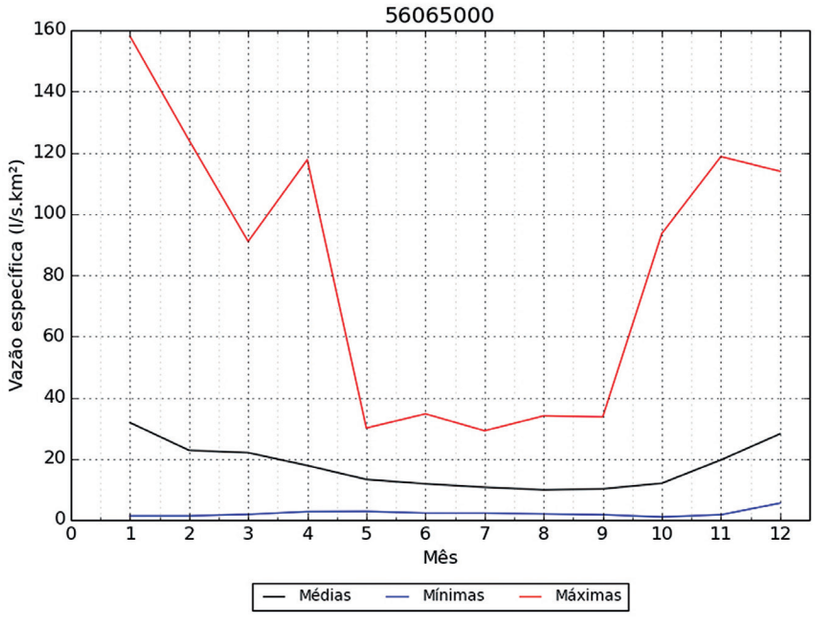


Figura 464 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56075000.

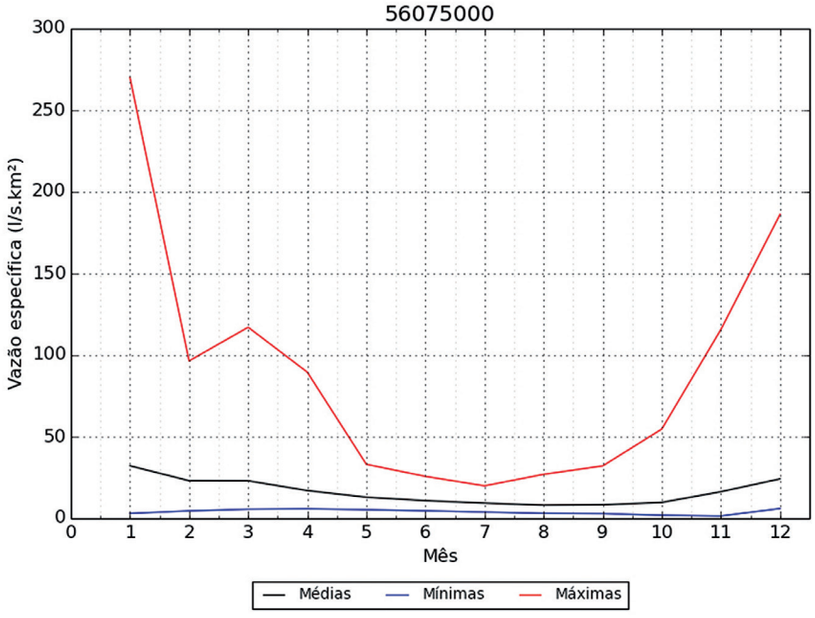


Figura 465 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56085000.

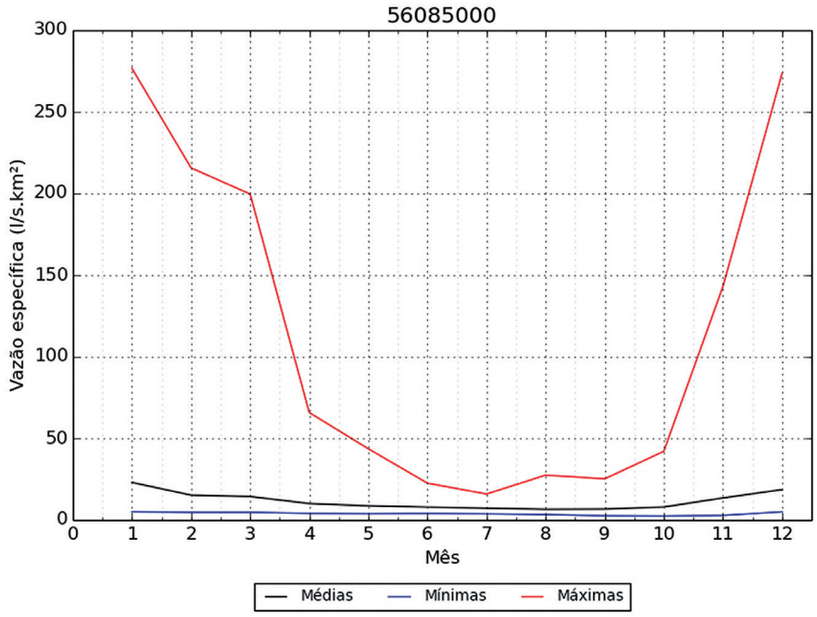


Figura 466 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56090000.

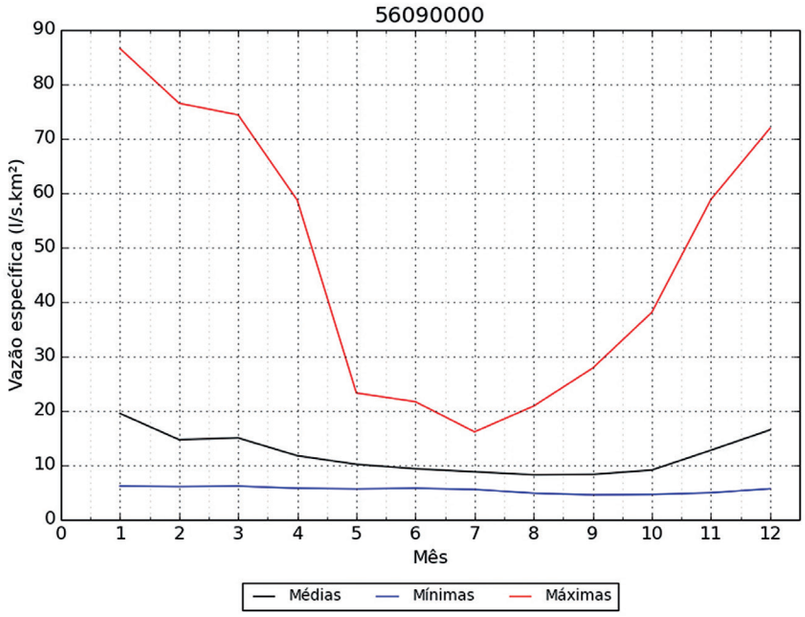


Figura 467 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56110005.

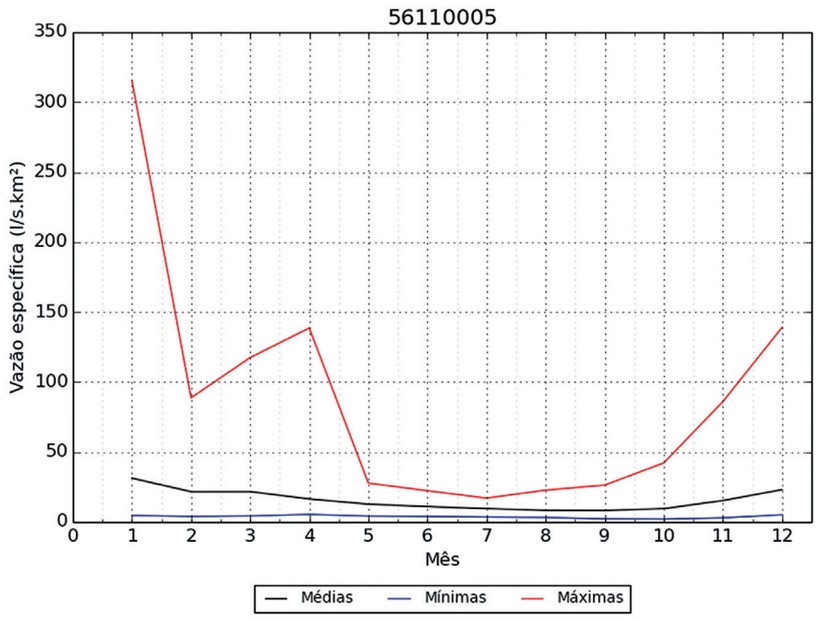


Figura 468 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56145000.

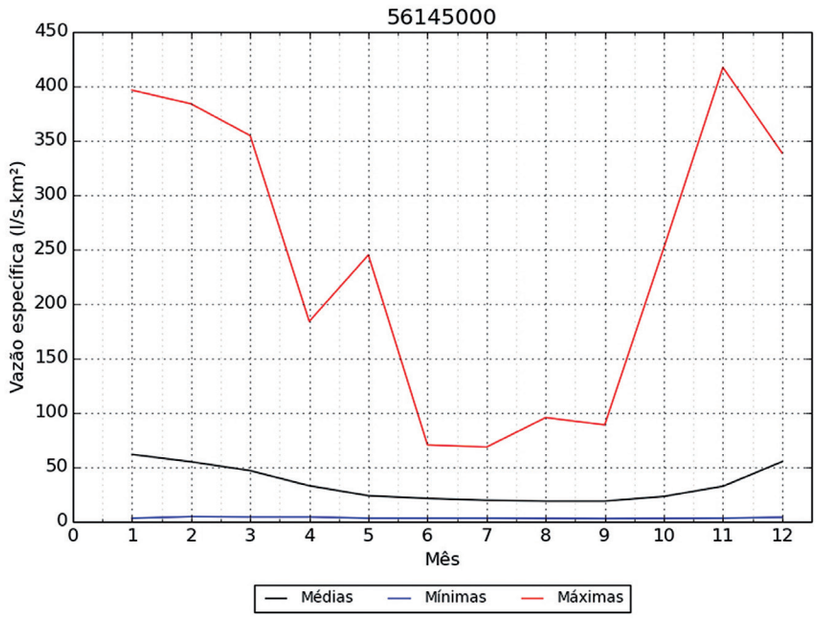


Figura 469 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56240000.

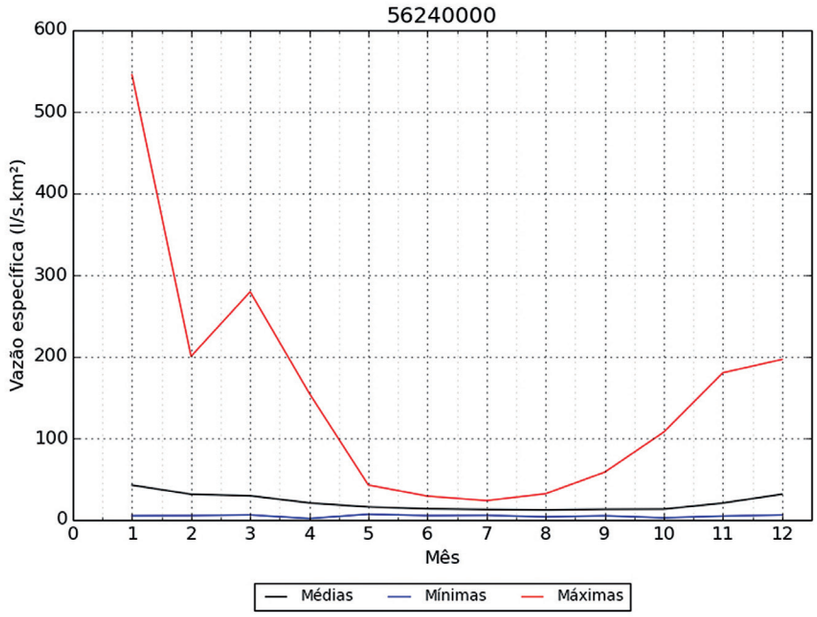


Figura 470 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56335001.

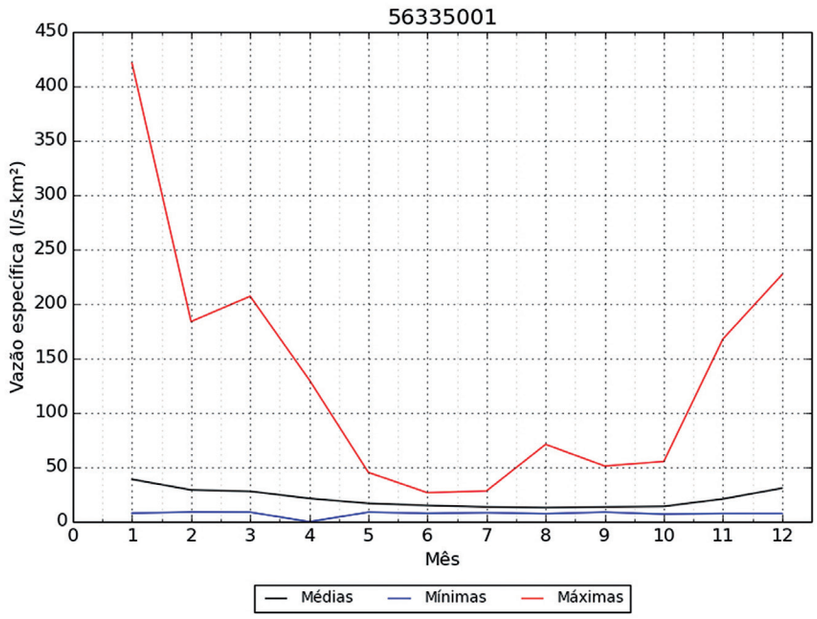


Figura 471 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56337000.

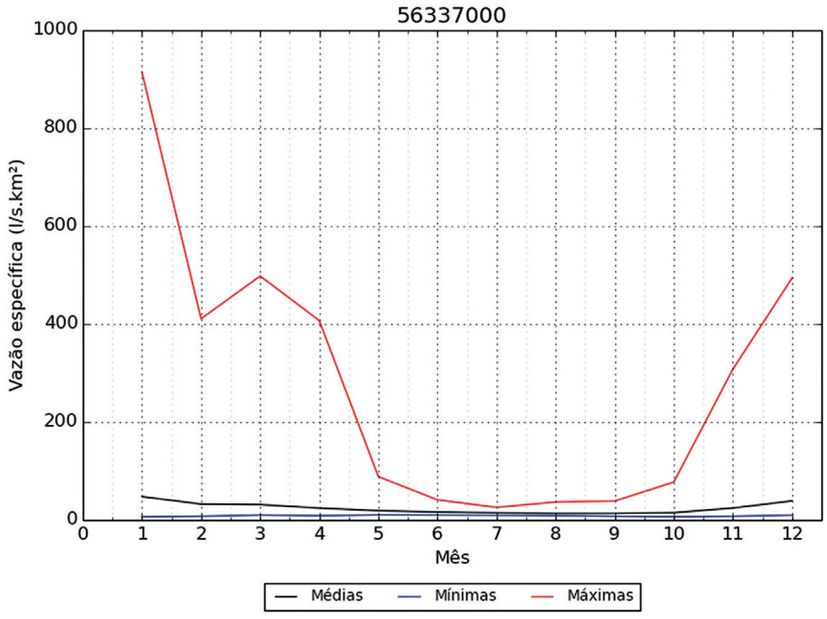


Figura 472 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56385000.

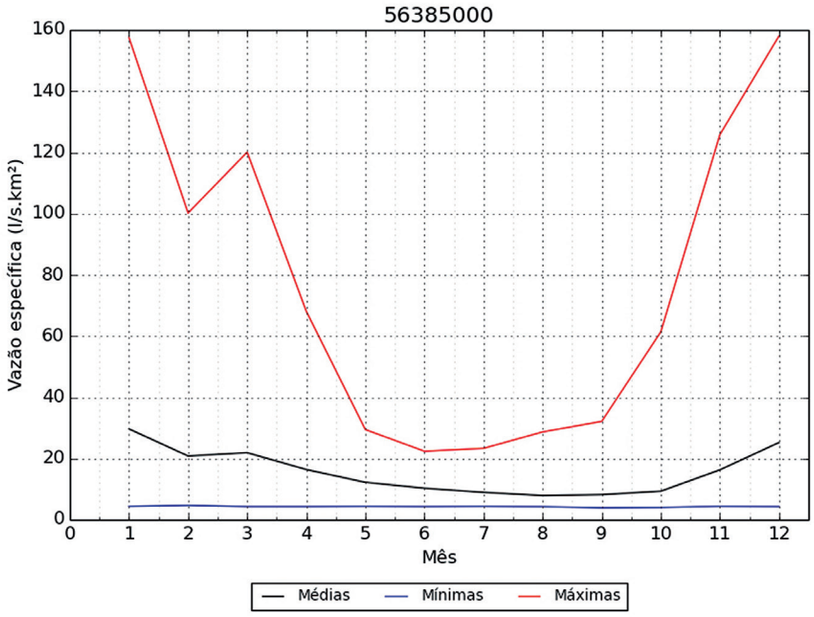


Figura 473 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56145000.

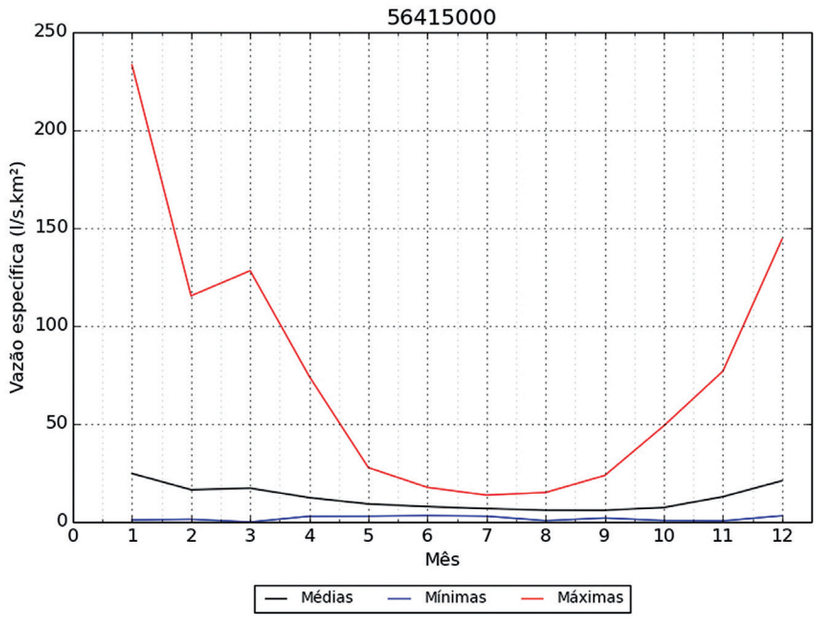


Figura 474 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56425000.

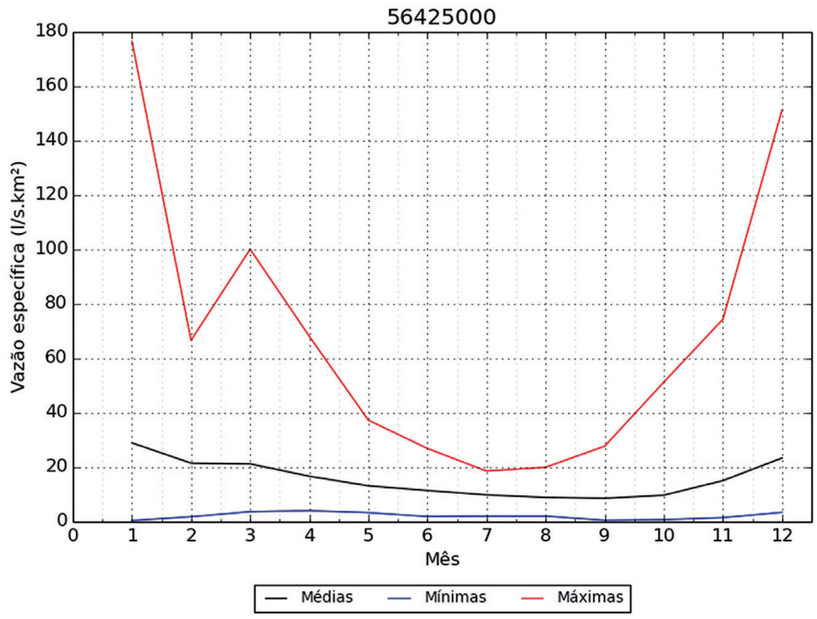


Figura 475 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56460000.

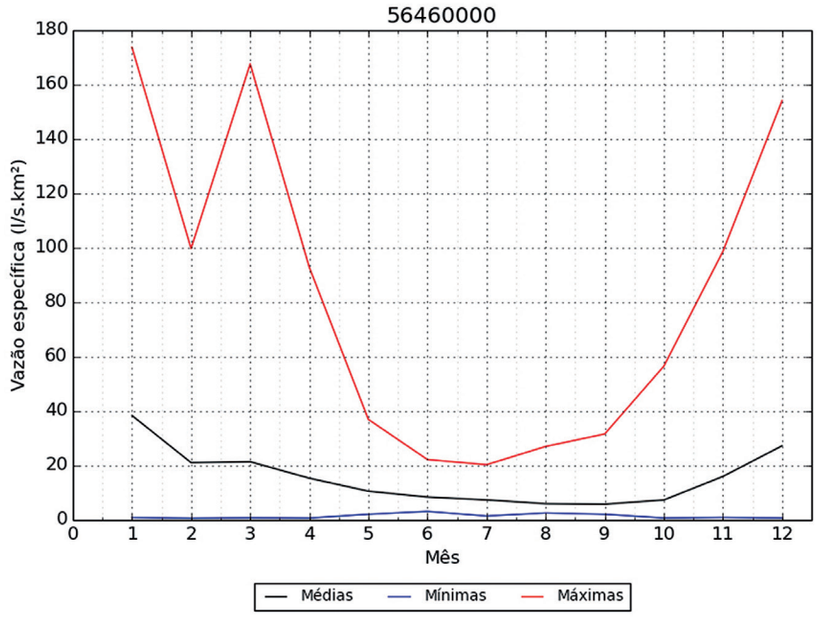


Figura 476 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56484998.

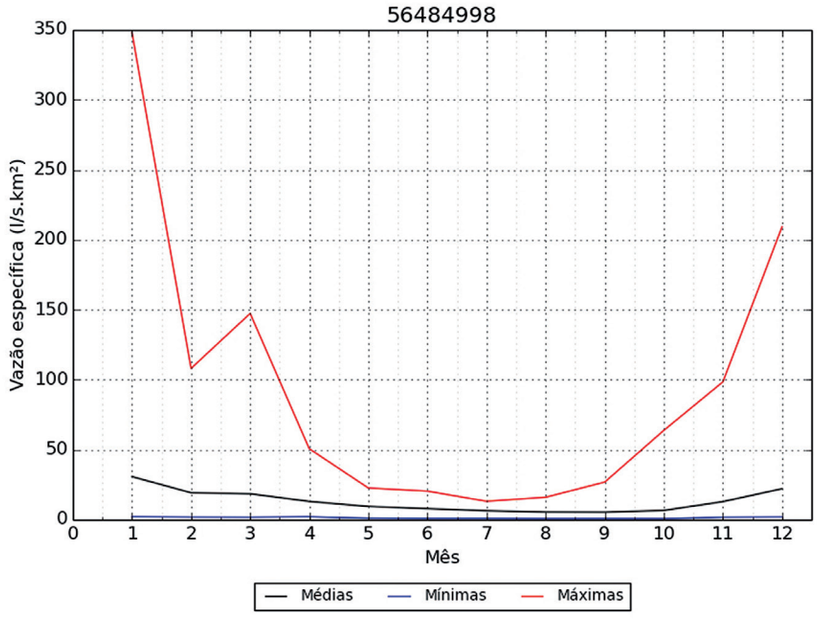


Figura 477 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56500000.

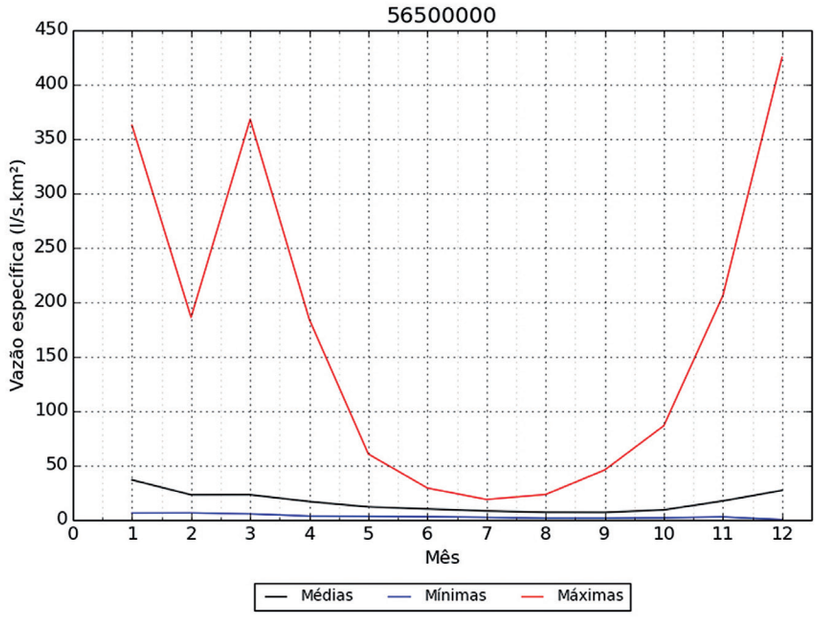


Figura 478 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56510000.

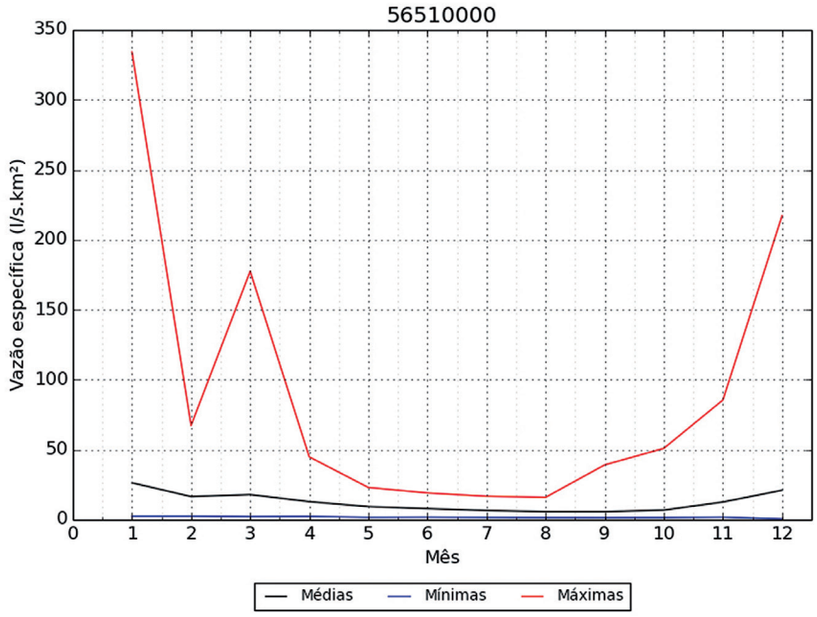


Figura 479 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56539000.

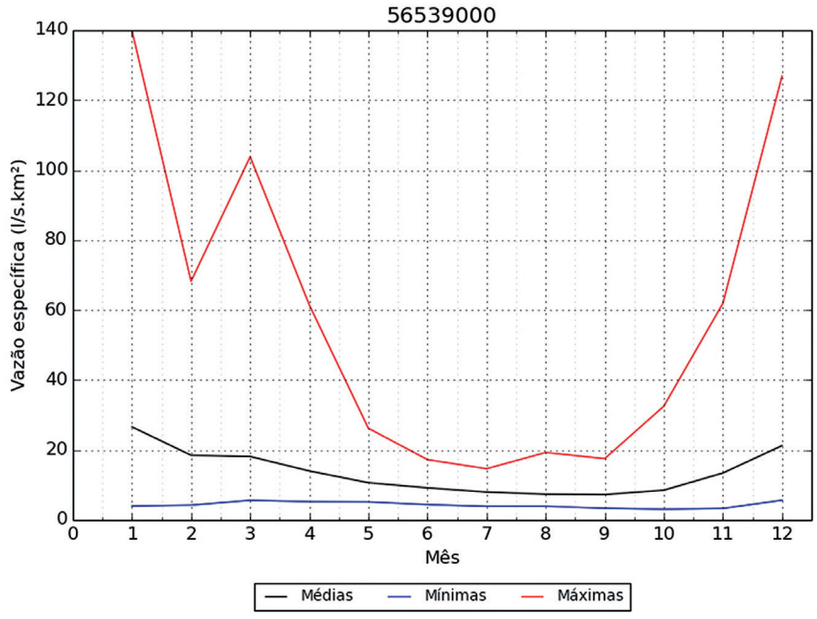


Figura 480 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56570000.

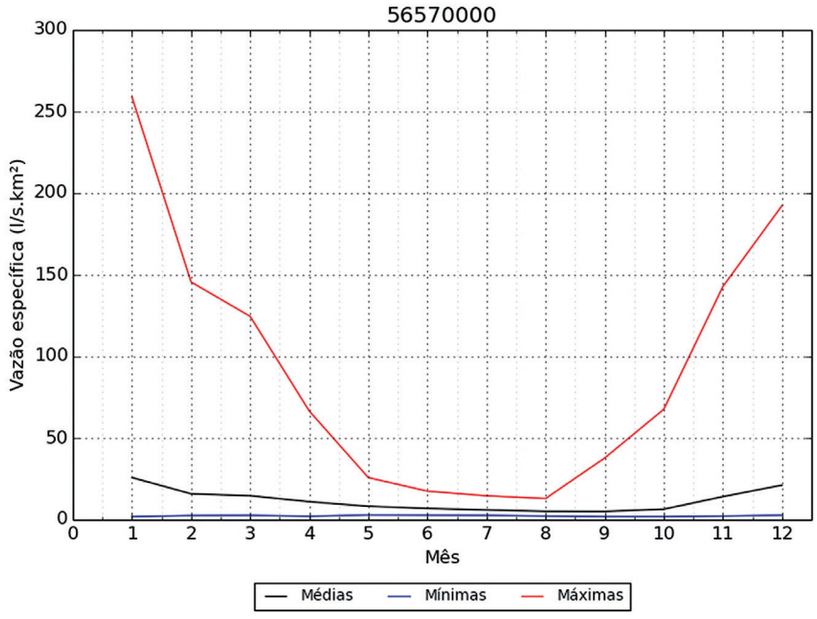


Figura 481 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56610000.

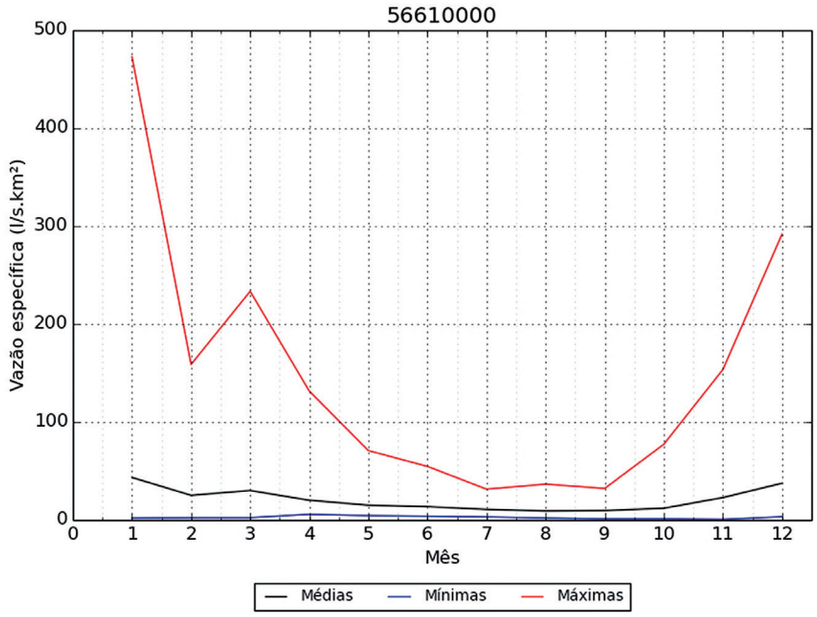
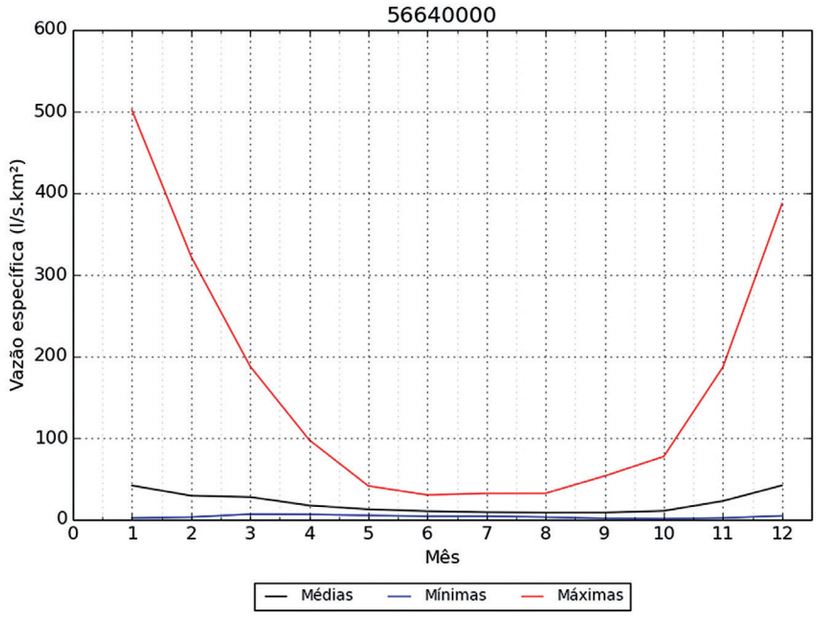



Figura 482 – Mínima, média e máxima das vazões mensais para a estação 56664000.