

MONITORAMENTO ESPECIAL DA BACIA DO RIO DOCE

RELATÓRIO IV

MAIO/16



CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

MONITORAMENTO ESPECIAL DA BACIA DO RIO DOCE

RELATÓRIO 04: Hidrometria, Sedimentometria e Qualidade da Água nas Estações Fluviométricas da RHN após a Ruptura da Barragem de Rejeito

Quarta Campanha de Campo

**BELO HORIZONTE
MAIO/2016**

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Fernando Coelho Filho

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

Diretor Presidente

Manoel Barretto da Rocha Neto

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Stênio Petrovich Pereira

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Roberto Ventura Santos

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Administração e Finanças

Nelson Victor Le Cocq D'Oliveira

Chefe do Departamento de Hidrologia

Frederico Cláudio Peixinho

Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Jorge Pimentel

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE

Superintendente Regional

Paulo César de Souza

Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Márcio de Oliveira Cândido

Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Marcio Antônio da Silva

Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Rodrigo Rodrigues Tavares

Gerente de Administração e Finanças

José Divino Ramos

CRÉDITOS

Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial – Márcio de Oliveira Candido

Equipe Técnica

Supervisora de Hidrologia - Elizabeth Guelman Davis

Equipe de Escritório

Alice Silva de Castilho; Juliani Costa A. Marinho

Fernanda Gonçalves da Cunha; Eduardo Paim Viglio

Equipe de Campo

Rodney Geraldo do Nascimento, Oscar Alves do Nascimento, Oscar João Reis Martinelli,
Frederico Ernesto Coelho Carvalho

Equipe de Laboratório

Supervisora - Magda Cristina Ferreira Pinto

Álvaro Cesar Elias Mendes, Denise Lemos Dias, Fernando Gusman Brandão, Renato Teles
Souto, Ronan Sousa Oliveira

Capa

Elizabeth Almeida Cadete Costa

Sumário

1	Apresentação	5
2	Descrição das Atividades	6
3	Metodologia de Trabalho	8
3.1	Medição de descarga líquida.....	8
3.2	Levantamento de perfil transversal.....	8
3.3	Levantamento “ <i>in loco</i> ” de parâmetros de qualidade da água.....	8
3.4	Coleta de amostras para análise laboratorial	8
3.4.1	Água e sedimentos em suspensão.....	8
3.4.2	Sedimento de corrente	9
3.5	Análises Laboratoriais	9
3.5.1	Água	9
3.5.2	Sedimentos em suspensão.....	9
3.5.3	Sedimentos de corrente	10
4	Resultados	10
4.1	Medição de descarga líquida.....	10
4.2	Perfil transversal.....	15
4.3	Levantamento de 5 parâmetros de qualidade da água <i>in loco</i>	19
4.4	Análises de Laboratório	22
4.4.1	Concentração de Sedimentos em Suspensão.....	22
4.4.2	Granulometria	23
4.4.3	Água	30
4.4.4	Composição química dos sedimentos.....	40
4.5	Estimativa da Descarga Sólida em Suspensão.....	53
5	Conclusões.....	54
6	Referências Bibliográficas.....	56
	Anexo I – Dados do monitoramento de 5 parâmetros de qualidade da água <i>in loco</i> . (Margem e Verticais).....	57

1 Apresentação

A barragem de Fundão, de rejeitos de mineração de ferro da Samarco rompeu no dia 05 de novembro de 2015. A partir desta data a CPRM, em conjunto com a ANA, elaboraram um programa de monitoramento na bacia visando o levantamento de dados e informações sobre o evento. Até o momento foram programadas as seguintes ações:

- **Operação do sistema de alerta de cheia da bacia do rio Doce 24h por dia** para acompanhamento da onda da cheia decorrente da ruptura da barragem com emissão de boletins diários para as autoridades competentes e usuários;
- **Calibração de modelo de previsão de Turbidez** na calha do rio Doce;
- **Primeira Campanha de campo de 07 a 23 de novembro de 2015**, pela equipe de Hidrologia, para acompanhamento da onda da cheia decorrente da ruptura da barragem até a foz do rio Doce, objeto deste relatório;
- **Segunda Campanha de campo de 12 a 23 de novembro de 2015**, pela equipe de Geoquímica, para coleta de amostras de água e sedimento de corrente, desde a área da barragem na bacia do rio Gualaxo Norte até a foz no rio Doce;
- **Terceira Campanha de campo de 24 de novembro a 10 de dezembro de 2015**, pela equipe de Geoquímica, para coleta de amostras diárias simultâneas de água para análise de parâmetros *in loco*, a cada dois dias para análise de água e a cada quatro dias para análise de sedimento de corrente, em 7 pontos da bacia desde a bacia do Gualaxo Norte até a foz do rio Doce;
- **Quarta Campanha de campo de 27 de novembro a 19 de dezembro de 2015**, pela equipe de Hidrologia, para realização de: medição de vazões, levantamento de perfil transversal, coleta dos parâmetros de QA ao longo da seção, amostragem de sedimentos em suspensão e de fundo nas estações fluviométricas da Rede Hidrológica Nacional-RHN, localizadas na calha do rio Doce;
- **Quinta Campanha de campo de 02 a 22 de dezembro de 2015**, pela equipe de Hidrologia, para manutenção dos equipamentos automáticos de medição do nível das estações fluviométricas da RHN - Rede Hidrológica Nacional utilizadas na operação do Sistema de Alerta de Enchentes localizadas na calha do rio Doce.

Na operação do Sistema de Alerta foram emitidos boletins diários de acompanhamento da passagem da onda resultante da ruptura da barragem para as autoridades competentes, os quais apresentam todas as informações levantadas em campo, bem como a previsão de turbidez para vários municípios da bacia, e podem ser acessados na página da CPRM pelo endereço eletrônico www.cprm.gov.br.

O presente relatório tem como objetivo descrever as atividades realizadas durante a **Quarta Campanha de Campo**, apresentar os dados coletados e resultados das análises de laboratório, bem como interpretações destas análises.

2 Descrição das Atividades

A quarta campanha de campo foi realizada no período de 27 de novembro a 19 de dezembro de 2015 com o objetivo de avaliar quais as alterações sofridas nas estações fluviométricas em função da passagem da onda de cheia decorrente da ruptura da barragem, no dia 5 de novembro. Além disso, foi incluída na programação a coleta simultânea de amostras de água e sedimento em suspensão por duas metodologias: pontual e integrada, a fim de comparar os resultados obtidos por estes métodos de amostragem. Os pontos visitados estão apresentados na Tabela 1 e na Figura 1.

Tabela 1 – Pontos monitorados nesta campanha

Nome	Código	Identificação das Amostras: Água/Material do Leito	Rio	Latitude	Longitude	Data visita
Fazenda Ocidente	56337000	---	Rio Gualaxo do Norte	-20,2672	-43,1008	27/11/15
Fazenda Cachoeira Dantas	56425000	EDA0004/EDS0004	Rio Doce	-19,9944	-42,6744	28/11, 10/12 e 12/12/15
Cachoeira dos Óculos	56539000	EDA0005/EDS0005	Rio Doce	-19,7864	-42,4831	29/11 e 10/12/15
Belo Oriente	56719998	EDA0006/EDS0006	Rio Doce	-19,3275	-42,3972	30/11 e 09/12/15
Governador Valadares	56850000	EDA0008/EDS0008	Rio Doce	-18,8833	-41,9508	01/12, 05/12 e 14/12/15
Tumiritinga	56920000	EDA0009/EDS0009	Rio Doce	-18,9744	-41,6419	02/12, 06/12 e 14/12/15
Colatina	56994500	EDA0012/EDS0012	Rio Doce	-19,5328	-40,6303	07/12 e 15/12/15
Linhares	56998200	EDA0013/EDA0013	Rio Doce	-19,4067	-40,0675	08/12/15 e 16/12/15

Em resumo, as atividades realizadas foram:

- Medição de descarga líquida;
- Levantamento de perfil longitudinal;
- Amostragem de sedimento em suspensão para a determinação da concentração de sedimentos e análise granulométrica;
- Amostragem de água para realização de análise de qualidade da água;
- Levantamento de 5 parâmetros de qualidade da água *in loco*;
- Amostragem de sedimento de fundo para análise granulométrica.

Não foi possível recuperar e realizar as atividades previstas na estação fluviométrica Fazenda Ocidente, destruída durante a passagem da onda de cheia e lama, devido às más condições técnicas e de segurança causadas pela grande quantidade de rejeitos depositados nas margens e no leito do rio Gualaxo do Norte no local da estação.

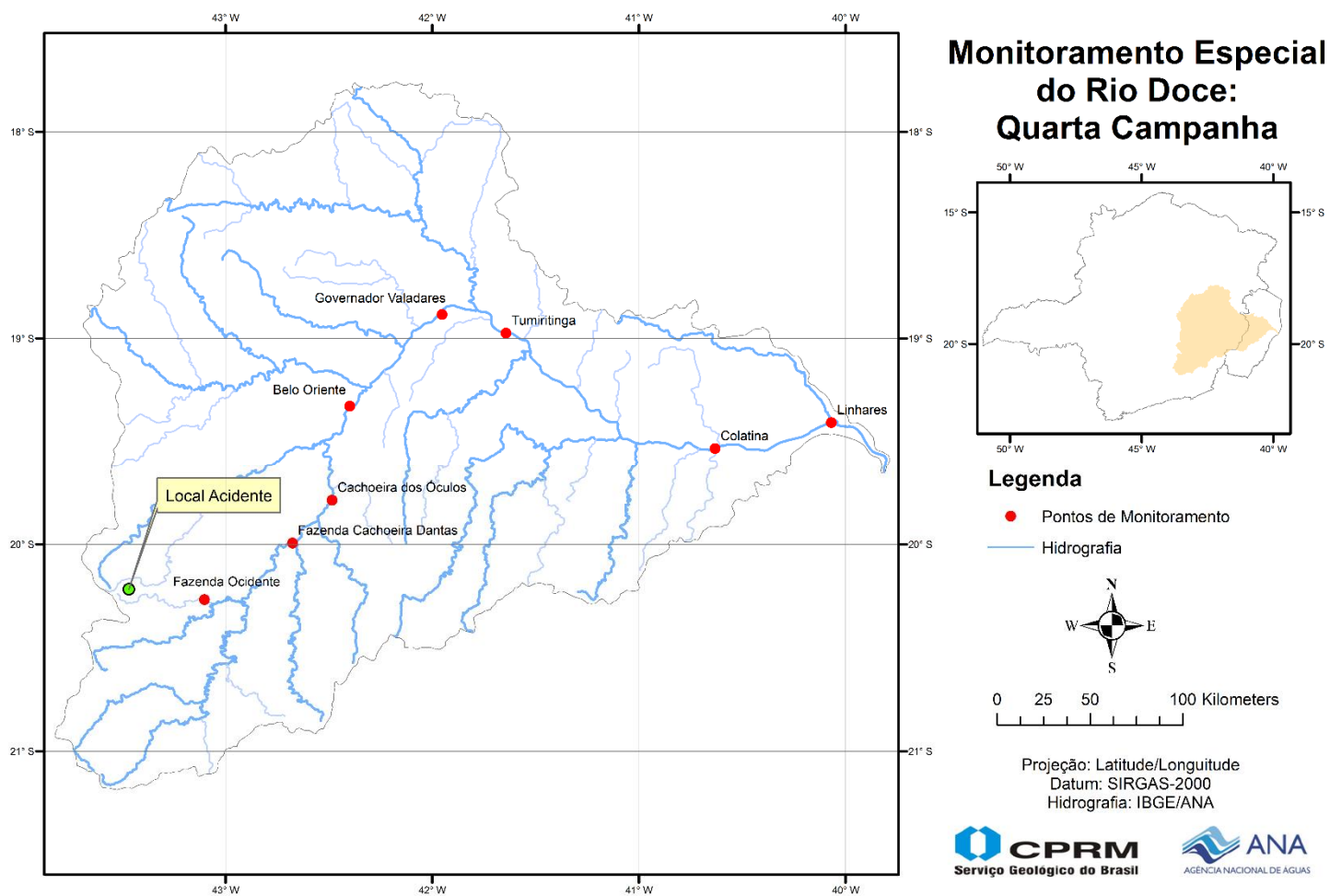


Figura 1 . Pontos monitorados durante a quarta campanha

3 Metodologia de Trabalho

3.1 Medição de descarga líquida

As medições de descarga líquida foram realizadas com equipamentos acústicos (Sontek-M9) nas seções de medição de vazão definidas nas fichas descritivas das estações fluviométricas.

3.2 Levantamento de perfil transversal

Os levantamentos dos perfis transversais foram realizados nas mesmas seções onde foram feitas as medições de descarga líquida. Os dados de batimetria foram coletados pelo equipamento acústico (Sontek-M9) e parte seca do perfil levantada por meio da estação total (Leica-CT407).

3.3 Levantamento *Ín loco* de parâmetros de qualidade da água

Os parâmetros físico-químicos: temperatura, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica foram determinados por meio de uma sonda multiparamétrica de qualidade de água (HIDROLAB-MS5) e a turbidez por meio de turbidímetro portátil (PoliControl-2000). Quando a turbidez das amostras atingiram valores superiores ao limite de medição do turbidímetro, foi realizada a diluição das amostras para a determinação da turbidez.

Os cinco parâmetros de qualidade foram determinados diretamente no leito do rio, com as sondas posicionadas próximas a uma das margens (direita ou esquerda) e nas verticais de coletas de amostras integradas de águas e sedimentos, ver item 3.4.1.

Finalizado os trabalhos de determinação dos parâmetros físico-químicos nos pontos de monitoramento as sondas foram lavadas com água deionizada para evitar contaminação na próxima determinação.

3.4 Coleta de amostras para análise laboratorial

3.4.1 Água e sedimentos em suspensão

Em todos os pontos de monitoramento as coletas de amostras de água, para análise química da água, concentração, granulometria e composição química dos sedimentos em suspensão, foram realizadas de duas maneiras distintas: coleta pontual e integrada de água; a fim de comparar a representatividade dos resultados encontrados por estas metodologias.

As coletas pontuais foram realizadas diretamente no rio, utilizando um recipiente de polietileno com volume aproximado de 5 litros, em local próximo a uma das margens do ponto de monitoramento e a uma profundidade aproximada de 30 centímetros.

As coletas integradas foram realizadas em 5 verticais distribuídas na seção transversal pelo método de Igual Incremento de Descarga-IID¹ com o uso do amostrador DH-2. Para cada vertical amostrada foi coletado um volume aproximado de 1 litro, sendo as amostras coletadas nas verticais acondicionadas em um único recipiente de polietileno com volume aproximado de 5 litros.

¹ Para maiores informações sobre estes métodos de amostragem consulte o livro: *Hidrossedimentologia Prática de Newton de Oliveira Carvalho*.

Além disto, as amostras para a determinação dos cátions e ânions dissolvidos foram filtradas em unidades filtrantes descartáveis com porosidade 0,45 µm e acondicionadas em dois tubos de polietileno com capacidade de 50mL: um para análise de cátions; e outro para análise dos ânions. Para preservação dos cátions em solução, as amostras foram aciduladas a pH abaixo de 2 com HNO₃ 1:1 (ácido nítrico).

Antes da realização das coletas (pontual e integrada) todos os recipientes utilizados passaram pelo procedimento de ambientação; ou seja, foram feitas três lavagens dos recipientes com a própria água a ser amostrada. O material coletado ficou preservado em refrigeração até o momento da análise.

3.4.2 Sedimento de corrente

A amostragem do sedimento de fundo foi realizada na seção de medição de vazão, em 5 verticais, distribuídas ao longo da seção transversal pelo método de Igual Incremento de Descarga-IID e com o uso do amostrador de material de leito USBM-60. As coletas de cada vertical foram homogeneizadas e deram origem a uma única amostra de sedimento de corrente por ponto de monitoramento. Estas amostras foram peneiradas em campo na fração 20 mesh com peneira de nylon, acondicionadas em sacos plásticos e numeradas sequencialmente.

3.5 Análises Laboratoriais

3.5.1 Água

As amostras de água foram encaminhadas para dois laboratórios (LAMIN-BH e LAMIN-RJ), onde foram realizadas as seguintes análises:

- Determinação das concentrações dos cátions - Al, As, B, Be, Ba, Ca, Co, Cd, Cu, Cr, Li, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Se, Si, Sb, Sn, Sr, Ti, V e Zn;
- Determinação das concentrações dos ânions - fluoreto, cloreto, brometo, nitrito, nitrato, sulfato e fosfato.

As análises de concentração dos cátions foram realizadas no LAMIN da CPRM no Rio de Janeiro-RJ por ICP-OAS. As determinações de Hg foram realizadas por decomposição térmica seguida por amalgamação por espectrometria de absorção atômica (Método: USEPA 7473) utilizando o equipamento DMA-80 Millestone.

As análises de concentração dos ânions seguiram o método USEPA 300.0 Rev 2.1. As determinações foram realizadas no LAMIN da CPRM em Belo Horizonte-MG utilizando-se Cromatógrafo Iônico 881 Compact IC Pro Metrohm.

3.5.2 Sedimentos em suspensão

As amostras de sedimentos em suspensão foram encaminhadas para dois laboratórios (LAMIN-BH e GEOSOL), onde foram realizadas as seguintes análises:

- Granulometria dos sedimentos em suspensão por espalhamento a laser, Granulômetro a Laser Malvern 2000 – LAMIN da CPRM em Belo Horizonte-MG;

- Concentração dos sedimentos em suspensão por gravimetria/evaporação – LAMIN-BH da CPRM em Belo Horizonte-MG;
- Concentração de 54 elementos químicos nos sedimentos em suspensão: 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 - por ICP-OES e ICP-MS. Estes elementos foram determinados com abertura parcial – ICM14B, com água régua (3HCl:1HNO₃) e abertura total – ICM40B, utilizando 4 ácidos fortes (HCl, HNO₃, HF e HClO₄) – no laboratório da SGSGEOSOL em Vespasiano, MG.

3.5.3 Sedimentos de corrente

As amostras de sedimentos em corrente foram encaminhadas para dois laboratórios (LAMIN-BH e GEOSOL), onde foram realizadas as seguintes análises:

- Granulometria do sedimento de corrente por peineramento, realizada no LAMIN-BH. No caso de amostras em que a fração menor do que 62,5µm é maior do que 10% da amostra total, esta fração é analisada por meio de difração a laser;
- No laboratório, as amostras são secadas a 60°C, peneiradas a 80 mesh e pulverizadas a 150 mesh. Após quarteada uma alíquota de cada amostra é digerida com abertura parcial e outra com abertura total. Em seguida, estas alíquotas são analisadas para 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) por ICP-OES e ICP-MS, no SGSGEOSOL, em Vespasiano, Minas Gerais. Estes elementos foram determinados para abertura parcial e total.

4 Resultados

4.1 Medição de descarga líquida

No período de 28/11 a 16/12/15 foram realizadas 16 medições de descarga líquida em 7 pontos na bacia do rio Doce com o objetivo de avaliar alterações nas curvas-chaves causadas pela ruptura da barragem em Mariana. Os resultados encontram-se apresentados na Tabela 2 e plotados junto com as séries históricas medições de descarga líquida nas Figuras 2 a 8.

Tabela 2 – Resumo das Medições de Descarga Realizadas.

Nome	Data	Cota (cm)	Vazão (m ³ /s)	Área (m ²)	Veloc (m/s)	Largura (m)
Faz Cachoeira Dantas	28/11/15	134	82,8	115	0,72	132
Faz Cachoeira Dantas	10/12/15	302	316	337	0,94	136
Cachoeira Óculos	29/11/15	185	95,0	140	0,68	143
Cachoeira Óculos	10/12/15	397	419	428	0,98	146
Belo Oriente	30/11/15	151	140	230	0,61	235
Belo Oriente	09/12/15	277	401	488	0,82	238

Tabela 2 – Resumo das Medições de Descarga Realizadas (continuação).

Nome	Data	Cota (cm)	Vazão (m ³ /s)	Área (m ²)	Veloc (m/s)	Largura (m)
Governador Valadares	01/12/15	123	206	569	0,36	307
Governador Valadares	05/12/15	193	572	780	0,73	312
Governador Valadares	14/12/15	182	478	789	0,61	314
Governador Valadares	15/12/15	180	500	773	0,65	312
Tumiritinga	02/12/15	70	226	518	0,44	359
Tumiritinga	14/12/15	151	513	771	0,67	364
Colatina	07/12/15	213	749	976	0,77	629
Colatina	15/12/15	190	516	719	0,71	588
Linhares	08/12/15	170	821	1339	0,61	811
Linhares	16/12/15	132	586	1033	0,57	803

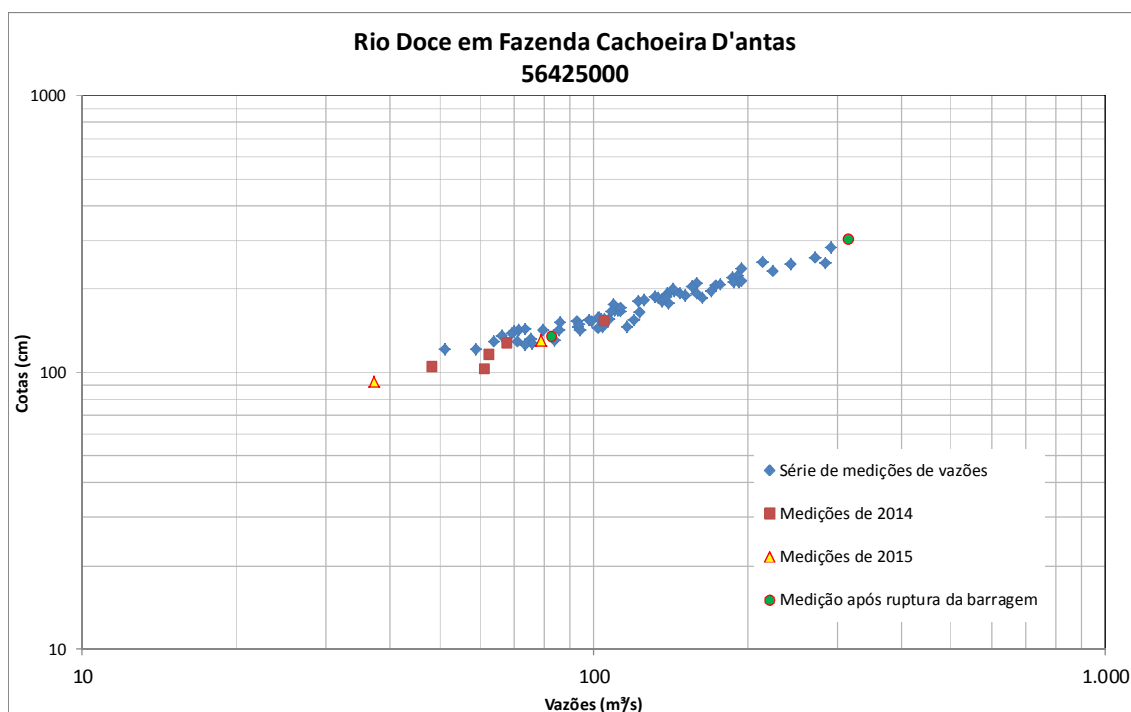


Figura 2 . Medições de descarga líquida no rio Doce em Fazenda Cachoeira Dantas

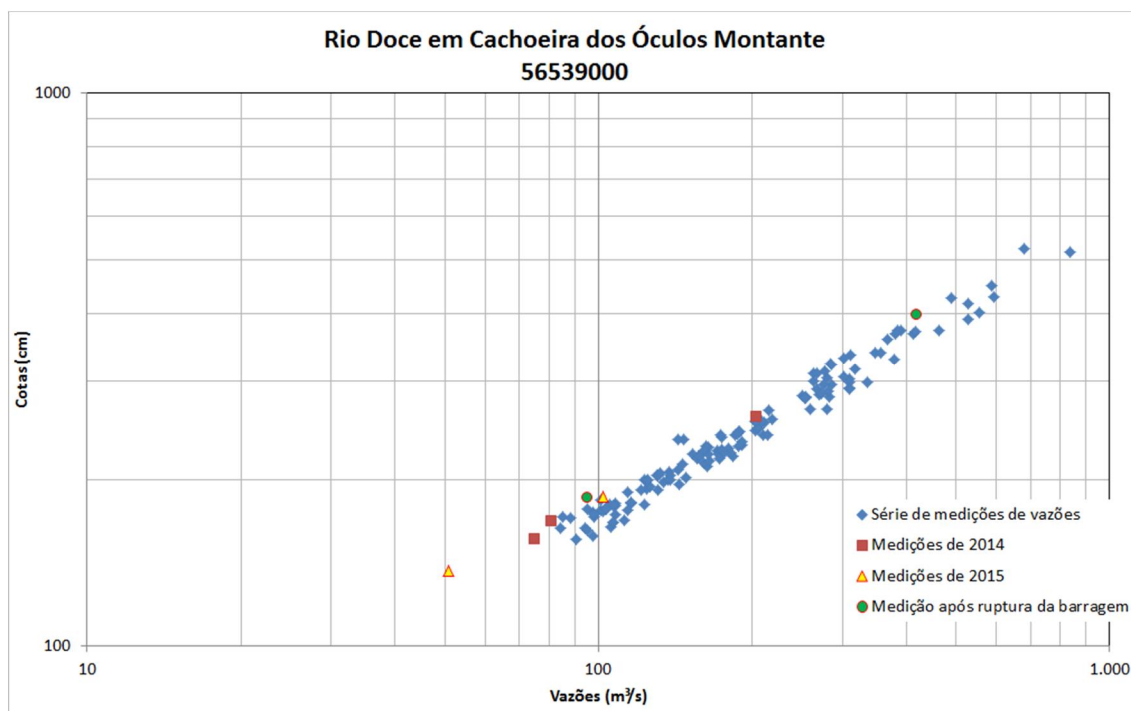


Figura 3 . Medições de descarga líquida no rio Doce em Cachoeira dos Óculos

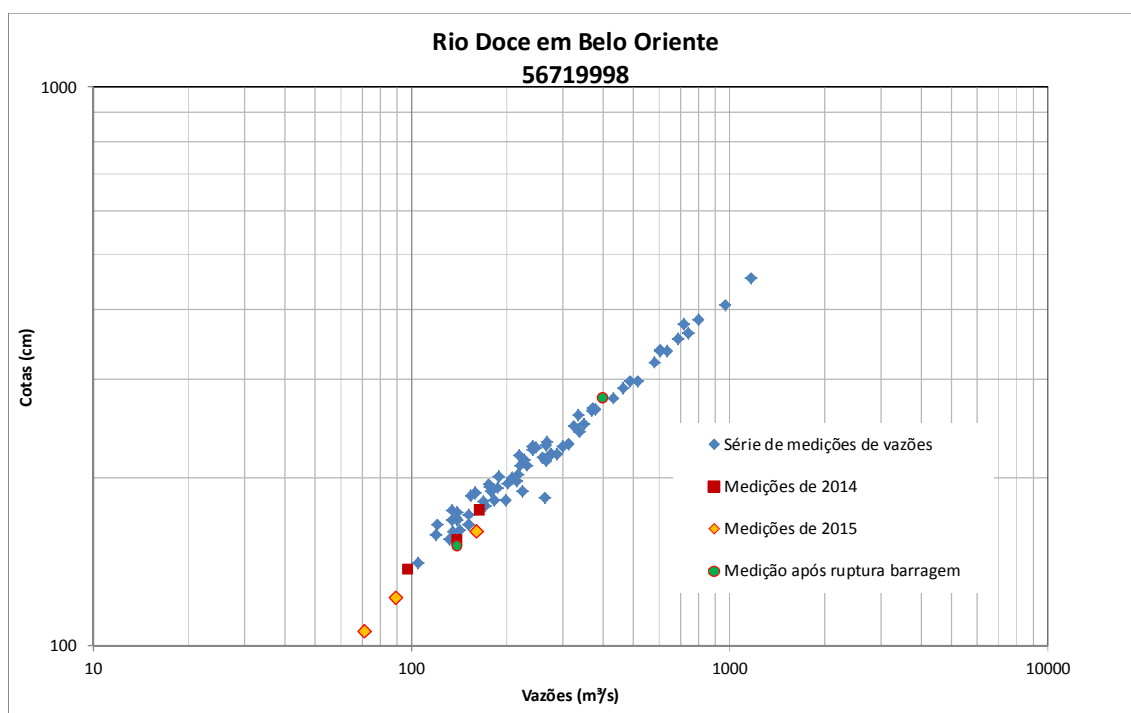


Figura 4 . Medições de descarga líquida no rio Doce em Belo Oriente

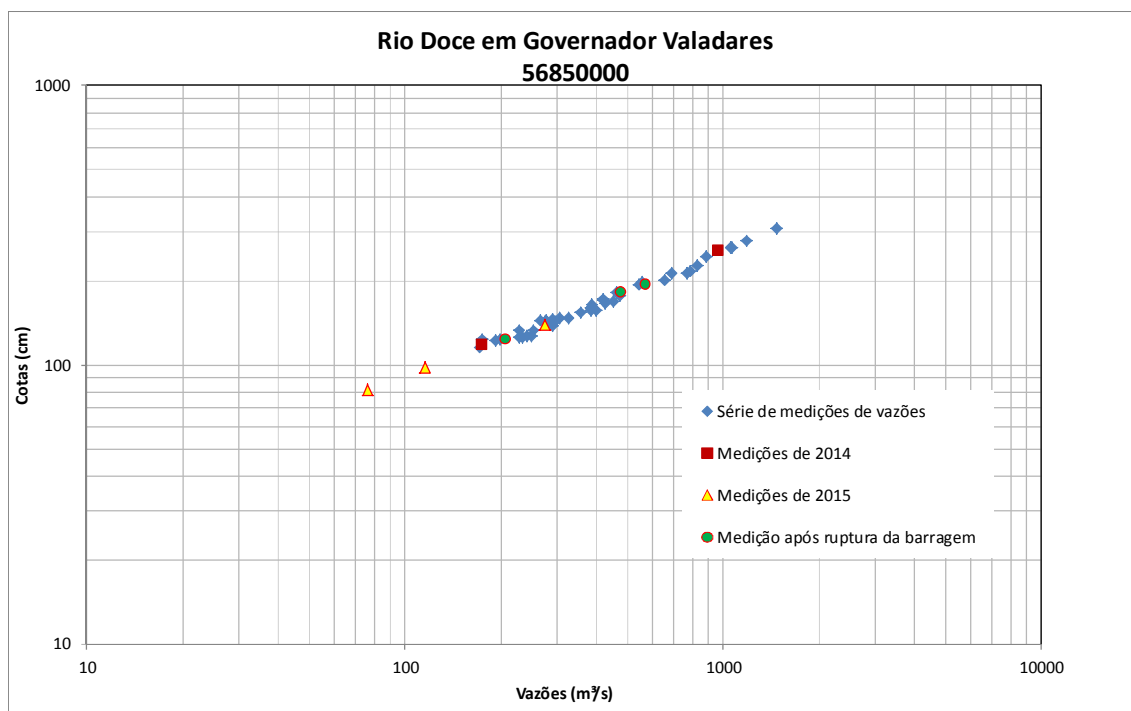


Figura 5 . Medições de descarga líquida no rio Doce em Governador Valadares

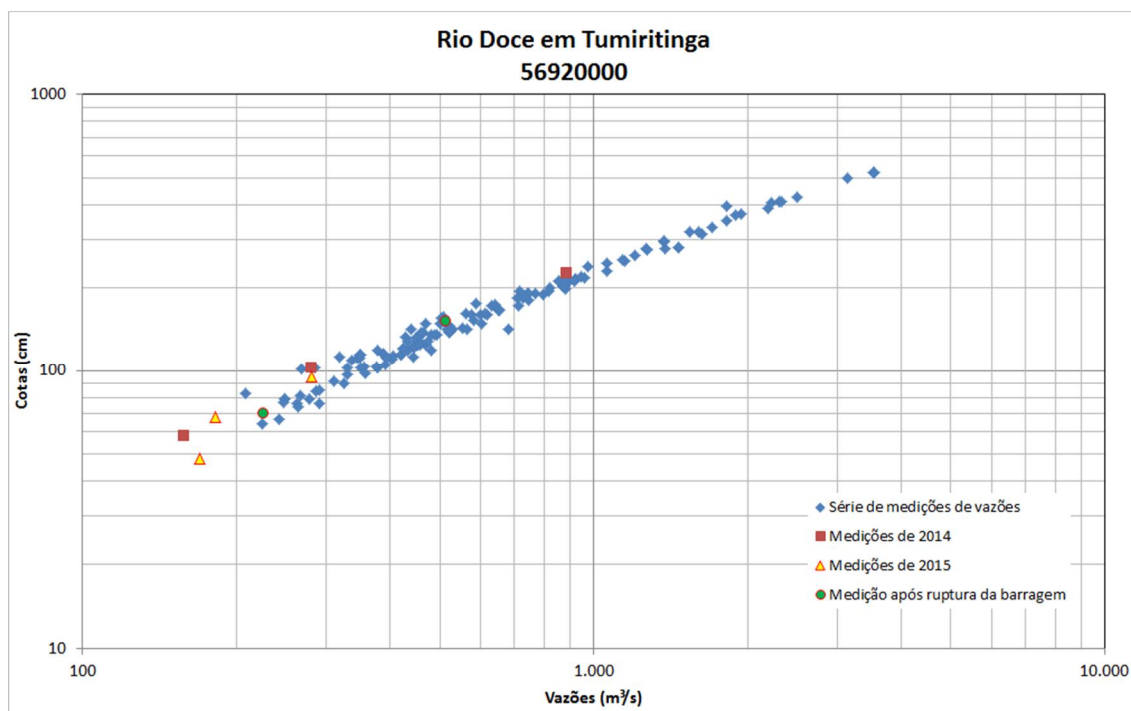


Figura 6 . Medições de descarga líquida no rio Doce em Tumiritinga

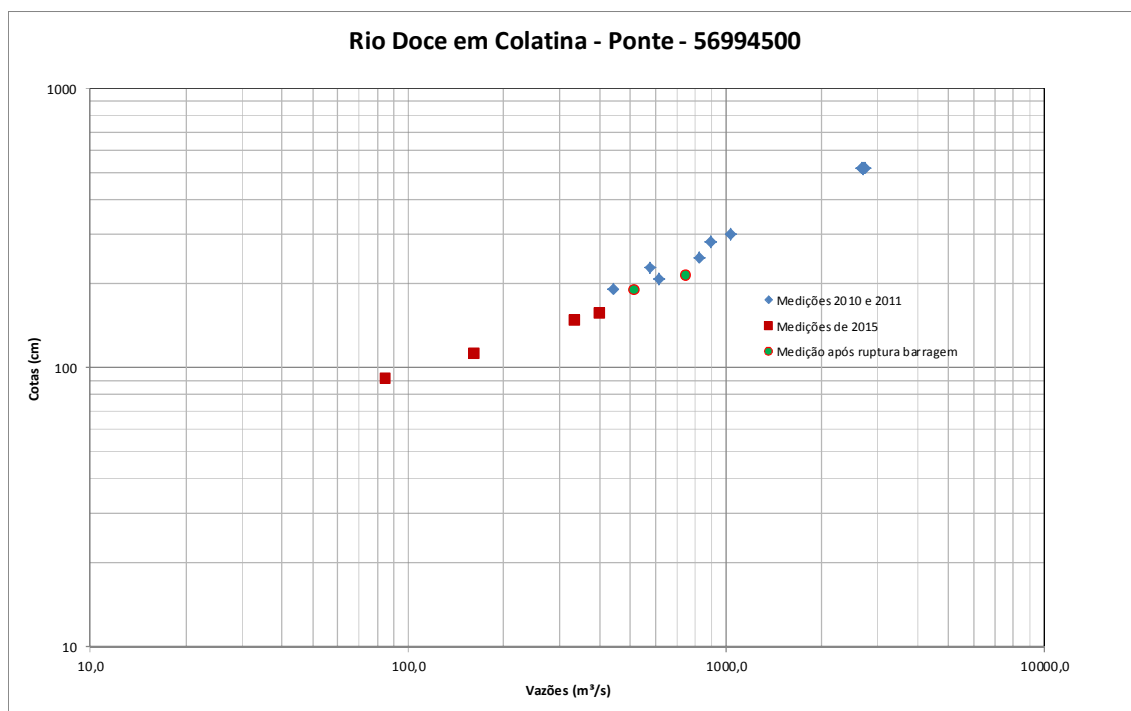


Figura 7 . Medições de descarga líquida no rio Doce em Colatina

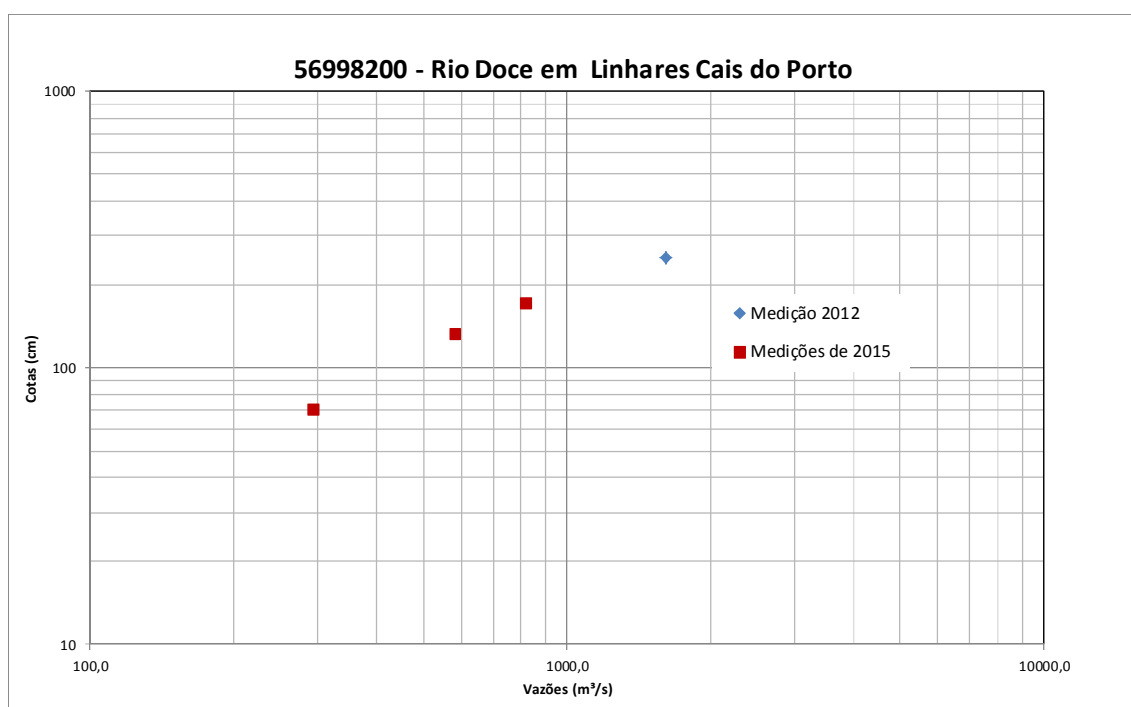


Figura 8 . Medições de descarga líquida no rio Doce em Linhares

Analisando estas figuras verifica-se que não houve alteração significativa da Curva-Chave (relação cota x vazão) nas estações fluviométricas localizadas na calha do rio Doce após a passagem da onda de cheia.

As estações de Colatina e Linhares possuem menos medições de descarga líquida do que as demais, porque a estação de Colatina neste local foi reativada há pouco tempo e na estação de Linhares normalmente não são feitas medições de vazão.

4.2 Perfil transversal

Durante o período compreendido entre 28/11 a 16/12 foram realizados 07 levantamentos de perfis transversais na bacia do rio Doce. As figuras 9 a 15 apresentam os perfis transversais levantados após a ruptura da barragem, comparados com o perfil mais recente levantado antes da ruptura da barragem. Analisando estas figuras, verifica-se que não houve alteração significativa nos perfis transversais das estações fluviométricas localizadas na calha do rio Doce.

Ressalta-se que na estação de Linhares normalmente não são levantados perfis transversais, impossibilitando a comparação entre o perfil levantado na quarta campanha e anteriores.

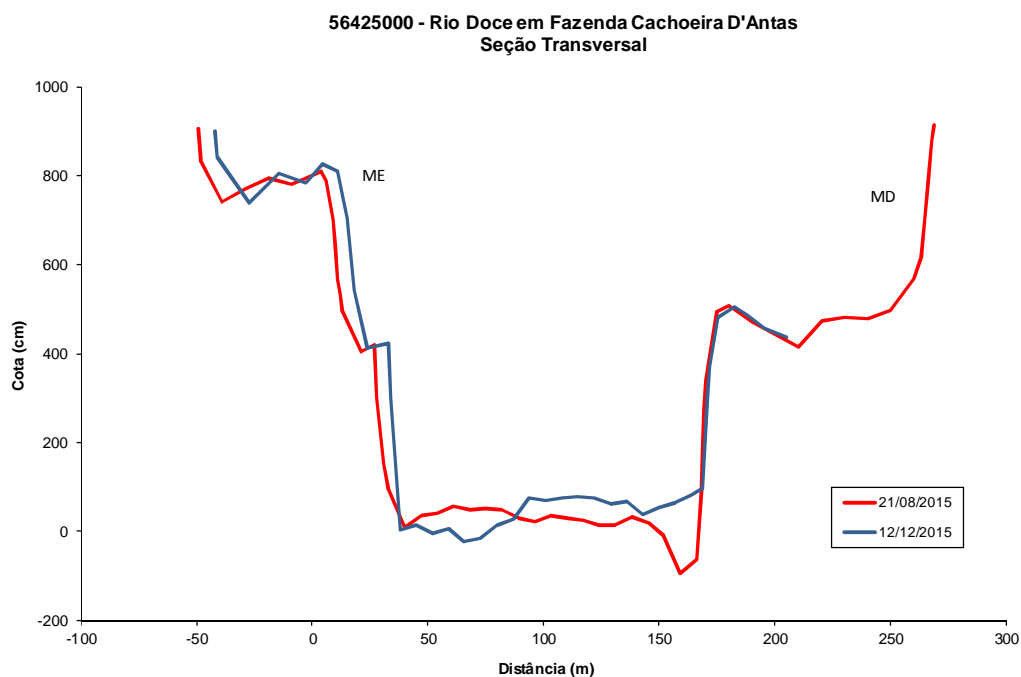


Figura 9 . Perfil Transversal no rio Doce em Fazenda Cachoeira Dantas

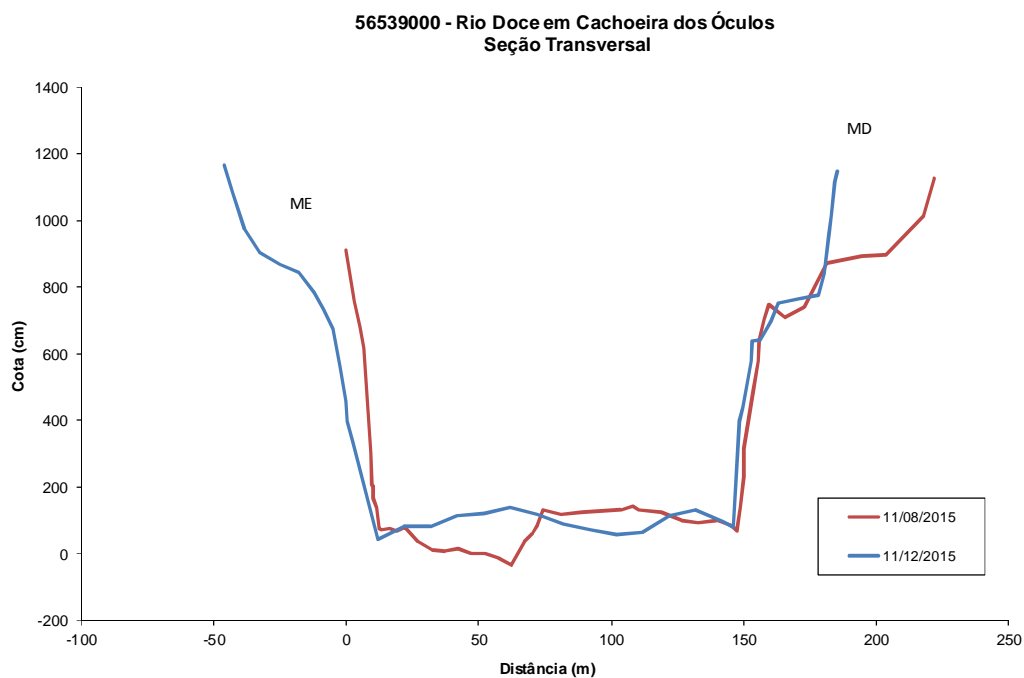


Figura 10 . Perfil Transversal no rio Doce em Cachoeira dos Óculos

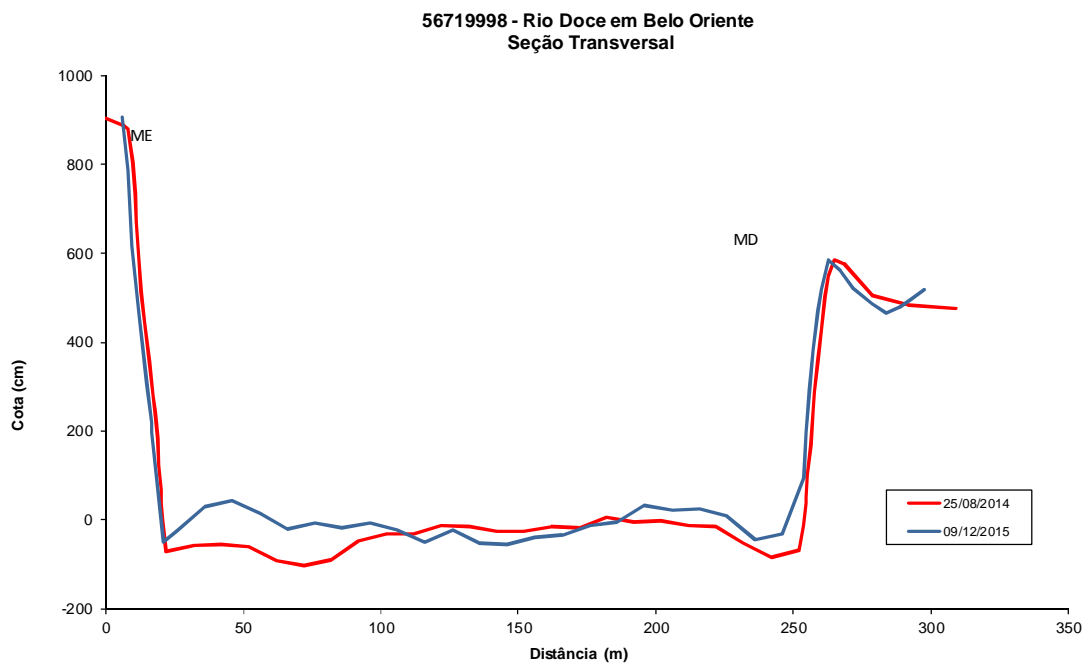


Figura 11 . Perfil Transversal no rio Doce em Belo Oriente

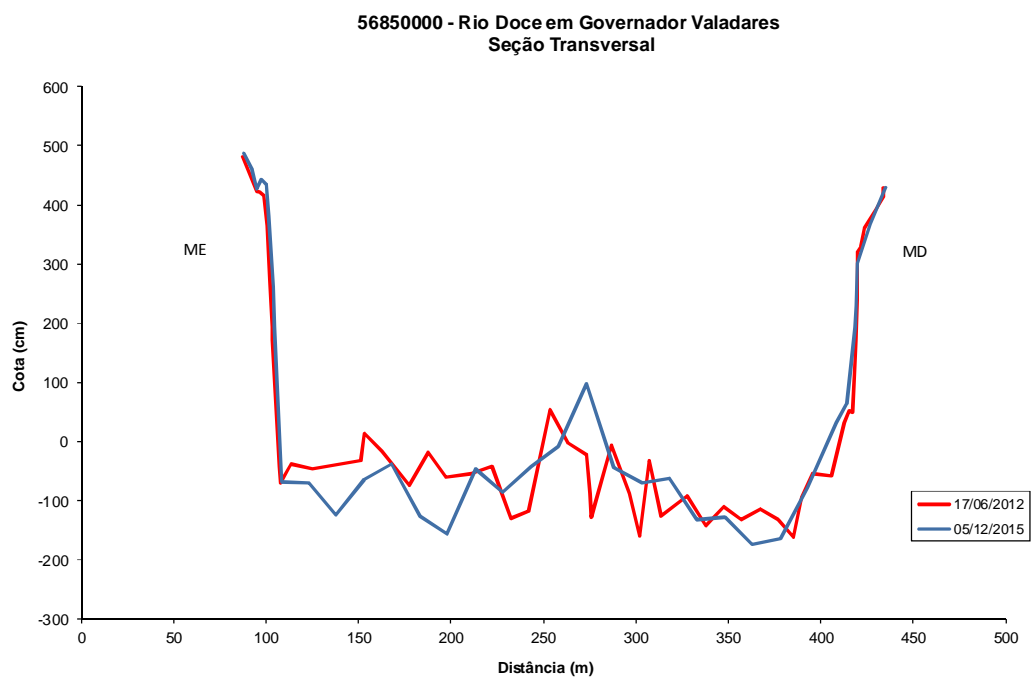


Figura 12 . Perfil Transversal no rio Doce em Governador Valadares

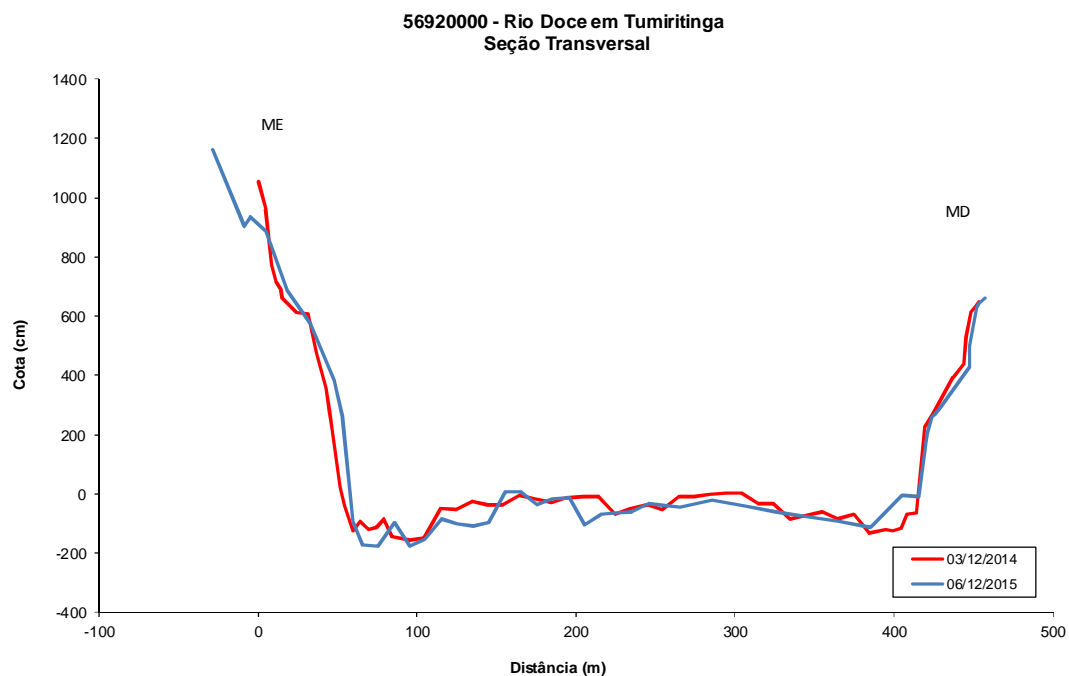


Figura 13 . Perfil Transversal no rio Doce em Tumiritinga

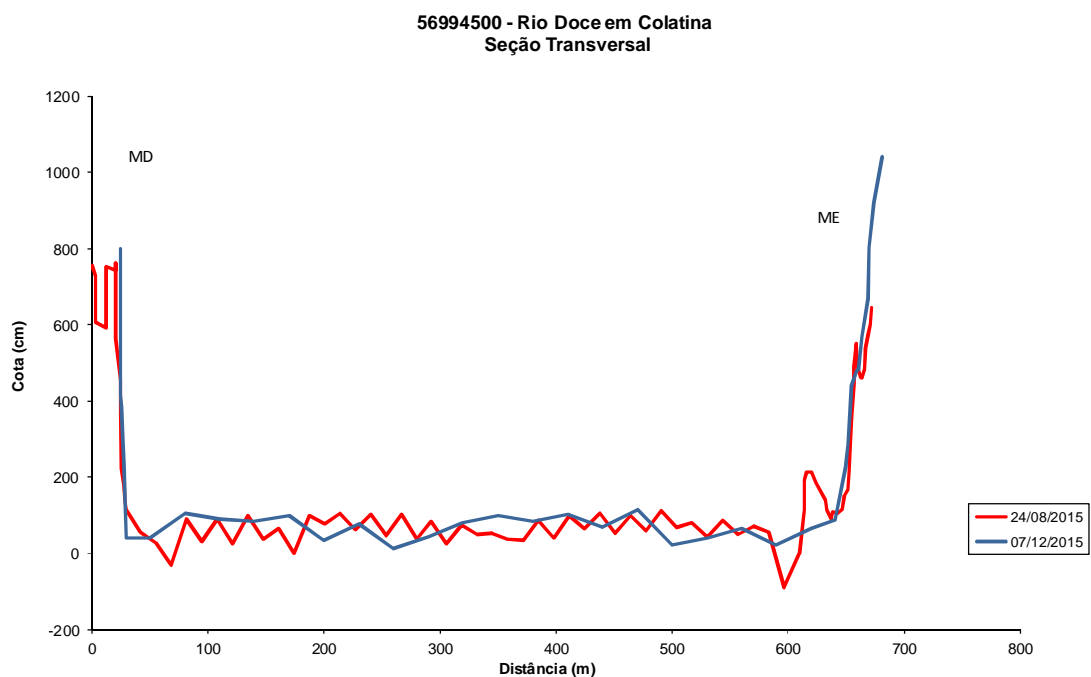


Figura 14 . Perfil Transversal no rio Doce em Colatina

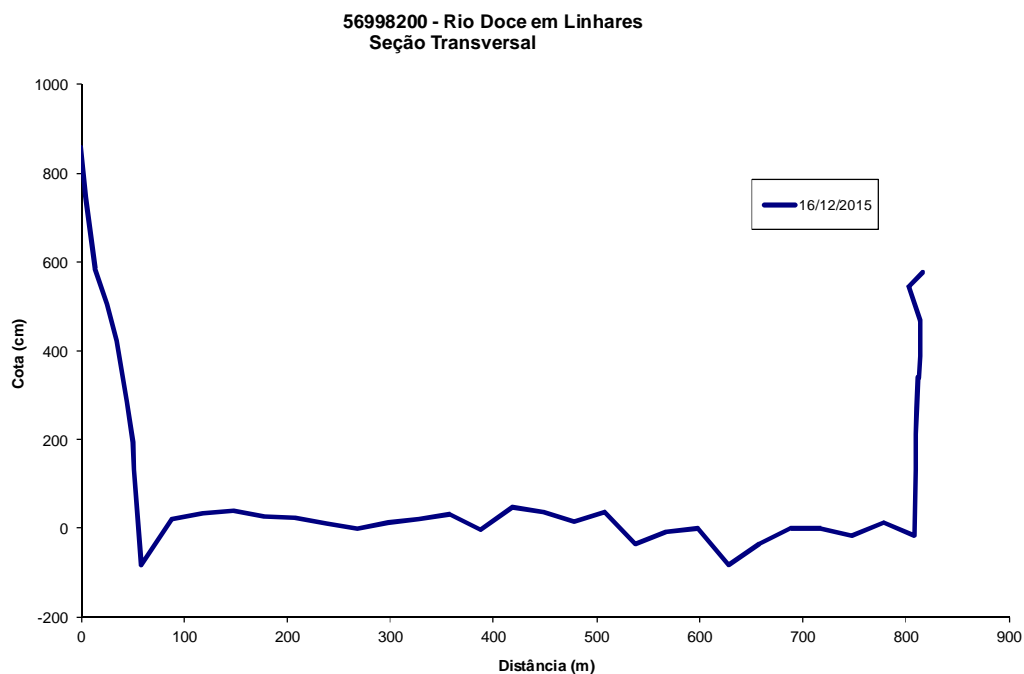


Figura 15 - Perfil Transversal no rio Doce em Linhares

4.3 Levantamento de 5 parâmetros de qualidade da água *in loco*

Inicialmente programou-se fazer o levantamento *in loco* dos 5 parâmetros de qualidade da água: condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, temperatura e turbidez nas estações. Porém, a sonda multiparamétrica² apresentou problemas técnicos no dia 30/11 e somente foi possível realizar o levantamento de todos os parâmetros previstos nas estações Fazenda Cachoeira Dantas (dia 28/11) e Cachoeira dos Óculos (dia 29/11). Sendo assim, nas outras estações foram realizados somente os levantamentos de turbidez. A Tabela 3 e o Anexo I apresentam os resultados encontrados.

Tabela 3 – Parâmetros de qualidade da água analisados *in loco* nas estações fluviométricas.

Nome	Local	Data	Temp	pH	CE	Turbidez	OD
Faz Cachoeira Dantas	ME	28/11/15	27,17	7,03	65	4832	6,97
	Media		27,28	7,08	65	4201	6,96
	Desvio		0%	-1%	0%	15%	0%
Faz Cachoeira Dantas	ME	10/12/15	-	-	-	3612	-
	Media		-	-	-	3838	-
	Desvio		-	-	-	-6%	-
Cachoeira dos Óculos	MD	29/11/15	29,44	7,11	65	3240	6,90
	Media		29,53	7,11	65	2805	6,91
	Desvio		0%	0%	0%	16%	0%
Cachoeira dos Óculos	MD	10/12/15	-	-	-	4464	-
	Media		-	-	-	4445	-
	Desvio		-	-	-	0%	-
Belo Oriente	ME	30/11/15	-	-	-	863	-
	Media		-	-	-	871	-
	Desvio		-	-	-	-1%	-
Belo Oriente	ME	09/12/15	-	-	-	3828	-
	Media		-	-	-	3893	-
	Desvio		-	-	-	-2%	-

² Sonda multiparamétrica HIDROLAB-MS5: utilizada neste trabalho para a determinação “*in loco*” da temperatura, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica.

Tabela 3 – Parâmetros de qualidade da água analisados *in loco* nas estações fluviométricas (continuação).

Nome	Local	Data	Temp	pH	CE	Turbidez	OD
Governador Valadares	ME	01/12/15	-	-	-	2760	-
	Media		-	-	-	2458	-
	Desvio		-	-	-	12%	-
Governador Valadares	ME	14/12/15	-	-	-	1296	-
	Media		-	-	-	1327	-
	Desvio		-	-	-	-2%	-
Tumiritinga	MD	02/12/15	-	-	-	2024	-
	Media		-	-	-	1957	-
	Desvio		-	-	-	3%	-
Tumiritinga	MD	14/12/15	-	-	-	1800	-
	Media		-	-	-	1808	-
	Desvio		-	-	-	0%	-
Colatina	MD	07/12/15	-	-	-	1914	-
	Media		-	-	-	2111	-
	Desvio		-	-	-	-9%	-
Colatina	MD	15/12/15	-	-	-	1908	-
	Media		-	-	-	2315	-
	Desvio		-	-	-	-18%	-
Linhares	ME	08/12/15	-	-	-	1716	-
	Media		-	-	-	1858	-
	Desvio		-	-	-	-8%	-
Linhares	ME	16/12/15	-	-	-	1758	-
	Media		-	-	-	1918	-
	Desvio		-	-	-	-8%	-

MD – margem direita; ME – margem esquerda;

Analisando os dados de temperatura, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica das estações Fazenda Cachoeira Dantas e Cachoeira dos Óculos verifica-se que há uma boa homogeneidade nas seções transversais destas estações, uma vez os resultados encontrados

próximo as margens e os valores médios determinados nas cinco verticais de amostragem integrada³ apresentam pouca variação. No caso da turbidez os desvios encontrados entre as amostras pontuais e compostas foram da ordem de -6 a 18%.

As medições de turbidez realizadas em Belo Oriente em 30/11/15 foram significativamente inferiores as medições nas estações a montante, Cachoeira dos Óculos em 29/11, e jusante Governador Valadares em 01/12. Estes dados foram confirmados pelo técnico de campo, e não foi identificada explicação para este tipo de comportamento.

Conforme apresentado no Relatório 1 do Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce (CPRM,2015^a), durante a primeira campanha (07 a 22 de novembro de 2015) a passagem da massa de água com elevada turbidez resultante da ruptura da barragem os valores dos parâmetros *in loco* encontrados foram os apresentados na Tabela 4.

Analisando estes dados, verifica-se que, nas estações Fazenda Cachoeira Dantas e Cachoeira dos Óculos, a condutividade elétrica e a turbidez, registradas na quarta campanha são significativamente menores do que as registradas durante a passagem da massa de água com elevada turbidez. Já o oxigênio dissolvido atualmente já é bem maior do que os valores registrados logo após a ruptura da barragem. Estes dados indicam uma melhoria na qualidade da água.

Nas demais estações, verifica-se que a turbidez durante a quarta campanha é significativamente menor do que a turbidez registrada nos quinze dias após a ruptura da barragem.

Tabela 4 – Parâmetros coletados *in loco* médios durante passagem da massa de água com elevada turbidez

Nome	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	OD (mg/L)	Turbidez (NTU)
Cachoeira dos Óculos	-	-	-	200 a 800mil
Belo Oriente	280	7,5	0,3	400mil
Governador Valadares	175	7,1	1,0 a 2,8	55 a 120mil
Tumiritinga	100 a 190	7,0	0,2 a 5,1	2 a 76mil
Colatina	115	6,5	4,0	3 a 7mil
Linhares	110	7,2	5,0	400 a 7mil

A título de comparação, a Tabela 5 apresenta os valores característicos dos parâmetros *in loco* normalmente medidos nas estações fluviométricas.

Analisando estes dados verifica-se que, nas estações Fazenda Cachoeira Dantas e Cachoeira dos Óculos, os parâmetros: condutividade elétrica, pH, temperatura e oxigênio dissolvido na época da realização da quarta campanha estavam nos mesmos patamares dos valores

³ O item 3.4.1 descreve com os pontos de coleta integrada são determinados.

normalmente medidos nas estações. Porém a Turbidez ainda se encontra em patamares muito superiores aos normalmente encontrados, em todas as estações monitoradas.

Tabela 5 – Valores Característicos de parâmetros *in loco* das estações da RHN

Nome	Conduct. Elétrica (µS)		OD (mg/L)		pH		Temperat. (°C)		Turbidez ⁽¹⁾ (NTU)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Faz Ocidente	32	67	6,2	9,4	6,3	8,8	14,0	33,3	3,7	539
Faz Cach Dantas	33	54	5,8	9,0	5,4	7,7	19,5	28,6	4,9	156
Cachoeira Óculos	33	64	5,6	9,2	6,1	7,8	19,0	29,0	2,0	43,0
Belo Oriente	20	80	5,9	8,5	5,2	7,6	19,0	27,0	11,0	67,0
Gov. Valadares	26	86	6,0	9,0	5,5	4,9	21,0	30,0	5,0	10,0
Tumiritinga	1	84	6,5	9,2	6,3	8,3	21,0	31,0	4,0	71,0
Resplendor	28	75	6,4	8,6	6,4	8,1	23,0	31,0	-	-
Colatina	38	96	6,8	9,1	6,2	8,0	20,0	30,0	-	-

(1) – Dados referentes a 2013

4.4 Análises de Laboratório

Durante o período entre 28/11 a 16/12/15 foram coletadas amostras para as seguintes análises laboratoriais: concentração de sedimentos em suspensão, cátions e ânions na matriz água e granulometria e composição química nos sedimentos de fundo e nos sedimentos em suspensão.

4.4.1 Concentração de Sedimentos em Suspensão

A Tabela 6 apresenta os resultados da concentração de sedimentos em suspensão das amostras coletadas. Analisando estes dados verifica-se que não houve grande diferença entre a concentração de sedimentos em suspensão das amostras pontuais, coletadas a 30cm da superfície nas margens direita ou esquerda e a concentração da amostra integrada. As maiores diferenças foram encontradas na estação Belo Oriente e em Linhares.

Tabela 6 – Concentração de Sedimentos em Suspensão.

Nome	Amostra	Data	Css (mg/L)
Fazenda Cachoeira Dantas	ME	28/11/15	888
	Integrada		934
	ME	10/12/15	1.132
	Integrada		1.240
Cachoeira dos Óculos	MD	29/11/15	802
	Integrada		772
	MD	10/12/15	1.692
	Integrada		1.904

Tabela 6 – Concentração de Sedimentos em Suspensão (continuação).

Nome	Amostra	Data	Css (mg/L)
Belo Oriente	ME	30/11/15	1.016
	Integrada		806
	ME	09/12/15	1.392
	Integrada		2.008
Governador Valadares	ME	01/12/15	390
	Integrada		390
	ME	14/12/15	338
	Integrada		326
Tumiritinga	ME	02/12/15	366
	Integrada		410
	ME	14/12/15	452
	Integrada		494
Colatina	MD	07/12/15	452
	Integrada		492
	MD	15/12/15	442
	Integrada		460
Linhares	ME	08/12/15	156
	Integrada		290
	ME	16/12/15	444
	Integrada		444

A título de comparação, os valores característicos de concentração de sedimentos de suspensão obtidos na operação da RHN são os seguintes:

- Fazenda Cachoeira Dantas de 11 a 883mg/L;
- Cachoeira dos Óculos de 12 a 1290mg/L;
- Governador Valadares de 4 a 240 mg/L;
- Tumiritinga de 5 a 135 mg/L;
- Resplendor de 13 a 188mg/L;
- Colatina de 1 a 802 mg/L.

Analisando estes dados verifica-se que a concentração de sedimentos em suspensão medida na quarta campanha tem valores compatíveis com os maiores valores de concentração de sedimentos em suspensão medidos na operação da RHN, a não ser em Tumiritinga que a concentração atual está cerca de três vezes maior do que a concentração máxima normalmente medida.

4.4.2 Granulometria

4.4.2.1 Sedimentos em suspensão

A Tabela 7 apresenta os diâmetros característicos dos sedimentos contidos nas amostras coletadas e a Tabela 8 apresenta classificação de sedimentos segundo granulometria. As Figuras 16 a 22 apresentam as curvas granulométricas por estação.

Tabela 7 – Diâmetros Característicos dos Sedimentos em Suspensão

Nome	Data	Local	D10%(μm)	D50%(μm)	D90%(μm)
Fazenda Cachoeira Dantas	28/11/15	ME	1,081	6,663	39,216
		Integrada	1,234	7,990	82,406
	10/12/15	ME	1,717	9,764	68,353
		Integrada	2,042	12,285	122,597
Cachoeira dos Óculos	29/11/15	MD	1,501	9,094	53,328
		Integrada	1,881	11,830	103,870
	10/12/15	MD	2,088	10,996	71,651
		Integrada	2,320	13,627	121,747
Belo Oriente	30/11/15	ME	2,039	10,470	54,346
		Integrada	2,340	12,910	81,342
	09/12/15	ME	2,313	12,930	69,889
		Integrada	2,493	15,596	102,798
Governador Valadares	01/12/15	ME	0,588	4,527	16,077
		Integrada	0,597	4,544	17,501
	14/12/15	ME	1,067	7,048	32,131
		Integrada	1,042	6,720	33,302
Tumiritinga	02/12/15	ME	0,660	5,442	19,903
		Integrada	0,666	5,506	21,785
	14/12/15	ME	1,191	7,293	32,714
		Integrada	1,237	7,543	40,383
Colatina	07/12/15	MD	1,053	7,119	37,522
		Integrada	0,829	5,612	28,204
	15/12/15	MD	0,627	4,829	18,988
		Integrada	0,585	4,084	11,772
Linhares	08/12/15	ME	0,792	5,972	36,499
		Integrada	0,825	5,900	33,472
	16/12/15	ME	0,565	3,753	14,419
		Integrada	0,596	4,163	15,243

Comparando os resultados apresentados nas coletas pontuais com a integrada verifica-se que não há grandes variações dos diâmetros característicos D10% e D50% em todas as estações fluviométricas, porém há grandes variações no D90% nas estações localizadas a montante de Governador Valadares.

Conforme apresentado no Relatório 1 do Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce (CPRM,2015^a), durante a primeira campanha (07 a 22 de novembro de 2015) a passagem da massa de água com elevada turbidez resultante da ruptura da barragem o D50% das amostras coletadas foram de:

- Cachoeira dos Óculos e Belo Oriente – 18 μ m;
- Governador Valadares e Tumiritinga – 7 a 9 μ m;
- Colatina e Linhares – 3 a 6 μ m.

Valores estes maiores do que os registrados na quarta campanha.

Tabela 8 – Classificação granulométrica da American Geophysical Union

Diâmetro (mm)	Denominação
64 a 32	Cascalho muito grosso
32 a 16	Cascalho grosso
16 a 8	Cascalho médio
8 a 4	Cascalho fino
4 a 2	Cascalho muito fino
2,00 a 1,00	Areia muito grossa
1,00 a 0,50	Areia grossa
0,50 a 0,25	Areia média
0,25 a 0,125	Areia fina
0,125 a 0,0625	Areia muito fina
0,0625 a 0,031	Silte grosso
0,031 a 0,016	Silte médio
0,016 a 0,008	Silte fino
0,008 a 0,004	Silte muito fino
0,004 a 0,0020	Argila grossa
0,0020 a 0,0010	Argila média
0,0010 a 0,0005	Argila fina
0,0005 a 0,00024	Argila muito fina

Curvas Granulométricas - Fazenda Cachoeira D'Anta

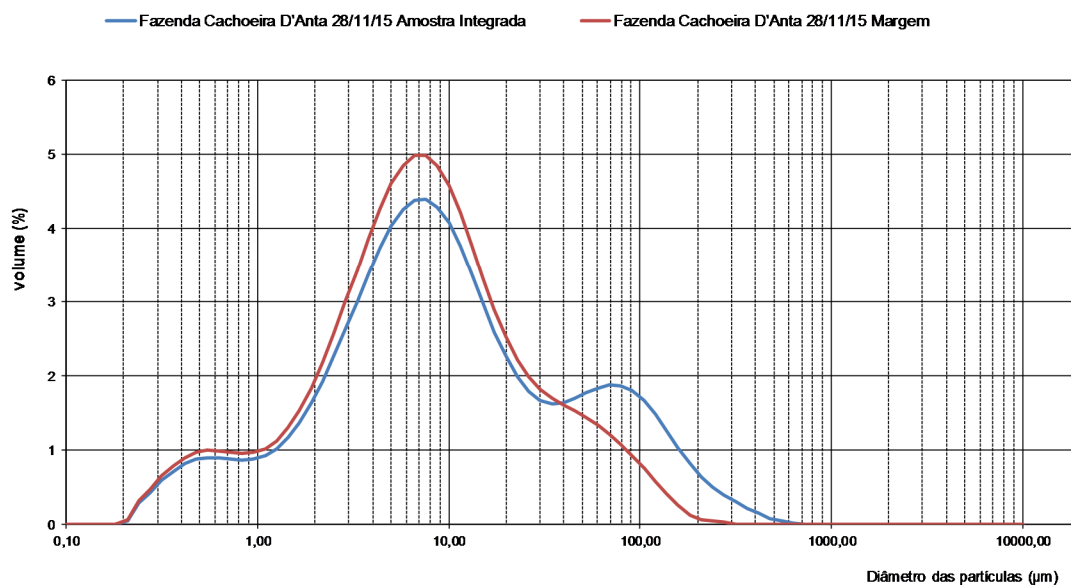


Figura 16 . Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Fazenda Cachoeira Dantas

Curvas Granulométricas - Fazenda Cachoeira dos Óculos

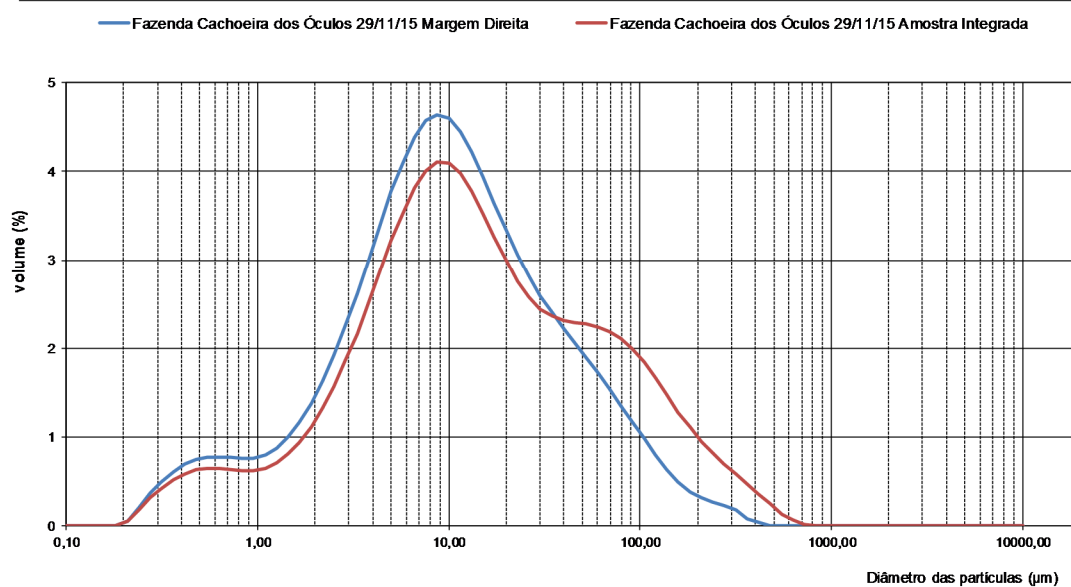


Figura 17 . Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Cachoeira dos Óculos

Curvas Granulométricas - Belo Oriente

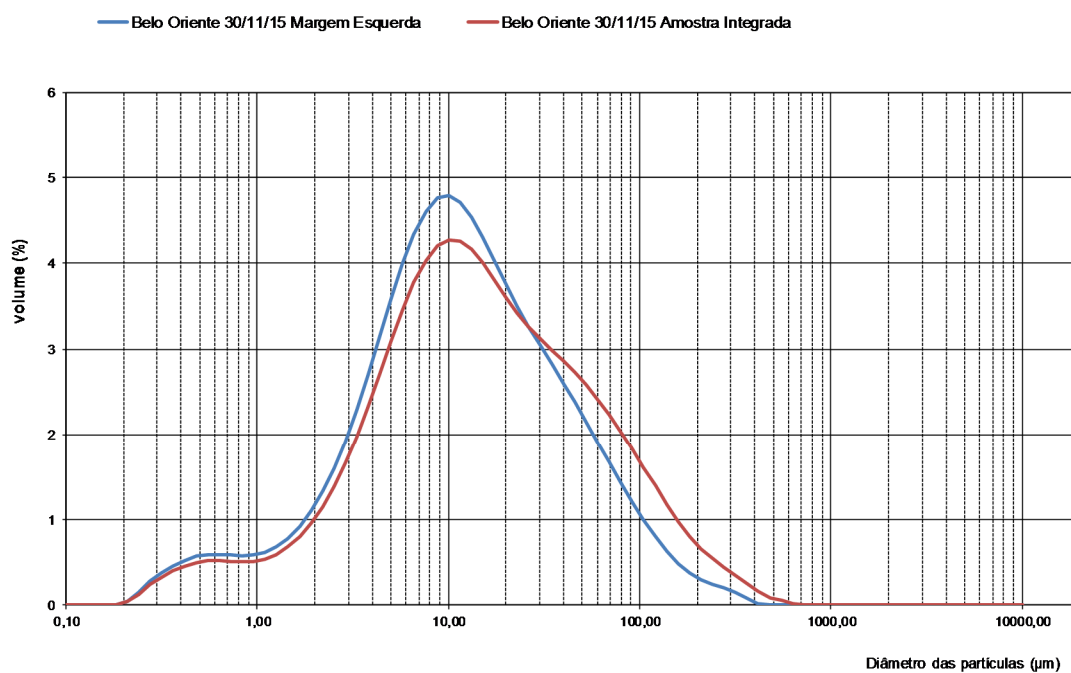


Figura 18 . Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Belo Oriente

Curvas Granulométricas - Governador Valadares

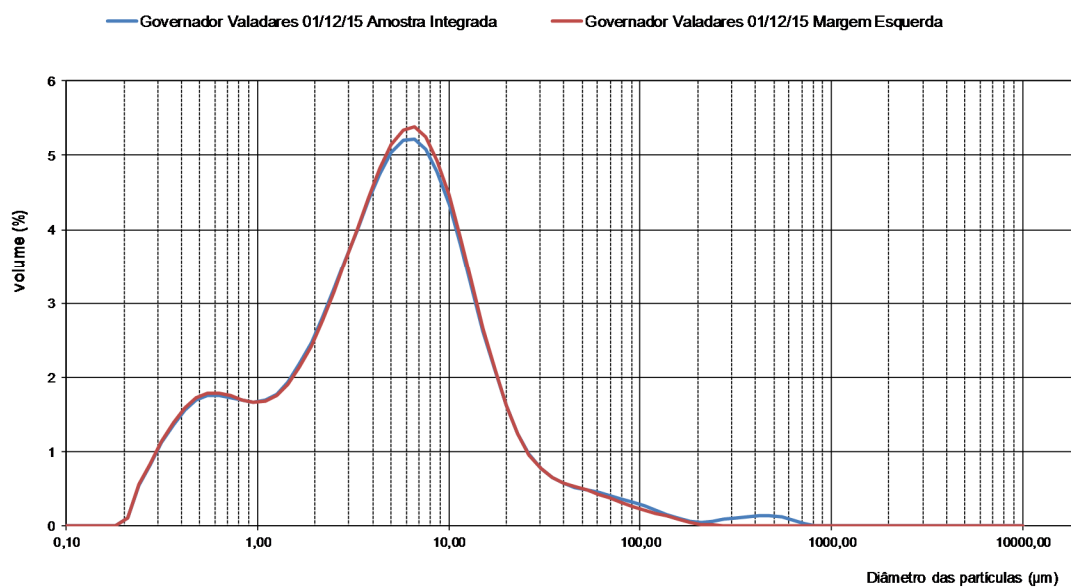


Figura 19 . Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Governador Valadares

Curvas Granulométricas

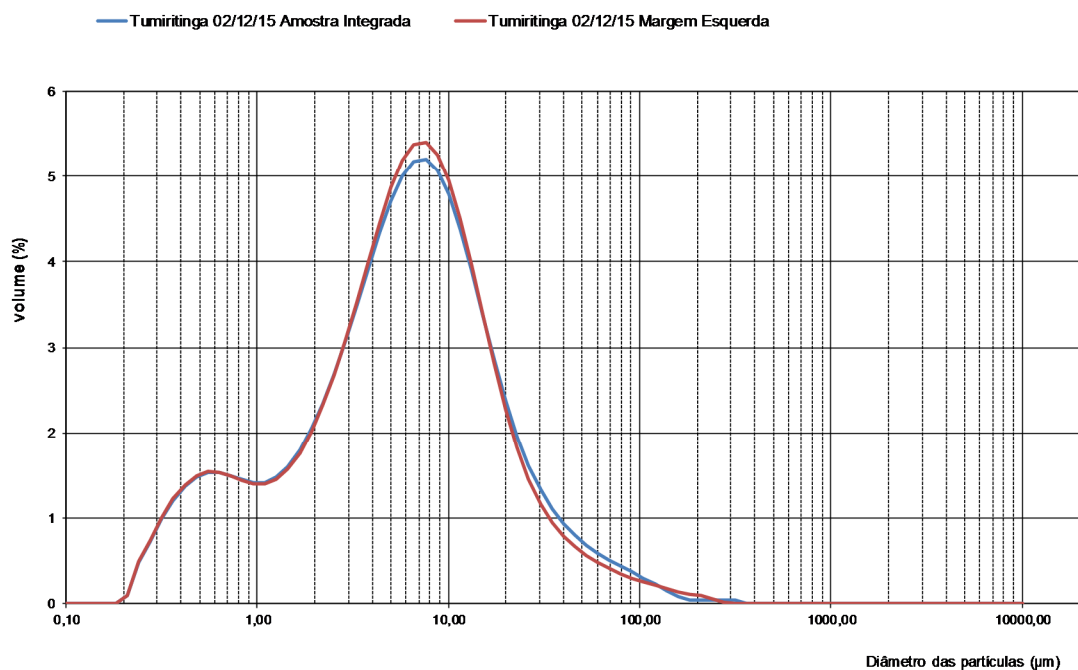


Figura 20 . Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Tumiritinga

Curvas Granulométricas

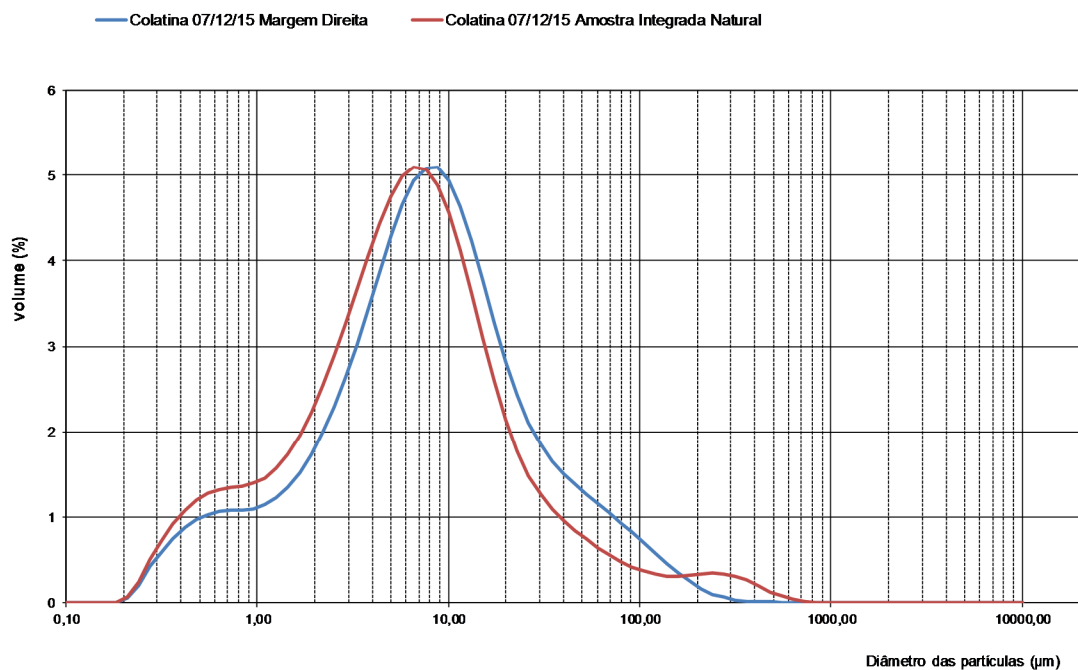


Figura 21 . Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Colatina

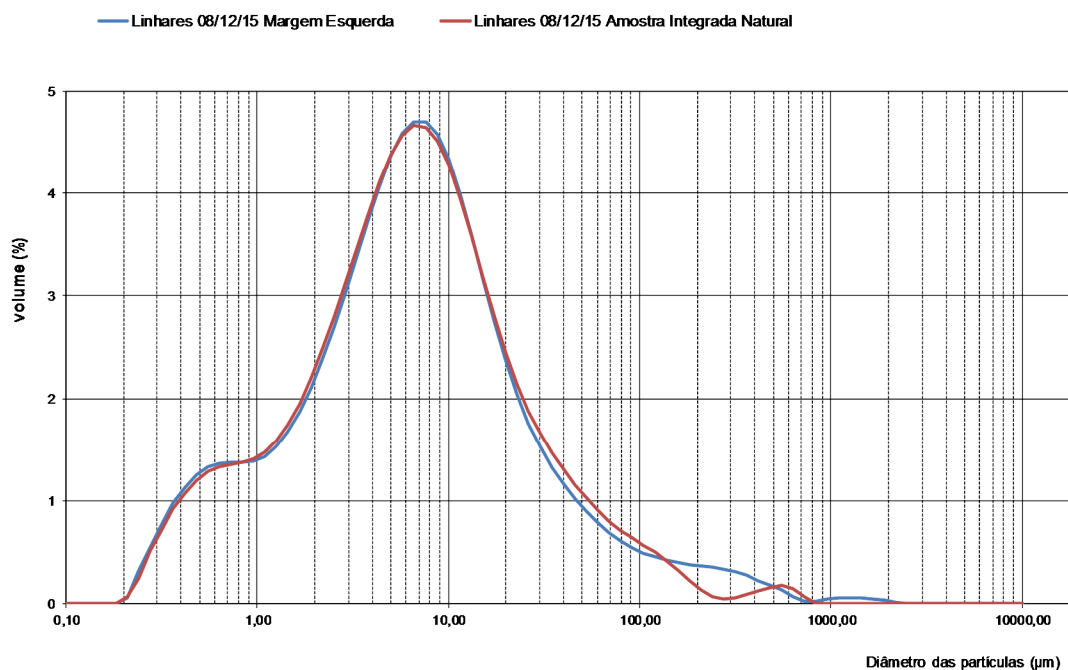


Figura 22 . Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Linhares

4.4.2.2 Sedimentos de fundo

A Tabela 9 apresenta os diâmetros característicos dos sedimentos de fundo. Em uma amostra coletada em Governador Valadares foi necessário realizar a análise granulométrica da fração menor do que 62,5µm, pois esta fração representou 16% da amostra total. A Tabela 10 apresenta os diâmetros característicos da amostra coletada em Governador Valadares com fração menor do que 62,5µm. Ressalta-se que em Governador Valadares numa das verticais a velocidade de escoamento é bastante baixa, o que favoreceu a deposição de sedimentos com fração muito fina no fundo.

O Diâmetro característico D50% variou em todas as estações entre 0,41 a 0,70mm, correspondendo a areia média e grossa. Já o coeficiente de uniformidade variou entre 2,12 a 4,91, sendo que quanto mais próximo de 1 mais uniforme é o material.

Tabela 9 – Diâmetros característicos em mm dos sedimentos de fundo para partículas com diâmetros acima de 62,5µm

Nome	Data	D10% (mm)	D50% (mm)	D60% (mm)	Coef
Fazenda Cachoeira Dantas	28/11/15	0,25	0,58	0,69	2,76
	10/12/15	0,11	0,41	0,54	4,91
Cachoeira dos Óculos	29/11/15	0,28	0,57	0,64	2,29
	10/12/15	0,25	0,66	0,86	3,44
Belo Oriente	30/11/15	0,28	0,52	0,61	2,18
	09/12/15	0,26	0,47	0,55	2,12

Tabela 9 – Diâmetros característicos em mm dos sedimentos de fundo para partículas com diâmetros acima de 62,5µm (continuação)

Nome	Data	D10% (mm)	D50% (mm)	D60% (mm)	Coef
Governador Valadares	01/12/15	-	0,70	1,20	-
	14/12/15	SR	SR	SR	SR
Tumiritinga	02/12/15	0,27	0,62	0,98	3,63
	14/12/15	SR	SR	SR	SR
Colatina	07/12/15	0,20	0,63	0,81	4,05
	15/12/15	0,22	0,53	0,68	3,09
Linhares	08/12/15	0,27	0,55	0,65	2,41
	16/12/15	0,25	0,59	0,71	2,84

Coef – coeficiente de uniformidade D60%/D10%, SR – sem resultado até data de publicação do relatório

Tabela 10 – Diâmetros característicos da fração dos sedimentos de fundo menor que 62,5µm

Nome	Data	D10% (µm)	D50% (µm)	D90% (µm)
Governador Valadares	01/12/15	4,270	20,818	56,292

4.4.3 Água

4.4.3.1 Ânions dissolvidos na água

Os resultados analíticos dos ânions encontram-se apresentados na Tabela 11 e nos gráficos (histogramas) que estão disponibilizados nas Figuras 23 a 28.

Analisando estes dados verifica-se que não houve grande diferença entre a concentração dos ânions nas amostras pontuais e a concentração nas amostras integradas.

Estes resultados foram comparados com os limites estabelecidos pela CONAMA 357/2005 para Classe 2, e todos os resultados foram inferiores a estes limites.

Se compararmos estes resultados com os obtidos na terceira campanha de geoquímica realizada em 2015, no período de 24 de novembro a 10 de dezembro, observa-se que não houveram variações significativas entre as concentrações dos ânions obtidas nas duas campanhas.

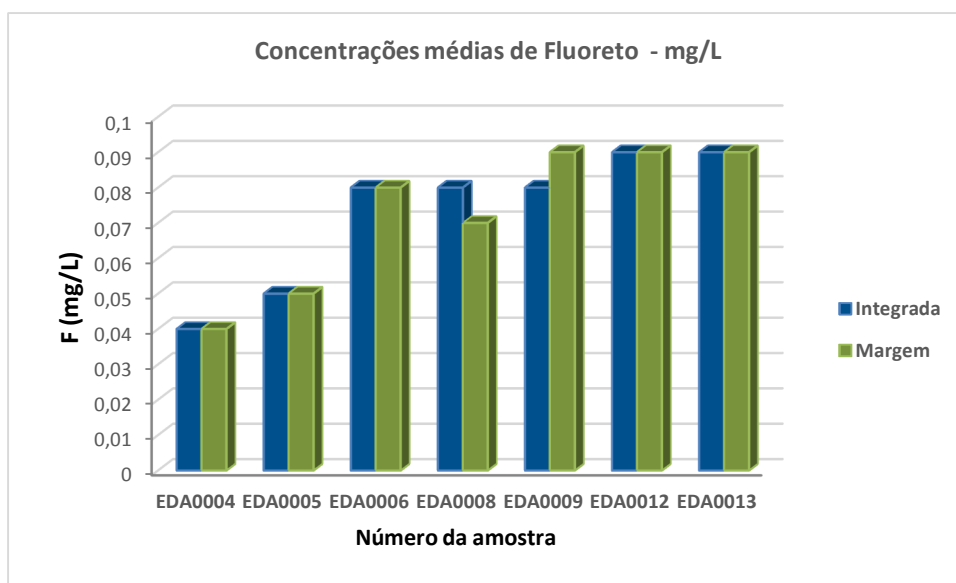


Figura 23 - Concentrações de Fluoreto nas amostras integrada e na coletada na margem

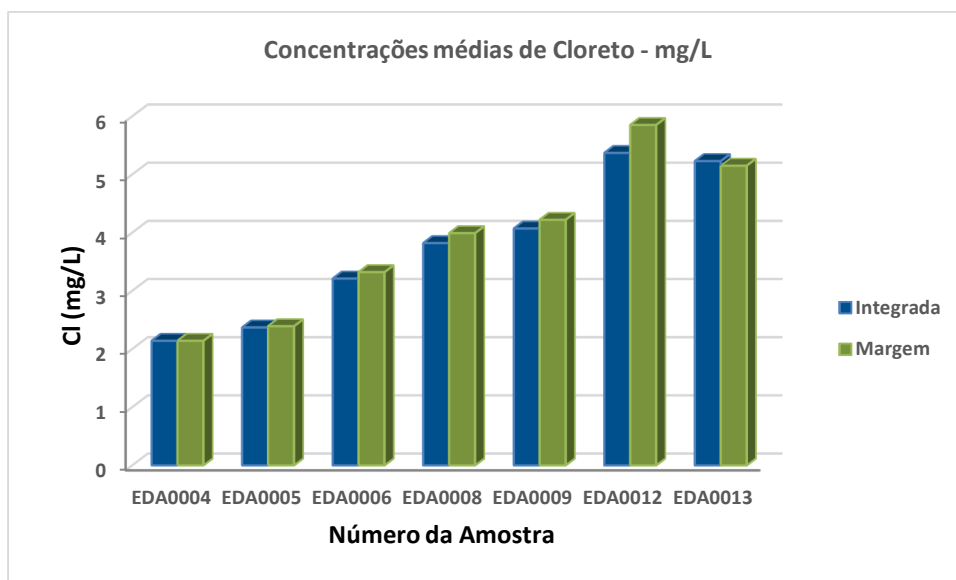


Figura 24 - Concentrações de Cloreto nas amostras integrada e na coletada na margem

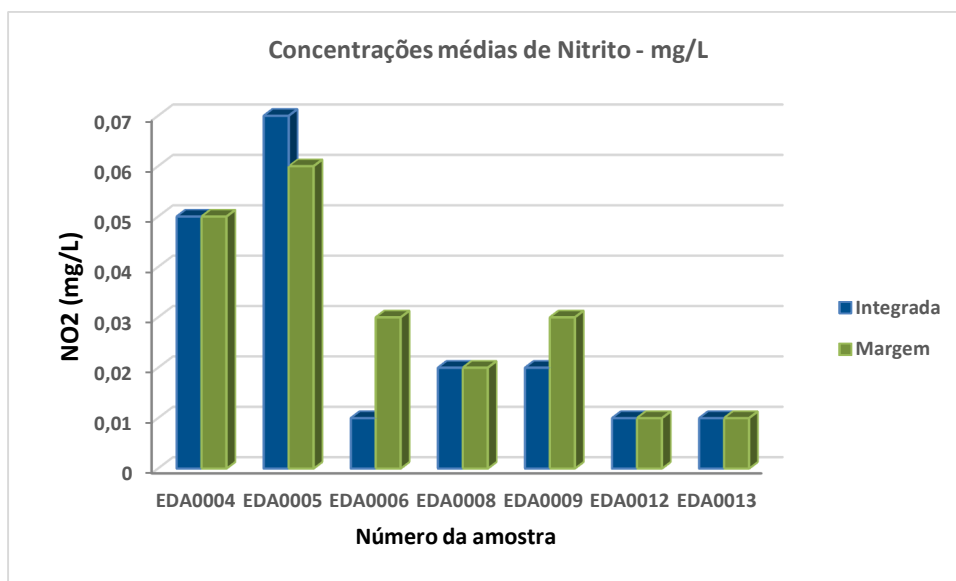


Figura 25 - Concentrações de Nitrito nas amostras integrada e na coletada na margem

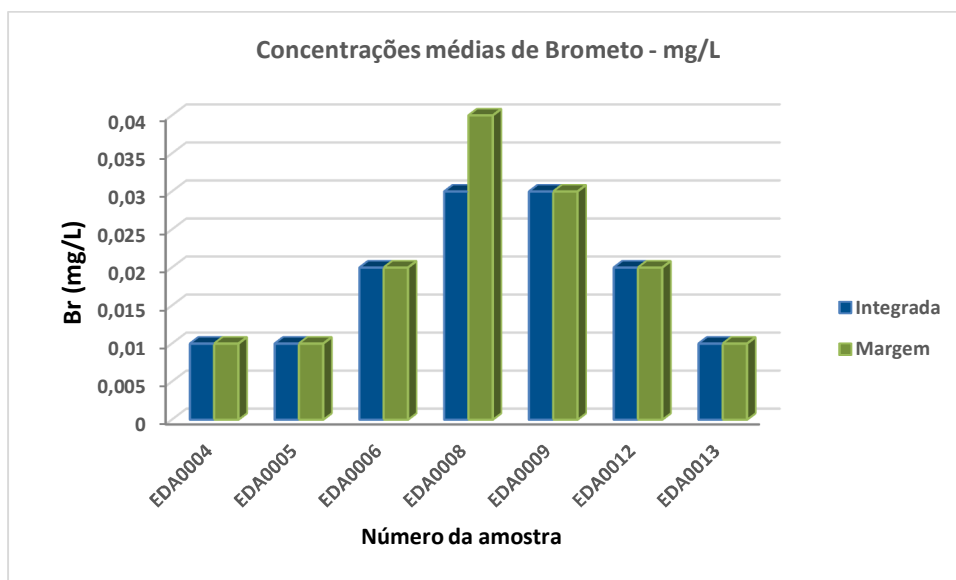


Figura 26 - Concentrações de Brometo nas amostras integrada e na coletada na margem

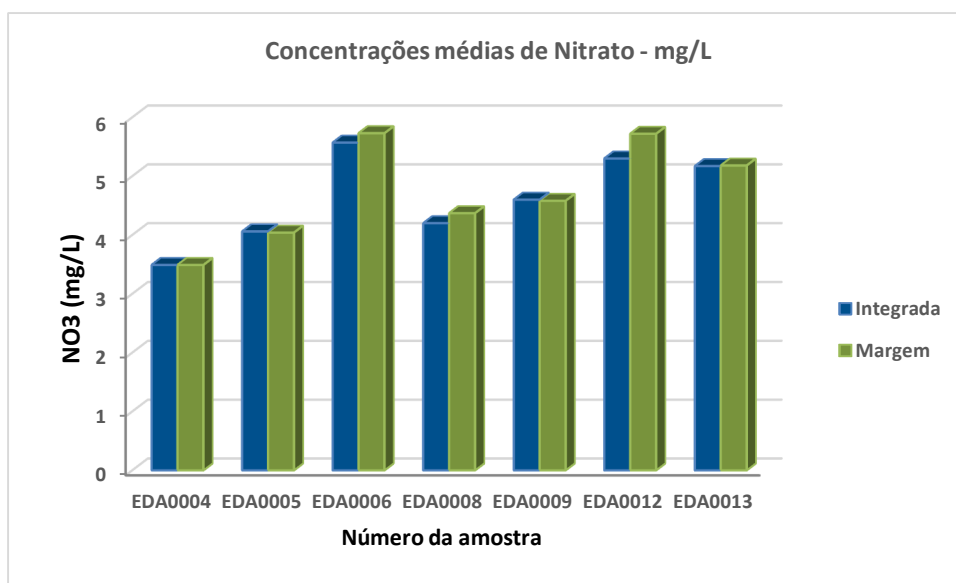


Figura 27 - Concentrações de Nitrato nas amostras integrada e na coletada na margem

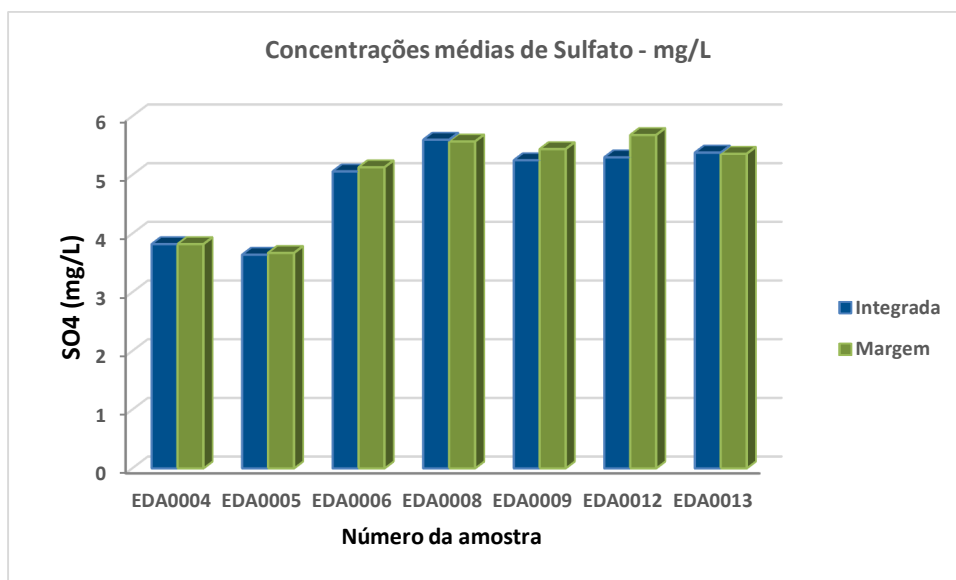


Figura 28 - Concentrações de Sulfato nas amostras integrada e na coletada na margem

Tabela 11 - Concentração de Ânions nas amostras coletadas nas estações fluviométricas.

Nome	Local	Data	Fluoreto	Cloreto	Nitrito	Brometo	Nitrato	Fosfato	Sulfato
			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Faz Cachoeira Dantas - EDA0004	ME	28/11/2015	0,05	2,47	0,01	0,02	4,19	<0,05	5,01
	Integrada		0,05	2,49	0,02	0,02	4,24	<0,05	5,00
	ME	10/12/2015	0,04	1,81	0,09	0,01	2,79	<0,05	2,63
	Integrada		0,04	1,80	0,08	0,01	2,75	<0,05	2,64
Cachoeira dos Óculos EDA0005	MD	29/11/2015	0,06	2,74	0,01	0,02	4,24	<0,05	4,44
	Integrada		0,05	2,72	0,01	0,02	4,29	<0,05	4,39
	MD	10/12/2015	0,05	2,04	0,12	0,01	3,71	<0,05	2,91
	Integrada		0,05	2,02	0,13	0,01	3,84	<0,05	2,89
Belo Oriente EDA0006	ME	30/11/2015	0,11	4,20	0,02	0,02	6,66	<0,05	6,07
	Integrada		0,11	3,98	0,01	0,02	6,61	<0,05	6,04
	ME	09/12/2015	0,06	2,56	0,05	0,02	4,81	<0,05	4,20
	Integrada		0,06	2,45	0,05	0,02	4,54	<0,05	4,09
Governador Valadares - EDA0008	ME	01/12/2015	0,09	4,81	0,01	0,05	5,46	<0,05	7,18
	Integrada		0,09	4,62	0,02	0,05	5,01	<0,05	7,17
	ME	14/12/2015	0,06	3,18	0,05	0,03	3,28	< 0,05	3,97
	Integrada		0,07	3,02	0,03	0,01	3,40	< 0,05	4,03
Tumiritinga - EDA0009	ME	02/12/2015	0,09	5,00	0,01	0,04	5,44	<0,05	7,27
	Integrada		0,09	5,02	0,02	0,04	5,43	<0,05	7,00
	ME	14/12/2015	0,08	3,44	0,05	0,03	3,73	< 0,05	3,61
	Integrada		0,07	3,12	0,03	0,03	3,78	< 0,05	3,51

Tabela 11 - Concentração de Ânions nas amostras coletadas nas estações fluviométricas (continuação).

Nome	Local	Data	Fluoreto	Cloreto	Nitrito	Brometo	Nitrato	Fosfato	Sulfato
			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Colatina - EDA0012	MD	07/12/2015	0,10	6,09	0,01	0,02	6,83	<0,05	6,52
	Integrada		0,10	5,79	0,01	0,02	5,82	<0,05	6,17
	MD	15/12/2015	0,08	5,62	0,02	0,03	4,62	< 0,05	4,85
	Integrada		0,08	4,96	0,01	0,03	4,79	< 0,05	4,44
Linhares - EDA0013	ME	08/12/2015	0,10	5,67	0,02	0,02	5,70	<0,05	6,18
	Integrada		0,10	5,67	0,01	0,02	5,74	<0,05	6,10
	ME	16/12/2015	0,08	4,64	0,01	0,03	4,66	< 0,05	4,54
	Integrada		0,08	4,80	0,01	0,03	4,60	< 0,05	4,66
CONAMA 357/2005			1,4	250	1,0*	-	10,0*	-	250

*Nota-se que os valores máximos definidos pela Resolução CONAMA 357/2005 são em mg/L de N e os resultados obtidos neste estudo são em mg/L NO₂ para Nitrito e NO₃ para Nitrato, sendo que o valor de 1 mg/L de N corresponde a 3 mg/L de NO₂ e o valor de 10 mg/L de N corresponde a 30 mg/L de NO₃.

4.4.3.2 Cátions dissolvidos na água

A Tabela 12 apresenta as concentrações dos cátions dissolvidos na água e a comparação com os limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005. Nas Figuras 29 a 31 estão disponibilizados gráficos (histogramas) mostrando as distribuições dos elementos Al, Ba e Fe, que foram detectados em maiores concentrações nas amostras de água nas 7 (sete) estações de amostragem.

Analisando os dados analíticos obtidos nas amostras de água para cátions, verifica-se que os teores dos elementos As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V e Zn ficaram abaixo do limite de quantificação do método analítico.

De um modo geral, os teores dos elementos químicos detectados nas amostras integradas e nas coletadas nas margens não mostraram diferenças significativas, com exceção para o Al e o Fe (Figuras 29 e 31), que em Belo Oriente, as amostras integradas apresentaram teores bem mais elevados do que as coletadas nas margens e em Governador Valadares, ao contrário, com as amostras integradas apresentando teores muito menores do que as coletadas nas margens do rio Doce. Em todas as amostras, os elementos Al e Fe foram detectados acima dos valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas Classe II (0,1 mg/L para Al e 0,3 mg/L para Fe).

Para o elemento Ba (Figura 30) não foi detectado diferenças significativas entre os teores da amostra integrada e a coletada na margem. Todos os resultados estão abaixo do valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/2005, para Águas Doces de Classe II (0,7 mg/L).

Em todas as amostras integradas, o Mn ocorreu em teores abaixo do limite de quantificação do método analítico, como também, a maioria das amostras coletadas nas margens, com exceção das amostras coletadas em Belo Oriente (margem esquerda – 0,011 mg/L) e em Colatina (margem direita – 0,013 mg/L). Porém estes resultados estão abaixo do valor máximo definido pelo CONAMA para água Classe II (0,1 mg/L).

Assim como nas campanhas anteriores, não foram detectados teores de metais, considerados tóxicos, dissolvidos nas amostras de água coletadas.

Comparando os resultados analíticos obtidos na Terceira Campanha de Campo (Relatório III) com os do presente estudo, constata-se que: nesta campanha os teores de Alumínio (Al) e Ferro (Fe) estão acima dos valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357/2005, enquanto na campanha anterior somente em 3 estações de amostragem (Barra Longa, Rio Doce e Colatina) os teores de Al foram superiores aos do CONAMA, e somente na estação Rio Doce o teor de Fe detectado foi acima do valor da legislação.

Tabela 12 . Concentração de Cátions nas amostras coletadas nas estações fluviométricas

Nome	Local	Data	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Na (mg/L)	Si (mg/L)	Sr (mg/L)	Ti (mg/L)
Faz Cachoeira Dantas – EDA0004	Integrada	28/11/2015	0,371	0,039	3,698	0,885	2,542	1,197	< 0.01	5,318	5,574	0,029	0,01
	Margem		0,251	0,037	3,807	0,782	2,561	1,224	< 0.01	5,287	5,412	0,028	0,007
	Integrada	10/12/2015	0,288	0,031	2,493	0,526	2,465	0,836	< 0.01	2,764	4,485	0,02	0,01
	Margem		0,284	0,033	2,55	0,481	2,491	0,882	< 0.01	2,711	4,596	0,021	0,01
Cachoeira dos Óculos EDA0005	Integrada	29/11/2015	0,363	0,036	3,578	0,977	2,755	1,229	< 0.01	4,9	5,348	0,027	0,011
	Margem		0,434	0,035	3,53	1,057	2,795	1,238	< 0.01	4,923	5,447	0,028	0,012
	Integrada	10/12/2015	0,271	0,039	2,738	0,464	2,787	0,932	< 0.01	2,975	4,631	0,023	0,008
	Margem		0,285	0,039	2,728	0,515	2,781	0,918	< 0.01	2,952	4,679	0,023	0,009
Belo Oriente EDA0006	Integrada	30/11/2015	0,684	0,039	4,84	1,789	2,77	1,433	< 0.01	5,516	5,841	0,033	0,024
	Margem		0,072	0,038	4,989	0,195	2,9	1,466	< 0.01	5,486	5,269	0,034	< 0.005
	Integrada	09/12/2015	0,248	0,04	3,928	0,532	2,817	1,197	< 0.01	3,934	5,287	0,029	0,007
	Margem		0,239	0,036	3,633	0,518	2,52	1,088	0,011	3,63	4,746	0,026	0,007
Governador Valadares – EDA0008	Integrada	01/12/2015	0,262	0,034	4,348	0,687	3,003	1,333	< 0.01	7,547	5,241	0,03	0,007
	Margem		0,426	0,035	4,392	0,929	3,047	1,359	< 0.01	7,72	5,387	0,032	0,012
	Integrada	14/12/2015	0,079	0,029	3,194	0,138	2,946	1,095	< 0.01	4,339	4,799	0,024	< 0.005
	Margem		0,4	0,029	3,228	0,601	2,938	1,12	< 0.01	4,475	5,053	0,024	0,012

Tabela 12 . Concentração de Cátions nas amostras coletadas nas estações fluviométricas (continuação).

Nome	Local	Data	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Na (mg/L)	Si (mg/L)	Sr (mg/L)	Ti (mg/L)
Tumiritinga – EDA0009	Integrada	02/12/2015	0,438	0,036	4,632	0,92	3,38	1,443	< 0,01	7,878	5,506	0,034	0,012
	Margem		0,421	0,038	4,816	0,905	3,275	1,497	< 0,01	8,052	5,597	0,036	0,011
	Integrada	14/12/2015	0,087	0,028	3,184	0,145	3,198	1,127	< 0,01	3,936	4,832	0,024	< 0,005
	Margem		0,132	0,037	3,784	0,211	3,439	1,478	< 0,01	4,772	5,285	0,03	< 0,005
Colatina – EDA0012	Margem	07/12/2015	0,263	0,042	4,41	0,295	3,728	1,525	< 0,01	8,499	5,542	0,033	0,007
	Integrada		0,17	0,038	4,368	0,207	3,694	1,517	< 0,01	8,028	5,474	0,033	< 0,005
	Integrada	15/12/2015	0,285	0,035	3,744	0,321	3,702	1,402	< 0,01	5,233	5,222	0,029	0,007
	Margem		0,283	0,04	4,07	0,403	3,929	1,56	0,013	6,42	5,373	0,03	0,009
Linhares – EDA0013	Integrada	08/12/2015	0,33	0,035	4,387	0,421	3,668	1,48	< 0,01	7,815	5,604	0,033	0,009
	Margem		0,334	0,036	4,588	0,554	3,809	1,547	< 0,01	7,872	5,68	0,035	0,011
	Integrada	16/12/2015	0,419	0,036	3,93	0,512	3,944	1,491	< 0,01	5,67	5,43	0,029	0,011
	Margem		0,433	0,033	3,834	0,563	3,843	1,447	< 0,01	5,516	5,447	0,029	0,012
CONAMA 357/2005 – Classe 2			0,1	0,7		0,3			0,1				
CONAMA 357/2005 – Classe 3			0,2	1		5			0,5				

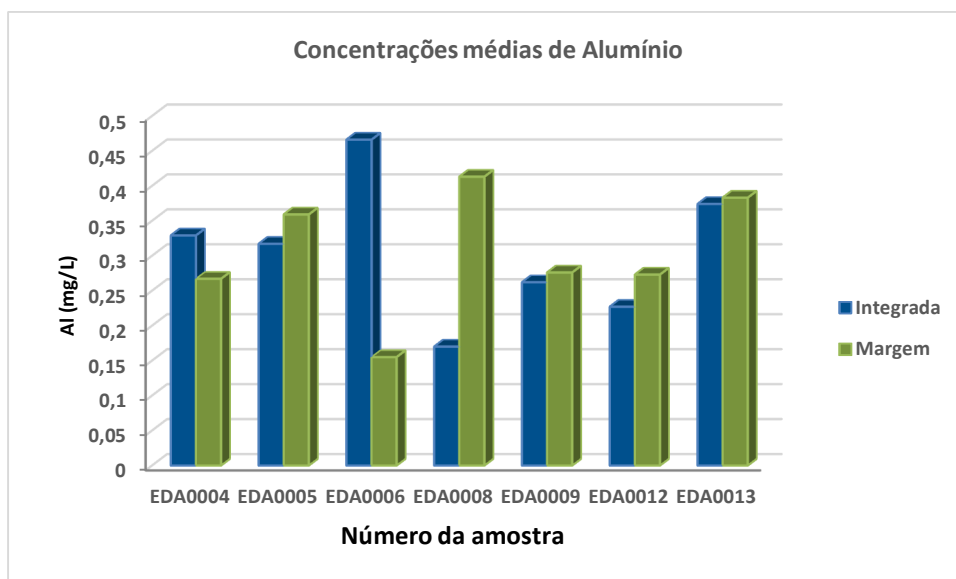


Figura 29 – Concentrações de Alumínio nas amostras integrada e na coletada na margem

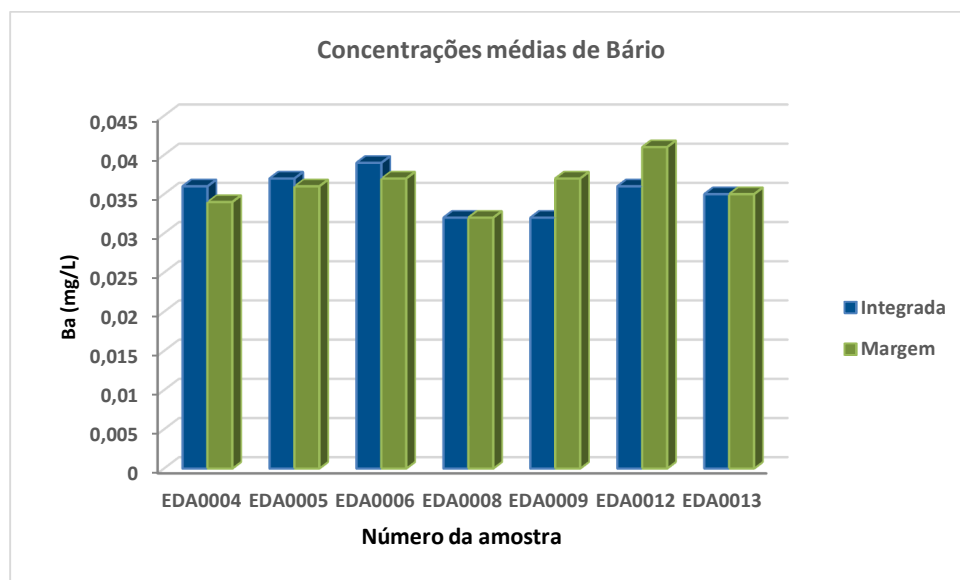


Figura 30 – Concentrações de Bário nas amostras integrada e na coletada na margem

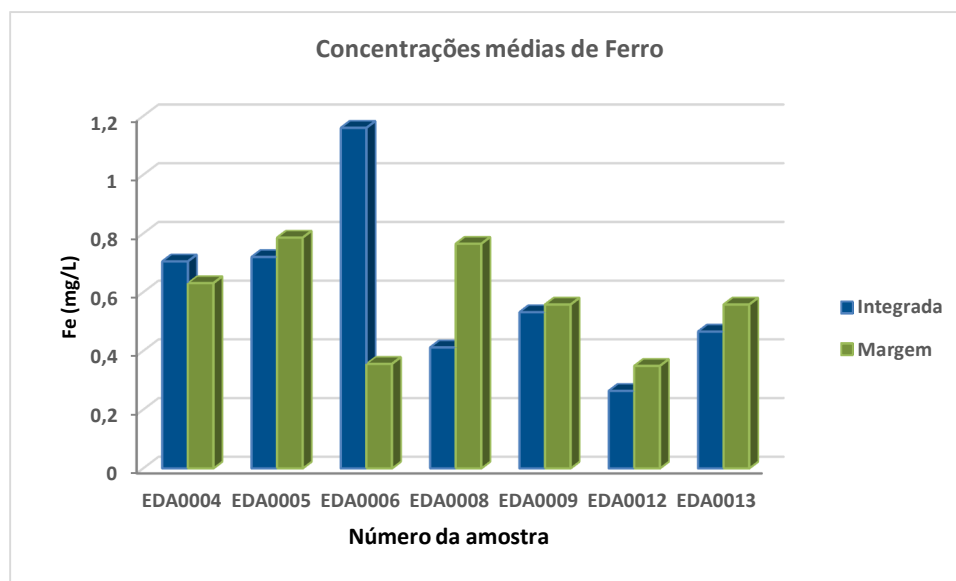


Figura 31 – Concentrações de Ferro nas amostras integrada e na coletada na margem

4.4.4 Composição química dos sedimentos

4.4.4.1 Sedimentos de fundo

As Tabelas 13 e 16 apresentam os resultados analíticos obtidos nas amostras de sedimentos de fundo com abertura parcial e total. Para avaliar a qualidade do sedimento de fundo foram utilizados os valores orientativos definidos na Resolução CONAMA 454/2012.

Tabela 13 – Composição química dos sedimentos de fundo – Abertura Parcial

Resultado analítico médio da composição química dos sedimentos de fundo de rio - Abertura Parcial							
Elemento	EDS004	EDS005	EDS006	EDS008	EDS009	EDS012	EDS013
Ag(ppm)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Al(%)	0,40	0,39	0,40	1,77	0,54	0,27	0,24
As(ppm)	27,00	21,00	13,00	12,00	6,00	3,50	3,50
Au(ppm)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
B(ppm)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ba(ppm)	49,00	52,00	30,00	78,00	44,00	25,50	22,00
Be(ppm)	0,10	0,15	0,15	0,60	0,20	0,10	0,10
Bi(ppm)	0,14	0,16	0,13	0,20	0,11	0,08	0,06
Ca(%)	0,04	0,03	0,04	0,08	0,01	0,03	0,02
Cd(ppm)	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	<0,01	<0,01
Ce(ppm)	12,3	10,60	13,40	56,95	29,74	36,90	11,20
Co(ppm)	4,80	5,20	3,10	7,40	3,50	2,20	1,90
Cr(ppm)	26,50	25,00	23,0	44,00	29,00	11,50	10,50
Cs(ppm)	0,10	0,10	0,30	0,40	0,10	0,10	0,10
Cu(ppm)	7,00	6,50	5,20	25,80	6,10	3,80	3,00
Fe(%)	4,40	2,80	2,40	8,60	3,32	1,56	1,30
Ga(ppm)	1,40	1,30	1,50	5,40	2,00	1,20	1,10

Tabela 13 – Composição química dos sedimentos de fundo – Abertura Parcial (continuação).

Resultado analítico médio da composição química dos sedimentos de fundo de rio - Abertura Parcial							
Elemento	EDS004	EDS005	EDS006	EDS008	EDS009	EDS012	EDS013
Ge(ppm)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10
Hf(ppm)	0,06	0,07	0,06	0,06	0,23	0,05	<0,05
Hg(ppm)	0,03	<0,01	0,02	0,11	0,02	<0,01	<0,01
In(ppm)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
K(%)	0,04	0,05	0,05	0,09	0,10	0,06	0,04
La(ppm)	5,40	3,80	5,50	22,60	13,40	15,10	4,30
Li(ppm)	3,50	3,50	3,50	5,00	3,50	3,00	3,00
Lu(ppm)	0,03	0,03	0,02	0,14	0,07	0,03	0,02
Mg(%)	0,04	0,04	0,02	0,07	0,06	0,02	0,02
Mn(ppm)	548	757	263	1.226	418	165	162
Mo(ppm)	0,40	0,30	0,50	0,70	0,60	0,60	0,40
Na(%)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01
Nb(ppm)	0,20	0,10	7,60	2,40	2,50	0,80	0,50
Ni(ppm)	7,90	8,10	7,60	15,60	7,60	3,50	3,10
P(ppm)	104	117	44	340	102	83	35
Pb(ppm)	3,90	5,00	6,80	13,80	6,40	3,00	3,00
Rb(ppm)	3,10	2,80	4,30	6,20	4,10	3,50	2,40
Re(ppm)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
S(%)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,02	0,03
Sb(ppm)	0,40	0,30	0,20	0,50	0,20	0,10	0,10
Sc(ppm)	1,40	1,30	1,10	4,70	2,10	0,80	0,70
Se(ppm)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sn(ppm)	0,70	2,00	2,80	3,90	1,60	0,40	0,40
Sr(ppm)	2,40	2,50	2,80	6,60	5,70	2,60	2,60
Ta(ppm)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tb(ppm)	0,09	0,07	0,12	0,42	0,23	0,20	0,08
Te(ppm)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Th(ppm)	3,90	4,00	5,00	20,70	11,90	9,70	3,10
Ti(%)	0,05	0,03	0,03	0,10	0,20	0,05	0,03
Tl(ppm)	0,05	0,06	0,06	0,11	0,06	0,05	0,04
U(ppm)	0,60	0,60	0,90	2,50	1,40	0,80	0,40
V(ppm)	15,50	13,00	10,00	44,00	21,00	9,00	7,00
W(ppm)	0,20	0,20	0,20	0,30	0,20	0,10	0,10
Y(ppm)	2,10	1,60	2,80	9,50	5,00	3,00	1,70
Yb(ppm)	0,20	0,20	0,20	0,90	0,50	0,20	0,10
Zn(ppm)	12,00	10,00	16,50	40,00	16,00	8,50	5,50
Zr(ppm)	3,80	2,40	2,60	6,50	9,10	2,30	1,80

Tabela 14 – Composição química dos sedimentos de fundo – Abertura Total

Resultado analítico médio da composição química dos sedimentos de fundo de rio - Abertura Total							
Elemento	EDS004	EDS005	EDS006	EDS008	EDS009	EDS012	EDS013
Ag(ppm)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Al(%)	1,28	1,35	1,43	3,68	1,54	1,46	1,11
As(ppm)	29,50	24,50	15,50	14,00	4,00	3,50	3,00
Ba(ppm)	201	199	252	236	195	239	233
Be(ppm)	0,30	0,30	0,30	0,70	0,50	0,40	0,30
Bi(ppm)	0,50	0,11	0,07	0,15	0,08	<0,04	<0,04
Ca(%)	0,23	0,20	0,14	0,15	0,26	0,19	0,15
Cd(ppm)	0,04	0,02	0,03	0,04	0,03	<0,02	<0,02
Ce(ppm)	19,00	16,50	21,60	89,80	42,10	52,20	14,10
Co(ppm)	6,80	7,20	4,50	10,50	5,50	3,10	2,70
Cr(ppm)	19,00	14,50	14,50	40,00	20,00	8,00	6,50
Cs(ppm)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cu(ppm)	10,30	8,60	6,60	35,60	8,40	5,30	4,40
Fe(%)	4,70	3,00	2,70	8,90	3,90	1,70	1,50
Ga(ppm)	3,40	3,40	4,50	11,00	4,90	3,60	3,40
Ge(ppm)	0,40	0,40	0,20	0,50	0,30	<0,1	<0,1
Hf(ppm)	1,30	0,80	1,40	3,60	4,50	1,80	1,40
In(ppm)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
K(%)	0,40	0,40	0,80	0,70	0,70	0,70	0,70
La(ppm)	8,40	7,20	10,40	41,50	20,00	24,10	6,20
Li(ppm)	3,00	3,00	3,50	7,00	4,00	4,00	3,50
Lu(ppm)	0,06	0,05	0,10	0,22	0,20	0,08	0,05
Mg(%)	0,11	0,10	0,06	0,11	0,13	0,06	0,05
Mn(%)	0,05	0,07	0,02	0,11	0,05	0,02	0,01
Mo(ppm)	0,60	0,50	0,50	0,90	0,40	0,30	0,30
Na(%)	0,15	0,15	0,18	0,11	0,18	0,22	0,19
Nb(ppm)	2,10	1,95	3,25	7,60	3,60	2,95	2,80
Ni(ppm)	7,90	8,10	7,60	15,60	7,60	3,50	3,10
P(ppm)	107,50	98,00	133,00	330,00	110,00	78,00	52,50
Pb(ppm)	7,30	6,70	10,00	16,70	11,40	9,00	7,90
Rb(ppm)	13,90	14,05	28,20	27,00	25,10	24,25	22,00
S(%)	0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01
Sb(ppm)	0,25	0,18	0,13	0,31	<0,05	<0,05	<0,05
Sc(ppm)	3,10	2,50	2,30	7,70	4,20	2,30	1,60
Se(ppm)	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Sn(ppm)	1,20	0,80	1,10	2,80	1,90	1,30	0,85
Sr(ppm)	41,05	43,30	37,80	35,60	44,70	55,25	42,10
Ta(ppm)	0,10	0,08	0,13	0,38	0,18	0,10	0,11
Tb(ppm)	0,14	0,11	0,18	0,61	0,35	0,31	0,10
Te(ppm)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Tabela 14 – Composição química dos sedimentos de fundo – Abertura Total (continuação).

Resultado analítico médio da composição química dos sedimentos de fundo de rio - Abertura Total							
Elemento	EDS004	EDS005	EDS006	EDS008	EDS009	EDS012	EDS013
Th(ppm)	4,00	3,15	4,65	20,10	10,30	9,80	2,80
Ti(%)	0,19	0,12	0,12	0,47	0,41	0,19	0,11
Tl(ppm)	0,19	0,09	0,18	0,20	0,13	0,13	0,13
U(ppm)	0,90	0,75	1,05	3,10	2,10	1,30	0,90
V(ppm)	21,00	17,00	13,00	49,00	26,00	13,50	10,50
W(ppm)	0,25	0,30	0,20	0,20	0,10	<0,10	<0,10
Y(ppm)	3,80	2,95	5,25	15,60	11,00	5,50	3,15
Yb(ppm)	0,40	0,30	0,60	1,50	1,30	0,55	0,35
Zn(ppm)	19,00	16,00	18,50	49,00	29,00	14,50	13,00
Zr(ppm)	48,05	29,30	43,10	122,90	142,60	60,50	45,6

Analisando estas tabelas observa-se que todos os resultados analíticos obtidos para os elementos Ag, Au, B, Be, Cd, Hf, Hg, In, Na, Re, S, Se, Ta e Te estão abaixo ou muito próximos aos seus respectivos limites de quantificação do método analítico com abertura parcial, enquanto na análise com abertura total, somente os elementos Ag, Cs, In, S, Se e Te apresentaram resultados abaixo dos seus limites de quantificação do método analítico.

Verifica-se ainda que a maioria dos elementos analisados apresentaram teores mais elevados com abertura total do que com abertura parcial, com exceção do Cr, Cs e Mn, com valores mais elevados nas amostras analisadas com abertura parcial. Observa-se ainda que para os elementos As, Be, Bi, Fe, Ge, Li, Th e W não houveram diferenças significativas entre os dois resultados analíticos.

4.4.4.2 Sedimentos em suspensão

Nas Tabelas 15 e 16, os resultados analíticos das amostras de sedimentos em suspensão, também com abertura parcial e total. Não existe legislação que determine valores orientativos para elementos químicos em sedimentos em suspensão.

Nestas tabelas nota-se que todos os resultados analíticos dos elementos Ag, Au, B, Na, Re, S, Se, Ta e Te estão abaixo ou muito próximos aos seus limites de quantificação do método analítico com abertura parcial e que somente os elementos Ag, Cs e Se estão abaixo dos seus respectivos limites de quantificação na análise com abertura total.

Entretanto, verifica-se que a maioria dos elementos químicos analisados com abertura total mostraram teores mais elevados do que com abertura parcial, enquanto os teores de Cs e Mn foram mais elevados com abertura parcial.

Nas Figuras 32 a 40 estão disponibilizados gráficos (histogramas) com a distribuição dos elementos Al, As, Ba, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn comparando os resultados obtidos nas amostras de sedimentos de fundo e sedimentos em suspensão, nas duas aberturas (parcial e total).

Tabela 15 – Composição química dos sedimentos em suspensão – Abertura Parcial

Resultado analítico médio da composição química dos sedimentos em suspensão - Abertura Parcial							
Elemento	EDS004	EDS005	EDS006	EDS008	EDS009	EDS012	EDS013
Ag(ppm)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Al(%)	1,36	1,24	1,29	2,56	2,56	2,90	4,12
As(ppm)	23,50	22,70	22,00	30,70	29,50	27,20	25,70
Au(ppm)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
B(ppm)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ba(ppm)	82,00	83,20	78,50	126,00	111,00	135,20	144,5
Be(ppm)	0,80	1,00	1,10	1,00	1,20	1,70	1,60
Bi(ppm)	0,25	0,24	0,35	0,39	0,32	0,43	0,42
Ca(%)	0,07	0,07	0,09	0,17	0,14	0,13	0,16
Cd(ppm)	0,05	0,04	0,05	0,11	0,09	0,10	0,16
Ce(ppm)	34,80	35,90	33,70	66,60	65,50	61,20	62,20
Co(ppm)	9,15	9,75	8,70	11,77	11,92	11,92	11,80
Cr(ppm)	41,20	42,00	46,50	59,20	60,20	66,20	65,50
Cs(ppm)	0,46	0,48	0,63	0,62	0,80	1,83	1,80
Cu(ppm)	26,60	27,40	31,60	52,00	45,20	43,50	58,30
Fe(%)	>15	>15	>15	>15	>15	>15	>15
Ga(ppm)	7,50	6,90	6,90	13,15	13,10	13,00	15,60
Ge(ppm)	0,40	0,30	0,40	0,35	0,30	0,30	0,35
Hf(ppm)	0,05	0,06	<0,05	0,11	0,07	0,05	0,06
Hg(ppm)	0,23	0,21	0,24	0,31	0,27	0,23	0,25
In(ppm)	0,04	0,04	0,04	0,07	0,06	0,07	0,07
K(%)	0,06	0,06	0,07	0,05	0,09	0,17	0,17
La(ppm)	8,90	10,05	9,70	18,00	17,40	17,30	17,80
Li(ppm)	5,00	5,00	5,00	6,00	6,00	9,00	9,00
Lu(ppm)	0,16	0,15	0,17	0,25	0,25	0,26	0,26
Mg(%)	0,07	0,07	0,08	0,10	0,11	0,17	0,20
Mn(ppm)	1.352	1.348	1.338	1.646	1.742	1.220	1.414
Mo(ppm)	1,12	1,05	1,22	1,52	1,50	1,40	1,35
Na(%)	<0,01	0,01	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04
Nb(ppm)	0,81	0,84	0,97	1,77	1,45	1,79	1,82
Ni(ppm)	4,70	5,70	6,10	8,30	8,30	11,00	12,20
P(ppm)	800	730	728	1.070	1.021	1.071	999
Pb(ppm)	17,90	17,40	18,20	38,50	31,7	33,5	40,40
Rb(ppm)	6,85	8,20	8,20	8,35	10,80	22,20	23,40
Re(ppm)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
S(%)	<0,01	<0,01	0,01	0,05	0,02	0,03	0,03
Sb(ppm)	1,16	1,11	1,35	1,77	1,40	1,20	1,16
Sc(ppm)	7,70	7,65	7,47	10,87	10,90	12,90	12,35
Se(ppm)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sn(ppm)	1,20	1,10	1,40	1,80	1,85	2,60	2,60

Tabela 15 – Composição química dos sedimentos em suspensão – Abertura Parcial (continuação).

Resultado analítico médio da composição química dos sedimentos em suspensão - Abertura Parcial							
Elemento	EDS004	EDS005	EDS006	EDS008	EDS009	EDS012	EDS013
Sr(ppm)	6,77	6,17	7,15	16,25	12,60	13,17	15,12
Ta(ppm)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tb(ppm)	0,29	0,33	0,31	0,47	0,49	0,49	0,53
Te(ppm)	0,09	0,08	0,09	0,13	0,09	0,10	0,10
Th(ppm)	9,92	9,75	10,00	14,17	13,90	17,02	17,40
Ti(%)	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,08	0,08
Tl(ppm)	0,13	0,12	0,12	0,16	0,16	0,24	0,23
U(ppm)	2,10	2,07	2,15	2,73	2,74	2,91	2,80
V(ppm)	54,75	53,50	53,00	77,00	79,25	92,50	91,25
W(ppm)	0,60	0,55	0,60	0,70	0,65	0,60	0,50
Y(ppm)	10,20	10,35	10,52	14,19	16,38	16,90	17,09
Yb(ppm)	1,00	1,10	1,10	1,50	1,60	1,70	1,70
Zn(ppm)	36,00	37,00	47,00	62,00	58,00	60,00	63,50
Zr(ppm)	13,60	12,25	12,20	14,75	14,00	10,95	11,50

Tabela 16 – Composição química dos sedimentos em suspensão – Abertura Total

Resultado analítico médio da composição química dos sedimentos em suspensão - Abertura Total							
Elemento	EDS004	EDS005	EDS006	EDS008	EDS009	EDS012	EDS0013
Ag(ppm)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Al(%)	5,22	4,80	4,79	5,38	5,93	6,57	7,16
As(ppm)	26,50	24,00	25,20	31,20	32,70	29,50	28,60
Ba(ppm)	206	216	227	238	229	242	254
Be(ppm)	1,70	1,50	1,50	1,80	1,95	2,00	2,10
Bi(ppm)	0,28	0,28	0,29	0,38	0,37	0,48	0,46
Ca(%)	0,11	0,10	0,11	0,15	0,13	0,13	0,14
Cd(ppm)	0,07	0,06	0,07	0,10	0,11	0,12	0,18
Ce(ppm)	60,38	56,30	55,00	72,60	73,60	84,50	83,20
Co(ppm)	11,80	12,10	12,40	14,00	14,70	15,00	15,50
Cr(ppm)	49,50	51,20	55,70	70,20	68,20	79,00	73,30
Cs(ppm)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cu(ppm)	37,35	34,65	38,60	57,90	53,90	53,50	65,60
Fe(%)	>15	>15	>15	>15	>15	>15	>15
Ga(ppm)	15,70	15,00	15,50	23,40	22,80	28,20	29,80
Ge(ppm)	1,50	0,70	0,70	0,75	1,15	0,80	0,80
Hf(ppm)	1,40	1,32	1,38	1,50	1,50	1,40	1,45
In(ppm)	0,06	0,05	0,06	0,08	0,08	0,09	0,10
K(%)	0,48	0,46	0,43	0,47	0,48	0,43	0,45
La(ppm)	27,40	25,17	23,70	31,30	31,60	36,80	35,30
Li(ppm)	7,35	8,00	8,00	8,50	10,00	15,00	16,00

Tabela 16 – Composição química dos sedimentos em suspensão – Abertura Total (continuação)

Resultado analítico médio da composição química dos sedimentos em suspensão - Abertura Total							
Elemento	EDS004	EDS005	EDS006	EDS008	EDS009	EDS012	EDS0013
Lu(ppm)	0,21	0,19	0,20	0,25	0,26	0,30	0,28
Mg(%)	0,14	0,15	0,13	0,11	0,14	0,17	0,20
Mn(%)	0,13	0,12	0,13	0,14	0,15	0,11	0,12
Mo(ppm)	1,31	1,20	1,47	1,70	1,82	1,70	1,70
Na(%)	0,10	0,07	0,08	0,10	0,12	0,08	0,09
Nb(ppm)	7,70	7,00	7,50	10,90	10,50	14,07	14,40
Ni(ppm)	24,60	27,30	27,90	33,10	32,90	37,70	38,40
P(ppm)	738	670	739	1.011	960	1.012	920
Pb(ppm)	25,90	23,60	24,20	46,5	41,40	42,90	47,00
Rb(ppm)	26,50	26,40	24,40	22,00	24,50	38,60	40,30
S(%)	0,02	0,01	0,01	0,05	0,02	0,03	0,03
Sb(ppm)	1,30	1,15	1,35	1,56	1,55	1,29	1,22
Sc(ppm)	11,40	10,50	9,70	10,00	11,20	16,60	16,30
Se(ppm)	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Sn(ppm)	2,20	2,00	2,20	3,00	3,00	3,70	3,90
Sr(ppm)	34,80	29,00	28,70	38,17	36,10	37,70	36,60
Ta(ppm)	0,80	0,60	0,65	0,70	0,96	1,66	1,30
Tb(ppm)	0,53	0,50	0,48	0,64	0,67	0,80	0,75
Te(ppm)	0,20	0,15	0,13	0,19	0,18	0,16	0,10
Th(ppm)	9,20	8,35	8,45	10,30	11,25	14,30	13,80
Ti(%)	0,20	0,21	0,22	0,25	0,27	0,36	0,38
Tl(ppm)	0,23	0,22	0,21	0,25	0,26	0,35	0,39
U(ppm)	2,60	2,40	2,70	3,40	3,50	3,60	3,60
V(ppm)	65,50	65,50	66,00	85,25	87,70	102,00	102,70
W(ppm)	1,50	1,50	1,40	1,60	1,65	1,90	1,80
Y(ppm)	12,00	13,45	13,30	15,70	16,90	19,15	18,90
Yb(ppm)	1,35	1,40	1,30	1,60	1,70	2,00	1,90
Zn(ppm)	45,20	46,20	57,7	69,70	66,50	70,70	74,30
Zr(ppm)	56,40	54,20	54,80	59,50	59,80	55,00	54,30

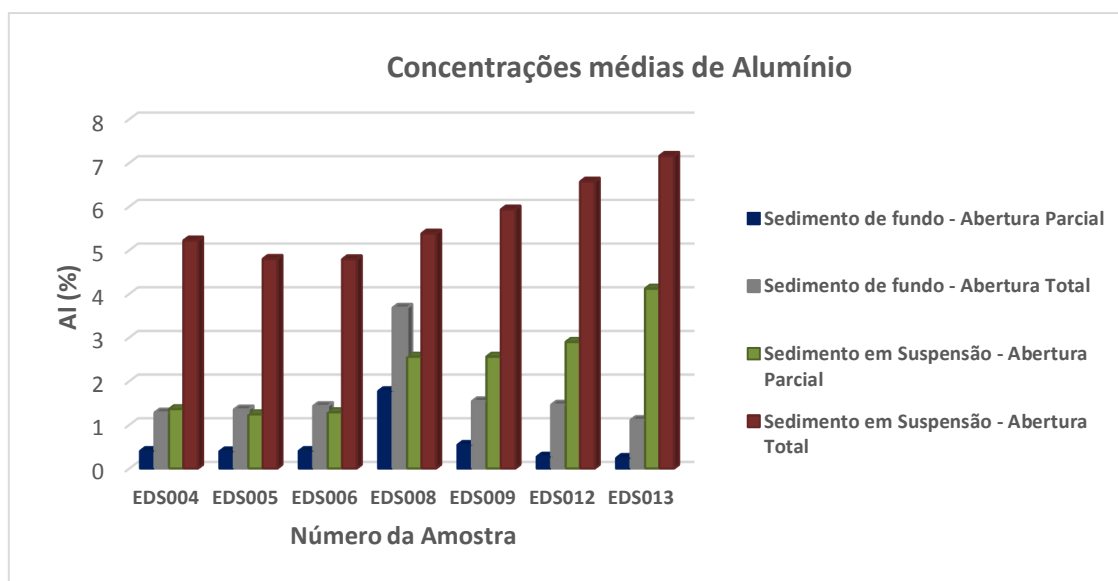


Figura 32 – Concentrações médias de Alumínio (%) nas amostras de sedimentos de fundo e em suspensão, nas aberturas parcial e total.

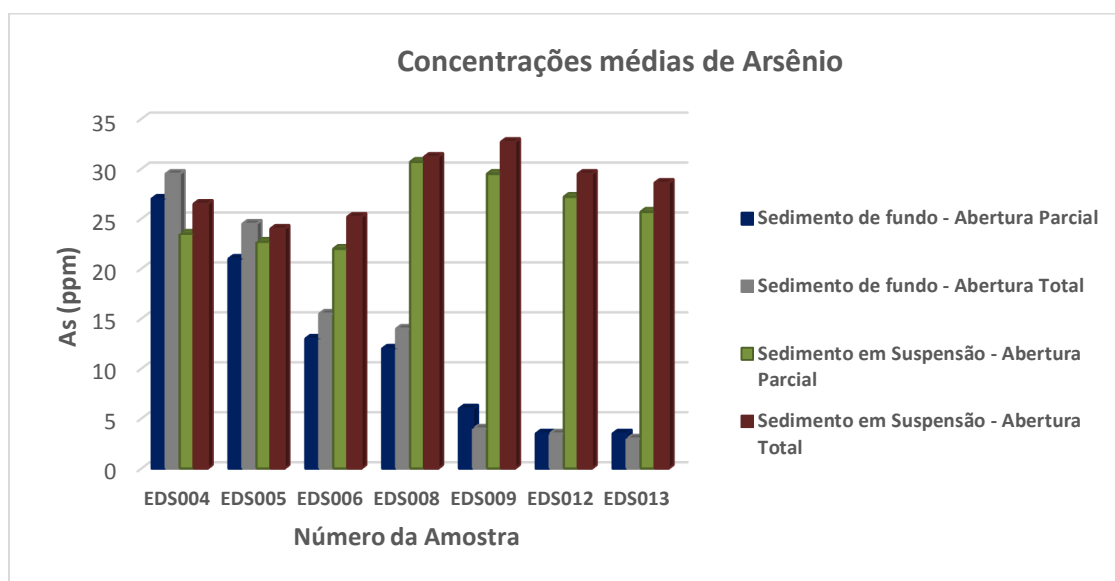


Figura 33 – Concentrações de Arsênio (ppm) nas amostras de sedimentos de fundo e em suspensão, nas aberturas parcial e total.

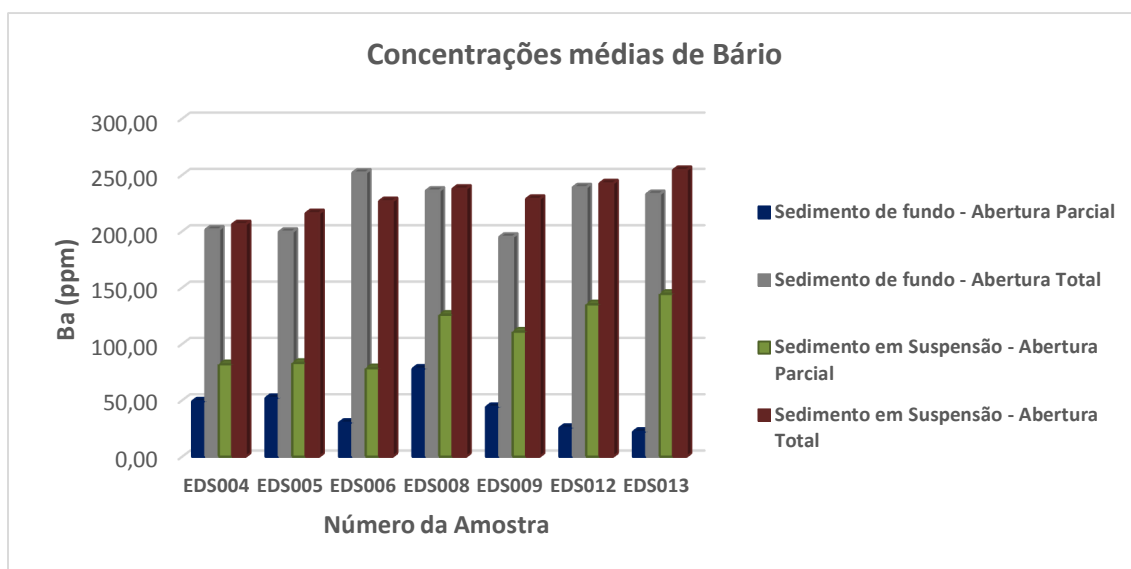


Figura 34 – Concentrações de Bário (ppm) nas amostras de sedimentos de fundo e em suspensão, nas aberturas parcial e total.

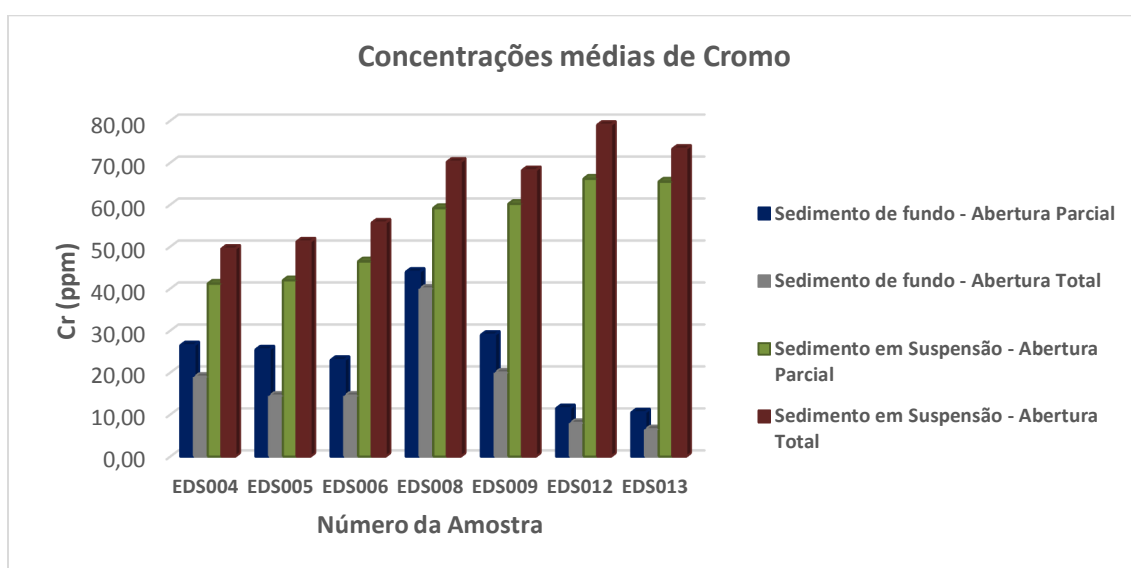


Figura 35 – Concentrações de Cromo (ppm) nas amostras de sedimentos de fundo e em suspensão, nas aberturas parcial e total.

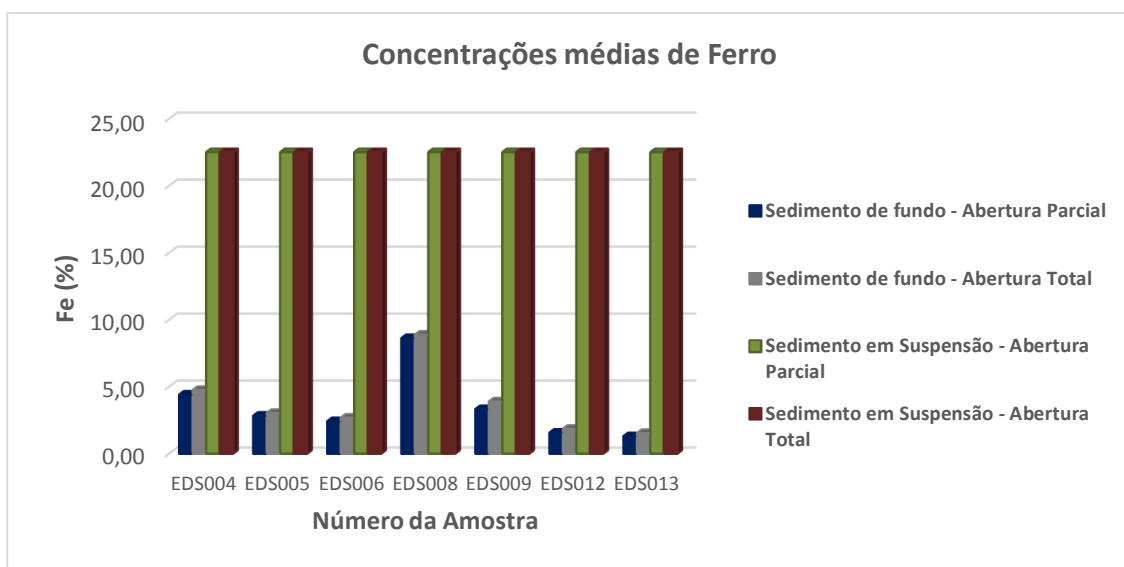


Figura 36 – Concentrações de Ferro (%) nas amostras de sedimentos de fundo e em suspensão, nas aberturas parcial e total.

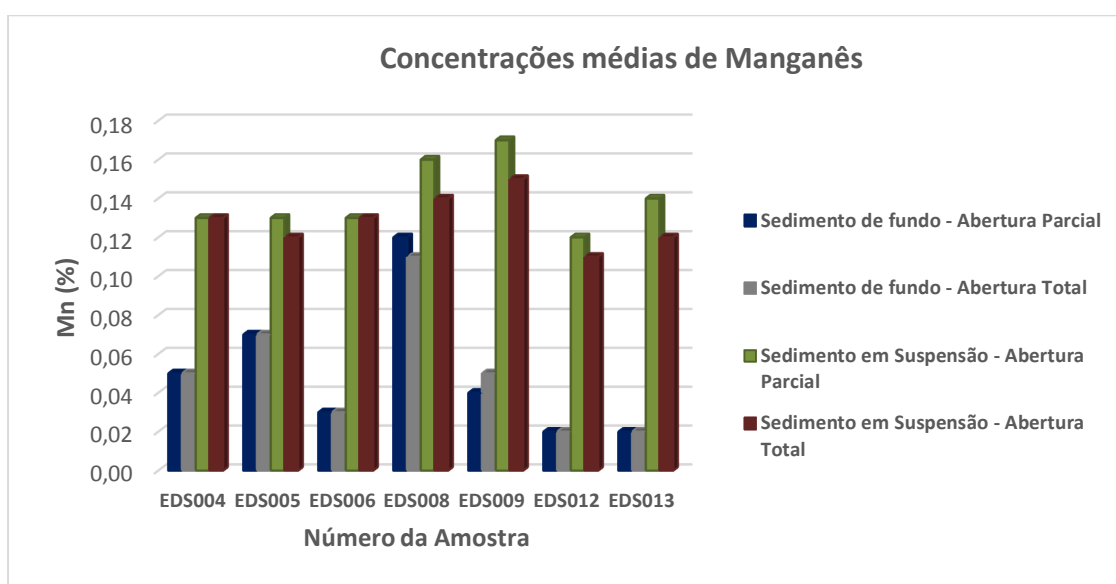


Figura 37 – Concentrações de Manganês (%) nas amostras de sedimentos de fundo e em suspensão, nas aberturas parcial e total.

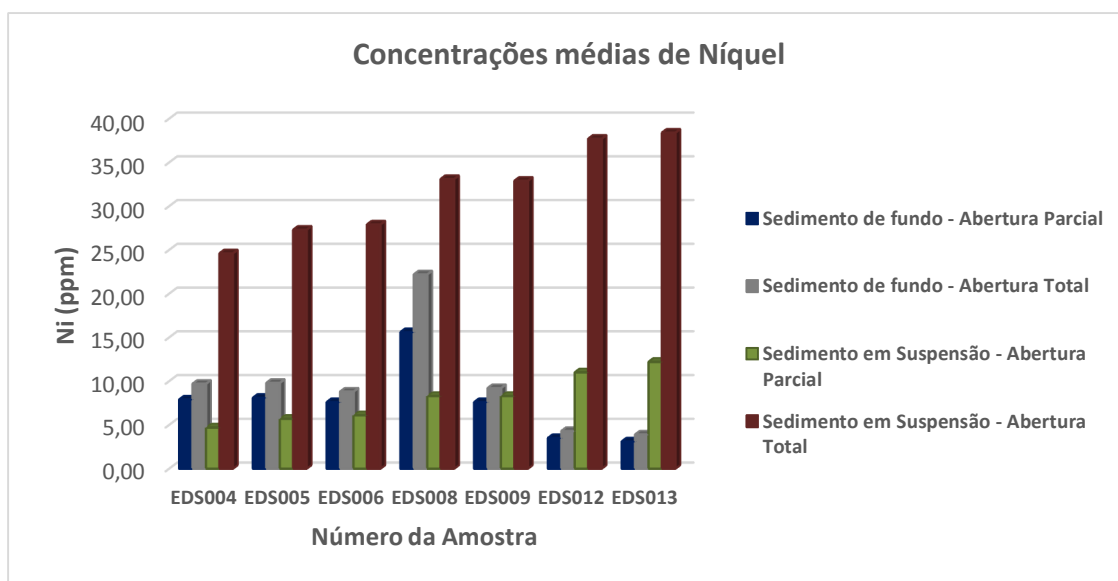


Figura 38 – Concentrações de Níquel (ppm) nas amostras de sedimentos de fundo e em suspensão, nas aberturas parcial e total.

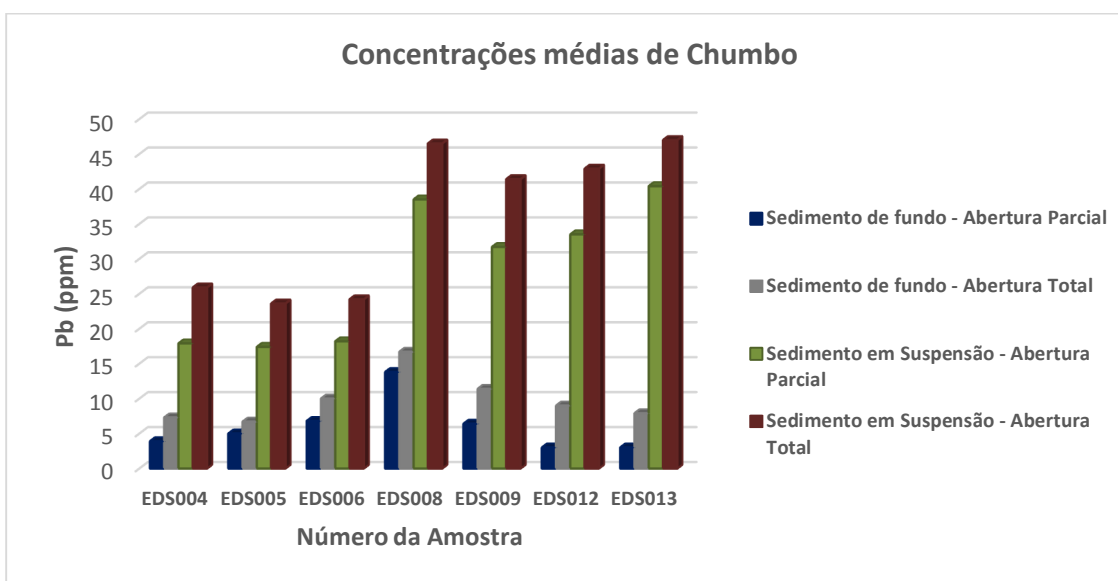


Figura 39 – Concentrações de Chumbo (ppm) nas amostras de sedimentos de fundo e em suspensão, nas aberturas parcial e total.

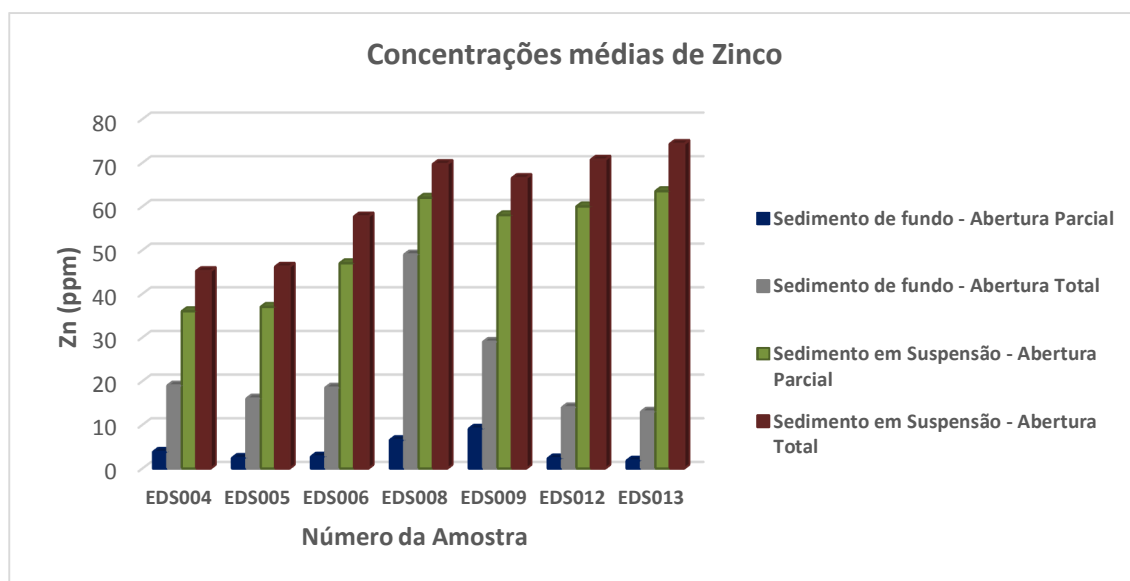


Figura 40 – Concentrações de Zinco (ppm) nas amostras de sedimentos de fundo e em suspensão, nas aberturas parcial e total.

Todos os histogramas acima evidenciaram que os resultados analíticos das amostras de sedimentos em suspensão são mais elevados do que os das amostras de sedimentos de fundo de rio. E que na estação de Governador Valadares foram obtidos os teores mais elevados da maioria dos elementos, com exceção do As e Zn, nas amostras de sedimentos de fundo e em suspensão com análise química com abertura parcial.

Na Figura 32, a distribuição do Al mostra que as concentrações do elemento, tanto em abertura parcial quanto total, foram mais elevadas na estação de Governador Valadares.

A distribuição do As (Figura 33) evidencia que os resultados analíticos das amostras dos sedimentos de fundo são muito mais elevados nas amostras da estação de Fazenda Cachoeira Dantas e vão decrescendo em direção a Linhares. Os teores mais elevados (29 a 24,5 ppm) ultrapassam o valor orientativo (Nível 2) definido pela Resolução CONAMA 454/2012 (17 ppm). As concentrações de As nas amostras de sedimentos em suspensão, tanto nas com abertura parcial, quanto total, não mostraram diferenças significativas nas diferentes estações de amostragem.

A Figura 34 mostra que os teores de Ba nos sedimentos de fundo e em suspensão, com abertura parcial, foram mais elevados em Governador Valadares, enquanto que os resultados das análises com abertura total, em concentrações bem mais elevadas, não apresentaram diferenças significativas em todas as estações de amostragem.

O Cr (Figura 35) foi detectado em todas as amostras coletadas, porém não excedendo ao valor orientativo (Nível 2) da Resolução CONAMA 454/2012 (90 ppm). A distribuição do Cr nas amostras de sedimentos de fundo mostra que os teores mais elevados, tanto nas análises com abertura parcial, quanto total, estão presentes na estação de Governador Valadares. Enquanto

que nas amostras de sedimentos em suspensão, as concentrações de Cr mostram uma tendência de aumento em direção a Linhares.

A distribuição do Fe nas amostras de sedimentos de fundo e de sedimentos em suspensão está representada na Figura 36. Nesta figura observa-se que todas as amostras de sedimentos em suspensão os teores de Fe excederam a 15%, enquanto que as concentrações de Fe nas amostras de sedimentos de fundo apresentaram valores bem mais baixos, tanto nos resultados analíticos com abertura parcial e total, sendo que os teores mais elevados ocorreram na estação de Governador Valadares.

Na figura 37 está representada a distribuição do Mn nas amostras de sedimentos de fundo e em suspensão. Observa-se que os teores de Mn são, em geral, mais elevados quando analisados com abertura parcial do que com abertura total. Os teores mais elevados de Mn em sedimentos de fundo foram obtidos na estação de Governador Valadares, enquanto nos sedimentos em suspensão não apresentaram diferenças significativas entre todas as estações de amostragem.

Os resultados analíticos do elemento Ni estão apresentados na figura 38. O Ni foi detectado em todas as amostras coletadas, porém não excedendo ao valor orientativo (Nível 2) da Resolução CONAMA 454/2012 (35,9 ppm). No histograma observa-se que é também na estação de Governador Valadares que ocorreram as concentrações mais elevadas do elemento nos sedimentos de fundo com aberturas parcial e total.

A figura 39 apresenta a distribuição do Pb nas amostras coletadas e analisadas, evidenciando que o elemento foi detectado em todas as amostras, porém não excedendo ao valor orientativo (Nível 2) do CONAMA 454/2012 (91,3 ppm). Os resultados analíticos das amostras de sedimentos em suspensão são muito mais elevados, tanto com abertura parcial, quanto total, do que os obtidos nas amostras de sedimentos de fundo. É evidente que na estação de Governador Valadares ocorreram os teores mais elevados de Pb.

Os resultados analíticos do Zn estão representados na figura 40. O elemento foi detectado em todas as amostras, porém não excedendo ao valor orientativo (Nível 2) do CONAMA 454/2012 (315 ppm), ocorrendo em baixas concentrações nas amostras de sedimentos de fundo, analisados com abertura parcial. Os teores de Zn nas amostras de sedimentos de fundo analisadas com abertura total mostraram-se mais elevados em Governador Valadares. O histograma evidenciou que nas amostras de sedimentos em suspensão analisadas tanto em abertura parcial, quanto total, os teores de Zn aumentaram a partir da estação Fazenda Cachoeira Dantas em direção a Linhares, porém sem grandes diferenças significativas entre os resultados analíticos.

Quando comparados os resultados analíticos entre as estações de amostragem desta campanha com os da terceira campanha de monitoramento, verifica-se que nesta campanha, as amostras de sedimentos de fundo e em suspensão foram coletadas somente nas estações de Governador Valadares, Colatina e Linhares, em relação a campanha anterior. Nestas estações não foram observadas diferenças significativas entre os teores obtidos de Al, As, Ba, Fe, Mn e Ni nas amostras coletadas em relação as campanhas anteriores.

4.5 Estimativa da Descarga Sólida em Suspensão

O cálculo da descarga sólida em suspensão foi realizado utilizando os seguintes dados da quarta campanha:

- Concentração de sedimentos em suspensão das amostras coletadas pela CPRM;
- Vazão do rio Doce.

A tabela 17 apresenta o cálculo da descarga sólida em suspensão nas estações fluviométricas.

Tabela 17 – Cálculo da Descarga Sólida em Suspensão nas estações fluviométricas

Nome	Data	Cota (cm)	Vazão (m ³ /s)	Css (mg/L)	Qst (t/d)
Fazenda Cachoeira Dantas	28/11/15	134	82,9	934	6.690
	10/12/15	302	316	1.240	33.855
Cachoeira dos Óculos	29/11/15	185	94,9	772	6.330
	10/12/15	397	419	1.904	68.928
Belo Oriente	30/11/15	151	140	806	9.749
	09/12/15	277	401	2.008	69.570
Governador Valadares	01/12/15	123	206	390	6.941
	14/12/15	182	478	326	13.464
Tumiritinga	02/12/15	70	226	410	8.006
	14/12/15	151	513	494	21.896
Colatina	07/12/15	213	749	492	31.839
	15/12/15	190	516	460	20.508
Linhares	08/12/15	170	821	290	20.571
	16/12/15	132	586	444	22.480

A título de comparação, a descarga sólida em suspensão calculada, foi comparada com a descarga sólida em suspensão diária calculada a partir das curvas chaves de sedimentos das estações: Fazenda Cachoeira Dantas, Cachoeira dos Óculos, Governador Valadares e Colatina apresentadas em CPRM, 2002. Para tanto foram atualizadas as curvas. A Tabela 18 apresenta os resultados encontrados nesta campanha.

Analisando estes dados verifica-se que a concentração de sedimentos em suspensão registrada na quarta campanha é significativamente inferior a concentração registrada durante a passagem da massa de água de elevada turbidez, nos dias imediatamente posteriores ao rompimento da barragem, resultando em descarga sólida em suspensão também significativamente menor. Entretanto quando compara-se a descarga sólida diária de sedimentos em suspensão registrada na quarta campanha com os valores esperados de

descarga sólida se não houvesse a ruptura da barragem, verifica-se que ainda são muito superiores, especialmente para vazões baixas, quando normalmente não são registradas concentrações e conseqüentemente descargas sólidas muito elevadas na bacia do rio Doce.

Tabela 18 – Descarga sólida diária em suspensão

Nome	Data	Vazão (m ³ /s)	Descarga sólida (t/d)	Descarga sólida esperada sem ruptura (t/d)
Fazenda Cachoeira Dantas	28/11/15	82,8	6.690	250
	10/12/15	316	33.855	11.517
Cachoeira dos Óculos	29/11/15	94,9	6.330	148
	10/12/15	419	68.928	15.181
Governador Valadares	01/12/15	206	6.941	260
	14/12/15	478	13.464	2.076
Tumiritinga	02/12/15	226	8.006	107
	14/12/15	513	21.896	1.867
Colatina	07/12/15	749	31.839	4.790
	15/12/15	516	20.508	1.700

5 Conclusões

1. Medições de descarga líquida: Não foram identificadas diferenças significativas na relação cota x vazão das estações fluviométricas, que significa que não haverá alteração da curva chave decorrente da ruptura da barragem.
2. Perfis transversais: Não foram verificadas diferenças significativas nos mesmos, ou seja, não houve deposição significativa de sedimentos nas seções medidoras das seções das estações fluviométricas pertencentes a RHN.
3. Parâmetros de qualidade determinados “in loco”: Comparando os resultados da quarta com a primeira campanha verifica-se que a Condutividade Elétrica e a Turbidez são menores e o Oxigênio Dissolvido maior, indicando que já houve melhora na qualidade da água desde a ruptura da barragem. Além disto, verifica-se que os valores de pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvidos já estão próximos aos patamares normalmente observados, já a turbidez ainda encontra-se em patamares bem elevados. Quanto à coleta pontual e integrada, não foram verificadas diferenças significativas entre os resultados obtidos pelos dois procedimentos, indicando que nas seções transversais das estações fluviométricas da RHN há boas condições de mistura e homogeneização.
4. Concentração de sedimentos em suspensão: Em relação a concentração de sedimentos em suspensão não foram verificadas diferenças significativas entre as amostras pontuais e compostas/integradas. Os valores de concentração de sedimentos em suspensão, da

ordem de centenas a unidades de milhares de mg/L, registrados na quarta campanha são compatíveis com os valores registrados na operação da RHN em época de cheia.

5. Granulometria dos sedimentos em suspensão: De um modo geral, não foram verificadas diferenças significativas entre a amostragem pontual e a integrada para os diâmetros característicos D10% e D50%. Porém foram verificadas diferenças significativas, de até duas vezes, do diâmetro D90% nas estações a montante de Governador Valadares, ou seja, a montante do reservatório de Baguari. Ressalta-se esta diferença pode estar associada ao fato que na amostragem integrada verticalmente é coletado material de toda a vertical, e a fração mais grossa de sedimentos normalmente é transportada próxima ao fundo. Os diâmetros característicos das amostras em suspensão coletadas na quarta campanha são ligeiramente inferiores aos diâmetros das amostras coletadas na primeira campanha.
6. Granulometria dos sedimentos de fundo: Nas amostras coletadas na quarta campanha, o diâmetro D50% variou entre 0,41 a 0,70mm em todas as estações, correspondendo a areia média a grossa. O coeficiente de uniformidade variou entre 2,12 a 4,91; sendo que quanto mais próximo de 1, mais homogêneo é o material em termos de granulometria. Em Governador Valadares, a fração de sedimentos do fundo menor do que 62,5µm representou 16%, assim foi necessário fazer a granulometria desta fração, onde o D50% foi da ordem de 21µm. Na seção de Governador Valadares existe um trecho de baixa velocidade de escoamento o que favoreceu a deposição de grande quantidade de sedimentos referente a fração mais fina.
7. Ânions dissolvidos na água: Verifica-se que não houve grande diferença entre a concentração dos ânions nas amostras pontuais e a concentração nas amostras integradas. Além disto, verificou-se uma diminuição da concentração das amostras coletadas na quarta com a segunda campanha, exceto para Nitrato que houve um aumento. Este aumento da concentração de Nitrato pode ser decorrente da grande quantidade de matéria orgânica que foi carregada para o rio Doce após a ruptura da barragem, especialmente a montante da UHE Risoleta Neves, que ora encontra-se em decomposição; bem como do início do período chuvoso, em que aumentou o escoamento superficial na bacia carregando matéria orgânica para os cursos d'água.
8. Cátions dissolvidos na água: Verifica-se que os teores dos elementos As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V e Zn ficaram abaixo do limite de quantificação do método analítico. De um modo geral, os teores dos elementos químicos detectados nas amostras integradas e nas coletadas nas margens não mostraram diferenças significativas. Assim como nas campanhas anteriores, não foram detectados teores de metais, considerados tóxicos, dissolvidos nas amostras de água coletadas.
9. Composição química dos sedimentos: os resultados analíticos das amostras de sedimentos em suspensão são mais elevados do que os das amostras de sedimentos de fundo de rio. Os maiores valores de concentração de As estão situados a montante e decrescem no sentido de jusante da bacia. A concentração de As nas amostras de sedimentos em suspensão, tanto nas com abertura parcial, quanto total, não mostraram diferenças significativas nas diferentes estações de amostragem.
10. Descarga Sólida em Suspensão: Os valores registrados na quarta campanha estão ainda muito acima dos valores registrados na operação da RHN nas mesmas condições de fluxo, especialmente para valores de vazão mais baixos, inferiores a 200m³/s.

6 Referências Bibliográficas

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17/03/2005. “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”. Brasília: DOU nº 053 de 18/03/2005, págs. 58-63.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 454 de 01/11/2012. "Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional." Brasília: DOU, de 08/11/2012, Seção 1, pág. 66

CPRM. “Projeto Operação da Rede Hidrometeorológica Nacional. Análise da Consistência de Dados Sedimentométricos e de Qualidade de água das sub-bacias: 40, 41, 42, 43, 44, 45, 54, 55, 56, 60 e 61”. Belo Horizonte, 2002.

CPRM. “Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce: Relatório 01 - Acompanhamento da onda de Cheia”. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: www.cprm.gov.br/publique/media.

CPRM. “Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce: Relatório 02 - Acompanhamento da onda de Cheia”. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media>.

CPRM. “Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce: Relatório 03 – Monitoramento Simultâneo ao longo de 15 dias”. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: www.cprm.gov.br/publique/media.

**Anexo I – Dados do monitoramento de 5 parâmetros de qualidade da água
in loco. (Margem e Verticais)**

Nome	Local	Data	Temp	pH	CE	Turbidez	OD
Faz Cachoeira Dantas	ME	28/11/15	27,17	7,03	65	4832	6,97
	V1		27,26	7,09	65	4247	6,96
	V2		27,21	7,07	65	4854	-
	V3		27,29	7,08	66	4026	6,96
	V4		27,32	7,05	65	4077	6,95
	V5		27,31	7,09	65	3799	6,96
Faz Cachoeira Dantas	ME	10/12/15	-	-	-	3612	-
	V1		-	-	-	3648	-
	V2		-	-	-	3768	-
	V3		-	-	-	3948	-
	V4		-	-	-	3756	-
	V5		-	-	-	4068	-
Cachoeira dos Óculos	MD	29/11/15	29,44	7,11	65	3240	6,90
	V1		29,48	7,14	65	2806	6,92
	V2		29,47	7,11	65	2783	6,93
	V3		29,52	7,10	65	2799	6,90
	V4		29,57	7,10	65	2844	6,90
	V5		29,60	7,11	65	2791	6,89
Cachoeira dos Óculos	MD	10/12/15	-	-	-	4464	-
	V1		-	-	-	4512	-
	V2		-	-	-	4728	-
	V3		-	-	-	3936	-
	V4		-	-	-	4476	-
	V5		-	-	-	4572	-
Belo Oriente	ME	30/11/15	-	-	-	863	-
	V1		-	-	-	846	-
	V2		-	-	-	856	-
	V3		-	-	-	857	-
	V4		-	-	-	818	-
	V5		-	-	-	978	-

Nome	Local	Data	Temp	pH	CE	Turbidez	OD
Belo Oriente	ME	09/12/15	-	-	-	3828	-
	V1		-	-	-	3372	-
	V2		-	-	-	3960	-
	V3		-	-	-	3852	-
	V4		-	-	-	4308	-
	V5		-	-	-	3972	-
Governador Valadares	ME	01/12/15	-	-	-	2760	-
	V1		-	-	-	2628	-
	V2		-	-	-	2424	-
	V3		-	-	-	2400	-
	V4		-	-	-	2340	-
	V5		-	-	-	2496	-
Governador Valadares	ME	14/12/15	-	-	-	1296	-
	V1		-	-	-	1470	-
	V2		-	-	-	1278	-
	V3		-	-	-	1314	-
	V4		-	-	-	1200	-
	V5		-	-	-	1374	-
Tumiritinga	MD	02/12/15	-	-	-	2024	-
	V1		-	-	-	2142	-
	V2		-	-	-	1944	-
	V3		-	-	-	2004	-
	V4		-	-	-	1884	-
	V5		-	-	-	1812	-
Tumiritinga	MD	14/12/15	-	-	-	1800	-
	V1		-	-	-	1896	-
	V2		-	-	-	1902	-
	V3		-	-	-	1932	-
	V4		-	-	-	1710	-
	V5		-	-	-	1602	-
Colatina	MD	07/12/15	-	-	-	1914	-
	V1		-	-	-	2190	-
	V2		-	-	-	2172	-
	V3		-	-	-	2118	-
	V4		-	-	-	2046	-
	V5		-	-	-	2028	-

Nome	Local	Data	Temp	pH	CE	Turbidez	OD
Colatina	MD	15/12/15	-	-	-	1908	-
	V1		-	-	-	2148	-
	V2		-	-	-	2220	-
	V3		-	-	-	2202	-
	V4		-	-	-	2172	-
	V5		-	-	-	2832	-
Linhares	ME	08/12/15	-	-	-	1716	-
	V1		-	-	-	1878	-
	V2		-	-	-	1686	-
	V3		-	-	-	1884	-
	V4		-	-	-	2082	-
	V5		-	-	-	1758	-
Linhares	ME	16/12/15	-	-	-	1758	-
	V1		-	-	-	1728	-
	V2		-	-	-	1950	-
	V3		-	-	-	1830	-
	V4		-	-	-	2262	-
	V5		-	-	-	1818	-

